

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AYVALI BARAJI EKSEN YERİ (ERZURUM – OLTU) VE DOLAYININ
MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ, OLTUÇAYI VOLKANİTLERİNİN
JEOTEKNİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Altay ERTİN**

Anabilim Dalı : Jeoloji Mühendisliği

Programı : Uygulamalı Jeoloji

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahir VARDAR

ŞUBAT 2010

**AYVALI BARAJI EKSEN YERİ (ERZURUM – OLTU) VE DOLAYININ
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ, OLTUÇAYI VOLKANİTLERİNİN
JEOTEKNİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Altay ERTİN
505021309**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Şubat 2010

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mahir VARDAR (İTÜ)
Eş Danışman : Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mete İNCECİK (İTÜ)**

ŞUBAT 2010

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışması, Ayvalı barajı ve HES kati proje kapsamında Ayvalı Barajı eksen yeri ve dolayının mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi ve bölgede hakim olan Oltuçayı Volkanitleri'nin jeoteknik açıdan değerlendirilmesini konu edinmiştir. Proje alanı, Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Erzurum ili, Oltu ilçesi sınırları içerisinde de bulunmakta olup Oltu çayı üzerinde yer almaktadır. Silindirle sıkıştırılmış beton ağırlık baraj tipinde olup talvegten yüksekliği 118.00 metre, temelden yüksekliği 177.00 metredir.

Litolojisi değişmeyen kaya ortamındaki farklılaşmayı anlamlı bir yaklaşım ile belirlenmesine iyi bir örnek olan Oltuçayı Volkanitlerinin tez kapsamında çalışılmasında beni yönlendiren ve tezin her aşamasında bana destek olan Hocam Prof. Dr. Mahir VARDAR' a en içten teşekkürlerimi sunarım. İnceleme alanının jeolojisinin derlenmesinde yardımlarını esirgemeyen Hocam Prof. Dr. H. Serdar AKYÜZ'e teşekkürlerimi sunarım. Tezin ilk aşamalarından itibaren benden desteklerini esirgemeyip bilgi ve bilgi kaynaklarını benimle paylaşan ve halen çalışan olduğum SİAL Yerbilimleri Etüt ve Müşavirlik Ltd. Şirketi'nin yetkilileri Saim KALE'ye, Behiç ÇONGAR'a ve Orhan ŞİMŞEK'e teşekkürlerimi sunarım. Tez yazım aşamasın her daim yanımda olan ve beni cesaretlendiren Yasemin ATALAY,'a çok teşekkür ederim. Bu tezin oluşturulmasında bilgilerin derlenmesinde yardımlarını esirgemeyen başta Önder DEMİRTEL olmak üzere tüm Özdoğan Enerji A.Ş. yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim..

Eğitimim süresince ve tez hazırlanması aşamasında beni sürekli destekleyen aileme başta annem Türkan ERTİN olmak üzere en samimi ve içten teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2009

Altay ERTİN

Jeoloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Ayvalı Barajı ve Hidroelektrik Tesisleri'nin Tanıtılması	1
1.3 Haritalama ve Çalışma Yöntemi	4
2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI.....	7
2.1 Coğrafi Konum ve Morfoloji	7
2.2 İklim ve Bitki Örtüsü	9
2.3 Akarsu ve Göller	9
2.4 Ulaşım	10
2.5 Ekonomi	10
3. GENEL JEOLojİ.....	13
3.1 Önceki Çalışmalar	13
3.2 Bölgesel Jeoloji	14
3.2.1 Mesozoyik.....	15
3.2.2 Senozoyik.....	16
3.3 Baraj Yeri'nin Jeolojisi	18
3.4 Depremsellik	20
3.5 Yapısal Jeoloji ve Tektonik.....	21
4. MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ ÇALIŞMALARI VE JEOTEKNİK	
DEĞERLENDİRMELER	25
4.1 Yapılan Çalışmalar	25
4.1.1 Mühendislik jeolojisi haritası.....	25
4.1.2 Sondajlar	25
4.1.3 Yerinde basınçlı su deneyleri.....	27
4.1.4 Laboratuvar deneyleri	28
4.2 Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri.....	28
4.2.1 Jeolojik haritalama verileri	29
4.2.2 Fiziksel ve mekanik özellikler	34
4.2.3 Kaya kütlelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	40
4.2.4 Farklı yöntemlere göre belirlenmiş olan kaya kütle dayanımlarının karşılaştırılması.....	55
4.2.5 Kaya kütlelerinin deformasyon modülü	56
4.2.6 Kayaçların geçirimsizlik açısından incelenmesi	58

