

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AYVALI (OLUR, ERZURUM) BARAJ YERİNDEKİ ANDEZİTLERİN
JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Mustafa KANIK

**AĞUSTOS 2009
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AYVALI (OLUR, ERZURUM) BARAJ YERİNDEKİ ANDEZİTLERİN
JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Jeo. Müh. Mustafa KANIK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Jeoloji Yüksek Mühendisi”
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13.07.2009
Tezin Savunma Tarihi : 06.08.2009**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Kerim AYDINER**



Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez danışmanı olarak çalışmanın tüm aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen, çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayarak karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen bölümümüz teknik elemanlarından, Murat KAYIKÇI ve Erdoğan TİMURKAYNAK'a, teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmasının belli aşamalarında yardımcı olan Jeo. Yük. Müh. Özgür Bilici'ye Jeo. Yük. Müh. Ayberk KAYA'ya ve Jeo. Yük. Müh. Hatice KADAYIFÇI'ya arazi çalışmalarında desteğini esirgemeyen İnş. Yük. Müh. Celalettin ÇİFTÇİ, harita verilerinin yorumlanmasında yardımcı olan Harita Mühendisliği öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Fevzi KARSLI'ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sırasında göstermiş olduğu maddi, manevi her türlü fedakârlığı için, babama, anneme, kardeşlerime ve eşime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa KANIK
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı	1
1.3. Barajlar ve Hidroelektrik Santralleri	2
1.3.1. Barajlar	2
1.3.1.1. Beton Ağırlık Barajları	2
1.3.1.2. Payandalı Barajlar.....	3
1.3.1.3. Kemer Barajları	4
1.3.1.4. Dolgu Barajları	5
1.3.2. Hidroelektrik Santraller	6
1.3.2.1. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması	8
1.3.2.2. Santrallerin Yapı Tipleri	9
1.3.2.2.1. Nehir İçi Santralleri (Alçak Basınçlı Tesisler)	9
1.3.2.2.1.1. Blok Santralleri.....	11
1.3.2.2.1.2. Kanal Santralleri	12
1.3.2.2.2. Yüksek Basınçlı Tesisler	12
1.3.2.2.3. Pompaj Biriktirmeli Santraller.....	15
1.3.2.2.4. Gel-Git Santralleri	16
1.4. Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli	16
1.5. Çoruh Havzası ve Hidroelektrik Potansiyeli	19
1.6. Çalışma Alanının Genel Özellikleri.....	22
1.6.1. Coğrafik Durum.....	22

1.6.2.	Yerleşim ve Ulaşım	23
1.6.3.	İklim ve Bitki Örtüsü	23
1.7.	Bölgesel Jeoloji.....	24
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	25
2.1.	Genel Jeolojik, Stratigrafik ve Petrografik Çalışmalar	25
2.1.1.	1/25 000 Ölçekli Jeoloji Haritanın Hazırlanması	25
2.1.2.	Mikroskobik Tayinler	25
2.2.	Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları	25
2.2.1.	Süreksizliklerin Özelliklerinin Tayini ve Hat Etüdü Çalışmaları.....	26
2.2.1.1.	Süreksizliklerin Yönelimi.....	26
2.2.1.2.	Süreksizlik Ara Uzaklığı.....	28
2.2.1.3	Süreksizliklerin Devamlılığı.....	29
2.2.1.4.	Süreksizliklerin Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgallılığı.....	30
2.2.1.5.	Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği	31
2.2.1.6.	Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı.....	33
2.2.1.7.	Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu	35
2.2.1.8.	Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı.....	36
2.2.1.9.	Kaya Kalite Göstergesi (RQD %)......	38
2.2.2.	Laboratuvar Çalışmaları	39
2.2.2.1.	Schmith Çekici Geri Tepme Sayısı.....	40
2.2.2.2.	Nokta Yükleme Deneyi	42
2.2.2.3.	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi.....	43
2.2.2.4.	Elastisite modülü (Young Modülü) ve Poisson Oranının Tayini	44
3.	BULGULAR	46
3.1.	Giriş	46
3.2.	Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi	46
3.2.1.	Hamurkesen Formasyonu	46
3.3.	Mühendislik Jeolojisi.....	51
3.3.1.	Giriş	51
3.3.2.	Kaya Malzemesinin Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özellikleri	51
3.3.3.	Süreksizlik Özellikleri	57
3.3.3.1	Süreksizliklerin Yönelimi ve Süreksizlik Setleri.....	57

3.3.3.2.	Süreksizlik Ara Uzaklığı	58
3.3.3.3.	Süreksizliklerin Devamlılığı.....	60
3.3.3.4.	Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü.....	62
3.3.3.5.	Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği	62
3.3.3.6.	Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı	63
3.3.3.7.	Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu	65
3.3.3.8.	Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı.....	65
3.3.3.9.	Kaya Kalite Göstergesi (RQD).....	66
3.3.4.	Kaya Kütle Dayanımı Özellikleri	67
3.3.5.	Ayvalı Baraj Yerindeki Kaya Kütlelerinin Sınıflaması.....	70
3.3.6.	Baraj Yeri Kaya Kütlelerinin Taşıma Gücü	73
3.3.7.	Ayvalı Barajı Çevresi Kaya Kütlelerinin Kazılabilirliği	75
3.3.8.	Ayvalı Baraj Yerindeki Kaya Şevlerinin Stabilitesi.....	78
3.3.8.1	Düzlemsel Kayma.....	78
3.3.8.2.	Kama Tipi Yenilme	81
3.3.8.3.	Devrilme Tipi Yenilme.....	83
3.3.9.	Ayvalı Barajı Aks Yerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sızıntı Analizi.....	85
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	89
5.	KAYNAKLAR	92

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Bu çalışmada Çoruh Havzası'nda bulunan Ayvalı Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nin (Olur, Erzurum) oturacağı kaya kütlelerinin jeolojik ve jeoteknik özellikleri araştırılmıştır. Bu kapsamda süreksizlik özellikleri arazi çalışmalarıyla belirlenmiş, sondaj karotlarından alınan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiş, tüm bu veriler ışığında baraj yeri kaya kütlelerinin dayanımı, taşıma gücü, stabilitesi gibi jeoteknik özellikleri araştırılmış ve sonuç olarak sonlu farklar yöntemi kullanılarak baraj eksenini boyunca uygulanacak olan perde enjeksiyon derinliği hesaplanmıştır.

Çalışma alanında Hamurkesen formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yüzeylenmektedir.

Çalışma alanındaki jeoteknik birimleri tanımlamak, yanal ve düşey devamlılıklarını belirlemek amacıyla yüzey (hat etüdü) ve yeraltı çalışmaları (sondaj) gerçekleştirilmiş ve bu alanının 1/2500 ölçekli haritası hazırlanmıştır. Kaya ortamının geçirimsizliğini belirlemek amacıyla basınçlı su deneyleri (Lugeon) uygulanmıştır.

Jeoteknik birimdeki kaya malzemesinin fiziksel ve dayanım özelliklerini belirlemek için araziden alınan bloklar ve sondaj karotları üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Süreksizliklerin özelliklerini belirlemek amacıyla hat etüdü çalışmaları yapılmış, farklı süreksizlik takımları için süreksizlik ara uzaklığı, açıklığı, pürüzlülüğü, bozunma derecesi, devamlılığı gibi parametreler belirlenmiştir.

Hat etüdü çalışmaları ve kayaçlar üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, kaya kütlelerinin dayanım özellikleri Hoek-Brown ampirik yaklaşımıyla belirlenmiştir.

Baraj yerinde baraj yapılmadan önce kazı ortamının tanımlanması amacıyla, kayaçların kazılabilirliği jeomekanik parametrelerle belirlenmiştir.

Sonuç olarak, Baraj aks ekseninde yapılacak olan enjeksiyonların derinlikleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayvalı Barajı, jeoteknik, Erzurum-Olur, enjeksiyon, hidroelektrik

SUMMARY

INVESTIGATION OF GEOTECHNICAL PROPERTIES OF ANDESITIC ROCK MASSES AT AYVALI DAM SITE (OLUR, ERZURUM)

In this study, geological and geotechnical properties of the rock masses outcropping at Ayvalı Hydroelectric complex in Çoruh basin were investigated. On this subject, properties of the discontinuities were identified by the field researches, in consequence of experiments on the samples collected from the boreholes, the physical and the mechanical properties of the intact rocks were determined. As a result of all these data, geotechnical properties such as rock mass strength, bearing capacity and stability of rock masses were investigated, hereby injection depths to be applied all along the dam axis were calculated by finite elements seepage analysis software.

The geological units in the studied area are the Liyas aged Hamurkesen Formation and Quaternary alluvium.

Surface studies were conducted for description of vertical and horizontal homogeneity of geotechnical units in the site, and 1/2500 scaled map was prepared. Lugeon tests were applied for determination of seepage.

In the laboratory studies, physical and strength properties were determined on the samples collected from the boreholes and rock blocks.

In the field, scan-line surveys on natural rock exposures were performed and the quantitative description of discontinuities was conducted.

Rock mass strength was calculated with Hoek-Brown empirical approach using by data obtained from laboratory studies and scan-line surveys.

In this study, to describe the area to be excavated, excavatability properties of the rock masses were determined using geomechanic parameters.

In conclusion, the depths of injections at the dam site were determined.

Key Words: Ayvalı Dam, geotechnic, Olur-Erzurum, injection, hydroelectric

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Ağırılık Barajları.....	2
Şekil 1.2. Payandalı Barajlar	3
Şekil 1.3. Kemer Barajlar.....	4
Şekil.1.4. Dolgu barajlar	5
Şekil 1.5. Hidroelektrik kompleksin genel görünümü	7
Şekil 1.6. Hidroelektrik Santralin Görünümü	7
Şekil 1.7. Alçak düşülü kanal içi santraller.....	10
Şekil 1.8. Nehiriçi Santrallerden Örnekler.....	11
Şekil 1.9. Yer altı santrali	14
Şekil 1.10 Pompaj biriktirmeli hidroelektrik tesisin şematik görünümü	15
Şekil 1.11. Pompaj biriktirmeli santraller	16
Şekil 1.12. Türkiye’deki HES Potansiyeli Dağılımları.....	17
Şekil 1.13. Türkiye’deki 26 su havzası ve Çoruh Havzasının bunlar içindeki yeri.....	18
Şekil 1.14. Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli (Nisan 2008)	19
Şekil 1.15. Çoruh Havzası üzerinde bulunan barajlar, hidroelektrik santralleri ve bunların tipleri.....	20
Şekil 1.16. Çalışma alanı ve çevresinin yer bulduru haritası.....	22
Şekil 2.1. Kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin özelliklerini tanımlayan parametreleri gösteren blok diyagram	27
Şekil 2.2. Kaya kütlesi özelliklerini tanımlayan parametreler	27
Şekil 2.3. Pürüzlülük profilleri ve bunlara karşılık gelen JRC (eklem pürüzlülük katsayısı) değerleri aralığı	32
Şekil 3.1 Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası	47
Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresinde gözlenen kuvarşlı meta andezitler (a) ve spilitik bazaltlar (b).....	49
Şekil 3.3. Çalışma alanı ve çevresinde gözlenen kuvarşlı meta andezitler (a) ve spilitik bazaltların (b) ait mikroskobik görüntüler	50
Şekil 3.4. Baraj eksenini çevresinin topografik haritası.....	52
Şekil 3.5. Baraj yerinin 3 boyutlu uydu görüntüsü	53

Şekil 3.6. Volkanik kayalara ait çatlak kontur diyagramı (alt yarı küre).....	58
Şekil 3.7. Farklı süreksizlikler için süreksizlik ara uzaklığı histogramları.....	59
Şekil 3.8. Süreksizlik takımları için süreksizlik devamlılığı histogramları	61
Şekil 3.9. Süreksizlik takımları için süreksizlik açıklıklarına ait histogramlar	63
Şekil 3.10. Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi ve Ayvalı Barajı temelindeki kaya kütlelerine GSI puanının hesaplanması.....	68
Şekil 3.11. Kayaçlar üzerinde yapılan deneyler ve arazi gözlemleri sonucunda elde edilen verilere göre çizilmiş en büyük asal gerilme-en küçük asal gerilme (σ_1 - σ_3) grafiği.....	70
Şekil 3.12. RMR sisteminin son versiyonunda tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanları tanımlama grafikleri.	72
Şekil 3.13. RQD değerine bağlı indirgeme yüzdesi.....	74
Şekil 3.14. Kazılabilirlik değerlendirme grafiği	76
Şekil 3.15. Farklı kazı metodları için GSI-Kaya kütle dayanımı grafiği	77
Şekil 3.16. Programın fonksiyonları	79
Şekil 3.17. Süreksizliklerin programa işlenmesi.....	80
Şekil 3.18. Şevin yönelimine göre analiz sonuçları.....	80
Şekil 3.19. Şevlerin yönelimine göre kama tipi kayma analiz sonuçları	82
Şekil 3.20. Şevlerin yönelimine göre devrilme analiz sonuçları	84
Şekil 3.21. Ayvalı Barajı'nda suyun gölet tabanında oluşturduğu yayılı yüklerin ve toplam boşalma hızının belirlendiği sonlu elemanlar programında görünümü.....	87
Şekil 3.22. Ayvalı Barajı eksen yerinin sızıntı analizi.....	88

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Dünyadaki, Avrupa'daki ve Türkiye'deki Hidroelektrik Potansiyelleri	17
Tablo 1.2. Hidroelektrik Tesislerin Durumu.....	18
Tablo 2.1. Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri	29
Tablo 2.2. Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri	30
Tablo 2.3. Süreksizlik açıklığının tanımlamasına ilişkin ölçütler.....	32
Tablo 2.4. Kaya kütlelerinin bozuşma dereceleriyle ilgili sınıflama	34
Tablo 2.5. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımı ve arazi tanımlamalarına göre sınıflaması.....	35
Tablo 2.6. Kaya kütlelerinin bozuşma dereceleriyle ilgili sınıflama	35
Tablo 2.7. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri.....	36
Tablo 2.8. Dolgulu ve dolgusuz süreksizlikler için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri.....	36
Tablo 2.9. Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutu tanımlaması	38
Tablo 2.10. Güncel J_v sınıflaması.....	38
Tablo 2.11. RQD sınıflaması	39
Tablo 2.12. Chauvenet ölçütü için örnek sayılarına (N) karşılık gelen en büyük standart sapma değerleri	41
Tablo 2.13. Schmidt çekici geri tepme sayılarının aşağıya doğru dik olarak tutulmuş durumuna göre düzeltme değerleri	42
Tablo 3.1. Baraj yeri kaya malzemesinin fiziksel özellikleri.....	54
Tablo 3.2. Sondaj karotlarına ait nokta yük dayanım indeksi deney sonuçları	55
Tablo 3.3. Sondaj karotlarına ait tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları	55
Tablo 3.4. Sondaj karotlarına ait indirek çekme dayanımı deney sonuçları	56
Tablo 3.5. Sondaj karotlarına ait elastik özellikler	56
Tablo 3.6. Farklı süreksizlik setlerine ait süreksizlik ara uzaklıkları değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.....	60

Tablo 3.7. Farklı süreksizlik setlerine ait devamlılık değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi	61
Tablo 3.8. Süreksizlik takımlarındaki farklı süreksizlik yüzeylerine ait dalgalılık ve ortalama JRC değerleri.....	62
Tablo 3.9. Farklı süreksizlik setlerine ait süreksizlik açıklığı değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi	64
Tablo 3.10. Süreksizlik yüzeylerine ait bozunma indeksi değerleri	64
Tablo 3.11. Blok boyutunu ifade eden hacimsel eklem sayısı değerleri ve tanımlama ölçütleri	65
Tablo 3.12. Sondaj verileri ile hesaplanan RQD değerleri.....	66
Tablo 3.13. Süreksizliklerin özellikleri ve bu değerlerin literatürdeki tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi	66
Tablo 3.14. RMR kaya kütleli sınıflama sisteminin son versiyonu	71
Tablo 3.15. Çalışma alanı kaya kütleli sınıflama sisteminin temel RMR puanı.....	73
Tablo 3.16. Kaya kütleli sınıflama için RMR puanına göre net taşıma gücü.....	74
Tablo 3.17. Farklı yöntemlerle belirlenmiş taşıma gücü değerleri	75
Tablo 3.18. Çalışma alanındaki kayaçların kazılabilirlik açısından değerlendirilmesi	78
Tablo 3.19. 300/65 duruşlu şev için kama tipi kayma analizi	81
Tablo 3.20. 120/65 duruşlu şev için kama tipi kayma analizi	83
Tablo 3.21. 300/65 duruşlu şev için düzlemsel kayma ve devrilme analizleri.....	85
Tablo 3.22. 120/65 duruşlu şev için düzlemsel kayma ve devrilme analizleri.....	85

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Silindirik örneğin kesit alanı
Ad	: Süreksizlik yüzeyinin toplam alanı
c	: Kohezyon
D	: Karot çapı
e	: Boşluk oranı
F	: Boyut düzeltme faktörü
G	: Kesme modülü
GSI	: Jeolojik Dayanım İndeksi
JCS	: Süreksizlik yüzeyinin dayanımı
Jli	: Süreksizlik izi uzunluğu
Jn	: Çatlak takım sayısı
Jr	: Çatlak pürüzlülüğü
JRC	: Eklem pürüzlülük katsayısı
Jsi	: Görünür ara uzaklık
k	: Ayrışma sabiti
K	: Süreksizlik devamlılığı
L	: Lugeon birimi
M ve s	: Malzeme sabitleri
Ln	: Gözlenen her bir eklem setine dik yönde seçilmiş ölçüm hattının uzunluğu
n	: Porozite
Nn	: Her bir eklem seti için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizliklerin sayısı
Nr	: İncelenen alandaki rasgele gelişmiş süreksizlik sayısı
P	: Yenilme yükü
RMR	: Kaya Kütlesi Puanlaması
RQD	: Kaya kalite göstergesi
R0	: Aşırı derecede zayıf kayaç
R1	: Çok zayıf kaya
R2	: Zayıf kayaç
R3	: Orta derecede sağlam kayaç
R4	: Sağlam kayaç
R5	: Çok sağlam kayaç

R6	: Aşırı derecede sağlam kayaç	
Si	: Her bir süreksizlik takımı için ara uzaklık	
ss	: Standart sapma değeri	
Sso	: Standart sapma oranı	
X	: Ortalama süreksizlik aralığı	
B _j	: Süreksizliğin eğimi	
D _e	: Çapsal deneylerde karotun çapı	
E _m	: Elastisite modülü	
G _s	: Tanelerin özgül ağırlıkları	
G _w	: Suyun özgül yoğunluğu	
I _b	: Süreksizlik sıklığının hacimsel ifadesi	
I _s	: Düzeltilmemiş nokta yük	leksis
I ₂	: Nokta yükü dayanımı	
Ja	: Çatlak alterasyon sayısı	
J _v	: Hacimsel eklem sayısı	
m _b	: Kırıksız kaya için malzeme sabiti	
Ms	: Kütle direnci sayısı	
qu	: Zemin taşıma gücü	
R _f	: Taze yüzeyin schmith geri tepme sayısı	
R _w	: Bozunma sınıflaması yapılan süreksizlik yüzeyinin schmith geri tepme sayısı	
W _c	: Bozunma katsayısı	
w _d	: Doygun ağırlık	
w _k	: Kuru ağırlık	
w _n	: Zeminin doğal su muhtevası	
β _j	: Süreksizlik eğim açısı	
σ _c	: Tek eksenli sıkışma dayanımı	
σ _{cd}	: D çapında bir örneğin sıkışma dayanım	
σ ₁	: Eksenel gerilim	
σ _{ci}	: Kırıksız kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı	
σ ₁ '	: Majör efektif asal gerilme	
σ ₃ '	: Minör efektif asal gerilmeler	
λ	: 1 m uzunluktaki ölçüm hattını kesen ortalama çatlak sayısı	

α_j	: Süreksizlik eğim yönü
α_s	: Şev eğim yönü
γ	: Birim hacim ağırlık
\emptyset	: İçsel sürtünme açısı
Φ^o	: Yenilme düzleminin açısı
ρ	: Yoğunluk
ν	: Poisson oranı
δ	: Şev ve süreksizlik yüzeyinin doğrultusu arasındaki açı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Enerji hem insan hayatının devamı hem de ekonomik kalkınmanın temel taşlarından biri olduğundan dünyada enerji kaynakları çok büyük bir öneme sahiptir. Uluslar arası Enerji Ajansı'na üye ülkeler arasındaki enerji pazarlamasındaki eğilim gazdan ziyade elektrik sektörüne doğru gelişmektedir. Günümüzde fosil kaynaklı enerji kaynaklarının hem tükenmekte olması ve hem de bu kaynakların ekonomik ve ekolojik olarak önemli sakıncaları taşımaları, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Ekonomik ve çevre dostu olması ve üretimde kullanılan elemanların tamamına yakınının yerli kaynaklardan sağlanılabilmesi gibi avantajları dolayısıyla, hidroelektrik enerjinin önemi her geçen gün daha da artmaktadır.

Hem nüfus artışı hem de hayat standartlarındaki artışa paralel olarak, 21. yüzyılda dünya enerji ihtiyacının önemli ölçüde artacağı tahmin edilmektedir. Hidroelektrik enerji diğer enerji kaynaklarında nadiren bulunan temiz ve yenilenebilir kaynaklara sahip olmasından dolayı eşsiz faydalar sağlar (Yüksek, 2008).

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada Çoruh Havzası'nda bulunan Ayvalı Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nin (Olur, Erzurum) oturacağı kaya kütlelerinin jeolojik ve jeoteknik özellikleri araştırılmıştır. Bu kapsamda süreksizlik özellikleri arazi çalışmalarıyla belirlenmiş, sondaj karotlarından alınan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiş, tüm bu veriler ışığında baraj yeri kaya kütlelerinin dayanımı, taşıma gücü, stabilitesi gibi jeoteknik özellikleri araştırılmış ve sonuç olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak baraj ekseni boyunca uygulanacak olan perde enjeksiyon derinliği hesaplanmıştır.

1.3. Barajlar ve Hidroelektrik Santralleri

1.3.1. Barajlar

Barajlar, enerji üretmek, yerleşim merkezlerine içme, kullanma suyu sağlamak, taşkın önlemek ve sulama gibi birçok amaçla inşa edilirler. Barajlar genel olarak beton ve dolgu barajlar olmak üzere ikiye ayrılır.

Beton barajlar, ağırlık ve kemer barajları olarak ikiye ayrılırlar. Ağırlık barajları beton ağırlık ve payandalı ağırlık barajları olarak, kemer barajlar ise ince, kalın ve kupolo olarak inşa edilirler.

Dolgu barajlar, toprak dolgu, kaya dolgu, toprak ve kaya dolgu olmak üzere üç farklı şekilde inşa edilebilirler. Toprak dolgu barajlar ise homojen ve zonlu olmak üzere ikiye ayrılırlar (Tarhan, 2002).

1.3.1.1. Beton Ağırlık Barajları

Bu tür barajlar suyun itme ve döndürme kuvvetlerine ağırlıkları ile karşı koyarlar. Düz bir hat ya da memba tarafı hafif kavisli veya topografik koşullara bağlı olarak ikisinin birleşik şeklinde de olabilirler. Enine kesitleri, genellikle üçgene yakın trapez şeklindedir (Şekil 1.1).

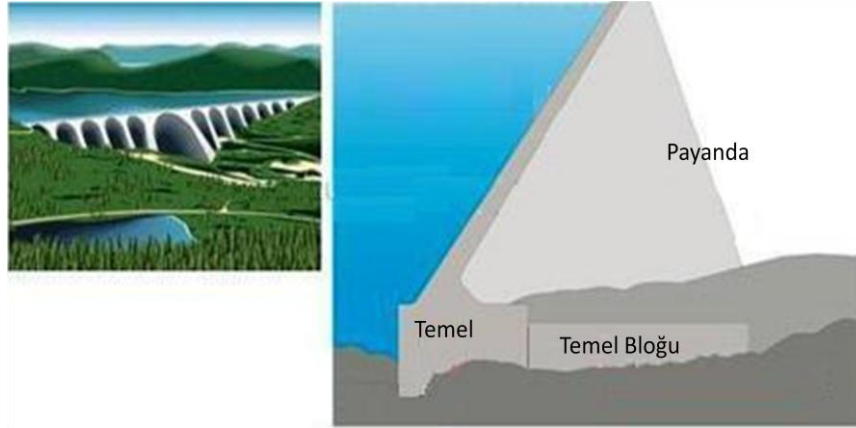


Şekil 1.1. Ağırlık Barajları

Ağırlık barajlarının inşa edileceği temel kayasının sağlam olması istenir, fakat bununla birlikte çok çatlaklı, değişik litolojideki ve alüvyon üzerinde de inşa edilebilmektedir. Geniş kanyon tipi vadiler, ağırlık barajları yapımı için en ekonomik ve uygun olan vadilerdir. Vadide temel kayası 6–9 m derinlikte, taşıma gücü 9–11 kg/cm² arasında, tepe uzunluğu yükseklik oranı 5 ve daha az olmalıdır. Taban genişliği yaklaşık olarak yüksekliğin 2/3' ü kadar inşa edilir. Memba tarafı 0.05 ile 0.10 eğiminde de yapılabilir. Mansap tarafının eğimi 0.70 ile 0.80 civarındadır. Temelde boşluk suyu basıncını ve suyun kaldırma kuvvetini yok etmek için drenaj galerileri inşa edilmelidir.

1.3.1.2. Payandalı Barajlar

Bu tür barajlar, suyun itme ve döndürme kuvvetine karşı koymada düz ya da hafif eğimli bir duvar ve bu duvarı takviye eden desteklerden (duvarlardan) ibarettir (Şekil 1.2). Bu itme ve döndürme kuvvetleri, yani su basıncı, destekler vasıtasıyla temele aktarılır. Payandalar boş, tek ya da iki duvar halinde olurlar (Tarhan, 2002).



Şekil 1.2. Payandalı Barajlar

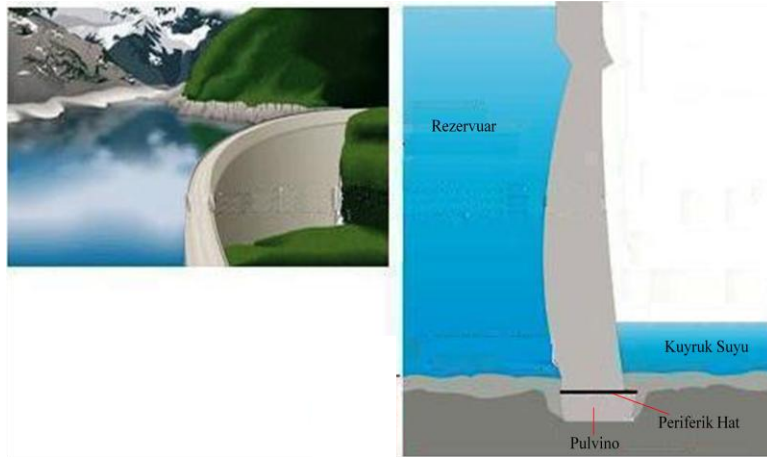
Payandalı ağırlık barajları geniş kanyon şekilli vadiler için uygun ve ekonomiktir. Su tarafının eğimi, 45° ile 60° olmalıdır. Bu tip barajlarda daha az malzeme ve beton kullanılmakta ve daha az kazı yapılmaktadır. Ayrıca barajla ilgili diğer yapılar (boşaltma kanalları, kuvvet santralleri) payandalar arasına yerleştirilerek ekonomik bir çözüm getirilir (Tarhan, 2002).

Payandalı barajlarda temel kayaçlarının, özellikle payandaların oturacağı kısımların sağlam olması istenir. Payandaların altındaki temel kayası mukavemeti $22-33 \text{ kg/cm}^2$ arasında olması önerilir. Çünkü yükler payandalar yardımıyla temele aktarılırlar. Payandalar dışındaki temel kayalara fazla yük binmez. Bu sebeple bu kısımlar zayıf temel kayaçlarına denk getirilir.

Bu tip baraj yapımında kaliteli beton dökme ve kalıp işçiliği önemlidir ve bunlar maliyet arttırıcı faktör olarak ortaya çıkarlar. Ayrıca dolu savak, bu tip barajlarda gövde üstünden yapıldığından diğer baraj tiplerine göre daha ekonomik bir çözüm getirilmiş olur.

1.3.1.3. Kemer Barajları

Akarsuyun memba tarafına doğru kavisli (konkav) tek bir beton duvardan ibaret barajlardır. Baraj gölünde toplanan suyun yükü, beton duvarın kavisinden dolayı vadi yamaçlarına (abatmanlara) aktarılır (Şekil 1.3). Bundan dolayı yamaçları oluşturan kayaçların çok sağlam olması istenir ve inşaat esnasında baraj gövdesi ile çok iyi kenetlenmesi gerekir. Yamaçta kayaya seri merdivenimsi şekil verilerek gerilmelerin uygun yerde toplanmasına ve dolayısıyla betonda çatlakların oluşmaması sağlanır. Yamaçla gövde arasındaki açının en az 45° olması gerekir. Ayrıca kemere mümkün mertebe geniş açı ($>133^\circ$) verilmelidir. Kemer barajda diğer önemli nokta ise kemerin kenetleneceği yamaçlardaki kayaçların süreksizlik (tabaka, çatlak, fay, vb.) yüzeyleri, kemerden gelecek yüklere dik olmalıdır (Tarhan, 2002).



Şekil 1.3. Kemer Barajlar

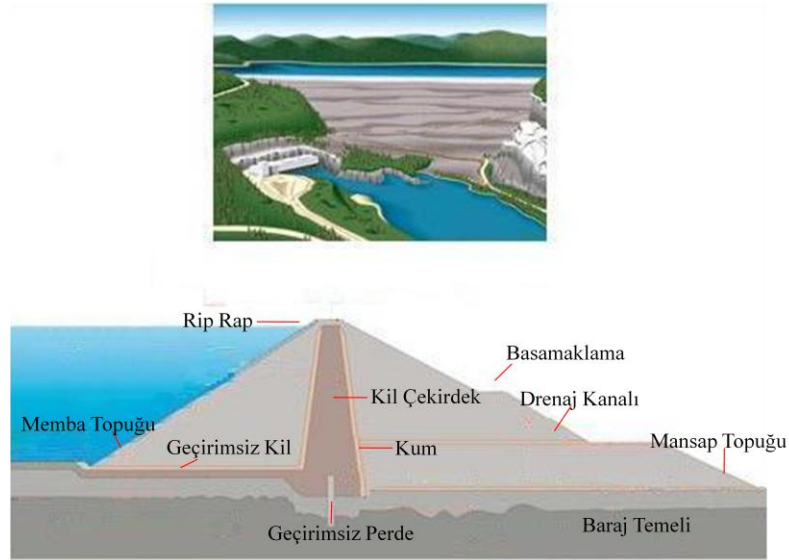
Bir vadiye kemer baraj yapılması düşünüldüğünde kret uzunluğu-yükseklik oranı kemer barajın tipine göre 5' ten küçük olması istenir. Kemer barajlar kalın, ince ve kupolo tipinde olurlar. Kalın tipte, abutmanların sağlam ve basınç dirençlerinin en az 33 kg/cm^2 , ince ve kupolo tipte $54\text{--}76 \text{ kg/cm}^2$ arasında olması önerilir (Tarhan, 2002).

Kemer barajlar diğer tiplere nazaran daha az malzeme, buna karşılık ekonomik maliyeti arttıran özel kalıp işçiliği ve kaliteli beton dökme taktiği gerektirir.

1.3.1.4. Dolgu Barajları

Doğal halde bulunan blok, çakıl, kum, silt, kil gibi ayrık malzemelerden yararlanılarak yapılan su tutma yapılarına dolgu barajlar denir. Kullanılan malzemeye türüne göre toprak (kum, silt, kil) ya da kaya (kaya bloğu) dolgu baraj ismi verilir (Şekil 1.4).

Dolgu barajlar daha çok geçirimsiz; sağlam olarak kabul edilmeyen, heterojen ortamlarda, geniş ve yayvan akarsu vadilerinde başarıyla inşa edilmektedir. Dolgu baraj tipinin üzerinde malzeme türünün önemi büyüktür. Malzemenin türüne göre, değişik özellikte (geçirimli, yarı geçirimsiz, geçirimsiz) ve yeterli miktarda malzeme olması durumunda zonlu (bölge) gövdeli, tek tür malzeme olması halinde ise homojen gövdeli barajlar yapılır (Tarhan, 2002).



Şekil 1.4. Dolgu barajlar

Baraj yerine ekonomik uzaklıkta toprak malzemenin bulunmaması buna karşılık uygun kaya malzemesinin yeterli miktar ve nitelikte olması halinde kaya dolgu tipte barajlar inşa edilir. Bu tip barajlarda da geçirimsiz malzeme miktarına bağlı olarak geçirimsiz çekirdek, çoğunlukla kil ya da betondan, zorunlu hallerde çelik veya ahşaptan yapılabilir (Tarhan, 2002).

Dolgu barajların geçirimsiz kısımlarında bazı özellikler aranır. Bunlar; gövdeden, kenar ve temelden sızma olmamalı, geçirimsiz bölge (çekirdek) suyla doygun hale geldiğinde yumuşamamalı, gövde malzemesinin kesme direnci mümkün olduğunca yüksek, oturmalar en az oranda olmalıdır. Bu özellikler ise baraj gövdesinde kullanılacak malzemenin iyi seçilmesi, iyi sıkıştırılması ve nem oranının iyi kontrol edilmesiyle mümkündür.

1.3.2. Hidroelektrik Santraller

Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri olan hidroelektrik enerji, elektrik için kullanılacak en büyük yenilenebilir kaynaktır (Frey ve Linke, 2002). Tüm dünyada ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanılmamış oldukça fazla hidroelektrik potansiyel vardır. Hidroelektrik enerjinin genel özellikleri şöyle özetlenebilir (Yüksek, 2008).

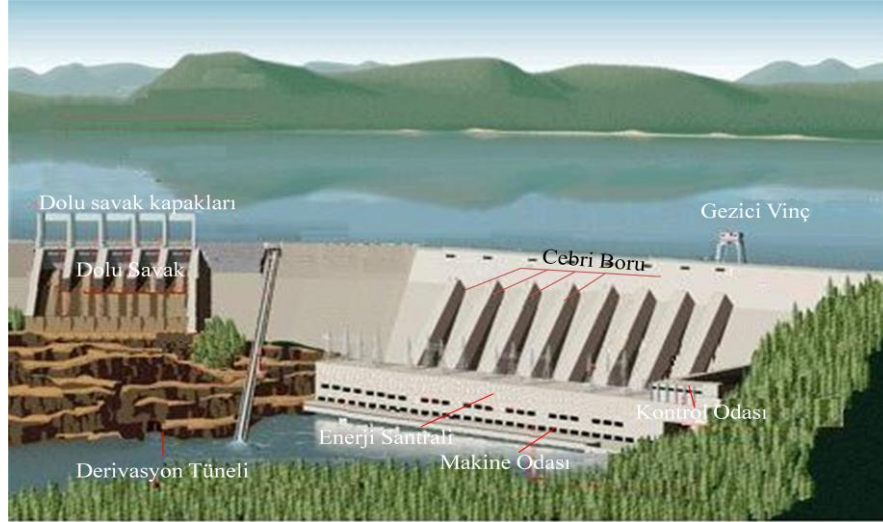
- Hidroelektrik enerji kaynakları dünya genelinde oldukça yaygındır. Yaklaşık 150 ülkede hidroelektrik potansiyeli vardır ve ekonomik olarak fizibil olan potansiyelin %70'i henüz kullanılmamıştır.

