

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YONCALI BARAJI (MALATYA) İSALE TÜNELİ GÜZERGÂHINDAKİ
KAYA KÜTLELERİNİN KAZILABİLME ÖZELLİKLERİ

OĞUZ ERDEM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anabilim Dalı : Jeoloji Mühendisliği

Danışman : Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK

MART – 2018

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YONCALI BARAJI (MALATYA) İSALE TÜNELİ GÜZERGAHINDAKİ KAYA
KÜTLELERİNİN KAZILABİLME ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oğuz ERDEM

(121116105)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Mart 2018
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Mart 2018**

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Jeoloji Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK (F.Ü)

Diğer Juri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖZTEKİN OKAN (F.Ü.)

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ALEMDAĞ (G.Ü.)

MART-2018

ÖNSÖZ

“Yoncalı Barajı (Malatya) İsale Tüneli Güzergâhındaki Kaya Kütlelerinin Kazılabilme Özellikleri” başlıklı bu çalışma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji bilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarından oluşan bu tezin bütün aşamalarında bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve bilgilendiren, her daim sabır ve iyi niyet gösteren ve her konuda destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK’a içtenlikle teşekkür ederim.

Bu çalışmayı MF.18.02 nolu proje ile desteklemiş olan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP)’ne desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Mustafa Kanık’a ve yine çalışmalarına destek olan Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Şube Müdürlüğü personellerine teşekkür ederim.

Temel ve zemin mühendisliği alanında faaliyet gösteren Emerson Mühendislik Ltd. Şti’ni kurarak şahsımın jeoloji mühendisi ünvanı ile mesleki faaliyetler yürütmesinde öncülük yapan, hayatımın her safhasında olduğu gibi tezimin yazımı esnasında da gerek teorik, gerek pratik bilgileriyle bana destek olan babam, emekli öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Emin ERDEM’e ve hayatım boyunca her konuda destek olan değerli annem Perihan ERDEM’e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca engin sabır ve değeri ölçülmeyecek yardımlarından dolayı sevgili eşim, aynı zamanda meslektaşım Jeoloji Mühendisi Seda ERDEM hanımefendiye içtenlikle teşekkür ederim.

Oğuz ERDEM
MART - 2018

İÇİNDEKİLER	Sayfa No
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	X
1.GİRİŞ	1
1.1.İnceleme Alanının Yeri ve Ulaşım.....	2
1.2.Önceki Çalışmalar.....	3
1.3.Projenin Genel Özellikleri ve İsale Tüneli Proje Karakteristikleri.....	4
2.GENEL JEOLojİ	5
2.1. Stratigrafi.....	6
2.1.1. Keban Metamorfitleri (PzMzk).....	8
2.1.2. Hekimhan Formasyonu (Kh).....	9
2.1.3. Alibonca Formasyonu (Ta).....	9
2.1.4. Malatya Volkanitleri (Tm).....	11
2.1.5. Meteristepe Formasyonu (Qplm).....	12
2.1.6. Yoncalı Formasyonu (Qply).....	13
2.1.7. Yamaç Molozu (Qy).....	13
2.1.8. Alüvyonlar (Qal).....	13
2.2. Yapısal Jeoloji.....	13
2.2.1. Faylar.....	15
2.2.1.1. Ovacık Fay Zonu.....	15
2.2.1.2. Malatya Fay Zonu.....	15
2.2.2. Tabakalanma.....	16
2.2.3. Kıvrımlanma.....	17
2.2.4. Eklemler.....	17
2.2.5. Uyumsuzluklar.....	17
3. JEOTEKNİK İNCELEMELER	18
3.1. Araştırma Sondajları.....	19
3.1.1. Kaya Kalite Göstergesi (RQD).....	21
3.1.2. Bozunma Derecesi (N).....	22
3.2. Süreksizliklerin Mühendislik Özellikleri.....	23
3.2.1. Yönelim.....	24
3.2.2. Ara Uzaklığı.....	26
3.2.3. Açıklık.....	26
3.2.4. Devamlılık.....	26
3.2.5. Pürüzlülük.....	27
3.2.6. Dolgu.....	28
3.2.7. Bozunma Derecesi.....	28
3.2.8. Su Durumu.....	28
3.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	29
3.3.1. Birim Hacim Ağırlık.....	29
3.3.2. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı.....	31
3.3.3. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi.....	31
3.3.4. Schmidt Sertliği.....	32

	Sayfa No
3.3.5. Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı.....	33
4. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR.....	34
5. KAYA KÜTLE SINIFLAMALARI.....	36
5.1. Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR).....	36
5.2. Kaya Kütle Kalitesi Sınıflama Sistemi (Q).....	42
5.3. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sistemi.....	49
6. KAYA KÜTLELERİNİN KAZILABİLME ÖZELLİKLERİ.....	52
6.1. Franklin vd. (1971) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	54
6.2. Bailey (1974) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	56
6.3. Weaver (1975) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	57
6.4. Church (1981) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	61
6.5. Kirsten (1982) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	61
6.6. Abdullatif ve Cruden (1983) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	64
6.7. Scoble ve Müftüoğlu (1984) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	66
6.8. Smith (1986) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	69
6.9. Singh vd. (1987) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	73
6.10. Paşamehmetoğlu vd. (1988) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	76
6.11. Karpuz (1990) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	80
6.12. Pettifer ve Fookes (1994) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	83
6.13. Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	84
6.14. Hoek ve Karzulovic (2000) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	88
6.15. Başarır ve Karpuz (2004) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	89
6.16. Ceylanoğlu vd. (2007) Kazılabilirlik Sınıflaması.....	92
6.17. Tsiambaos ve Saroglou (2010) Kazılabilirlik Sınıflaması	97
7. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER.....	99
8. YARARLANILAN KAYNAKLAR.....	106

ÖZET

Günümüzde artan şehirleşme ve buna bağlı olarak ortaya çıkan ulaşım, enerji, su gibi ihtiyaçlara paralel olarak yeraltı yapılarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu tür projelerde, proje maliyetini etkileyen en önemli faktörlerden birisi kazı yapılacak birimin kazılabilme özelliğidir. Günümüzde farklı araştırmacılar tarafından önerilen ampirik sınıflamalar kullanılarak kaya kütlelerinin kazılabilme sınıfları ve böylece kazıda kullanılacak yöntemler belirlenmektedir.

Bu çalışmada, Malatya ili Arguvan ilçesinde yapımı devam eden Yoncalı Barajı isale tüneli güzergahındaki bazalt, dasit, aglomera, tüf, şeyl, marn ve kireçtaşlarının kazılabilme sınıflarını belirlemek amacıyla arazi ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar 17 farklı ampirik kazılabilme sınıflaması kullanılarak değerlendirilmiş ve her bir kaya kütlelerinin genel kazılabilme sınıfları ortaya konmuştur.

Yapılan sınıflamalara göre; tünel güzergâhındaki bazalt, dasit, aglomera, şeyl, marn ve kireçtaşlarının Orta Zor-Zor-Çok Zor kazılabilme sınıfında oldukları ve bu kaya kütlelerinde kazının patlatma ile yapılması gerekmektedir. Tüflerin kazılabilme sınıfının ise Zor-Çok Zor kazılabilir olduğu, ancak, tüflerde kazı sırasında patlatma yapılmasına gerek olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaya kütlesi, Kazılabilme sınıflaması, Tünelcilik, Yoncalı Barajı

SUMMARY

Excavatability Properties of Rock Masses in The Water Transmission Tunnel Route of Yoncalı Dam (Malatya)

Today, the importance of underground projects is ncreasing day by day in parallel with increasing urbanization and related needs such as transportation, energy and water. One of the most important factors affecting cost in such projects is the excavatability of the units to be excavated. Until today, some empirical classifications were proposed by several researchers to determine the excavation classes and excavation method of rock masses.

In this study, field and laboratory studies were carried out to determine the excavation classes of basalt, dacite, aglomera, tuff, shale, marl and limestones in the transmission tunnel route of the Yoncalı Dam, which is under construction in Arguvan province of Malatya. The results obtained were evaluated using 17 different empirical excavation classifications and general excavation classes of each rock mass were determined.

According to the results of the classifications; basalt, dacite, aglomera, shale, marl and limestones along the tunnel route are in the Medium Hard-Hard-Very Hard excavatability class and it is necessary to excavate these rock masses by blasting. The excavation class of the tuffites is Hard - Very Hard ripping; However, it was determined that there is no need to blast the tuff during excavation.

Keywords: Rock mass, Excavatability, Tunneling, Yoncalı Dam

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1.İnceleme alanı uydu fotoğrafı ve karayolları ulaşım haritası.....	2
Şekil 2.1. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası	6
Şekil 2.2. İnceleme alanının genelleştirilmiş ölçeksiz stratigrafik kesit.....	7
Şekil 2.3. Çalışma alanı ve çevresindeki diri kırıklar.....	15
Şekil 3.1. Tünel güzergahının enine jeoloji kesiti.....	20
Şekil 3.2. Kaya kütlelerinin tanımlamasında süreksizliklerin esas alınan özellikleri...	24
Şekil 3.3. Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri.....	27
Şekil 4.1. Sismik kırılma yönteminin arazide uygulanışı.....	34
Şekil 5.1. RMR sınıflama sisteminin son versiyonunda tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanları tanımlama grafikleri.....	37
Şekil 6.1. Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerinin Franklin vd. tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	55
Şekil 6.2. Kaya kütlelerinin Abdullatif ve Cruden tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	64
Şekil 6.3. Kaya kütlelerinin Pettifer ve Fookes kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	84
Şekil 6.4.Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin Tsiambaos ve Saroglou (2010) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	97

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. İsale tüneli kazısı sırasında geçilecek olan formasyonlar.....	19
Tablo 3.2. RQD Sınıflamasına göre kaya kalitesi Deere (1964).....	21
Tablo 3.3. Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin ortalama RQD değerleri.....	22
Tablo 3.4. Kayaların bozunma derecesine göre sınıflandırılması.....	22
Tablo 3.5. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleri.....	23
Tablo 3.6. Kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin mühendislik özelliklerine ait ortalama değerler	25
Tablo 3.7. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri.....	28
Tablo 3.8. Laboratuvar deneylerine ait istatistiksel sonuçlar.....	30
Tablo 4.1. Tünel güzergahındaki birimlere ait V_p ve V_s hızları.....	35
Tablo 5.1. RMR sınıflama sistemine ait parametreler ve puanlama tablosu.....	37
Tablo 5.2. RMR Sistemi'ne göre süreksizliklerin durumunun puanlandırılması.....	38
Tablo 5.3. Tünelde süreksizlik eğim ve eğim yönünün etkisi.....	38
Tablo 5.4. Süreksizlik yönelimine göre düzeltme.....	38
Tablo 5.5. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanlar.....	38
Tablo 5.6. Tünel güzergahındaki bazaltlara ait RMR ₈₉ sınıflaması.....	39
Tablo 5.7. Tünel güzergahındaki dasitlere ait RMR ₈₉ sınıflaması.....	39
Tablo 5.8. Tünel güzergahındaki aglomeralara ait RMR ₈₉ sınıflaması.....	40
Tablo 5.9. Tünel güzergahındaki tüflere ait RMR ₈₉ sınıflaması.....	40
Tablo 5.10. Tünel güzergahındaki şeyllere ait RMR ₈₉ sınıflaması.....	41
Tablo 5.11. Tünel güzergahındaki marnlara ait RMR ₈₉ sınıflaması.....	41
Tablo 5.12. Tünel güzergahındaki kireçtaşlarına ait RMR ₈₉ sınıflaması.....	42
Tablo 5.13. Kaya kalite göstergesi - %RQD.....	43
Tablo 5.14. Süreksizlik takımı sayısı – J_n	43
Tablo 5.15. Süreksizlik pürüzlülük sayısı – J_r	44
Tablo 5.16. Süreksizlik yüzeyi bozunma sayısı – J_a	44
Tablo 5.17. Gerilme azaltma faktörü – SRF.....	45
Tablo 5.18. Süreksizlik suyu azaltma faktörü – J_w	46
Tablo 5.19. Q değerlerine göre kaya kütlelerinin sınıflandırması.....	46
Tablo 5.20. Tünel güzergahındaki bazaltlara ait Q sınıflaması.....	46
Tablo 5.21. Tünel güzergahındaki dasitlere ait Q sınıflaması.....	47
Tablo 5.22. Tünel güzergahındaki aglomeralara ait Q sınıflaması.....	47
Tablo 5.23. Tünel güzergahındaki tüflere ait Q sınıflaması.....	47
Tablo 5.24. Tünel güzergahındaki şeyllere ait Q sınıflaması.....	48
Tablo 5.25. Tünel güzergahındaki marnlara ait Q sınıflaması.....	48
Tablo 5.26. Tünel güzergahındaki kireçtaşlarına ait Q sınıflaması.....	48
Tablo 5.27. Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin Eşitlik 5.7'ye göre belirlenen GSI değerleri ve kaya sınıfları.....	51
Tablo 6.1. Kazılabilirlik sınıflamaları ve kullanılan parametreler.....	53
Tablo 6.2. Bazaltların Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	55
Tablo 6.3. Dasitlerin Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	55
Tablo 6.4. Aglomeraların Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	55
Tablo 6.5. Tüflerin Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	56

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 6.6. Şeyllerin Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	56
Tablo 6.7. Marnların Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	56
Tablo 6.8. Kireçtaşlarının Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	56
Tablo 6.9. Bailey (1974) tarafından önerilen sökülebilirlik sınıflaması.....	57
Tablo 6.10. Tünel güzergâhındaki birimlerin Bailey (1974) sökülebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	57
Tablo 6.11. Weaver (1975) tarafından önerilen riperebilirlik sınıflaması.....	58
Tablo 6.12. Bazaltların Weaver (1975) riperebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	58
Tablo 6.13. Dasitlerin Weaver (1975) riperebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	59
Tablo 6.14. Aglomeraların Weaver (1975) riperebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	59
Tablo 6.15. Tüflerin Weaver (1975) riperebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	59
Tablo 6.16. Şeyllerin Weaver (1975) riperebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	60
Tablo 6.17. Marnların Weaver (1975) riperebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	60
Tablo 6.18. Kireçtaşlarının Weaver (1975) riperebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	60
Tablo 6.19. Church (1981) tarafından önerilen sökülebilirlik sınıflandırması.....	61
Tablo 6.20. Tünel güzergâhındaki birimlerin Church (1981) tarafından önerilen sökülebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	61
Tablo 6.21. Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması.....	62
Tablo 6.22. Bazaltların Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi.....	62
Tablo 6.23. Dasitlerin Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi	62
Tablo 6.24. Aglomeraların Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi	62
Tablo 6.25. Tüflerin Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi	63
Tablo 6.26. Şeyllerin Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre sınıflandırılması.....	63
Tablo 6.27. Marnların Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi	63

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 6.28. Kireçtaşlarının Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi	64
Tablo 6.29. Bazaltların Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi	64
Tablo 6.30. Dasitlerin Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi	65
Tablo 6.31. Aglomeraların Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi	65
Tablo 6.32. Tüflerin Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi	65
Tablo 6.33. Şeyllerin Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi	65
Tablo 6.34. Marnların Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi	65
Tablo 6.35. Kireçtaşlarının Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi	65
Tablo 6.36. Scoble ve Müftüoğlu (1984) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemi.....	66
Tablo 6.37. Bazaltların Scoble ve Müftüoğlu (1984) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	66
Tablo 6.38. Dasitlerin Scoble ve Müftüoğlu (1984) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	67
Tablo 6.39. Aglomeraların Scoble ve Müftüoğlu (1984) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	67
Tablo 6.40. Tüflerin Scoble ve Müftüoğlu (1984) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	67
Tablo 6.41. Şeyllerin Scoble ve Müftüoğlu (1984) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	68
Tablo 6.42. Marnların için yapılan Scoble ve Müftüoğlu (1984) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	68
Tablo 6.43. Kireçtaşlarının Scoble ve Müftüoğlu (1984) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	68
Tablo 6.44. Weaver (1975)'in değiştirilmiş riperebilirlik sınıflama sistemi.....	69
Tablo 6.45. Bazaltların Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	70
Tablo 6.46. Dasitlerin Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	70
Tablo 6.47. Aglomeraların Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	71
Tablo 6.48. Tüflerin Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	71
Tablo 6.49. Şeyllerin Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	72

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 6.50. Marnların Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	72
Tablo 6.51. Kireçtaşlarının Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	73
Tablo 6.52. Singh vd. (1987) tarafından önerilen ripirlenebilirlik sınıflaması.....	73
Tablo 6.53. Bazaltların Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	74
Tablo 6.54. Dasitlerin Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	74
Tablo 6.55. Aglomeraların Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	74
Tablo 6.56. Tüflerin Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	75
Tablo 6.57. Şeyllerin Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	75
Tablo 6.58. Marnların Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	75
Tablo 6.59. Kireçtaşlarının Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	76
Tablo 6.60. Kazılabilirlik Parametreleri ve Puanlama Sistemi (Paşamehmetoğlu vd., 1988)	76
Tablo 6.61. Paşamehmetoğlu vd. (1988) tarafından önerilen kazılabilirlik Sınıflaması.....	77
Tablo 6.62. Bazaltların Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	77
Tablo 6.63. Dasitlerin Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	78
Tablo 6.64. Aglomeraların Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	78
Tablo 6.65. Tüflerin Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	78
Tablo 6.66. Şeyllerin Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	79
Tablo 6.67. Marnların Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	79
Tablo 6.68. Kireçtaşlarının Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	79
Tablo 6.69. Kazılabilirlik Parametreleri ve Puanlama Sistemi (Karpuz, 1990).....	80
Tablo 6.70. Karpuz (1990) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması.....	80
Tablo 6.71. Bazaltların Karpuz (1990) sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	81
Tablo 6.72. Dasitlerin Karpuz (1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	81
Tablo 6.73. Aglomeraların Karpuz (1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	81

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 6.74. Tüflerin Karpuz (1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	82
Tablo 6.75. Şeyllerin (Karpuz, 1990). kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	82
Tablo 6.76. Marnların (Karpuz, 1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	82
Tablo 6.77. Kireçtaşlarının (Karpuz, 1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	83
Tablo 6.78. Pettifer ve Fookes (1994) kazılabilirlik sınıflamasında kullanılan parametrelere ait değerler.....	83
Tablo 6.79. Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması	85
Tablo 6.80. Bazaltların Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	85
Tablo 6.81. Dasitlerin Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	86
Tablo 6.82. Aglomeraların Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	86
Tablo 6.83. Tüflerin Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	86
Tablo 6.84. Şeyllerin Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	87
Tablo 6.85. Marnların Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	87
Tablo 6.86. Kireçtaşlarının Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	87
Tablo 6.87. Hoek ve Karzulovic (2000) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemi.....	88
Tablo 6.88. Hoek ve Karzulovic (2000) sınıflamasında kullanılan parametrelere ait değerler.....	89
Tablo 6.89. Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerinin Hoek ve Karzulovic (2000) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	89
Tablo 6.90. Kazılabilirlik Parametreleri ve Puanlama Sistemi (Başarır ve Karpuz, 2004).....	90
Tablo 6.91. Başarır ve Karpuz (2004) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması....	90
Tablo 6.92. Bazaltların Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	90
Tablo 6.93. Dasitlerin Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	91
Tablo 6.94. Aglomeraların Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	91
Tablo 6.95. Tüflerin Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	91
Tablo 6.96. Şeyllerin Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	92

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 6.97. Marnların Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	92
Tablo 6.98. Kireçtaşlarının Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	92
Tablo 6.99. Ceylanoğlu vd. (2007) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması	93
Tablo 6.100. Bazaltların Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	93
Tablo 6.101. Dasitlerin Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	94
Tablo 6.102. Aglomeraların Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	94
Tablo 6.103. Tüflerin Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	95
Tablo 6.104. Şeyllerin Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	95
Tablo 6.105. Marnların Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	96
Tablo 6.106. Kireçtaşlarının Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	96
Tablo 6.107. Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin Tsiambaos ve Saroglou (2010) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi	98
Tablo 7.1. Bazaltlar için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları.....	99
Tablo 7.2. Dasitler için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları.....	100
Tablo 7.3. Aglomeralar için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları.....	101
Tablo 7.4. Tüfler için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları.....	101
Tablo 7.5. Şeyller için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları.....	102
Tablo 7.6. Marnlar için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları.....	103
Tablo 7.7. Kireçtaşları için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları.....	104

1. GİRİŞ

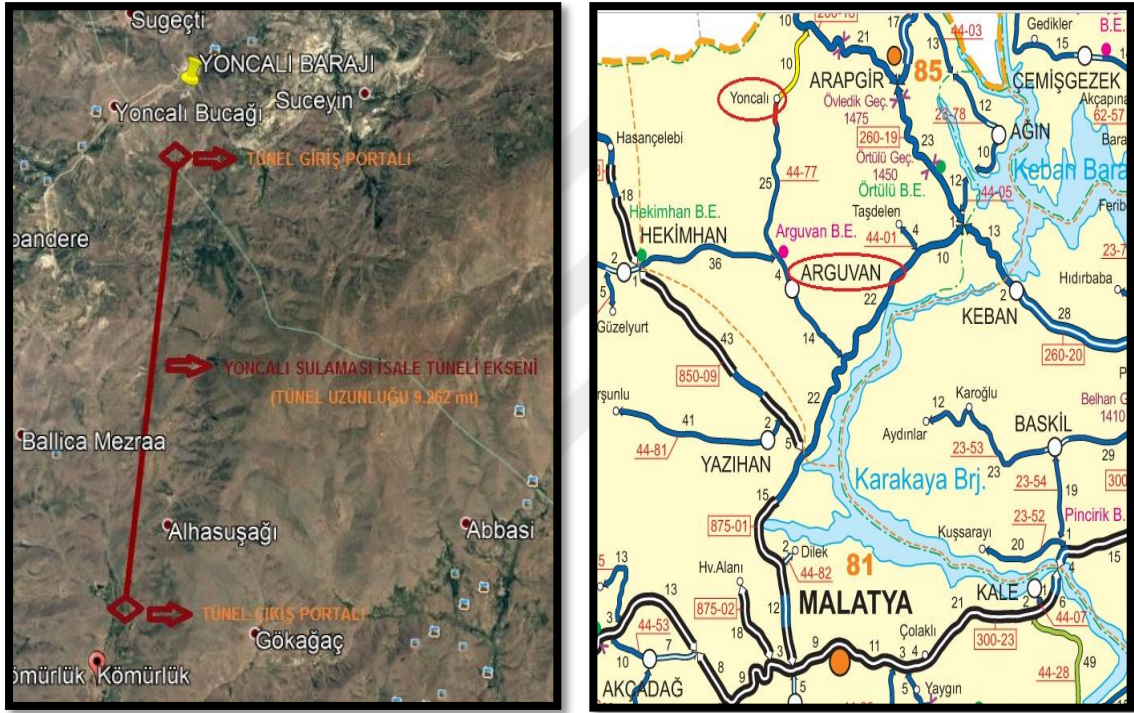
Artan enerji, ulaşım ve su ihtiyaçları Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de tünelcilik uygulamalarının son yıllarda büyük artış göstermesine neden olmuştur. Artan proje sayısı ile birlikte, planlanan projelerin büyüklüklerinde de önemli artışların olduğu görülmektedir. Bu durum, yeraltı çalışmalarının projelendirilmesinde detaylı ve güvenilir yöntemlerin kullanılmasını gerektirmektedir. Özellikle tünelcilikte, tünel güzergâhındaki kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerinin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi, hem maliyet hem de güvenlik açısından büyük önem oluşturmaktadır. Tünel güzergâhında yapılacak detaylı mühendislik çalışmaları ile tünel kazısı sırasında hangi tür desteklemelerin yapılması ve hangi kazı yönteminin kullanılması gerektiği ortaya konulabilmekte ve böylelikle projelerin uygulanabilirliğine katkı sağlanmaktadır.

Bu tezin çalışma konusu Yoncalı Barajı (Malatya) isale tüneli hattında, kazı sırasında geçilecek olan kaya kütlelerinin kazılabilme özellikleri ve kazı sınıflarının belirlenmesidir. Bu amaçla, arazi ve laboratuvar çalışmaları ile elde edilen parametreler farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş kazılabilme sınıflamaları ile değerlendirilerek, bu kaya kütlelerinin kazılabilirlik sınıfları ve tünel kazısı sırasında kullanılması gereken en ekonomik yöntemler belirlenmiştir.

Kazılabilirlik, Ceylanoğlu vd. (2007) tarafından kayaçların bulundukları yerden kazı ekipmanları ile ne ölçüde koparılabildiklerinin, sökülebilirlik ise ripperli dozer ile ne ölçüde sökülerek parçalanabileceğinin göreceli ifadesi şeklinde tanımlanmaktadır. Yeraltı ve yerüstü kazılarında, kazı yönteminin ve kazı ekipmanının seçiminde en önemli faktör kayaların kazılabilirlik özelliklerinin doğru tespit edilebilmesidir. Bu nedenle birçok araştırmacı, kayaların malzeme ve kütle özelliklerinden yola çıkarak kazılabilirliği belirlemeye yönelik ön tasarım amaçlı birçok ampirik kazılabilirlik ve sökülebilirlik sınıflama sistemi geliştirmiştir (Franklin vd., 1971; Atkinson, 1971; Bailey, 1974; Weaver, 1975; Kirsten, 1982; Abdullatif ve Cruden, 1983; Scoble ve Müftüoğlu, 1983; Singh vd., 1986; Smith, 1986; Bozdağ, 1988; Paşamehmetoğlu vd., 1988; Karpuz, 1990; Pettifer ve Fookes, 1994; Hoek ve Karzulovic, 2000; Ceylanoğlu vd., 2007; Tsiambaos ve Saroglou, 2009). Önerilen bu kazılabilme sınıflamaları günümüze değin birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Bozdağ, 1988; Kentli ve Topal, 2004; Gürocak vd. 2008; Alemdağ vd. 2011; Kaya vd. 2011; Gürocak ve Yalçın, 2016).

1.1. İnceleme Alanının Yeri ve Ulaşım

İnceleme alanı Malatya İli, Arguvan İlçesine bağlı Kömürlük Köyü ile Yoncalı Köyü arasında kalmaktadır. Tünelin giriş kısmı Kömürlük Köyü tarafında olup, Arguvan İlçesine 6 km uzaklıktadır. Tünelin çıkış kısmı Yoncalı Köyü tarafında olup, Arguvan İlçesine 15 km mesafededir. İnceleme alanı Malatya İl merkezine ortalama 100 km uzaklıktadır (Şekil 1.1). İnceleme alanına kışın kar yağışlı günleri dışında her zaman ulaşabilmek mümkündür. Proje alanına ulaşımı sağlayan devlet karayolu ile köy yolunun tamamı asfalt kaplamadır.



Şekil 1.1. İnceleme alanı uydu fotoğrafı ve karayolları ulaşım haritası

1.2. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın çevresinde 1900'li yılların başlarında özellikle yabancı yer bilimcilerin yaptıkları araştırmalar (Berg, 1910; Chaput, 1931; Pare'jas vd., 1940) ile jeolojik çalışmalar başlamıştır. Yabancı yer bilimcilerin yapmış oldukları bu çalışmaların ardından bölgede ilk sistemli çalışmalar Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA) tarafından 1940'lı yıllardan sonra gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanının sınırları içerisinde kaldığı Malatya ili ve yakın çevresinde jeolojik amaçlı ilk rapor Stefanski tarafından 1941 yılında hazırlanmıştır. Stefanski,

bölgedeki temel kayaçların tortul kökenli mikaşistler olduğunu ve bu temel kayaçların kıvrımlandığını ifade etmiştir.

Malatya bölgesinin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası ilk olarak Holzer tarafından 1955 yılında hazırlanmış, sonraki yıllarda ise yörenin 1/25.000 ölçekli genel jeoloji haritaları da MTA tarafından hazırlanmıştır.

Baykal (1966), tarafından gerçekleştirilen çalışma sonucunda, inceleme alanının da içerisinde yer alan 1/500.000 ölçekli Sivas paftası hazırlanmıştır. Bu çalışma ile bölgenin tektoniği ve stratigrafisi açıklanmaya çalışılmıştır.

Yoldaş (1972), tarafından yapılan çalışmada Malatya ilinin kuzeyinde yer alan bölgedeki çökellerin litolojik ve stratigrafik özellikleri ile çökelme koşullarını açıklamaya çalışmıştır.

Aktimur (1979), tarafından, Malatya ve Sivas dolayının uydu fotoğrafları kullanılarak tektonik çizgiselliklerini incelemiş ve Malatya Fayı'nı tanımlanmıştır.

Yazgan (1981,1983,1984), Elazığ ve Malatya çevresinde yapmış olduğu çalışmalarda bölgenin jeotektonik evrimini levha tektoniği teorisine göre anlatmaya çalışmıştır.

Görmüş (1993), yaptığı çalışmada Hekimhan (Malatya) bölgesindeki Kretase-Tersiyer istiflerinin çökelme ortamları ile stratigrafik ilişkilerini incelemiştir.

1990 yılında, Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü tarafından, “Yoncalı Barajı Aks Yeri, İletim Tüneli Ana Kanal Güzergahı Mühendislik Jeolojisi Ön İnceleme Raporu” hazırlanmıştır (Olgun, 1990).

1993 yılında, Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü tarafından, Yoncalı Sulaması İsale Tüneli güzergâhının 1/5.000 ölçekli topoğrafik ve jeolojik haritaları hazırlanmış, tünel güzergâhında açılacak olan “Temel Etüt Sondajları Talimatı”nı hazırlamış ve sondaj çalışmalarını 1994 yılında tamamlamıştır (Eyüboğlu, 1993).

1994 yılında Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü tarafından, “Malatya - Yoncalı Projesi Sulama Tüneli Mühendislik Jeolojisi Planlama Raporu” kapsamında tünel

güzergâhının, 1/25.000, 1/10.000 ve 1/5.000 ölçekli ayrıntılı mühendislik jeolojisi haritaları hazırlanmış ve kesitleri hazırlanmıştır (Eyüboğlu, 1994) .

Gürocak (1999), Malatya ili Yazıhan ilçesi sınırları içerisinde, Yağca Çayı üzerinde inşa edilmiş Boztepe Barajı eksen yerinde yüzeyleyen kayaların jeomekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışmıştır.

Sönmez (2004), çalışmasında inceleme alanının da içerisinde kaldığı bölgenin stratigrafik ve tektonik özelliklerini incelemiştir.

2015 yılında DSİ 9. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve YAS Şube Müdürlüğü tarafından ilave sondaj çalışmaları yapılarak elde edilen veriler ışığında, “Malatya-Yoncalı Sulaması İsale Tüneli Kesin Proje Aşaması Jeoteknik Etüt Raporu” hazırlanmıştır.