- Konuyla ilgili gelişmiş bir teknoloji ve bilgi birikimi vardır.
- Çevresel açıdan önemli avantajları vardır.
- İşletme maliyeti çok düşük, ekonomik ömrü çok büyüktür.

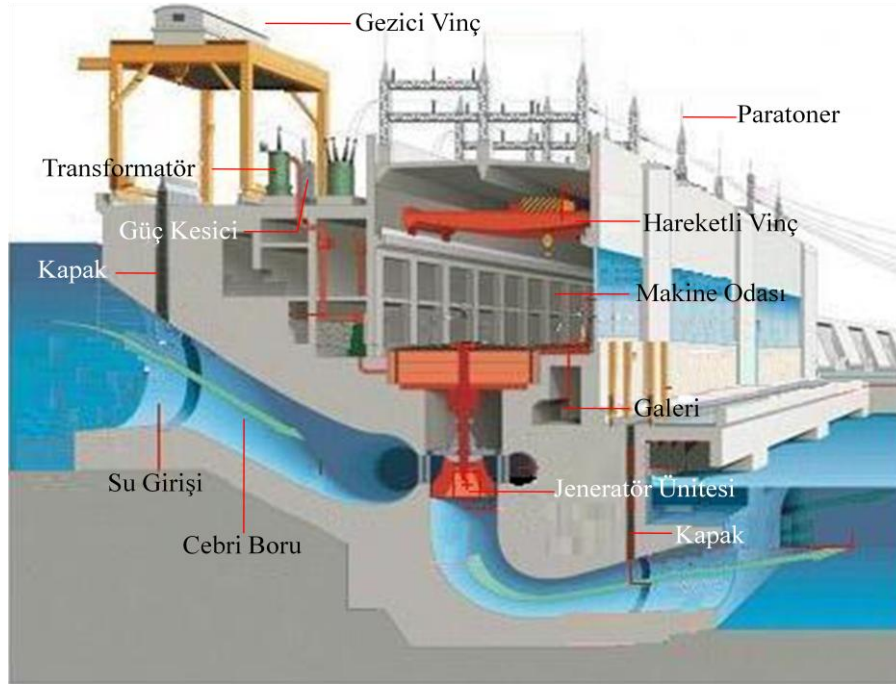
- Enerji üretiminde kullanılan hammadde olan su yenilenebilmekte ve hidrolojik çevrim içinde sürekli olarak dolaşmaktadır.

Hidroelektrik santraller ise suyun enerjisinden faydalanarak elektrik üreten yapılardır (Şekil 1.5 ve 1.6). Hidroelektrik santrallerde türbin çarkına çarpan su türbin şaftını döndürerek mekanik enerji üretir. Türbin şaftı direk veya dişli bir sistemle jeneratör rotoruna bağlıdır. Jeneratör rotoru üzerinde bulunan sargıların dışarıdan bir doğru akım güç kaynağı ile uyarılması sonucu rotor çevresine bir manyetik alan doğar. Dönen rotorun

etrafında oluşan manyetik alan stator sargılarının üzerine indüklenmesi ile stator sargılarda gerilim oluşarak elektrik enerjisi elde edilir. Bir hidroelektrik santral binlerce parçanın bir araya gelmesi ile oluşur (Berkün, 2007).



Şekil 1.5. Hidroelektrik kompleksin genel görünümü



Şekil 1.6. Hidroelektrik Santralin Görünümü

1.3.2.1. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

Hidroelektrik santraller farklı özellikleri bakımından aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler (Berkün, 2007).

Düşüşlerine Göre:

- Orta düşümlü santraller: Düşü 15–50 metre arasındadır.
- Yüksek düşümlü santraller: Düşü 50 metreden büyüktür.
- Alçak düşümlü santraller: Düşüsü 15 metreden azdır.

Ürettikleri Enerjinin Karakter ve Değerine Göre:

- Baz santraller: Devamlı olarak enerji üreten santrallerdir.
- Pik santraller: Enerjinin en çok ihtiyaç duyulduğu sürede çalışan santrallerdir.

Kapasitelerine Göre:

- Küçük kapasiteli: 99 kW' a kadar
- Düşük kapasiteli: 100–999 kW arası
- Orta kapasiteli: 1000–9999 kW arası
- Yüksek kapasiteli: 10 000 kW ve daha fazlası

Yapılarına Göre:

- Yer altı santrali
- Yarı gömülü ve batık santral
- Yerüstü santrali

Depolama Özelliklerine Göre:

a) Deposuz santraller

Bunlar doğrudan doğruya nehir veya kanal üzerine kurulmuşlardır. Su depoları (gölleri) olmadığından akan suyun enerjisini elektriğe çevirirler. İki tip olarak düşünülebilirler.

- Nehir santralleri
- Kanal santralleri

b) Doğal veya yapay su deposu (gölü) olan santraller:

Bu tip santrallerde suyun depolanması esastır. Genellikle su rejimlerinin düzensiz olduğu akarsularda suyun depolanması zorunluluk haline gelmekte ve böylece bütün yıl boyunca düzenli olarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Baraj santralleri ve pompaj rezervuarlı santraller olarak iki tip olarak düşünülebilirler.

Bu santraller, enerjiye ihtiyaç azaldığı saatlerde şebekeden aldıkları enerji ile pompa olarak çalışarak su basarlar. Günün enerjiye en çok ihtiyaç olduğu saatlerde birikmiş suyu kullanarak enerji üretirler (Berkün, 2007).

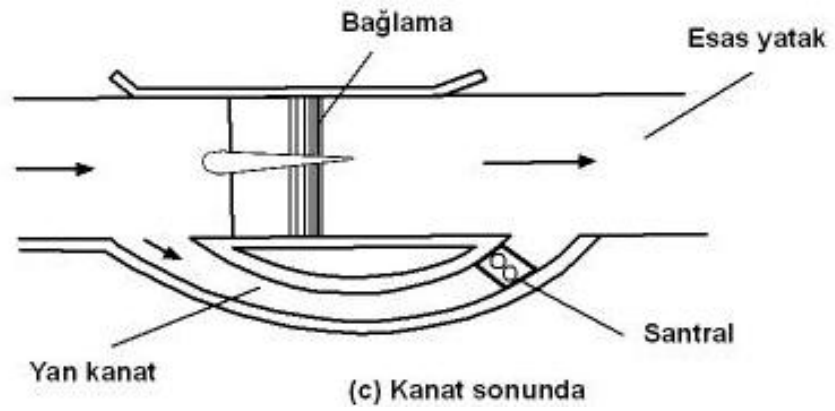
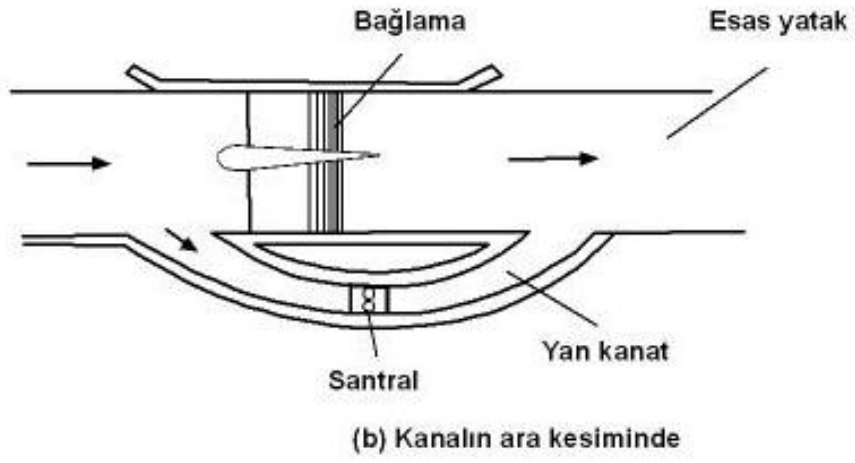
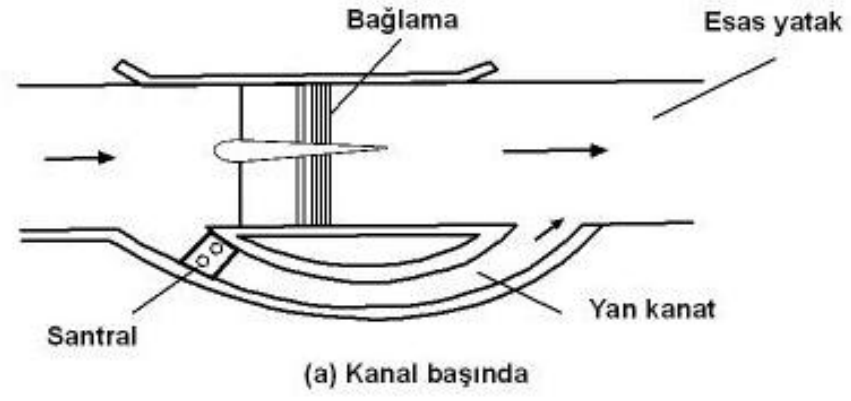
1.3.2.2. Santrallerin Yapı Tipleri

1.3.2.2.1. Nehir İçi Santralleri (Alçak Basıncılı Tesisler)

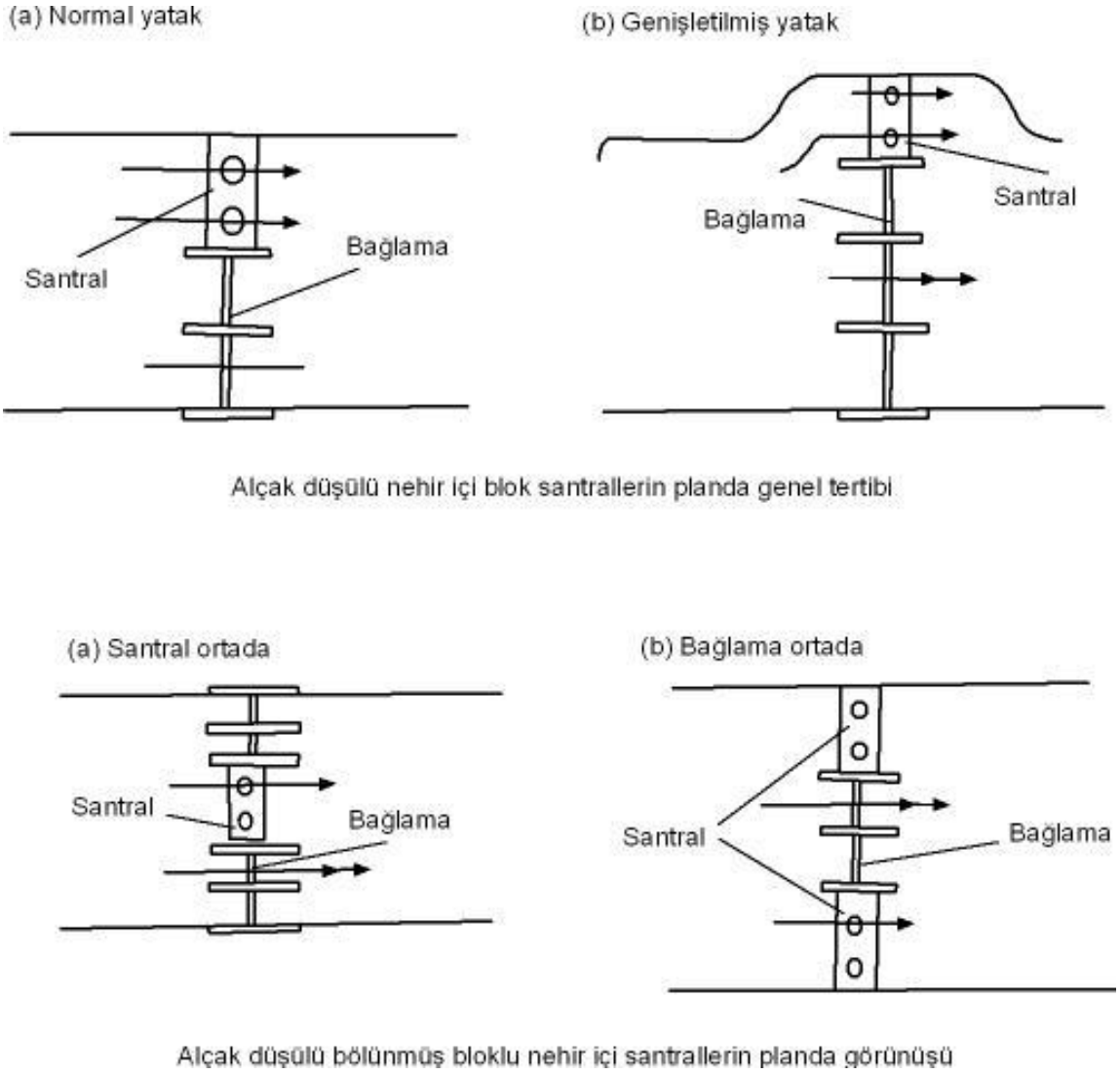
Nehir içi santraller küçük düşü (5–25 m) ve büyük debi ile çalışan, zaman içinde gerek düşüsü, gerek debisi büyük değişiklikler gösteren su kuvveti tesisleridir (Şekil 1.7). Genellikle akarsuların aşağı havzalarında, yatak eğimlerinin küçük olduğu kesimlerde uygulanan tesislerdir. Derleme yapısı genellikle bir bağlama olur. Bunun sebebi suyu yüksek bir barajla kabartmanın çok büyük tarımsal arazinin, kentlerin su altında kalmasına sebep olabilmesidir. Bu bağlama genellikle hareketli tipte yapılmaktadır. Bunun sebebi de taşkın akımlarını da geçirebilecek dolu savak görevi yapmasıdır. Bazı küçük tesisler için sabit bağlama yapılabilir. Su biriktirme kapasiteleri çok sınırlıdır. Bu nedenle uygulanmaları akarsuyun orta ve yukarı kesimlerinde barajlar kurulduğu durumda faydalı olmaktadır. Genellikle akarsuyun getirdiği debiye göre çalışırlar. Bu nedenle işletme debisi olarak en alçak ve en yüksek debi arasında seçilebilir. Genel olarak mevsimlere göre ihtiyaçları karşılayabilen bir debi veya akarsuda senenin 90 ila 120 gününde mevcut olan debi işletme debisi olarak seçilebilir (Berkün, 2007).

Alçak basınçlı su kuvveti tesislerinde düşü yüksekliği debi ile ilişkilidir. Debi arttıkça düşüm yüksekliği düşük olur. Bu tipteki santraller akarsu yatağında veya bir çevirme kanalı üzerinde kurularak, akarsu santrali veya kanal santrali olarak isimlendirilirler (Şekil 1.8).

Santralde, su alma ağzı, çok kısa bir basınçlı iletim mecrası, türbin ve diğer elektronik donanımı bulunur.



Şekil 1.7. Alçak düşümlü kanal içi santraller



Şekil 1.8. Nehiriçi Santrallerden Örnekler

1.3.2.2.1.1. Blok Santralleri

Bu çeşit santraller genellikle akarsu yatağında bir bağlama ve uzantısındaki kuvvet santrali olarak tertip edilirler. Düşü yükseklikleri küçük debileri büyüktür. Eğimin küçük, arazinin düz olduğu akarsu mansap bölgelerinde yapılırlar. Santral akarsu yatağının tabii genişliği içerisinde yer alabilir. Kuvvet santrali akarsu yatağının genişletilmesi sonucu oluşturulmuş olan kısımlara da kurulabilir. Böylece rüsup hareketi yönünden kıvrıntılı etkisinden olumlu yönde yararlandırdığı gibi, taşkın alanın savunulması için daha büyük bir bağlama genişliği kalır. Akarsu yatağının ve akım rejiminin özellik gösterdiği bazı durumlarda ise, kuvvet santralini ortaya alıp bağlamaları iki yana tertip etmek veya

bağlamayı ortaya alıp santrali iki yanda yapmak uygun olabilmektedir. Alçak düşülü santraller çoğunlukla düşey ünite eksenli olarak yapılır (Berkün, 2007).

1.3.2.2.1.2. Kanal Santralleri

Kuvvet santrali akarsuyun esas yatağının içine değil de tabii veya suni bir yan kanal üzerinde kurulur. Bu şekilde daha büyük bir düşü yüksekliği kazanılabilir. Akarsu yatağının doğal yapısının bozulmaması da taşkınların karşılanabilmesi açısından önemli olabilir (Berkün, 2007).

1.3.2.2.2. Yüksek Basınçlı Tesisler

Yüksek basınçlı tesisler baraj ve çevirme santralleri olarak ikiye ayrılırlar.

Baraj etek santralleri, sadece enerji üretmek amacıyla kurulabileceği gibi çok maksatlı da (sulama, su getirme, taşkından koruma, v.b.) kurulabilirler. Su ve enerjiye olan ihtiyacın artması biriktirme tesislerinin önemi artırmıştır. Baraj santralleri genellikle orta ve yüksek düşümlü olarak planlanırlar. Kuvvet santralleri etek santrali, derivasyon santrali veya yer altı santrali olarak şeklinde düzenlenebilir. Bu tip tesislerde işletme debisinin dengelenmesi daha kolay olur. Çünkü suları fazla olduğu zamanlarda biriktirilen sular debinin küçük olduğu zamanlarda kullanılabilir. Kullanılan debiyi hazne sayesinde büyük ölçüde istenilen şekilde düzenlenmek olanağı vardır (Berkün, 2007).

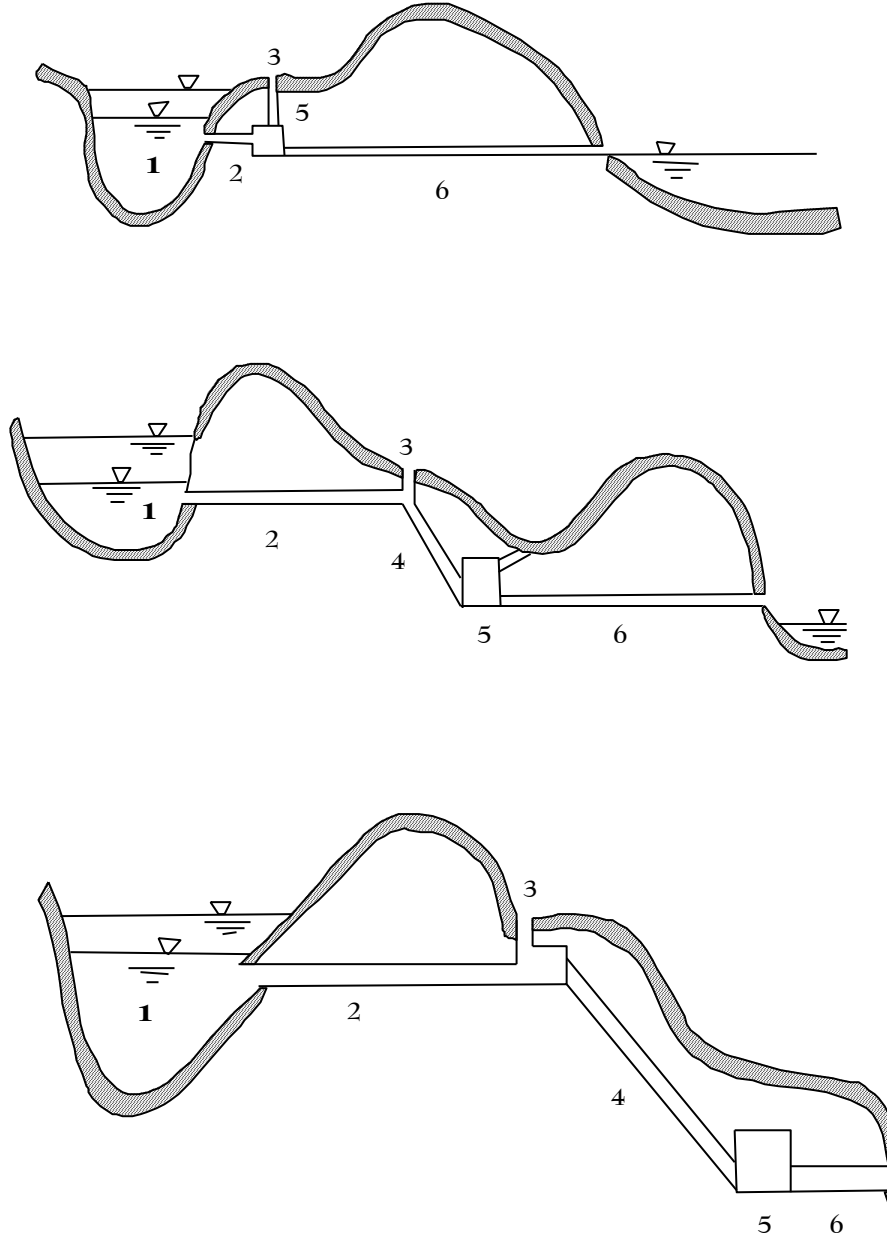
Beton barajlarının etek santralleri genellikle baraj gövdesinde su alma ağızı, gövdeden geçen basınçlı boru ve etekteki santralden oluşmaktadır. Baraj dolu savağının tipi ve yeri santralin yerleşme şeklini etkileyen en önemli faktördür. Vadi genişliği hem dolu savak boşaltım kanalının hem de santral çıkışının yer alabileceği kadar elverişli genişlikte ise veya dolu savak ayrı bir yamaçta yapılmış ise, santral barajın hemen eteğinde akarsuya dik yönde yapılmaktadır. Payandalı barajlarda payandalar arasındaki mesafe yeterli ise santral payandalar arasındaki boşluğa yerleştirilebilir. Buna elverişli değil ise baraj eteğine yapılmaktadır. Kemer barajlarda santral, baraj eteğinde ve akarsuya dik olarak yerleştirilir. Vadi elverişli değilse başka yerleşim şekilleri de uygulanabilir. Dolgu barajların eteğindeki santrallerle, su baraj gövdesinden bağımsız olarak tertiplenen giriş ağızları ve basınçlı borularla santrale taşınır.

Çevirme santralleri, küçük debilerde, düzenleme için gerekli olan hacmin çok üzerinde bir hazne yaratacak yüksek baraj ve eteğinde santral inşası yerine, enerji kayıpları en azda tutacak bir iletim sistemi ile suyun çevirme santrali tertiplenmesi de çoğunlukla ekonomik yönden tercih edilmektedir. Akarsu yatağında barajla yapılabilecek kabartmanın sağlayabileceği düşülerden daha fazla düşüler oluşturulması istendiğinde veya baraj yapmanın teknik yönden uygun olmadığı durumlarda uygulanır. Bu sebeplerden dolayı çevirme santralleri genellikle akarsuların yukarı ve orta havzalarında uygulanmaktadır. Çevirme santralleri genellikle küçük ve orta debileri büyük düşülerle (100-1800 m) birleştirmek suretiyle akarsuyun enerji potansiyelini değerlendirmektedir. Bunlar yerüstü ve yer altı santralleri (Şekil 1.9) şeklinde yapılabilmektedirler (Berkün, 2007).

Basıncı akışlı çevirme santrallerinde, derleme yapısı çoğunlukla bir barajdır. Su barajdan çevrilerek istenilen düşünün elde edilebileceği yere taşınır. Baraj haznesinde su seviyesi önemli değişimler gösterdiğinden, iletimin tamamının basınçlı akışla yapılması zorunludur. Bu sistem, uygun topografya koşullarından yararlanarak santralin baraj eteğinde yapılması yerine daha büyük bir düşü elde edilebilecek bir yere yerleştirilmesi istendiğinde kullanılır. Su alma ağzı çoğunlukla bir su alma kulesi veya yamaçtan tünel girişi şeklinde yapılmaktadır. İletim sistemini ve özellikle kuvvet tünelini aşırı basınçlardan korumak ve ani çalışmaya başlama halinde türbinlere yeterli su temin etmek amacıyla, kuvvet tünelinden basınçlı boruya geçişte bir denge bacasının yapılması gerekli olmaktadır. Baraj gölü yerine, tabii göllerden yararlanarak da basınçlı akışlı çevirme santralleri de kullanılabilir. Basınçlı borunun yamaçtan döşenmesinin sakıncalı olması halinde veya kuvvet santralini yeraltında yapmak gerektiğinde, basınçlı boru yerine basınçlı kuyu olarak tanımlanan dik eğimli bir tünel inşası uygun olmaktadır.

Suyun bağlama ile kabartılarak, serbest yüzeyli akışla yandan, tabandan veya karşıdan su alma ağzı ile derlendiği santrallerde, yatay yönde esas iletimin tünele yapılması halinde, serbest yüzeyli akışın tünelde de devam etmesi durumunda tünel cidarları gereksiz basıncın etkisinde kalmaz. Bu tür serbest yüzeyli akışlı tüneller de genellikle galeri olarak adlandırılırlar. Yatay yöndeki esas iletimin açık kanalla yapıldığı çevirme santrallerinde ise kanaldaki akış her zaman serbest yüzeyli olmaktadır. Serbest yüzeyli akıştan basınçlı borudaki akışa emniyetli geçiş ise yükleme havuzu ile sağlanmaktadır. Bu tür santraller rüsubatın çökeldiği bir baraj haznesine sahip olmadıklarından ve büyük düşülerden yararlanıldığından, rüsubatın aşındırıcı etkisi fazla olmakta, türbinlerin korunması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle su alma ağzından girecek tanelerin ayrılmasını sağlayacak

çökeltme havuzlarının tertibi zorunludur. Esas iletim yapısı tamamen açık kanal veya tamamen serbest yüzeyli akışlı galeri şeklinde olabileceği gibi, kısmen açık kanal, kısmen galeri şeklinde de tertiplenebilir.

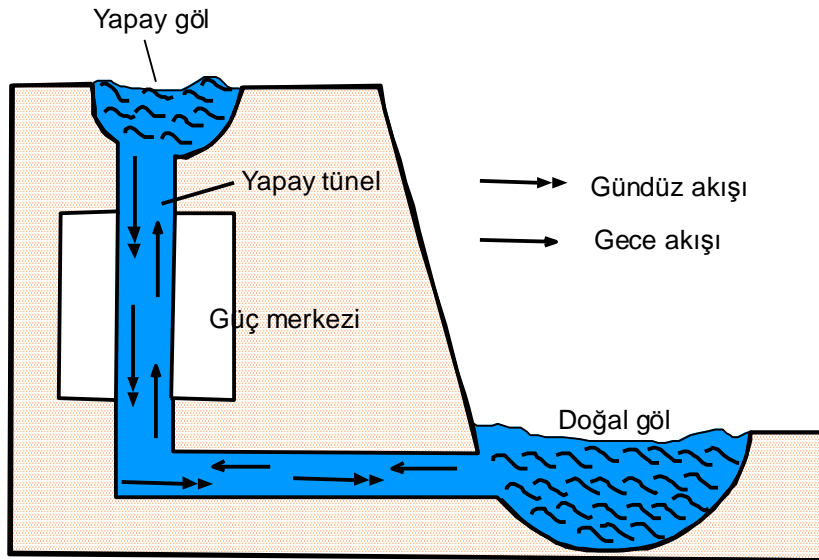


{1.Biriktilme haznesi, 2.Tünel, galeri, 3.Denge bacası, şaft, 4.Basınçlı boru, 5.Santral, 6.Boşaltım mecrası}

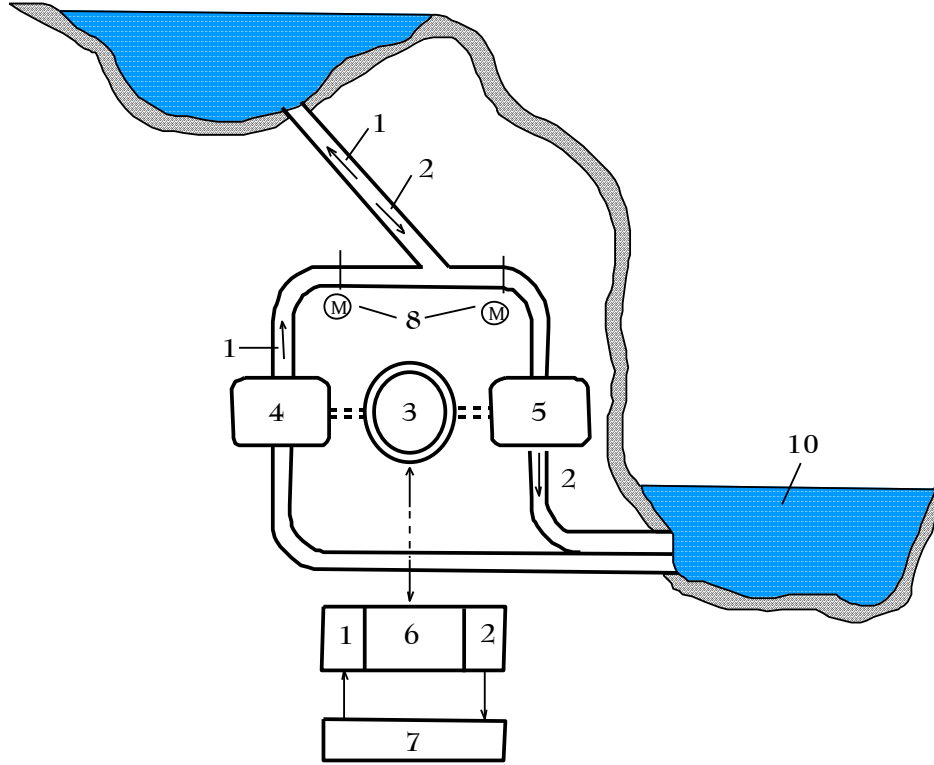
Şekil 1.9. Yer altı santrali

1.3.2.2.3. Pompaj Biriktirmeli Santraller

Biriktirmesiz su kuvveti santrallerinde pik değerde g¼ç ihtiyaacı da bu tesisle karşılandığında g¼ç talebinin düşük olduğu saatlerde biriktirilmeyen ve saklanmayan bir enerji fazlası oluşur. Biriktirmeli su kuvveti tesislerinin yetersiz veya tüketim merkezlerinden uzak olması durumunda, biriktirmeyi bu merkezlerin yakınında veya yapay olarak yaratmak gerekmektedir (Şekil 1.10 ve 1.11). Pompaj biriktirmeli tesislerde iletim hattı, genellikle suyun yükseltilmesinde terfi hattı, enerji üretiminde ise türbine su getiren basınçlı boru hattı olarak iş görür (şekil x). Bu tip tesislerde, üretilen baz enerjinin tamamının kullanılmadığı saatlerde (genellikle 24:00–05:00 arası) ihtiyaç fazlası elektrik ile pompalar çalıştırılır ve akarsudan alınan su bir terfi hattı ile yukarıdaki bir haznede (çoğunlukla yapay bir haznedir) toplanır. Bu su, ihtiyaç oluştuğu saatlerde türbinlere verilerek çok değerli pik enerjisi talebinin karşılanmasında kullanılır. Böyle bir santralin tükettiği enerji ürettiği enerjiden daha fazla olacaktır. Bu tip tesislerde üretilen enerjinin harcanan enerjiye oranı (randıman katsayısı) 0.5 ila 0.6 arasında bulunmaktadır. Buna rağmen pik enerjisi baz enerjisinden çok daha değerli olduğundan bu tip tesisler sanayileşmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.10. Pompaj biriktirmeli hidroelektrik tesisin şematik görünümü



1.Pompalama ile (Enerji şehir sisteminden alınır. Bu durumda jeneratör bir pompa motoru gibi çalışır.)
 2.Jeneratör ile (Elde edilen enerji şehir sistemine verilir).3.Jeneratör, 4.Pompa, 5.Türbin, 6. Elektrik enerjisi, 7.Şehir güç sistemi, 8.Kapaklar, 9.Üst rezervuar, 10.Alt rezervuar

Şekil 1.11. Pompaj biriktirmeli santraller

1.3.2.2.4. Gel-Git Santralleri

Gel-git meydana gelen okyanuslarda hareket eden su kütlesi sonucu oluşan su seviyesi farkından yararlanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Türkiye’yi saran denizlerde gel-git olayı ihmal edilebilecek mertebede olduğundan, bu tür santrallerin kurulması olanaklı değildir.

1.4. Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli

Ülkemizdeki artan enerji ihtiyacını karşılamak için öncelikle yerli enerji kaynaklarından elde edilmek üzere projeler geliştirmeli ve gerekli yatırımlar yapılmalıdır. Kesintisiz, kaliteli, güvenilir ve ekonomik enerji elde etmek üzere hazırlanan projelerin; çevreye olumsuz etkilerinin en az olmasına dikkat edilmelidir.

Elektrik enerjisi üretiminde; fosil ve nükleer yakıtlı termik ve doğalgazlı santraller yanında hidroelektrik santrallerin yenilenebilir ve puant çalışma gibi iki önemli özelliği mevcuttur.

Türkiye 433 milyar kWh brüt hidroelektrik potansiyeli ile dünya hidroelektrik potansiyeli içinde %1 paya sahiptir. 129,9 milyar kWh' lik ekonomik potansiyeli ile Avrupa ekonomik potansiyeli içinde yaklaşık %15 hidroelektrik potansiyeline sahip bulunmaktadır (Tablo 1.1 ve Şekil 1.12).

Tablo 1.1. Dünyadaki Avrupa'daki ve Türkiye'deki HES Potansiyelleri (<http://www.dsi.gov.tr>)

	<i>Brüt HES Potansiyeli (GWh/yıl)</i>	<i>Teknik HES Potansiyeli (GWh/yıl)</i>	<i>Ekonomik HES Potansiyeli (GWh/yıl)</i>
Dünya	40 150 000	14 060 000	8 905 000
Avrupa	3 150 000	1 225 000	800 000
Türkiye	433 000	216 000	130 000



Şekil 1.12. Türkiye'deki HES Potansiyeli Dağılımları

Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü' nün, 1964 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı' na bağlanmasının ardından havza çalışmalarını yeniden düzenleyerek, ülke su kaynaklarını 26 havzaya bölmüştür (Şekil 1.13).