1.3. Projenin Genel Özellikleri ve İsale Tüneli Proje Karakteristikleri

Malatya İli, Arguvan İlçesine bağlı Yoncalı Köyünün yaklaşık 2 km doğusunda Yoncalı Deresi üzerinde projelendirilen ve yapımına başlanan Yoncalı Barajı’nın göl alanından alınacak olan su yaklaşık 9.262,50 metre uzunluktaki bir tünel ile Arguvan ovasına iletilecektir. Böylece, Arguvan ilçe merkezi ve çevre köylerine ait brüt 17.115 hektar tarım arazisinin basınçlı borulu sulama sistemi damla/yağmurlama ile sulanması gerçekleştirilecektir. Yoncalı Barajı kapsamında inşa edilecek olan isale tünelinin proje karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

Tünelin uzunluğu: 9+262.50 km

Tünel çapı ve tipi: 4.50 m iç çapında dairesel kesit

Tünelin giriş kotu: 1293.66 m

Tünelin çıkış kotu: 1291.81 m

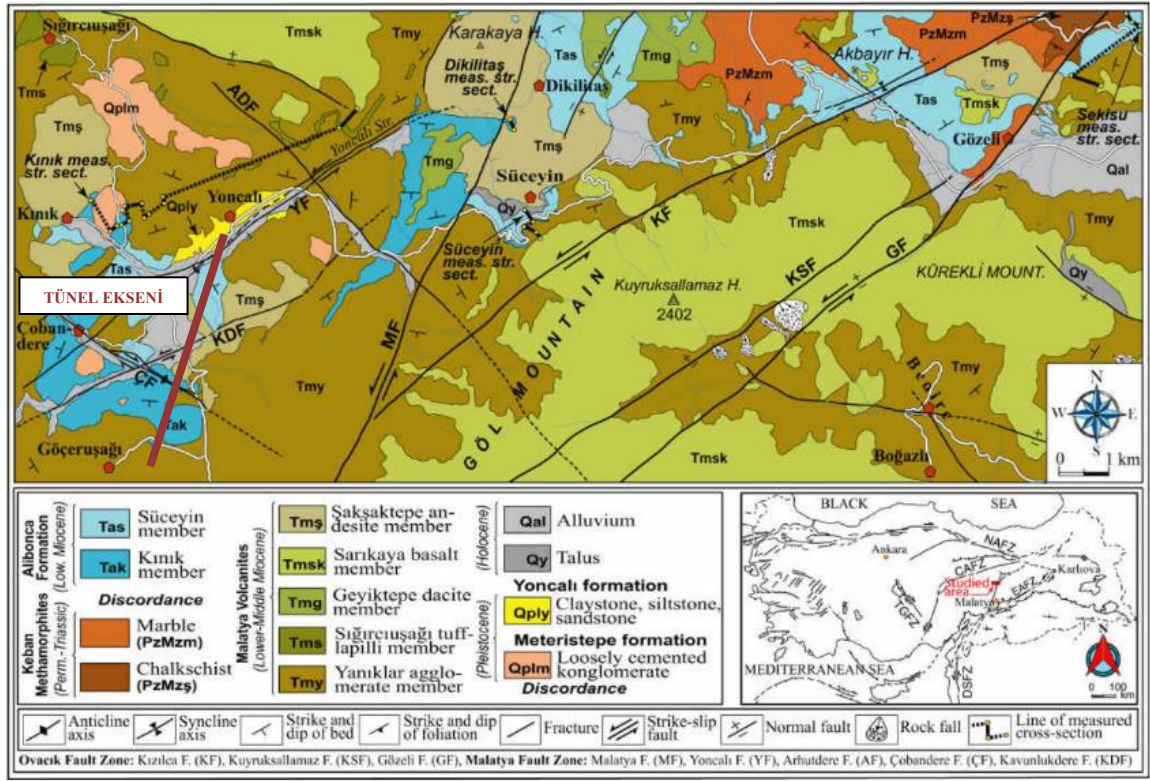
Tünelin eğimi: 0.0002

Tünelin kullanım şekli: Basınçlı

2. GENEL JEOLojİ

Tünel güzergâhının yer aldığı Malatya ili Arguvan ilçesi ve yakın çevresinin jeolojisi pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş olup yapılan bu çalışmalarda Paleozoyik'ten başlayarak Senozoyik'e kadar değişen yaşlara sahip formasyonların yüzeyletiği ortaya konulmuştur. Tünel güzergâhı ve yakın çevresinde yüzeyleme veren formasyonlar yaşlıdan gence doğru aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür. Bölgede tabanda Alt Triyas - Alt Permiyen yaşlı meta-kumtaşı, meta-fillit, kalkfilit, kalkşist, kristalize kireçtaşı ve mermer litolojisinden oluşan Keban Metamorfikleri yer almaktadır. Bu metamorfikler üzerine bölgede yüzeyleme vermeyen ancak araştırma sondajlarında kesilen ve uyumsuz olarak Keban Metamorfikleri üzerine gelen kumtaşı-şeyl-kiltaşı litolojisindeki Üst Kretase yaşlı Hekimhan Formasyonu gelmektedir. Hekimhan Formasyonu üzerine uyumsuz olarak Alt Miyosen yaşlı konglomera, kumtaşı, silttaşı, marn ve kireçtaşı litolojisindeki Alibonca Formasyonu gelmektedir. Bölgede en geniş yüzeylemeye sahip formasyon Orta-Üst Miyosen yaşlı karasal özellikteki Malatya (Yamadağ) Volkanitleri'dir. Bu volkanitler dasit, bazalt, aglomera ve tüfitlerden oluşmaktadır. Bölgede yüzeyleyen birimleri uyumsuz olarak çakıltası ile ara katmanlar halindeki kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan Pliyo-Kuvaterner yaşlı Meteristepe Formasyonu ve yine aynı yaşlı kumtaşı, silttaşı ve kiltası litolojisindeki Yoncalı Formasyonu örtmektedir. Çalışma alanındaki en genç birimler yamaçlarda yüzeyleme veren köşeli tutturulmamış blok, çakıl, kum ve silt boyutundaki güncel yamaç molozu ve dere yataklarında yüzeyleme veren tutturulmamış, yuvarlaklaşmış blok, çakıl, kum ve silt boyutundaki güncel alüvyonlardır.

Sönmez ve Aksoy (2017) tarafından yapılan çalışmalarda inceleme alanının da içerisinde kaldığı bölgenin genel jeoloji haritasını hazırlamışlardır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Sönmez ve Aksoy, 2017).

2.1. Stratigrafi

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yüzeyleyen birimler yaşlıdan gence doğru şu şekilde sıralanmaktadır;

- A- Alt Triyas - Alt Permien yaşlı Keban Metamorfikleri (PzMzk),
- B- Üst Kretase yaşlı Hekimhan Formasyonu (Khş),
- C- Alt Miyosen yaşlı Alibonca Formasyonu (Ta),
- D- Orta - Üst Miyosen yaşlı Malatya Volkanitleri (Tm),
- E- Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler ise Meteristepe Formasyonu (Qplm), Yoncalı Formasyonu (Qply), yamaç molozları (Qy) ile güncel alüvyonlar (Qal)

İnceleme alanı ve yakın çevresine ait bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesitinin hazırlanmasında Sönmez (2004) tarafından yapılan çalışmada hazırlanmış olan genelleştirilmiş stratigrafik kesit esas alınmıştır (Şekil 2.2).

YAŞ				LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
Ü.Sist	Sistem	Seri	Birim		
SENOZOYİK	TERSİYER	KUVATERNER	HOLOSEN (GÜNCEL)		Alüvyon (Çakıl, kum, silt) Yamaç molozu Düzlensel çapraz tabakalı kumtaşı, silttaşı Gevşek tutturulmuş çakıltası
			PLEYİSTOSEN		
		NEOJEN	ALT ÜST		
			METERS TEPE FORM		
			ÜST		Kırıklı çatlaklı, kırmızı, koyu kahve renkli bazalt
			ORTA	MALATYA VOLKANİTLERİ	Sarımsı bej renkli, çok ayrışmalı, bol kırıklı çatlaklı, tabakamsı yapılı dasit Kalın tabakalı, bej renkli, tır-lapillitaşı Masife yakın tabakalı, çoğunlukla köşeli bazalt-andezit çakıl ve blokları içeren aglomera
			ALT	ALIBONCA FORMASYONU	Killi kireçtaşı, marn Tüfit Orta - kalın tabakalı, üst seviyeleri rıplı marklı ve bol fosilli kireçtaşı
					Kömür tabakaları Çört ara seviyeleti, çört yumruları ve kömür tabakaları da içeren beyaz renkli killi kireçtaşı, karbonatlı kiltası, çamurtaşı
					Kömür tabakaları Çört
					Merceksi geometrilili konglomera içeren, kumtaşı-kiltası-tüfit ardalanması
					Kumtaşı - Şeyl ardalanması
MEZOZOYİK	KRETASE	JURA	ÜST	HEKİMHAN FORMASYONU	
	DEVONİYEN	ORTA		KEBAN METAMORFİTLERİ	Masif, çok kırıklı, karstlaşmalı, beyaz gri renkli mermer Kahverengimsi sarı renkli kalkışist, kalkfillit

Şekil 2.2. İnceleme alanının genelleştirilmiş ölçeksiz stratigrafik kesiti (Sönmez, 2004'den değiştirilerek alınmıştır)

2.1.1. Keban Metamorfikleri (PzMzk)

Birim ilk olarak Özgöl (1976) tarafından yapılan çalışmada, Batı Toroslar'da görölün Alanya Birliđine dâhil edilerek adlandırılmıştır. Sonraki yıllarda bölgede yapılan çalışmalarda bu metamorfik kayalar için Keban Metamorfikleri adı kullanılmıştır.

Özellikle Elazığ'ın doğu ve kuzey kesimlerinde ve Elazığ'a bağlı Keban ilçesi civarında yüzeylemektedir. Keban Metamorfikleri ilk defa Kipman (1976, 1981) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiş ve metamorfikler yaşıdan gence doğru; mermer, rekristalize kireçtaşı-kalkışist, meta-konglomera ve kalkfillit formasyonlarına ayrılmıştır. Kaya (2001) tarafından Keban Metamorfikleri'nde yapılan çalışmada ise birbirleriyle stratigrafik olarak uyumlu olan birimler yaşıdan gence doğru; Erken Permiyen yaşı Arapgir rekristalize kireçtaşları, Geç Permiyen yaşı Nimri Formasyonu, Permo-Triyas yaşı Keban mermeri ve Geç Triyas yaşı Delimehmet Formasyonu olarak ayırt edilmiştir. Kaya (2001), Keban mermeri üyesinin Keban ilçesi yakın çevresinde Nimri Formasyonu üzerine uyumlu olarak geldiğini ve Fırat nehri'nin doğusunda yüzeyleme sunduğunu belirtmektedir. Oldukça masif, beyaz-sarımsı renklerde ve çatlaklı bir yapıya sahiptir. Üye her zaman mermer özelliği sunmamakla birlikte bazı seviyelerinde rekristalize kireçtaşı özelliğine sahiptir. Kipman (1976, 1981), rekristalize kireçtaşları içerisinde bulduğu fosile dayanarak Keban Metamorfikleri'ne Permo-Karbonifer, meta-konglomera-kalkfillit formasyonuna ise Triyas yaşıını vermiştir.

Keban Metamorfikleri'nin oluştuğu platform, Erken Permiyen'den Geç Triyas'a kadar sakin ve sığ denizel bir ortam özelliğindedir. Keban Metamorfikleri'ni oluşturunacak olan kalın karbonat çökelimleri bu süreçte meydana gelmiştir. Keban Metamorfikleri Permo – Triyas'ta çökelmiş şelf tipi karbonat ve kırıntılılardan oluşmaktadır. Formasyon yeşil şist fasiyesinin düşük derecelerinde metamorfizmaya uğramıştır. Ancak gerek Keban ve gerekse Pertek civarında amfibolitlerin görölmesi, metamorfizma şiddetinin yer yer orta dereceye (amfibolit fasiyesi) çıkmaktadır (Akgöl, 1987).

Kaya (2016), Keban Metamorfikleri'nde yaptığı çalışmada yeni fosil bulgularına dayanarak metamorfiklerin yaşıının Orta Devoniyen-Jura olduğunu ortaya koymuştur.

İsale tüneli güzergâhında yüzeyleme vermeyen Keban Metamorfitleri, inceleme alanının doğu-kuzeydoğu kesimlerinde Suceyin Köyü ile Gözeli Köyü arasında kalan bölgede sık eklemli, sarımsı renkli mermer litolojisi ile yüzeyleme vermektedir.

Gözeli civarında birime ait mermerler, Malatya volkanitleri'nin aglomeralarıyla Gözeli Fayı boyunca tektonik dokunaktadır. Eğim atım bileşeni de olan bu fayla, güneydoğu bloğu çökmüş ve bu blokta yer alan Malatya volkanitleri ile Keban Metamorfitleri karşı karşıya gelmiştir (Sönmez, 2004).

2.1.2. Hekimhan Formasyonu (Kh)

İnceleme alanının bulunduğu bölgede Akkuş (1970) tarafından yapılan çalışmada, Tohma Resifi olarak adlandırılan kayaçların üst kesimlerinde yer alan genellikle, kumlu marn, kırmızı renkli konglomera, kumtaşı ve şeyl ardalanmasından oluşan birimler Ulupınar Formasyonu olarak tanımlamıştır. Bölgede sonraki yıllarda Bozkaya ve Yalçın (1991) tarafından yapılan çalışmalarda birim; Yiğitler Formasyonu, Kösehasan Formasyonu ve Boyalıdere Formasyonu olacak şekilde 3 ayrı formasyona ayırmış ve yaşını Üst Mestrihtiyen olarak belirtmişlerdir. Özdemir ve Tunç (1993) ile Gürer (1994) yapmış oldukları çalışmalarda birimi Hekimhan Formasyonu olarak adlandırılmışlardır. Bu araştırmacılar Hekimhan Formasyonunu; Kuşkaya Üyesi, Çoraklı Üyesi ve Yığma Üyesi olacak şekilde 3 üyeye ayırmıştır. Özdemir ve Tunç (1993) tarafından yapılan biyostratigrafik çalışmalar sonucunda formasyonun Kampaniyen-Meagrihtiyen yaşlı olduğunu ve derin deniz ortamında çökeldiğini belirtmişlerdir.

Yoncalı isale tüneli güzergahında mostrasına rastlanılmayan bu formasyona ait kayaçlara Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü tarafından tünel eksenini üzerinde 1993 yılında açılmış olan temel sondaj kuyularında 52.00 - 140.00 metre derinlikleri arasında rastlanılmıştır. İnceleme alanında Keban Metamorfitleri üzerine uyumsuz olarak gelen Hekimhan Formasyonu gevşek çimentolu kumtaşı-şeyl-kiltaşı litolojisinden oluşmaktadır.

2.1.3. Alibonca Formasyonu (Ta)

Birim, Alibonca Formasyonu adıyla Soyutürk (1973) tarafından Muş İli'nin kuzeybatısında Alibonca yöresinde tanımlanmıştır. Daha sonra Elazığ dolaylarında yapılan çalışmalarda (Asutay, 1985, 1987; Sungurlu vd., 1985; Asutay vd., 1986; Kürüm, 1987;

Turan, 1984; Turan ve Bingöl,1991; Kürüm, 1994; Türkmen vd., 1998; Türkmen ve Aksoy, 1998; Sönmez, 2004) aynı isim kullanılmıştır. Alibonca Formasyonu üzerinde çalışmalar yapan bu araştırmacılar formasyonu Çobandere Üyesi, Kınık Üyesi ve Suceyin Üyesi olmak üzere üç üyeye ayırmışlardır.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde çalışmalar yapan Sönmez (2004), formasyonun Çobandere Köyü'nün güneybatısındaki Davaryatağı Tepe'de Malatya Volkanitleri'ne ait tüfit ve aglomeralar tarafından uyumlu olarak örtüldüğünü ifade etmiştir.

İnceleme alanının güneybatısında, Çobandere Köyü çevresinde yüzeyleyen, kırmızı kilaşı, çamurtaşı ve kömür bantları içeren silttaşı ardalımalı birimler, Alibonca Formasyonunun Çobandere Üyesini oluşturmaktadır. Tünel güzergâhı üzerinde yapılan arazi çalışmalarında, tünel eksenine ve yakın çevresinde yüzeyde mostra vermemiş olan bu birime Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondajlarda rastlanmamaktadır.

İnceleme alanı ile tünel güzergahının doğusunda yer alan Kınık mahallesi arasında yüzeyleme veren killi kireçtaşı ve marn ardalıması şeklindeki kayalar Alibonca Formasyonu'nun Kınık Üyesini oluşturmaktadır. Bölgedeki yoğun tektonizmanın etkisiyle birim, birbirinden kopuk, dar alanlarda yüzeyleme göstermiştir. İnceleme alanı ve yakın çevresinde çalışmalar yapan Sönmez (2004), birimin Çobandere Üyesi'nde olduğu gibi Kınık Mahallesi doğusundaki Killik Dere doğu yamacında Malatya Volkanitleri'ne ait tüfit ve aglomeralar tarafından uyumlu olarak örtüldüğünü ifade etmektedir.

Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondajlarda bu üyeye ait kayalar kesilmiştir, dolayısıyla Kınık Formasyonu'na ait marn ve kireçtaşları içerisinde tünel kazısı yapılacaktır.

Tünel girişinin yer aldığı Yoncalı Köyü'nün yaklaşık 4 km doğusunda Suceyin Köyü civarında Alibonca Formasyonunun Suceyin Üyesi'ne ait orta, kalın tabakalı, gri renkli, algli ve bentik foraminiferli kireçtaşı birimleri yüzeyleme vermektedir. İstifin tabanı, özellikle Suceyin Köyü'nün güney kesimlerinde, yamaç molozu ve alüvyonlarla örtülü olduğu için gözlenememektedir. Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondajlarda bu üyeye rastlanmamaktadır.

2.1.4. Malatya Volkanitleri (Tm)

Karasal ortam ürünü olan bu birimde çalışma yapan araştırmacılar birimi farklı şekillerde adlandırmışlardır. Yılmaz vd. (1991), Bozkaya ve Yalçın (1992), Görmüş (1993), Gürer (1994), Gürocak (1999) çalışmalarında birimi Yamadağ Volkanitleri olarak isimlendirmişlerdir; Ercan ve Asutay (1993), Türkmen vd. (1998), Türkmen ve Aksoy (1998) çalışmalarında birimi Malatya Volkanitleri olarak isimlendirmişlerdir.

Alibonca Formasyonu'nu oluşturan sedimanter birimlerin üzerine Orta-Üst Miyosen yaşlı karasal ortamın volkanik kökenli aglomera, tuf- lapillitaşı, dasit ve bazalt birimlerinden oluşan Malatya Volkanitleri gelmektedir. İnceleme alanında izlenen bu birimler ilk olarak Ercan ve Asutay (1993) tarafından yapılan çalışmada Malatya ilinin kuzeyindeki Arguvan ve Arapgir ilçe merkezleri arasında geniş alan kapsayan volkanitler için kullanılmıştır.

Malatya ilinin kuzey kesimlerinde geniş alanlarda yüzeyleyen bu formasyonun, bölgede araştırmalar yapan farklı yerbilimciler tarafından çoğunlukla Malatya Volkanitleri ismiyle incelenmiş olması nedeniyle bu çalışmada da Malatya Volkanitleri isminin kullanılması benimsenmiştir. Sönmez (2004), çalışmasında özellikle Yoncalı Köyü ve civarında yüzeyleyen aglomeraların, çoğunlukla bazaltik, yer yer de andezitik bileşimli tuf hamuru içerisinde, genellikle yarı köşeli ve köşeli, nadiren de yuvarlaklaşmış bazalt ve andezit çakıllarından oluşan kaba tabakalanmalı bir özellik gösterdiğini ifade etmiştir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde farklı litolojilerde mostra veren Malatya Volkanitleri'ne ait aglomeralar en geniş yayılıma sahip kayaçlardır. Aglomeralar içerisinde ise ara seviyeler halinde yüzeyleyen tüfler ve aglomeraları üzerleyen bazaltik lav akıntıları bulunmaktadır.

İnceleme alanında Yoncalı Köyü ve çevresinde geniş yayılım gösteren aglomeraların, koyu kahverengi, kırmızıya yakın kahverengi, koyu gri ve yer yer de morumsu renklerde olduğu gözlemlenmiştir.

İnceleme alanının yer aldığı Yoncalı Köyü'nün özellikle kuzeydoğu kesimlerinde kırmızı, kahverengi, ve gri renklerde gözlenen ve inceleme alanının çoğu kesiminde aglomeraları örten bazaltlar genellikle yüzeylemelerinde bol kırıklı ve çatlaklı bir yapıya sahiptirler. Birime ait kayaçlarda genellikle gaz boşlukları gözlemlenmiştir.

Aşırı derecede ayrıışmış, çok kırıklı çatlaklı dasitler ise Yoncalı köyü ile Suceyin Köyü'nün batısında Geyik Tepe civarında kalan dar bir alanda yüzeyleme vermektedir.

Malatya Volkanitleri'ne ait genellikle sarımsı rengi ve ince taneli oluşuyla belirgin tüfler, inceleme alanının özellikle kuzey kesimlerinde Sığircıuşağı Köyü ve civarı ile tünel çıkışının bulunduğu Kömürlük Köyü civarında yüzeyleme vermektedir.

2.1.5. Meteristepe Formasyonu (Qplm)

İnceleme alanında Yoncalı ile Kınık köylerinin kuzey kesimlerinde yüzeyleyen birim farklı araştırmacılar tarafından farklı isimler verilerek tanımlanmışlardır. Yoncalı ve Meteristepe Formasyonlarını tek formasyon olarak değerlendiren Gözübol ve Önal (1986) ve Gürocak (1999) bu birime Beylerderesi Formasyonu adını vermişlerdir. Örçen (1986) birime Mordere Formasyonu, Akkuş (1971) Çaybaşı Formasyonu ve Gürer (1994) ise Ağbayır konglomerası adını vermişlerdir. Sönmez (2004) tarafından yapılan çalışmada formasyona Meteristepe Formasyonu adı verilmiştir.

İnceleme alanında geniş yayılıma sahip olan birim olan birim Malatya Volkanitleri'ni uyumsuz olarak örtmektedir. Gürocak (1999) formasyonun genel olarak çakıltası ile ara katmanlar halindeki kumtaşı ve çamurtaşlarından oluştuğunu, çakıltalarının sarımsı - açık kahverenkli, kötü boylanmalı ve orta- kalın düzensiz tabakalı olduğunu ve çoğunlukla kireçtaşlarından ve volkanik kayalardan, daha az olarak da ofiyolitik ve metamorfik kayalardan türediğini belirtmektedir.

Stratigrafik konumu göz önüne alınarak Pliyokuvaterner yaşı verilen Meteristepe formasyonu, inceleme alanında gevşek tutturulmuş, masif çakıltılarından oluşmaktadır. İyi çimentolanmamış olmasından dolayı inceleme alanında taze yüzeylemesi pek gözlenemeyen birim, çoğunlukla çakıllardan oluşan ayrışma malzemesi görünümündedir. Birimin çakıllarını ise çoğunlukla andezit, daha az olarak da bazalt oluşturmaktadır. Silt ve kil boyutunda malzemenin birbirine gevşekçe bağladığı bu çakıllar orta derecede yuvarlaklaşmışlardır (Sönmez, 2004).

2.1.6. Yoncalı Formasyonu (Qply)

İnceleme alanında Meteristepe Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelen ve Yoncalı köyü ile civarında çok dar bir alanda yüzeyleyen bu birim ilk kez Sönmez (2004) tarafından yapılan çalışmada incelenerek Yoncalı Formasyonu olarak adlandırılmış ve haritalanmıştır.

Birim, büyük ölçekli düzlemsel çapraz tabakalanmalarla belirgin, zayıf çimentolu kumtaşı, kiltası ve silttaşı boyutundaki malzemeden oluşmaktadır. Büyük ölçekli düzlemsi çapraz tabakalı kumtaşı fasiyesleri yanall olarak laminalı ve yer yer dalga ripillı kumtaşı ve silttaşına geçer. Laminalı-ince tabakalı birim, iyi sıkılaşmamış olması nedeniyle, oldukça dayanımsızdır.

2.1.7. Yamaç Molozu (Qy)

İnceleme alanında yamaçlarda bulunan kayaların çeşitli sebeplerle aşınması, ayrışması ve parçalanması sonucunda bulunduğı yerden ayrılarak yerçekiminin etkisiyle yamaçların etek kısımlarında depolanması ile yamaç molozu oluşmuştur. Birime ait elemanlar farklı boyutta, köşeli ve çimentolanmamıştır. Birim yamaçlarda yüzeyleme veren daha yaşlı birimleri uyumsuz olarak örtmektedir.

2.1.8. Alüvyonlar (Qal)

İnceleme alanında en genç birimi Kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturmaktadır. Birim, farklı kökene sahip blok, çakıl, kum, silt ve kil boyutundaki malzemelerden oluşmaktadır ve dere yataklarında daha yaşlı birimleri uyumsuz olarak örtmektedir.

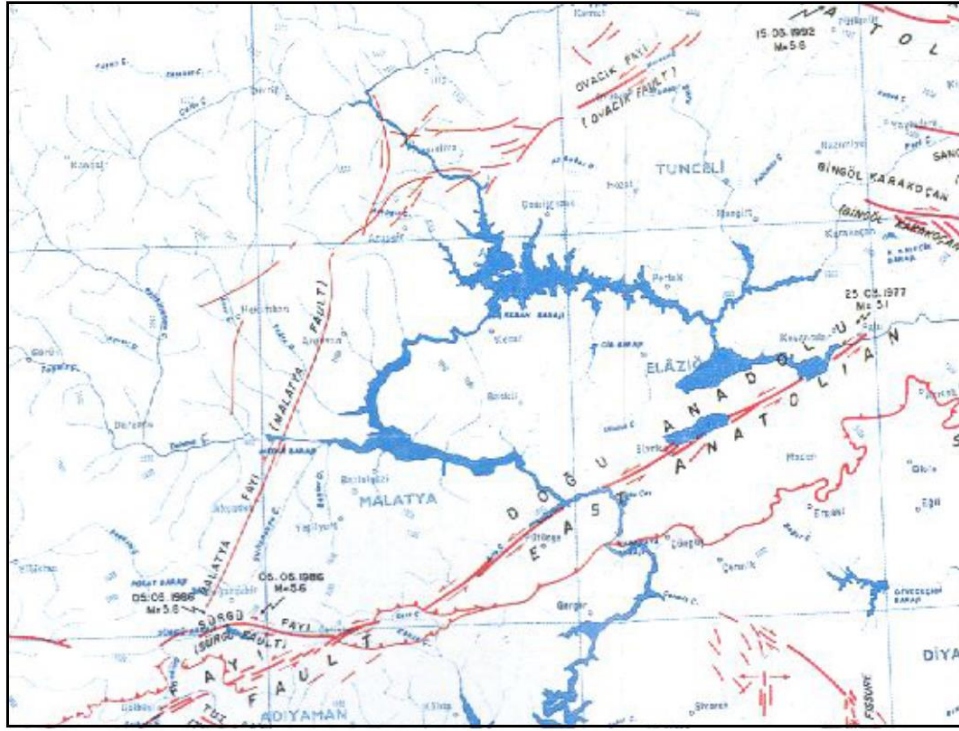
2.2. Yapısal Jeoloji

Ülkemizin üzerinde yer aldığı Doğı Toros Orojenik Kuşağı, Üst Kretase'den itibaren bölgede etkili olan sıkışma ve çekilme gerilmelerinin etkisi altında kalmıştır. Bölgede etkili olan bu gerilmeler sonucunda faylar, kıvrımlar ve eklemler oluşmuştur (Ketin,1966).

Farklı araştırmacılar tarafından uzun yıllar boyunca yapılan çalışmalar (Yazgan, 1981, 1983, 1984; Yazgan vd., 1987; Perinçek, 1979; Şengör, 1980; Yazgan ve Asutay, 1981) kuzeye doğru hareket eden Afrika-Arap Levhasının, kısmen durağan Avrasya levhasına doğru olan bu hareketine bağlı olarak Avrasya levhasının altına daldığını ortaya koymuştur. Bu çalışmalara göre ülkemizin üzerinde bulunduğu Anadolu levhası ise kuzeyde Avrasya, güneyde Afrika-Arabistan levhaları arasında kalmakta ve bu iki levhanın hareketlerine bağlı olarak K-G yönlü sıkışma gerilmelerine maruz kalmaktadır. K-G yönlü bu sıkışma etkisi ülkemizin tektonik gelişimini şekillendirmiştir.

Şengör (1979)'a göre Permo-Trias'ta Pontit (kuzey ve kuzeybatı Anadolu Sıradağları), Anatolid (İç Anabadolu Sıradağları), Torid (Toroslar Güney ve Doğu Anadolu Sıradağları) ve Güneydoğu Anadolu dizilerinin (Güneydoğu Anadolu Sıradağları) oluşumunu kapsayan eski tektonik dönem (Paleotektonik) orta-üst Miyosen'de sona ermiştir. Araştırmacı Avrasya-Arap levhalarının yakınlaşmasının ve yaklaşık 15 milyon yıl önce Bitlis Bindirme Kuşağı boyunca çarpışması ile yeni tektonik dönem (neotektonik) başladığını belirtmektedir. Şengör (1979)'a göre bugün Anadolu'da gözlenen tüm genç ve etkin tektonik hareketler, kırık kuşakları ve deprem etkinliği 15 milyon yıl önce başlayan ve günümüzde de devam eden çarpışma mekanizmasının ürünüdür. Bu mekanizmanın doğurduğu basınç ve gerilme, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay kuşakları boyunca batıya doğru yanal kayma hareketlerine neden olmuştur. Afrika levhasının bir parçası durumunda olan Arap levhası, Avrasya levhasına doğru kuzeye doğru hareket etmekte ve Doğu Anadolu bölgesini sıkıştırmaktadır. Söz konusu bu sıkışmanın etkisi ile Anadolu levhası; Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerindeki kaymanın getirdiği kolaylıkla batıya doğru hareket etmektedir (Şekil 2.3)

İnceleme alanı Doğu Toros Orojenik kuşağı içerisinde yer almaktadır. Sönmez (2004) inceleme alanı ve yakın çevresinde yapmış olduğu çalışmada bölgedeki tektonik yapıları Gözeli Fayı, Kuyruksallamaz Fayı ve Kızılca faylarından oluşan Ovacık Fay Zonu ile Kavunlukdere Fayı, Yoncalı Fayı, Çobandere Fayı ve Arhutdere faylarından oluşan Malatya Fay Zonu olarak sıralamaktadır.



Şekil 2.3. Çalışma alanı ve çevresindeki dir kırıklar (MTA, 1992)

2.2.1. Faylar

2.2.1.1. Ovacık Fay Zonu

Sol yanal atımlı Ovacık Fay Zonu ilk olarak Arpat ve Şaroğlu (1975) tarafından tanımlanmıştır. Araştırmacılar, çalışmalarında Ovacık Fayının Munzur Dağı'nın güney eteğinde genç çökeltileri kestğini, Ovacık yakınlarında fayın kuzeydoğuya ve güneybatıya uzanımının arazide belirgin olmadığını ancak, hava fotoğraflarında belirgin olduğunu dile getirmiş ve fayın kuzeydoğu uzanımının heyelanlı bir bölgeye girerek izlenilebilirliğini kaybettiğini belirtmişlerdir. Sönmez (2004) tarafından yapılan çalışmada, inceleme alanı ve yakın civarında Ovacık Fayı Zonunun birbirine paralel ve yarı paralel üç ayrı faydan oluştuğu ifade edilmiş ve alan içerisinde KD-GB doğrultusunda uzanan bu kollar, kuzeyden güneye doğru sırasıyla Kızılca Fayı, Kuyruksallamaz Fayı ve Gözeli Fayı olarak adlandırılmıştır.

2.2.1.2 Malatya Fay Zonu

Bu fay zone, ilk olarak Aktimur (1979) tarafından yapılan çalışmada, uydu fotoğrafları kullanılarak Malatya Fayı olarak isimlendirilmiştir. İnceleme alanı ve yakın civarında araştırmalar yapan Sönmez (2004) çalışmasında, Malatya fayının tek bir fay

segmentinden ibaret olmayıp, ana faya sentetik ve antitetik önemli fay kollarından oluştuğunu, bu nedenle Malatya Fayı'nın "Fay zone" olarak değerlendirilmesi benimsenmiştir. Araştırmacı yine aynı çalışma kapsamında Malatya Fay Zonu'nun, Malatya Fayı ile bu ana faya sentetik Kavunlukderesi Fayı ve Yoncalı Fayları ile ana faya antitetik Çobandere Fayı ve Arhutdere Fayı'ndan oluştuğunu ifade etmiş ve bu fayları Şekil 2.1. de yer alan çalışma alanı ve yakın çevresine ait jeoloji haritasına işlemiştir.

İsale tüneli ve yakın çevresinde tespit edilmiş olan bu faylardan GB-KD doğrultulu Malatya Fayı, tünel güzergâhının ortalama 4 km güneydoğusundan geçmektedir. Bu fay zonuna ait Yoncalı fayı, İnceleme alanının kuzeydoğusundan başlayarak güneybatıya doğru Yoncalı Deresinin aktığı vadi içinde ve vadiye paralel olacak şekilde yerleşmiş olan fay, tünel eksenini 0+450 km ve 0+500 km arasında bölgede dik veya dike yakın konumda kesmektedir.

Kavunlukderesi Fayı, inceleme alanı sınırları içerisinde yer alan Kavunluk Mezrası civarında başlayarak GB-KD yönünde bir uzanım göstermekte ve Yoncalı Fayında olduğu gibi 5+850 km ve 5+900 km civarında tünel eksenini dik veya dike yakın konumda kesmektedir.

Doğrultu atımlı sağ yönlü bir fay olan Çobandere Fayı, Sönmez (2004) tarafından yapılan çalışma kapsamında KB-GD yönünde haritalanmıştır. Sönmez tarafından haritalanmış olan bu fayın isale tünelinin çıkış bölgesine yakın kesimlerde tünel eksenini dik veya dike yakın konumda keseceği düşünülmektedir.

İnceleme alanı içerisinde ve yakın çevresinde yer alan fayların etkisiyle kayalar parçalanmış ve ezilmiş olduğundan tünelin açımı sırasında özellikle fay hatlarının kesileceği kilometrelerde kemerlenme ve aşırı sökülme gibi problemler fazla olacaktır.

2.2.2. Tabakalanma

İnceleme alanı ve yakın çevresinde Hekimhan Formasyonu ve Alibonca Formasyonu'na ait birimler ile Malatya Volkanitleri'ne ait tuf ve aglomeraların tabakalı bir yapı sunduğu gözlemlenmiştir.

Hekimhan Formasyonu'na ait kumtaşı-şeyl-kiltaşı litolojisindeki kayaçların bölgede yüzeylemesi olmamasına rağmen sondaj karotlarında yapılan gözlemlere göre iyi gelişmiş 6cm ile 20 cm arasında değişen tabakalanma yüzeylerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Alibonca Formasyonu'na ait killi kireçtaşları ve marnlar da iyi gelişmiş 8 cm -20 cm kalınlığa sahip tabakalanma sunduğu belirlenmiştir.

Malatya Volkanitleri'ne ait birimlerden aglomeralar ve tüfler kötü bir tabakalanma sunmaktadır. Aglomeralarda tabaka kalınlıkları 15-60 cm arasında değişirken, tüflerde gözlenen tabakaların 2cm ile 80 cm arasında olduğu belirlenmiştir.

2.2.3. Kıvrımlanma

Çalışmaya konu olan tünel güzergâhı ve yakın civarında yapılan çalışmalarda haritalanabilir ölçekte kıvrımlı yapıya rastlanmamıştır.

2.2.4. Eklemler

Bölgedeki aktif tektonizma nedeniyle, tünel güzergâhındaki birimler eklemlerle bir yapı kazanmışlardır. Özellikle Keban Metamorfitleri'ne ait mermerlerin farklı orojenik fazlarla çok sık gelişmiş eklemler içerdiği görülmektedir.

Hekimhan ve Alibonca formasyonlarında daha seyrek olarak gelişen eklemler, Malatya Volkanitleri'ne ait tüf ve aglomeralarda seyrek olmasına karşın bazalt ve dasitlerde çok iyi gelişmiştir.