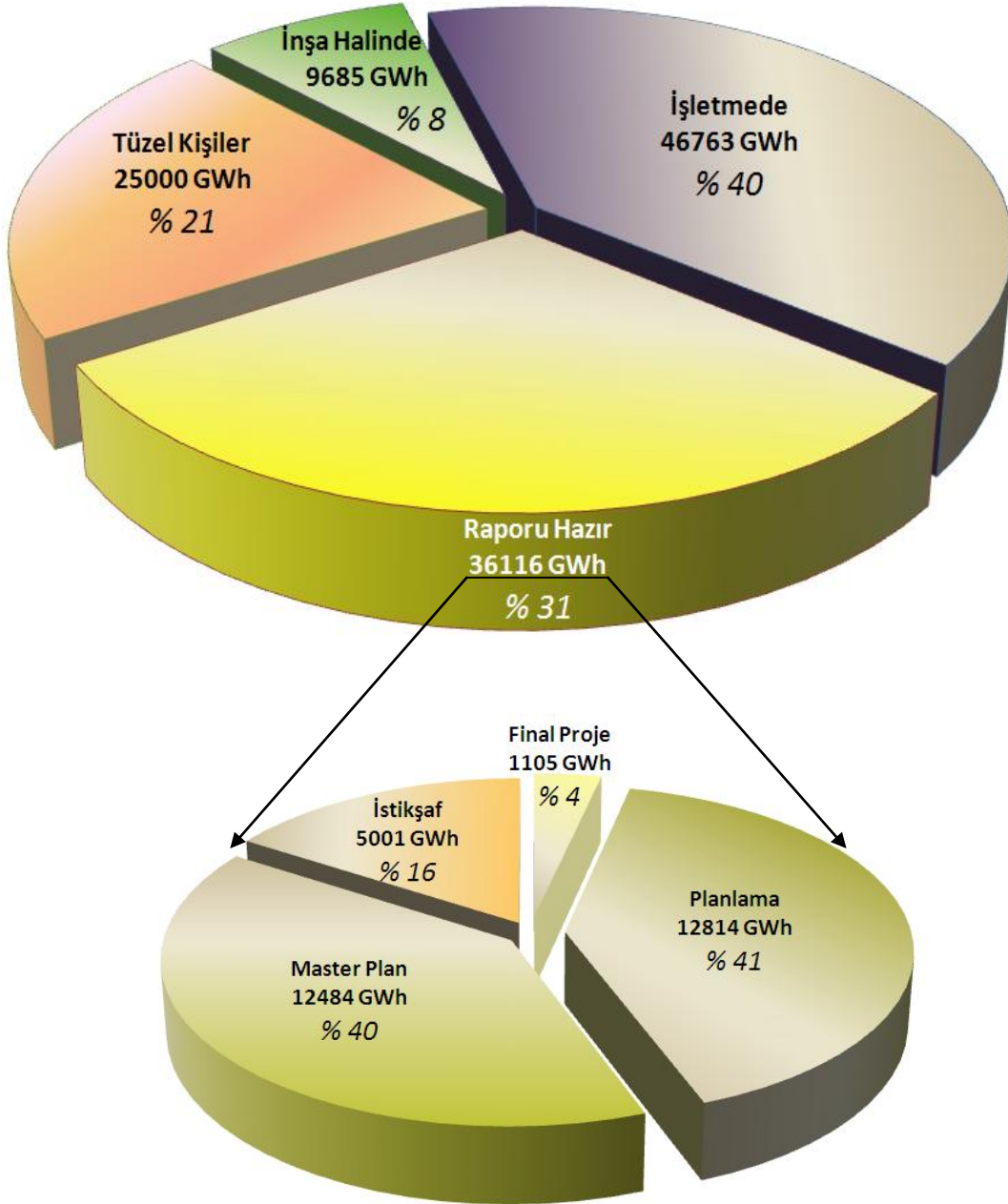
Tablo 1.2 ve Şekil 1.14'te ise Türkiye Hidroelektrik potansiyeli ve hidroelektrik tesislerin durumu hakkında bilgiler verilmiştir.



Şekil 1.13. Türkiye’deki 26 su havzası ve Çoruh Havzası’nın bunlar içindeki yeri

Tablo 1.2. Hidroelektrik Tesislerin Durumu (Yüksek, 2008)

SEVİYE		Güç	Yığılımlı Güç	Enerji	Yığılımlı Enerji
		(MW)	(MW)	(GWh)	(GWh)
İşletmede		13 614	13 614	46 763	46 763
İnşa Halinde		2 371	15 985	9 685	56 448
	Final Proje	231	16 216	1 105	57 553
Raporu	Planlama	3 513	19 729	12 814	70 367
Hazır	Master Plan	3 276	23 005	12 484	82 851
	İstikşaf	1 343	24 348	5 001	87 852
İstikşaf Rapor Hazırlanmakta		1 215	25 563	4 712	92 564
Tüzel Kişiler (Yaklaşık Değer)		7 000	32 563	25 000	117 564



Şekil 1.14. Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli (Nisan 2008)

1.5. Çoruh Havzası ve Hidroelektrik Potansiyeli

Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü' nün, 1964 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlanmasının ardından havza çalışmalarını yeniden düzenleyerek, ülke su kaynaklarını 26 havzaya bölmüştür (Şekil 1.13). Bu havzalardan “Çoruh Havzası’ nın Enerji Olanakları İstişaf Raporunu” DSİ ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) ortak çalışarak 1969 yılında tamamlayıp, Çoruh nehri ve kollarını (Şekil 1.15) proje kapsamına almışlardır. Bu tarihten itibaren baraj yerlerindeki temel (zemin)

araştırmalarına başlanarak elde edilen sonuçlarına göre 1982 yılında oruh Havzası Master Planı hazırlanmıştır. Barajların fizibilite (planlama-yapılabilirlik) raporları ise 1986 yılında tamamlanmış ve kesin proje hizmetleri araştırmaları 1992’ de bitirilmiştir.



şekil 1.15. Çoruh Havzası üzerinde bulunan barajlar, hidroelektrik santralleri ve bunların tipleri

Çoruh havzası yıllık hidroelektrik potansiyeli yaklaşık 6,3 milyar m³ olup, ülkemizin toplam brüt potansiyelinin (186 milyar m³), %3,4’ ünü teşkil etmektedir. Söz konusu proje kapsamında, Pazaryolu yakınılarından oruh nehrinin ülkemizin topraklarını terk ettiği Gürcistan sınırına kadar, oruh nehri ana kolu üzerinde on büyük barajın yapımı planlanmıştır. Bunlar, Yukarı Çoruh Havzası’ nda; Laleli, İspir, Güllübağ, Aksu ve Arkun,

Orta Çoruh Havzası' nda; Yusufeli ve Artvin, Aşağı Çoruh Havzası' nda; Deriner, Borçka ve Muratlı Barajlarıdır (Yüksek, 2008)

İşletmedeki Muratlı ve Borçka HES' lerde üretilen elektrik enerjisi miktarı yılda 1,483 KWh kadardır. Şu anda, iki baraj santralinde, yılda üretilmekte olan elektrik enerjisi, havzanın işletilebilir yıllık 12 milyar KWh potansiyelinin (ülkenin %9,52' si) sadece %12,16' sını teşkil etmektedir (Yüksek, 2008).

Diğer bir deyişle, Türkiye' de elektrik üretiminde kullanılabilir su potansiyelimizin %35' ini kullanırken, Çoruh Havzası' nda, havzada kullanılabilir potansiyelin yaklaşık %12,36' sı kullanılabilir. Bu da göstermektedir ki, Çoruh Havzası hidroelektrik enerji üretim oranı, şu anda Türkiye hidroelektrik üretim oranının gerisinde olup, yaklaşık 1/3 ü kadardır (Yüksek, 2008).

Halen yapımı devam etmekte olan Deriner Barajı ve HES inşaatının tek başına üreteceği elektrik enerjisi 2,118 milyar KWh ile Çoruh Havzası' nda üretilen enerjinin yaklaşık %18' ini oluşturmaktadır. Ayrıca henüz inşaatına başlanmayan Yusufeli Barajı ve HES inşaatı da üreteceği 1,705 milyar KWh' lık elektrik enerjisi ile Çoruh Havzası' nda üretilen toplam 12 milyar KWh' lık elektrik enerjisinin yaklaşık %15' ini oluşturmaktadır. Bu iki büyük barajın bitirilmesi ile Çoruh Havzası' nda üretilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %45' i üretilmiş olacaktır. Bu ülkemizin ortalamasının üstünde bir değerdir (Yüksek, 2008).

Projelerden en yüksek koddan bulunan (1480 m) Laleli Barajı ile en alçak koddan yer alan (56 m) Muratlı Barajı arasında yapımı planlanan barajlarla Çoruh Havzası' nın enerji potansiyelinin tamamından yararlanılması hedeflenmiştir. Aynı şekilde Çoruh nehrinin yan kolları üzerinde de 5 baraj yapılması planlanmıştır. Bunlar, Okçular (Berta) çayı üzerinde Bağlık, Bayram barajları, Altıparmak (Barhal) Çayı' nda Altıparmak Barajı ve Oltu Çayı üzerinde Ayvalı, Olur barajlarıdır (Şekil 1.15). Ayrıca projede 20'ye yakın nehir tipi hidroelektrik santral projesi yer almaktadır. Söz konusu projeler bitirildiğinde 2,536 MW' lık kapasiteyle yılda 8,322 GWh' lık elektrik üretimi hedeflenmektedir (Yüksek, 2008).

1.6. Çalışma Alanını Genel Özellikleri

1.6.1. Coğrafik Durum

Çalışma alanı, Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nde ve 1/25000 ölçekli Tortum G47-b2 paftası içerisinde yer almaktadır. Yusufeli (Artvin) Erzurum Devlet Karayolu üzerinde ve Yusufeli-Olur (Erzurum) sınırında yer alan çalışma alanı yaklaşık 20 km²'lik bir alanı kaplamaktadır.

Çalışma konusu Ayvalı Barajı ise Yusufeli-Olur Karayonu'nun 42. km'sinde Oltu Çayı üzerinde ve Erzurum İli sınırları içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 1.16. Çalışma alanı ve çevresinin yer bulduru haritası

Yusufeli ve Olur ilçelerinin kuzey ve güney istikametinde sıra dağlar ve bu dağları kesen derin vadiler mevcuttur. Çalışma alanının kuzeyinde platolara da rastlanır. Bölgedeki en önemli dağlar, Akdağ (2342 m), Zamp Dağı (2745 m), Sarıbaba Tepesi (2605 m) ve Pancarlı Tepesi (2697 m)'dir.

Çoruh Nehri'nin bir kolu olan Oltu Çayı, Olur sınırları içerisinde doğu-batı istikametinde devam ederken tamamen Olur sınırları içerisinde kaynağını alan ve ilçenin kuzey doğu istikametinden güneye doğru yol alarak Oltu Çayı'na kavuşan Alabalık Suyu ile Kızılçay akarsuları önemli akarsularındandır.

1.6.2. Yerleşim ve Ulaşım

Çalışma alanı, Erzurum'a 160 km uzaklıkta olup, Doğu Anadolu ile Doğu Karadeniz Bölgesi arasında yer almaktadır. Doğusunda Ardahan-Göle, batısında Artvin-Yusufeli, kuzeyinde Artvin-Ardanuç, güneyinde Oltu ve Şenkaya ilçeleri ile çevrilidir. Çalışma alanının rakımı 800 metreden başlayıp 1300 metreye kadar ulaşmaktadır.

Çalışma alanına ulaşım, Artvin-Yusufeli-Oltu-Oltu-Erzurum Karayolu'ndan sağlanmaktadır.

Çalışma konusu Ayvalı Baraj yeri Yusufeli İlçesine 42 km, Olur İlçesine ise 34 km uzaklıkta bulunmaktadır.

1.6.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Bölgede, Doğu Anadolu ile Doğu Karadeniz iklimi arasında bir geçiş iklimi hüküm sürmektedir. Çalışma alanı ve çevresinin rakımı yüksek kuzey kesimlerinde iklim oldukça serttir ve kar yağışı yoğun olarak görülmektedir. Bu kesimlerde kışları 2 metreye varan kar yağışları nadiren de olsa görülür. İlçe merkezi ile güney kesimleri de gayet ılıman bir iklime sahip olup, daha ziyade Doğu Karadeniz iklimi hüküm sürmektedir. Yağışlar daha çok yağmur şeklinde olmaktadır. Çalışma alanında ortalama yıllık yağış toplamı 350,6 mm dir.

1.7. Bölgesel Jeoloji

İnceleme alanı Doğu Pontid Tektonik Ünitesinin (Ketin, 1966) kuzeydoğusunda yer alır. Bu tektonik ünite batıda Kızılırmak vadisin, doğuda Gürcistan sınırına kadar yaklaşık 500 km. uzunluğunda ve kuzeyde Karadeniz kıyısından, güneyde Kuzey Anadolu Fay Zonu'na kadar yaklaşık 50-75 km genişliğinde metalojenik bir kuşak oluşturur. Geniş anlamda ise; Alpin dağ oluşumuna bağlı olarak Jura-Pliyosen zaman aralığında gelişmiş adayı dizisinin bir parçasıdır.

Yörede Paleozoyik, Mesozoyik, Senozoyik dönemine ait toleyitik ve kalk-alkalen kayalar izlenir. Paleozoyik yaşlı kayalar; metamorfite, metagabro-metadiyabaz ve granitten oluşmuştur. Mesozoyik dönemi Liyas yaşlı volkanitlerle başlar ve Üst Jura- Alt Kretase yaşlı resifal kırıntılarıyla devam eder. Üst Kretase dönemi kuzeyde yoğun bir volkanik aktivitenin görüldüğü dönemdir. Bu aktivite asit ve bazik nitelikli periyotlarla gelişimini sürdürmüştür. Güneyde ise aynı dönemde fliş karakterinde kayalardan oluşan Mescitli formasyonu gelişmiştir. Üst Kretase sonlarına doğru son bulan volkanik aktivite Paleosen sonlarına kadar yerini türbititik çökellere bırakır. Liyas'ta başlayarak Üst Kretase sonlarına kadar periyotlar halinde gelişimini sürdüren volkanik faaliyet denizaltı volkanizması şeklinde olup, çökel ara katkılarla birlikte istiflenme gösterir. Lavlarda genellikle yastık lav yapıları izlenir. Paleosen sonlarında orojenik faaliyetle birlikte büyük ölçüde granitoid yerleşimi gelişmiştir. Tersiyer yaşlı volkanitler genelde Üst Kretase yaşlı kayalar üzerine zaman veya açıl uyumsuzlukla oturur. Bazen Üst Kretase- Paleosen dönemleri geçişli olarak izlenir. Eosen döneminde yeniden hareketlenen volkanizma, etkin bir şekilde devam eder. Denizaltı ortamında yayılma nedeniyle volkano-tortul bir istif dizisi gelişmiştir. Granitoid yerleşimi Eosen döneminde de devam etmiştir. Eosen volkanitleri üzerine Şavşat kuzey doğusunda jipsli Oligo-Miyosen yaşlı kayalar gelmektedir. Pliyosen yaşlı kayalar genelde güney zonda ve karasal volkanizma niteliğinde görülür (Güven, 1993).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Genel Jeolojik, Stratigrafik ve Petrografik Çalışmalar

2.1.1. 1/25 000 Ölçekli Jeoloji Haritanın Hazırlanması

Çalışma alanı Erzurum ili Olur ilçesi Ayvalı köyü ve çevresini kapsamaktadır. İnceleme alanı Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğusunda, 1/25000 ölçekli Tortum G47 b2 paftasında yer almaktadır.

İnşa edilecek baraj gövdesi ve çevresini kapsayan yaklaşık 20 km²'lik alanın 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ve 1/2500 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır

2.1.2. Mikroskobik Tayinler

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında yaptırılan ince kesitler, James Swift (Model MP3500MBL) marka polarize mikroskopta incelenerek kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiş ve kayaç adlamaları yapılmıştır.

Bunun yanı sıra kayaçlardaki önemli mineralojik özelliklerin gösterilmesi amacıyla mikroskobik ölçekte fotoğraflar çekilmiştir.

2.2. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları

Mühendislik jeolojisi çalışmaları iki kademe gerçekleştirilmiştir. Arazi gözlemleri ve yerinde yapılan deneyler çalışmanın ilk aşamasını oluştururken, laboratuvar deneyleri (kaya malzemesinin indeks ve dayanım özelliklerinin belirlenmesi) ikinci aşamayı oluşturmaktadır.

2.2.1. Süreksizliklerin Özelliklerinin Tayini ve Hat Etüdü Çalışmaları

Süreksizliklerin, dolayısıyla kaya kütlelerinin özellikleriyle ilgili veri toplanmasında istatistiksel anlamda en tatmin edici sonuçların alındığı yöntem, hat etüdü yöntemidir.

Jenning (1970) tarafından önerilen yöntem, daha sonra Piteau (1970) tarafından revize edilmiş, Attewell ve Denness (1969), Attewel ve Farmer (1976), Priest ve Hudson (1976) gibi araştırmacılar ile ISRM (1978) tarafından geliştirilmiştir.

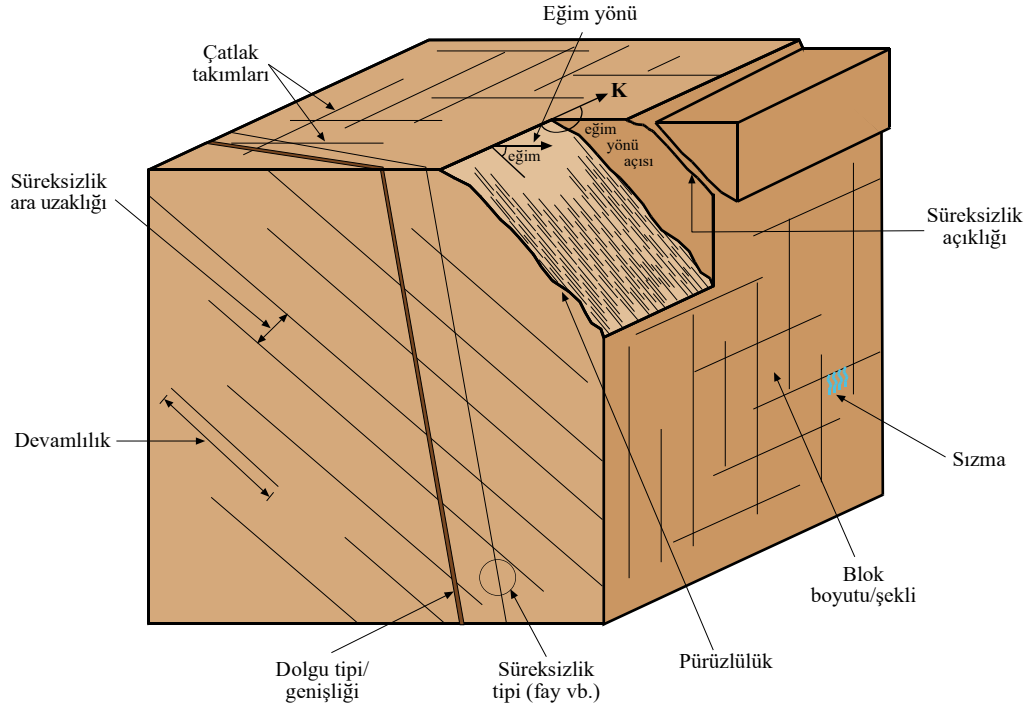
Geniş bir alanda kaya kütlelerinin incelenmesine ve süreksizliklerden doğrudan ölçüm alınmasına olanak kılan bu yöntemin ilk olarak süreksizlik ara uzaklığı ve devamlılığına bağlı olarak uygun uzunlukta mostra yüzeyleri seçilmiş, ölçümler genellikle tek hat üzerinde yapılmıştır. Mostranın seçiminde, süreksizliklerin en az % 50'sinin ucu görünecek şekilde olması ve en az 150 adet süreksizliğin ölçülebilmesi koşulu dikkate alınmıştır. Bazı durumlarda mostraların yer yer döküntüyle kapanmış olması nedeniyle daha kısa mesafeler boyunca çalışma zorunluluğu duyulmuştur. Ölçümün yapılacağı hattın üzerine şerit metre serilmiş ve hattın başlangıç ve bitiş noktaları ahşap kazıkla işaretlenmiştir. Şerit metre merkezde olmak üzere hattın 50 cm üzerinde ve altında kalan kısımlar esas alınarak süreksizlikler ölçülmüş ve tanımlanmıştır. Çalışmada her bir süreksizlik takımı için ayrı ölçümler yapılmış, farklı süreksizlik takımları için, o süreksizlik takımının doğrultusuna dik ölçüm hatları belirlenmiş ve bu hatlar boyunca süreksizliklerin özellikleri tespit edilmiştir.

Şekil 2.1 ve 2.2'de hat etüdü çalışmalarında tespit edilmesi gereken ve kaya kütlelerini karakterize eden parametreler görülmektedir.

2.2.1.1. Süreksizliklerin Yönelimi

Gül diyagramları, süreksizlik yönelimlerinin grafiksel sunumunda çok sayıda verinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan pratik bir yöntemdir. Genellikle doğrultu ve eğimler için ayrı gül diyagramları hazırlanır. Bu diyagramlarda doğrultuyla birlikte eğiminde birlikte gösterilemeyişi bir dezavantajdır.

Söz konusu eksiklik, süreksizliklere ait doğrultu ve eğimleri bir bütün olarak nitelendiren kontur diyagramlarıyla giderilmiş, bununla birlikte eğim değerleri histogramları çizilmiştir.



Şekil 2.1. Kaya kütlelerinin içerdikleri süreksizliklerin özelliklerini tanımlayan parametreleri gösteren blok diyagram (Wyllie ve Mah, 1999).



Şekil 2.2. Kaya kütlesi özelliklerini tanımlayan parametreler (Wyllie ve Mah, 1999).

2.2.1.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı

Süreksizlik ara uzaklığı veya süreksizlik aralığı kaya kütlelerinde birbirine paralel eklemlerden oluşan bir süreksizlik setindeki iki süreksizlik arasındaki dik mesafedir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Kaya kütlelerinin geçirgenliğini ve kaya kütlelerinde oluşan blokların boyutlarını denetleyen bir parametre olması nedeniyle kaya kütlelerinin en önemli özelliklerin biridir.

Süreksizlik ara uzaklığı, mostra yüzeyinde süreksizlik doğrultusuna dik yönde serilen bir şerit metre boyunca gözlenen süreksizliklerin sayılması ile belirleneceği gibi, sondaj karotlarında da tayin edilebilmektedir. Ölçüm hattı veya sondaj eksenini boyunca iki süreksizlik arasında ölçülen uzaklık görünür ara uzaklık olarak bilinir. Bir süreksizlik setindeki süreksizliklerin bir birine paralel olduğu çok ender görüldüğü için gerçek aralık parametresi ölçüm hattının yöneliminden veya ölçümün yapıldığı mostranın konumundan etkilenmektedir. Bu nedenle süreksizlik sıklığının değerlendirilmesinde görünür aralık değerinin ölçülmesi uygulamada daha yaygın şekilde tercih edilmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Bu çalışmada süreksizlik takımlarında görünür ara uzaklık değerlerinden yararlanarak gerçek ara uzaklık (iki süreksizlik arasındaki dik mesafe) değerlerini bulmak için aşağıdaki düzeltme yapılmıştır.

$$\text{Gerçek süreksizlik aralığı} = Jsi \times \sin(\delta_1) \times \sin(B_j) \quad (1)$$

Burada, Jsi : görünür ara uzaklık, δ_1 : süreksizlik doğrultusu ile ölçüm hattı arasındaki açı, B_j : süreksizliğin eğim açısıdır.

Arazide alınan ölçümler sonucunda ortalama süreksizlik aralığı (X) ve süreksizlik sıklığı (1 metredeki süreksizlik sayısı, λ) aşağıdaki ifadelerden belirlenir.

$$X = L/N \quad (2)$$

$$\lambda = N/L \quad (3)$$

Burada, L : ölçüm hattının uzunluğu, N : ölçüm hattını kesen süreksizliklerin sayısıdır. Eşitlik 2 ve 3'de verilen parametreler istatistiksel analizlerle belirlenmedikleri için ancak genel değerlendirme amaçlı kullanılırlar. Priest ve Hudson (1976) süreksizlik sıklığının daha duyarlı bir şekilde belirlenmesi amacıyla istatistiksel dağılım modellerinden

yararlanmışlar, süreksizlik ara uzaklığı parametrelerinin, istatistiksel dağılım modellerinden negatif eksponansiyel dağılıma en iyi uyduğunu belirlemişlerdir. Attewel ve Farmer (1976), Ulusay (1991), Gökçeoğlu (1997), Ulusay vd. (1998) kaya kütlelerinde yapmış oldukları değişik çalışmalarda zayıf kaya kütlelerinin içerdiği süreksizlik aralıklarının da negatif eksponansiyel dağılıma uygunluk gösterdiğini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada tüm bu parametreler dikkate alınarak kaya kütleleri için süreksizlik ara uzaklığı parametresinin tanımlanması amacıyla ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).

Aralık (mm)	Tanımlama
< 20	Çok dar ara uzaklıklı
20 – 60	Dar ara uzaklıklı
60 – 200	Yakın ara uzaklıklı
200 – 600	Orta derecede ara uzaklıklı
600 – 2000	Geniş ara uzaklıklı
2000 – 6000	Çok geniş ara uzaklıklı
> 6000	İleri derecede geniş ara uzaklıklı

2.2.1.3. Süreksizliklerin Devamlılığı

Süreksizliklerin devamlılığı, süreksizliklerin bir düzlemdeki alansal yayılımının göstergesi veya boyutları olup, duraylılığı etkileyen önemli bir parametredir. Başka bir deyişle, süreksizlik devamlılığı (K), kohezyonun olmadığı alanların toplam çatlak alanına oranı olarak tanımlanmıştır (ISRM, 1981).

Devamlılık alansal oran olarak tanımlanmasına karşın, alansal ölçümün zor olması nedeniyle genellikle mostradaki süreksizlik izinin ölçülmesiyle bulunmaktadır (ISRM, 1981). Bu durumda devamlılık, süreksizlik izi olarak ele alınmakta veya aşağıdaki formülle bulunmaktadır.

$$K = \frac{\sum J_{li}}{\sum (J_{li} + K_{kop})} \quad (4)$$

Burada, J_{li} : süreksizlik izi uzunluğu, K_{kop} : süreksizlik izi hattı üzerinde kaya köprüsü uzunluğudur.

Süreksizlik ara uzaklığı için yapılan değerlendirilmelere benzer biçimde gerçekleştirilen istatistiksel analizler, aralık parametresinin aksine, devamlılık parametresine ait verilerin tek bir dağılım modeline uymadığı görülmektedir (Ulusay, 1991; Gökçeoğlu, 1997).

Bu nedenle bu çalışmada devamlılık parametresi, ISRM (1981)'deki tanımlamalar esas alınarak doğrudan şerit metre ile mostra yüzeylerinde yapılan ölçümler ile belirlenmiştir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).

Süreksizlik izinin uzunluğu (m)	Tanımlama
< 1	Çok düşük devamlılık
1 – 3	Düşük derecede devamlılık
3 – 10	Orta derecede devamlılık
10 – 20	Yüksek devamlılık
> 20	Çok yüksek devamlılık

2.2.1.4. Süreksizliklerin Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgallığı

Pürüzlülük, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte (cm boyutunda), dalgallık ise büyük ölçekte (metre boyutunda) düzlemsellikten sapmasının bir ölçütü olarak tanımlanabilir (ISRM, 1981). Her iki özellik de süreksizlik yüzeylerine ait makaslama dayanımının önemli bir bileşeni olarak rol oynar. Ancak süreksizlik açıklığı veya dolgu malzemesinin kalınlığının artmasıyla, pürüzlülüğün süreksizlik makaslama dayanımı üzerine etkisi de azalmaktadır.

Süreksizlik pürüzlülüğünün belirlenmesine yönelik değişik yöntemler önerilmiştir (ISRM, 1981). Bunlar doğrusal profil alma yöntemi, pusula ve disk şeklindeki klinometre ile yapılan ölçümler ve mekanik profilometreler ile yapılan ölçümler şeklinde sıralanabilir. Profilometreler, arazide veya laboratuvar ölçeğinde süreksizliklerin pürüzlülük profillerinin sayısallaştırılması amacıyla kullanılan mekanik gereçlerdir (Wissbach, 1978; Swan, 1981; Aydan vd., 1995).

Standart profillerde verilen süreksizlik yüzeyi pürüzlülük sayısı (JRC) değerleri 0–20 arasında değişmektedir. Barton ve Bandis (1982 ve 1990) süreksizlik yüzeyinde alınan değişik ölçüm uzunlukları için JRC değerlerini bulmak amacıyla pürüzlülük genliği ve ölçüm uzunluğundan yararlanmışlardır.

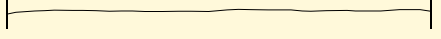
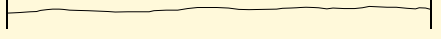
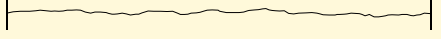
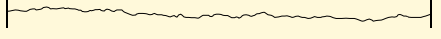
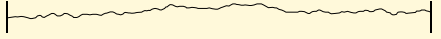
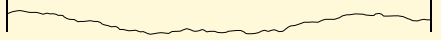
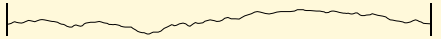

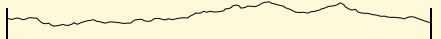
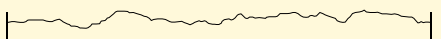
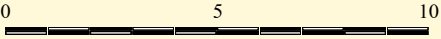
Tüm bu veriler yorumlanmış ve bu çalışmada pürüzlülük ölçümünde, Barton ve Choubey (1977) tarafından küçük ölçekli pürüzlülüğü tanımlamak için önerilen ve arazide telli profilometre ile ölçülen süreksizlik yüzeyi profillerinin, mevcut standart profillerle (Şekil 2.3) karşılaştırılması esasına dayanan bir yöntem tercih edilmiştir.

Süreksizlik yüzey profillerinin değerlendirilmesi amacıyla ayrıca büyük ölçekte dalgalılığın dalga boyu ve genlik parametreleri de ölçülmelidir. Söz konusu yöntemde, 1 metre uzunluğunda bir cetvel süreksizlik yüzeyine dayanmış ve yüzeyin cetvele olan en uzak mesafesi ölçülmüştür.

2.2.1.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği

Açıklık, bir süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik mesafe olarak tanımlanır (ISRM, 1981). Süreksizlik yüzeyleri kapalı olabileceği gibi su veya dolgu malzemesiyle doldurulmuş olabilir. Eğer süreksizlik yüzeyi temiz ve kapalı ise diğer süreksizlik parametreleri jeoteknik tanımlama için yeterli olabilmektedir. 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, 2002).

Çalışmada milimetre ölçekli şerit metrelerden yararlanarak, her süreksizlik takımı için açıklıklar ayrı ayrı ölçülmüş ve ortalama açıklık değerleri belirlenmiştir. Ortalama açıklık değerinden çok daha büyük açıklığa sahip süreksizlikler not edilmiştir. Çalışmada süreksizliklerin pürüzlülüğü ve açıklığı ISRM (1981) tarafından önerilen standart pürüzlülük profilleri (Şekil 2.3) ve süreksizlik açıklığı tanımlama ölçütleri (Tablo 2.3) kullanılarak değerlendirilmiştir.

<i>Standart Pürüzlülük Profilleri</i>	<i>JRC değerleri</i>
	0-2
	2-4
	4-6
	6-8
	8-10
	10-12
	12-14
	14-16
	16-18
	18-20
	

Şekil 2.3. Pürüzlülük profilleri ve bunlara karşılık gelen JRC (eklem pürüzlülük katsayısı) değerleri aralığı (ISRM, 1981a).

Tablo 2.3. Süreksizlik açıklığının tanımlamasına ilişkin ölçütler (ISRM, 1981).

Açıklık (mm)	Tanımlama	
< 0.1	Çok sıkı	
0.1-0.25	Sıkı	Kapalı yapılar
0.25-0.5	Kısmen açık	
0.5-2.5	Açık	
2.5-10	Orta derecede geniş	Boşluklu yapılar
> 10	Geniş	
10-100	Çok geniş	
100-1000	Aşırı geniş	Açık yapılar
> 1000	Boşluklu	

2.2.1.6. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı

Kaya kütleleri yüzeye yakın kesimlerde genellikle bozunmuş, daha derinlerde ise hidrotermal süreçlere bağlı olarak alterasyona uğramış olabilirler. Bu nedenle süreksizlik yüzeylerinin dayanımı, bu yüzeylerin ve yakın çevredeki kayaç malzemesinin bozunma derecesiyle yakından ilişkilidir (Ulusay ve Sönmez, 2002).

Süreksizlik yüzeylerinin dayanıma etkisi açısından taşıdığı önem dikkate alınarak, önce kaya kütlelerinin daha sonra kayaç malzemesinin bozunma derecesinin tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla ISRM (1981) tarafından, arazi çalışması sırasında kullanılacak bozunma sınıflaması ölçütleri önerilmiştir (Tablo 2.4 ve 2.5). Bu sınıflamalar tamamen gözleme dayalı olduklarından bazı durumlarda öznel değerlendirmelere yol açmakta, aynı süreksizlik yüzeyleri için farklı yorumlamalar yapılabilmektedir.

Bu nedenle dayanımın tahmin edilmesi amacıyla Schmidt çekici geri tepme sayısından yararlanılmaktadır. Barton ve Choubey (1977), geri tepme sertlik değeri, kayacın birim hacim ağırlığı ve süreksizlik yüzeyinin dayanımı arasında aşağıda belirtilen eşitliği önermişlerdir.

$$\text{Log } JCS = 0.00088 \gamma R + 1.01 \quad (5)$$

Burada JCS: süreksizlik yüzeyinin dayanımı (Mpa), γ : birim hacim ağırlık (kN/m^3) ve R: geri tepme sertlik değeri sayısıdır.

Grasso vd. (1992), bu deneyle ilgili bazı sınırlamaların bulunduğunu belirtmekle birlikte, ISRM (1981) tarafından bu deneyin laboratuvarında NX (54.7 mm) çaplı karotlar veya bir kenarı en az 60 mm olan küp şeklindeki örnekler üzerinde yapılması önerilmektedir. Deney standartlarının uygulanabilirliğinin zor olması bu yöntemin pratikte kullanılmasını zorlaştırmaktadır.

Singh ve Gahrooe (1989) öznel değerlendirmeleri giderebilmek amacıyla bozunma derecesini sayısal indeksle tanımlamışlar ve bozunma katsayısı veya indeksi adı verilen bir parametre ortaya atmışlardır.

$$W_c = \sigma_c / JCS \quad (6)$$

Burada, W_c : bozunma katsayısı, σ_c : taze ayrışmamış kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı ve JCS: süreksizlik yüzeyinin dayanımıdır.

Kayaç malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı doğrudan deney sonucundan elde edilirken, eklem yüzeyinin sıkışma dayanımı dolaylı olarak Schmidt çekici kullanılarak belirlenmektedir. Bu nedenle, Gökçeoğlu (1997) tarafından modifiye edilmiş ve söz konusu hata payını ortadan kaldıran yeni bir formül geliştirmiştir.

$$W_c = R_f / R_w \quad (7)$$

Burada, R_f : taze yüzeyin Schmidt geri tepme sayısı, R_w : bozunma sınıflaması yapılan süreksizlik yüzeyinin Schmidt geri tepme sayısıdır.