2.2.5. Uyumsuzluklar

Alpin dağ oluşum hareketlerinin etkisinde kalan bölge; bu hareketlere bağlı olarak etkili olmuş orojenik fazların izlerini taşımaktadır. İnceleme alanına ait dikme kesitte de (Şekil 2.2) görüldüğü gibi, Meteristepe ve Yoncalı Formasyonları arasındaki kontak hariç diğer bütün formasyonlar arasında uyumsuzluk mevcuttur. Bu fazların tamamı Alpin Orojenezine ait daha çok epirojenik yükselmelerle temsil edilen fazlardır.

3. JEOTEKNİK İNCELEMELER

Malatya İli, Arguvan İlçesine bağlı Yoncalı Köyünün yaklaşık 2 km doğusunda Yoncalı Deresi üzerinde projelendirilen ve yapımına başlanan Yoncalı Barajının göl alanından alınacak olan su yaklaşık 9.262,50 m uzunluktaki bir tünel ile Arguvan ovasına iletilecektir. İsale tüneli 9.262,50 m uzunluğunda, 4.50 m çapında ve dairesel kesitli olarak planlanmıştır (DSİ, 2015).

Yoncalı Barajı isale tünelinin içerisinden geçeceği Hekimhan Formasyonu, Alibonca Formasyonu ve Malatya Volkanitlerine ait kaya kütlelerinin kazılabilme özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen jeoteknik çalışmalar; süreksizliklerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, jeoteknik amaçlı sondajlara ait karotların incelenmesi ve jeofizik çalışmaları kapsayan arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Süreksizliklerin mühendislik özellikleri hat etüdü yöntemi kullanılarak belirlenmiş, araştırma sondajlarından elde edilen karot örneklerinde RQD (Kaya Kalite Göstergesi) ve bozunma derecesi (W) belirlenmiş, laboratuvar da kaya malzemesinin fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir

Yoncalı Sulaması İsale Tüneli güzergâhında yüzeyleyen kayaçların kaya kütle özelliklerini özelliklerinin belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak, Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR), Kaya Kütle Kalitesi Sınıflama Sistemi (Q), ve Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) kaya kütle sınıflamaları yapılmıştır.

Bu çalışmada, DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından yaptırılan laboratuvar deneylerine ek olarak F.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Kaya ve Zemin Mekaniği Laboratuvarları'nda kayaçların fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerin belirlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır.

3.1. Araştırma Sondajları

Araştırma sondajları birimlerin jeolojik ve mühendislik özelliklerinin derinlikle değişimini belirlenmede kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu sondajlardan elde edilen veriler birimlerin jeolojik ve mühendislik özelliklerinin derinlikle değişimini belirlemede kullanılması ile birlikte laboratuvar çalışmaları için örnek derlenebilmesi ve yerinde deneylere imkân sağlaması açısından da oldukça önemli bir yere sahiptir.

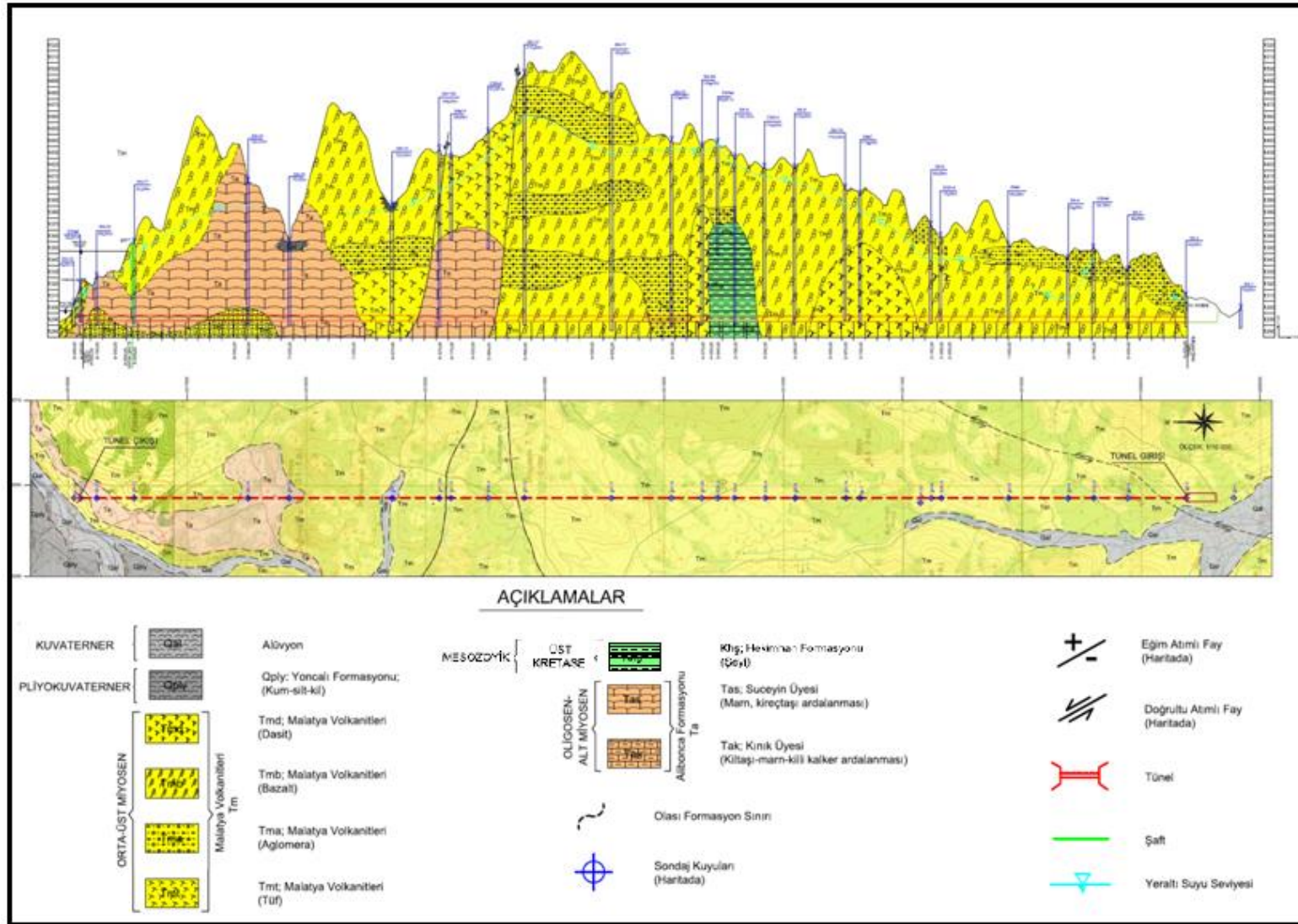
Yoncalı Barajı isale tüneli güzergahında DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından 1993 ve 1994 yıllarında 23 adet toplam 2193.20 metre derinliğinde araştırma sondajı açtırılmıştır. Bu araştırma sondajlarına ek olarak 2015 yılında tünel güzergahında 6 adet daha araştırma sondajı açtırılarak toplam 468.00 metre sondaj yapılmıştır.

Tünel güzergahında yapılan araştırma sondajları ve arazi çalışmaları sonucunda hazırlanan enine jeoloji kesitine (Şekil 3.1.) göre, tünel kazısı sırasında tünel girişinden çıkışına kadar karşılaşılabilecek birimler Tablo 3.1.'de verilmiştir. Şekil 3.1'e göre tünel kazısı Malatya Volkanitleri'ne ait bazalt, dasit, aglomera ve tüfler, Hekimhan Formasyonu'na ait şeyler, Alibonca Formasyonu'na ait marn ve kireçtaşları içerisinde yapılacaktır.

Tablo 3.1. İsale tüneli kazısı sırasında geçilecek olan formasyonlar

Formasyon	Km	Birim	Toplam uzunluk
Malatya Volkanitleri	0+000 – 2+488	Bazalt	2488.00 m
	2+488 – 3+141	Dasit	653.00 m
	3+141 – 3+579	Bazalt	438.00 m
Hekimhan Formasyonu	3+579 – 4+038	Şeyl	459.00 m
Malatya Volkanitleri	4+038 – 4+257	Dasit	219.00 m
	4+257 – 4+426	Aglomera	169.00 m
	4+426 – 5+826	Bazalt	1400.00 m
Alibonca Formasyonu	5+826 – 6+487	Marn	661.00
Malatya Volkanitleri	6+487 – 6+910	Tüf	423.00 m
Alibonca Formasyonu	6+910 – 7+769	Marn	859.00m
	7+769 – 8+083	Kireçtaşı	314.00 m
	8+083 – 9+050	Marn	967.00 m
	9+050 - 9+197	Kireçtaşı	147.00 m
	9+197 – 9+262	Marn	65.50 m

Bu çalışmada, araştırma sondajlarına ait karotlar incelenmiş, kaya kütlelerinin litolojik özellikleri, tünel kotundaki Kaya Kalite Göstergesi (RQD) değerleri ve bozunma dereceleri belirlenmiştir. Ayrıca, laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere karot örnekler derlenmiştir.



Şekil 3.1. Tünel güzergahının enine jeoloji kesiti (DSİ, 2015)

3.1.1. Kaya Kalite Göstergesi (RQD, %)

Deere (1964) tarafından önerilen ve kantitatif bir indeks olan RQD, bir ilerleme (manevra) aralığında doğal süreksizliklerle ayrılmış, boyu 10 cm ve daha büyük olan ve silindirik şeklini koruyan karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme (manevra) aralığının uzunluğuna oranıdır ve yüzde cinsinden ifade edilir. Sondaj sırasında yapılan zorlama veya karotların karotiyerden çıkartılırken, ya da sandığa yerleştirirken kırılması sonucu oluşan doğal olmayan mekanik kırıklar, RQD'nin tayininde dikkate alınmazlar. Mekanik kırıklar birleştirildiklerinde karotun boyu 10 cm ve daha büyükse, bu tür karotlar da RQD'ye dahil edilirler (Ulusay ve Sönmez, 2007).

$$\% \text{ RQD} = \frac{\text{10 cm ve daha büyük boylu karotların toplam uzunluğu}}{\text{İlerleme uzunluğu}} \times 100 \quad (3.1)$$

Tünel güzergahındaki kaya kütlelerine ait RQD değerleri belirlenirken tünel kazısının yapılacağı kot dikkate alınmış ve Deere (1964) tarafından önerilen RQD sınıflaması (Tablo 3.2) kullanılmıştır.

Tablo 3.2. RQD Sınıflamasına göre kaya kalitesi Deere (1964)

RQD (%)	Kaya Kalitesi
< 25	Çok zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok iyi

Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerinin ortalama RQD değerleri, temel sondajlara ait karot örneklerinin incelenmesi sonucunda Deere (1964)'e göre belirlenerek Tablo 3.2.'de verilmiştir. RQD hesaplamaları yapılırken tünel kotu dikkate alınmıştır. Yapılan sınıflamalara göre Malatya Volkanitleri'ne ait bazaltlar Zayıf-Çok Zayıf, dasitler Çok Zayıf-Orta, aglomeralar Zayıf, tüfler Çok Zayıf; Hekimhan Formasyonu'na ait şeyler Çok İyi; Alibonca Formasyonu'na ait marnlar Zayıf, kireçtaşları ise İyi-Zayıf kaya sınıfındadır.

Tablo 3.3. Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin ortalama RQD değerleri

Kaya Kütleli	Birim	Aralık (km)	Ortalama RQD (%)	Kaya Kalitesi
Malatya Volkanitleri	Bazalt	0+000 – 2+488	26	Zayıf
		3+141 – 3+579	15	Çok Zayıf
		4+426 – 5+826	44	Zayıf
	Dasit	2+488 – 3+141	18	Çok Zayıf
		4+038 – 4+257	73	Orta
	Aglomera	4+257 – 4+426	46	Zayıf
	Tüf	6+487 – 6+910	24	Çok Zayıf
Hekimhan Fm.	Şeyl	3+579 – 4+038	92	Çok İyi
Alibonca Fm.	Marn	5+826 – 6+487	30	Zayıf
		6+910 – 7+769	35	Zayıf
		8+083 – 9+050	49	Zayıf
		9+197 – 9+262	25	Zayıf
	Kireçtaşı	7+769 – 8+083	87	İyi
		9+050 – 9+197	32	Zayıf

3.1.2. Bozunma Derecesi (W)

Bozunma derecesi; kaya malzemesindeki renk ve dokusal özelliklerde meydana gelen değişimler göz önünde bulundurularak görsel olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlamalarda ISRM (2007) tarafından önerilen görsel tanımlama kriterleri kullanılmıştır (Tablo 3.4). Tünel güzergahındaki kayaların bozunma dereceleri ise Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.4. Kayaların bozunma derecesine göre sınıflandırılması (ISRM, 2007)

Tanım	Tanımlama Ölçütü	Bozunma Derecesi
Taze	Kayaçlarda bozunma gözlenmiyor, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi olabilir.	I
Az Bozunmuş	Kaya malzemesi ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeni ile tüm kayacın rengi değişmiş ve kaya taze halinden daha zayıf olabilir.	II
Orta Derecede Bozunmuş	Kayanın yarısından daha az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Kaya; taze yada renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	III
İleri Derecede Bozunmuş	Kayanın yarısından daha fazla bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Kaya; taze yada renk değişimine uğramış olup ya bir süreksiz kütle yada çekirdek taşı halindedir.	IV
Tamamen Bozunmuş	Kayanın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	V
Artık Zemin	Kayanın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla birlikte zemin taşınmamıştır.	VI

Tablo 3.5'e göre Malatya Volkanitleri'ne ait bazaltlar Orta-Az, dasitler Orta, aglomeralar Az ve tüfler ise Orta derecede bozunmuştur. Hekimhan Formasyonu'na ait şeyler Bozunmamış; Alibonca Formasyonu'na ait marnlar Az-Orta derecede bozunmuş iken kireçtaşları ise Bozunmamış'tır.

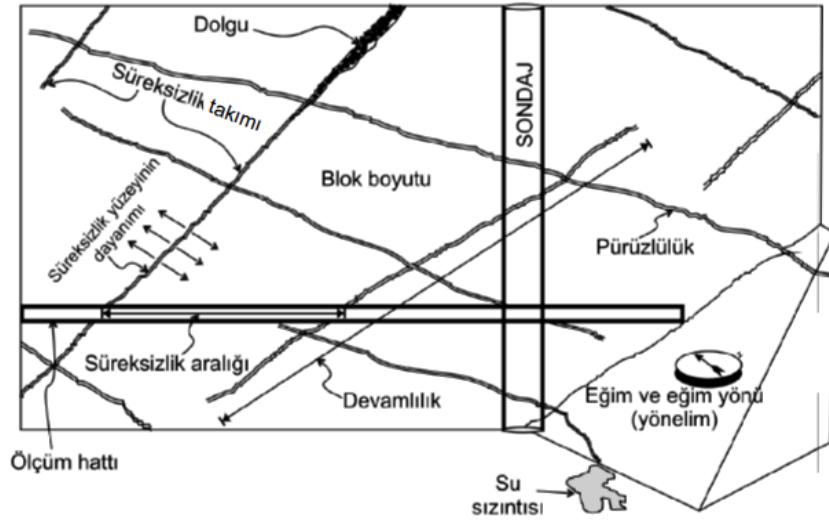
Tablo 3.5. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleri

Kaya Kütleli	Birim	Aralık (km)	Bozunma Derecesi (W)
Malatya Volkanitleri	Bazalt	0+000 – 2+488	W3
		3+141 – 3+579	W2
		4+426– 5+826	W3
	Dasit	2+488 – 3+141	W2
		4+038 – 4+257	W2
	Aglomera	4+257 – 4+426	W2
	Tüf	6+487 – 6+910	W3
Hekimhan Fm.	Şeyl	3+579 – 4+038	W1
Alibonca Fm.	Marn	5+826 – 6+487	W3
		6+910 – 7+769	W2
		8+083 – 9+050	W2
		9+197 – 9+262	W2
	Kireçtaşı	7+769 – 8+083	W1
		9+050 - 9+197	W1

3.2. Süreksizliklerin Mühendislik Özellikleri

Süreksizliklerin mühendislik özellikleriyle ilgili veri toplanmasında en doğru sonuçların alındığı yöntem olan hat etüdü yöntemi; Jennings (1970) tarafından önerilmiş ve daha sonra Piteau (1970) tarafından güncellenmiştir. Bu yöntem Fookes ve Denness (1969), Attewel ve Farmer (1976), Priest ve Hudson (1981) gibi araştırmacılar ile ISRM (1978) tarafından geliştirilmiş, bugünkü halini ISRM (2007) tarafından yapılan önerilerle almıştır.

Geniş bir alanda kaya kütlelerinin içerdiği süresizliklerden doğrudan ölçüm alınmasına olanak kılan bu yöntem ile uygun mostra yüzeyleri seçilmiş, ölçümler bir birine dik, birçok farklı hatlarda yapılmıştır. Ölçümler 2 ve 5 m lik hatlar şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümün yapılacağı hattın üzerine şerit metre serilmiş ve hattın başlangıç ve bitiş notları işaretlenmiştir. Şerit metre merkezde olmak üzere hattın 50 cm üzerinde ve altında kalan kısımlar esas alınarak süreksizliklerin mühendislik özellikleri ölçülmüş ve tanımlanmıştır. Yapılan etütler ile kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin yönelimi, ara uzaklığı, açıklığı, devamlılığı, pürüzlülüğü, dolgu malzemesinin özelliği, bozunma derecesi ve su durumu belirlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Ancak, tünel güzergahındaki Hekimhan Formasyonu, sadece araştırma sondajlarında kesildiği ve yüzeyleme vermediği için bu formasyonun içerdiği süreksizliklerin mühendislik özellikleri sondajlara ait karotlardan belirlenmeye çalışılmıştır.

3.2.1. Yönelim

Süreksizliklerin uzaydaki konumları genellikle eğim ve doğrultuları veya eğim ve eğim yönü ile tanımlanır. Jeolog pusulası ile ölçülen bu iki parametre özellikle genel jeoloji çalışmalarında esas alınmaktadır. Bir süreksizlik düzleminin, yatay düzlemle yaptığı açı eğim olarak nitelendirilir. Kuzeyden itibaren saat yönünde ölçülen ve kuzey yönü ile eğim çizgisinin yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki açı ise, eğim yönü açısı olarak tanımlanır. Bu değer, eğim/eğim yönü veya eğim yönü/eğim şeklinde ifade edilir. Süreksizlik yönelimi verileri, grafiksel olarak “stereografik izdüşüm” tekniği ile yada “histogramlar ve gül diyagramları” tekniğiyle değerlendirilirler.

Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklere ait yönelimler Tablo 3.6.’da verilmiştir.

Tablo 3.6. Kaya kütlelerinin içerdği süreksizliklerin mühendislik özelliklerine ait ortalama değerler

Süreksizlik Özelliği	KAYA KÜTLESİ						
	Malatya Volkanitleri				Hekimhan Fm.	Alibonca Fm.	
	Bazalt	Dasit	Aglomera	Tüf	Şeyl	Marn	Kireçtaşı
Tip	Eklem	Eklem	Eklem	Tabaka/Eklem	Tabaka/Eklem	Tabaka/Eklem	Tabaka/Eklem
Ana yönelim	192/78 3/71 287/67	205/80 14/74 266/72	188/82 24/69 270/75	280/15 41/65 266/70	150/20* 270/81 56/60	230/40 48/73 266/74	215/32 57/75 240/68
Aralık	20 cm	12cm	14 cm	8 cm	16 cm	10 cm	10 cm
Açıklık	1-2 mm	1-2 mm	1 mm	1 mm	Kapalı	Kapalı	Kapalı
Devamlılık	3-10m	3-10m	3-10 m	>20m	>20m	>20m	>20m
Pürüzlülük	Az pürüzlü	Az pürüzlü	Az pürüzlü	Az pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü
Dolgu	Kil	Kil	Kil	Kil	Yok	Yok	Yok
Bozunma	Orta	Orta	Orta	Bozunmuş	Orta	Bozunmuş	Bozunmuş
Su durumu	Nemli	Nemli	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru
*Sevimli (2009)'dan alınmıştır.							

3.2.2. Ara Uzaklığı

Kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin ara uzaklığı birbirine paralel bir süreksizlik setindeki iki süreksizlik arasındaki dik mesafedir (Ulusay ve Sönmez, 2007). Kaya kütlelerinin geçirgenliğini ve kaya kütlelerinde oluşan blokların boyutlarını denetler. Bu nedenle kaya kütlelerinin en önemli özelliklerinden biridir. Süreksizlik ara uzaklığı, mostra yüzeyinde süreksizlik doğrultusuna dik yönde serilen bir şerit metre boyunca gözlenen süreksizliklerin sayılması ile belirleneceği gibi, sondaj karotlarından da belirlenebilmektedir.

Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklere ait ara uzaklıklar Tablo 3.6’da verilmiştir.

3.2.3. Açıklık

Açıklık, bir süreksizlik yüzeyinin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik mesafe olarak tanımlanır (ISRM, 2007). Süreksizlik yüzeyleri kapalı olabileceği gibi su veya dolgu malzemesiyle doldurulmuş olabilir ve süreksizlik yüzeyi temiz ve kapalı ise diğer süreksizlik parametreleri jeoteknik tanımlama için yeterli olacaktır. Ancak süreksizlik yüzeyi açık ise bu açıklığın ölçülmesi gerekmektedir. Açıklığın ölçümünde milimetre ölçekli şerit metrelerden yararlanılacağı gibi, daha hassas mikrometrelerden de yararlanılabilir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

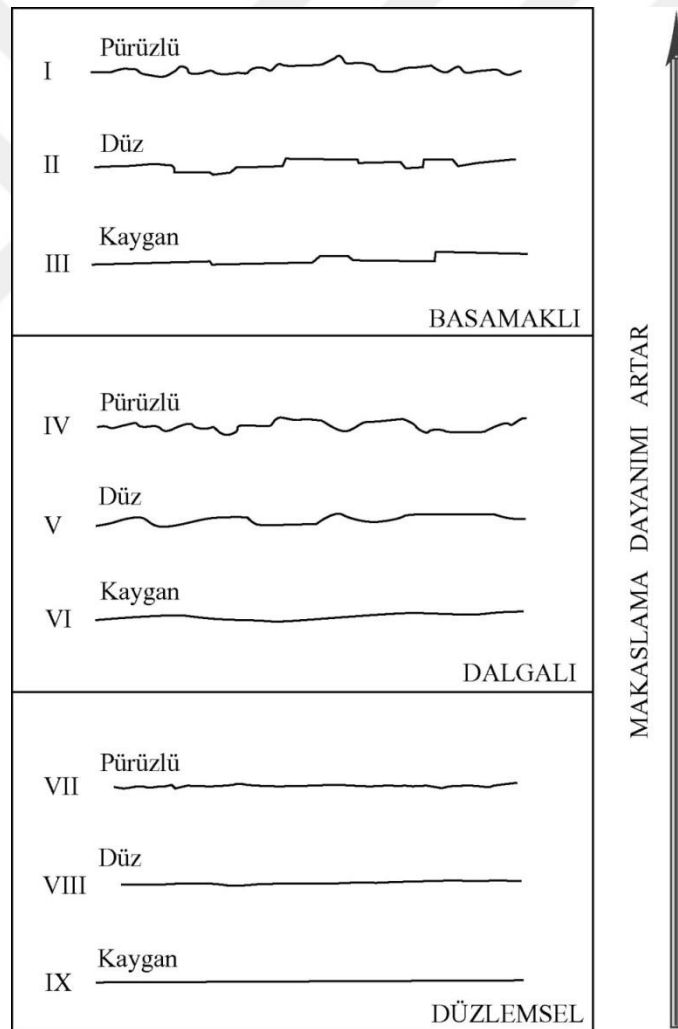
Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklere ait açıklık değerleri Tablo 3.6’da verilmiştir.

3.2.4. Devamlılık

Süreksizliklerin bir düzlemdeki alansal yayılımının göstergesi veya boyutları olan devamlılık, duraylılığı etkileyen önemli bir parametredir. Devamlılık genel olarak mostradaki süreksizlik izinin ölçülmesiyle bulunmaktadır (ISRM, 2007). Bu durumda devamlılık, süreksizlik izi olarak da tanımlanabilir. Bu çalışmada devamlılık, ISRM (2007)’deki tanımlar esas alınarak doğrudan şerit metre ile mostra yüzeylerinde yapılan ölçümler ile belirlenmiş ve değerler Tablo 3.6’da sunulmuştur.

3.2.5. Pürüzlülük

Pürüzlülük, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte (cm boyutunda), dalgalılık ise büyük ölçekte (metre boyutunda) düzlemsellikten sapmasının bir ölçütü olarak tanımlanabilir (ISRM, 2007) . Bu iki özellik süreksizlik yüzeylerinin ait makaslama dayanımında önemli bir rol oynar. Ancak süreksizlik açıklığının artması veya dolgu malzemesinin kalınlığının artmasıyla, pürüzlülüğün süreksizlik makaslama dayanımı üzerindeki etkisi azalmaktadır. Bu çalışmada pürüzlülük ISRM (2007) tarafından önerilen pürüzlülük tarağı kullanılarak belirlenen profillerin standart pürüzlülük profilleri (Şekil 3.3) ile karşılaştırılması sonucunda belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.3. Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri (ISRM, 2007)

3.2.6. Dolgu

Karşılıklı iki süreksizlik yüzeyi arasını dolduran dolgu malzemesi, genellikle ana kaya malzemesinden daha zayıf olan malzemedir. Tipik dolgu malzemeleri olarak kum, silt, kil, breş ve milonit sayılabilir. Dolgulu bir süreksizlikte süreksizliğin iki yüzeyi arasındaki uzaklık dolgunun kalınlığı olarak tanımlanır (Ulusay ve Sönmez, 2007). Kuvars pirit ve kalsit gibi dayanımı yüksek dolgular haricinde, dolgulu süreksizlikler, dolgusuz veya pürüzlü yüzeylere oranla daha düşük makaslama dayanımına sahiptir. Bu çalışmada süreksizliklerdeki dolgu kalınlığı milimetre bölmeli şerit metreyle ölçülmüş ve elde edilen değerler Tablo 3.6’da verilmiştir.

3.2.7. Bozunma Derecesi

Kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin bozunma derecesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan sınıflama, ISRM (2007) tarafından önerilen ve arazi çalışması sırasında kolaylıkla kullanılabilen görsel bir sınıflamadır (Tablo 3.4). Bu sınıflamaya göre belirlenen süreksizliklerin bozunma dereceleri Tablo Tablo 3.6’da verilmiştir.

3.2.8. Su Durumu

Kaya kütlelerinde su, birbiriyle bağlantılı süreksizlikler boyunca meydana gelen akışla hareket eder. Suyun kaya kütlesi içersisindeki sızma hızı, hidrolik eğime ve yönsel geçirgenliğe bağlı olarak değişir (Ulusay ve Sönmez, 2007). Bu çalışmada, süreksizliklerdeki su durumu ISRM (2007) tarafından önerilen ve Tablo 3.7’de verilen yöntemle göre kayaç mostralarında yapılacak gözlemler esas alınarak belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.6’da sunulmuştur.

Tablo 3.7. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007)

Sızıntı Sınıflaması	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmelidir
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözlenmektedir

3.3. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları ile kaya malzemesinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması jeoteknik çalışmaların önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu deneylerden elde edilen veriler mühendislik tasarımlarında dikkate alınan önemli girdi parametreleridir.

Bu çalışmada, Yoncalı Barajı isale tüneli güzergâhındaki kayaçların fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen deneylere ek olarak, araştırma sondajlarından derlenen örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde, kaya malzemesinin birim hacim ağırlığı (γ), tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c), nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$), Schmidt sertliği, elastisite modülü (E_i) ve Poisson oranları (ν) belirlenmiştir. Laboratuvar deney sonuçlarına ait istatistiksel değerlendirme Tablo 3.8’de verilmiştir.

3.3.1. Birim Hacim Ağırlık (γ)

Silindirik karot örneklerinin birim hacim ağırlığı (γ), ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemle göre belirlenmiştir. Silindirik deney örneklerinin çapı (D) ve boyu (L), kompasla birbirine dik iki ayrı yönde, 0.1 mm duyarlılıkta ölçülmüş ve her bir örnek için bu değerlerin ortalaması olarak örneklerin hacimleri (V) hesaplanmıştır. Örneklerin doğal ağırlıkları belirlendikten sonra örnekler 105 °C' ye ayarlanmış fırında ve en az 24 saat kurutulmuş ve soğumaları için 30 dakika süreyle desikatörde bekletildikten sonra hassas terazi kullanılarak kuru ağırlıkları (W_k) belirlenmiştir. Belirlenen kuru ağırlık değerleri hacim değerlerine bölünerek karotların birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

$$\gamma = \frac{W_k}{V} \quad (3.2)$$

Laboratuvar deneylerinden elde edilen birim hacim ağırlık değerlerine ait sonuçlar Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. Laboratuvar deneylerine ait istatistiksel sonuçlar

Formasyon	Kaya Kütlesi	Birim Hacim Ağırlık (γ), kN/m^3	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (σ_c), MPa	Nokta Yüğü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$), MPa	Schmidt Sertliği	Elastisite Modülü (E_i), GPa	Poison Oranı (ν)
Malatya Volkanitleri	Bazalt	20.79-26.19 24.30*	21.35-53.48 48.63*	2.55-4.37 2.88*	17-24 22*	36.512-48.915 40.65*	0.32-0.35 0.35*
	Dasit	24.32-24.90 24.55*	6.21-15.44 11.96*	0.14-2.56 0.58*	12-22 18*	18.49-25.51 22.26*	0.33-0.37 0.34*
	Aglomera	24.02-26.19 25.25*	37.90-41.05 38.47*	0.72-1.33 0.94*	18-24 20*	47.96-60.12 55.34*	0.30-0.34 0.32*
	Tüf	19.71-21.58 20.42*	5.56-15.44 8.62*	0.12-0.29 0.25*	10-16 12*	0.65-14.52 10.46*	0.32-0.35 0.34*
Hekimhan Fm.	Şeyl	23.05-24.71 23.79*	28.96-40.01 30.77*	0.45-1.94 1.28	11-26 17*	35.06-42.38 40.22*	0.30-0.33 0.32*
Alibonca Fm.	Marn	19.42-24.62 21.75*	22.58-37.08 30.59*	0.06-2.13 0.24*	10-18 12*	18.86-25.02 20.09*	0.30-0.34 0.33*
	Kireçtaşı	20.05-25.16 24.22*	15.30-21.66 19.42*	0.03-1.51 0.05*	14-22 20*	31.58-43.67 36.01*	0.30-0.35 0.32*
*Ortalama değer							

3.3.2. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı

Deney, kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma gerilmesi altındaki dayanımını belirlemek amacıyla silindirik şekilli örneklerde yapılır. Bu özellik kaya kütlesi sınıflamalarında ve jeoteknik tasarımlarda yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Bu çalışmada, kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenirken, ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (3.3)$$

Burada,

F: Yenilme anında kaydedilen yük (kN),

A: Silindirik örneğin kesit alanı (m²)

Kaya malzemelerinin laboratuvarında belirlenen tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri Tablo 3.8’de verilmiştir.

3.3.3. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$)

Kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımının tahmininde, bazı kaya kütle sınıflamalarında ve kazılabilirlik sınıflamalarında kullanılan nokta yük dayanım indeksi (I_s) deneyleri, ISRM (1985) tarafından önerilen yöntemlere kullanılarak araştırma sondajlarından derlenen karot örnekler üzerinde yapılmıştır. Deneyler için hazırlanan örneklerin 50±35 mm boyutunda, kalınlık/genişlik oranının ise 0.3-1.0 arasında olmasına dikkat edilmiştir. Karot örneklerde ise uzunluğunun (L) çapına (D) oranı L/D=1.0-1.4 olarak alınmıştır. Çapı ve boyu kompas ile ölçülen örnekler konik uçların arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilmiş, örneklerin 10-60 sn’de kırılacağı şekilde yükleme yapılmıştır. Nokta yüğü dayanım indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte;

I_s : Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi

D_e : Çapsal deneyde karot çapı

P: Yenilme anındaki yüküdür.

Belirlenen düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi değerlerini referans çapa göre düzeltmek için ISRM (1985) tarafından önerilen ve aşağıda verilen formüller kullanılmıştır. I_s değeri, çapsal deneylerde D 'nin diğer deneylerde ise D_e 'nin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$);

$$I_{s(50)} = F \cdot I_s \quad (3.5)$$

eşitliğinden, boyut düzeltme faktörü (F) ise;

$$F = (D_e/50)^{0.45} \quad (3.6)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte; F: Boyut düzeltme faktörüdür.

Bu çalışmada belirlenen kaya malzemesinin düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerleri Tablo 3.8'de verilmiştir.

3.3.4. Schmidt Sertliği

Bu deney, kayaların sertliğinin belirlenmesinde kullanılan basit bir deneydir. Kaya malzemesi için L tipi çekicin kullanıldığı bu deney sonucunda elde edilen Schmidt sertliği değerleri kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarının tahmininde ve kazılabilirlik sınıflamalarında kullanılmaktadır. Kalibrasyon örsünde kalibre edilen çekiç silindirik veya blok örnekler üzerine dik konumda yavaşça bastırılır ve geri sıçrama değeri çekiç üzerindeki göstergeden okunarak kaydedilir. Aynı örnek üzerine farklı noktalara 10 defa tekrarlanarak, en düşük 5 değer iptal edilir ve geriye kalan 5 değer aritmetik ortalaması alınır. Elde edilen değer kaya malzemesinin Schmidt sertliğidir. Bu çalışmada ISRM (2005) tarafından önerilen yöntem dikkate alınarak belirlenen Schmidt sertliğine ait değerler Tablo 3.8'de sunulmuştur.