Bu çalışmada RMR ve M-RMR kaya kütle sınıflamaları uygulanırken, süreksizlik yüzeyi bozunma tanımlamasında Gökçeoğlu (1997) tarafından önerilen bozunma indeksine göre yapılan sınıflamadan yararlanılmıştır (Tablo 2.6).

Tablo 2.4. Kaya kütlelerinin bozuşma dereceleriyle ilgili sınıflama (ISRM, 1981).

Tanım	Tanımlama ölçütü	Bozunmanın derecesi
Bozunmamış (taze)	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	1
Az bozunmuş	Kayaç malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiştir. Kayaç taze halinden zayıf olabilir.	2
Orta derecede bozunmuş	Kayacın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrışmış ve/veya parçalanmıştır. Taze veya rengi değişmiş kaya sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	3
Tamamen bozunmuş	Kayacın tümü toprak zemine dönüşerek ayrışmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	4
Artık zemin	Kayacın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla beraber, zemin taşınmamıştır.	5

Tablo 2.5. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımı ve arazi tanımlamalarına göre sınıflaması (ISRM, 1981).

Simge	Tanım	Saha tanımlaması	Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)
R0	Aşırı derecede zayıf kayaç	Kayaçın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir.	0.25-1.0
R1	Çok zayıf kayaç	Jeolog çekiciyle sert bir darbeye ufalanan kayaç, çakı ile doğranabilir.	1.0-5.0
R2	Zayıf kayaç	Kayaç çakı ile güçlkle doğranır. Jeolog çekiciyle yapılacak sert bir darbe kayacın yüzeyinde iz bırakır.	5.0-25
R3	Orta derecede sağlam kayaç	Kayaç çakı ile doğranmaz. Kayaç, jeolog çekiciyle yapılacak tek ve sert bir darbeye kırılır.	25-50
R4	Sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekiciyle birden fazla darbenin uygulanması gerekir.	50-100
R5	Çok sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekiciyle çok sayıda darbe gerekmektedir.	100-250
R6	Aşırı derecede sağlam kayaç	Kayaç örneği jeolog çekiciyle sadece yontulabilir.	> 250

Tablo 2.6. Kaya kütlelerinin bozuşma dereceleriyle ilgili sınıflama (Gökçeoğlu, 1997).

W_c (R_f / R_w)	Sınıf	Tanım
< 1.1	1	Bozunmamış (taze)
1.1-1.5	2	Az bozunmuş
1.5-2	3	Orta derecede bozunmuş
> 2	4	Tamamen bozunmuş

Burada, R_f : taze yüzeyin Schmith çekici geri tepme sayısı, R_w : bozunma sınıflaması yapılan süreksizlik yüzeyinin Schmith çekici geri tepme sayısıdır.

2.2.1.7. Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu

Kaya kütlelerinde suyun sızması, birbiriyle bağlantılı süreksizlikler boyunca (ikincil geçirgenlik) meydana gelen akışla gerçekleşir. Sızma hızı, kabaca yerli hidrolik eğime ve yönsel geçirgenliğe bağlıdır.

Bu çalışmada, süreksizliklerdeki su durumunun sondajlar, kazı ve yarmalar ile takip edilebilmesindeki güçlükler nedeniyle, ISRM (1981) tarafından önerilen kayaç mostralarında yapılacak gözlemleri esas alan su sızıntılarıyla ilgili tanımlamalardan yararlanılmıştır (Tablo 2.7 ve 2.8).

Tablo 2.7. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).

Sızıntı sınıflaması	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış (bu durumda sürekli akışın gözleendiği süreksizlikler gözlenmelidir)
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmelidir
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözlenmektedir

Tablo 2.8. Dolgulu ve dolgusuz süreksizlikler için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).

Sızıntı sınıflaması	Tanımlama
<i>Dolgusuz süreksizliler</i>	
1	Süreksizlik yüzeyi kapalı ve kuru, su akışı gözlenmiyor
2	Süreksizlik yüzeyi kuru ve suyun aktığına ilişkin bir gösterge yok
3	Süreksizlik yüzeyi kuru, ancak suyun akmış olduğuna ilişkin izler var
4	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok
5	Süreksizlik yüzeyinde damlalar halinde sızıntı var, ancak sürekli bir akış gözlenmiyor
6	Süreksizlik yüzeyi boyunca sürekli bir su akışı var (lt/dak olarak ölçülebilir veya düşük, orta veya yüksek basınç şeklinde tanımlanabilir)
<i>Dolgulu süreksizliler</i>	
1	Dolgu malzemesi aşırı konsolide olmuş malzemeden oluşuyor ve geçirgenliğin az olması nedeniyle önemli derecede su akışı gözlenmiyor
2	Dolgu ıslak ve yer yer su damlacıkları gözleniyor
3	Dolgu malzemesi su damlacıkları ile ıslanmış
4	Dolgu malzemesinin yıkanmış ve ıslanmış olduğuna ilişkin izler ve sürekli su akışı gözleniyor
5	Dolgu malzemesi yerel olarak yıkanmış ve taşınmış, yıkama kanalları boyunca önemli miktarda su akışı var
6	Dolgu malzemesi tamamen taşınmış ve su basıncı yüksek

2.2.1.8. Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı

Blok boyutu indeksi (I_b), süreksizlik sıklığının hacimsel olarak ifadesi olup kaya kütle kalitesini gösteren en önemli göstergelerden biridir (Palström, 1996; Cai vd., 2004). Blok boyutu süreksizlik ara uzaklığı, süreksizlik yönelimi, süreksizlik takım sayısı ve süreksizlik devamlılığı gibi parametrelere bağlıdır.

Sedimanter kayaçlarda birbirine dik yönde gelişmiş iki eklem seti ve tabakalanma, kübik veya prizmatik bir blok şekli oluşturur ve blok boyutu indeksi aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir

$$I_b = \frac{(S1 + S2 + S3)}{3} \quad (8)$$

Burada, S1, S2 ve S3 her eklem seti için hesaplanmış ortalama süreksizlik ara uzaklığı değerleridir.

Palström (1982; 1985 ve 1996) ile Şen ve Essa (1992) tarafından tanımlanan hacimsel eklem sayısı (J_v), birim hacimdeki bir kaya kütleğinde gözlenen süreksizliklerin toplamıdır. Bu parametrenin tayininde rasgele gelişmiş süreksizlikler de dikkate alınabilir. Ancak tanımlanan hacimsel eklem sayısını önemli ölçüde etkilemez. Bu konuda elde edilen deneyimler, ölçüm hattı uzunluklarının 5-10 metre arasında seçilebileceğini göstermiştir (Palström, 1996).

$$J_v = \frac{N1}{L1} + \frac{N2}{L2} + \frac{N3}{L3} + \dots + \frac{Nn}{Ln} \quad (9)$$

veya

$$J_v = \sum (1/Si) + (Nr/5) \quad (10)$$

Burada, N_n : gözlenen her bir eklem seti için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizliklerin sayısı, L_n : gözlenen her bir eklem setine dik yönde seçilmiş ölçüm hattının uzunluğu, S_i : her bir süreksizlik takımı için ara uzaklık (m) ve N_r : incelenen alandaki rasgele gelişmiş süreksizlik sayısıdır.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen formüller dikkate alınarak blok boyutu indeksi ve hacimsel eklem sayısı hesaplanmış, ISRM (1981) ve Palström (1982 ve 1996) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerinden yararlanılmıştır (Tablo 2.9 ve 2.10).

Tablo 2.9. Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM, 1981).

Tanım	J_v (eklem/m ³)
Çok geniş bloklar	< 1
Geniş bloklar	1-3
Orta büyüklükteki bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	> 30

Tablo 2.10. Güncel J_v sınıflaması (Palström, 1982 ve 1996).

Sınıf No	Eklem tanımı	J_v tanımı	J_v (eklem/m ³)
1	Masif	İleri derecede düşük	< 0.3
2	Çok az eklemli	Çok düşük	0.3–1.0
3	Az eklemli	Düşük	1–3
4	Orta derecede eklemli	Orta derecede düşük	3–10
5	Çok eklemli	Yüksek	10–30
6	İleri derecede eklemli	Çok yüksek	30–100
7	Parçalanmış	Aşırı derecede yüksek	100–300

2.2.1.9. Kaya Kalite Göstergesi (RQD %)

RQD, bir sondajda herhangi bir ilerleme aralığında doğal süreksizliklerle ayrılmış, boyu 10 cm ve daha büyük olan ve silindirik şeklini koruyan karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme aralığının uzunluğuna oranının yüzde olarak ifade edildiği sayısal bir indekstir. Deere (1964) tarafından önerilen RQD, aşağıda verilen ifadeden belirlenir.

$$\% RQD = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{L} \times 100 \quad (11)$$

Burada, n: ilerleme aralığındaki karot parçalarının sayısı; l: RQD'ye dahil edilen ve boyu 10 cm ve daha büyük olan karot parçalarının boyları, L: ilerleme uzunluğudur.

Çalışmada, sondaj sırasında yapılan zorlama veya karotların karotiyerden çıkartılırken ya da sandığa yerleştirilirken kırılması sonucu oluşan ve doğal olmayan mekanik kırıklar RQD'nin tayininde dikkate alınmamıştır. Bunun yanı sıra karotun yatay eksenine dik veya dike yakın süreksizlik içeren karotlar % RQD hesaplanmasına dahil edilmiştir.

Sondaj yapılamayan alanlarda ise RQD aşağıdaki formül (Priest ve Hudson, 1976) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\% \text{ RQD} = 100 e^{(-0.1\lambda)}(0.1\lambda+1) \quad (12)$$

Burada λ : 1 m uzunluktaki ölçüm hattını kesen ortalama çatlak sayısıdır.

RQD değerlerinin değişim aralıkları esas alınarak, Deere (1964) tarafından kaya kalitesi tanımlamaları yapılmıştır (Tablo 2.11). RQD değeri, Tablo 2.11'deki değişim aralıklarına göre puanlandırılarak kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde bir girdi parametresi olarak kullanılmıştır.

Tablo 2.11. RQD sınıflaması (Deere, 1964).

RQD	Kaya kalite göstergesi
Çok zayıf	< 25
Zayıf	25-50
Orta	50-75
İyi	75-90
Çok iyi	90-100

2.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Kayaçların mühendislik amacıyla sınıflandırılması ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, kaya mekaniği biliminin ve bununla ilgili tasarım uygulamalarının ayrılmaz ve önemli bir parçasıdır. Kayaç malzemesini mühendislik sınıflaması açısından tanımlamaya yönelik özellikler, indeks özellikler olup, bunların arasında yüksek korelasyon elde edilmesi mümkündür. Doğru indeks deneylerinin seçilmesi koşuluyla, kökenine bakılmaksızın, birbirine yakın indeks değerine yakın kayaçların benzer mühendislik davranış göstermeleri beklenir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Bununla birlikte, bu tür indeks deneylerin elde edilen veriler, mühendislik tasarımlarında doğrudan kullanılmaktadır. Kayaçların tek eksenli ve üç eksenli sıkışma koşulları, çekilme ve makaslama kuvvetleri altındaki davranışları ve bunlarla ilgili parametreler ise mühendislik tasarımlarında dikkate alınan girdi parametreleri olup, bunların tasarım deneyleri olarak gruplandırılan deneylerle tayin edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, su içeriği, yoğunluk, birim hacim ağırlık, porozite tayini, ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi, nokta yükü dayanım indeksi deneyi ve Schmidth sertlik çekici deneyi ile tek eksenli sıkışma dayanımı ve sonik hız deneyi gibi tasarım deneyleri ve bu deneylerde kullanılacak karot örneklerinin hazırlanması ISRM (1981 ve 1985), ASTM (1992a ve b; 1994), CANMET (1997a ve b) ve TSE (1975, 1987 ve 1990) standartları göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Deneyler sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen ve laboratuvara getirilen blok örneklerden alınan karotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda ve DSİ XXII Bölge Müdürlüğü, Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.

2.2.2.1. Schmidt Çekici Geri Tepme Sayısı

Bu deney, Schmidt çekici kullanılarak, kayaçların Schmidt geri tepme sertliğinin tayini ve dolaylı olarak tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılır. Deney, çok zayıf ve çok sağlam kayaçlarda sağlıklı sonuçlar vermemektedir (Xu vd., 1990).

Schmidt çekiciyle okunan geri tepme sayısını etkileyen en önemli parametreler, kullanılan çekiç tipi (L ve N tipi), uygulanan ölçme ve ölçüleri değerlendirme yöntemidir. Bu çalışmada ISRM (1981) tarafından önerilen N tipi Schmidt sertlik çekici kullanılmıştır.

Uygulamada birbirinden farklı birçok ölçme ve değerlendirme yöntemi vardır (Poole ve Farmer, 1980; Haramy ve De Marco, 1985; ISRM, 1978; Göktan ve Ayday, 1993). Uygulamada en yaygın kullanılan yöntem, ISRM (1978 ve 1981) tarafından önerilen değerlendirme yöntemidir. Bu yöntemde, deney örneği veya kayaç yüzeyi üzerinde birbirinden uzaklığı en az çekicinin uç çapına eşit olan en az 10 ayrı noktada okunan geri tepme sayıları, çekicinin konumuna göre standardize edilerek en küçük 5 değer çıkarılır ve ortalama geri tepme sayısı hesaplanır. Ancak, Göktan ve Ayday (1983), bu yöntemde en yüksek % 50'lik kesimin keyfi olarak seçildiğini, böylece sertliği ölçülen yüzeyde sert kısımların, zayıf kısımlara ait veriler üzerinde belirgin duruma geldiğini vurgulamaktadır. Yazarlar, zayıf kısımların göz ardı edilmesinin kaya sınıflandırılmasında yanlış yaklaşımlara yol açabileceğini vurgulamaktadır. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla, yazarlar ölçüm dağılımını temsil edecek verilerin seçiminde Chauvenet Ölçütü'nün kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Chauvenet ölçütü t dağılımının özel bir durumudur ve bir dağılımdaki verilerden dağılımı temsil edecek verilerin seçilip ortalamaya katılması esasına dayanır. Bu çalışmada da uygulanan ölçütün uygulanış şekli aşağıda verilmiştir:

- Ölçülen tüm verilerin ortalaması ve standart sapması bulunur.
- Aşağıdaki formül yardımıyla her bir veri için ayrı ayrı standart sapma oranı hesaplanır.

$$Sso = (Ri - X) / ss \quad (13)$$

Burada, Sso: standart sapma oranı, X: ortalama geri tepme değeri, ss: standart sapma değeridir.

Standart sapma oranının mutlak değeri Tablo 2.12’da verilen değerlerden büyük olan ölçüm değerleri ortalamaya katılmaz. Geri kalan değerlerin ortalaması geri tepme sayısını vermektedir.

Bu çalışmada Schmidt sertlik değerleri bulunurken Chauvenet Ölçütü’nden yararlanılmıştır. Ölçüm yapılırken düşeyden farklı bir açıyla yapılan ölçümler, Barton ve Choubey (1977) tarafından verilen değerler yardımıyla düşey tutuş açısına göre değerlendirilmiştir (Tablo 2.13).

Tablo 2.12. Chauvenet ölçütü için örnek sayılarına (N) karşılık gelen en büyük standart sapma değerleri

Örnek Sayısı (N)	Standart Sapma	Örnek Sayısı (N)	Standart Sapma
2	1.15	12	2.04
3	1.38	15	2.13
4	1.54	20	2.24
5	1.65	25	2.33
6	1.73	30	2.40
7	1.80	35	2.45
8	1.86	50	2.58
9	1.91	100	2.81
10	1.96	250	3.09

Tablo 2.13. Schmidt çekici geri tepme sayılarının aşağıya doğru dik olarak tutulma durumuna göre düzeltme değerleri (Barton ve Choubey, 1977).

Geri Tepme Sayısı (R)	Çekiç Aşağıya Doğru		Çekiç Yukarıya Doğru		Çekiç Yatay $\alpha: 0$
	$\alpha: -90$	$\alpha: -45$	$\alpha: +90$	$\alpha: +45$	
10	0	-0.8	-	-	-3.2
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
60	0	-0.4	-4.0	-3.3	-1.7

2.2.2.2. Nokta Yükleme Deneyi

Bu deney, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta-yükü dayanım indeksinin tayini amacıyla yapılır. Nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütle sınıflama sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılır. Bununla birlikte, günümüzde nokta yükü dayanım indeksinin, tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tahmini amacıyla tercih edilmemesi yönünde bir eğilim vardır (Ulusay vd., 2001).

Bu çalışmada nokta yükleme deneyi uygulanırken ISRM (1985) tarafından önerilen standartlar uygulanmıştır. Deneyler gerek sondajlardan elde edilen gerekse araziden alınan kaya bloklarından alınan karotlar üzerinde uygulanmıştır. Deney uygulanırken karot örneklerinin uzunluklarının, çaplarına oranının 1.0–1.5 arasında olmasına dikkat edilmiştir. Çapı ve boyu kompas ile ölçülen örnekler konik uçların arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilmiş, yükleme örnekler 10-60 sn içinde kırılacak şekilde gerçekleştirilmiştir. ISRM (1985) bu deney için kaya malzemesini tanımlamak amacıyla en az 10 örneğin deneye tabi tutulmasını önermiştir. Nokta yükü dayanım indeksi sonuçları aşağıdaki formüller yardımıyla belirlenmiştir.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (14)$$

Burada, I_s : düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa), D_e : çapsal deneylerde karotun çapı (mm), P: yenilme anında manometreden okunan yüküdür (kN).

I_s değeri, çapsal deneyde D 'nin diğer deneylerde ise D_e 'nin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Bu nedenle I_s değerinin standart bir karot çapına (D : 50 mm) göre düzeltilmesi gerekmektedir (ISRM, 1981). Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır.

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (15)$$

$$F = (D_e/50)^{0.45} \quad (16)$$

Burada F , boyut düzeltme faktörüdür.

2.2.2.3. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında ve tasarımlarda yaygın biçimde kullanılan tek eksenli sıkışma dayanımının tahmini amacıyla yapılır. Ayrıca kaya kütlesinin basınç dayanımı ve kayma parametrelerinin tahmini için geliştirilen görgül yaklaşımlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenirken, ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır. Deneyde kullanılacak örnek sayısı pratik gereksinimlere bağlı olmakla birlikte, ISRM (1981) tarafından her kayaç türünden en az 5 örneğin deneye tabi tutulması önerilmektedir. Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = F/A \quad (17)$$

Burada, F : yenilme anında kaydedilen yük, A : silindirik örneğin en kesit alanıdır.

Çalışmada NX (54.7 mm) ve 50 mm çaplı karotlar üzerinde deneyler yapılmış, deney sonuçları aşağıdaki formül kullanılarak referans çapa (50 mm) göre düzeltilmiştir (Hoek ve Brown, 1980).

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{cd}}{(50/D)^{0.18}} \quad (18)$$

Burada, σ_c : 50 mm çapında bir karot için eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı, σ_{cd} : D çapında bir örneğin sıkışma dayanımı, D: örnek çapıdır.

2.2.2.4. Elastisite modülü (Young Modülü) ve Poisson Oranının Tayini

Bu deney, silindirik şekilli sağlam kayaç karot örneklerinin tek eksenli yükleme koşulunda “gerilme-birim deformasyon” eğrilerinin çizilmesi ve Young Modülü ile Poisson oranının tayini amacı ile yapılır.

Bu çalışmada, kayaçların Elastisite modülü (Young Modülü) ve Poisson Oranının tayin edilirken, ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır.

Çalışmada Nx çaplı (54.00 mm.) karatlarda deneyler yapılmıştır.

Çalışmada aksenal birim deformasyon (ϵ_a) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\epsilon_a = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (19)$$

Δl : Örneğin ekseni boyunca uzunluktaki değişim

l_0 : Deney öncesi örneğin orijinal aksenal boyu

Çapsal (çevresel) birim deformasyon (ϵ_d), örnek çapındaki değişim ölçülerek aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\epsilon_d = \frac{\Delta D}{D_0} \quad (20)$$

D: Çaptaki değişim

D_0 : Örneğin deney öncesindeki çapı

Deneyin değişik aşamalarında örneğe etkileyen sıkıştırıcı gerilmeler (σ), her okuma aralığında kaydedilen P yükü değerleri ve örneğin başlangıçtaki kesit alanı (A_0) esas alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (21)$$

Young modülü, aksenal gerilimin, gerilim değişiminin neden olduğu aksenal birim deformasyona oranı olup, aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\epsilon_{av} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (22)$$

ϵ_{av} : Ortalama Modül

σ : Eğrinin doğrusal kısmına denk gelen σ değerleri arasındaki fark

ϵ : Eğrinin doğrusal kısmına denk gelen ϵ değerleri arasındaki fark

Poisson oranı (ν) aksenal yükleme koşulunda aşağıdaki ifadelerden hesaplanmıştır.

$$\nu = \frac{-\text{Çapsal Birim Deformasyon}}{\text{Eksenal Birim Deformasyon}} \quad (23)$$

veya

$$\nu = \frac{-\epsilon d}{\epsilon a} \quad (24)$$

3. BULGULAR

3.1. Giriş

Günümüzde fosil kaynaklı enerji kaynaklarının hem tükenmekte olması ve hem de bu kaynakların ekonomik ve ekolojik olarak önemli sakıncaları taşımaları, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Ekonomik ve çevre dostu olması ve üretimde kullanılan elemanların tamamına yakınının yerli kaynaklardan sağlanılabilmesi gibi avantajları dolayısıyla, hidroelektrik enerjinin önemi her geçen gün daha da artmaktadır (Yüksek, 2008).

Bu çalışmada ise Ayvalı Barajı (Olur, Erzurum) ve Hidroelektrik Santrali'nin oturacağı kaya kütlelerinin jeolojik ve jeoteknik özellikleri belirlenmiş, arazi çalışmaları yer altı ve yerüstü çalışmaları olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

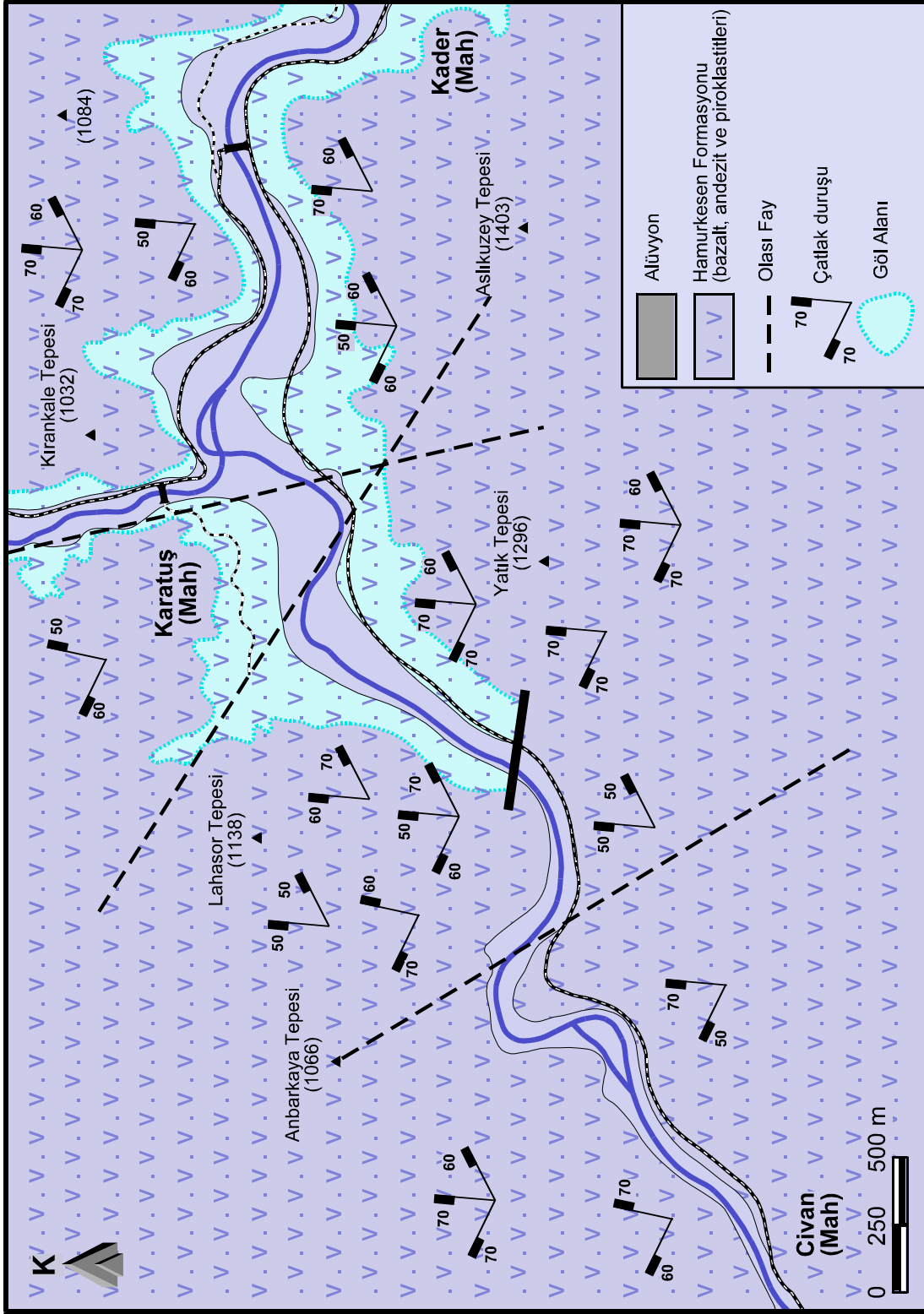
3.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi

Ayvalı Barajı inşa alanı ve çevresinde bulunan kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda inceleme alanında yaşlıdan gence doğru Liyas yaşlı Hamurkesen Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonların yüzeyleme verdiği belirlenmiştir (Şekil 3.1).

3.2.1. Hamurkesen Formasyonu

Hamurkesen Formasyonu adlandırması, ilk olarak Bayburt-Demirözü civarında izlenen Liyas yaşlı volkano-tortul karakterli birim için Ağar (1977) tarafından kullanılmıştır.

İnceleme alanında benzer litolojik özelliklere sahip olan volkano-tortul istif Hamurkesen Formasyonu ile denştirilmiş ve bu birim için aynı formasyon adı kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası

Hamurkesen Formasyonu bölgede, Yusufeli ilçesinin kuzeydoğusundaki Narlık Beldesi civarında, Aşpişen Köyü civarında ve Kılıçkaya Beldesi güney yörelerinde (Yusufeli) ve Güngörmez Dağları yörelerinde yaygın olarak izlenir.

Formasyon bazalt, andezit, spilitik bazalt, kuvarslı andezit ve piroklastitlerinin kumtaşı, kiltası, silttaşı ile birlikte araldanmasından oluşur. Birim volkano-tortul yapısı ve koyu rengi ile tipik bir görünüm sergiler (Şekil 3.2).

Bazaltlarda yastık yapılarına sıkça rastlanır. En tipik yastık bazalt yapıları Tortum Çayı ve Oltu Çayı su kavuşumu yakınlarında ve çalışma alanının da içinden geçen Yusufeli-Oltu karayolunda gözlenir.

Hamurkesen Formasyonu kuzey zon alt ünitesinde tortul içerikleri itibariyle güney zona oranla daha derin denizel bir ortamı yansıtır. Doğu Pontid kuzey zon ünitesi içerisinde yer alan bindirmeler kuzey-güney alt ünitelerini ayıran büyük bindirme hattı üzerinde birbiriyle kesişen mekik şekilli bir bindirmeler zinciri oluşturur. Mekik şekilli bindirmelerin etki alanı üzerinde yaygın olarak dinamometamorfizma etkileri görülür. Hamurkesen Formasyonu içerisindeki bazaltlar dinamometamorfizma olaylarına bağlı meta bazaltlara dönüşmüşlerdir (Güven, 1993).

Hamurkesen Formasyonunun dokanakları çoğunlukla tektonik olduğundan formasyonun gerçek kalınlığını çalışma alanı ve çevresinde saptayabilme olanağı yoktur.

Formasyonun yaşına ilişkin olarak özellikle şeyl ara seviyeleri içinde yer yer makrofosil kalıpları (Brakipodlar, bozulmuş ammonitler, hegzagonal kesitli krinoid sapları, çok küçük yaprak kalıpları) tespit edilmiş, ancak bu fosillerin bozulmuş olması ve sağlıklı sonuç vermemesi dolayısıyla kesin bir yaş verilememiştir.

Bununla birlikte, Baydar (1969) tarafından birimin yaşı Liyas olarak belirlenmiştir. Dogger yaşı veren Madenler Formasyonu ile Malm-Alt Kretase yaşı veren Berdiga Formasyonunun bu volkano-tortul birim üzerinde uyumlu olarak izlenmesi, ayrıca Bayburt civarında Ağar (1977) tarafından Liyas yaşı olarak belirlenen litolojik istif, litolojik ve stratigrafik benzerlikler dolayısıyla Güven (1993) tarafından da Liyas yaşı olarak kabul edilmiştir.

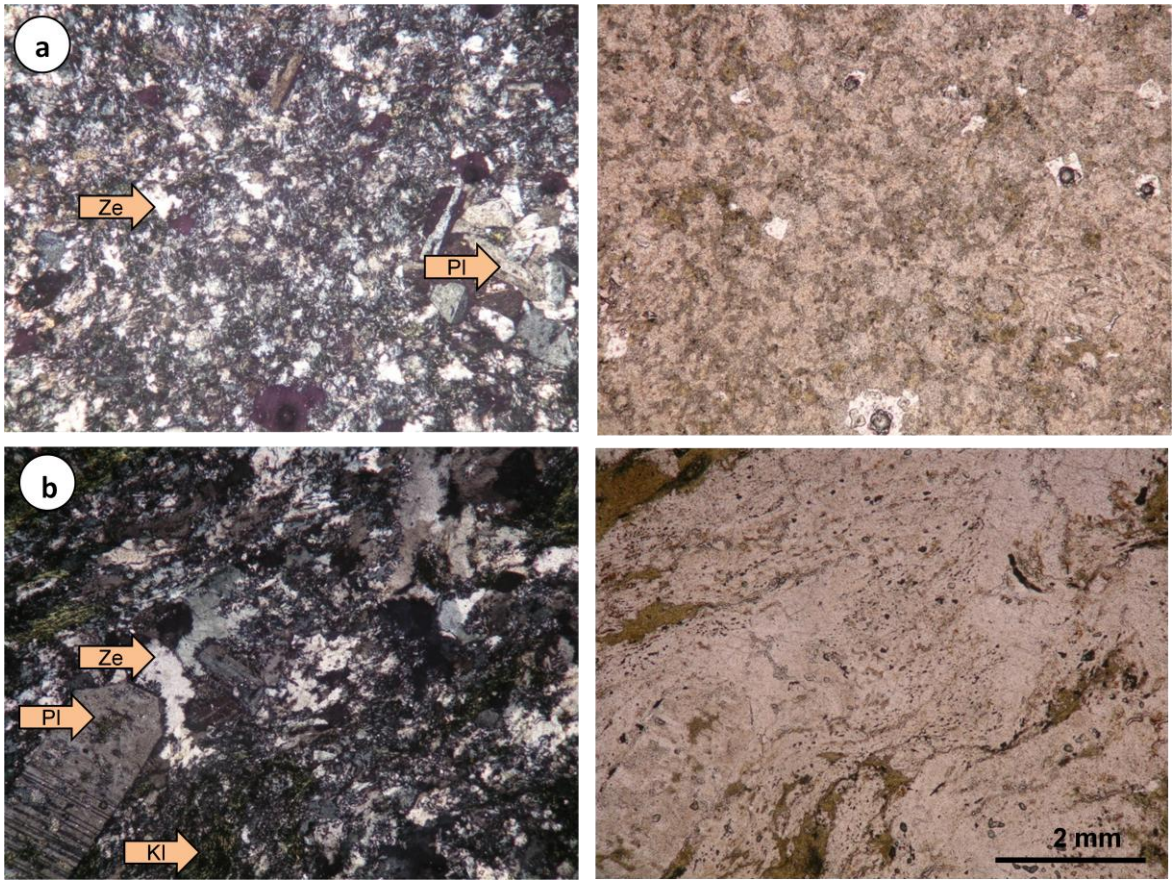


Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresinde gözlenen kuvarşlı meta andezitler (a) ve splitik bazaltlar (b)

Mikroskobik incelemelerde, Hamurkesen Formasyonu içerisinde bulunan volkanik kayaların, genelde porfirik, mikrolitik, mikrolitik porfirik dokuda olduğu görülmüştür (Şekil 3.3).

Spilitlerde bol miktarda ikincil zeolit, ikincil albit, ikincil klorit bulunmaktadır. Kayaların birincil dokusu bozulmuş olmasına rağmen mikrolitik gözenekler tamamen zeolit ve albit dolguludur.

Meta andezitler ve kuvarlı meta andezitlerde kuvars, albit, zeolit ve oligoklas parçaları hafif yönlü yapı kazanmıştır.



Şekil 3.3. Çalışma alanı ve çevresinde gözlenen kuvarslı meta andezitler (a) ve spilitik bazaltların (b) mikroskobik görüntüleri: (Pl: plajiyoklas, Ze: zeolit, Kl: klorit)

3.3. Mühendislik Jeolojisi

3.3.1. Giriş

Çalışmada baraj yeri ve çevresinin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla arazi çalışmaları yapılmış ve elde edilen veriler kullanılarak baraj yeri kaya malzemesinin indeks ve dayanım özellikleri, kaya kütlelerinin süreksizlik özellikleri, dayanım özellikleri, stabilitesi, kazılabilirliği ve taşıma gücü gibi özellikleri belirlenmiştir. Bununla birlikte baraj gölünden su kaçmasını minimuma indirmek için enjeksiyon derinlikleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Şekil 3.4'te baraj yeri ve çevresinin topografik haritası, Şekil 3.5'te ise üç boyutlu uydu görüntüsü verilmiştir.

3.3.2. Kaya Malzemesinin Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özellikleri

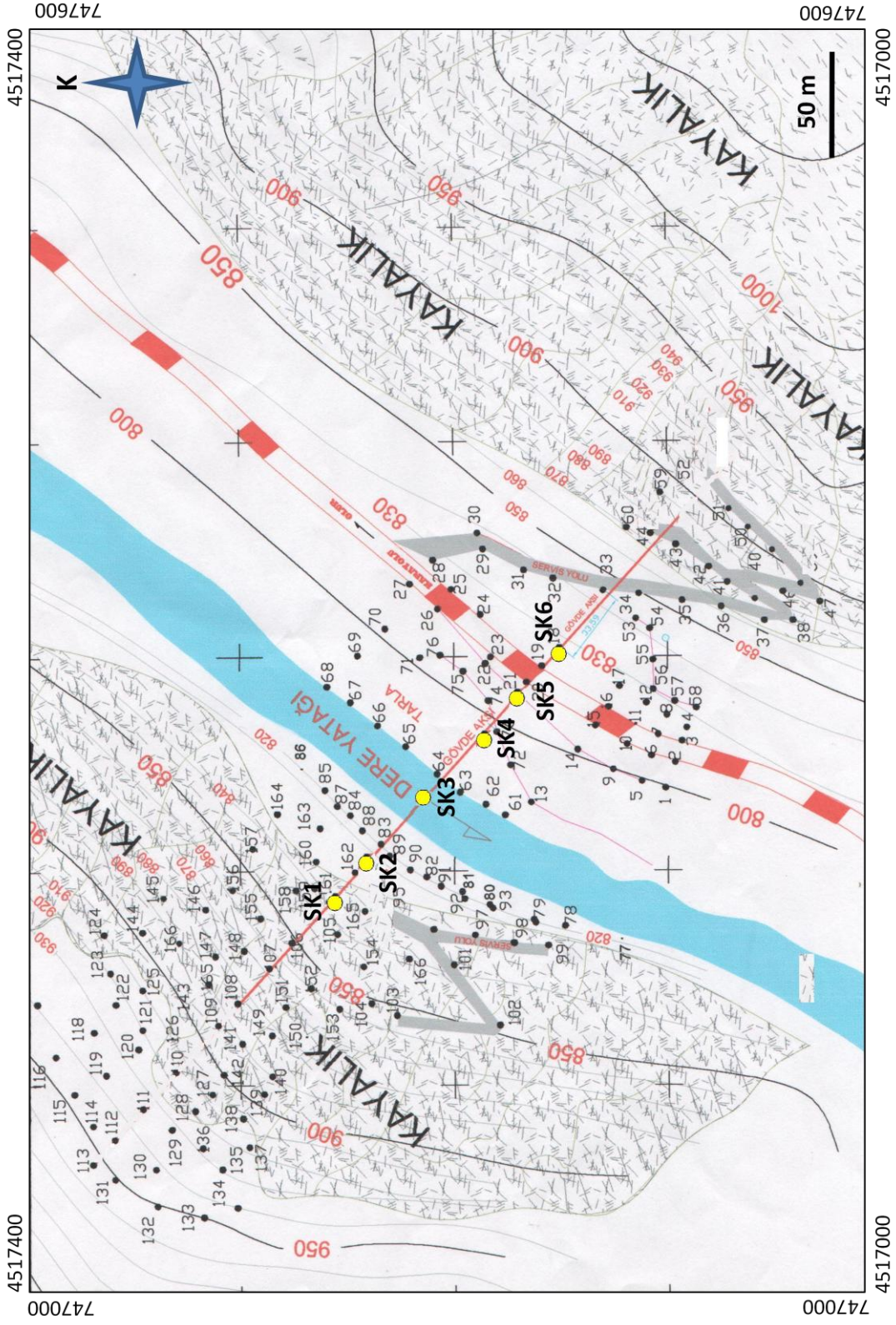
Kayacın dokusu ve tane özelliği ile ilgili olan ve kayaç malzemesini mühendislik sınıflaması açısından tanımlamaya yönelik özellikler, indeks özellikler olarak bilinmektedir. Doğru deneylerinin seçilmesi koşuluyla, kökenine ve mineralojik bileşime bakılmaksızın, birbirine yakın fiziksel özelliğe sahip kayaçların benzer mühendislik davranış göstermeleri beklenir.

Kayaç yapısı, dokusu ve bileşimi çok geniş aralıklarda değişim göstermektedir. Bu nedenle kayaçların mühendislik ve jeoteknik amaçlı sınıflandırılabilmesi ve kantitatif olarak tanımlanabilmesi için fiziksel ve dayanım özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

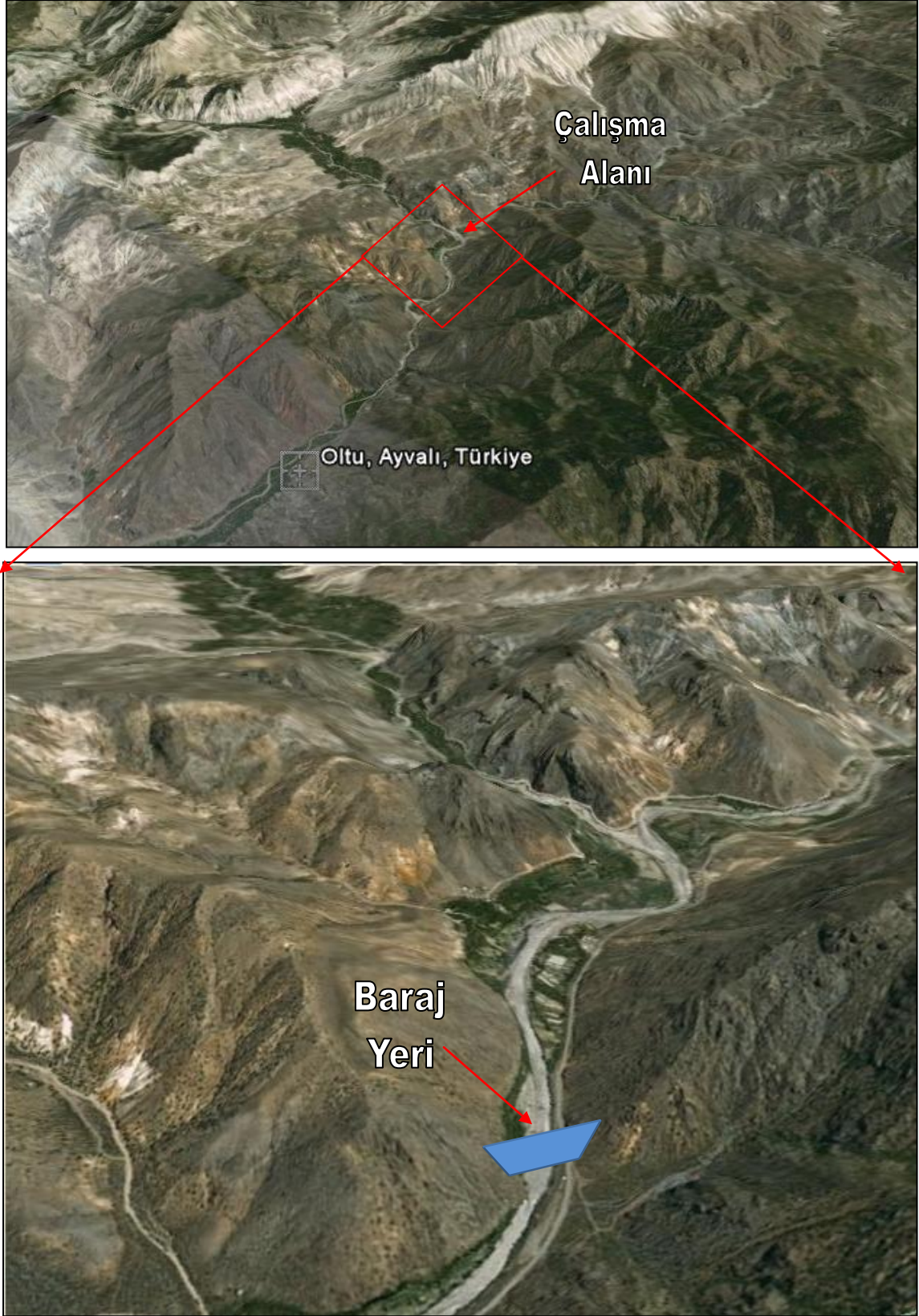
Bu çalışmada, sondajlar sırasında alınmış karot örnekleri üzerinde çalışmanın amacına yönelik olarak fiziksel ve dayanım özellikleri belirlemek için deneyler yapılmıştır. Deneylerde doğal su içeriği, birim hacim ağırlık ve ultrasonik hız gibi fiziksel özellikler ile tek eksenli sıkışma, çekme ve nokta yük dayanımlarını gibi mekanik özellikler belirlenmiştir. Bununla birlikte kayaçların poisson oranı ve elastisite modülü gibi elastik özellikler gerilme-deformasyon analizleri ile sıkışma deneyleri sırasında hesaplanmıştır.

Deneyler yapılırken ISRM (1981 ve 1985), ASTM (1992a ve b; 1994), CANMET (1997a ve b) ve RILEM (1980) önerilen standartlar kullanılmıştır.

Sonuçlar Tablo 3.1-3.5'te özetlenerek verilmiştir.



Şekil 3.4. Baraj eksenli çevresinin topografik haritası



Şekil 3.5 Baraj yerinin 3 boyutlu uydu görüntüsü

Tablo 3.1. Baraj yeri kaya malzemesinin fiziksel özellikleri

Örnek No	Derinlik (m)	Çap (mm)	Boy (mm)	Doğal Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Kuru Ağırlık (gr)	Vp (doygun) (m/s)	Vp (kuru) (m/s)	Su İçeriği (%)	BHA (gr/cm ³)
SK1	7.50 - 9.00	61,8	106,4	785,92	796,88	769,17	3325	2660	3,60	2,46
SK1	31.50 - 33.00	61,8	129,9	1045,29	1048,01	1036,16	2952	2451	1,14	2,68
SK1	39.00 - 40.00	61,8	129,1	1045,21	1047,33	1038,85	4034	3912	0,82	2,70
SK4	24.00 - 25.50	55,5	129,7	820,22	824,36	813,73	3930	3505	1,31	2,62
SK4	25.50 - 27.00	55,5	114,8	710,13	715,43	702,18	3376	2609	1,89	2,56
SK4	25.50 - 27.00	55,5	130	811,19	818,17	805,04	3333	3095	1,63	2,58
SK4	28.50 - 30.00	55,5	129,4	803,88	811,95	797,52	2696	2231	1,81	2,57
SK4	31.50 - 33.00	61,2	129,9	1045,29	821,18	805,59	3608	3093	1,94	2,74
SK4	33.00 - 34.50	55,5	129,3	796,96	805,39	788,33	3154	2487	2,16	2,55
SK4	34.50 - 36.00	55,5	130,2	803,07	813,21	795,95	3519	3100	2,17	2,55
SK4	37.50 - 39.00	55,5	129,9	812,31	820,81	806,15	3418	2824	1,82	2,59
SK3	43.00 - 44.50	47,4	103	487,08	487,66	484,3	4292	3433	0,69	2,68
SK3	43.00 - 44.50	47,4	115,4	552,04	552,44	549,37	3723	2748	0,56	2,71
SK2	28.50 - 30.00	55	130	818,87	823,85	813,65	3824	3421	1,25	2,65
SK2	30.00 - 31.50	55	129,9	787,52	797,46	781,82	3418	2598	2,00	2,55
SK2	33.00 - 34.50	55	129,9	782,26	792,29	774,12	2706	1910	2,35	2,54
SK5	29.50 - 30.00	60,8	129,8	1008,28	1016,59	1002,3	3166	2496	1,43	2,68
SK5	30.00 - 31.50	60,8	129,7	979,22	986,64	972,39	3603	3016	1,47	2,60
SK5	36.00 - 37.50	55,5	129,6	809,85	817,65	803,63	2945	2492	1,74	2,58
SK5	36.00 - 37.50	55,5	117,5	674,8	679,36	669,2	2938	2398	1,52	2,38
SK6	10.50 - 12.00	61,6	129,8	998,46	1007,4	992,3	3709	2884	1,52	2,58
SK6	18.00 - 19.50	55,5	129,7	824,98	831,68	820,71	3088	2760	1,34	2,63
SK6	18.00 - 19.50	55,5	130,2	831,31	835,64	825,99	3829	3100	1,17	2,64
SK6	19.50 - 21.00	55,5	128,4	825,55	830,72	821,16	3292	3057	1,16	2,66
SK6	19.50 - 21.00	55,5	129,7	829,46	834,56	824,04	3603	3163	1,28	2,64
SK6	27.00 - 28.50	55,5	130,2	828,68	832,44	824,44	3426	3100	0,97	2,63
SK6	27.00 - 28.50	55,5	129,6	818,43	824,51	814,27	3503	2880	1,26	2,61
SK6	28.50 - 30.00	55,5	130	829,08	833,83	824,79	3611	3023	1,10	2,64
SK6	28.50 - 30.00	55,5	130	828,67	832,76	823,6	3939	3421	1,11	2,64
SK6	28.50 - 30.00	55,5	129,5	827,23	831,75	821,5	3700	3238	1,25	2,64
SK6	36.00 - 37.50	55,5	129,4	836,38	840,17	829,83	3405	3156	1,25	2,67
SK6	37.50 - 39.00	55,5	130	842,91	848,65	838,75	3824	3421	1,18	2,68
SK6	37.50 - 39.00	56,5	130	849,67	854,29	846,26	3421	3421	0,95	2,61
Ortalama							3464	2943	1.48	2.61

Tablo 3.2. Sondaj karotlarına ait nokta yük dayanım indeksi deney sonuçları

Örnek No	Derinlik (m)	Çap (mm)	Nokta Yük Direnci (MPa)	Örnek No	Derinlik (m)	Çap (mm)	Nokta Yük Direnci (MPa)
SK1	3	61,6	2,82	SK2	33.00-34.50	55	2,65
SK1	4.50 - 7.50	61,6	2,01	SK2	39.00 - 40.50	55	4,84
SK1	9.00 - 15.00	61,6	1,48	SK5	21.00-22.50	60,8	1,21
SK1	37.50 - 39.00	61,6	3,69	SK5	24.00-29.50	60,8	2,72
SK4	25.50 - 27.00	55	3,37	SK5	30.00 - 31.50	60,8	2,55
SK4	28.50 - 30.00	55,5	4,96	SK5	31.50 - 33.00	60,8	2,58
SK4	30.00 - 31.50	55,5	6,74	SK5	36.00-37.50	55,5	2,69
SK4	31.50 - 33.00	61,2	3,57	SK6	10.50 - 12.00	61,6	5,04
SK4	34.50 - 36.00	55,4	4,57	SK6	13.50-15.00	61,6	4,70
SK3	43.00 - 44.50	47,4	7,43	SK6	18.00-19.50	61,6	2,89
SK3	44.50 - 46.00	47,4	5,27	SK6	22,5-24.00	55,5	0,41
SK2	28.50 - 30.00	55	3,92	SK6	27.00-28.50	55,5	5,38
SK2	30.00-31.50	55	5,69	SK6	28.50 - 30.00	55,5	5,17
SK2	31.50 - 33.00	55	4,34	SK6	36.00-37.50	55,5	5,79
Ortalama							3.87

Tablo 3.3. Sondaj karotlarına ait tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

Örnek No	Derinlik (m)	Çap (mm)	Boy (mm)	UCS (MPa)	Örnek No	Derinlik (m)	Çap (mm)	Boy (mm)	UCS (MPa)
SK1	3,00 - 4,50	61,8	105	31,67	SK2	33,00 - 34,50	55	129,9	35,78
SK1	4,50 - 7,50	61,8	105	39,00	SK5	21,00 - 22,50	60,8	130,5	38,23
SK1	7,50 - 9,00	61,8	106,4	16,67	SK5	29,50 - 30,00	60,8	129,8	38,23
SK1	37,50 - 39,00	61,8	104,6	43,01	SK5	30,00 - 31,50	60,8	129,7	32,38
SK4	24,00 - 25,50	55,5	129,7	50,84	SK5	31,50 - 33,00	60,8	130,4	40,64
SK4	25,50 - 27,00	55,5	114,8	48,78	SK5	36,00 - 37,50	55,5	118,6	40,10
SK4	27,00 - 28,50	55,5	130	54,15	SK5	37,50 - 39,00	55,5	117,5	37,20
SK4	30,00 - 31,50	55,5	108,5	51,67	SK6	10,50 - 12,00	61,6	129,8	35,57
SK4	31,50 - 33,00	61,2	129,9	40,45	SK6	16,50 - 18,00	55,5	129,7	43,82
SK4	34,50 - 36,00	55,5	130,2	62,00	SK6	18,00 - 19,50	55,5	130,2	40,10
SK4	36,00 - 37,50	55,5	128,8	55,80	SK6	19,50 - 21,00	55,5	128,4	32,66
SK4	37,50 - 39,00	55,5	129,9	40,92	SK6	22,50 - 24,00	55,5	129,7	38,86
SK3	43,00 - 44,50	47,4	103	32,87	SK6	25,50 - 27,00	55,5	127,8	40,92
SK3	44,50 - 46,00	47,4	115,4	28,33	SK6	27,00 - 28,50	55,5	129,6	37,20
SK2	28,50 - 30,00	55	130	17,26	SK6	28,50 - 30,00	55,5	130	35,14
SK2	30,00 - 31,50	55	129,9	41,25	SK6	36,00 - 37,50	55,5	129,4	44,64
SK2	31,50 - 33,00	55	130	35,36	SK6	37,50 - 39,00	55,5	130	32,66
Ortalama									40

Tablo 3.4. Sondaj karotlarına ait indirek çekme dayanımı deney sonuçları

Örnek No	Derinlik (m)	Boy (mm)	Çap (mm)	Çekme Direnci (MPa)	Örnek No	Derinlik (m)	Boy (mm)	Çap (mm)	Çekme Direnci (MPa)
SK1	3,00-4,50	88	61,6	9,620	SK2	33-34,5	121	55	2,293
SK1	7,50-9,00	100	61,6	3,097	SK5	21-22,5	131	80,8	1,802
SK1	9,00-15,00	110	61,6	2,815	SK5	24-29,5	119	60,8	7,823
SK1	15-22,5	108	61,6	2,389	SK5	29,5-30	120	60,8	4,358
SK4	24,00-25,50	105	55,5	11,89	SK5	30-31,5	116	60,8	5,230
SK4	28,5-30	114	55,5	6,232	SK5	39-40,5	115	55,5	7,473
SK4	30-31,5	106	55,5	4,108	SK6	10,5-12	113	61,6	11,877
SK4	31,5-33	105	55,5	3,274	SK6	13,5-15	132	61,6	6,809
SK4	34,5-36	180	55,5	4,711	SK6	18-19,5	124	61,6	5,911
SK4	37,5-39	123	55,5	10,807	SK6	18-19,6	132	61,6	5,318
SK3	39-42	129	47,4	2,288	SK6	22,5-24	115	61,6	2,513
SK3	42-43	100	47,4	4,696	SK6	27-28,5	165	55,5	6,945
SK2	28,5-30	170	55	4,761	SK6	28,5-30	159	55,5	10,234
SK2	30-31,5	186	55	3,232	SK6	36-37,5	160	55,5	6,087
Ortalama									5.63

Tablo 3.5. Sondaj karotlarına ait elastik özellikler

Örnek No	Derinlik (m)	Çap (mm)	Boy (mm)	Nmax (kn)	Gmax (n/mm ²)	G-lin (n/mm ²)	Dd (mm)	Dy (mm)	Poisson Oranı	E (GPa)
SK1	7.50 - 9.00	61,8	106,4	68,440	22,83	17,08	-0,394	0,058	0,146	43,39
SK1	39.00 - 40.00	61,8	129,1	204,90	68,34	41,72	-0,512	0,196	0,384	81,56
SK4	24.00 - 25.50	55,0	129,7	168,81	71,09	51,33	-0,573	0,161	0,281	89,56
SK4	34.50 - 36.00	55,5	130,2	230,78	95,44	62,06	-0,448	0,363	0,810	138,49
SK4	37.50 - 39.00	55,5	129,9	185,14	76,57	41,33	-0,378	0,104	0,276	109,40
SK3	43.00 - 44.50	47,4	103,0	89,74	50,88	34,26	-0,344	0,060	0,174	99,65
SK3	43.00 - 44.50	47,6	115,4	73,89	41,55	28,51	-0,333	0,044	0,131	85,70
SK2	28.50 - 30.00	55,0	130,0	105,74	44,53	17,33	-0,267	0,012	0,046	64,97
SK2	30.00 - 31.50	55,2	129,9	164,30	68,69	35,99	-0,360	0,034	0,096	100,10
SK2	33.00 - 34.50	55,0	129,9	67,38	28,37	16,08	-0,266	0,063	0,238	60,44
SK5	29.50 - 30.00	61,8	129,8	199,40	66,51	38,25	-0,396	0,047	0,119	96,60
SK5	30.00 - 31.50	61,8	129,7	159,79	53,30	32,29	-0,389	0,044	0,113	82,91
SK6	10.50 - 12.00	61,8	129,8	179,74	59,95	36,20	-0,519	0,166	0,319	69,39
SK6	18.00 - 19.50	55,9	130,2	168,88	68,85	39,49	-0,559	0,142	0,254	70,65
SK6	19.50 - 21.00	55,9	129,7	149,44	60,92	32,00	-0,447	0,002	0,005	73,80
SK6	27.00 - 28.50	55,5	130,0	152,27	62,97	37,87	-0,481	0,186	0,387	78,76
SK6	28.50 - 30.00	55,5	130,0	168,21	69,57	34,42	-0,362	0,031	0,084	95,20
SK6	36.00 - 37.50	55,2	129,4	228,72	95,62	44,75	-0,355	0,039	0,109	125,97
SK6	37.50 - 39.00	55,2	130,0	229,81	96,08	33,19	-0,532	0,093	0,175	62,38
Ortalama									0.218	85.73

3.3.3. Süreksizlik Özellikleri

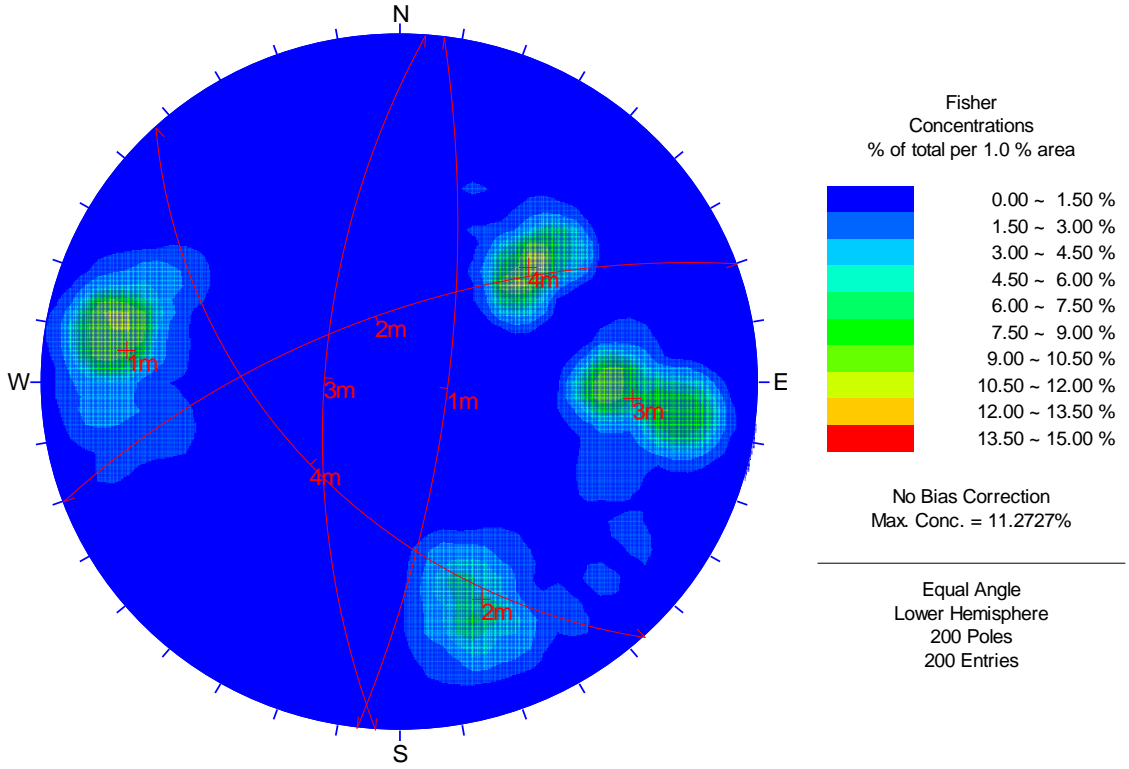
Jeoteknik uygulamalarda kaya kütlelerinin en önemli elemanları olan süreksizliklerin özelliklerinin, yönelimlerinin ve dağılımlarının belirlenmesi amacıyla çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanı kaya kütlelerinin mühendislik açısından tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında kullanılan ve istatistiksel anlamda en anlamlı sonuçların alındığı hat etüdü yöntemidir.

Bu çalışmada, uygun mostralarda seçilen hatlar boyunca yapılan ölçümlerde ISRM (1978 ve 1981) tarafından önerilen standartlara göre önünde bulundurulmuştur.

3.3.3.1. Süreksizliklerin Yönelimi ve Süreksizlik Setleri

Yüzey veya yeraltında yapılan mühendislik amaçlı çalışmalarda kaya kütlelerinin fiziko-mekanik özelliklerinden çok süreksizlik sistemlerinin özellikleri ve davranışı önem taşır. Bu nedenle, mühendislik amaçlı kaya kütle sınıflamaları, laboratuvar deneylerinden elde edilen verilerden ziyade arazideki kaya kütlelerinin davranışını kontrol eden süreksizliklerin yönelimleri ve bu süreksizliklerin özelliklerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Goodman, 1989). Bir süreksizliğin uzaysal yönelimi, yataydan ölçülen en büyük eğim açısı ve eğim yönünün gerçek kuzeyle saat ibresi dönüş yönünde yaptığı açı olarak tanımlanır. Bir mühendislik yapısına göre süreksizliklerin yönelimi, duraylılık koşullarını veya gelişen aşırı deformasyonları önemli ölçüde kontrol eder. Yönelimleri hemen hemen aynı olan benzer süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa, süreksizlik seti veya süreksizlik takımı adı verilir.

Bu çalışmada, ilk olarak ana süreksizlik setleri ve bu süreksizlik setlerinin yönelimleri belirlenmiştir. Farklı süreksizlik yüzeyleri için süreksizliklerin özellikleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmada arazi gözlemleri sonucunda 4 ayrı süreksizlik takımı belirlenmiş ve bu süreksizliklere ait çatlak kontur diyagramları ve eğim açısı histogramları hazırlanmıştır (Şekil 3.6). Şekil 3.6'da görülen histogramların yorumlanması neticesinde, çalışma alanında yüzeylenme volkanik kayalardan oluşan kaya kütlelerinin davranışını kontrol eden dört ayrı süreksizlik takımının olduğu belirlenmiştir. Bunlar çatlakların oluşturduğu K70D/67KB (340/67), K7D/75GD (97/75), K43B/52GB (227/52), K4D/66KB (274/66) duruşlu süreksizlik setleridir.



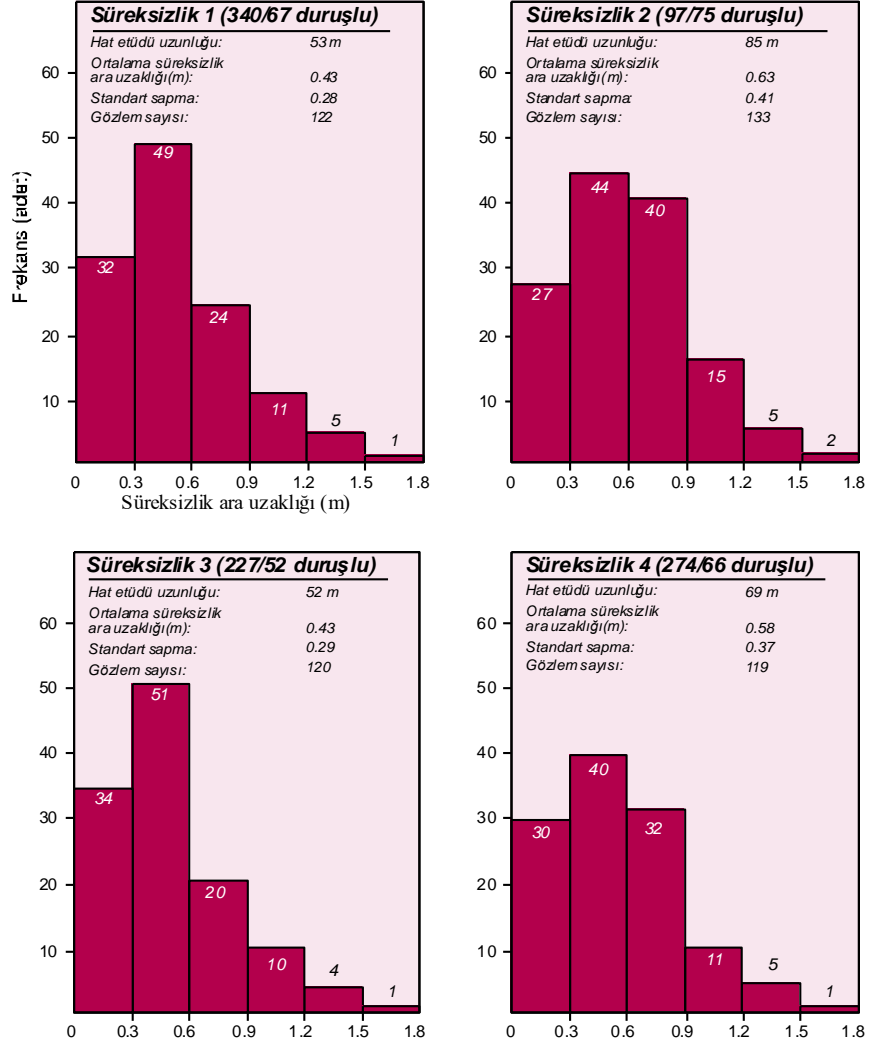
Şekil 3.6. Volkanik kayalara ait çatlak kontur diyagramı (alt yarı küre)

3.3.3.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı

Süreksizlik ara uzaklığı komşu süreksizlikler arasındaki en kısa mesafe olup, kaya kütlelerinde görülen blokların boyutunu ve meydana gelebilecek yenilmelerin türünü kontrol eden unsurdur. Bu sebepten dolayı, bu çalışmada her süreksizlik takımı için süreksizlik ara uzaklıkları ölçülmüş ve tanımlamada ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır. Süreksizlik takımlarına ait süreksizlik ara uzaklığı değerleri, dört süreksizlik takımı içinde 0.3 metre aralıklarla gruplandırılarak frekansları hesaplanmıştır.

Şekil 3.7’de istatistiksel dağılım modellerinden faydalanarak hazırlanan süreksizlik ara uzaklığı parametresine ait dağılımlar, Tablo 3.6’de ise süreksizlik takımlarına ait süreksizlik ara uzaklığı değerleri görülmektedir. Süreksizlik ara uzaklığı dağılımlarının histogramlar incelendiğinde istatistiksel dağılım modellerinden negatif eksponansiyel dağılıma uyduğu görülmektedir. Süreksizlik takımlarındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri, 340/67 duruşlu süreksizlik yüzeyleri için 0.43 m, 97/75 duruşlu süreksizlik

yüzeyleri için 0.63, 227/52 duruşlu süreksizlik yüzeyleri için 0.43 m, 274/66 duruşlu süreksizlik yüzeyleri için ise 0.58 m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.7. Farklı süreksizlikler için süreksizlik ara uzaklığı histogramları

Tablo 3.6'da görüldüğü gibi ISRM (1981) tarafından yapılan tanımlama ölçütlerine göre K7D/75GD (97/75) duruşlu süreksizlikler için süreksizlik ara uzaklığı geniş ara uzaklıklı, K70D/67KB (340/67), K43B/52GB, K4D/66KB (274/66) duruşlu süreksizlikler için de orta derecede ara uzaklıklıdır.

Tablo 3.6. Farklı süreksizlik setlerine ait süreksizlik ara uzaklıkları değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)		Süreksizlik Setleri			
		340/67	97/75	227/52	274/66
Süreksizlik ara uzaklığı (m)	Tanımlama	Süreksizlik ara uzaklığı frekans değerleri (%)			
< 0.02	Çok dar ara uzaklıklı	5	6	9	9
0.02 – 0.06	Dar ara uzaklıklı	13	11	13	13
0.06 – 0.2	Yakın ara uzaklıklı	24	21	12	17
0.2 – 0.6	Orta derecede ara uzaklıklı	39	33	51	32
0.6 – 2	Geniş ara uzaklıklı	41	62	35	49
2 – 6	Çok geniş ara uzaklıklı	-	-	-	-
> 6	İleri derecede geniş ara uzaklıklı	-	-	-	-
Ortalama süreksizlik ara uzaklığı (m)	Tanımlama ölçütleri	0.43 Orta derecede ara uzaklıklı	0.63 Geniş ara uzaklıklı	0.43 Orta derecede ara uzaklıklı	0.58 Orta derecede ara uzaklıklı

3.3.3.3. Süreksizliklerin Devamlılığı

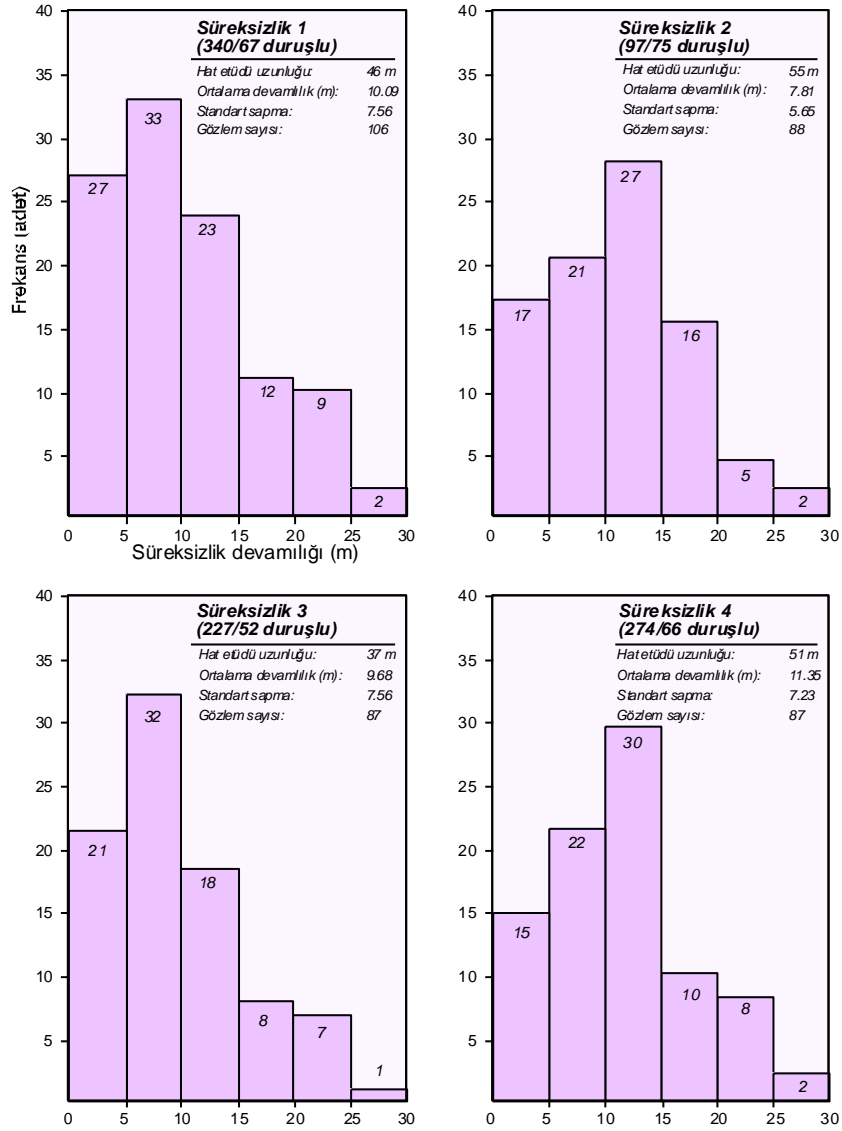
Bir düzlem içerisindeki süreksizliklerin devamlılık parametresi, mostralarda süreksizlik iz uzunluklarının gözlenmesiyle belirlenebilir ve süreksizliklerin alansal yayılımına ve boyutuna işaret eder. Çoğu zaman devamlı süreksizliklerin uzunluğuna veya alanına kıyasla küçük olan ve gerçek devamlılığın sadece tahmin edilebilir olduğu kaya mostralarında bir kaya kütlesi içinde belirli bir düzlemdeki devamlılık olasılık teorileri kullanılarak hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada devamlılık parametresi, doğrudan şerit metre ile mostra yüzeylerinde yapılan ölçümler ile ISRM (1981)'deki tanımlamalar esas alınarak belirlenmiştir. Devamlılık parametresi, her süreksizlik takımı için farklı değerlendirilmiştir (Şekil 3.8). Devamlılık parametresi ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.7'de özetlenmiştir.