3.3.5. Statik Elastisite Modülü (E_i) ve Poisson Oranı (ν)

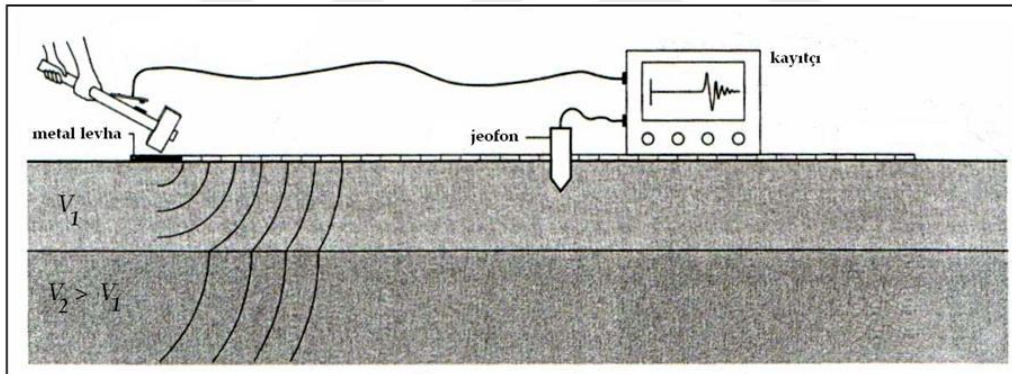
Kaya malzemesinin elastisite modülü ve Poisson oranını belirlemek amacıyla silindirik şekilli boy/çap oranı 2.5-3.0 arasında olacak şekilde, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz, düz ve herhangi bir kırık-çatlak içermeyen karot örnekleri kullanılır. ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemle göre tek eksenli yükleme koşulunda örneğin 5 ile 10 dakika arasında yenilmesini sağlayacak bir yükleme hızı seçilir veya alternatif olarak 0.5-1 MPa/s' lik bir gerilme hızı uygulanır. Örnekte meydana gelen eksenel ve çapsal deformasyonlar belirlenerek gerilme-birim deformasyon eğrileri çizilir. Eksenel yönde meydana gelen deformasyonlar dikkate alınarak çizilen gerilme-birim deformasyon eğrisinin doğrusal olduğu kısmın tanjant cinsinden eğimi kaya malzemesinin Elastisite Modülünü (E_i) verir. Poisson oranı (ν) ise örneğin çapında meydana gelen birim deformasyonun (çapsal) örneğin boyunda meydana gelen birim deformasyona (eksenel) oranı ile bulunur.

Bu çalışmada yapılan Elastisite Modülü (E_i) ve Poisson Oranı (ν) deneylerine ait sonuçlar Tablo 3.8'de verilmiştir.

4. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Yoncalı Barajı isale tünel güzergahında, tünel kazısının yapılacağı birimlerin P dalga hızı (V_p) ve S dalga hızlarını (V_s) belirlemek amacıyla 7 hat boyunca Sismik Kırılma Yöntemi kullanılarak jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Sismik yöntemler, yapay olarak (patlatma, darbe vs) oluşturulan titreşimlerle yeraltının dinamik özelliklerinin incelenmesidir. Yapay sismik dalgalar, farklı yapıdaki ortamların ara yüzeylerinden kırılarak yansır ve yayıldıkları ortamların çeşitli fiziksel özelliklerine ait bilgilerini yeryüzüne taşırlar. Yüzeyde bir doğrultuda yerleştirilen alıcılar (jeofonlar) ile algılanan ve bir kayıt aleti ile kaydedilen sinyaller değerlendirilerek ortama ait P ve S sismik dalga hızları belirlenir (Şekil 4.1). P ve S sismik dalga hızlarından yararlanılarak ortamı oluşturan tabakaların başta elastik parametreleri olmak üzere, kalınlık, yoğunluk vb. parametreleri saptanabilmektedir.



Şekil 4.1. Sismik kırılma yönteminin arazide uygulaması (Mussett ve Khan, 2000)

Sismik kırılma yöntemi, veri toplama ve değerlendirme açısından oldukça pratik, hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Dalga yayılım hızının derinlikle arttığı tabakalı ortamlarda, tabakaların sismik hızlarının ve kalınlıklarının bulunmasını sağlar. Yöntem, mühendislik amaçlı sığ zemin araştırmalarında, petrol ve doğalgaz araştırmalarında, tabakaların dinamik özelliklerinin incelenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu yöntemde, oluşturulan elastik dalgaların yerin farklı özelliklerdeki katmanları içinde kırılarak ve tam yansımaya uğrayarak yayılmalarına ilişkin yol alış zamanları ölçülür. Elde edilen zaman-uzaklık verileri daha sonra belirli yöntemler ile değerlendirilerek tabakaların kalınlıklarını ve sismik dalga hızlarını veren jeofizik kesitler oluşturulur.

Bu çalışmada, tünel kazısının yapılacağı birimlerin sismik dalga hızlarını (V_p ve V_s) belirlemek için tünel güzergahı üzerinde 7 farklı hatta, Seistronix Marka Ras24 model 24 kanallı sismograf (kayıtçı), 14 Hz frekansa sahip algılayıcılar, güç kaynağı ve yapay titreşimleri oluşturmak için 30 fişek kapasiteli Gan (tüfek mekanizması) ve 8 kg lık balyoz kullanılmıştır.

Çalışma sahasında 7 farklı hattan alınan sismik kayıtlar Seisimager yazılımı ile değerlendirilmiş ve tünel kazısının yapılacağı birimlere ait P dalgası, S dalgası hızları belirlenmiştir. Çalışma alanına ait V_p ve V_s hızları Tablo 6.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1. Tünel güzergahındaki birimlere ait V_p ve V_s hızları

Kaya Kütlesi	Birim	P Dalga Hızı (V_p) m/sn	S Dalga Hızı (V_s) m/sn
Malatya Volkanitleri	Bazalt	3653	1941
	Dasit	3242	1679
	Aglomera	1492	814
	Tüf	1397	732
Hekimhan Fm.	Şeyl	1068	523
Alibonca Fm.	Marn	1324	698
	Kireçtaşı	3393	1737

5. KAYA KÜTLE SINIFLAMALARI

Jeoteknik çalışmalarda kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli sınıflandırma sistemleri kullanılmaktadır. Mühendislik tasarımında önemli bir yer tutan bu sistemler, uzun yıllar süren gözlemlere bağlı olarak geliştirilmiş ve önerilmiş yöntemlerdir. Bu sınıflamalar özellikle tünelcilikte kazı tipi, destek tipi ve desteksiz durabilme sürelerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılırken, kaya kütlelerinin kazılabilme sınıflarının belirlenmesinde de kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Yoncalı Barajı isale tüneli güzergâhındaki kaya kütleleri Jeomekanik Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemi (RMR), Kaya Kütle Kalitesi Sınıflama Sistemi (Q) ve Jeolojik Dayanım İndeksi Sınıflama Sistemi'ne (GSI) göre sınıflandırılmıştır.

5.1. Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)

Görgül bir kaya kütle sınıflama sistemi olan RMR Sınıflama Sistemi, ilk kez Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiştir. Sınıflamaya ait parametreler ve bu parametrelere ait puanların belirlenmesi konusunda yine Bieniawski (1989) tarafından yapılan öneriler ile modifiye edilen RMR sınıflaması (RMR₈₉), son olarak Celada vd., (2014) tarafından yapılan öneriler ile son halini almıştır.

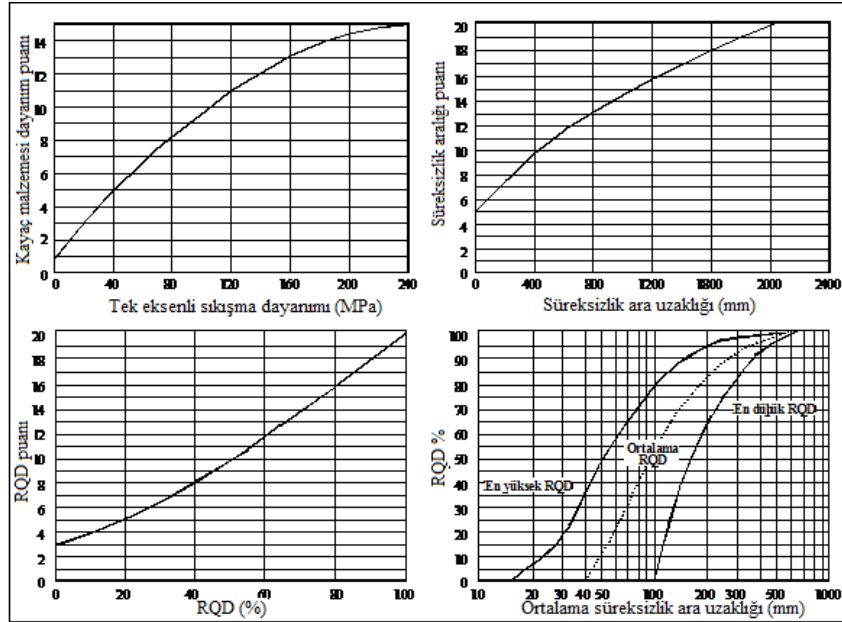
RMR sınıflama sistemi aşağıdaki girdi parametrelerinden oluşmaktadır (Tablo 5.1);

1. Kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı veya nokta yük dayanım indeksi,
2. Kaya kalitesi göstergesi (% RQD)
3. Süreksizlik ara uzaklığı
4. Süreksizliklerin durumu (devamlılık, açıklık, pürüzlülük, dolgu ve bozunma)
5. Yeraltı suyu durumu

RMR sınıflama sisteminde Bieniawski tarafından 1989 yılında yapılan revizyon ile sistemin ilk üç parametresi olan dayanım, RQD ve süreksizlik aralığı parametrelerinin daha hassas puanlanabilmesi için ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri esas alınarak çeşitli abaklar geliştirilmiştir (Şekil 5.1). Araştırmacı, süreksizlik durumunun puanlandırılması için de yeni bir kılavuz önermiştir (Tablo 5.2).

Tablo 5.1. RMR sınıflama sistemine ait parametreler ve puanlama tablosu (Bieniawski, 1989)

1	Kaya Malzemesinin Dayanımı (MPa)	Nokta yükü dayanım indeksi	> 10	4-10	2-4	1-2	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli basınç dayanımı	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Puan		15	12	7	4	2	1	0
2	Kaya Kalite Göstergesi, RQD(%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Puan		20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik Ara Uzaklığı (cm)		>200	60-200	20-60	20-6	<6		
	Puan		20	15	10	8	5		
4	Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20		
		Puan	6	4	2	1	0		
		Açıklık (mm)	Yok	<0.1	0.1-1	1-5	>5		
		Puan	6	5	4	1	0		
		Pürüzlülük	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kaygan		
		Puan	6	5	3	1	0		
		Dolgu	Yok	<5 mm (sert)	>5 mm (sert)	<5 mm (yumuşak)	>5 mm (yumuşak)		
		Puan	6	4	2	2	0		
		Bozunma	Bozunmamış	Az bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Bozunmuş	Çok bozunmuş		
5	Yeraltısuyu (lt/dk)	10 m'lik kısımdan gelen su	Yok	10	25	25-125	>125		
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
	Puan		15	10	7	4	0		



Şekil 5.1. RMR sınıflama sisteminin son versiyonunda tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanları tanımlama grafikleri (Bieniawski,1989)

Tablo 5.2. RMR Sistemine göre süreksizliklerin durumunun puanlandırılması (Bieniawski, 1989)

Parametre	Puanlar				
Devamlılık	< 1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)
Açıklık	Yok (6)	< 0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)
Pürüzlülük	Çok pürüzlü (6)	Pürüzlü (5)	Az pürüzlü (3)	Düz (1)	Kaygan (0)
Dolgu	Yok (6)	Sert dolgu		Yumuşak dolgu	
		< 5 mm (4)	> 5 mm (2)	<5 mm (2)	> 5 mm (0)
Bozunma	Bozunmamış (6)	Az bozunmuş (5)	Orta derecede bozunmuş (3)	Bozunmuş (1)	Çok bozunmuş (0)

Kaya kütlelerinin temel RMR değeri Tablo 5.1, Şekil 5.1 ve Tablo 5.2 kullanılarak hesaplanır. Bu değer Temel RMR Puanı olarak isimlendirilir. Daha sonra tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin yönelimlerine göre düzeltmeler yapılır. Bu düzeltmelerde Tablo 5.3 ve Tablo 5.4 kullanılır. Temel RMR Puanı üzerinde yapılan bu düzeltme ile kaya kütlelerinin Düzeltilmiş RMR Puanı elde edilir. Elde edilen düzeltilmiş RMR puanı ile kaya sınıfı Tablo 5.5’den belirlenmektedir

Tablo 5.3. Tünelde süreksizlik eğim ve eğim yönünün etkisi (Bieniawski, 1989)

Doğrultu tünel eksenine dik				Doğrultu tünel eksenine paralel		Eğim 0-20° arasında (doğrultuya bakılmaksızın)
Eğim yönünde ilerleme		Eğime karşı ilerleme		Eğim 45 ⁰ -90 ⁰	Eğim 45 ⁰ -90 ⁰	
Eğim 45 ⁰ -90 ⁰	Eğim 20 ⁰ -45 ⁰	Eğim 45 ⁰ -90 ⁰	Eğim 20 ⁰ -90 ⁰			
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta
0	-2	-5	-10	-10	-12	-5

Tablo 5.4. Süreksizlik yönelimine göre düzeltme (Bieniawski, 1989)

Doğrultu, eğim		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puan	Tünel	0	-2	-5	-10	-12
	Temel	0	-2	-7	-15	-25
	Şev	0	-5	-25	-50	-60

Tablo 5.5. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları (Bieniawski, 1989)

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

Bu çalışmada, Yoncalı Barajı isale tüneli güzergahındaki kaya kütleleri RMR_{89} sınıflama sistemine göre sınıflandırılmış, puanlama ve sonuçlar Tablo 5.6-5.12’de verilmiştir.

Tablo 5.6. Tünel güzergahındaki bazaltlara ait RMR_{89} sınıflaması

Birim	Bazalt					
	0+000 – 2+488 km		3+141 – 3+579 km		4+426– 5+826 km	
Parametreler	Değer	Puan	Değer	Puan	Değer	Puan
RQD (%)	26	5.8	15	4.8	44	9.2
σ_c (MPa)	48.63	6	21.35	3	53.48	7.5
Aralık (cm)	12	6	9	6	20	7.8
Açıklık (mm)	1-2	1	1-2	1	1-2	1
Devamlılık (m)	3-10	2	3-10	2	3-10	2
Pürüzlülük	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3
Dolgu	Kil	4	Kil	4	Kil	4
Bozunma	Orta	3	Bozunmuş	1	Orta	3
Su durumu	Nemli	10	Nemli	10	Nemli	10
*Süreksizlik dolgulu olduğunda pürüzlülük puanlamada dikkate alınmaz						
Temel RMR Puanı	37.8 Orta Kaya		31.8 Zayıf Kaya		44.5 Orta Kaya	

Tablo 5.7. Tünel güzergahındaki dasitlere ait RMR_{89} sınıflaması

Birim	Dasit			
	2+488 – 3+141 km		4+038 – 4+257 km	
Parametreler	Değer	Puan	Değer	Puan
RQD (%)	18	5	73	14
σ_c (MPa)	6.21	1.2	15.44	2.5
Aralık (cm)	12	5.5	12	7
Açıklık (mm)	1-2	1	1-2	1
Devamlılık (m)	3-10	2	3-10	2
Pürüzlülük	Az pürüzlü	3	Az pürüzlü	3
Dolgu	Kil	4	Kil	4
Bozunma	Bozunmuş	1	Orta	3
Su durumu	Nemli	10	Nemli	10
*Süreksizlik dolgulu olduğunda pürüzlülük puanlamada dikkate alınmaz				
Temel RMR Puanı	29.7 Zayıf Kaya		43.5 Orta Kaya	

Tablo 5.8. Tünel güzergahındaki aglomeralara ait RMR₈₉ sınıflaması

Birim	Aglomera	
	4+257 – 4+426 km	
Parametreler	Değer	Puan
RQD (%)	46	9
σ_c (MPa)	38.47	5
Aralık (cm)	18	6.5
Açıklık (mm)	1	4
Devamlılık (m)	3-10	2
Pürüzlülük	Az pürüzlü	3
Dolgu	Kil	4
Bozunma	Orta	3
Su durumu	Kuru	15
*Süreksizlik dolgulu olduğunda pürüzlülük puanlamada dikkate alınmaz		
Temel RMR Puanı	48.5 Orta Kaya	

Tablo 5.9. Tünel güzergahındaki tüflere ait RMR₈₉ sınıflaması

Birim	Tüf	
	4+257 – 4+426 km	
Parametreler	Değer	Puan
RQD (%)	24	6
σ_c (MPa)	8.62	1.8
Aralık (cm)	8	6
Açıklık (mm)	1	4
Devamlılık (m)	>20	0
Pürüzlülük	Pürüzlü	3
Dolgu	Kil	4
Bozunma	Bozunmuş	1
Su durumu	Kuru	15
Temel RMR Puanı	37.8 Zayıf Kaya	

Tablo 5.10. Tünel güzergahındaki şeyllere ait RMR₈₉ sınıflaması

Birim	Şeyl	
	3+579 – 4+038 km	
Parametreler	Değer	Puan
RQD (%)	92	18
σ_c (MPa)	30.77	4
Aralık (cm)	16	6.5
Açıklık (mm)	Kapalı	6
Devamlılık (m)	>20	0
Pürüzlülük	Pürüzlü	5
Dolgu	Yok	6
Bozunma	Orta	3
Su durumu	Kuru	15
Temel RMR Puanı	63.5 İyi Kaya	

Tablo 5.11. Tünel güzergahındaki marnlara ait RMR₈₉ sınıflaması

Birim	Marn							
	5+826 – 6+487 km		6+910 – 7+769 km		8+083 – 9+050 km		9+197 – 9+262 km	
Parametreler	Değer	Puan	Değer	Puan	Değer	Puan	Değer	Puan
RQD (%)	30	6.5	35	7.5	49	10	25	6
σ_c (MPa)	25.40	2.3	32.05	4.3	37.08	4.8	22.58	2.2
Aralık (cm)	12	6.4	14	6.5	16	6.5	9	6
Açıklık (mm)	Kapalı	6	Kapalı	6	Kapalı	6	Kapalı	6
Devamlılık (m)	>20	0	>20	0	>20	0	>20	0
Pürüzlülük	Pürüzlü	5	Pürüzlü	5	Pürüzlü	5	Pürüzlü	5
Dolgu	Yok	6	Yok	6	Yok	6	Yok	6
Bozunma	Bozunmuş	1	Bozunmuş	1	Bozunmuş	1	Bozunmuş	1
Su durumu	Kuru	15	Kuru	15	Kuru	15	Kuru	15
Temel RMR Puanı	48.2 Orta Kaya		51.3 Orta Kaya		54.3 Orta Kaya		47.2 Orta Kaya	

Tablo 5.12. Tünel güzergahındaki kireçtaşlarına ait RMR₈₉ sınıflaması

Birim	Kireçtaşı			
	7+769 – 8+083 km		9+050 - 9+197 km	
Parametreler	Değer	Puan	Değer	Puan
RQD (%)	87	17.6	32	6.5
σ_c (MPa)	21.66	2.2	15.30	2.1
Aralık (cm)	10	6.3	10	6.3
Açıklık (mm)	Kapalı	6	Kapalı	6
Devamlılık (m)	>20	0	>20	0
Pürüzlülük	Pürüzlü	5	Pürüzlü	5
Dolgu	Yok	6	Yok	6
Bozunma	Bozunmuş	1	Bozunmuş	1
Su durumu	Kuru	15	Kuru	15
Temel RMR Puanı	59.1 Orta Kaya		47.9 Orta Kaya	

Tünel güzergahındaki kaya kütleleri için yapılan RMR₈₉ sınıflamalarına göre bazaltlar ve dasitler Zayıf-Orta; aglomeralar Orta; tüfler Zayıf; şeyller İyi; marnlar ve kireçtaşları ise Orta Kaya sınıfındadır.

5.2. Kaya Kütle Kalitesi Sınıflama Sistemi (Q)

Q veya NGI (Norwegian Geotechnical Institute) sistemi olarak da bilinen bu sınıflama sistemi, Barton vd. (1974) tarafından önerilmiştir. Sistemin destek seçimlerine yönelik bölümü Grimstad ve Barton (1993) tarafından, SRF (Gerilme Azaltma Faktörü) ve ESR (Kazı Destek Oranı) parametreleri ise Barton ve Grimstad (1994) tarafından yeniden düzenlenmiştir. Q değeri Barton vd. (1974) tarafından önerilen eşitlik ile belirlenmektedir.

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \left(\frac{J_w}{SRF} \right) \quad (5.1)$$

Bu eşitlikte;

RQD: Kaya kalite göstergesi,

J_n : Süreksizlik takımı sayısı,

J_r : Süreksizlik pürüzlülük değeri,

J_a : Süreksizlik yüzeyi bozunma değeri,

J_w : Süreksizlik suyu azaltma faktörü,

SRF : Gerilme azaltma faktörüdür.

Bu eşitlikteki;

RQD/J_n : Kaya kütle yapısını ve blok boyutu ölçüsünü,

J_r/J_a : Bloklar arasındaki kayma dayanımı,

J_w/SRF : Aktif gerilmeyi vermektedir.

Q sınıflama sistemine ait parametrelere ait puanlar belirlenirken Tablo 5.13-5.18 kullanılır.

Tablo 5.13. Kaya kalite göstergesi - % RQD (Deere, 1964)

	RQD	Kaya Kalite Gösterge Tanımı
1	0-25	Çok Zayıf
2	25-50	Zayıf
3	50-75	Orta
4	75-90	İyi
5	90-100	Çok iyi (Mükemmel)

Tablo 5.14. Süreksizlik takımı sayısı – J_n (Barton vd., 1974)

Süreksizlik Takım Sayısı		J_n
A	Masif, eklem çok az veya hiç yok	0.5-1.0
B	Bir süreksizlik takımı	2
C	Bir süreksizlik takımı ve gelişigüzel eklemler	3
D	İki süreksizlik takımı	4
E	İki süreksizlik takımı ve gelişigüzel eklemler	6
F	Üç süreksizlik takımı	9
G	Üç süreksizlik takımı ve gelişigüzel süreksizlikler	12
H	Dört veya daha fazla süreksizlik takımı, gelişigüzel, çok fazla sayıda, küp şeker görünümünde	15
I	Parçalanmış kaya, toprak görünümünde	20
Not: *Arakesitler (kesişen tüneller) için ($3.0 \times J_n$) kullanılır. *Portallar (girişler) için ($2.0 \times J_n$) kullanılır.		

Tablo 5.15. Süreksizlik pürüzlülük sayısı - Jr (Barton vd., 1974)

Süreksizlik Pürüzlülük Sayısı		J _r
Süreksizlik yüzeyi temasta veya 10 cm'den az makaslama hareketiyle temasta		
Not: Bu sıralamada tanımlamalar, küçük ve ara ölçekli özellikler göstermektedir		
A	Süreksiz	4
B	Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı	3
C	Düz, dalgalı	2
D	Sürtünme izli, dalgalı	1.5
E	Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5
F	Düz, düzlemsel	1.0
G	Sürtünme izli düzlemsel	0.5
Not: *İlgili süreksizlik takımının ortalama aralığı 2m'den daha büyük ise, Jr'ye 1.0 ilave edilebilir * En az dirence göre yönelmesi koşuluyla, çizgiselliklere sahip düz sürtünme yüzeyli süreksizlikler için J _r =0.5 alınabilir.		
Makaslama hareketiyle süreksizlik yüzeylerinin teması sağlanmadığında		
H	Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıkta kil minerali içeren zon	1.0
I	Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıktaki kumlu, çakıllı ya da parçalanmış zon	1.0

Tablo 5.16. Süreksizlik yüzeyi bozunma sayısı - Ja (Barton vd., 1974)

Süreksizlik Yüzeyi Bozunma Sayısı		J _a	φ°
a) Süreksizlik yüzeyleri temasta (mineral dolgu yada kil kaplaması yok)			
A	Sıkıca bağlanmış sert, yumuşamayan, geçirimsiz dolgu (örneğin kuvars veya epidot)	0.75	-
B	Bozunmamış süreksizlik yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	1.0	25-35
C	Az bozunmuş süreksizlik yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları, kum taneleri, kum içermeyen kaya parçaları vd.	2.0	25-30
D	Siltli veya kumlu-kil sıvımaları, küçük kil fraksiyonu (yumuşak değil)	3.0	20-25
E	Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil mineral sıvımaları, örneğin kaolen veya mika. Ayrıca klorit, talk, jips, grafit vs. ve az miktarda şişen killer	4.0	8-16
b) 10 cm'den az bir kayma hareketiyle süreksizlik yüzeylerinin teması sağlanabildiğinde (ince mineral dolgu)			
F	Kum taneleri, kil içermeyen parçalanmış kaya vd.	4.0	25-30
G	Aşırı konsolide olmuş, yumuşamayan kil mineral dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	6.0	16-24
H	Orta veya düşük derecede konsolide olmuş yumuşamayan kil minerali dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	8.0	12-16
I	Şişen kil dolguları, örneğin; montmorillonit (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az) Ja değeri şişen kil boyutundaki tanelerin yüzdesine ve suyun etkisine bağlıdır	8-12	6-12
c) Süreksizlik yüzeylerinde kayma durumunda temas yok (ince mineral dolgu)			
J	Parçalanmış kaya veya kil zonları veya bantları (kilin tanımlanması için G, H ve J maddelerine bakınız)	6-8 veya 8-12	6-24
K	Siltli veya kumlu kil zonları veya bantları, düşük kil fraksiyonu (yumuşamayan)	5.0	-
L	Kalın, sürekli kil zonları veya bantları (kilin tanımlanması için G, H ve J maddelerine bakınız)	10-13 veya 13-20	6-24

Tablo 5.17. Gerilme azaltma faktörü - SRF (Barton ve Grimstad, 1993)

Gerilme Azaltma Faktörü		SRF		
a) Kazıyı kesen zayıf zonlar, tünel kazılırken kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilirler				
A	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren zayıf zonlar, çok gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)	10		
B	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği < 50 m)	5		
C	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği > 50 m)	2.5		
D	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)	7.5		
E	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, (kazı derinliği < 50m)	5.0		
F	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)	2.5		
G	Gevşek ve açık süreksizlikler, fazla süreksizlik içeren “küp şekeri” görünümlü (herhangi bir derinlikte)	5.0		
Not: *Kayma zonları yalnızca kazıyı etkiliyor, ancak kesmiyorsa, SRF için yukarıda verilen değerler %25-50 dolaylarında azaltılmaktadır.				
b) Dayanımlı kaya, kaya gerilmesi sorunları		σ_{ci} / σ_1	$\sigma_\theta / \sigma_{ci}$	SRF
H	Düşük gerilme, yüzeye yakın	> 200	<0.01	25
I	Orta derecede gerilme	200-10	0.01-0.3	1
J	Yüksek gerilme, çok sıkı yapı (genellikle duraylı, yan duvar duraylılığı açısından uygun olmayabilir)	10-5	0.3-0.4	0.5-2
K	Masif kayada 1 saatlik bir süreden sonra orta derecede dilimlenme	5-3	0.5-0.65	5-50
L	Masif kayada 1 birkaç dakikadan sonra dilimlenme ve kaya patlaması	3-2	0.65-1	50-200
M	Masif kayada aşırı kaya patlaması ve ani dinamik deformasyon	<2	>1	200-400
Not: *Oldukça anizotrop bakir bir gerilme alanı için (ölçülebilirse): $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ olduğunda, σ_{ci} $0.75\sigma_{ci}$ ’ye, $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$ ise ve $0.5\sigma_{ci}$ ’ye düşürülür. Burada: σ_{ci} tek eksenli basınç dayanımı, σ_θ en büyük teğetsel gerilme (elastik kuramdan tahmin edilen) ve σ_1 ile σ_3 ise en büyük ve en küçük asal gerilmelerdir. *Tavan yüksekliğinin genişliğinden az olduğu durumlarla ilgili birkaç vaka kaydı mevcuttur. Bu tip durumlarda SRF’nin 2,5’den 5’e çıkarılması önerilir. *Sıkışan kaya vakaları $H > Q1/3$ derinlik koşulunda meydana gelebilir (Singh vd., 1993). Kaya kütlelerinin basınç dayanımı $\sigma_{cm} = 0.7\gamma Q1/3$ (MPa) eşitliğinden tahmin edilebilir. Burada: γ kayanın birim hacim ağırlığıdır(kN/m^3)				
c) Yüksek kaya basıncının etkisi altında dayanımsız kayada plastik akma				
N	Az sıkıştıran kaya basıncı	1-5	5-10	
O	Aşırı sıkıştıran kaya basıncı	>5	10-20	
d) Suyun varlığına bağlı olarak kimyasal şişme aktivitesi				
P	Düşük kaya basıncı		5-10	
R	Çok yüksek kaya basıncı		10-15	

Tablo 5.18. Süreksizlik suyu azaltma faktörü – J_w (Barton vd., 1974)

Süreksizlik Suyu Azaltma Faktörü		J_w	Yaklaşık Su Basıncı (kgf/cm ²)
A	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	1.0	<1
B	Orta derecede su gelişi veya basınç, yer yer süreksizliklerdeki dolguların yıkanması	0.66	1-2.5
C	Dolgusuz, süreksizlik içeren, dayanımlı kayada büyük miktarda su gelişi veya yüksek basınç	0.5	2.5-10
D	Büyük miktarda su gelişi veya yüksek basınç, süreksizlik dolgularının aşırı derecede yıkanması	0.33	2.5-10
E	Patlatmada son derece aşırı su gelişi veya su basıncı, zamanla azalan	0.2-0.1	10
F	Zamanla azalmaksızın devam eden son derecede aşırı su gelişi veya basıncı	0.1-0.05	>10
Not: *C ve F faktörleri kaba tahminlerdir. Drenaj ölçümleri yapılırsa J_w arttırılır. *Buz oluşumundan kaynaklanan özel problemler dikkate alınmamıştır.			

Q sınıflama sisteminde kullanılan parametrelere ait puanlar belirlendikten sonra Eşitlik 5.1. kullanılarak kaya kütesine ait Q değeri hesaplanır ve bu değere göre Tablo 5.19'e göre kaya kütesi sınıflandırılır.

Tablo 5.19. Q değerlerine göre kaya kütesinin sınıflandırması (Barton vd., 1974)

Q değeri	Kaya Sınıfı
0.001-0.01	Son derece zayıf
0.01-0.1	Çok fazla zayıf
0.1-1	Çok zayıf
1-4	Zayıf
4-10	Orta
10-40	Sağlam
40-100	Çok sağlam
100-400	Çok fazla sağlam
400-1000	Son derece sağlam

Tünel güzergâhında yer alan kaya kütlelerinin Q sınıflaması Tablo 5.20-5.26 arasında gösterilmiştir.

Tablo 5.20. Tünel güzergâhındaki bazaltlara ait Q sınıflaması

Birim	Bazalt		
	0+000 – 2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426 – 5+826 km
Parametreler	Puan	Puan	Puan
RQD (%)	26	15	44
J_n	12	12	12
J_r	1.5	1.5	1.5
J_a	3	3	3
J_w	1	1	1
SRF	1	1	1
Q Puanı	1.08 Zayıf Kaya	0.63 Çok Zayıf Kaya	1.83 Zayıf Kaya

Tablo 5.21. Tünel güzergâhındaki dasitlere ait Q sınıflaması

Birim	Dasit	
	2+488 – 3+141 km2	4+038 – 4+257 km
Parametreler	Puan	Puan
RQD (%)	18	73
J _n	12	12
J _r	1.5	1.5
J _a	3	3
J _w	1	1
SRF	1	1
Q Puanı	0.750 Çok Zayıf Kaya	3.04 Zayıf Kaya

Tablo 5.22. Tünel güzergâhındaki aglomeralara ait Q sınıflaması

Birim	Aglomera
	4+257 – 4+426 km
Parametreler	Puan
RQD (%)	46
J _n	12
J _r	1.5
J _a	3
J _w	1
SRF	1
Q Puanı	1.92 Zayıf Kaya

Tablo 5.23. Tünel güzergâhındaki tüflere ait Q sınıflaması

Birim	Tüf
	4+257 – 4+426 km
Parametreler	Puan
RQD (%)	24
J _n	12
J _r	3
J _a	3
J _w	1
SRF	1
Q Puanı	2.00 Zayıf Kaya

Tablo 5.24. Tünel güzergâhındaki şeyllere ait Q sınıflaması

Birim	Şeyl
	3+579 – 4+038 km
Parametreler	Puan
RQD (%)	92
J _n	12
J _r	3
J _a	3
J _w	1
SRF	1
Q Puanı	7.67 Orta Kaya

Tablo 5.25. Tünel güzergâhındaki marnlara ait Q sınıflaması

Birim	Marn			
	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
Parametreler	Puan	Puan	Puan	Puan
RQD (%)	30	35	49	25
J _n	12	12	12	12
J _r	3	3	3	3
J _a	3	3	3	3
J _w	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Q Puanı	2.50 Zayıf Kaya	2.92 Zayıf Kaya	4.08 Zayıf Kaya	2.08 Zayıf Kaya

Tablo 5.26. Tünel güzergâhındaki kireçtaşlarına ait Q sınıflaması

Birim	Kireçtaşı	
	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
Parametreler	Puan	Puan
RQD (%)	87	32
J _n	12	12
J _r	3	3
J _a	3	3
J _w	1	1
SRF	1	1
Q Puanı	7.25 Orta Kaya	2.67 Zayıf Kaya

Tünel güzergâhındaki kaya kütleleri için yapılan Q sınıflamalarına göre (Tablo 5.19-5.26) bazaltlar Zayıf-Çok Zayıf; dasitler Çok Zayıf-Zayıf; aglomera ve tüfler Zayıf; şeyller Orta; marnlar Zayıf; kireçtaşları ise Orta-Zayıf Kaya sınıfındadır.