Şekil 3.6'daki histogramlardan da görüldüğü gibi, süreksizlik ara uzaklığının yorumlanmasına yönelik yapılan istatistiksel değerlendirmelerin tersine, devamlılık parametresine ait verilerin tek bir dağılım modeline uymadığı ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.7. Farklı süreksizlik setlerine ait devamlılık değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)		Süreksizlik Setleri			
		340/67	97/75	227/52	274/66
Süreksizlik izinin uzunluğu (m)	Tanımlama	Süreksizlik devamlılığı frekans değerleri (%)			
< 1	Çok düşük devamlı	7	3	4	3
1 – 3	Düşük derecede devamlı	11	7	8	9
3 – 10	Orta derecede devamlı	42	27	41	28
10 – 20	Yüksek devamlı	35	43	26	40
> 20	Çok yüksek devamlı	11	7	8	10
Ortalama süreksizlik devamlılığı (m) Tanımlama ölçütleri		10.09 Yüksek devamlı	7.81 Orta derecede devamlı	9.68 Orta derecede devamlı	11.35 Yüksek devamlı



Şekil 3.8. Süreksizlik takımları için süreksizlik devamlılığı histogramları

3.3.3.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü

Pürüzlülük, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte düzlemsellikten sapmasının bir ölçüsü olarak tanımlanır (Ulusay ve Sönmez, 2002). Pürüzlülük süreksizlik yüzeylerindeki makaslama dayanımının önemli bir bileşenidir.

Pürüzlülük profillerinin çıkarılmasının amacı, kesme dayanımının ve hacimsel genişlemenin hesaplanması veya tahmin edilmesidir. Pürüzlülük profillerini yorumlama konusunda mevcut yöntemler, düzensizliklerin eğiminin ölçülmesi veya yüzeyin Eklem Pürüzlülük Katsayısının (JRC) hesaplanması şeklindedir.

Bu çalışmada pürüzlülük parametrelerinin tayininde ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemler uygulanmıştır.

Süreksizlik takımlarında gözlenen farklı süreksizlik yüzeyleri için ISRM (1981)'e göre belirlenen JRC değerleri Tablo 3.8'de verilmiştir.

Saha çalışmaları sırasında farklı süreksizlik yüzeylerinde ölçülmüş olan pürüzlülük profilleri bilgisayar ortamında sayısallaştırılarak ISRM (1981) tarafından önerilen standart pürüzlülük profilleri ile karşılaştırılmıştır.

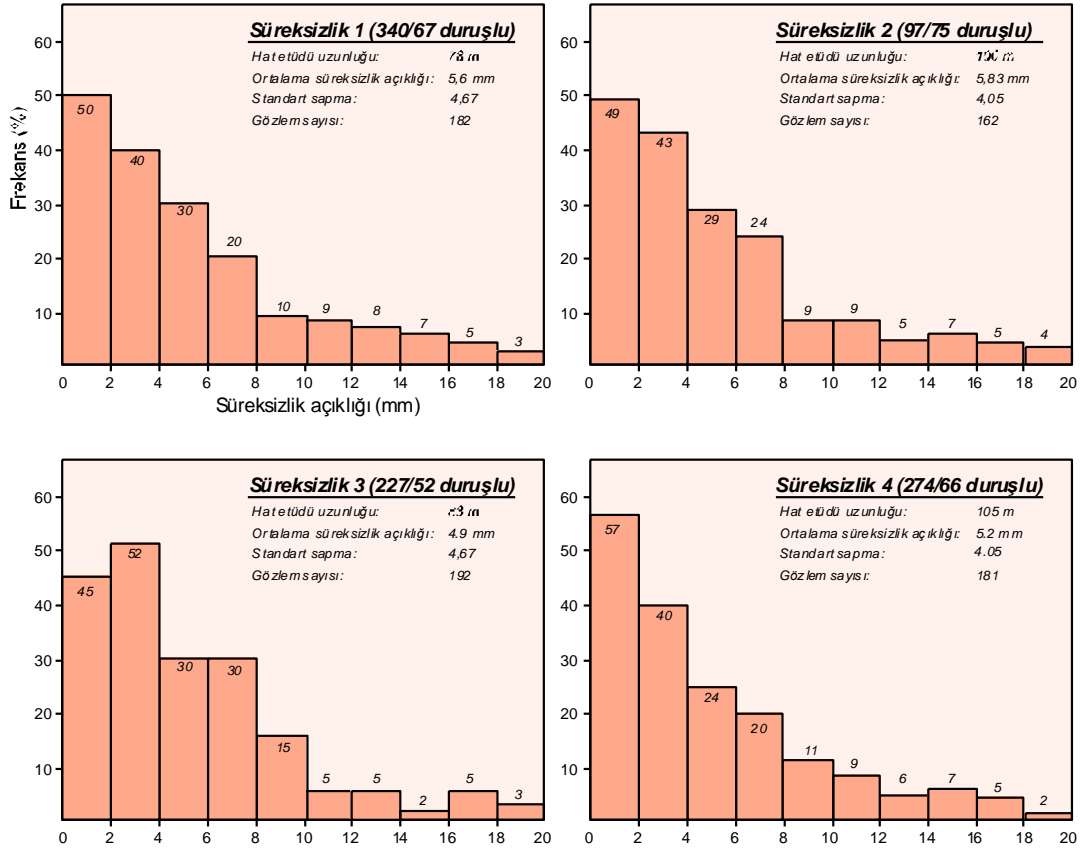
Tablo 3.8. Süreksizlik takımlarındaki farklı süreksizlik yüzeylerine ait dalgalılık ve ortalama JRC değerleri

Süreksizlik takımları	Süreksizlik doğrultu ve eğimi	Ortalama JRC değeri
S1	340/67	4 – 6
S2	97/75	4 – 6
S3	227/52	4 – 6
S4	274/66	4 – 6

3.3.3.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği

Hava, su veya ayrılmış materyalle dolu olan açık bir süreksizliğin bitişik yüzeyleri arasındaki en kısa mesafe açıklık olarak tanımlanabilir (Wyllie and Mah, 2004).

Bu çalışmada süreksizlik açıklığı değerleri mikrometre ile ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar kullanılarak süreksizlik takımları için histogramlar çizilmiştir (Şekil 3.9)



Şekil 3.9. Süreksizlik takımları için süreksizlik açıklıklarına ait histogramlar

Şekil 3.9'daki histogramlardan da görüldüğü gibi tüm süreksizlik takımları için süreksizlik açıklığı parametresi negatif eksponansiyel dağılıma uyumluluk göstermektedir. Tüm süreksizlik takımları ISRM (1981) standartlarına göre orta derecede açık süreksizlik sınıfına girmektedir. Tablo 3.9'da ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre farklı süreksizlik setlerine ait süreksizlik açıklığı değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin değerlendirilmesi görülmektedir.

3.3.3.6. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı

Bozunma suyun süreksizliklerdeki hareketinden dolayı, süreksizlik yüzeylerinde kayanın iç kısımlarına oranla daha belirgindir. Süreksizlik yüzeylerindeki kaya dayanımı kaya bloklarının iç kesimlerine oranla daha az olduğu için hem kaya malzemesi, hem de kaya kütlesi için bozunma durumunun tanımlanması gerekmektedir.

Tablo 3.9. Farklı süreksizlik setlerine ait süreksizlik açıklığı değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.

Süreksizlik açıklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)		Süreksizlik takımları			
		340/67	97/75	227/52	274/66
Süreksizlik açıklığı (mm)	Tanımlama	Süreksizlik açıklığı frekans değerleri (%)			
< 0.1	Çok sıkı	-	-	-	-
0.1 – 0.25	Sıkı	5	4	8	5
0.25 – 0.5	Kısmen açık	9	5	15	11
0.5 – 2.5	Açık	62	49	58	61
2.5 – 10	Orta derecede geniş	74	73	91	75
> 10	Geniş	32	30	20	29
Ortalama süreksizlik açıklığı (mm)		5.6	5.83	4.9	5.2
Tanımlama ölçütleri		Orta derecede geniş	Orta derecede geniş	Orta derecede geniş	Orta derecede geniş

Bu amaçla ISRM (1981) tarafından, arazi çalışması sırasında kullanılacak bozunma ve dayanım sınıflaması ölçütleri geliştirilmiştir.

Bu ölçütlerden yararlanarak arazi gözlemleri neticesinde tüm süreksizlik yüzeylerinin “az-orta bozunmuş” sınıfında olduğu belirlenmiştir. Bu sınıflamalar tamamen arazi gözlemlerine dayalı olduklarından bazı durumlarda öznel değerlendirmelerden kaynaklanan hatalar olmaktadır. Bu nedenle, çalışmada bozunma derecesi ve dayanım parametrelerinin tayini için Schmith çekici geri tepme sayısından yararlanılmıştır. Schmith sertlik değerleri bulunurken Chauvenet ölçütünden yararlanılmış, ölçüm yapılırken düşeyden farklı bir açıyla yapılan ölçümler, Barton ve Choubey (1977) tarafından verilen değerler yardımıyla düşey tutuş açısına göre düzeltilmiştir.

Arazi çalışmaları sırasında süreksizlik yüzeylerinin bozunma indeksi değerleri (W_c) Tablo 3.10’da verilmiştir. Tablo 3.9’da görüldüğü gibi tüm süreksizlik yüzeyleri “az bozunmuş” sınıfına girmektedir.

Tablo 3.10. Süreksizlik yüzeylerine ait bozunma indeksi değerleri

Süreksizlik takımları	Süreksizlik doğrultu ve eğimi	Ortalama R_f değeri	Ortalama R_w değeri	W_c (R_f / R_w)	Tanımlama (Gökçeoğlu, 1997’ye göre)
S1	340/67	54	40	1.35	Az bozunmuş
S2	97/75	54	36	1.49	Az bozunmuş
S3	227/52	54	36	1.49	Az bozunmuş
S4	274/66	54	47	1.14	Az bozunmuş

3.3.3.7. Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu

Kaya kütlelerindeki su sızması, başlıca su ileten süreksizliklerdeki ikincil hidrolik iletkenlikten ileri gelir. Sızma hızı yerel hidrolik iletkenlikle orantılı olup, yönsel iletkenlikle ilişkilidir. Kaya kütlelerinde veya yüzey mostralalarında açığa çıkan süreksizlik yüzeylerinde meydana gelen sızma ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlayıcı kriterlere göre değerlendirilebilir.

Bu çalışmada ise sondajlardan, sondaj yapılamayan alanlarda ise uygulanan hat etütlerinden yararlanılarak ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlamalar kullanılmıştır.

Arazi gözlemleri ve sondaj çalışmaları sırasında gerek kaya kütlelerinde gerek süreksizlik yüzeylerinde su sızıntılarına rastlanmamıştır. Bu yüzden hem kaya kütlesi hem de süreksizlik yüzeyleri, ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre sızıntı sınıflaması açısından “1” (kuru ve sızıntı yok) sınıfına girmektedir.

3.3.3.8. Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı

Süreksizlik aralığı, set sayısı ve yönelimi gibi faktörlere bağlı olan blok boyutu parametresi, kaya kütlelerinin davranışının önemli bir göstergesidir. Blok boyutu, arazide gözlemlenen tipik blokların ortalama boyutuyla (blok boyutu indeksi, I_b) veya birim hacimdeki bir kaya kütlelerinde gözlenen süreksizliklerin toplam sayısı (hacimsel eklem sayısı, J_w) tanımlanır. Kaya kütle kalitesini gösteren en önemli göstergelerden biri olan blok boyutu indeksi (I_b), süreksizlik sıklığının hacimsel olarak ifadesidir (Palström, 1982, 1985 ve 1996; Cai vd., 2004).

Bu çalışmada blok boyutu parametresi, ISRM (1981) ve Palström (1982 ve 1996) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre sınıflanmış ve buna göre hacimsel eklem sayısı hesaplanmıştır (Tablo 3.11).

Tablo 3.11. Blok boyutunu ifade eden hacimsel eklem sayısı değerleri ve tanımlama ölçütleri

Hacimsel eklem sayısı (J_v)	Tanımlama (ISRM, 1981)	Tanımlama (Palmstrom, 1996'ya göre)
7.899	Orta büyüklükteki bloklar	Orta derecede eklemli, J_v tanımı orta derecede düşük

3.3.3.9. Kaya Kalite Göstergesi (% RQD)

Jeoteknik loglamalarda RQD ve eklem sıklığı gibi parametreler, özellikle şeyl, marn ve kiltası gibi zayıf ve kil içeren kayalarda zaman ve su içeriği gibi faktörlerden etkilenir. Loglama işleminin karotların alınmasından uzun bir süre sonra yapılması halinde, bu tür kayalarda karotların dağılması ve diskler şeklinde bölünmesi hatalı değerlendirmelere neden olabilmektedir (Russel, 1982; Dick vd., 1994; Gökçeoğlu vd., 2000).

İnceleme alanında gerek kaya kütesinin özelliklerine, gerekse uygulanan sondaj tekniğine ve kalitesine göre karot kayıplarının artmasında kaya türünün oldukça çatlaklı olması ve bu çatlaklardaki ayrışmaların fazla olması önemli derecede rol oynamaktadır.

Bu çalışmada tüm bu hususlar dikkate alınarak RQD değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.12). Tablo 3.13’de süreksizliklerin özellikleri özet olarak sunulmuş ve bu değerler literatürdeki tanımlama ölçütlerine (ISRM, 1981; Gökçeoğlu, 1997; Palmstrom, 1996) göre değerlendirilmiştir.

Tablo 3.12. Sondaj verileri ile hesaplanan RQD değerleri

Veri kaynağı	RQD (kaya kalite göstergesi, %)			Sınıflama (Deere, 1964’e göre)
	En düşük	En yüksek	Ortalama	
Sondaj karotları	19	59	39	Kötü kaliteli

Tablo 3.13. Süreksizliklerin özellikleri ve bu değerlerin literatürdeki tanımlama ölçütlerine (ISRM, 1981; Gökçeoğlu, 1997; Palmstrom, 1996) göre değerlendirilmesi

Süreksizlik Özellikleri	340/67	97/75	227/52	274/66
1. Süreksizlik ara uzaklığı (m)	0.43	0.63	0.43	0.58
Tanımlama (ISRM, 1981)	Orta derecede ara uzaklıklı	Geniş ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı
2. Süreksizlik devamlılığı (m)	10.09	7.81	9.68	11.35
Tanımlama (ISRM, 1981)	Yüksek devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Yüksek devamlı
3. Süreksizlik pürüzlülüğü (JRC)	4 – 6	4 – 6	4 – 6	4 – 6
Tanımlama (ISRM, 1981)	Az pürüzlü	Az Pürüzlü	Az Pürüzlü	Az Pürüzlü
4. Süreksizlik açıklığı (mm)	5.6	5.83	4.9	5.2
Tanımlama (ISRM, 1981)	Orta derecede geniş	Orta derecede geniş	Orta derecede geniş	Orta derecede geniş
5. Süreksizlik yüzeylerinin dayanımı (Wc)	1.35	1.49	1.49	1.14
Tanımlama (Gökçeoğlu, 1997)	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
6. Su durumu (ISRM, 1981)	Kuru	Kuru	Kuru	Kuru
7. Hacimsel eklem sayısı	7.899			
Tanımlama (Palmstrom, 1996)	Orta derecede eklemli, J_v tanımı orta derecede düşük			

3.3.4. Kaya Kütle Dayanımı Özellikleri

Jeoteknik uygulamalarda ölçek büyüdükçe sağlam kayaç malzemesinden eklemli kayaç kütesine geçiş söz konusu olduğu için çatlaklı kaya kütlelerinin dayanımını belirlemek amacıyla Hoek ve Brown (1980a ve b) tarafından ampirik bir yöntem geliştirilmiştir.

Hoek ve Brown, bu yenilme kriterini sağlam kayadaki yer altı açıklıklarının tasarımı için gerekli analizlerde kullanılmak üzere girdi verilerini sağlamak amacıyla ortaya atmışlardır. Kriterde kırıksız kaya malzemesinin özelliklerinden başlayarak, kaya kütesindeki süreksizliklerin özelliklerine dayalı olarak çeşitli faktörler önermişlerdir. Yazarlar, ampirik kriteri jeolojik gözlemlerle bağdaştırmayı denemişler ve bu amaç için Bieniawski (1976) tarafından geliştirilen Kaya Kütle Puanlamasını (RMR) seçmişlerdir.

Kriter kısa zamanda kaya mekaniği çalışmalarında benimsenmiş ve kriterin kullanımı, dayanım azaltma ilişkilerini elde etmede kullanılan orijinal sınırların dışına taşmıştır. Bu nedenle bu ilişkileri tekrar inceleme gereği ortaya çıkmış, kriterin uygulandığı pratik problemlerin geniş aralığı düşünülerek, kritere zamanla yeni elemanlar eklenmiştir (Hoek vd., 2002). Özellikle çok zayıf kayalar olmak üzere, Bieniawski'nin önerdiği RMR'nin artık yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu durum Jeolojik Dayanım İndeksi'nin (GSI) ortaya çıkmasına yol açmıştır (Hoek vd., 1992; Hoek, 1994, Hoek vd., 1995). Bu indeks daha sonra yapılan bir dizi çalışmada (Hoek vd., 1998; Sönmez ve Ulusay, 1999; Hoek, 2000 ve 2001; Hoek vd., 1998) zayıf kaya kütlelerine uygulanmak üzere değiştirilmiştir.

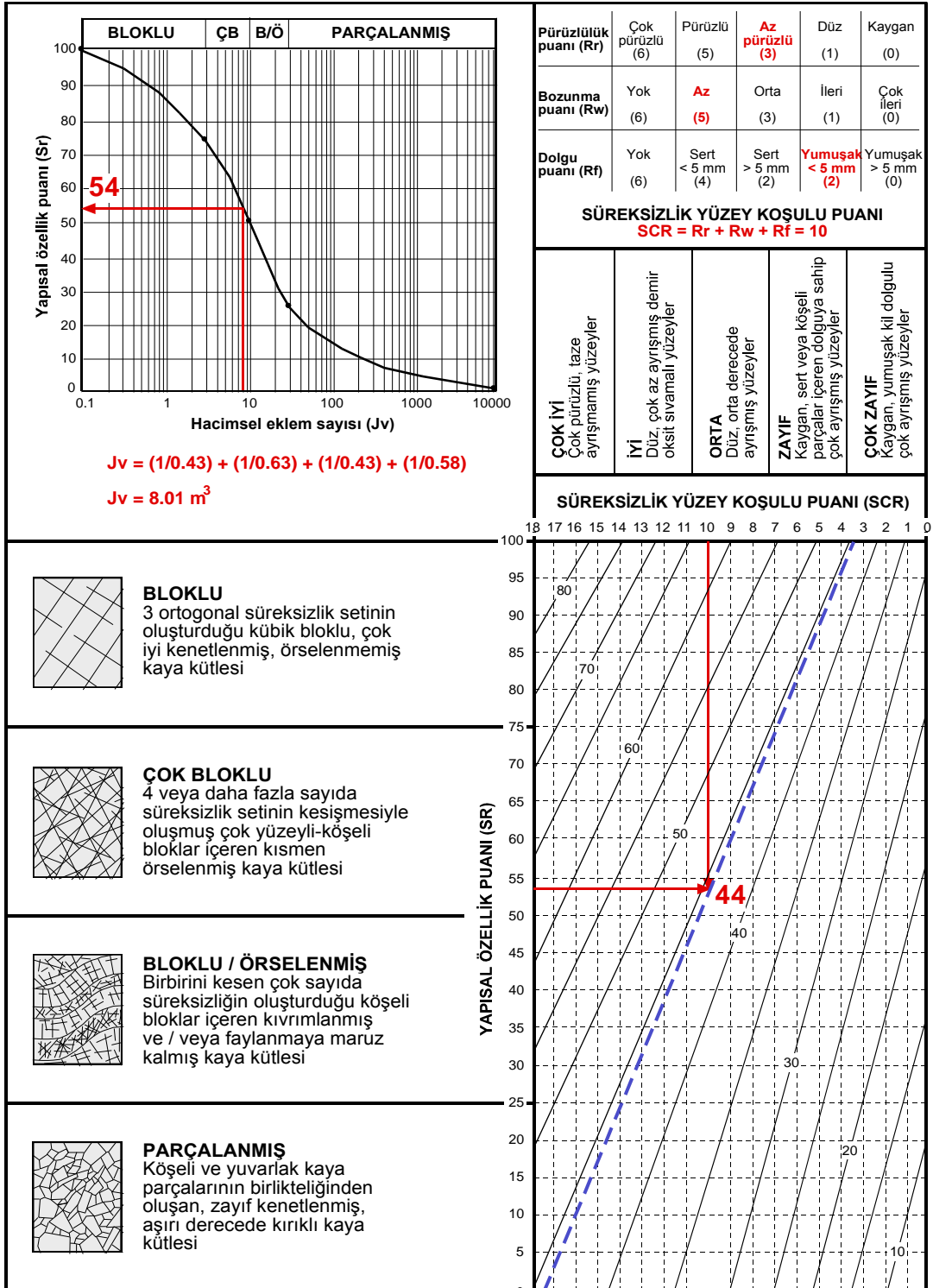
Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından verilen bir yaklaşımla, ISRM (1981) tarafından önerilen aralıklara uygun olarak tanımlanan hacimsel eklem sayısı (J_v) değerleri kullanılarak belirlenen Yapısal Özellik Puanı'nı GSI sistemine uyarlanmıştır.

Bu çalışmada Ayvalı baraj yeri kaya kütlelerine ait GSI puanı Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından verilen bir yaklaşıma göre belirlenmiştir (Şekil 3.10).

En büyük ve en küçük asal gerilmeler cinsinden ifade edilen genelleştirilmiş Hoek-Brown dayanım kriteri Eşitlik 3.1'de verilmiştir (Hoek, 1994).

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left[m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right]^a \quad (3.1)$$

Burada m_b : kırıklızsız kaya için malzeme sabiti olan m_i 'nin aşağıdaki gibi ifade edilen azaltılmış değeridir.



Şekil 3.10. Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi ve Ayvalı Barajı temelindeki kaya kütlelerine GSI puanının hesaplanması

$$m_b = m_i \exp \left[\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right] \quad (3.2)$$

Hoek-Brown eşitliğinde kaya kütlesi için s ve a sabitleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

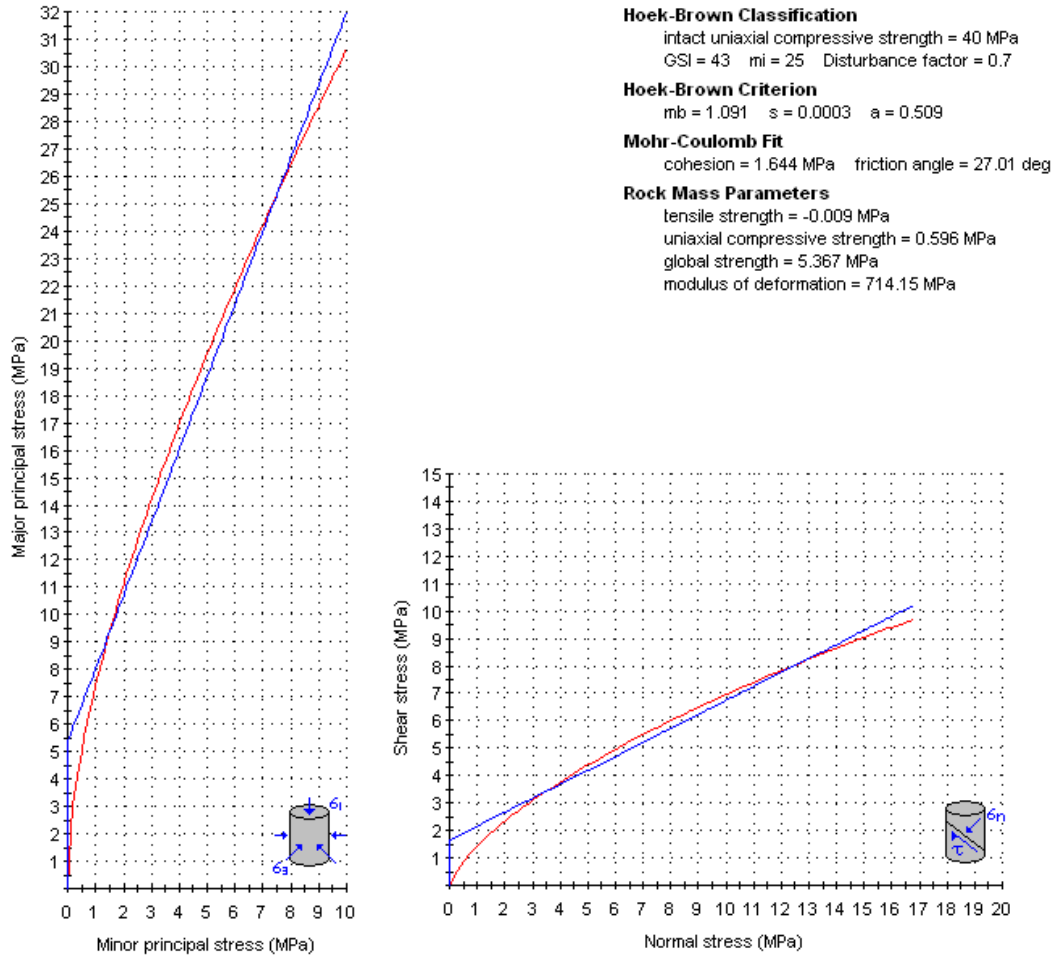
$$s = \exp \left[\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right] \quad (3.3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right] \quad (3.4)$$

Buradaki D, kaya kütesinin patlatma hasarı ve gerilme rahatlaması sonucunda maruz kaldığı örselenme derecesine bağlı bir faktördür. Örselenmemiş kaya kütleleri için 0'dan başlayarak, çok örselenmiş kayalarda 1'e kadar çıkabilir. Bu çalışmada ise, Ayvalı Barajı temelindeki kaya kütlelerinin dayanım parametrelerini, elastisite modülünü ve taşıma gücünü belirlemek için Hoek-Brown dayanım kriterinden yararlanılmıştır (Şekil 3.11).

Yenilme kriterinin uygulanması sırasında kullanılan veriler ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kaya malzemesinin tek eksenli basınç direnci	: 40 MPa
Jeolojik dayanım indeksi (GSI)	: 43
Örselenme faktörü (D)	: 0.7
Malzeme sabit (m_i)	: 25
s (kaya kütesine ait sabit)	: 0.0003
m (kaya kütesine ait sabit)	: 1.091
a (kaya kütesine ait sabit)	: 0.509
Kohezyon (c)	: 1.644 MPa
İçsel sürtünme açısı	: 27 derece
Kaya kütesine ait sıkışma dayanımı	: 0.596 MPa
Kaya kütesine ait çekme dayanımı	: 0.009 MPa
Kaya kütesine ait deformasyon modülü	: 714.15 MPa



Şekil 3.11. Kayaçlar üzerinde yapılan deneyler ve arazi gözlemleri sonucunda elde edilen verilere göre çizilmiş en büyük asal gerilme-en küçük asal gerilme (σ_1 - σ_3) grafiği

3.3.5. Ayvalı Baraj Yerindeki Kaya Kütlelerinin Sınıflaması

Kaya kütlelerinde yapılan jeoteknik esaslı çalışmalarda uygulanan tasarım yöntemleri genel anlamda, analitik-sayısal, gözleme dayalı ve görgül (ampirik) olmak üzere üç ana başlıkta toplanabilir. Kaya mekaniği uygulamalarında kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli sınıflandırma sistemlerine gereksinim duyulmuştur. Mühendislik jeolojisi çalışmalarında tasarımın ayrılmaz bir parçası olan bu sistemler, uzun yıllar süren gözlemlere bağlı olarak geliştirilen ve istatistiksel değerlendirmeler esas alınarak önerilmiş yöntemlerdir. Görgül bir kaya kütle sınıflama sistemi olan Jeomekanik Sınıflama Sistemi (RMR), ilk kez 1972-1973 yılları arasında yapılan çalışmalar sonucunda Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonraki

yıllarda yöntem, eldeki bir çok mevcut durum ve karşılaşılan mühendislik probleminin amacına yönelik olarak modifiye edilmiş (Laubscher, 1977 ve 1984; Weaver, 1975; Olivier, 1979, Ghose ve raju, 1981; Nakao vd., 1983; Kendorski vd., 1983; Ünal, 1983; Serafim ve Pereira, 1983; Gonzalez, 1983; Romana,1985) ve son halini 1989 yılında yapılan değişikliklerle almıştır (Bieniawski, 1989). RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır:

- Kayacın nokta yük dayanım indeksi veya tek eksenli basınç dayanımı,
- kaya kalitesi göstergesi (RQD),
- süreksizlik ara uzaklığı,
- süreksizliklerin durumu (Devamlılık, açıklık, pürüzlülük, dolgu ve bozunma),
- yeraltısuyu durumu.

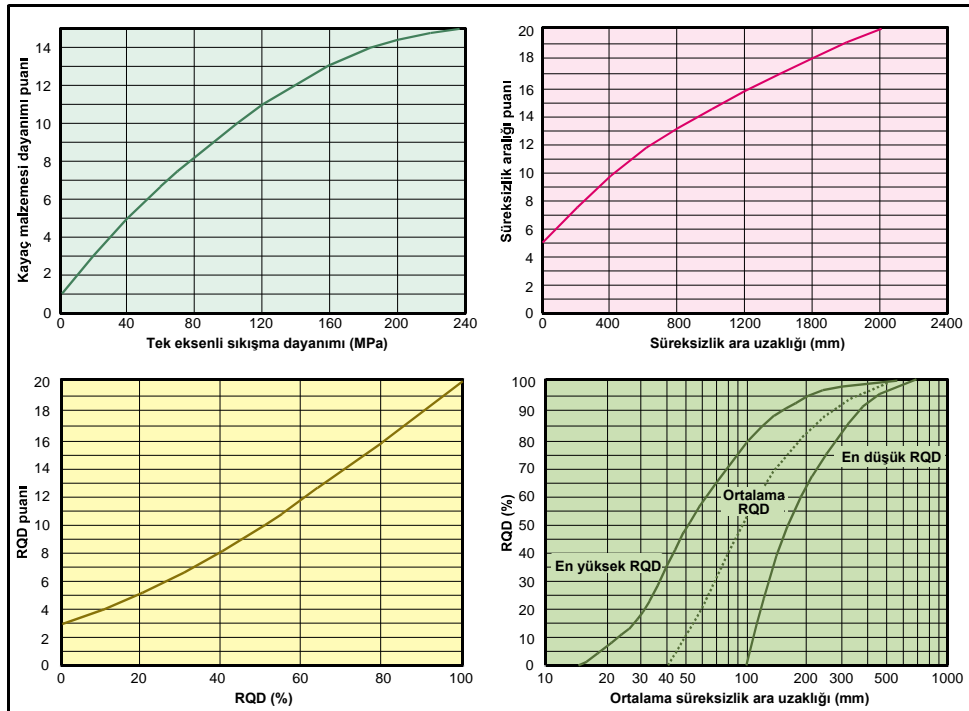
Sistemde bu parametrelerle beraber parametrelere ait puan değerleri yer almakta, hat etüdlerinden ve bir dizi laboratuvar deneyinden elde edilen sonuçlara göre parametrelere verilen puanların toplamı kullanılarak kaya kütleleri sınıflandırılmaktadır. Tablo 3.14'te RMR kaya sınıflama sisteminin 1989'daki son versiyonu ve bu sisteme göre verilen puanlar görülmektedir.

Tablo 3.14. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminin son versiyonu (Bieniawski, 1989).

1	Kayaç Malzemesinin Dayanımı (MPa)	Nokta yükü dayanım indeksi	> 10	4 – 10	2 – 4	1 – 2	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli sıkışma dayanımı	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	<1
	Puan	15	12	7	4	2	1	0	
2	Kayaç 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		
5	Yeraltısuyu (lt/dak)	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			

RMR sınıflama sisteminin 1989'daki son versiyonuna kadar, sistemin ilk üç parametresi olan dayanım, RQD ve süreksizlik aralığı için yapılan değerlendirilmelerde belli aralıklardaki parametrelere ilişkin puanlar, aralıkların sınır değerlerini de kapsamaktaydı. Tablo 3.14'te görüldüğü gibi ilk üç parametreye ait sınıf değerleri ve bunlara ait puanlar belirli aralıklar arasında kalmakta, uygulamada ise bu durum çeşitli hatalara neden olmaktaydı. Bu nedenle bu üç parametre için daha hassas bir puanlamanın yapılabilmesi için Bieniawski (1989), ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri esas alarak, çeşitli grafikler geliştirmiştir (Şekil 3.12). Şekil 3.10'da tek eksenli sıkışma dayanımı, RQD ve süreksizlik aralığı değerlerine karşılık gelen ve daha hassas puanlamaya olanak kılan grafikler görülmektedir.

Mühendislik jeolojisi çalışmalarında, süreksizliklerin konumu önemli bir parametre olduğu için RMR sınıflama sisteminde süreksizlik sisteminin konumu göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle mühendislik yapısı ve süreksizlik konumu arasındaki ilişkiye göre Bieniawski (1979 ve 1989) tarafından süreksizlik yönelimi düzeltilmesi ortaya atılmıştır. Tablo 3.15'de ise temel ve nihai RMR görülmektedir.



Şekil 3.12. RMR sisteminin son versiyonunda tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanları tanımlama grafikleri (Bieniawski, 1989).

Tablo 3.15. Çalışma alanı kaya kütlelerine ait temel RMR puanı

RMR Sınıflama Parametreleri			Puanlar
1	Kayaç Malzemesinin Dayanımı (MPa)	Nokta yükü dayanım indeksi	-
		Tek eksenli sıkışma dayanımı	40
	Puan		5
2	Kayaç Kalite Göstergesi, RQD (%)		39
	Puan		7.8
3	Süreksizlik Ara Uzaklığı (cm)		43
	Puan		4.6
4	Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	11.35
		Puan	1
		Açıklık (mm)	1.8
		Puan	0
		Pürüzlülük	Az pürüzlü
		Puan	3
		Dolgu	< 5 mm (yumuşak)
		Puan	2
		Bozunma	Az bozuşmuş
Puan	5		
5	Yeraltısuyu (lt/dak)	10 m'lik kısımdan gelen su	Yok
		Genel koşullar	Kuru
	Puan		15
TEMEL RMR PUANI			43.4
TANIMLAMA (Bieniawski, 1989)			Orta Kaya

3.3.6. Baraj Yeri Kaya Kütlelerinin Taşıma Gücü

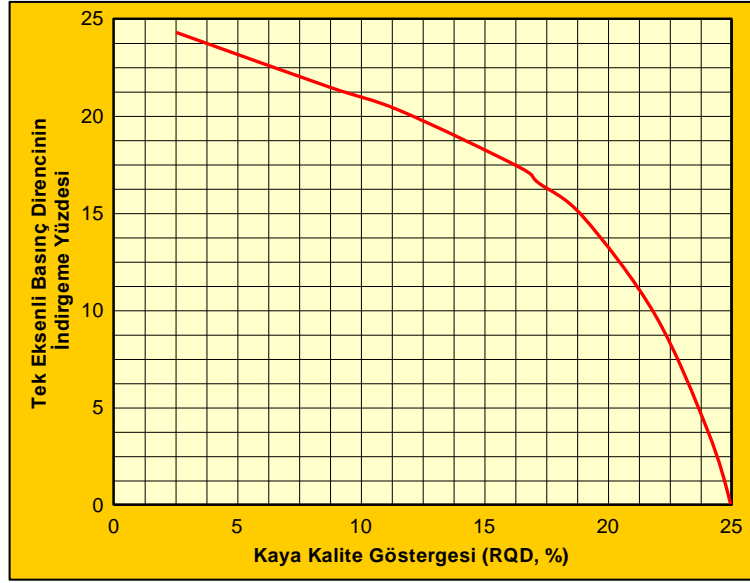
Taşıma gücü parametresi iki şekilde tanımlanır. Emniyetli net taşıma gücü kayacın yenilmeden taşıyabileceği en büyük taşıma basıncı, izin verilebilir taşıma gücü ise seçilmiş bir güvenlik katsayısı değerine bölünerek belirlenmiş ve tasarım açısından dikkate alınan taşıma gücü olarak ifade edilir.

Jeoteknik çalışmalarda temel kayacın taşıma gücünün belirlenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunların içinde basit ve pratik olması nedeniyle en çok kullanılan yöntemlerin başında RQD ve kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımının kullanıldığı taşıma gücü eşitliğidir (Peak ve diğ., 1974).

$$q_u = \sigma_c - (\sigma_c \times DF) \quad (3.5)$$

Burada; σ_c , kaya malzemesinin tek eksenli basınç direnci ve DF, kaya kütlelerinin RQD değerine göre belirlenen indirgeme yüzdesidir.

İndirgeme yüzdesi Şekil 3.13'den belirlenmektedir (Peak ve diğ., 1974).



Şekil 3.13. RQD değerine bağlı indirgeme yüzdesi

Bieniawski'nin (1989) geliştirdiği sınıflama sisteminden hesaplanan RMR puanı kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülünün tahmininde kullanılacağı gibi, izin verilebilir taşıma gücünün belirlenmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Bu amaçla Mehrotra (1992) tarafından önerilen kılavuz Tablo 3.16'da verilmiştir. Çalışmada taşıma gücünü hesaplamak için Tablo 3.16'daki veriler kullanılmış, aralıklar arasında bulunan değerler iterasyon yardımıyla hesaplanmıştır.

Tablo 3.16. Kaya kütleleri için RMR puanına göre net taşıma gücü (q_a) (Mehrotra, 1992).

Kaya kütle sınıf numarası	I	II	III	IV	V
Kaya kütlelerinin tanımı	Çok iyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
RMR	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 20
İzin verilebilir taşıma gücü q_a (ton/m ²)	600 – 440	440 – 280	280 – 135	135 – 45	45 – 30

Baraj alanındaki kaya kütlelerinin taşıma gücünü belirlemek amacıyla Hoek-Brown Yenilme Kriterinden de (Hoek ve Brown, 1980a ve b) yararlanılmış, kaya ortamının nihai taşıma gücü, Wyllie vd. (1992) tarafından önerilen eşitlik yardımıyla belirlenmiştir.

$$q_u = \sigma_{ci} \times [s^{0.5} + (m \times s^{0.5} + s)^a] \quad (3.6)$$

Burada, q_u : sınır taşıma gücü (kg/cm^2), s , m ve a ; kaya kütlelerine ait sabitler (Hoek-Brown Yenilme Kriterinden elde edilen veriler) ve σ_{ci} ise kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımıdır (kg/cm^2).

Çalışma sonucu farklı yöntemlerle belirlenmiş taşıma gücü değerleri Tablo 3.17'de verilmiştir.

Tablo 3.17. Farklı yöntemlerle belirlenmiş taşıma gücü değerleri

Yöntemler	Sınır taşıma gücü (kg/cm^2)
RMR Kaya Kütle Sınıflaması	15
Hoek-Brown Yenilme Kriteri	60
RQD ve tek eksenli sıkışma dayanımı	6 - 22

Sınır taşıma gücü bulunmasında, RMR kaya kütle sınıflaması terk edilmiş olduğundan, RQD ve tek eksenli sıkışma dayanımı veri yetersizliğinde kullanıldığından, Hoek-Brown Yenilme Kriteri esas alınarak bulunan taşıma gücü en geçerli sonucu vermektedir.

3.3.7. Ayvalı Barajı Çevresi Kaya Kütlelerinin Kazılabilirliği

Baraj çalışmalarında önerilen baraj yerindeki abatmanların sağlam olması amacıyla zayıf dayanımlı kaya kütlelerinde kazı çalışmalarının yapılması kaçınılmazdır. Jeoteknik çalışmalarda, kazılacak kayaçların türü ve mühendislik özelliklerinin yanında kazılabilirlik derecelerinin de bilinmesi gerekmektedir. Kazı ortamının jeoteknik özelliklerinin iyi bir şekilde değerlendirilmesi ve buna uygun kazı makinelerinin seçimi, kazı sırasında karşılaşılabilecek problemleri ve buna bağlı olarak maliyeti en aza indirecektir. Bu nedenle bu çalışmada baraj alanındaki kayaçların kazılabilirlik dereceleri jeomekanik parametrelerle değerlendirilmiştir.

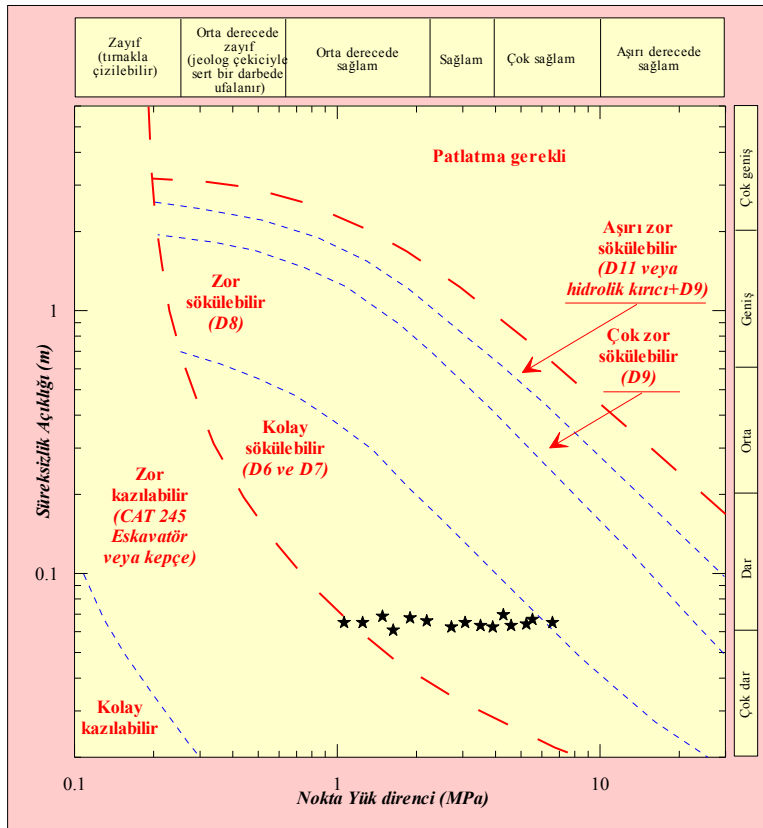
Kaya kütlelerinin kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan ilk kazılabilirlik indeksi, kaya kütle sınıflamaları kullanılarak geliştirilmiş, bununla ilişkili olarak kazılabilirlik durumunu belirleyebilmek için bir kılavuz görevi yapan sökülebilirlik puan kartı Weaver (1975) tarafından ortaya atılmıştır. Weaver (1975), RMR sistemi içindeki kaya direnci ve RQD parametreleri yerine malzemenin sismik hızlarından yararlanmıştır. Daha sonra bir çok araştırmacı kazılabilirlik özelliğinin belirlenmesinde

sadece sismik hızlardan yararlanmanın yanlış değerlendirmelere yol açacağını vurgulamışlardır (Kristen, 1982; Simith, 1986, Singh vd., 1987).

Bu gelişmelerden sonra kayaçların kazılabilirliğine yönelik birçok yöntem geliştirilmiştir. (Minty and Kearns, 1983; Scoble and Müftüoğlu, 1984; Smith, 1986; Singh vd., 1987; Caterpillar, 1988; Karpuz vd., 1990; Hadjigeorgiou and Scoble, 1990; MacGregor vd., 1994; Pettifer and Fookes 1994; Hoek ve Karzulovic, 2000).

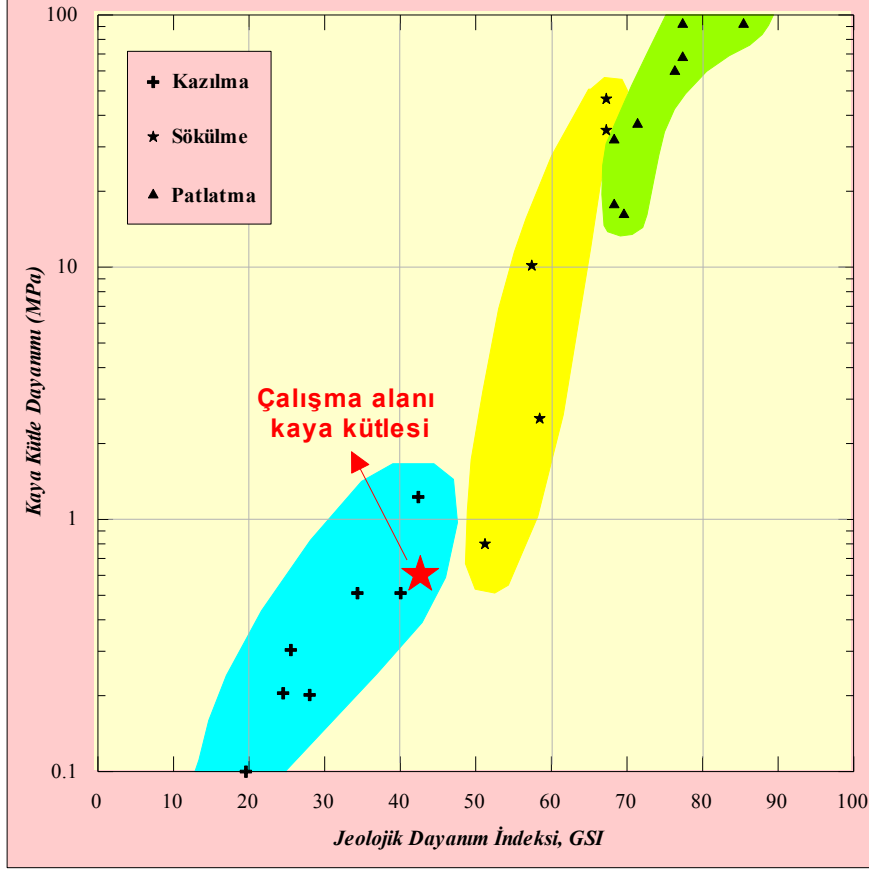
Bu çalışmada, abatmanlarda bulunan bazaltik kayaçların kazılabilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla, süreksizlik ara uzaklığı, nokta yük direnci, tek eksenli basınç direnci ve jeolojik dayanım indeksi (GSI) gibi kayaç malzemesi ve kaya kütesinin çeşitli jeoteknik özelliklerinin girdi parametresi olarak kullanıldığı, Pettifer ve Fookes (1994), ve Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen yöntemler kullanılmıştır.

Pettifer and Fookes (1994), kaya malzemesinin nokta yük direnci, kaya kütesinin ise süreksizlik özelliklerinden yararlanarak bir grafik önermişlerdir (Şekil 3.14). Grafğin pratikte yaygın kullanılmasının nedeni, kayaçların kazılabilirlik özellikleri hakkında bilgi vermesi yanında kayaçların ne tür makinelerle ve ripperlerle kazılabileceğini belirtmesidir.



Şekil 3.14. Kazılabilirlik değerlendirme grafiği (Pettifer ve Fookes, 1994'den değiştirilerek).

Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen yöntemin esası ise kaya kütlelerinin GSI değerine ve kaya kütle dayanım parametresine bağlıdır (Hoek ve Karzulovic, 2000). Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen önerilen grafik Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Farklı kazı metodları için GSI-Kaya kütle dayanımı grafiği (Abdullatif ve Cruden, 1983; Hoek ve Karzulovic, 2000).

Şekil 3.14 incelendiğinde kaya kütlelerinin kazılabilirlik özelliğinin kolay sökülebilir, Şekil 3.15 incelendiğinde ise kazılabilir sınıfına girdiği görülmektedir.

Çalışmada alanı ve çevresinde yüzeylenen kayaçların kazılabilirlik dereceleri Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen ve RMR kaya kütle sınıflamasının temel alındığı yöntem kullanılarak değerlendirilmiştir. Burada volkanik birimler, temel RMR puanları kullanılarak kazılabilirlik özelliklerine göre sökülebilir nitelikte sınıflandırılmıştır (Tablo 3.18).

Tablo 3.18. Çalışma alanındaki kayaçların kazılabilirlik açısından değerlendirilmesi

Temel RMR puanı ve kazılabilirlik sınıflaması (Abdullatif ve Cruden, 1983)		Volkanik Birimler
< 30	Kazılabilir	
31 - 60	Sökülebilir	43.4
61 - 100	Patlatma	

Baraj abatmanlarındaki volkanik birimlerin kaya kütle sınıflama sistemlerinden yararlanarak, farklı araştırmacılar tarafından önerilen sınıflamalara göre sökülebilirlik açısından değerlendirilmeleri sonucunda, kazılabilir-kolay sökülebilir niteliğinde olduğu belirlenmiştir. Değerlendirmede farklı sınıflandırma sistemlerinin kullanılması kaya kütlelerinin kazılabilirlik özelliğinin daha hassas bir şekilde ortaya çıkarılmasını sağlamıştır.

3.3.8. Ayvalı Baraj Yerindeki Kaya Şevlerinin Stabilitesi

Kinematik analizler kaya şevlerindeki yenilmelerin süreksizlikler tarafından kontrol edildiği durumlarda, ayrıntılı analizlere başlamadan önce şevlerin duraylı veya duraysız olarak tanımlanması amacıyla uygulanan pratik bir yöntemdir. Kayma ve devrilme türü yenilmelerin analiz edildiği bu yöntemde veri olarak süreksizliklerin yönelimi, şev geometrisi ve süreksizliklerin kayma direnci parametreleri kullanılmaktadır.

Kinematik analizler kullanılarak yapılan duraylılık analizleri sadece ön çalışma niteliğinde olup, güvenlik katsayısı hakkında fikir vermez. Arazi gözlemleri kinematik analizler sonucunda bulunan sonuçlarla beraber değerlendirilmeli ve olası bir kütle hareketinin boyutları araştırılmalıdır.

3.3.8.1. Düzlemsel Kayma

Doğadaki kayaçların fay, çatlak, şistozite, tabaka vb. gibi süreksizlik yüzeyi boyunca, sınırlı bir şekilde aşağıya doğru hareket etmesine düzlemsel kayma denir. Düzlemsel kaymanın başlıca nedeni yamaç topuklarında yapılan kazılar ve aşınmalar, yamaçlara fazla yük konması, yüzey ve yer altı suları, ayrışma, hidrasyon olayı, farklı

litolojide kayaç ardalması ve yerçekimidir. Tüm bu faktörler zayıflık düzlemindeki direnç ve gerilme özelliklerinin değişmesine neden olur. Sonuçta kaydırıcı kuvvetlerin tutucu kuvvetlerden fazla olması halinde zayıflık düzlemi boyunca kayma meydana gelir.

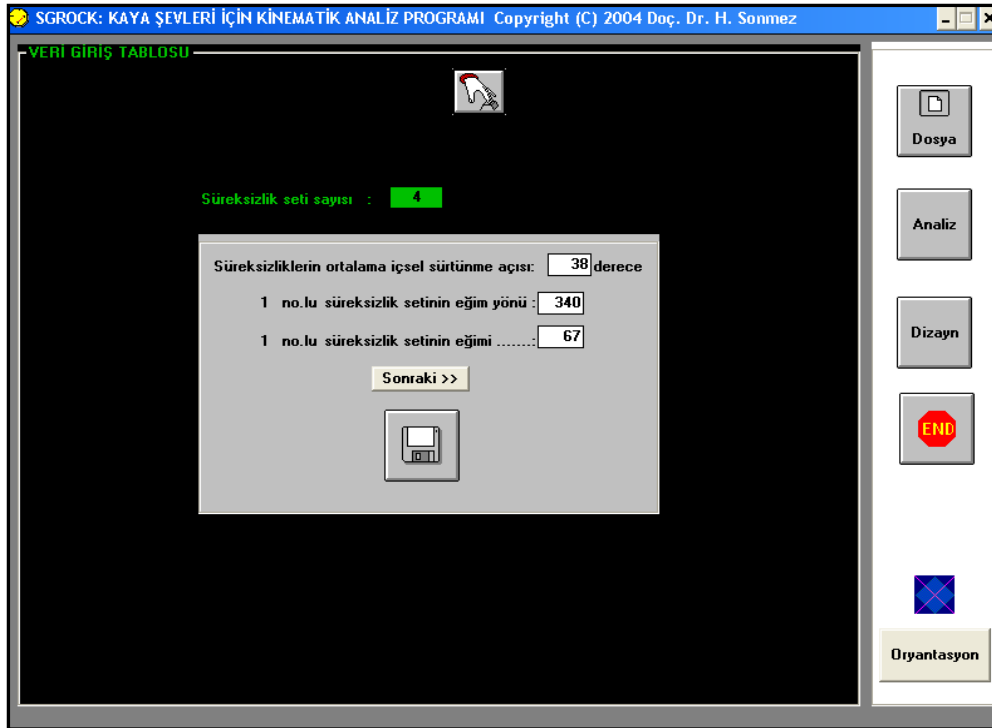
Kaya bloğunun şev yüzeyini kesen bir düzlem üzerinde kaydığı düzlemsel kaymanın oluşabilmesi için aşağıdaki geometrik koşulların oluşması gerekmektedir:

- Kaymanın geliştiği düzlemin doğrultusu şev yüzeyine paralel veya paralele çok yakın (yaklaşık $\pm 20^\circ$ içinde) olmalıdır.
- Kayma düzlemi şev düzlemini kesmelidir; yani düzlemin eğimi şev yüzeyinin eğiminden küçük olmalıdır.
- Kayma düzleminin eğimi, aynı düzlemin sürtünme açısından büyük olmalıdır.
- Kayma yüzeyinin üst ucu ya üst şevi ya da bir çekme çatlağını keser.
- Kaymanın yanal sınırlarını belirlemek için, kaymaya karşı ihmal edilebilir direnç sergileyen zayıflık yüzeylerinin bulunması gerekir. Alternatif olarak kayma düzlemi şevin dışbükey kesimi boyunca gelişebilir.

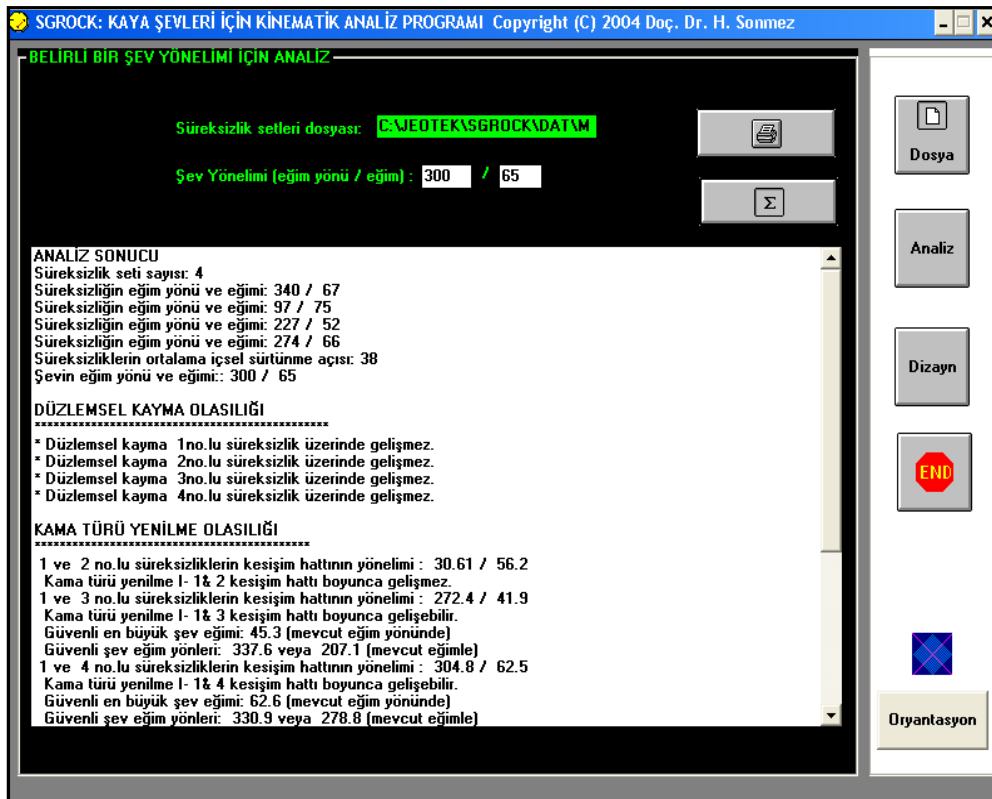
Bu çalışmada barajın abatmanlarındaki düzlemsel kayma analizleri HS-JEOTEK programı ile hesaplanmıştır (Şekil 3.16, 3.17 ve 3.18). Hesaplamalar 300/65 ve 120/65 duruşlu baraj yamaçlarında yapılmıştır.



Şekil 3.16. Programın fonksiyonları



Şekil 3.17. Süreksizliklerin programa işlenmesi



Şekil 3.18. Şevin Yönelimine Göre Analiz Sonuçları

3.3.8.2. Kama Tipi Yenilme

Kama tipi yenilme süreksizliklerin şev yüzeyine verev olduğu ve kaymanın da bu tür iki düzlemin arakesit çizgisi boyunca geliştiği yenilme türüdür. Kama tipi yenilmeler jeolojik ve geometrik koşulların düzlemsel yenilmelere kıyasla çok daha geniş bir aralıkta değiştiği koşullarda meydana gelir. Bu nedenle, kama duraylılığının incelenmesi kaya şev mühendisliğinin önemli bir bileşenini oluşturur.

Kama tipi yenilmelerin kinematik analizinde, iki süreksizliğin arakesitine dik düzlemlerle arakesitten geçen düşey düzlemlerden geçen doğrunun izdüşümü stereonet üzerine işaretlenir; bu noktanın şev yüzeyini kesmesi durumunda kama türü yenilme gelişebilir. Kama tipi kayma için genel koşullar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

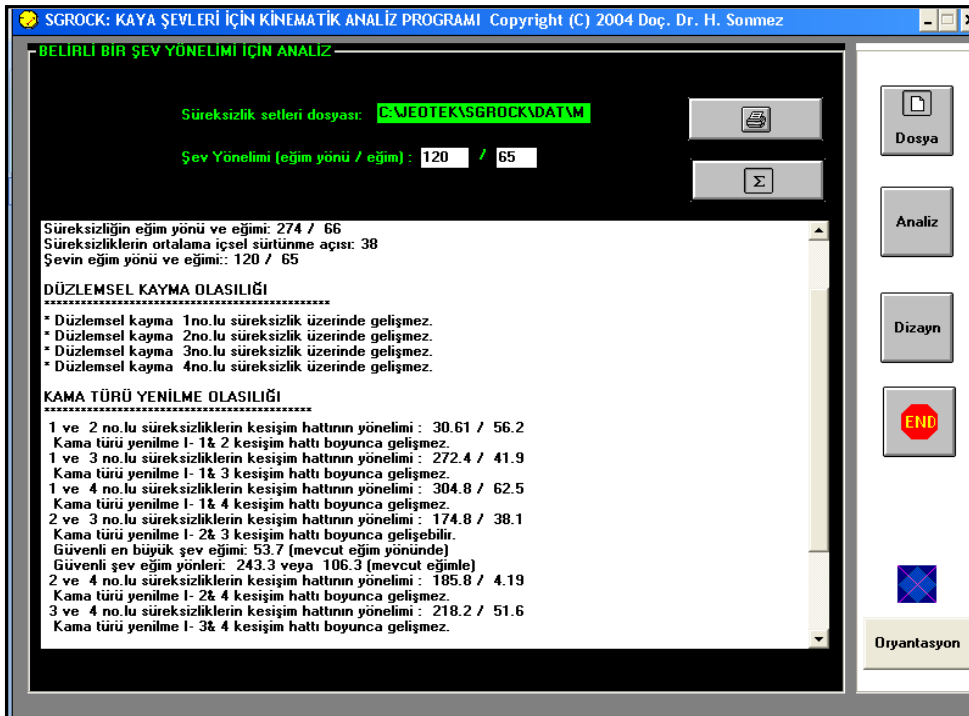
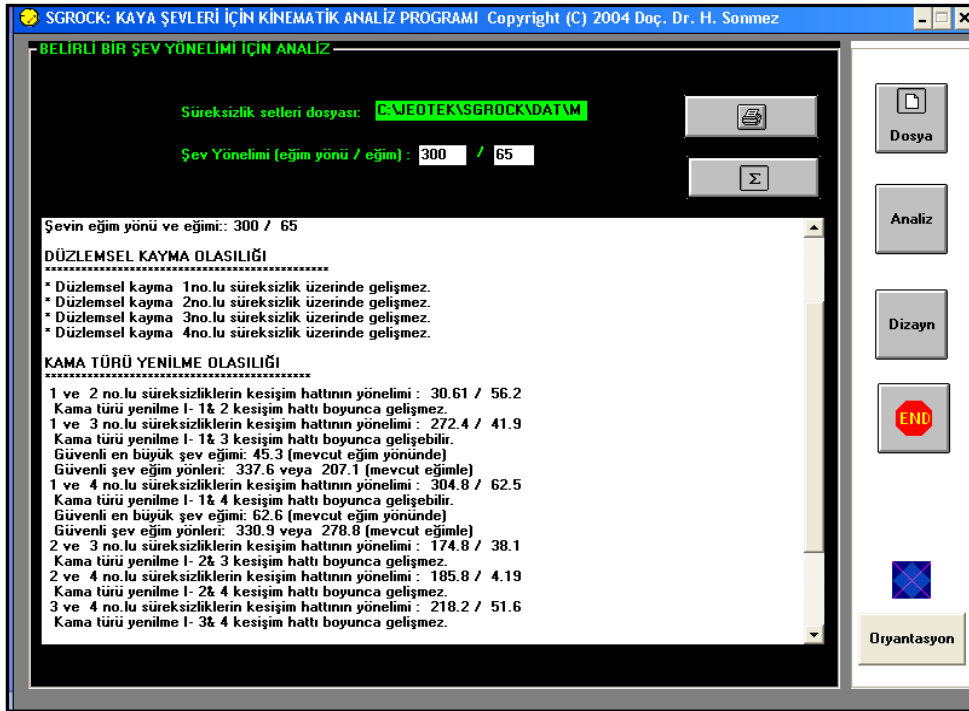
- İki düzlemin arakesiti daima bir çizgidir. Stereonet üzerinde arakesit çizgisi, düzlemlere ait iki büyük dairenin kesiştiği nokta ile temsil edilir ve çizginin yönelimi o çizginin gidişi ve dalımı ile tanımlanır.
- Arakesit çizgisinin dalımı şevin eğim açısından küçük ve iki düzlemin sürtünme açılarının ortalamasından büyük olmalıdır.
- Kaymanın oluşması için, arakesit çizgisinin şev yüzeyini kesmesi gerekir. Genelde, kinematik analizler sonucu stereonet üzerinde belirlenen alana iki süreksizliğin kesişim noktasının düşmesi halinde kayma oluşabilir. Yani stereonet üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda kama tipi yenilmenin kinematik olarak mümkün olup olmadığı belirlenmiş olur.

Bu çalışmada baraj abatmanlarındaki kama tipi kayma analizleri HS-JEOTEK programı kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 3.19).

Programdan elde edilen veriler, olası hareketler ve alınabilecek önlemler Tablo 3.19 ve 3.20’de verilmiştir.

Tablo 3.19. 300/65 duruşlu şev için kama tipi kayma analizi

300/65 Duruşlu Şev için Kama Tipi Kayma Analizi						
Arakesit Doğrusu Duruşu	S1 ve S2 31/56	S1 ve S3 272/42	S1 ve S4 305/62	S2 ve S3 175/38	S2 ve S4 186/5	S3 ve S4 218/52
Kama Tipi Kayma	-	Olası	Olası	-	-	-
Önlem	Eğim sabit, eğim yönünde değişme	-	337 veya 207	331 veya 279	-	-
	Eğim yönü sabit Eğimde değişme	-	45°	63°	-	-
Not: Süreksizlik Takımları (S1: 340/67, S2: 97/75, S3: 227/52, S4: 274/66)						



Şekil 3.19. Şevin Yönelimine Göre Kama Tipi Kayma Analiz Sonuçları

Tablo 3.20. 120/65 duruşlu şev için kama tipi kayma analizi

120/65 Duruşlu Şev için Kama Tipi Kayma Analizi						
Arakesit Doğrusu Duruşu	S1 ve S2 31/56	S1 ve S3 272/42	S1 ve S4 305/62	S2 ve S3 175/38	S2 ve S4 186/5	S3 ve S4 218/52
Kama Tipi Kayma	-	-	-	Olası	-	-
Önlem	Eğim sabit, eğim yönünde değişme	-	-	-	243 veya 106	-
	Eğim yönü sabit Eğimde değişme	-	-	-	54°	-
Not: Süreksizlik Takımları (S1: 340/67, S2: 97/75, S3: 227/52, S4: 274/66)						

3.3.8.3. Devrilme Tipi Yenilme

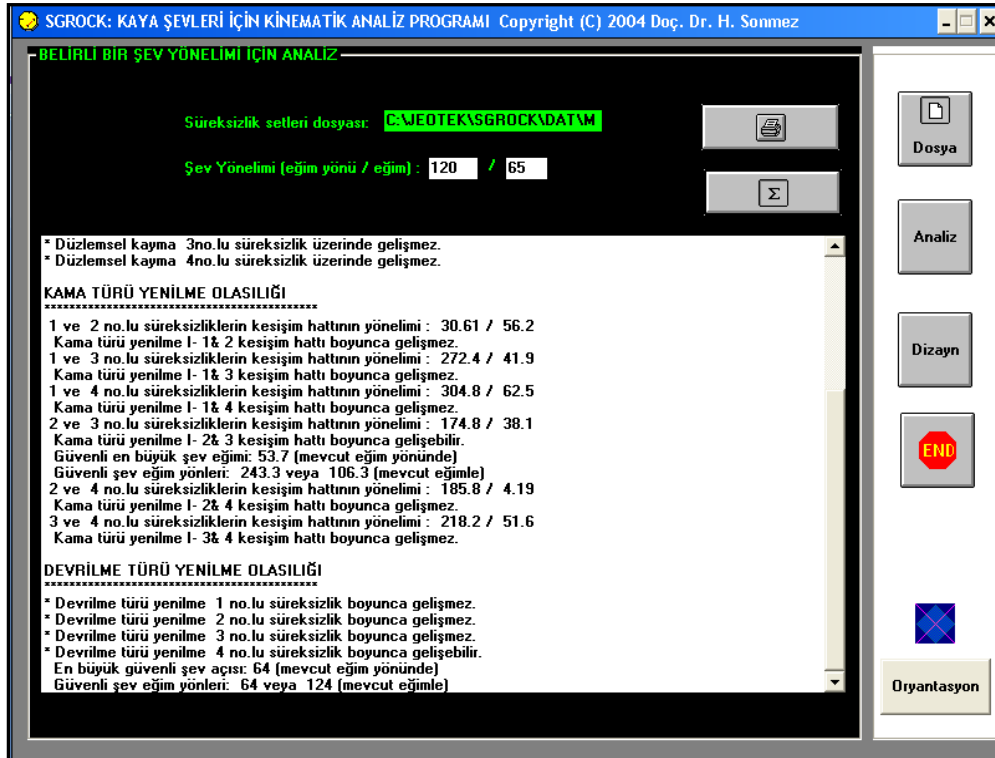
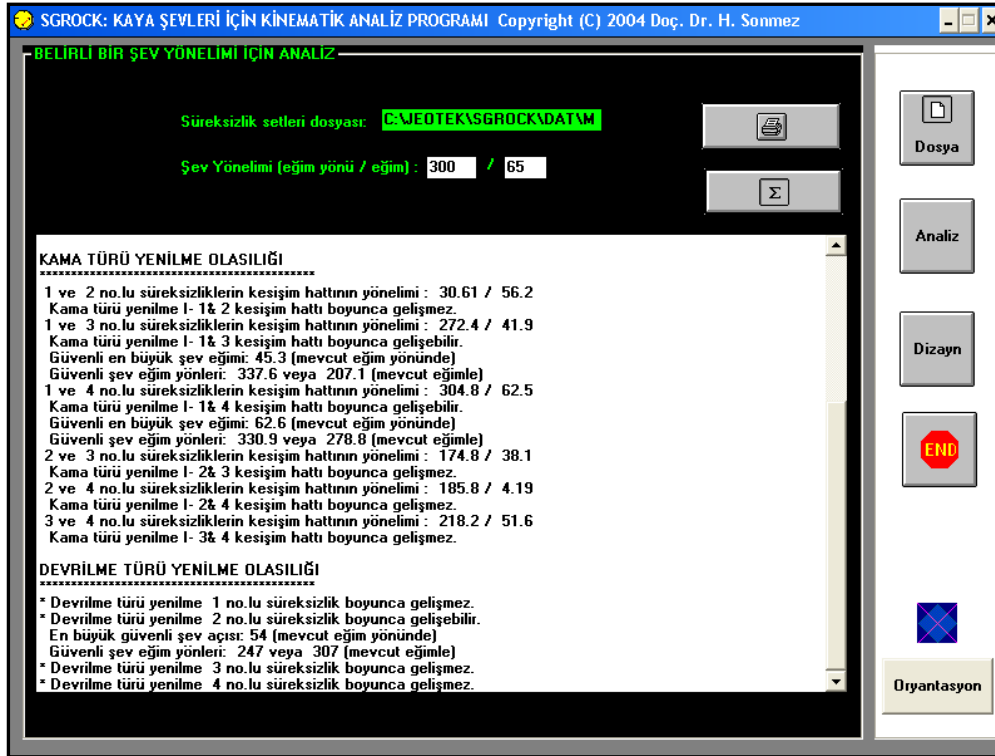
Devrilme türünün nedeni blokların ağırlık vektörünün taban alanı dışına düşmesidir. Ayrıca blokların en/yükseklik oranı devrilme üzerinde etkili olur.