5.3. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sistemi

İlk kez Hoek vd. (1995) tarafından önerilen ve RMR'nin yerine Hoek-Brown Yenilme Ölçütüne dahil edilerek kaya kütlesi sabitlerinin kaya kütle sabitlerinin (mb, s ve a) belirlenmesinde kullanılmaya başlanan Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), başlangıçta RMR ve Q sınıflaması puanlarıyla ilişkilendirilmiştir.

Hoek vd. (1995), GSI'nin RMR ve Q kaya kütlesi sınıflama sistemleriyle olan ilişkisini aşağıda verilen eşitliklerle tanımlamışlardır. Araştırmacılar RMR'nin 1976 versiyonunun kullanılması ve $RMR_{76} > 18$ olması durumunda GSI'nin aşağıdaki eşitlikten tahmin edilebileceğini belirtmektedirler.

$$GSI = RMR_{76} \quad (5.2)$$

Aynı araştırmacılar RMR sisteminin 1989 versiyonunun kullanılması durumunda ise $RMR_{89} > 23$ olması koşuluyla,

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (5.3)$$

eşitliğini önermişlerdir.

GSI'nın tahmini için modifiye edilmiş Q değeri (Q') de kullanılmaktadır. Q' ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmektedir Hoek vd. (1995).

$$Q = \frac{RQD * j_r}{J_n * J_a} \quad (5.4)$$

GSI ise Q' değerinin kullanıldığı aşağıdaki eşitlikle tahmin edilebilmektedir.

$$GSI = 9 \log_e Q' + 44 \quad (5.5)$$

GSI 1997 yılında yapılan değişiklikler ile RMR ve Q sistemlerinden bağımsız bir sistem haline getirilmiştir (Hoek ve Brown, 1997). Bir abak haline dönüştürülen GSI sınıflama sistemi; bloklu, çok bloklu, bloklu/örselenmiş ve parçalanmış olmak üzere dört kaya grubundan oluşmaktadır. GSI'nin bir sınıflama sistemi olarak önerilmesinden sonra Hoek ve Marinos (2000) GSI sınıflamasına foliasyonlu veya laminalanma düzlemleri içeren, sağlam veya masif kaya grubunu yeni bir sınıflama abacı önermişlerdir. Sonraki yıllarda Marinos ve Hoek (2002) ve Marinos vd. (2007) yaptıkları çalışmalarda GSI sistemini yeniden revize ederek sistemin bugün kullanılan versiyonunu önermişlerdir.

GSI'nin tahmini konusunda yapılan son çalışma Hoek vd. (2013)'e aittir. Araştırmacılar, GSI'nin tahmini konusunda aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir.

$$GSI = 2JCond_{76} + RQD/2 \quad (5.6)$$

$$GSI = 1.5JCond_{89} + RQD/2 \quad (5.7)$$

$$GSI = \frac{52J_r/J_a}{(1 + J_r/J_a)} + RQD/2 \quad (5.8)$$

Bu eşitliklerde;

GSI: Jeolojik Dayanım İndeksi

JCond₇₆: RMR 1976 versiyonuna göre belirlenmiş süreksizlik durumu puanı

JCond₈₉: RMR 1989 versiyonuna göre belirlenmiş süreksizlik durumu puanı (Tablo 5.2)

J_r: Q sınıflama sistemindeki süreksizlik pürüzlülük sayısı (Tablo 5.7)

J_a: Q sınıflama sistemindeki süreksizlik yüzeyi bozunma sayısı (Tablo 5.8)

Bu çalışmada, tünel güzergahındaki kaya kütlelerine ait GSI değerleri Hoek vd.(2013) tarafından önerilen Eşitlik 5.7'ye göre belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 5.27'de verilmiştir.

Tablo 5.27. Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerinin Eşitlik 5.7'ye göre belirlenen GSI değerleri ve kaya sınıfları

Kaya Kütleşi	Aralık (km)	1.5JCond ₈₉	RQD/2	GSI	Kaya Sınıfı
Bazalt	0+000 – 2+488	19.5	13	32.5	Bloklu / Örselenmiş
	3+141 – 3+579	16.5	7.5	24.0	Parçalanmış
	4+426 – 5+826	19.5	22	41.5	Çok Bloklu
Dasit	2+488 – 3+141	16.5	9	25.5	Parçalanmış
	4+038 – 4+257	19.5	36.5	53.0	Bloklu
Aglomera	4+257 – 4+426	24	23	47.0	Çok Bloklu
Tüf	6+487 – 6+910	16.5	12	28.5	Bloklu / Örselenmiş
Şeyl	3+579 – 4+038	30	46	76.0	Bloklu
Marn	5+826 – 6+487	27	15	42.0	Bloklu / Örselenmiş
	6+910 – 7+769	27	17.5	44.5	Bloklu / Örselenmiş
	8+083 – 9+050	27	24.5	51.5	Çok Bloklu
	9+197 – 9+262	27	12.5	39.5	Bloklu / Örselenmiş
Kireçtaşı	7+769 – 8+083	27	43.5	70.5	Bloklu
	9+050 - 9+197	27	16	43.0	Bloklu / Örselenmiş

6. KAYA KÜTLELERİNİN KAZILABİLME ÖZELLİKLERİ

Yeraltı ve yerüstü kazılarında doğru ve ekonomik kazı yönteminin ve ekipmanın seçilebilmesi kayaların kazılabilirlik özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle, kayaların kazılabilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılacak doğru ve güvenilir çalışmalar, mühendislik projelerinin maliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kaya kütlelerinin jeoteknik özelliklerinin iyi bir şekilde değerlendirilmesi ve buna uygun kazı yönteminin belirlenmesi, kazı sırasında karşılaşılabilecek problemleri ve kazı maliyetini en aza indirecektir. Kaya kütlelerinin kazılabilirliğini belirlemek amacıyla günümüze değin birçok araştırmacı, kayaların malzeme ve kütle özelliklerinden yola çıkarak kazılabilirliği belirlemeye yönelik ön tasarım amaçlı birçok ampirik sınıflama sistemi geliştirmiştir (Franklin vd., 1971; Atkinson, 1971; Bailey, 1974; Weaver, 1975; Kirsten, 1982; Abdullatif ve Cruden, 1983; Scoble ve Müftüoğlu, 1983; Singh vd., 1987; Smith, 1986; Bozdağ, 1988; Paşamehmetoğlu vd., 1988; Karpuz, 1990; Pettifer ve Fookes, 1994; Hoek ve Karzulovic, 2000; Ceylanoğlu vd., 2007; Tsiambaos ve Saroglou, 2010). Önerilen bu kazılabilirlik sınıflamaları günümüze değin birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Bozdağ, 1988; Kentli ve Topal, 2004; Gürocak vd., 2008; Alemdağ vd., 2011; Kaya vd., 2011; Gürocak ve Yalçın, 2016). Bu sınıflamalar incelendiğinde, kaya kütlelerinin kazılabilirlik ve riparlenebilirlik özelliği üzerinde etkin olduğu düşünülen farklı parametrelerin tercih edildiği görülmektedir. Gürocak ve Yalçın (2016) yaptıkları çalışmada, farklı araştırmacılar tarafından önerilen ve geniş bir kullanım alanı bulan bu sınıflamalarda kullanılan girdi parametrelerini irdemişler ve bu parametreleri;

- A. Süreksizliklerin mühendislik özellikleri,
- B. Kaya malzemesinin mühendislik özellikleri,
- C. Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri

olmak üzere 3 ana kategoriye ayırmışlardır (Tablo 6.1)

Franklin vd. (1971), Scoble ve Muftuoglu (1984), Smith (1986), Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen sınıflamalarda A ve B kategorisindeki süreksizliklerin ve kaya malzemesinin mühendislik özellikleri girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Bailey (1974), Church (1981), Abdullatif ve Cruden (1983), Hoek ve Karzulovic (2000), Tsiambaos ve Saroglou (2009) sadece kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini (Kategori-C) kullanırken; Weaver (1975), Kirsten (1982), Smith (1986), Paşamehmetoğlu vd. (1988), Karpuz (1990), Hadjigeorgiou ve Poulin (1998), Başarır ve Karpuz (2004) ve

Ceylanoglu vd. (2007) ise önerdikleri kazılabilirlik sınıflamalarında süreksizliklerin, kaya malzemesinin ve kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini temsil eden parametreleri (Kategori-A, B, C) tercih etmişlerdir.

Tablo 6.1. Kazılabilirlik sınıflamaları ve kullanılan parametreler (Gurocak ve Yalçın, 2016)

Kategori	Parametreler	Kazılabilirlik Sınıflamaları																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Kategori -A	Süreksizlik yönelimi			✓					✓					✓				
	Süreksizlik sayısı					✓												
	Süreksizlik aralığı	✓		✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	
	Süreksizlik devamlılığı			✓					✓									
	Dolgu			✓					✓									
	Pürüzlülük					✓												
	Süreksizlik Bozunması			✓		✓												
Kategori -B	Tek eksenli sıkışma dayanımı	✓				✓		✓		✓	✓	✓				✓	✓	
	Nokta yükü indeksi	✓										✓	✓	✓		✓		
	Sertlik			✓							✓	✓					✓	
	Bozunma derecesi							✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓	
	Aşınma dayanımı									✓								
Kategori -C	RQD					✓												
	Blok boyutu													✓				
	RMR						✓											
	Q						✓											
	GSI																	✓
	Sismik hız		✓	✓	✓					✓	✓	✓				✓	✓	
	Kaya kütle dayanımı														✓			
1- Franklin vd. (1971) 2- Bailey (1974) 3- Weaver (1975) 4- Church (1981) 5- Kirsten (1982) 6- Abdullatif ve Cruden (1983)		7- Scoble ve Muftuoğlu (1984) 8- Smith (1986) 9- Singh vd. (1987) 10- Paşamehmetoğlu vd. (1988) 11- Karpuz (1990) 12- Pettifer ve Fookes (1994)							13- Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) 14- Hoek ve Karzulovic (2000) 15- Başarır ve Karpuz (2004) 16- Ceylanoğlu vd.(2007) 17-Tsiambaos ve Saroglou (2010)									

Bu ampirik sınıflamalarda en sık kullanılan parametreler eklem ara uzaklığı, tek eksenli sıkışma/nokta yükü dayanımı, bozunma derecesi ve sismik hız parametreleridir. Weaver (1975), Singh vd. (1987), Paşamehmetoğlu vd. (1988), Karpuz (1990) ve Ceylanoğlu vd. (2007) tarafından önerilen sınıflamalarda bu parametrelerin tümü kullanılmaktadır. Bailey (1975) ve Church (1981) girdi parametresi olarak sadece sismik hızı kullanırken; Abdullatif ve Cruden (1983) önerdikleri sınıflamada kaya kütlelerinin RMR ve Q değerlerini; Tsiambaos ve Saroglou (2009) ise yine kaya kütlelerinin GSI değerini parametre olarak kullanmıştır. Bu sınıflamalarda kullanılan RMR, Q ve GSI gibi kaya kütle sınıflarının belirlenmesinde kullanılan parametreler dikkate alındığında, aslında bu sınıflamalarda da kaya malzemesinin ve süreksizliklerin mühendislik özelliklerinin dolaylı olarak kullanıldığını görmek mümkündür. Hoek ve Karzulovic (2000) ise kaya kütlelerinin

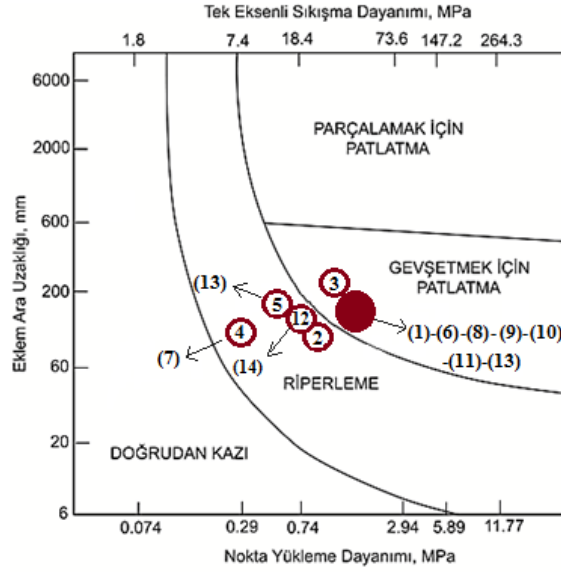
tek eksenli sıkışma dayanımını ve GSI değerini kullanarak kaya kütlelerini kazılabilirlik açısından sınıflandırmışlardır.

Bu ampirik sınıflamalarında kullanılan parametreler genel olarak benzerdir. Bu nedenle, aynı kaya kütlesi için bu sınıflamalardan elde edilecek sonuçların da birbiriyle uyumlu olması gerekir. Ancak, yapılan sınıflamalarda kazılabilirlik ve ripirlenebilirlik sınıfları arasında önemli farklılıkların ortaya çıkması bu sınıflamaların limitli olduğunu ve kullanılırken dikkatli davranmak gerektiğini göstermektedir. Diğer önemli bir durum ise, kazı sırasında kaya kütlelerinin yerinde belirlenen kazı sınıfı ile bu sınıflamalardan elde edilen sonuçlar arasında ortaya çıkabilen uyumsuzluklardır. Uygulamada görülebilen bu farklılıklar, önerilen sınıflamaların her kaya kütlesi için kullanılabilir olmadığını ve kaya kütlelerinde sınıflama yapılırken çalışılan kaya kütlesi için en uygun sınıflamanın seçilmesinin önemli olduğunu göstermektedir. En uygun sınıflamanın hangisi olduğu ise farklı mühendislik özelliklerine sahip kaya kütlelerinde yapılacak olan sınıflamalardan elde edilen sonuçların kazı sırasında belirlenen kazı sınıfı ile karşılaştırılması ile mümkündür.

Bu çalışmada, Yoncalı Barajı isale tüneli güzergâhındaki kaya kütlelerinin kazılabilirlik özelliklerini belirlemek için Tablo 2’de verilen sınıflama sistemlerinden yararlanılmıştır. Bu amaca yönelik olarak DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen çalışmalara ek olarak kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri, RQD ve bozunma dereceleri, kaya kütle sınıfları ve sismik özellikleri belirlemek için arazi ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, daha önce tünel güzergahında yapılmamış olan sismik çalışmalar da yapılmış ve sınıflamalardan elde edilen sonuçlar birbiriyle denştirilerek kaya kütleleri için hangi kazı yönteminin uygun olduğu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

6.1. Franklin vd. (1971) Kazılabilirlik Sınıflaması

Ampirik kazılabilirlik sınıflamalarının ilki Franklin vd. (1971) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflamasıdır. Araştırmacılar, parametre olarak kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma veya nokta yükü dayanımı ile eklem ara uzaklığının kullanıldığı bir sınıflama abacı geliştirmişlerdir (Şekil 6.1.).



Şekil 6.1 Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerinin Franklin vd. (1971) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Tablo 6.2. Bazaltların Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 – 2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426 – 5+826 km
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	48.63	21.35	53.48
Eklem Ara Uzaklığı (mm)	120	90	200
Kazılabilirlik	Gevşetmek için patlatma gerekli (1)	Riperleme (2)	Gevşetmek için patlatma gerekli (3)

Tablo 6.3. Dasitlerin Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	6.21	15.44
Eklem Ara Uzaklığı (mm)	80	180
Kazılabilirlik	Riperleme (4)	Gevşetmek için patlatma gerekli (5)

Tablo 6.4. Aglomeraların Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	38.47
Eklem Ara Uzaklığı (mm)	140
Kazılabilirlik	Gevşetmek için patlatma gerekli (6)

Tablo 6.5. Tüflerin Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	8.62
Eklem Ara Uzaklığı (mm)	80
Kazılabilirlik	Riperleme (7)

Tablo 6.6. Şeyllerin Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	30.77
Eklem Ara Uzaklığı (mm)	160
Kazılabilirlik	Gevşetmek için patlatma gerekli (8)

Tablo 6.7. Marnların Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	25.40	32.05	37.08	22.58
Eklem Ara Uzaklığı (mm)	120	140	160	90
Kazılabilirlik	Gevşetmek için patlatma gerekli (9)	Gevşetmek için patlatma gerekli (10)	Gevşetmek için patlatma gerekli (11)	Riperleme (12)

Tablo 6.8. Kireçtaşlarının Franklin vd. (1971) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	21.66	15.30
Eklem Ara Uzaklığı (mm)	170	120
Kazılabilirlik	Gevşetmek için patlatma gerekli (13)	Riperleme (14)

6.2. Bailey (1974) Kazılabilirlik Sınıflaması

Bailey (1974) tarafından önerilen sınıflama sisteminde, tünel güzergâhında yapılan sismik çalışmalardan elde edilen ve Tablo 4.1 de yer alan V_p değerleri dikkate alınarak Tablo 6.9'daki sınır değerler ile karşılaştırılmış ve Tablo 6.10'da kaya kütlelerinin sökülebilirlik derecesi belirlenmiştir.

Tablo 6.9. Bailey (1974) tarafından önerilen sökülebilirlik sınıflaması.

Sökülebilirlik Derecesi	P-Dalga Hızı (m/sn)
Çok Kolay	300-600
Kolay	600-900
Orta	900-1500
Zor	1500-2100
Çok Zor	2100-2400
Son Derece Zor	2400-2700

Tablo 6.10. Tünel güzergâhındaki birimlerin Bailey (1974) tarafından önerilen sökülebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Kaya Kütleli	Birim	P Dalga Hızı (V_p) m/sn	Sökülebilirlik
Malatya Volkanitleri	Bazalt	3653	Son derece zor
	Dasit	3242	Son derece zor
	Aglomera	1492	Orta
	Tüf	1397	Orta
Hekimhan Fm.	Şeyl	1068	Orta
Alibonca Fm.	Marn	1324	Orta
	Kireçtaşı	3393	Son derece zor

Bailey (1974) tarafından önerilen sökülebilirlik sınıflamasına göre tünel güzergâhında yer alan birimlerden bazalt, dasit ve kireçtaşlarının sökülebilirliği son derece zor; aglomera, tüf, şeyl ve marnların sökülebilirliği ise orta derece olarak tespit edilmiştir.

6.3. Weaver (1975) Kazılabilirlik Sınıflaması

Weaver (1975) geliştirdiği sökülebilirlik sınıflamasında sismik hız, kaya sertliği, ayrışma derecesi, eklemler arası mesafe, eklem sürekliliği, eklem açıklığı, doğrultu ve yatım yönü parametrelerini kullanılmış ve uygun buldozer-riper tipi önerilmiştir. Bu sınıflama birden çok parametreyi dikkate alması nedeniyle daha güvenilir bir sınıflama olmakla beraber eklem sürekliliği, açıklığı, doğrultu ve yatım yönü gibi parametrelerin işletmenin planlama safhasında (kazı öncesi) tespit edilebilmesi önemli zorlukları beraberinde getirmektedir. (Tablo 6.11).

Tablo 6.11. Weaver (1975) tarafından önerilen ripirlenebilirlik sınıflaması

Kaya Sınıfı	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Sismik Hız (m/sn)	>2150	2150-1850	1850-1500	1500-1200	1200-450
Puan	26	24	20	12	5
Kaya Sertliği	Aşırı sert kaya	Çok sert kaya	Sert kaya	Yumuşak kaya	Çok yumuşak kaya
Puan	10	5	2	1	0
Eklem Ayırışması	Ayırışmamış	Hafifçe ayırışmış	Ayırışmış	İleri derecede ayırışmış	Tümüyle ayırışmış
Puan	9	7	5	3	1
Eklem Aralığı	>3000	3000-1000	1000-300	300-50	<50
Puan	30	25	20	10	5
Eklem Sürekliliği	Sürekli değil	Az sürekli	Sürekli-dolgunsuz	Sürekli-az dolgulu	Sürekli dolgulu
Puan	5	5	3	0	0
Eklem Dolgusu	Eklem yüzeyleri bitişik	Eklem yüzeyleri az açık	Açıklık <1 mm	Dolgu < 5 mm	Dolgu > 5 mm
Puan	5	5	4	3	1
Doğrultu ve Eğim Yönü	Hiç uygun değil	Uygun değil	Az uygun	Uygun	Çok uygun
Puan	15	13	10	5	3
Toplam Puan	100-90	90-70 (*)	70-50	50-25	<25
Ripirlenebilirlik	Patlatma Gerekli	Riperleme Çok Zor Patlatma Gerekli	Çok Zor Riperleme	Zor Riperleme	Kolay Riperleme

(*) Toplam puan 75'den fazla olursa patlatma yapmaksızın riperleme düşünülmemelidir.

Tablo 6.12. Bazaltlar Weaver (1975) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 – 2+488 km		3+141 – 3+579 km		4+426– 5+826 km	
	Değer	Puan	Değer	Puan	Değer	Puan
Sismik Hız	3653	26	3653	26	3653	26
Kaya Sertliği	Sert kaya	2	Sert kaya	2	Sert kaya	2
Eklem Ayırışması	Hafif ayırışmış	7	Ayırışmış	5	Hafif ayırışmış	7
Eklem Aralığı	120	10	90	10	200	10
Eklem Sürekliliği	Sürekli-az dolgulu	0	Sürekli-az dolgulu	0	Sürekli-az dolgulu	0
Eklem Dolgusu	Dolgu < 5 mm	3	Dolgu < 5 mm	3	Dolgu < 5 mm	3
Doğrultu ve Yatım Yönü	Az uygun	10	Az uygun	10	Az uygun	10
Toplam Puan	58		56		58	
Kaya Sınıfı	Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya	
Ripirlenebilirlik	Çok Zor Riperleme		Çok Zor Riperleme		Çok Zor Riperleme	

Tablo 6.13. Dasitlerin Weaver (1975) riperlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km		4+038 – 4+257 km	
	Değer	Puan	Değer	Puan
Sismik Hız	3242	26	3242	26
Kaya Sertliği	Yumuşak kaya	1	Yumuşak kaya	1
Eklem Ayırışması	Ayrışmış	5	Hafif ayrışmış	7
Eklem Aralığı	80	10	180	10
Eklem Sürekliliği	Sürekli-az dolgulu	0	Sürekli-az dolgulu	0
Eklem Dolgusu	Dolgu < 5 mm	3	Dolgu < 5 mm	3
Doğrultu ve Yatım Yönü	Az uygun	10	Az uygun	10
Toplam Puan	55		57	
Kaya Sınıfı	Orta kaya		Orta kaya	
Riperlenebilirlik	Çok Zor Riperleme		Çok Zor Riperleme	

Tablo 6.14. Aglomeraların Weaver (1975) riperlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km	
	Değer	Puan
Sismik Hız	1492	12
Kaya Sertliği	Sert kaya	2
Eklem Ayırışması	Hafif ayrışmış	7
Eklem Aralığı	140	10
Eklem Sürekliliği	Sürekli-az dolgulu	0
Eklem Dolgusu	Açıklık <1 mm	4
Doğrultu ve Yatım Yönü	Az uygun	10
Toplam Puan	45	
Kaya Sınıfı	Zayıf kaya	
Riperlenebilirlik	Zor Riperleme	

Tablo 6.15. Tüflerin Weaver (1975) riperlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km	
	Değer	Puan
Sismik Hız	1397	12
Kaya Sertliği	Çok yumuşak kaya	0
Eklem Ayırışması	Ayrışmış	5
Eklem Aralığı	80	10
Eklem Sürekliliği	Sürekli dolgulu	0
Eklem Dolgusu	Açıklık <1 mm	4
Doğrultu ve Yatım Yönü	Az uygun	10
Toplam Puan	41	
Kaya Sınıfı	Zayıf kaya	
Riperlenebilirlik	Zor Riperleme	

Tablo 6.16. Şeyllerin Weaver (1975) riperlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km	
	Değer	Puan
Sismik Hız	1068	5
Kaya Sertliği	Yumuşak kaya	1
Eklem Ayırışması	Hafif ayırışmış	7
Eklem Aralığı	160	10
Eklem Sürekliliği	Sürekli dolgusuz	3
Eklem Dolgusu	Eklem yüzeyleri bitişik	5
Doğrultu ve Yatım Yönü	Az uygun	10
Toplam Puan	41	
Kaya Sınıfı	Zayıf kaya	
Riperlenebilirlik	Zor Riperleme	

Tablo 6.17. Marnların Weaver (1975) riperlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	5+826 – 6+487 km		6+910 – 7+769 km		8+083 – 9+050 km		9+197 – 9+262 km	
	Değer	Puan	Değer	Puan	Değer	Puan	Değer	Puan
Sismik Hız	1324	13	1324	13	1324	13	1324	13
Kaya Sertliği	Yumuşak kaya	1	Yumuşak kaya	1	Yumuşak kaya	1	Yumuşak kaya	1
Eklem Ayırışması	Ayrışmış	5	Ayrışmış	5	Ayrışmış	5	Ayrışmış	5
Eklem Aralığı	120	10	140	10	160	10	90	10
Eklem Sürekliliği	Sürekli dolgusuz	3	Sürekli dolgusuz	3	Sürekli dolgusuz	3	Sürekli dolgusuz	3
Eklem Dolgusu	Eklem yüzeyleri bitişik	5	Eklem yüzeyleri bitişik	5	Eklem yüzeyleri bitişik	5	Eklem yüzeyleri bitişik	5
Doğrultu ve Yatım Yönü	Uygun değil	13	Uygun değil	13	Uygun değil	13	Uygun değil	13
Toplam Puan	50		50		50		50	
Kaya Sınıfı	Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya		Orta kaya	
Riperlenebilirlik	Çok Zor Riperleme		Çok Zor Riperleme		Çok Zor Riperleme		Çok Zor Riperleme	

Tablo 6.18. Kireçtaşlarının Weaver (1975) riperlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 – 8+083 km		9+050 - 9+197 km	
	Değer	Puan	Değer	Puan
Sismik Hız	3393	26	3393	26
Kaya Sertliği	Sert kaya	2	Sert kaya	2
Eklem Ayırışması	Hafif ayırışmış	7	Hafif ayırışmış	7
Eklem Aralığı	170	10	120	10
Eklem Sürekliliği	Sürekli dolgusuz	3	Sürekli dolgusuz	3
Eklem Dolgusu	Eklem yüzeyleri bitişik	5	Eklem yüzeyleri bitişik	5
Doğrultu ve Yatım Yönü	Uygun değil	13	Uygun değil	13
Toplam Puan	66		66	
Kaya Sınıfı	Orta kaya		Orta kaya	
Riperlenebilirlik	Çok Zor Riperleme		Çok Zor Riperleme	

6.4. Church (1981) Kazılabilirlik Sınıflaması

Church (1981) yalnızca V_p değerlerini dikkate alarak geliştirdiği sınıflama sisteminde, kaya kütlelerini altı kazılabilirlik sınıfına ayırmıştır (Tablo 6.19). Tablo 4.1 de tünel güzergâhında yer alan kaya kütlelerine ait V_p değerleri dikkate alınarak Church’a göre kazılabilirlik sınıflaması yapılmıştır (Tablo 6.20).

Tablo 6.19. Church, (1981) tarafından önerilen sökülebilirlik sınıflandırması

Sökülebilirlik Derecesi	Sismik Hız (V_p , m/sn)
Doğrudan kazı	< 458
Kolay	458 - 1220
Orta zor	1220 - 1525
Zor	1525 - 1830
Çok zor	1830 - 2135
Patlatma	> 2135

Tablo 6.20. Tünel güzergâhındaki birimlerin Church (1981) tarafından önerilen sökülebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Kaya Kütlesi	Birim	P Dalga Hızı (V_p) m/sn	Sökülebilirlik
Malatya Volkanitleri	Bazalt	3653	Patlatma
	Dasit	3242	Patlatma
	Aglomera	1492	Orta zor
	Tüf	1397	Orta zor
Hekimhan Fm.	Şeyl	1068	Kolay
Alibonca Fm.	Marn	1324	Orta zor
	Kireçtaşı	3393	Patlatma

6.5. Kirsten (1982) Kazılabilirlik Sınıflaması

Kirsten (1982), daha önce Barton (1974) tarafından yeraltı yapıları ve tüneller için geliştirilen Q kaya kütle sınıflama sistemini kaya kütlelerinin sökülebilirlik sınıflaması da kullanmıştır. Bu kazılabilirlik sınıflama sisteminde girdi parametresi olarak, kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı (M_s), göreceli yer yapı sayısı (J_s , kaya malzemesi için 1 alınır), RQD, eklem takım sayısı (J_n), eklem pürüzlülük sayısı (J_r) ve eklem yüzeyi alterasyon sayısı (J_a) kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden yararlanılarak Kazılabilirlik İndeksi (N) aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$N = M_s \left[\frac{RQD}{J_n} \right] J_s \left[\frac{J_r}{J_a} \right] \quad (6.1)$$

Tablo 6.21. Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması

Kazılabilirlik Derecesi	Sınır Değerler
Patlatma	$N > 10000$
Oldukça zor sökülebilir / Patlatma	$1000 < N < 10000$
Çok zor sökülebilir	$1000 < N < 100$
Zor sökülebilir	$100 < N < 10$
Kolay sökülebilir	$1 < N < 10$

Tablo 6.22. Bazaltların Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 – 2+488 km	3+141-3+579 km	4+426– 5+826 km
Kaya kalite göstergesi (RQD, %)	26	15	44
Eklem takım sayısı (J_n)	12	12	12
Eklem pürüzlülük sayısı (J_r)	1.5	1.5	1.5
Eklem yüzeyi alterasyon sayısı (J_a)	3	3	3
Tek eksenli basınç dayanımı (M_s , MPa)	48.63	21.35	53.48
Göreceli yer yapı sayısı (J_s)	1	1	1
Blok boyutu (RQD/J_n)	2.16	1.25	3.66
Bloklar arası kayma direnci (J_r/J_a)	0.5	0.5	0.5
Kazılabilirlik İndeksi (N)	52,52	13.34	97.87
Kazılabilirlik Derecesi	Zor sökülebilir	Zor sökülebilir	Zor sökülebilir

Tablo 6.23. Dasitlerin Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
Kaya kalite göstergesi (RQD, %)	18	73
Eklem takım sayısı (J_n)	12	12
Eklem pürüzlülük sayısı (J_r)	1.5	1.5
Eklem yüzeyi alterasyon sayısı (J_a)	3	3
Tek eksenli basınç dayanımı (M_s , MPa)	6.21	15.44
Göreceli yer yapı sayısı (J_s)	1	1
Blok boyutu (RQD/J_n)	1.5	1.5
Bloklar arası kayma direnci (J_r/J_a)	0.5	0.5
Kazılabilirlik İndeksi (N)	4.66	11.58
Kazılabilirlik Derecesi	Kolay sökülebilir	Zor sökülebilir

Tablo 6.24. Aglomerların Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km
Kaya kalite göstergesi (RQD, %)	46
Eklem takım sayısı (J_n)	12
Eklem pürüzlülük sayısı (J_r)	1.5
Eklem yüzeyi alterasyon sayısı (J_a)	3
Tek eksenli basınç dayanımı (M_s , MPa)	38.47
Göreceli yer yapı sayısı (J_s)	1
Blok boyutu (RQD/J_n)	3.83
Bloklar arası kayma direnci (J_r/J_a)	0.5
Kazılabilirlik İndeksi (N)	73.67
Kazılabilirlik Derecesi	Zor sökülebilir

Tablo 6.25. Tüflerin Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km
Kaya kalite göstergesi (RQD, %)	24
Eklem takım sayısı (J_n)	12
Eklem pürüzlülük sayısı (J_r)	3
Eklem yüzeyi alterasyon sayısı (J_a)	3
Tek eksenli basınç dayanımı (M_s , MPa)	8.62
Göreceli yer yapı sayısı (J_s)	1
Blok boyutu (RQD/ J_n)	2
Bloklar arası kayma direnci (J_r/J_a)	1
Kazılabilirlik İndeksi (N)	17.24
Kazılabilirlik Derecesi	Zor sökülebilir

Tablo 6.26. Şeyllerin Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km
Kaya kalite göstergesi (RQD, %)	92
Eklem takım sayısı (J_n)	12
Eklem pürüzlülük sayısı (J_r)	3
Eklem yüzeyi alterasyon sayısı (J_a)	3
Tek eksenli basınç dayanımı (M_s , MPa)	30.77
Göreceli yer yapı sayısı (J_s)	1
Blok boyutu (RQD/ J_n)	7.66
Bloklar arası kayma direnci (J_r/J_a)	1
Kazılabilirlik İndeksi (N)	235.69
Kazılabilirlik Derecesi	Çok zor sökülebilir

Tablo 6.27. Marnların Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi

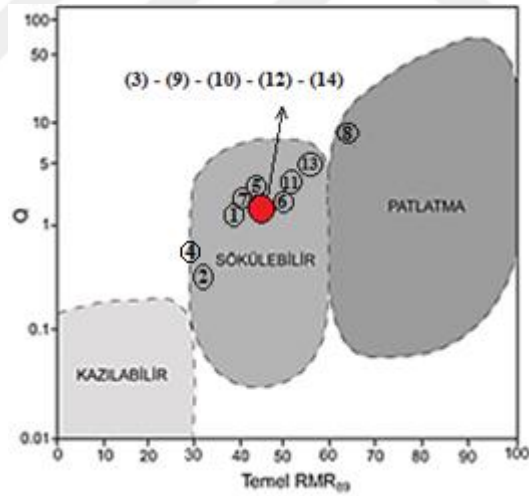
Parametreler	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197-9+262 km
Kaya kalite göstergesi (RQD, %)	30	35	49	25
Eklem takım sayısı (J_n)	12	12	12	12
Eklem pürüzlülük sayısı (J_r)	3	3	3	3
Eklem yüzeyi alterasyon sayısı (J_a)	3	3	3	3
Tek eksenli basınç dayanımı (M_s , MPa)	25.40	32.05	37.08	22.58
Göreceli yer yapı sayısı (J_s)	1	1	1	1
Blok boyutu (RQD/ J_n)	2.5	2.9	4.08	2.08
Bloklar arası kayma direnci (J_r/J_a)	1	1	1	1
Kazılabilirlik İndeksi (N)	63.5	92.94	152.10	46.97
Kazılabilirlik Derecesi	Zor sökülebilir	Zor sökülebilir	Çok zor sökülebilir	Zor sökülebilir

Tablo 6.28. Kireçtaşlarının Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksine (N) göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
Kaya kalite göstergesi (RQD, %)	87	32
Eklem takım sayısı (J_n)	12	12
Eklem pürüzlülük sayısı (J_r)	3	3
Eklem yüzeyi alterasyon sayısı (J_a)	3	3
Tek eksenli basınç dayanımı (M_s , MPa)	21.66	15.30
Göreceli yer yapı sayısı (J_s)	1	1
Blok boyutu (RQD/J_n)	7.25	2.67
Bloklar arası kayma direnci (J_r/J_a)	1	1
Kazılabilirlik İndeksi (N)	157.03	40.85
Kazılabilirlik Derecesi	Çok zor sökülebilir	Zor sökülebilir

6.6. Abdullatif ve Cruden (1983) Kazılabilirlik Sınıflaması

Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen ve şekil 6.2. de yer alan kazılabilirlik sınıflama sisteminde kazı sınıfını temel RMR_{89} ve Q değerleri kullanılmaktadır. Bu sınıflamada kaya kütleleri Tablo 6.29’de verilen değerlere göre değerlendirilmektedir.



Şekil 6.2. Kaya kütlelerinin Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Tablo 6.29. Bazaltların Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 – 2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426– 5+826 km
	Değer	Değer	Değer
RMR	37.8	32.8	44.5
Q	1.08	0.63	1.83
Kazılabilirlik	Sökülebilir (1)	Sökülebilir (2)	Sökülebilir (3)

Tablo 6.30. Dasitlerin Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
	Değer	Değer
RMR	29.7	43.5
Q	0.750	3.04
Kazılabilirlik	Sökülebilir (4)	Sökülebilir (5)

Tablo 6.31. Aglomeraların Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km
	Değer
RMR	48.5
Q	1.92
Kazılabilirlik	Sökülebilir (6)

Tablo 6.32. Tüflerin Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km
	Değer
RMR	39.8
Q	2.00
Kazılabilirlik	Sökülebilir (7)

Tablo 6.33. Şeyllerin Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km
	Değer
RMR	63.5
Q	7.67
Kazılabilirlik	Patlatma ile sökülebilir (8)

Tablo 6.34. Marnların Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
	Değer	Değer	Değer	Değer
RMR	48.2	51.3	54.3	47.2
Q	2.50	2.92	4.08	2.08
Kazılabilirlik	Sökülebilir (9)	Sökülebilir (10)	Sökülebilir (11)	Sökülebilir (12)

Tablo 6.35. Kireçtaşlarının Abdullatif ve Cruden (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
	Değer	Değer
RMR	59.3	47.9
Q	7.25	2.67
Kazılabilirlik	Patlatma ile sökülebilir (13)	Sökülebilir (14)

6.7. Scoble ve Müftüoğlu (1984) Kazılabilirlik Sınıflaması

Scoble ve Müftüoğlu, (1984) ayrışma derecesi, tek eksenli sıkışma dayanımı, eklemler arası mesafe ve katmanlaşma kalınlığı gibi jeoteknik parametreleri kullanarak geliştirdiği kazılabilirlik sınıflamasında, kaya kütlelerini kazılabilirlik özelliğine göre yedi sınıfa ayırmaktadır (Tablo 6.36).

Tablo 6.36. Scoble ve Müftüoğlu, (1984) tarafından geliştirilen kazılabilirlik sınıflama sistemi

Parametreler	I		II	III		IV		V
Ayrışma Derecesi Puanlama (AD)	Tümüyle Ayrışmış		Ayrışmış	Orta Derecede Ayrışmış		Hafifçe Ayrışmış		Ayrışmamış
Puan	0		5	15		20		25
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa) (BDn)	< 20		20-40	40-60		60-100		> 100
Nokta Yüğü Dayanım İndeksi (MPa)	< 0.5		0.5-1.5	1.5-2		1-3.5		> 3.5
Puan	0		10	15		20		25
Çatlaklar Arası Mesafe (m), (Ç)	< 0.3		0.3-0.6	0.6-1.5		1.5-2		> 2
Puan	5		15	30		45		50
Tabaka Kalınlığı (K)	< 0.1		0.1-0.3	0.3-0.6		0.6-1.5		> 1.5
Puan	0		5	10		20		30
Toplam Kazılabilirlik Puanı (AD+BDn+Ç+K)	<40	40-50	50-60	60-70	70-95	95-100	>100	
Kazı Sınıfı	Çok Kolay	Kolay	Biraz Zor	Zor	Çok Zor	Pek Zor	Gevşetilme Olmaksızın Pek Zor	

Tablo 6.37. Bazaltların Scoble ve Müftüoğlu (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 – 2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426– 5+826 km
AD	Orta Derecede Ayrışmış	Hafifçe Ayrışmış	Orta Derecede Ayrışmış
Puan	15	20	15
BDn	48.63	21.35	53.48
Puan	15	10	15
Ç	0.12 m	0.09 m	0.2 m
Puan	5	5	5
K	5	5	5
Toplam Puan AD+BDn+Ç+K	40	40	40
Kazı Sınıfı	Kolay	Kolay	Kolay

Tablo 6.38. Dasitlerin Scoble ve Müftüoğlu (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
AD	Hafifçe Ayrışmış	Hafifçe Ayrışmış
Puan	20	20
BDn	11.96 MPa	11.96 MPa
Puan	0	0
Ç	0.08 m	0.18 m
Puan	5	5
K	5	5
Toplam Puan AD+BDn+Ç+K	30	30
Kazı Sınıfı	Çok kolay	Çok kolay

Tablo 6.39. Aglomeraların Scoble ve Müftüoğlu (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km
AD	Orta Derecede Ayrışmış
Puan	15
BDn	38.47 MPa
Puan	10
Ç	0.14 m
Puan	5
K	5
Toplam Puan AD+BDn+Ç+K	35
Kazı Sınıfı	Çok kolay

Tablo 6.40. Tüflerin Scoble ve Müftüoğlu (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km
AD	Ayrışmış
Puan	5
BDn	8.62 MPa
Puan	0
Ç	0.08 m
Puan	5
K	5
Toplam Puan AD+BDn+Ç+K	15
Kazı Sınıfı	Çok kolay

Tablo 6.41. Şeyllerin Scoble ve Müftüoğlu (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km
AD	Orta Derecede Ayrışmış
Puan	15
BDn	30.77 MPa
Paun	10
Ç	5
K	0.16
Puan	5
Toplam Puan AD+BDn+Ç+K	40
Kazı Sınıfı	Kolay

Tablo 6.42. Marnların Scoble ve Müftüoğlu (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
AD	Ayrışmış	Ayrışmış	Ayrışmış	Ayrışmış
Puan	5	5	5	5
BDn	30.59 MPa	30.59 MPa	30.59 MPa	30.59 MPa
Puan	10	10	10	10
Ç	5	5	5	5
K	0.12	0.14	0.16	0.09
Puan	5	5	5	5
Toplam Puan AD+BDn+Ç+K	25	25	25	25
Kazı Sınıfı	Çok kolay	Çok kolay	Çok kolay	Çok kolay

Tablo 6.43. Kireçtaşlarının Scoble ve Müftüoğlu (1983) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
AD	Ayrışmış	Ayrışmış
Puan	5	5
BDn	19.42 MPa	19.42 MPa
Puan	0	0
Ç	5	5
K	0.17	0.12
Puan	5	5
Toplam Puan AD+BDn+Ç+K	15	15
Kazı Sınıfı	Çok kolay	Çok kolay

6.8. Smith (1986) Kazılabilirlik Sınıflaması

Smith (1986), çalışmasında Weaver (1975) sınıflama sistemini bazı değişiklikler yaparak Tablo 6.44'de verildiği gibi yeniden düzenlemiştir.

Tablo 6.44. Weaver (1975)'in değiştirilmiş ripirlenebilirlik sınıflama sistemi (Smith, 1986)

Kaya sertliği*	Çok sert kaya ≥ 70 MPa	Sert kaya 70 - 25 MPa	Orta sert kaya 25 - 10 MPa	Yumuşak kaya 10 - 3 MPa	Çok yumuşak kaya < 3 MPa
Puan	10	5	2	1	0
Eklem ayrışması	Ayrışmamış	Hafifçe ayrışmış	Orta derecede ayrışmış	İleri derecede ayrışmış	Tümüyle ayrışmış
Puan	10	7	5	1	0
Eklem aralığı (mm)	> 3000	3000 - 1000	1000 - 300	300-50	< 50
Puan	30	25	20	10	5
Eklem sürekliliği	Sürekli değil	Az sürekli	Orta Sürekli	Sürekli	Çok Sürekli
Puan	5	5	3	0	0
Eklem dolgusu	Eklem yüzeyleri bitişik	Eklem yüzeyleri az açık	Açıklık < 1mm	Dolgu < 5 mm	Dolgu > 5 mm
Puan	5	5	4	3	1
Doğrultu ve eğim yönü	Hiç uygun değil	Uygun değil	Az uygun	Uygun	Çok uygun
Puan	15	13	10	5	3
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	> 75	60-75	44-60	22-44	10-22
Ripirlenebilirlik	Patlatma gerekli	Riperleme çok zor Patlatma gerekli	Çok zor riperleme	Zor riperleme	Kolay riperleme

* Tek eksenli sıkışma dayanımı karşılığı

Tablo 6.45. Bazaltların Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 – 2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426 – 5+826 km
Kaya Sertliği	48.63 MPa Sert Kaya	21.35 MPa Orta Sert Kaya	53.48 MPa Sert Kaya
Puan	5	2	5
Eklem Ayrışması	Orta derecede Ayrışmış	İleri Derecede Ayrışmış	Orta derecede Ayrışmış
Puan	5	1	5
Eklem Aralığı	120 mm	90 mm	20 mm
Puan	10	10	5
Eklem Sürekliliği	Az sürekli	Az sürekli	Az sürekli
Puan	5	5	5
Eklem Dolgusu	Dolgu < 5 mm	Dolgu < 5 mm	Dolgu < 5 mm
Puan	3	3	3
Doğrultu ve Eğim Yönü	Az uygun	Az uygun	Az uygun
Puan	10	10	10
Toplam Puan	38	31	33
Kaya Sınıfı	Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya
Riperlenebilirlik	Zor riperleme	Zor riperleme	Zor riperleme

Tablo 6.46. Dasitlerin Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
Kaya Sertliği	6.21 MPa Yumuşak kaya	15.44 MPa Orta sert kaya
Puan	1	2
Eklem Ayrışması	İleri Derecede Ayrışmış	Orta derecede Ayrışmış
Puan	1	5
Eklem Aralığı	80 mm	180 mm
Puan	10	10
Eklem Sürekliliği	Az sürekli	Az sürekli
Puan	5	5
Eklem Dolgusu	Dolgu < 5 mm	Dolgu < 5 mm
Puan	3	3
Doğrultu ve Eğim Yönü	Az uygun	Az uygun
Puan	10	10
Toplam Puan	30	35
Kaya Sınıfı	Zayıf kaya	Zayıf kaya
Riperlenebilirlik	Zor riperleme	Zor riperleme

Tablo 6.47. Aglomeraların Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km
Kaya Sertliği	38.47 MPa Sert kaya
Puan	5
Eklem Ayrışması	Orta derecede Ayrışmış
Puan	5
Eklem Aralığı	140 mm
Puan	10
Eklem Sürekliliği	Az sürekli
Puan	5
Eklem Dolgusu	Dolgu < 5 mm
Puan	3
Doğrultu ve Eğim Yönü	Az uygun
Puan	10
Toplam Puan	38
Kaya Sınıfı	Zayıf kaya
Riperlenebilirlik	Zor riperleme

Tablo 6.48. Tüflerin Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km
Kaya Sertliği	8.62 MPa Yumuşak kaya
Puan	1
Eklem Ayrışması	İleri Derecede Ayrışmış
Puan	1
Eklem Aralığı	80 mm
Puan	10
Eklem Sürekliliği	Çok sürekli
Puan	0
Eklem Dolgusu	Açıklık < 1mm
Puan	4
Doğrultu ve Eğim Yönü	Az uygun
Puan	10
Toplam Puan	26
Kaya Sınıfı	Zayıf kaya
Riperlenebilirlik	Zor riperleme

Tablo 6.49. Şeyllerin Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km
Kaya Sertliği	30.77 Sert kaya
Puan	5
Eklem Ayırışması	Orta derecede Ayırışmış
Puan	5
Eklem Aralığı	160 mm
Puan	10
Eklem Sürekliliği	Çok sürekli
Puan	0
Eklem Dolgusu	Eklem yüzeyleri bitişik
Puan	5
Doğrultu ve Eğim Yönü	Az uygun
Puan	10
Toplam Puan	35
Kaya Sınıfı	Zayıf kaya
Riperlenebilirlik	Zor riperleme

Tablo 6.50. Marnların Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
Kaya Sertliği	25.40 MPa Sert kaya	32.05MPa Sert kaya	37.08 MPa Sert kaya	22.58 MPa Orta sert kaya
Puan	5	5	5	2
Eklem Ayırışması	İleri Derecede Ayırışmış	İleri Derecede Ayırışmış	İleri Derecede Ayırışmış	İleri Derecede Ayırışmış
Puan	1	1	1	1
Eklem Aralığı	120 mm	140 mm	160 mm	90 mm
Puan	10	10	10	10
Eklem Sürekliliği	Çok sürekli	Çok sürekli	Çok sürekli	Çok sürekli
Puan	0	0	0	0
Eklem Dolgusu	Eklem yüzeyleri bitişik	Eklem yüzeyleri bitişik	Eklem yüzeyleri bitişik	Eklem yüzeyleri bitişik
Puan	5	5	5	5
Doğrultu ve Eğim Yönü	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil
Puan	13	13	13	13
Toplam Puan	34	34	34	31
Kaya Sınıfı	Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya
Riperlenebilirlik	Zor riperleme	Zor riperleme	Zor riperleme	Zor riperleme

Tablo 6.51. Kireçtaşlarının Smith (1986) sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
Kaya Sertliği	21.66 MPa Orta sert kaya	15.30 MPa Orta sert kaya
Puan	2	2
Eklem Ayrışması	İleri Derecede Ayrışmış	İleri Derecede Ayrışmış
Puan	1	1
Eklem Aralığı	170 mm	120 mm
Puan	10	10
Eklem Sürekliliği	Çok sürekli	Çok sürekli
Puan	0	0
Eklem Dolgusu	Eklem yüzeyleri bitişik	Eklem yüzeyleri bitişik
Puan	5	5
Doğrultu ve Eğim Yönü	Uygun değil	Uygun değil
Puan	13	13
Toplam Puan	36	36
Kaya Sınıfı	Zayıf kaya	Zayıf kaya
Riperlenebilirlik	Zor riperleme	Zor riperleme

6.9. Singh vd. (1987) Kazılabilirlik Sınıflaması

Singh vd. (1987) tek eksenli basınç dayanımı, ayrışma derecesi, sismik hız, süreksizlikler arası mesafe ve kayanın aşınma özelliğini kullanarak bir riperleme sınıflaması geliştirmişlerdir (Tablo 6.52.).

Tablo 6.52. Singh vd. (1987) tarafından önerilen riperlenebilirlik sınıflaması

Parametreler	Kaya Sınıfı				
	1	2	3	4	5
Tek Eksenli sıkışma Dayanımı (MPa)	< 2	2-6	6-10	10-15	> 15
Puan	0-3	3-7	7-11	11-14	14-17
Ayrışma Derecesi	Tümüyle Ayrışmış	İleri derecede ayrışmış	Orta derecede ayrışmış	Az derecede ayrışmış	Ayrışmamış
Puan	0-2	2-6	6-10	10-14	14-18
Sismik Hız (m/sn)	400-1100	1100-1600	1600-1900	1900-2500	>2500
Puan	0-6	6-10	10-14	14-18	18-25
Aşınabilirlik	Çok Az	Az	Orta	İleri derecede	Oldukça
Puan	0-5	5-9	9-13	13-18	18-22
Süreksizlikler Arası Mesafe (m)	< 0.06	0.06-0.3	0.3-1	1-2	> 2
Puan	0-7	7-15	15-22	22-28	28-33
Toplam Puan	< 30	30-50	50-70	70-90	> 90
Riperlenebilirlik	Kolay	Orta	Zor	Marjinal	Patlatma

Tablo 6.53. Bazaltların Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 – 2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426– 5+826 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	48.63 MPa	21.35 MPa	53.48 MPa
Puan	17	15	17
Ayrışma Derecesi	Orta derecede ayrışmış	Az derecede ayrışmış	Orta derecede ayrışmış
Puan	9	12	9
Sismik Hız (m/s)	3653	3653	3653
Puan	25	25	25
Aşınabilirlik	Az	Az	Az
Puan	5	5	5
Süreksizlik Ara Mesafesi (m)	1-2	1-2	1-2
Puan	2	2	2
Toplam Puan	48	59	58
Ripirlenebilirlik	Orta	Zor	Zor

Tablo 6.54. Dasitlerin Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	6.21 MPa	15.44 MPa
Puan	7	14
Ayrışma Derecesi	Az derecede ayrışmış	Az derecede ayrışmış
Puan	12	12
Sismik Hız (m/s)	3242	3242
Puan	25	25
Aşınabilirlik	Orta	Orta
Puan	11	11
Süreksizlik Ara Mesafesi (m)	1-2	1-2 mm
Puan	2	2
Toplam Puan	57	64
Ripirlenebilirlik	Zor	Zor

Tablo 6.55. Aglomeraların Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	38.47 MPa
Puan	16
Ayrışma Derecesi	Az derecede ayrışmış
Puan	12
Sismik Hız (m/s)	1492
Puan	9
Aşınabilirlik	Orta
Puan	12
Süreksizlik Ara Mesafesi (m)	1
Puan	2
Toplam Puan	51
Ripirlenebilirlik	Zor

Tablo 6.56. Tüflerin Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	8.62 MPa
Puan	9
Ayrışma Derecesi	Orta derecede ayrılmış
Puan	9
Sismik Hız (m/s)	1397
Puan	8
Aşınabilirlik	İleri derecede
Puan	15
Süreksizlik Ara Mesafesi (m)	<1
Puan	15
Toplam Puan	56
Ripirlenebilirlik	Zor

Tablo 6.57. Şeyllerin Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	30.77
Puan	16
Ayrışma Derecesi	Ayrılmamış
Puan	17
Sismik Hız (m/s)	1068
Puan	6
Aşınabilirlik	İleri derecede
Puan	15
Süreksizlik Ara Mesafesi (m)	<1
Puan	1
Toplam Puan	55
Ripirlenebilirlik	Zor

Tablo 6.58. Marnların Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	25.40 MPa	32.05MPa	37.08 MPa	22.58 MPa
Puan	15	16	16	15
Ayrışma Derecesi	Orta derecede Ayrılmış	Az derecede Ayrılmış	Az derecede Ayrılmış	Az derecede Ayrılmış
Puan	9	12	12	12
Sismik Hız (m/s)	1324	1324	1324	1324
Puan	8	8	8	8
Aşınabilirlik	İleri derecede	İleri derecede	İleri derecede	İleri derecede
Puan	15	15	15	15
Süreksizlik Ara Mesafesi	<1	<1	<1	<1
Puan	1	1	1	1
Toplam Puan	46	52	42	51
Ripirlenebilirlik	Orta	Zor	Orta	Zor

Tablo 6.59. Kireçtaşlarının Singh vd. (1987) ripirlenebilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 - 8+083 km	9+050 - 9+197 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	21.66 MPa	15.30 MPa
Puan	15	14
Ayrışma Derecesi	Ayrışmamış	Ayrışmamış
Puan	17	17
Sismik Hız (m/s)	3393	3393
Puan	23	23
Aşınabilirlik	Orta	Orta
Puan	10	10
Süreksizlik Ara Mesafesi (m)	<1	<1
Puan	1	1
Toplam Puan	66	65
Ripirlenebilirlik	Zor	Zor

6.10. Paşamehmetoğlu vd. (1988) Kazılabilirlik Sınıflaması

Paşamehmetoğlu vd. (1988) önerdikleri kazılabilirlik sınıflamasında beş kazılabilirlik sınıfı tanımlamışlar ve girdi parametresi kaya malzemesini tek eksenli sıkışma dayanımı veya nokta yükü dayanımını, eklem aralığını, sismik hızı, ayrışma durumu ve Schmidt sertliğini kullanmışlardır (Tablo 6.60, 6.61).

Tablo 6.60. Kazılabilirlik parametreleri ve puanlama sistemi (Paşamehmetoğlu vd., 1988)

Parametreler	1	2	3	4	5
Tek eksenli sıkışma / Nokta yükü dayanımı (MPa)	< 5 (0.2)	5-20 (0.2-0.8)	20-40 (0.8-1.6)	40-110 (1.6-4.4)	> 110 (4.4)
Puan	2	5	10	20	25
Ortalama Eklem Aralığı, cm	<30	30-60	60-120	120-200	> 200
Puan	5	10	15	20	25
Sismik Hız, m/sn	< 1600	1600-2000	2000-2500	2500-3000	> 3000
Puan	5	10	15	20	25
Ayrışma Durumu	Tamamen	İleri derecede	Orta derecede	Taze-az	Ayrışmamış
Puan	0	3	6	10	12
Sertlik, (SHV)	< 20	20-30	30-45	45-55	> 55
Puan	3	5	8	12	15

Tablo 6.61. Paşamehmetoğlu vd. (1988) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması

Kazı Sınıfı	Kazı Tanımı	Kazılabilirlik Puanı	Kazı Türü ve Aracı			Patlatılacaksa	
			Elektrikli Kazıcı*	Hidrolik Kazıcı**	Riperlenebilme	Ort. Delme Hızı m/dk.	Özgül Şarj gr/m ³
1	Kolay	0-25	Doğrudan Kazabilir	Doğrudan Kazabilir	D7 Dozer Riperleyebilir	-	-
2	Orta	25-45	Patlatma Gerekli	Doğrudan Kazabilir	D8 Marjinal veya D9 Dozeri Riperleyebilir	1.48	130-200
3	Orta zor	45-65	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	D9 Dozeri Marjinal veya D11 Riperleyebilir	1.28	200-280
4	Zor	65-85	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli D11Dozeri Verimsiz	0.57	280-350
5	Çok zor	85-100	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	< 0.42	> 350
* 10-25 yd ³ kapasite için geçerlidir							
** Hidrolik ekskavatör, 7 yd ³ ve altı için geçerlidir							

Tablo 6.62. Bazaltların Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 – 2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426 – 5+826 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	48.63 MPa	21.35 MPa	53.48 MPa
Puan	20	20	20
Ortalama eklem aralığı (cm)	12 cm	9 cm	20 cm
Puan	5	5	5
Sismik Hız (m/s)	3653	3653	3653
Puan	25	25	25
Ayrışma durumu	Orta derecede	Taze-az	Orta derecede
Puan	6	10	6
Sertlik (SHV)	22	22	22
Puan	5	5	5
Toplam Puan	61	65	61
Kazılabilirlik sınıfı	Orta Zor	Orta Zor	Orta Zor

Tablo 6.63. Dasitlerin Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	6.21 MPa	15.44 MPa
Puan	5	5
Ortalama eklem aralığı (cm)	8 cm	18 cm
Puan	5	5
Sismik Hız (m/s)	3242	3242
Puan	25	25
Ayrışma durumu	Taze-az	Taze-az
Puan	10	10
Sertlik (SHV)	18	18
Puan	3	3
Toplam Puan	48	48
Kazılabilirlik sınıfı	Orta Zor	Orta Zor

Tablo 6.64. Aglomeraların Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	38.47 MPa
Puan	10
Ortalama eklem aralığı (cm)	14 cm
Puan	5
Sismik Hız (m/s)	1492
Puan	5
Ayrışma durumu	Taze-az
Puan	10
Sertlik (SHV)	20
Puan	5
Toplam Puan	35
Kazılabilirlik sınıfı	Orta

Tablo 6.65. Tüflerin Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	8.62 MPa
Puan	5
Ortalama eklem aralığı (cm)	8 cm
Puan	5
Sismik Hız (m/s)	1397
Puan	5
Ayrışma durumu	Orta derecede
Puan	6
Sertlik (SHV)	12
Puan	3
Toplam Puan	24
Kazılabilirlik sınıfı	Kolay

Tablo 6.66. Şeyllerin Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	30.77 MPa
Puan	10
Ortalama eklem aralığı (cm)	16
Puan	5
Sismik Hız (m/s)	1068
Puan	5
Ayrışma durumu	Ayrışmamış
Puan	12
Sertlik (SHV)	17
Puan	3
Toplam Puan	35
Kazılabilirlik sınıfı	Orta

Tablo 6.67. Marnların Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	25.40 MPa	32.05 MPa	37.08 MPa	22.58 MPa
Puan	10	10	10	10
Ortalama eklem aralığı (cm)	12	14	16	9
Puan	5	5	5	5
Sismik Hız (m/s)	1324	1324	1324	1324
Puan	5	5	5	5
Ayrışma durumu	Orta derecede	Taze-az	Taze-az	Taze-az
Puan	6	10	10	10
Sertlik (SHV)	12	12	12	12
Puan	3	3	3	3
Toplam Puan	29	33	33	33
Kazılabilirlik sınıfı	Orta	Orta	Orta	Orta

Tablo 6.68. Kireçtaşlarının Paşamehmetoğlu vd. (1988) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	21.66 MPa	15.30 MPa
Puan	10	5
Ortalama eklem aralığı (cm)	17	12
Puan	5	5
Sismik Hız (m/s)	3393	3393
Puan	25	25
Ayrışma durumu	Ayrışmamış	Ayrışmamış
Puan	12	12
Sertlik (SHV)	20	20
Puan	5	5
Toplam Puan	57	52
Kazılabilirlik sınıfı	Orta Zor	Orta Zor

6.11. Karpuz (1990) Kazılabilirlik Sınıflaması

Karpuz (1990) önerdikleri kazılabilirlik sınıflamasında beş kazılabilirlik sınıfı tanımlamışlar ve girdi parametresi kaya malzemesini tek eksenli sıkışma dayanımı veya nokta yükü dayanımını, eklem aralığını, sismik hızı, ayrışma durumu ve Schmidt sertliğini kullanmışlardır (Tablo 6.69, 6.70).

Tablo 6.69. Kazılabilirlik parametreleri ve puanlama sistemi (Karpuz, 1990)

Parametreler	1	2	3	4	5
Tek eksenli sıkışma / Nokta yükü dayanımı (MPa)	< 5 (0.2)	5-20 (0.2-0.8)	20-40 (0.8-1.6)	40-110 (1.6-4.4)	> 110 (4.4)
Puan	2	5	10	20	25
Ortalama Eklem Aralığı, m	<0.3	0.3-0.6	0.6-1.2	1.2-2.0	> 2.0
Puan	5	10	15	20	25
Sismik Hız, m/sn	< 1600	1600-2000	2000-2500	2500-3000	> 3000
Puan	5	10	15	20	25
Ayrışma Durumu	Tamamen	İleri derecede	Orta derecede	Az-Taze	Az-Taze
Puan	0	3	6	10	10
Sertlik, (SHV)	< 20	20-30	30-45	45-55	> 55
Puan	3	5	8	12	15

Tablo 6.70. Karpuz (1990) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması

Kazı Sınıfı	Kazı Tanımı	Kazılabilirlik Puanı	Kazı Türü ve Aracı		
			Elektrikli Kazıcı*	Hidrolik Kazıcı**	Riperlenebilme
1	Kolay	0-25	Doğrudan Kazabilir	Doğrudan Kazabilir	D7 Dozer Kolay riperleyebilir
2	Orta	25-45	Patlatma Gerekli	Doğrudan Kazabilir	D8 Marjinal veya D9 Dozeri Orta-Zor riperleyebilir
3	Orta zor	45-65	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	D9 Dozeri Marjinal veya D11 Zor riperleyebilir
4	Zor	65-85	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	D11 Dozeri zor Riperleyebilir Riperlenemez
5	Çok zor	85-100	Patlatma Gerekli	Patlatma Gerekli	Riperlenemez Patlatma Gerekli
* 10-25 yd ³ kapasite için geçerlidir					
** Hidrolik ekskavatör, 7 yd ³ ve altı için geçerlidir					

Tablo 6.71. Bazaltların (Karpuz, 1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 – 2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426 – 5+826 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	48.63 MPa	21.35 MPa	53.48 MPa
Puan	20	20	20
Ortalama eklem aralığı (cm)	12 cm	9 cm	20 cm
Puan	5	5	5
Sismik Hız (m/s)	3653	3653	3653
Puan	25	25	25
Ayrışma durumu	Orta derecede	Az-Taze	Orta derecede
Puan	6	10	6
Sertlik (SHV)	22	22	22
Puan	5	5	5
Toplam Puan	61	65	61
Kazılabilirlik sınıfı	Orta Zor	Orta Zor	Orta Zor

Tablo 6.72. Dasitlerin (Karpuz, 1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	6.21 MPa	15.44 MPa
Puan	5	5
Ortalama eklem aralığı (cm)	8 cm	18 cm
Puan	5	5
Sismik Hız (m/s)	3242	3242
Puan	25	25
Ayrışma durumu	Az-Taze	Az-Taze
Puan	10	10
Sertlik (SHV)	18	18
Puan	3	3
Toplam Puan	48	48
Kazılabilirlik sınıfı	Orta Zor	Orta Zor

Tablo 6.73. Aglomeraların (Karpuz, 1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	38.47 MPa
Puan	10
Ortalama eklem aralığı (cm)	14 cm
Puan	5
Sismik Hız (m/s)	1492
Puan	5
Ayrışma durumu	Az-Taze
Puan	10
Sertlik (SHV)	20
Puan	5
Toplam Puan	35
Kazılabilirlik sınıfı	Orta

Tablo 6.74. Tüflerin (Karpuz, 1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	8.62 MPa
Puan	5
Ortalama eklem aralığı (cm)	8 cm
Puan	5
Sismik Hız (m/s)	1397
Puan	5
Ayrışma durumu	Orta derecede
Puan	6
Sertlik (SHV)	12
Puan	3
Toplam Puan	24
Kazılabilirlik sınıfı	Kolay

Tablo 6.75. Şeyllerin (Karpuz, 1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	30.77 MPa
Puan	10
Ortalama eklem aralığı (cm)	16
Puan	5
Sismik Hız (m/s)	1068
Puan	5
Ayrışma durumu	Az-Taze
Puan	10
Sertlik (SHV)	17
Puan	3
Toplam Puan	33
Kazılabilirlik sınıfı	Orta

Tablo 6.76. Marnların (Karpuz, 1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	25.40 MPa	32.05 MPa	37.08 MPa	22.58 MPa
Puan	10	10	10	10
Ortalama eklem aralığı (cm)	12	14	16	9
Puan	5	5	5	5
Sismik Hız (m/s)	1324	1324	1324	1324
Puan	5	5	5	5
Ayrışma durumu	Orta derecede	Az-Taze	Az-Taze	Az-Taze
Puan	6	10	10	10
Sertlik (SHV)	12	12	12	12
Puan	3	3	3	3
Toplam Puan	29	33	33	33
Kazılabilirlik sınıfı	Orta	Orta	Orta	Orta

Tablo 6.77. Kireçtaşlarının (Karpuz, 1990) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	21.66 MPa	15.30 MPa
Puan	10	5
Ortalama eklem aralığı (cm)	17	12
Puan	5	5
Sismik Hız (m/s)	3393	3393
Puan	25	25
Ayrışma durumu	Az-Taze	Az-Taze
Puan	10	10
Sertlik (SHV)	20	20
Puan	5	5
Toplam Puan	55	50
Kazılabilirlik sınıfı	Orta Zor	Orta Zor

6.12. Pettifer ve Fookes (1994) Kazılabilirlik Sınıflaması

Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sisteminde girdi parametresi olarak süreksizlik aralık indeksi (I_f) ve nokta yükü dayanım indeksi ($I_{S(50)}$) kullanılmaktadır. Bu sınıflamada;

Süreksizlik Aralık İndeksi (I_f);

$$I_f = \frac{3}{J_v} \quad 6.2$$

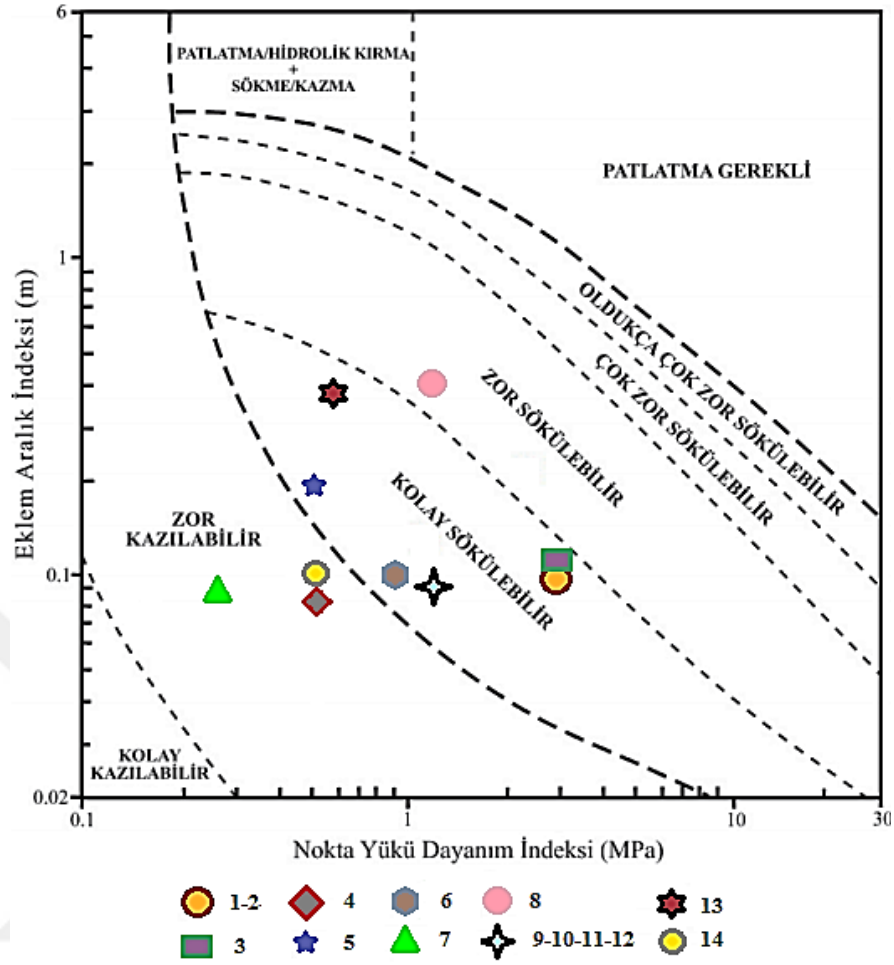
eşitliği ile, Hacimsel Eklem Sayısı (J_v) ise Palström (2005) tarafından önerilen;

$$J_v = \frac{110 - RQD}{2.5} \quad 6.3$$

eşitliği ile hesaplanmıştır (Tablo 6.78).