Devrilme tipi yenilmenin oluşabilmesi için, şev içine doğru eğimli süreksizliklerin eğim yönü, şevin eğim yönünden en fazla 10° sapma göstermeli; şev yüzeyine paralel bir dizi blok oluşmalıdır. Ayrıca düzlemlerin eğimi de düzlem arası kayma oluşmaya yetecek kadar büyük olmalıdır. Kayma, sadece uygulanan gerilmenin yönü bloğun normali ile süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısından (Φ) büyük açıda olduğu zaman gerçekleşir. Şevde majör asal gerilmelerin yönü şev yüzeyine paralel olup; kayma ve devrilme yenilmesi aşağıdaki koşullar gerçekleştiğinde Ψ_p eğimli düzlemler üzerinde gerçekleşir (Goodman ve Bray, 1976):

$$(90^\circ - \Psi_f) + \Phi < \Psi_p \quad (3.7)$$

Bu çalışmada baraj abatmanlarındaki devrilme analizleri HS-JEOTEK programı ile hesaplanmıştır (Şekil 3.20).

Programdan elde edilen veriler, olası hareketler ve alınabilecek önlemler Tablo 3.21 ve 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.20. Şevlerin Yönelimine Göre Devrilme Analiz Sonuçları

Tablo 3.21. 300/65 duruşlu şev için devrilme analizleri

300/65 Duruşlu Şev için Devrilme Analizleri					
Süreksizlik Takımları		340/67	97/75	227/52	274/66
Devrilme		-	olası	-	-
Önlem	Eğim sabit, eğim yönünde değişme	-	247 veya 307	-	-
	Eğim yönü sabit Eğimde değişme	-	54°	-	-

Tablo 3.22. 120/65 duruşlu şev için devrilme analizleri

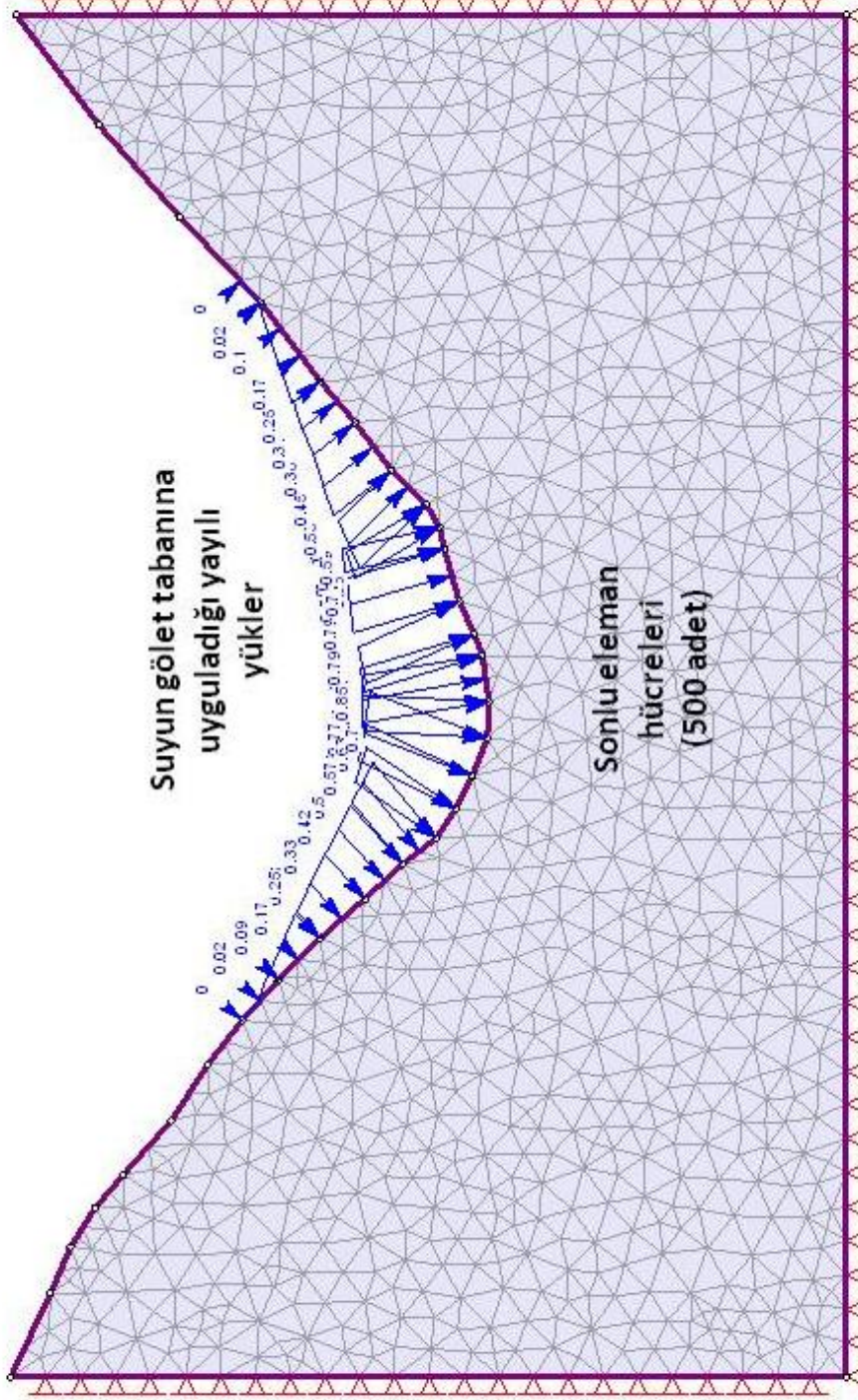
120/65 Duruşlu Şev için Devrilme Analizleri					
Süreksizlik Takımları		340/67	97/75	227/52	274/66
Devrilme		-	-	-	Olası2
Önlem	Eğim sabit, eğim yönünde değişme	-	-	-	64 veya 124
	Eğim yönü sabit Eğimde değişme	-	-	-	64°

3.3.9. Ayvalı Barajı Eksen Yerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sızıntı Analizi

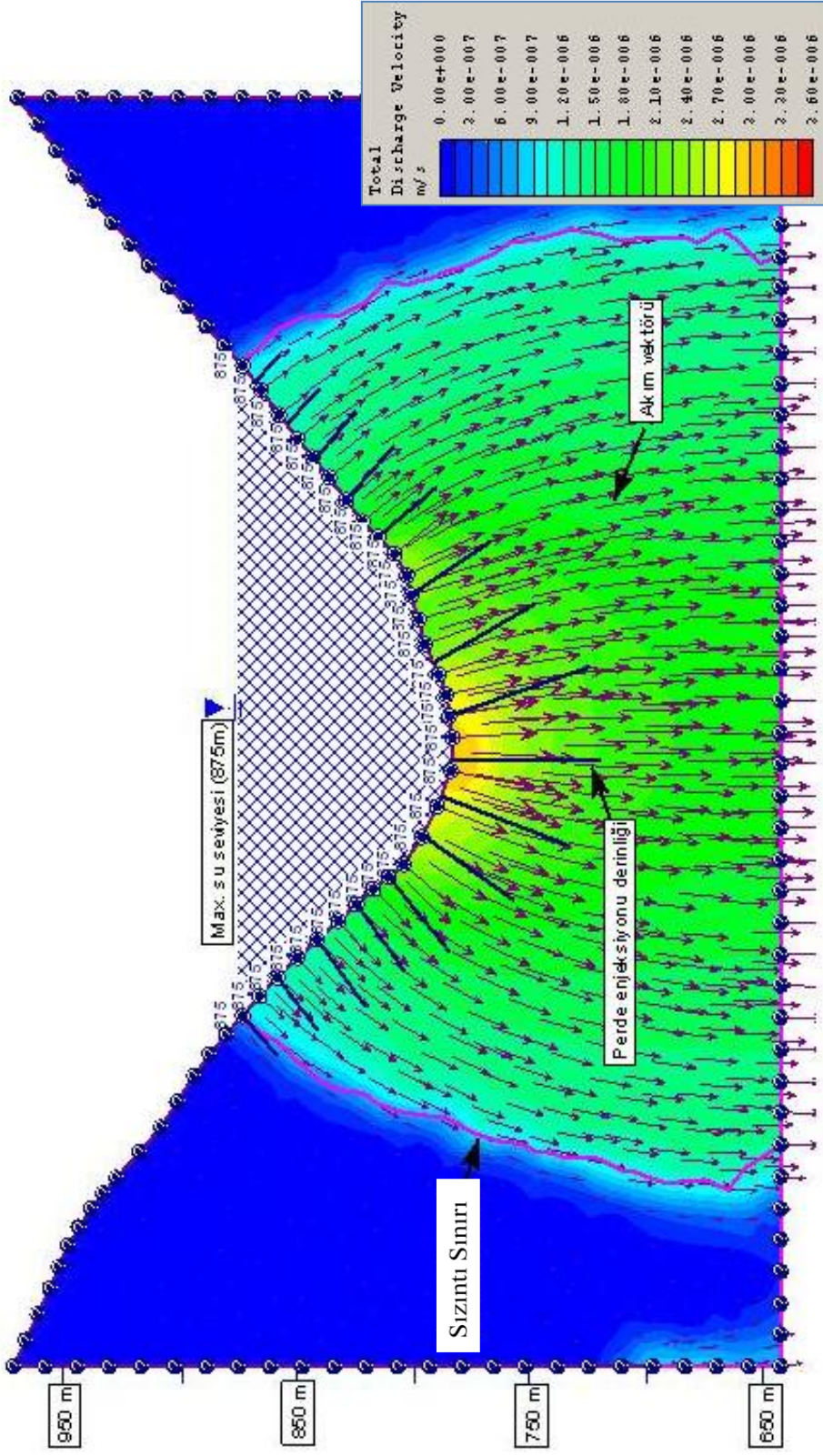
Baraj eksenindeki kaya kütesinin geçirimsizlik özelliklerini belirlemek amacıyla, “Phase²” (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Bu program, modellenen baraj eksen yerinde oluşacak kaçakların yönünün ve gerilme dağılımlarının incelenmesine olanak sağlamaktadır. Sonlu eleman yönteminde herhangi bir ortam sonlu eleman denilen parçacıklara bölünmektedir. Elemanlar birbirine, düğüm noktaları denilen köşe noktalarında bağlanmaktadır. Basit bazı fonksiyonlar seçilerek eleman içindeki gerçek deplasman değişimi düğüm noktalarındaki değerler cinsinden yaklaşık olarak ifade edilirler. Çok zayıf kalitedeki kaya kütlelerinin yenilme sonrası davranışları plastik olarak değerlendirilmiş ve Hoek-Brown yenilme ölçütleri kullanılmıştır. “Phase²” sonlu elemanlar programı iki boyutlu analiz yapmakta olup, “düzlemsel bozunum” esasına dayanmaktadır. Bu nedenle baraj eksen yerindeki üç boyutlu davranışı hesaba katmak ve iki boyutlu analiz sonuçlarında ortaya çıkan birtakım bilinmeyenleri de içermesi için kazı yapılan bölgedeki bazı kaya kütesi dayanımı parametreleri belli oranlarda azaltılmıştır. Bu parametreleri belirlerken çok dikkatli davranılmalı ve modellemenin mümkün olduğunca doğal koşulları yansıtması sağlanmalıdır.

Bu çalışmada, baraj eksenindeki kaya kütesinin geçirimsizlik özellikleri ve uygulanacak perde enjeksiyonunun derinliği 2D sonlu elemanlar (finite element seepage analysis) sızıntı analizi ile belirlenmiştir. Analiz için “Phase²” sonlu elemanlar bilgisayar programı kullanılmıştır. “Phase²” sonlu elemanlar programı iki boyutlu analiz yapmakta olup, “düzlemsel bozunum” esasına dayanmaktadır. “Phase²” programı ile yapılan sızıntı analizi modellemesinde ilk önce vadi kesiti çizilerek oluşturulan ortam hassas bir analiz için 500 adet üçgen şekilli sonlu eleman denilen parçacıklara bölünmüştür. Daha sonra baraj ekseninde yer alan kaya kütesine ve malzemesine ait jeoteknik parametreler kullanılarak kaya ortamın özellikleri tanımlanmıştır. Girdi parametresi olarak kaya kütesine ait deformasyon modülü, poisson oranı, Hoek-Brown kırılma parametreleri, lugeon geçirimsizlik değerleri ile kaya malzemesine ait birim hacim ağırlık ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri kullanılmıştır. Oluşturulan vadi kesiti maksimum su kotuna kadar suyla doldurularak, suyun kendi ağırlığına bağlı oluşacak sızıntının hareket yönü ve kaya kütesi içerisinde oluşacak toplam deşarj hızı belirlenmiştir. Şekil 3.20 ve 3.21’de kırmızı renkle gösterilen konturlar toplam deşarjın en yüksek olduğu, mavi konturlar ise en düşük olduğu yerleri göstermektedir.

Yapılan analiz sonucunda vadi tabanından ve yamaçlardan dik olarak derinlere doğru gidildiğinde toplam deşarj hızı azalmaktadır. Vadi tabanından ortalama 60 m derinde toplam deşarj hız miktarı yaklaşık olarak 3 kat azalmakta olup, sağ ve sol yamaçlarda ise ortalama 35 m sonra 2 kat azalmaktadır. Sızıntı analizlerinden ortaya çıkan sonuçlara göre, baraj yerinde geçirimsizliği sağlamak için perde enjeksiyonunun derinliği vadi tabanında en az 60 m, yamaçlarda ise en az 35 m olmalıdır.



Şekil 3.21. Ayvalı Barajında suyun gölet tabanında oluşturduğu yayılı yüklerin ve toplam boşalma hızının belirlendiği sonlu elemanlar programında görünümü



Şekil 3.22. Ayrıltı Barajı eksen yerinin sızıntı analizi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Çoruh Havzası'nda bulunan Ayvalı Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nin (Olur, Erzurum) oturacağı kaya kütlelerinin jeolojik ve jeoteknik özellikleri araştırılmıştır. Bu kapsamda süreksizlik özellikleri arazi çalışmalarıyla belirlenmiş, sondaj karotlarından alınan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiş, tüm bu veriler ışığında baraj yeri kaya kütlelerinin dayanımı, taşıma gücü, stabilitesi gibi jeoteknik özellikleri araştırılmış ve sonuç olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak baraj ekseni boyunca uygulanacak olan perde enjeksiyon derinliği hesaplanmıştır.

1. Çoruh havzası yıllık hidroelektrik potansiyeli yaklaşık 6,3 milyar m³ olup, ülkemizin toplam brüt potansiyelinin (186 milyar m³), %3,4' ünü teşkil etmektedir. Söz konusu proje kapsamında, Pazaryolu yakınlarından Çoruh nehrinin ülkemizin topraklarını terk ettiği Gürcistan sınırına kadar, Çoruh nehri ana kolu üzerinde on büyük barajın yapımı planlanmıştır.

2. Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve Hamurkesen Formasyonu' na ait oldukları belirlenmiştir.

3. Baraj yerinde yüzeyleme veren kayaçlar, litolojik ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılarak tek bir jeoteknik birim olarak tanımlanmıştır. Bu birimin volkanik kayaçlardan oluştuğu belirlenmiştir.

4. İnceleme alanında uygun mostralarda seçilen hatlar boyunca yapılan hat etüdü çalışmalarıyla, süreksizliklerin özellikleri ve yeraltı suyu durumu araştırılmış, volkanik birimlerde gözlenen farklı süreksizlik zonları için ayrı nicel tanımlamalar yapılmıştır ve sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Çalışma alanında yüzeyleme veren volkanik birimlerden oluşan kaya kütlelerinin davranışını kontrol eden dört ayrı süreksizlik takımının olduğu belirlenmiştir. Bunlar K70D/67KB (340/67), K7D/75GD (97/75), K43B/52GB (227/52), K4D/66KB (274/66) duruşlu süreksizlik setleridir.

- Süreksizlik takımlarındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri, 340/67 duruşlu süreksizlik yüzeyleri için 0.43 m, 97/75 duruşlu süreksizlik yüzeyleri için 0.63, 227/52

duruşlu süreksizlik yüzeyleri için 0.43 m, 274/66 duruşlu süreksizlik yüzeyleri için ise 0.58 m olarak hesaplanmıştır.

- Süreksizlik devamlılığı 340/67 duruşlu süreksizlik için 10.09 m., 97/75 duruşlu süreksizlik için 7.81m., 227/52 duruşlu süreksizlik için 9.68m., 274/66 duruşlu süreksizlik için ise 11.35 m. olduğu hesaplanmıştır.

- Süreksizlik açıklığı parametreleri ise 340/67 duruşlu süreksizlik için 5.6 mm., 97/75 duruşlu süreksizlik için 5.83 mm., 227/52 duruşlu süreksizlik için 4.9 mm., 274/66 duruşlu süreksizlik için de 5.2 mm olduğu belirlenmiştir.

- JRC değerleriyle ifade edilen süreksizlik pürüzlüğü, tüm süreksizlik yüzeylerinde 4-6, Wc olarak ifade edilen süreksizlik bozunma indeksi değerlerinin ise tüm süreksizlikler için 1.14-1.49 arasında olduğu saptanmıştır.

5. Çalışmada, RQD değerleri sondajlara elde edilen karotlardan ve hat etüdlerinden hesaplanmıştır. Buna göre RQD değerlerinin sondaj karotları için %19-59, hat etüdlerinde ise %84-86 arasında olduğu belirlenmiştir.

6. Ayvalı Barajı alanında yüzeylenme veren kayalar RMR kaya kütle sınıflama sistemine göre sınıflandırılmıştır ve 43.4 temel RMR puanıyla orta kaya sınıfına girdiği saptanmıştır. RMR puanı hesaplamasında sondaj karotlarından elde edilen RQD değerleri kullanılmıştır.

7. Hoek ve Brown yenilme kriteri kullanılarak çalışma alanındaki kaya kütlelerinin dayanım özellikleri belirlenmiştir. Buna göre çalışma alanında yüzeylenme veren kaya kütleleri için için kohezyon 1.644 MPa, içsel sürtünme açısı 27° , tek eksenli basınç direnci 40 MPa, deformasyon modülü 714.15 MPa olarak hesaplanmıştır.

8. Sondaj çalışmalarında Lugeon basınçlı su deneyleri yapılmış ve geçirimsizlik katsayısının 1.02×10^{-6} m/sn ile 5.81×10^{-6} m/sn arasında değiştiği hesaplanmıştır.

9. Baraj yerindeki kayaların sınır taşıma güçleri farklı yöntemlerle hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre, RMR kaya kütlelerine sınıflamasına göre 15 kg/cm^2 , Hoek-Brown yenilme kriterine göre 60 kg/cm^2 , RQD ve tek eksenli sıkışma dayanımı parametrelerinde sondaj karotlarıyla belirlenen RQD değerine göre 6 kg/cm^2 , hat etüdü ile belirlenen RQD değerlerine göre ise 22 kg/cm^2 olduğu belirlenmiştir.

10. Baraj yapılmadan önce yamaçların uygun hale getirilebilmesi için volkanik birimde kazı yapılması gerekmektedir. Bu birimler kazılabilirlik değerlendirme grafiğinde kolay kazılabilir olarak belirlenmiştir.

11. Kaya şev duraylılığı süreksizliklerin yapısal özellikleri dikkate alınarak kinematik analizler sonucunda belirlenmiş ve elde edilen veriler, kaya kütle sınıflandırmalarına dayanan analizlerle desteklenmiştir. 300/65 ve 120/65 duruşlu şevde düzlemsel kayma beklenmemektedir. 300/65 duruşlu şevde 340/67 ve 227/52 duruşlu süreksizliklerin ara kesiti boyunca gelişebilecek olası kama tipi kaymanın önlenmesi için şevin eğimi değiştirilmeden eğim yönünün 337 veya 207, eğim yönünün değiştirilmeden eğiminin 45^0 yapılması gerekmektedir. Yine aynı şevde 340/67 ve 274/66 duruşlu süreksizliklerin arakesiti boyunca gelişebilecek kama tipi kaymanın önlenmesi için şevin eğimi değiştirilmeden eğim yönünün 331 veya 279, eğim yönünün değiştirilmeden eğiminin 63^0 yapılması gerekmektedir. 120/65 duruşlu şevde 97/75 ve 227/52 duruşlu süreksizliklerin ara kesiti boyunca gelişebilecek olası kama tipi kaymanın önlenmesi için şevin eğimi değiştirilmeden eğim yönünün 243 veya 106, eğim yönünün değiştirilmeden eğiminin 54^0 yapılması gerekmektedir. 300/65 duruşlu şevde 97/75 duruşlu süreksizliklerde devrilme tipi kütle hareketi beklenmektedir. Bu hareketin önlenmesi için şevin eğimi değiştirilmeden eğim yönünün 247 veya 307, eğim yönünün değiştirilmeden eğiminin 54^0 yapılması gerekmektedir. 120/65 duruşlu şevde 274/66 duruşlu süreksizliklerde devrilme tipi kütle hareketi beklenmektedir. Bu hareketin önlenmesi için şevin eğimi değiştirilmeden eğim yönünün 64 veya 124, eğim yönünün değiştirilmeden eğiminin 64^0 yapılması gerekmektedir.

12. Baraj yeri için enjeksiyon derinlikleri sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda vadi tabanından ve yamaçlardan dik olarak derinlere doğru gidildiğinde toplam deşarj hızı azalmaktadır. Vadi tabanından ortalama 60 m derinde toplam deşarj hız miktarı yaklaşık olarak 3 kat azalmakta olup, sağ ve sol yamaçlarda ise ortalama 35 m sonra 2 kat azalmaktadır. Sızıntı analizlerinden ortaya çıkan sonuçlara göre, baraj yerinde geçirimsizliği sağlamak için perde enjeksiyonunun derinliği vadi tabanında en az 60 m, yamaçlarda ise en az 35 m olmalıdır.

5. KAYNAKÇA

- Abdullatif, O.M. ve Cruden, D.M., 1983. The Relationship Between Rock Mass Quality ve Ease of Excavation, Bull. Intl. Assoc. Eng. Geol., 28. 183-187
- Attewell, P.B. ve Farmer, I.W., 1976. Principles of Engineering Geology, Chapman ve Hall, London, 1045.
- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesi'nin Jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ASTM (American Society for Testing ve Materials), 1981. Standard test method for capillary-moisture relationships for coarse ve medium textured soils by porous plate apparatus, ASTM Standards, 04, 08.
- ASTM (American Society for Testing ve Materials), 1985. Soil ve Rock, Building Stones, Section 4, 04, 08, 409-423.
- ASTM (American Society for Testing ve Materials), 1992a. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Wetting ve Drying Conditions (ASTM D5313-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil ve Rock, ASTM Publication, 189-190.
- ASTM (American Society for Testing ve Materials), 1992b. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Freezing ve Thawing Conditions (ASTM D5312-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil ve Rock, ASTM Publication, 1344-1346.
- ASTM (American Society for Testing ve Materials), 1994. Annual Book of ASTM Standarts-Construction, Soil ve Rock, ASTM Publication, 04, 08, 978.
- Barton, N. and Choubey, V., 1977. The Shear Strength of Rock ve Rock Joints. International Journal of Rock Mechanics ve Mining Sciences ve Geomechanics Abstract, 13, 255-279.
- Barton, N. ve Bannis, S., 1982. Effect of Block Size on the Shear Behavior of Jointed Rock, Issue in Rock Mechanic, 23 rd U.S. Symposium on Rock Mechanic, Berkeley, California , Society of Mining Engineers of AIME
- Barton, N. R. ve Bandis, S.,1990. Review of Predictive Capabilities of JRC-JCS Model In Engineering Practice, Rock Joints, Leon, Norway. Balkema,Rotterdam, 603-610
- Berkün, M., 2007. "Su Yapıları Barajlar, Savaklar ve Su Kuvveti Tesisleri", 546-562
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering Classification of Jointed Rock Masses. Transactions of The South African Institution of Civil Engineers, 15, 12, 335-344.

- Bieniawski, Z.T., 1976. Rock Mass Classification in Rock Engineering. Proc. Symp. on Exploration for Rock Engineering, Cape Town, Balkema, 97-106.
- Bieniawski, Z.T., 1978. Determining Rock Mass Deformability, Experience from Case Histories, Int. Jou., Rock Mech. Min. Sci., 15, 237-247.
- Bieniawski, Z.T., 1979. The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications. Proceedings ISRM 4th International Congress on Rock Mechanics, Montreux. Balkema. Boston. Chapter , 5, 55-95.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley, New York, 238 p.
- CANMET, 1997a. Laboratory Classification Tests. In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral ve Energy Technology Report, 77-25, 31.
- CANMET, 1997b. Laboratory Classitication Tests, In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral ve Energy Technology Report, 77-26, 74.
- Deere, D.U., 1964. Technical Description of Rock Cores for Engineeringn Purposed, Rock Mech. Rock Eng. 1, 17-22.
- Dick, J.C., Shakoor, A. ve Wells, N., 1994. A Geological Approach Toward Developing a Mudrock-Durability Classification System, Canadian Geotechnical Journal, 34, 17-27.
- Goodman, R.E., 1989. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley ve Sons, Second Edition, 562.
- Gökçeoğlu, C., 1997. Killi, Yoğun Süreksizlik İçeren ve Zayıf Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflamalarında Karşılaşılan Güçlüklerin Giderilmesine Yönelik Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Gökçeoğlu, C., Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2000. Factors Affecting The Durability of Selected Weak ve Clay- Bearing Rocks from Turkey With Particular Emphasis on The Influence of The Number of Drying veWetting Cycles, Engineering Geology, 57, 215-237.
- Göktañ, R.M. ve Ayday, C., 1993. A Suggested Improvement to The Schmidt Rebound Hardness ISRM Suggested Method with Particular Reference to Rock Machineability, International Journal of Rock Mechanics ve Mining Science. & Geomechanics. Abstract, 30, 3, 321-322.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Yayınları, Ankara.
- Haramy, K.Y. ve De Marco, M.L., 1985. Use of Schmidt Hammer for Rock ve Coal Testing, 26th U.S. Symp. on Rock Mechanics, 26-28 June, Rapid City, 549-555.

- Hoek, E., 1968. Brittle Failure of Rock, In *Rock Mechanics in Engineering Practice* (Ed. K. G. Stagg and O. C. Zienkiewicz), JohnWiley & Sons Ltd., London, 99–124.
- Hoek, E., 1994. Strength of Rock ve Rock Masses, *ISRM News Journal*, 2, 2, 4-16.
- Hoek, E., 2000. *Practical Rock Engineering, Course Notes*, Evert Hoek Consulting Engineer Inc., Canada.
- Hoek, E. ve Brown, E.T., 1980 a. *Underground Excavations in Rock*. Institution of Mining ve Metallurgy. Steppen Austin ve Sons, London, 527.
- Hoek, E. ve Brown, E.T. 1980. *Underground Excavations in Rock*. Institution of Mining ve Metallurgy, London, 527.
- Hoek, E. ve Brown, E. T., 1980 b. Empirical Strength Criterion for Rock Masses. *ASCE Journal of The Geotechnical Engineering Division*, 106 (GT9), 1013-1035.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. ve Corkum, B., 2002, 1. Hoek-Brown Failure Criterion, 2002 Edition. *Proc. 5th North American Rock Mechanics Symposium*, Toronto, 267-273.
- Hoek, E., Kaiser, P.K. ve Bawden, W.F., 1995. *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. Balkema, Rotterdam, 214.
- Hoek, E. ve Karzulovic, A., 2000. Rock Mass Properties for Surface Mines, *Slope Stability Ans Surface Mining*, Society For Mining, Metallurgical ve Exploration (SME), Colorado, 59-70 .
- Hoek, E., Marinos, P. ve Benissi, M., 1998. Applicability of The Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak ve Sheared Rock Masses: The case of The Athens Schist Formation, Bulletin of Engineering Geology ve Environment, 57, 2,151-160.
- Hoek, E., Wood, D. ve Shah, S., 1992. A Modified Hoek-Brown Criterion for Jointed Rock Masses. *ISRM Symposium: Eurock'92-Rock Characterization*, J. A. Hudson (ed.), Thomas Telford, 209-213.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1976. *Engineering Geological Maps*, The UNESCO Press, 15, 78.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978. *Commission on Standardization of Laboratory ve Field Tests: Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*. *International Journal of Rock Mechanics ve Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 15, 319-68.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1979. *Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption ve Related Properties ve Swelling ve Slake Durability Index Properties*. *International Journal of Rock Mechanics ve Mining Sciences ve Geomechanics Abstracts*, 16, 2, 141-156.

- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing ve Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211.
- ISRM (International Society of Rock Mechanics), 1981a. Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses (ed. E. T. Brown), Pergamon Pres, Oxford, UK, 211.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, *International Journal of Rock Mechanics ve Mining Sciences ve Geomechanics Abstracts*, 22, 53-60.
- Jenning, J.E., 1970. A Mathematical Theory for the Calculation of the Stability of Slopes in Open Cast Mines, *Proc. Symp. On Planning Open Pit Mines*, Cape Town, Balkema, 87-112.
- Mehrotra, V.K., 1992. Estimation of Engineering Properties of Rock Mass, PhD Thesis, University of Roorkee, Roorkee, India, 257.
- Palmstrom, A., 1982. The Volumetric Joint Count- A Useful and Simple Measure of The Degree of Jointing. 4th Int. Congress IAEG, New Delhi. 221-228.
- Palmstrom A., 1985. Application of The Volumetric Joint Count as A Measure of Rock Mass Jointing. *Proc. Int. Symp. On Fundamentals of Rock Joints*, Bjerkliden, Sweden, 103-110.
- Palmström, A., 1996. RMI-A System for Rock Mass Strength for Use in Rock Engineering. *Journal. of Rock Mechanics ve Tunneling Technigue* , India, 1 (2), 69-108.
- Pettifer, G.S. ve Fookes, P.G., 1994. A Revision of The Graphical Method for Assessing The Excavability of Rock, *Q J Eng Geol*, 27, 145–164.
- Piteau, D.R., 1970. Geological Factors Significant to The Stability of Slopes Cut in Rock. *Proc. of The Symp. on Planning Open Pit Mines*, S.A. Inst. Min. ve Metali., Johannesburg, 33-53.
- Poole, R.W. ve Farmer, I.W., 1980. Consistency ve Repeatability of Schmidt Hammer Rebound Data During Field Testing. *International Journal of Rock Mechanics ve Mining.*, 63-71
- Priest, S.D. ve Hudson, J.A., 1976. Discontinuity Spacing in Rock. *International Journal of Rock Mechanics ve Mining Sciences ve Geomechanics Abstracts*. 13, 135-148.
- Russel, D. J., 1982. Controls on Shale Durability: The Response of Two Ordovician Shales in The Slake Durability Test, *Canadian Geotechnical Journal*, 19, 1-13

- Sönmez, H. ve Ulusay, R., 1999. Modifications to The Geological Strength Index (GSI) ve Their Applicability to Stability of Slopes, International Journal of Rock Mechanics ve Mining Science, 36, 6, 743-760
- Tarhan, F., 2002. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, KTÜ Basımevi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayını, No 41 Trabzon, 174-185
- T.S.E., 1975. Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini. UDK 622.02, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1987. Tabii Yapıtaşlarının Muayene ve Deney Metotları. TS 699, UDK 6912, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1990. Kaya Mekaniği Deneyleri İçin Karot Numunelerinin Hazırlanması, Boyut ve Şekil Toleranslarının Tespiti. TS 8614, UDK 622.02.624.121, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ulusay, R., 1991. Geotechnical Evaluations ve Deterministic Design Considerations for Pitwall Slopes at Eskihisar (Yatağan-Muğla) Strip Coal Mine. PhD Thesis, Middle East Technical University, 340 (unpublished).
- Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38, Genişletilmiş 4. Baskı, 385 s.
- Ulusay, R., Ekmekçi, M., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Tuncay, E. ve Erdoğan, S., 1998. TKİ Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Linyit Açık İşletmesi Şev Duraylılığı Projesi (1.Aşama: A Panosu Şevlerinin Duraylılığı). Proje No. 600.020.0056, 245 s.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A., 2001. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 58, Ankara, 161 s.
- Ulusay, R., Özkan, L. ve Ünal, E. 1995. Characterization of Weak, Stratified ve Clay-Bearing Rock Masses for Engineering Applications. Fractured ve Jointed Rock Masses Conference, June 3-5, 1992, L. R. Mayer, N. W. Cook, R. E. Goodman ve C.F. Tsang (eds.), A. A. Balkema, Lake Tahoe, California, 233-240.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2002. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları No:60, Ankara, 243s
- URL-1, <http://www.dsi.gov.tr/hizmet/enerji.htm> .10 Mayıs 2008.
- URL-2-, <http://www.main-board.net/erzurum/93480-erzurum-olur-ilcesi.html>. 3 Ocak 2007.
- Yüksek, Ö., 2008. “Revaluation of Turkey’s Hydropower Potential ve Electric Energy Demand”, Energy Policy,
- Yüksek, Ö. ve Kaygusuz K., 2006. “Small Hydropowerplants As a New and Renewable Energy Source”, Energy Sources Part B 1, , 279-290.

- Yüksek Ö., Kömürcü M İ., Yüksel İ. ve Kaygusuz K., 2006. “The Role of Hydropower in Meeting Turkey’s Electric Energy Demand”, *Energy Policy* 34, , 3093-3103
- Wissbach, C., 1978. A New Method for The Determination of The Roughness of Rock Joints in Laboratory, *International Journal of Rock Mechanics ve Mining Sciences*, 16, 303-307.
- Wyllie, D.C. ve Mah, C.W., 1999. *Rock Slope Engineering*, Spon Press, NewYork, 437.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa KANIK 1981 yılında Ankara'da doğdu. İlköğrenimini İzmir Aliğa'da, orta öğrenimini ve Lise eğitimini ise İzmir Bergama'da tamamlayarak 2000 yılında Bergama Akif Ersezgin Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2008 yılında Jeoloji Bölümü'nden mezun oldu ve aynı yıl yüksek lisans eğitimine başladı. Evli ve bir çocuk babası olan Mustafa KANIK iyi derecede İngilizce ve orta derecede Almanca bilmektedir.