Tablo 6.78. Pettifer ve Fookes (1994) kazılabilirlik sınıflamasında kullanılan parametrelere ait değerler

Birim	Km	Parametreler			No
		RQD (%)	$J_v (m^{-3})$	$I_f (m)$	
Bazalt	0+000 – 2+488	26	33.6	0.09	1
	3+141 – 3+579	15	38	0.08	2
	4+426 – 5+826	44	26.4	0.11	3
Dasit	2+488 – 3+141	18	36.8	0.08	4
	4+038 – 4+257	73	14.8	0.20	5
Aglomera	4+257 – 4+426	46	25.6	0.1	6
Tüf	6+487 – 6+910	24	34.4	0.09	7
Şeyl	3+579 – 4+038	92	7.2	0.4	8
Marn	5+826 – 6+487	30	32	0.09	9
	6+910 – 7+769	35	30	0.1	10
	8+083 – 9+050	49	24.4	0.1	11
	9+197 – 9+262	25	34	0.09	12
Kireçtaşı	7+769 – 8+083	87	9.2	0.3	13
	9+050 - 9+197	32	31.2	0.1	14



Şekil 6.3. Kaya kütlelerinin Pettifer ve Fookes (1994) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi.

6.13. Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) Kazılabilirlik Sınıflaması

Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) önerdikleri kazılabilirlik sınıflamasında (Tablo 6.79) süreksizliklerin ve kaya malzemesinin mühendislik özelliklerini kullanmışlardır. Araştırmacılar kaya kütlelerinin kazılabilirliğini belirlemek amacıyla

$$EI = (I_s + B_s) \times W \times J_s$$

6.4

eşitliği ile hesaplanan Kazı İndeksini (EI) önermişlerdir. Bu eşitlikte;

I_s = Nokta yükü dayanım indeksi (MPa),

B_s = Blok boyutu (joint/m^3),

W = Bozunma derecesi,

J_s = Göreceli zemin yapısı (J_s , kaya malzemesi için 1 alınır)

Blok boyutu (B_s) Palmström (2005) tarafından önerilen

$$V_b = \beta \times J_v^{-1} \quad 6.5$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte J_v hacimsel eklem sayısıdır ve Palmström (2005) tarafından önerilen;

$$J_v = \frac{110 - RQD}{2.5} \quad 6.6$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır. Parametreler Tablo 6.79'a göre puanlandırılarak kaya kütlesinin kazılabilirlik sınıfı belirlenmektedir.

Tablo 6.79. Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması

Parametreler	I	II	III	IV	V
Kaya dayanımı, $Is_{(50)}$ (MPa)	0.5	0.5-1.5	1.5-2.0	2.0-3.5	>3.5
Puan	0	10	15	20	25
Blok boyutu B_s , (J_v , joint/m ³)	Çok Küçük 30	Küçük 10-30	Orta 3-10	Büyük 1-3	Çok Büyük 1
Puan	5	15	30	45	50
Bozunma, W	Tamamen	İleri Derecede	Orta	Az	Taze
Puan	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Göreceli zemin yapısı, J_s	Çok Uygun	Uygun	Az Uygun	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil
Puan	0.5	0.7	1.0	1.3	1.5
Kazı İndeksi, EI	<20	20-30	30-45	45-55	>55
Kazılabilirlik zorluğu	Çok Kolay	Kolay	Zor	Çok Zor	Patlatma

Blok boyutları hesaplanırken $\beta = 30$ olarak alınmıştır.

Tablo 6.80. Bazaltların Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 – 2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426 – 5+826 km
Kaya dayanımı, $Is_{(50)}$ (MPa)	2.88	2.88	2.88
Puan	20	20	20
Blok boyutu B_s , (J_v , joint/m ³)	0.89	0.78	1.13
Puan	50	50	50
Bozunma, W	Orta	Az	Orta
Puan	0.8	0.9	0.8
Göreceli zemin yapısı, J_s	Az Uygun	Az Uygun	Az Uygun
Puan	1.0	1.0	1.0
Kazı İndeksi, EI	56	63	56
Kazılabilirlik zorluğu	Patlatma	Patlatma	Patlatma

Tablo 6.81. Dasitlerin Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
Kaya dayanımı, $I_{s(50)}$ (MPa)	0.58	0.58
Puan	10	10
Blok boyutu B_s , (J_v , joint/m ³)	0.82	2.02
Puan	50	45
Bozunma, W	Az	Az
Puan	0.9	0.9
Göreceli zemin yapısı, J_s	Az Uygun	Az Uygun
Puan	1	1
Kazı İndeksi, EI	54	49.5
Kazılabilme zorluğu	Çok Zor	Çok Zor

Tablo 6.82. Aglomeraların Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km
Kaya dayanımı, $I_{s(50)}$ (MPa)	0.94
Puan	10
Blok boyutu B_s , (J_v , joint/m ³)	1.17
Puan	50
Bozunma, W	Az
Puan	0.9
Göreceli zemin yapısı, J_s	Az Uygun
Puan	1
Kazı İndeksi, EI	54
Kazılabilme zorluğu	Çok Zor

Tablo 6.83. Tüflerin Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km
Kaya dayanımı, $I_{s(50)}$ (MPa)	0.25
Puan	0
Blok boyutu B_s , (J_v , joint/m ³)	0.87
Puan	50
Bozunma, W	Orta
Puan	0.8
Göreceli zemin yapısı, J_s	Az Uygun
Puan	1
Kazı İndeksi, EI	40
Kazılabilme zorluğu	Zor

Tablo 6.84. Şeyllerin Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km
Kaya dayanımı, $I_{s(50)}$ (MPa)	1.28
Puan	10
Blok boyutu B_s , (J_v , joint/m ³)	0.24
Puan	50
Bozunma, W	Taze
Puan	1.0
Göreceli zemin yapısı, J_s	Az Uygun
Puan	1
Kazı İndeksi, EI	60
Kazılabilme zorluğu	Patlama

Tablo 6.85. Marnların Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Parametreler	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
Kaya dayanımı, $I_{s(50)}$ (MPa)	0.24	0.24	0.24	0.24
Puan	0	0	0	0
Blok boyutu B_s , (J_v , joint/m ³)	1	1	0.81	1.13
Puan	50	50	50	45
Bozunma, W	Orta	Az	Az	Az
Puan	0.8	0.9	0.9	0.9
Göreceli zemin yapısı, J_s	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun Değil
Puan	1.3	1.3	1.3	1.3
Kazı İndeksi, EI	52	58.5	58.5	58.5
Kazılabilme zorluğu	Çok Zor	Patlatma	Patlatma	Patlatma

Tablo 6.86. Kireçtaşlarının Hadjigeorgiou ve Poulin (1998) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
Kaya dayanımı, $I_{s(50)}$ (MPa)	0.05	0.05
Puan	0	0
Blok boyutu B_s , (J_v , joint/m ³)	0.30	0.96
Puan	50	50
Bozunma, W	Taze	Taze
Puan	1.0	1.0
Göreceli zemin yapısı, J_s	Uygun Değil	Uygun Değil
Puan	1.3	1.3
Kazı İndeksi, EI	65	65
Kazılabilme zorluğu	Patlatma	Patlatma

6.14. Hoek ve Karzulovic (2000) Kazılabilirlik Sınıflaması

Hoek ve Karzulovic (2000) önerdikleri kazılabilirlik sınıflamasında kaya kütlesinin dayanımı ve GSI değerlerini kullanmışlardır (Tablo 6.87).

Tablo 6.87. Hoek ve Karzulovic (2000) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemi

Limit Değerler	Kazılabilirlik Sınıfı
$GSI < 40$ $\sigma_{cm} < 1$	Kazılabilir
$40 < GSI < 60$ $1 < \sigma_{cm} < 15$	Riperlenebilir
$GSI > 60$ $\sigma_{cm} > 15$	Patlatma

Kaya kütlelerinin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_{cm}) Hoek et al. (2002) tarafından önerilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \cdot s^a \quad 6.7$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad 6.8$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad 6.9$$

Bu eşitliklerde;

σ_{ci} : Kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa),

s ve a: Hoek-Brown kaya kütle sabitleri,

D: Örselenme faktörü,

GSI: Jeolojik Dayanım İndeksidir.

Hesaplama kullanılan parametreler Tablo 6.88’de, hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ise Tablo 6.89’da sunulmuştur.

Tablo 6.88. Hoek ve Karzulovic (2000) sınıflamasında kullanılan parametrelere ait değerler

Birim	Aralık (km)	GSI	σ_{ci} (MPa)	s	a	D	σ_{cm} (MPa)
Bazalt	0+000 – 2+488	32.5	48.63	$3.26 \cdot 10^{-4}$	0.5	0.2	0.87
	3+141 – 3+579	24.0	21.35	$1.17 \cdot 10^{-3}$	0.5	0.2	0.89
	4+426 – 5+826	41.5	53.48	$9.49 \cdot 10^{-4}$	0.5	0.2	1.65
Dasit	2+488 – 3+141	25.5	6.21	$1.41 \cdot 10^{-4}$	0.5	0.2	0.18
	4+038 – 4+257	53.0	15.44	$3.70 \cdot 10^{-3}$	0.5	0.2	0.94
Aglomera	4+257 – 4+426	47.0	38.47	$1.82 \cdot 10^{-3}$	0.5	0.2	1.64
Tüf	6+487 – 6+910	28.5	8.62	$2.01 \cdot 10^{-4}$	0.5	0.2	0.12
Şeyl	3+579 – 4+038	76.0	30.77	0.06	0.5	0.2	7.54
Marn	5+826 – 6+487	42.0	25.40	$1.01 \cdot 10^{-3}$	0.5	0.2	0.81
	6+910 – 7+769	44.5	32.05	$1.35 \cdot 10^{-3}$	0.5	0.2	1.19
	8+083 – 9+050	51.5	37.08	$3.12 \cdot 10^{-3}$	0.5	0.2	2.07
	9+197 – 9+262	39.5	22.58	$7.47 \cdot 10^{-4}$	0.5	0.2	0.48
Kireçtaşı	7+769 – 8+083	70.5	21.66	0.03	0.5	0.2	3.75
	9+050 – 9+197	43.0	15.30	$1.13 \cdot 10^{-3}$	0.5	0.2	0.51

Hoek ve Karzulovic (2000) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflamasına göre tünel güzergâhındaki kaya kütleleri değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 6.89’da verilmiştir.

Tablo 6.89. Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerinin Hoek ve Karzulovic (2000) kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Birim	Aralık (km)	Kazılabilme Sınıfı
Bazalt	0+000 – 2+488	Kazılabilir
	3+141 – 3+579	Kazılabilir
	4+426 – 5+826	Riperlenebilir
Dasit	2+488 – 3+141	Kazılabilir
	4+038 – 4+257	Kazılabilir/Riperlenebilir
Aglomera	4+257 – 4+426	Riperlenebilir
Tüf	6+487 – 6+910	Kazılabilir
Şeyl	3+579 – 4+038	Riperlenebilir/Patlatma
Marn	5+826 – 6+487	Kazılabilir/Riperlenebilir
	6+910 – 7+769	Riperlenebilir
	8+083 – 9+050	Riperlenebilir
	9+197 – 9+262	Kazılabilir
Kireçtaşı	7+769 – 8+083	Riperlenebilir/Patlatma
	9+050 – 9+197	Kazılabilir/Riperlenebilir

6.15. Başarır ve Karpuz (2004) Kazılabilirlik Sınıflaması

Başarır ve Karpuz (2004) tarafından marnlar için önerilen kazılabilme sınıflamasında sismik hız, tek eksenli sıkışma dayanımı, ortalama süreksizlik aralığı ve sertlik parametreleri kullanılmaktadır (Tablo 6.90). Bu parametrelere göre kaya kütlelerinin kazılabilme zorlukları Tablo 6.91’den belirlenmektedir.

Tablo 6.90. Kazılabilirlik parametreleri ve puanlama sistemi (Başarır ve Karpuz, 2004)

Parametreler	1	2	3	4	5
Sismik P dalga hızı (m/sn)	0-800	800-1000	1000-2000	2000-2500	>2500
Puan	0-5	5-15	15-20	20-30	30
Tek eksenli sıkışma dayanımı	<5	5-15	15-25	25-45	>45
Nokta yükü dayanımı (MPa)	<0.1	0.1-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	>2.0
Puan	0-5	5-18	15-25	25-35	35
Süreksizlik Aralığı (m)	<0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.5	>2.5
Puan	0-3	3-10	10-14	14-20	20
Sertlik (SHV)	<15	15-35	35-45	45-50	>50
Puan	0-2	2-7	7-10	10-15	15

Tablo 6.91. Başarır ve Karpuz (2004) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması

Sınıf	Puan	D8 Dozer	D9 Dozer	D10 Dozer	D11 Dozer
1	0-20	Çok kolay	Çok kolay ^a	Çok kolay ^a	Çok kolay ^a
2	20-55	Kolay	Kolay	Çok kolay ^a	Çok kolay ^a
3	55-70	Orta	Orta	Çok kolay ^a	Çok kolay ^a
4	70-85	Zor	Zor	Kolay	Çok kolay ^a
5	85-95	Çok zor ^b	Çok zor ^b	Zor	Çok kolay ^a
6	95-100	Patlatma	Patlatma	Çok zor ^b	Kolay
^a Bu yerlerde D8 tipi dozer yüksek verimlilikle çalışmaktadır					
^b Bu yerlerde D8, D9 ve D10 tipi dozerlerin verimi düşük olduğundan bu tip dozerlerin kullanılmasına gerek yoktur.					

Tablo 6.92. Bazaltların Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 – 2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426– 5+826 km
Sismik P dalga hızı (m/sn)	3653	3653	3653
Puan	30	30	30
Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	48.63 MPa	21.35 MPa	53.48 MPa
Nokta yükü dayanımı (MPa)	-	-	-
Puan	35	20	35
Süreksizlik Aralığı (m)	0.12	0.09	0.2
Puan	1	1	2
Sertlik, (SHV)	22	22	22
Puan	4	4	4
Toplam Puan	70	55	71
Kazılabilme Sınıfı	D8-D9 Dozer: Zor D10 Dozer : Kolay D11 Dozer : Çok kolay	D8-D9 Dozer: Orta D10-D11 Dozer : Çok kolay	D8-D9 Dozer: Zor D10 Dozer : Kolay D11 Dozer : Çok kolay

Tablo 6.93. Dasitlerin Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
Sismik P dalga hızı (m/sn)	3242	3242
Puan	30	30
Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	6.21 MPa	15.44 MPa
Nokta yükü dayanımı (MPa)	-	-
Puan	7	15
Süreksizlik Aralığı (m)	0.08	0.18
Puan	1	1
Sertlik, (SHV)	18	18
Puan	3	3
Toplam Puan	41	49
Kazılabilirlik Sınıfı	D8-D9 Dozer: Kolay D10-D11 Dozer : Çok kolay	D8-D9 Dozer: Kolay D10-D11 Dozer : Çok kolay

Tablo 6.94. Aglomeraların Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km
Sismik P dalga hızı (m/sn)	1492
Puan	18
Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	38.47 MPa
Nokta yükü dayanımı (MPa)	-
Puan	31
Süreksizlik Aralığı (m)	0.14
Puan	1
Sertlik, (SHV)	20
Puan	4
Toplam Puan	54
Kazılabilirlik Sınıfı	D8-D9 Dozer: Kolay D10-D11 Dozer : Çok kolay

Tablo 6.95. Tüflerin Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km
Sismik P dalga hızı (m/sn)	1397
Puan	17
Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	8.62 MPa
Nokta yükü dayanımı (MPa)	-
Puan	9
Süreksizlik Aralığı (m)	0.08
Puan	1
Sertlik, (SHV)	12
Puan	2
Toplam Puan	29
Kazılabilirlik Sınıfı	D8-D9 Dozer: Kolay D10-D11 Dozer : Çok kolay

Tablo 6.96. Şeyllerin Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km
Sismik P dalga hızı (m/sn)	1068
Puan	15
Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	30.77 MPa
Nokta yükü dayanımı (MPa)	-
Puan	28
Süreksizlik Aralığı (m)	0.16
Puan	1
Sertlik, (SHV)	17
Puan	2
Toplam Puan	46
Kazılabilirme Sınıfı	D8-D9 Dozer: Kolay D10-D11 Dozer : Çok kolay

Tablo 6.97. Marnların Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
Sismik P dalga hızı (m/sn)	1324	1324	1324	1324
Puan	17	17	17	17
Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	25.40 MPa	32.05 MPa	37.08 MPa	22.58 MPa
Nokta yükü dayanımı (MPa)	-	-	-	-
Puan	25	29	31	23
Süreksizlik Aralığı (m)	0.12	0.14	0.16	0.09
Puan	1	1	1	1
Sertlik, (SHV)	12	12	12	12
Puan	2	2	2	2
Toplam Puan	45	49	51	43
Kazılabilirme Sınıfı	D8-D9 Dozer: Kolay D10-D11 Dozer : Çok kolay	D8-D9 Dozer: Kolay D10-D11 Dozer : Çok kolay	D8-D9 Dozer: Kolay D10-D11 Dozer : Çok kolay	D8-D9 Dozer: Kolay D10-D11 Dozer : Çok kolay

Tablo 6.98. Kireçtaşlarının Başarır ve Karpuz (2004) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
Sismik P dalga hızı (m/sn)	3393	3393
Puan	30	30
Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	21.66 MPa	15.30 MPa
Nokta yükü dayanımı (MPa)	-	-
Puan	22	15
Süreksizlik Aralığı (m)	0.17	0.12
Puan	1	1
Sertlik, (SHV)	20	20
Puan	4	4
Toplam Puan	57	50
Kazılabilirme Sınıfı	D8-D9 Dozer: Orta D10-D11 Dozer : Çok kolay	D8-D9 Dozer: Kolay D10-D11 Dozer : Çok kolay

6.16. Ceylanoğlu vd. (2007) Kazılabilirlik Sınıflaması

Ceylanoğlu vd. (2007) tarafından geliştirilen sınıflama sisteminde sismik hız, çatlak aralığı, tek eksenli basınç dayanımı, ayrışma derecesi ve sertlik olmak üzere beş parametre önerilmiştir (Tablo 6.99). Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerinin kazılabilirlik sınıfları bu sınıflamaya göre belirlenerek Tablo 100-106’da verilmiştir.

Tablo 6.99. Ceylanoğlu vd. (2007) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflaması

Parametreler	1	2	3	4	5
Sismik Hız (m/sn)	< 1000	1001-2000	2001-2600	2601-3000	> 3000
Puan	0-12	13-22	23-37	38-39	40
Çatlak Aralığı (mm)	< 170	171-600	601-1200	1201-2250	> 2250
Puan	2-4	5-14	15-19	20-23	24-25
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	< 7	8-20	21-40	41-70	> 70
Puan	0-5	6-9	10-13	14-18	19-20
Ayrışma Derecesi	Tümüyle Ayrışmış	İleri Derecede Ayrışmış	Orta Derecede Ayrışmış	Hafif Ayrışmış	Ayrışmamış
Puan	0	1-3	4-6	7-9	10
Sertlik	Çok Yumuşak	Yumuşak	Az Sert	Çok Sert	Aşırı Sert
Puan	0	1	3	4	5
Toplam Puan	≤ 25	26-53	54-80	81-94	95-100
Kazı zorluğu sınıfı	Kolay	Orta	Orta / Zor	Zor	Çok Zor

Tablo 6.100. Bazaltların Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	0+000 –2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426– 5+826 km
Sismik Hız (m/sn)	3653	3653	3653
Puan	40	40	40
Çatlak Aralığı (mm)	120 mm	90 mm	200 mm
Puan	3	2	6
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	48.63 MPa	21.35 MPa	53.48 MPa
Puan	14	10	15
Ayrışma Derecesi	Orta Derecede Ayrışmış	İleri Derecede Ayrışmış	Orta Derecede Ayrışmış
Puan	5	2	5
Sertlik	Çok Sert	Az Sert	Çok Sert
Puan	4	3	4
Toplam Puan	66	56	70
Kazı zorluğu sınıfı	Orta / Zor	Orta / Zor	Orta / Zor

Tablo 6.101. Dasitlerin Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
Sismik Hız (m/sn)	3242	3242
Puan	40	40
Çatlak Aralığı (mm)	80 mm	180 mm
Puan	2	5
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	6.21 MPa	15.44 MPa
Puan	4	7
Ayrışma Derecesi	İleri Derecede Ayrışmış	Orta Derecede Ayrışmış
Puan	2	5
Sertlik	Yumuşak	Az Sert
Puan	1	3
Toplam Puan	49	60
Kazı zorluğu sınıfı	Orta	Orta / Zor

Tablo 6.102. Aglomeraların Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	4+257 – 4+426 km
Sismik Hız (m/sn)	1492
Puan	16
Çatlak Aralığı (mm)	140 mm
Puan	3
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	38.47 MPa
Puan	13
Ayrışma Derecesi	Orta Derecede Ayrışmış
Puan	5
Sertlik	Az Sert
Puan	3
Toplam Puan	40
Kazı zorluğu sınıfı	Orta

Tablo 6.103. Tüflerin Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	6+487 – 6+910 km
Sismik Hız (m/sn)	1397
Puan	15
Çatlak Aralığı (mm)	80 mm
Puan	2
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	8.62 MPa
Puan	6
Ayrışma Derecesi	İleri Derecede Ayrışmış
Puan	2
Sertlik	Yumuşak
Puan	1
Toplam Puan	26
Kazı zorluğu sınıfı	Orta

Tablo 6.104. Şeyllerin Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	3+579 – 4+038 km
Sismik Hız (m/sn)	1068
Puan	13
Çatlak Aralığı (mm)	160 mm
Puan	4
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	30.77 MPa
Puan	12
Ayrışma Derecesi	Orta Derecede Ayrışmış
Puan	5
Sertlik	Yumuşak
Puan	1
Toplam Puan	36
Kazı zorluğu sınıfı	Orta

Tablo 6.105. Marnların Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

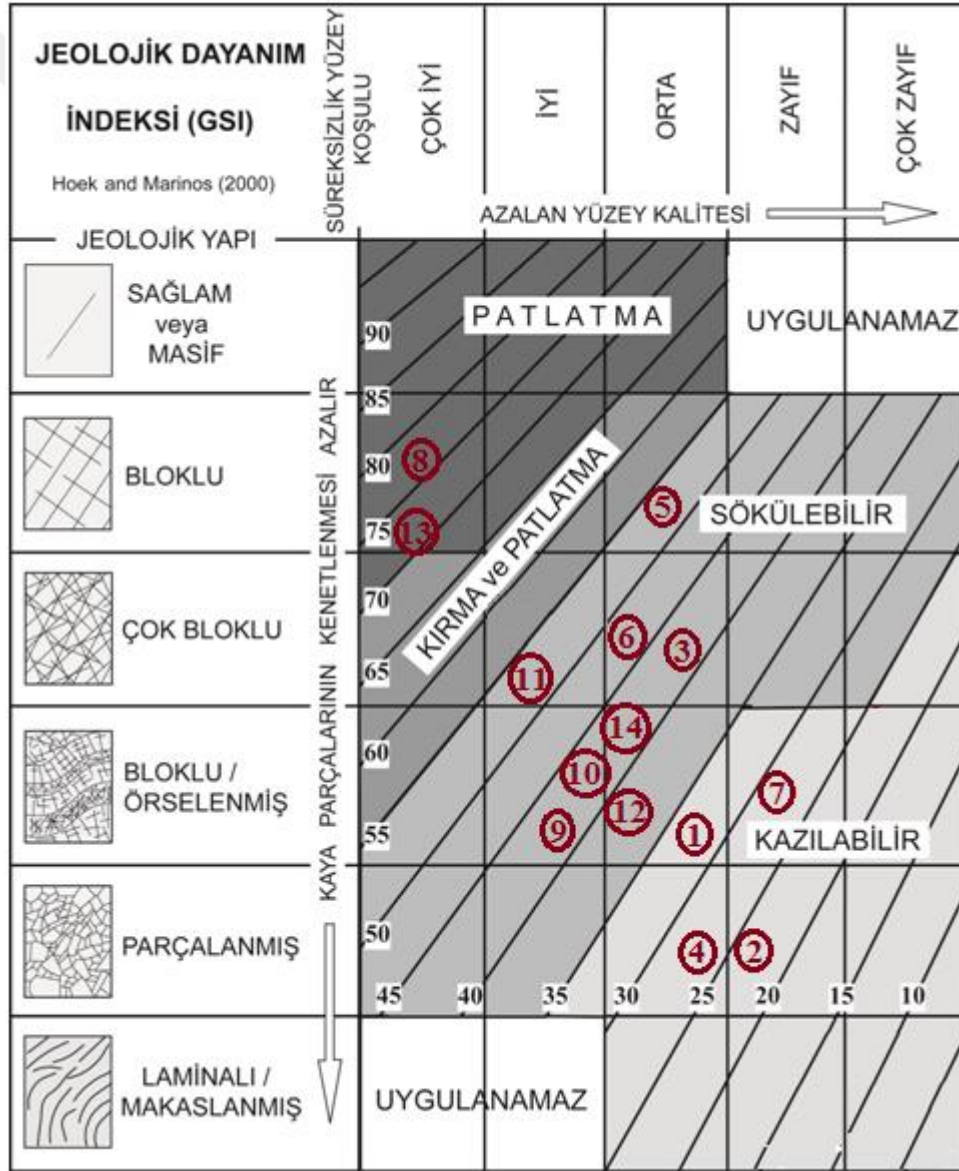
Parametreler	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
Sismik Hız (m/sn)	1324	1324	1324	1324
Puan	15	15	15	15
Çatlak Aralığı (mm)	120 mm	140 mm	160 mm	90 mm
Puan	3	3	4	2
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	25.40 MPa	32.05 MPa	37.08 MPa	22.58 MPa
Puan	11	12	13	10
Ayrışma Derecesi	İleri Derecede Ayrışmış	İleri Derecede Ayrışmış	İleri Derecede Ayrışmış	İleri Derecede Ayrışmış
Puan	2	2	2	2
Sertlik	Yumuşak	Yumuşak	Yumuşak	Yumuşak
Puan	1	1	1	1
Toplam Puan	32	33	35	30
Kazı zorluğu sınıfı	Orta	Orta	Orta	Orta

Tablo 6.106. Kireçtaşlarının Ceylanoğlu vd. (2007) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Parametreler	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
Sismik Hız (m/sn)	3393	3393
Puan	40	40
Çatlak Aralığı (mm)	170 mm	120 mm
Puan	4	3
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	21.66 MPa	15.30 MPa
Puan	10	8
Ayrışma Derecesi	İleri Derecede Ayrışmış	İleri Derecede Ayrışmış
Puan	2	2
Sertlik	Az sert	Az sert
Puan	3	3
Toplam Puan	59	56
Kazı zorluğu sınıfı	Orta / Zor	Orta / Zor

6.17. Tsiambaos and Saroglou (2010) Kazılabilirlik Sınıflaması

Tsiambaos and Saroglou (2010) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sisteminde girdi parametresi olarak GSI ve $I_{s(50)}$ parametreleri kullanılmaktadır. Araştırmacılar $I_{s(50)} \geq 3$ MPa ve $I_{s(50)} < 3$ MPa koşuluna göre kaya kütlelerini kazılabilirlik açısından değerlendirmek için iki farklı GSI abağı önermiştir. Tünel güzergâhındaki kayaların nokta yükü dayanım indeksleri 3 MPa'dan küçük olduğu için (Tablo 3.9), bu çalışmada kaya kütlelerinin kazı sınıfını belirlemek için $I_{s(50)} < 3$ MPa koşuluna göre önerilmiş GSI abağı kullanılmıştır (Şekil 6.4). Şekil 6.4. den elde edilen sonuçlar Tablo 6.107. de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerinin Tsiambaos ve Saroglou (2010) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi ($I_{s(50)} < 3$ MPa)

Tablo 6.107. Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerinin Tsiambaos ve Saroglou (2010) kazılabilirlik sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Birim	Aralık (km)	Kazılabilme Sınıfı
Bazalt	0+000 – 2+488 (1)	Kazılabilir
	3+141 – 3+579 (2)	Kazılabilir
	4+426 – 5+826 (3)	Sökülebilir
Dasit	2+488 – 3+141 (4)	Kazılabilir
	4+038 – 4+257 (5)	Sökülebilir
Aglomera	4+257 – 4+426 (6)	Sökülebilir
Tüf	6+487 – 6+910 (7)	Kazılabilir
Şeyl	3+579 – 4+038 (8)	Patlatma
Marn	5+826 – 6+487 (9)	Sökülebilir
	6+910 – 7+769 (10)	Sökülebilir
	8+083 – 9+050 (11)	Sökülebilir
	9+197 – 9+262 (12)	Sökülebilir
Kireçtaşı	7+769 – 8+083 (13)	Patlatma
	9+050 – 9+197 (14)	Sökülebilir

7. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Yoncalı Barajı (Malatya) İsale Tüneli güzergâhında yer alan kaya kütlelerinin kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışma ile tünel kazısı sırasında geçilecek kaya kütlelerinin kazılabilme özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla 17 farklı araştırmacı tarafından önerilmiş olan ampirik kazılabilirlik sınıflamaları kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kaya kütlelerinin kazılabilme özellikleri ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda irdelenmiştir.

Tünel güzergahı boyunca üç farklı kesimde bazaltlar içerisinde kazı yapılacaktır. Bu kesimlerdeki bazaltların kazılabilme sınıflarına bakıldığında (Tablo 7.1) kazılabilme sınıflarının genel olarak Orta Zor-Zor/Çok Zor kazılabilme sınıfında olduğu ve kazılabilmesi için patlatma yapılması gerektiği görülmektedir.

Tablo 7.1. Bazaltlar için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları

Kazılabilirlik Sınıflaması	Bazalt		
	0+000 – 2+488 km	3+141 – 3+579 km	4+426– 5+826 km
Franklin vd. (1971)	Patlatma	Riperleme	Patlatma
Bailey (1974)	Son derece zor	Son derece zor	Son derece zor
Weaver (1975)	Çok zor riperleme	Çok zor riperleme	Çok zor riperleme
Church (1981)	Patlatma	Patlatma	Patlatma
Kirsten (1982)	Zor sökülebilir	Zor sökülebilir	Zor sökülebilir
Abdullatif ve Cruden (1983)	Sökülebilir	Sökülebilir	Sökülebilir
Scoble ve Müftüoğlu (1984)	Çok kolay	Çok kolay	Çok kolay
Smith (1986)	Zor Riperleme	Zor Riperleme	Zor Riperleme
Singh vd.(1987)	Zor	Zor	Zor
Paşamehmetoğlu vd. (1988)	Orta zor / Patlatma Gerekli	Orta zor / Patlatma Gerekli	Orta zor / Patlatma Gerekli
Karpuz (1990)	Orta zor / Patlatma Gerekli	Orta zor / Patlatma Gerekli	Orta zor / Patlatma Gerekli
Pettifer ve Fookes (1994)	Zor Kazılabilir	Zor Kazılabilir	Kolay Sökülebilir
Hadjigeorgiou ve Poulin (1988)	Patlatma	Patlatma	Patlatma
Hoek ve Karzulovic (2000)	Kazılabilir	Kazılabilir	Riperleme
Başarır ve Karpuz (2004)	D8-D9 Dozer: Zor D10 Dozer: Kolay D11 Dozer: Çok Kolay	D8-D9 Dozer: Orta D10-D11 Dozer: Çok Kolay	D8-D9 Dozer: Zor D10 Dozer: Kolay D11 Dozer: Çok Kolay
Ceylanoğlu vd. (2007)	Orta / Zor	Orta / Zor	Orta / Zor
Tsiambaos ve Saroglu (2010)	Kazılabilir	Kazılabilir	Sökülebilir

Yapılan sınıflamalara göre tünel güzergahındaki dasitlerin kazılabilirlik sınıfı, genel olarak Zor-Çok Zor sınıfındadır ve kazı yapılabilmesi için patlatmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Tablo 7.2).

Tablo 7.2. Dasitler için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları

Kazılabilirlik Sınıflaması	Dasit	
	2+488 – 3+141 km	4+038 – 4+257 km
Franklin vd. (1971)	Riperleme	Patlatma
Bailey (1974)	Son derece zor	Son derece zor
Weaver (1975)	Çok zor ripperleme	Çok zor ripperleme
Church (1981)	Patlatma	Patlatma
Kirsten (1982)	Kolay sökülebilir	Zor sökülebilir
Abdullatif ve Cruden (1983)	Sökülebilir	Sökülebilir
Scoble ve Müftüoğlu (1984)	Çok kolay	Çok kolay
Smith (1986)	Zor Ripperleme	Zor Ripperleme
Singh vd.(1987)	Zor	Zor
Paşamehmetoğlu vd. (1988)	Orta zor / Patlatma Gerekli	Orta zor / Patlatma Gerekli
Karpuz (1990)	Orta zor / Patlatma Gerekli	Orta zor / Patlatma Gerekli
Pettifer ve Fookes (1994)	Zor Kazılabilir	Kolay Sökülebilir
Hadjigeorgiou ve Poulin (1988)	Çok Zor	Çok Zor
Hoek ve Karzulovic (2000)	Kazılabilir	Kazılabilir / Ripperleme
Başarır ve Karpuz (2004)	D8-D9 Dozer: Kolay D10 - D11 Dozer: Çok Kolay	D8-D9 Dozer: Kolay D10 - D11 Dozer: Çok Kolay
Ceylanoğlu vd. (2007)	Orta	Orta / Zor
Tsiambaos ve Saroglu (2010)	Kazılabilir	Sökülebilir

Yapılan sınıflamalara göre tünel güzergahındaki aglomeraların genel olarak zor/çok zor kazılabilirlik sınıfında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, aglomeralarda patlatma ile kazının yapılması gerekmektedir (Tablo 7.3).

Tablo 7.3. Aglomeralar için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları

Kazılabilirlik Sınıflaması	Aglomera
	4+257 – 4+426 km
Franklin vd. (1971)	Patlatma
Bailey (1974)	Orta
Weaver (1975)	Zor ripelerme
Church (1981)	Orta zor
Kirsten (1982)	Zor sökülebilir
Abdullatif ve Cruden (1983)	Sökülebilir
Scoble ve Müftüoğlu (1984)	Çok kolay
Smith (1986)	Zor Riperleme
Singh vd.(1987)	Zor
Paşamehmetoğlu vd. (1988)	Orta / Patlatma Gerekli
Karpuz (1990)	Orta / Patlatma Gerekli
Pettiifer ve Fookes (1994)	Kolay Sökülebilir
Hadjigeorgiou ve Poulin (1988)	Çok Zor
Hoek ve Karzulovic (2000)	Riperleme
Başarır ve Karpuz (2004)	D8-D9 Dozer: Kolay D10 - D11 Dozer: Çok Kolay
Ceylanoğlu vd. (2007)	Orta
Tsiambaos ve Saroglu (2010)	Sökülebilir

Tünel güzergahındaki tüfler için yapılan sınıflamalara göre tüfler genel olarak patlatma yapılmaksızın orta zor/çok zor/sökülebilir/kazılabilir sınıfındadır (Tablo 7.4).

Tablo 7.4. Tüfler için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları

Kazılabilirlik Sınıflaması	Tüf
	6+487 – 6+910 km
Franklin vd. (1971)	Riperleme
Bailey (1974)	Orta
Weaver (1975)	Zor riperleme
Church (1981)	Orta zor
Kirsten (1982)	Zor sökülebilir
Abdullatif ve Cruden (1983)	Sökülebilir
Scoble ve Müftüoğlu (1984)	Çok kolay
Smith (1986)	Zor Riperleme
Singh vd.(1987)	Zor
Paşamehmetoğlu vd. (1988)	Kolay / Doğrudan Kazılabilir
Karpuz (1990)	Kolay / Doğrudan Kazılabilir
Pettiifer ve Fookes (1994)	Zor Kazılabilir
Hadjigeorgiou ve Poulin (1988)	Zor
Hoek ve Karzulovic (2000)	Kazılabilir
Başarır ve Karpuz (2004)	D8-D9 Dozer: Kolay D10 - D11 Dozer: Çok Kolay
Ceylanoğlu vd. (2007)	Orta
Tsiambaos ve Saroglu (2010)	Kazılabilir

Tünel güzergahındaki şeyllerin kazılabilme sınıfı genel olarak Orta Zor ve Zor'dur. Şeyllerde kazı yapılabilmesi için patlatma gerekmektedir (Tablo 7.5).

Tablo 7.5. Şeyller için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları

Kazılabilirlik Sınıflaması	Şeyl
	3+579 – 4+038 km
Franklin vd. (1971)	Patlatma
Bailey (1974)	Orta
Weaver (1975)	Zor ripperleme
Church (1981)	Kolay
Kirsten (1982)	Çok zor sökülebilir
Abdullatif ve Cruden (1983)	Patlatma ile sökülebilir
Scoble ve Müftüoğlu (1984)	Çok kolay
Smith (1986)	Zor ripperleme
Singh vd.(1987)	Zor
Paşamehmetoğlu vd. (1988)	Orta / Patlatma gerekli
Karpuz (1990)	Orta / Patlatma Gerekli
Pettifer ve Fookes (1994)	Zor Sökülebilir
Hadjigeorgiou ve Poulin (1988)	Patlatma
Hoek ve Karzulovic (2000)	Ripperleme / Patlatma
Başarır ve Karpuz (2004)	D8-D9 Dozer: Kolay D10 - D11 Dozer: Çok Kolay
Ceylanoğlu vd. (2007)	Orta
Tsiambaos ve Saroglu (2010)	Patlatma

Tünel güzergahındaki marnlar için yapılan sınıflama sonuçlarına göre; marnların genel olarak kazılabilirler sınıfı Çok Zor/Zor'dur. Ayrıca, kazı sırasında patlatma yapılması gereklidir (Tablo 7.6).

Tablo 7.6. Marnlar için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları

Kazılabilirlik Sınıflaması	Marn			
	5+826 – 6+487 km	6+910 – 7+769 km	8+083 – 9+050 km	9+197 – 9+262 km
Franklin vd. (1971)	Patlatma	Patlatma	Patlatma	Riperleme
Bailey (1974)	Orta			
Weaver (1975)	Çok zor riperleme	Çok zor riperleme	Çok zor riperleme	Çok zor riperleme
Church (1981)	Orta zor	Orta zor	Orta zor	Orta zor
Kirsten (1982)	Zor sökülebilir	Zor sökülebilir	Çok zor sökülebilir	Zor sökülebilir
Abdullatif ve Cruden (1983)	Sökülebilir	Sökülebilir	Sökülebilir	Sökülebilir
Scoble ve Müftüoğlu (1984)	Çok kolay	Çok kolay	Çok kolay	Çok kolay
Smith (1986)	Zor Riperleme	Zor Riperleme	Zor Riperleme	Zor Riperleme
Singh vd.(1987)	Orta	Zor	Zor	Zor
Paşamehmetoğlu vd. (1988)	Orta / Patlatma G. – Doğrudan kazı	Orta / Patlatma G. – Doğrudan kazı	Orta / Patlatma G. – Doğrudan kazı	Orta / Patlatma G. – Doğrudan kazı
Karpuz (1990)	Orta / Patlatma G. – Doğrudan kazı	Orta / Patlatma G. – Doğrudan kazı	Orta / Patlatma G. – Doğrudan kazı	Orta / Patlatma G. – Doğrudan kazı
Pettifer ve Fookes (1994)	Kolay Sökülebilir	Kolay Sökülebilir	Kolay Sökülebilir	Kolay Sökülebilir
Hadjigeorgiou ve Poulin (1988)	Çok Zor	Patlatma	Patlatma	Patlatma
Hoek ve Karzulovic (2000)	Kazılabilir / Riperleme	Riperleme	Riperleme	Kazılabilir
Başarır ve Karpuz (2004)	D8-D9 Dozer: Kolay D10 - D11 Dozer: Çok Kolay	D8-D9 Dozer: Kolay D10 - D11 Dozer: Çok Kolay	D8-D9 Dozer: Kolay D10 - D11 Dozer: Çok Kolay	D8-D9 Dozer: Kolay D10 - D11 Dozer: Çok Kolay
Ceylanoğlu vd. (2007)	Orta	Orta	Orta	Orta
Tsiambaos ve Saroglu (2010)	Sökülebilir	Sökülebilir	Sökülebilir	Sökülebilir

Yapılan kazılabilirlik sınıflamalarına göre kireçtaşlarının kazılabilme sınıfının ise Orta Zor/Zor/Çok Zor olarak belirlenmiştir (Tablo 7.7). Kireçtaşlarında yapılacak kazılarda patlatma da yapılması gerekmektedir.

Tablo 7.7. Kireçtaşları için kazılabilirlik sınıflaması sonuçları

Kazılabilirlik Sınıflaması	Kireçtaşı	
	7+769 – 8+083 km	9+050 - 9+197 km
Franklin vd. (1971)	Patlatma	Riperleme
Bailey (1974)	Son derece zor	Son derece zor
Weaver (1975)	Çok zor riperleme	Çok zor riperleme
Church (1981)	Patlatma	Patlatma
Kirsten (1982)	Çok zor sökülebilir	Zor sökülebilir
Abdullatif ve Cruden (1983)	Patlatma Sökülebilir	Sökülebilir
Scoble ve Müftüoğlu (1984)	Çok kolay	Çok kolay
Smith (1986)	Zor Riperleme	Zor Riperleme
Singh vd.(1987)	Zor	Zor
Paşamehmetoğlu vd. (1988)	Orta zor	Orta zor
Karpuz (1990)	Orta zor	Orta zor
Pettifer ve Fookes (1994)	Kolay Sökülebilir	Zor Kazılabilir
Hadjigeorgiou ve Poulin (1988)	Patlatma	Patlatma
Hoek ve Karzulovic (2000)	Riperleme	Riperleme
Başarır ve Karpuz (2004)	D8-D9 Dozer: Orta D10-D11 Dozer: Çok Kolay	D8-D9 Dozer: Kolay D10 - D11 Dozer: Çok Kolay
Ceylanoglu vd. (2007)	Orta / Zor	Orta / Zor
Tsiambaos ve Saroglu (2010)	Patlatma	Sökülebilir

Bu sınıflamalar genel olarak değerlendirildiğinde bazı kazılabilirlik sınıflamalarından elde edilen sonuçların genel durumdan farklı olduğu görülmektedir. Özellikle, sadece kaya kütle özelliklerinin parametre olarak kullanıldığı Abdullatif ve Cruden (1983), Hoek ve Karzulovic (2000) Tsiambaos and Saroglu (2010) kazılabilme sınıflamalarında kazılabilme sınıfları diğer sınıflamalara göre daha alt sınıflarda çıkmıştır. Bu durumun nedeninin bu sınıflamalarda yeterli veri olmadan bu sınıflamaların önerilmesi olarak açıklanabilir. Yani kaya kütle özellikleri ile kaya kütlelerinin kazılabilme özellikleri arasındaki ilişkilerin daha fazla araştırma yapılarak ortaya konulmasına gerek vardır.

Scoble ve Müftüoğlu (1984) ile Pettifer and Fookes (1994) sınıflamalarında da genel durumdan daha düşük kazılabilme sınıfları ortaya çıkmıştır. Bu durum, Scoble ve Müftüoğlu (1984) ile Pettifer and Fookes (1994) sınıflamalarında kullanılan parametrelerin kaya kütlesini temsil edecek yeterlilikte olmamasından kaynaklanmaktadır.



8. YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Abdullatif, O., Cruden D.M., (1983). The relationship between rock mass quality and ease of excavation. Bulletin of the international Association of Engineering Geology, 183-187
- Akgül, B. (1987). Keban Yöresi Metamorfik Kayaçların Petrografik İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.
- Akkuş, M.F., (1971). Darende-Balaban havzasının (Malatya ESE Anadolu) jeolojik ve stratigrafik incelenmesi. MTA Dergisi, 76, 1-60.
- Aktimur, S., (1979). Malatya-Sivas dolayının uzaktan algılama yöntemiyle çizgiselliklerinin incelenmesi. MTA Derleme no: 6651 (yayımlanmamış).
- Alemdag, S., Kaya, A., Gurocak, Z., Dag, S., (2011). Excavatability properties of rock masses having different weathering degrees: an example of Gumushane Granitoid, Gumushane, NE Turkey. J. Geol. Eng. 35 (2), 133-149.
- Alpaslan, M. ve Terzioğlu, N., (1996). Arguvan (Malatya kuzeyi) yöresinde Üst Miyosen ve Pliyosen yaşlı volkaniklerin karşılaştırılmalı jeokimyasal özellikleri. Türkiye Jeol. Bült., 39/2, 75-87.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F., (1972), The East Anatolian fault system: thoughts on its development: Bull. Mineral Research and Exploration Institute of Turkey, Ankara, 78, 33-39.
- Asutay, H.J., (1985). Baskil (Elazığ) Çevresinin Jeolojik ve Petrografik İncelenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Atkinson, T., (1971). Selection of open-pit excavating and loading equipment. Trans. Inst. Min. Metall. 80, 101-129.
- Attewell, P.B., Farmer, I.W., (1976). Principles of Engineering Geology, Chapman and Hall, London, 1045.
- Ayan, T. ve Bulut, C., (1964). Balaban-Yazıhan-Kurşunlu ve Levent bucakları (Malatya) arasındaki alanın genel jeolojisi. MTA Dergisi, 62, 58-71.

- Ayan, T., (1961). Malatya kuzeyindeki Hekimhan-Ebreme köyü bölgesinin (K39c3) detay jeoloji ve petrol imkanları. MTA Derleme no: 4186 (yayımlanmamış).
- Babacan A., Ersoy, H., Gelişli, K. (2012). Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve elastik özelliklerinin ultrasonik hız tekniği ve zaman-frekans analiziyle belirlenmesi: Bej kireçtaşları (KD Türkiye) üzerine örnek bir çalışma", TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 70-72
- Bailey, A.D., (1975). Rock types and seismic velocities versus rippability. Highway Geology Symposium, Proceedings, 135-142.
- Barton, N., Lien, R., Lunde, J., (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6, 189–239.
- Barton, N. and Grimstad, E. (1994). Rock mass conditions dictate choice between NMT and NATM. Tunnels & Tunnelling, October 1994, pp. 39-42.
- Barton, N., Grimstad, E., (1994). The Q-System following twenty years of application in NTM support selection. Geomechanic Colloquy, Felsbau, Salzburg, 6 (94), 428-436.
- Bieniawski, Z., T., (1973). Engineering Classification of Jointed Rock Masses, Transactions of South African Institution of Civil Engineering, 15, 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley, New York, 238 p.
- Bozkaya, O., ve Yalçın, H., (1991). Hekimhan doğu ve güney kesimindeki Kretase-Tersiyer yaşlı sedimenter yaşlı birimlerin mineralojisi ve jeokimyası. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 6, 234-252, Ankara.
- Bozkaya, O., Yalçın, H. (1992). Hekimhan havzası (KB Malatya) Üst Kretase-Tersiyer istifinin jeolojisi. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 4, 59-80.
- Boztuğ, D. Ve Yılmaz, S., (1992). Konukdere metasomatının (Hekimhan-Hasançelebi, KB Malatya) petrolojisi. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 7, 116-129, Ankara.

- Celada, B. and Tardaguila, I., Varona, P., Rodriguez A., Bieniawski, Z.T., (2014). Innovating Tunnel Design by an Improved Experience-based RMR System. World Tunnel Congress 2014, May 9th to 15th 2014, Iguassu Falls, Brazil
- Ceylanoğlu, A., Gül, Y., Akın A., (2007). Kazılabilirlik ve riparlenebilirlik sınıflama sistemlerinin incelenmesi ve yeni bir sınıflama sisteminin önerilmesi. Madencilik Dergisi, 46 (2), 13-27.
- Deere D.U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposes. Felsmechanik und Ingenieurgeologie, 1, 14-23.
- Dolmaz, M., Öksüm, E., Kalyoncuoğlu, Y., Elitok Ö., Aydın, İ., Poraz, S., M., (2009), Güneydoğu Anadolu çarpışma kuşağındaki (Malatya-Elazığ-Bingöl-Diyarbakir-Adiyaman) litosferik yapının manyetik ve gravimetrik yöntemler ile araştırılması. İstanbul Yerbilimleri Dergisi. C. 22, S. 2, SS. 105-118, Y. 2009
- DSİ (2015). Malatya-Yoncalı İsale Tüneli Proje Yapımı Kesin Projesi Jeoteknik Etüt Raporu. Akarsu Mühendislik, Ankara.
- Ercan, T. ve Asutay, H.J., (1993). Malatya-Elazığ-Tunceli-Bingöl-Diyarbakır dolaylarındaki Neojen - Kuvaterner yaşlı volkanitlerin petrolojisi. A.Suat Erk Jeoloji Sempozyumu Bildirileri, 291-302.
- Eyüboğlu, Ş, (1994). Malatya Yoncalı Projesi Sulama Tüneli Güzergahı Mühendislik Jeolojisi Planlama Raporu. DSİ IX.Bölge Müdürlüğü, Elazığ.
- Fookes P., G. ve Denness, B., 1969, Observational Studies on Fissure Patterns Cretaceous Sediments of South-East England. Geotechnique, 19, 4, 453-477.
- Franklin, J.A., Broch, E., Walton, G., 1971. Logging the mechanical character of rock. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 80, A 1-9.
- Görmüş, M., (1992a). Geological setting, facies and evolution of the Tohma reef formation, an Upper Cretaceous sequence in the Hekimhan area, NW Malatya. Türkiye 9. Petrol Kongresi, Bildiriler Kitabı, 173-184, Ankara.

- Görmüş, M., (1992b). Hekimhan (KB Malatya, Türkiye) yöresindeki istiflerin biyostratigrafik incelemesi. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 7, 179-191, Ankara.
- Görmüş, M., (1993). Paleoenvironmental interpretations of the Cretaceous-Tertiary sequences and their boundary relations in the Hekimhan area (NW Malatya, Turkey). Akdeniz Üniv. Isparta Müh. Fak. Derg., 7, 1-14.
- Gözübol, A.M. ve Önal, M., (1986). Çat Barajı isale tünelinin mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği incelemesi, Malatya - Çelikhan alanının jeolojisi. TÜBİTAK TBAG-647 projesi.
- Grimstad, E. & Barton, N. (1993). Updating The Q-System for NMT, International Symposium on Sprayed Concrete-Modern Use of Wet-Mix Sprayed Concrete for Underground Support, May, Norwegian Concrete Association, Oslo, Proceedings book: 44-66.
- Gürocak, Z. and Kılıc, R., (2005). Effect of Weathering on Geomechanical Properties of the Miocene Basalts in Malatya, Eastern Turkey, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 64, 373-381.
- Gürocak, Z. and Yalcın, E. (2016). Excavatability and the effect of weathering degree on the excavatability of rock masses: An example from eastern Turkey, Journal of African Earth Sciences, 118, 1-11.
- Gürocak, Z., Alemdag, S., Zaman, M.M., (2008). Rock slope stability and excavatability assessment of rocks at the Kapıkaya dam site, Turkey. Eng. Geol. 96, 17-27.
- Gürer, F. Ö. (1994). Hekimhan-Hasançelebi yöresinin Üst Kretase stratigrafisi ve havza evrimi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 37, 135-148.
- Gürer, Ö.F., (1994). Hekimhan-Hasançelebi yöresinin Üst Kretase stratigrafisi ve havza evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 37, 135-148.
- Gürocak, Z., (1999). Boztepe (Malatya) Barajı Eksen Yerindeki Kayaçların Jeomekanik Özelliklerinin ve Ayrışma Derecelerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst. (Yayımlanmamış).

- Hakyemez, Y. ve Örcen, S., (1983). Medik-Ebreme dolayındaki (KB Malatya) Senozoyik yaşlı çökel kayaçların stratigrafisi ve sedimentolojisi. MTA Jeol. Dai. Arş., Rapor no: 186.
- Hadjigeorgiou, J., Poulin, R., 1998. Assessment of ease of excavaton of surface mines. Journal of terramechanics. 35, 140-155.
- Hoek E, Kaiser PK, Bawden WF (1995) Support of underground excavations in hard rock. Balkema, Rotterdam.
- Hoek, E. ve Brown, E., T., (1997). Practical Estimates of Rock Mass Strength, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Geomechanics Abstract, 27, 3, 227-229.
- Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M. S., (2013). Quantification of the Geological Strength Index chart. 47th US Rock Mechanics and Geomechanics Symposium, San Francisco, USA.
- Hoek, E., Karzulovic, A., (2000). Rock Mass Properties for Surface Mines. Slope Stability in Surface Mining. Society for Mining, Metallurgical and Exploration (SME), Colorado, pp. 59-70.
- Holzer, H., (1955). 80/3, 97/1 - 3 paftalarında 10/8/1954 tarihinden itibaren 28/10/1954 tarihine kadar yapılan jeolojik harita çalışmaları hakkında rapor. MTA Rapor No: 2368 (yayımlanmamış).
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), (1978). Comission on Standardization of Laboratory and Field Tests: Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts, 15, 319-68.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), (1985). Suggested method for determining point load strengith. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 22 (2), 52-60.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), (1981). Rock Characterization, Testing and Monitoring. International Society of Rock Mechanics Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford, 210-212 p.

- ISRM, (2007). The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, eds: Ulusay R., J.A. Hudson, Kazan Offset Pres, Ankara, 628
- Jenning, J., E., (1970). A Mathematical Theory for the Calculation of the Stability of Slopes in Open Cast Mines, Symposium on Planning Open Pit Mines, Balkema, August, Cape Town, Proceedings book: 87-112.
- Karaman, T., Poyraz, N., Bakırhan, B., Alan, İ., Kadıncız, G., Yılmaz, H. ve Kılınç, F., (1993). Malatya-Doğanşehir-Çelikhan dolayının jeolojisi. MTA Derleme no:9587 (yayımlanmamış).
- Karpuz, C., (1990). A classification system for excavation of surface coal measures. Mining Science and Technology, 11, 156-163.
- Kaya A. (2001). Keban (Elazığ) Civarındaki Metamorfitlelerin Yapısal Analizi ve Tektonik Evrimi. Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi, Elazığ, Türkiye,
- Kaya, A., (2016). Tectono-stratigraphic reconstruction of the Keban metamorphites based on new fossil findings, Eastern Turkey. Journal of African Earth Sciences 124, 245-257
- Kaya, A., (2016). Tectono-stratigraphic reconstruction of the Keban metamorphites based on new fossil findings, Eastern Turkey. Journal of African Earth Sciences 124, 245-257
- Kaya, A., Bulut, F., Alemdag, S., (2011). Applicability of excavatability classification systems in underground excavations: a case study. Sci. Res. Essays 6 (25), 5331-5341.
- Kentli, B., Topal, T., (2004). Assesment of rock slope stability for a segment of the Ankara-Pozanti motorway. Turk. Eng. Geol. 74 (1e2), 73-90.
- Ketin, İ., (1966). Türkiye'nin tektonik birlikleri. MTA Dergisi. 66, 20-34, Ankara.
- Ketin, İ., (1966). Anadolu Tektonik Birlikleri Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA) Dergisi, No:66 5-13

- Kipman, E., (1981). Kebanın jeolojisi ve Keban Barajı. İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi, 1 (1-2), 75-81.
- Kirsten, H.A.D., (1982). A classification system for excavation in natural materials. The Civil Engineering in South Africa, 24, 293–308.
- Kürüm, S. (1987). Keban İlçe Merkezi Çevresinin Tektonik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elâzığ.
- Kürüm, S., (1994). Elazığ kuzeybatısındaki genç volkanitlerin petrolojik özellikleri (Doktora Tezi), F.Ü. Fen Bilim. Enst. (yayımlanmamış).
- Kürüm, S., Akgül, B. ve Erdem, E., (1999). Eski Arapgir – Şıhlar (Malatya – Elazığ) köyleri çevresindeki volkanitlerin petrografik ve jeokimyasal özellikleri. Geosound/Yerbilimleri 34, 187-201.
- Marinos P., Marinos V., Hoek E. (2007). Geological Strength Index (GSI). A characterization tool for assessing engineering properties for rock masses. Published in: Underground works under special conditions, eds. Romana, Peruchó & Olalla, 13-21. Lisbon: Taylor and Francis.
- Marinos, P., Hoek, E., (2000). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In: Proceedings of the GeoEng2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne. Technomic publishers, Lancaster, pp. 1422–1446.
- Marinos. P, and Hoek, E. (2001) – Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. Bulletin of the Engineering Geology & the Environment (IAEG), 60, 85-92.
- Mussett, A.E. and Khan, M.A., (2000). Look into the Earth: An Introduction to Geological Geophysics. Cambridge University Press.
- Neojen - Kuvaterner yaşlı volkanitlerin petrolojisi. A.Suat Erk Jeoloji Sempozyumu Bildirileri, 291-302.

- Önal, M., (1995). Malatya graben havzası kuzeyinin stratigrafisi, kömür potansiyeli ve neotektoniği. S.D.Ü. Müh. Fak. Derg., 332-346.
- Öngen, Ö., (2015). Farklı kaya sınıfları için yapılan sayısal modelleme çalışmalarının karşılaştırılması-örnek uygulama, <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/206495>
- Örçen, S., (1986). Medik-Ebreme (KB Malatya) dolayının biyostratigrafisi ve paleontolojisi. MTA Dergisi No: 105/106, 40-68.
- Özdemir, Z. ve Tunç, M., (1993). Hekimhan (Malatya) yöresindeki Üst Kretase yaşlı birimlerin paleontolojik ve stratigrafik özellikleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 36, 131-144.
- Özgül, N., (1976), Toroslar'ın bazı temel jeolojik özellikleri: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 19, 65-78.
- Palmström, A., (2005). Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology, 20, 360-377.
- Paşamehmetoğlu, A.G., Karpuz, C., Müftüoğlu, Y., Özgenoğlu, A., Bilgin, A., Ceylanoğlu, A., Bozdağ, T., Topper, Z., Dinçer, T., (1988). TKİ dekapaj ihale panoları için makina parkı seçimi, maliyet analizi ve birim maliyetin (TL/m³) saptanması, Jeoteknik ve performans verilerinin değerlendirilmesi, kazılabilirlik sınıflama sisteminin önerilmesi. Nihai Rapor, ODTÜ, Cilt 1, 150 s (yayımlanmamış).
- Perinçek, D., (1979), Guidebook for excursion «B», Interrelations of the Arab and Anatolian plates: First Geol. Congr. on Middle east, Ankara, Turkey, 34 s.
- Pettifer, G. S., Fookes, P.G., (1994). A revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock. Quarterly Journal of Engineering Geology, 144–164
- Piteau, D., R., (1970). Geological Factors Significant to the Stability of Slopes Cut in Rock, International Symposium on Planning Open Pit Mines, South African Institute of Mining and Metallurgy, October, Johannesburg, Proceedings book: 33-53.

- Priest, S.D. ve Hudson, J.A., (1981). Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 18, 183.
- Scoble, M. J. , Müftüoğlu, Y.V., (1984). Derivation of a diggability index for surface mine equipment selection. Mining Science and Technology, 1, 305-322
- Sevimli, U. İ., (2009). Yazihan (Malatya) batısının tektono - stratigrafisi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, 161s.
- Singh, R. N., Denby, B., Eğretli, İ., Pathan, A.G., (1986). Assessment of ground rippability in opencast mining operations. University of Nottingham Mining Department Magazine, 38, 20-35
- Smith, H. J., (1986). Estimating rippability of rock mass classification. The 27th U.S. Symposium on Rock Mechanics Proceedings University of Alabama, 443
- Soyutürk, N., (1973). Murat baseni jeolojisi ve hidrokarbon imkanları raporu, TPAO Arama Grubu Raporu, 791 (Yayımlanmamış).
- Sönmez, M. and Aksoy, E., (2017). Stratigraphic Characteristics of the Alibonca Formation in the Southern Arapgir, Malatya, Turkey International Journal of Engineering Research And Management (IJERM) Volume: 4, Issue: 10, 56
- Sönmez, M., (2004). Arapgir (Malatya) güneybatısındaki alanın stratigrafik ve tektonik özellikleri, (Doktora Tezi) F.Ü Fen Bilimleri Enst. (yayımlanmamış).
- Sönmez, M., (2004). Arapgir (Malatya) güneybatısındaki alanın stratigrafik ve tektonik özellikleri. Doktora Tezi, F. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü., 10-63, Elazığ.
- Stefanski, M., (1941). Malatya civarındaki jeolojik etüde müteallik not. MTA Derleme No: 1212 (yayımlanmamış).
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E. ve Naz, H., (1985). Elazığ -Hazar - Palu alanının jeolojisi. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi, 29, 83–191.

- Şengör, A. M. C., (1979). Mid-Mesozoic closure of Permo - Triassic : Tethys and its implications: Nature, 280, 589 - 595.
- Şengör, A.M.C. ve Kidd, W.E.F., (1979), Post-Collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and comparison with Tibet: Tectonophysics, 55, 361-376.
- Şengör, A.M.C., (1980), Türkiye'nin neotektonik esasları. Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Serisi,2,40.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Dokuz, A., Meyer, H.P., (2007). Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex, Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey. International Journal of Earth Sciences, 96, 861– 873.
- Tsiambaos, G., Saroglou, H., (2009). Excavatability assessment of rock masses using the Geological Strength Index (GSI). Bulletin of Engineering Geology and the Environmental, 69 (1),13-27.
- Turan, M., (1984). Baskil-Aydınlar (Elazığ) yöresinin stratigrafisi ve tektoniği: Doktora Tezi. FU Fen Bil. Enst., 180 s. (yayımlanmamış).
- Turan, M., ve Bingöl, A. F., (1991). Kovancılar-Baskil (Elazığ) Arası Bölgenin Tektono-stratigrafik Özellikleri. Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu, Bildiriler, Cukurova Üniversitesi, Adana, 213-227.
- Türkmen, İ. ve Aksoy, E., (1998). Arapgir (Malatya), Çemişgezek (Tunceli), Elazığ Dolaylarındaki Neojen Birimlerinin Stratigrafik-Sedimentolojik İncelenmesi ve Bölgesel Korelasyonu. TPJD Bülteni, 10, 1, 15-33.
- Türkmen, İ., Aksoy, E., Kürüm, S., Akgül, B. ve İnceöz, M., (1998). Arguvan-Arapgir (Malatya) alanında Alt Miyosen volkanizması ve bölgesel stratigrafi içindeki yeri. Geosound/Yerbilimleri, 32, 105-115.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., (2007). Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, 2. Baskı, Jeoloji Mühendisleri Odası, 292s., Ankara.

- Ulusay, R., ve Sönmez H., (2007). Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. Jeoloji Mühendisleri Odası 15-23
- Weaver, J.M., (1975). Geological factors significant in the assessment of rippability. The Civil Engineering in South Africa, 17, 313.
- Yazgan, E. and Asutay, H.J., (1981). Definition of structural units located between Arabian platform and Munzur Mountains and their significance in the geodynamic evolution of the area 35th Congr. Geol. Soc. Turkey, abstracts, p. 44-45.
- Yazgan, E., (1981). Doğu Toroslar'da etkin bir paleo-kıta kenarı etüdü. H.Ü. Yerbilimleri Bülteni, 7, 83-104.
- Yazgan, E., (1983). A geotraverse between the Arabian platform and the Munzur nappes. Tekeli, O. And Göncüoğlu, M.C., (eds), Int. Symp. on the Geology of the Taurus Belt, Field Guide Book, Exc. V, 26-29, Ankara.
- Yazgan, E., (1984). Geodynamic evolution of the Eastern Taurus region. Tekeli, O. And Göncüoğlu, M.C., (eds), Int. Symp. on the geology of the Taurus Belt, Proceedings, 199-208, Ankara..
- Yılmaz, S. Boztuğ, D., Öztürk, A. (1991). Hekimhan-Hasançelebi (KB Malatya) yöresinin stratigrafisi ve tektoniği. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 8, 1-18.
- Yoldaş, R., (1972). Malatya kuzeyinin jeolojisi ve petrol olanakları. MTA Derleme No: 4936 (yayımlanmamış).

ÖZGEÇMİŞ

Oğuz ERDEM; 1988 yılı Elazığ doğumludur. İlk, orta ve lise tahsilini Elazığ'da tamamladıktan sonra 2008 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazanmış ve 2012 yılında jeoloji mühendisi olarak mezun olmuştur. 2012 yılında mezun olduğu bölümde yüksek lisans eğitimine başlamış ve devam etmektedir. Lisans bölümünden mezun olduğu 2012 yılından sonra babası emekli öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Emin ERDEM tarafından daha önceki yıllarda kurulmuş olan EMERSON MÜHENDİSLİK LTD. ŞTİ.'nde jeoloji mühendisi ve yönetici sıfatları ile mesleki faaliyetler yürütmüştür.

MART - 2018