4.3 Baraj Gövdesi Temeli ve Yamaç Duraylılığı	60
4.3.1 Kazı yüzeylerinin kinematik açıdan incelenmesi	60
4.3.2 Taşıma gücü	66
5. DEĞERLENDİRME VE DURAYLILIK İRDELEMESİ.....	71
KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ	107

KISALTMALAR

cm	: Santimetre
GSI	: Jeolojik Dayanım İndeksi
HES	: Hidroelektirik Santrali
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
km	: Kilometre
m	: Metre
mm	: Milimetre
MÖ	: Milattan Önce
M_w	: Moment Büyüklüğü
g	: Yerçekimi İvmesi, Gravite
MPa	: Mega Pascal
RMR	: Kaya Kütlesi Sınıflaması
RQD	: Kaya Kalitesi Tanımlaması
SCR	: Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı
SR	: Yapısal Özellik Puanı
SSB	: Silindirle Sıkıştırılmış Beton
UCS	: Tek Eksenli Basınç Direnci
UTM	: Universal Transverse Mercator

SEMBOL LİSTESİ

E_i	: Elastisite Modülü
E_m	: Deformasyon Modülü
I_{UCS}	: Dayanım Parametresi Değeri
$I_{(50)}$	: Nokta
J_v	: Hacimsel Eklem Sayısı
M_i	: Malzeme Sabiti
σ	: Basınç Direnci
θ	: İçsel sürtünme açısı
ν	: Poisson oranı
γ	: Birim hacim ağırlık
σ_t	: Çekme Direnci
$\sigma_{taş}$	: Taş Direnci
σ_{max}	: Maksimum Asal Gerilme
σ_{min}	: Minimum Asal Gerilme
c	: Kohezyon
$^{\circ}C$	: Derece Santigrad
$^{\circ}$	: Derece
$'$	: Dakika
q_{ult}	: Kabul Edilebilen En Yüksek Taşıma Gücü
R_r	: Pürüzlülük
R_w	: Bozunma
R_f	: Dolgu
N_c, N_{γ}, N_q	: Taşıma Gücü Faktörleri
$\zeta_c, \zeta_{\gamma}, \zeta_q$	: Şekil, Eğim, Derinlik Faktörleri

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 : Ayvalı Barajı'nın genel özellikleri	3
Çizelge 4.1 : Baraj yerinde açılan sondaj kuyuları özet tablosu.....	26
Çizelge 4.2 : Kayaçların bozunma derecesi (ISRM, 1981)	29
Çizelge 4.3 : Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli basınç direnci ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981)	30
Çizelge 4.4 : Baraj yerindeki süreksizlik takımlarının özellikleri	33
Çizelge 4.5 : Sağ yakada yapılan kaya mekaniği deneyleri.....	35
Çizelge 4.6 : Dere yatağında yapılan kaya mekaniği deneyleri.....	36
Çizelge 4.7 : Sol yakada yapılan kaya mekaniği deneyleri	36
Çizelge 4.8 : Baraj yerinde yapılan kaya mekaniği ortalama deney sonuçlarının zonlara göre dağılımı	37
Çizelge 4.9 : Oltu Çayı volkanitlerinin kaya mekaniği deneylerinden elde edilen sonuçların istatistiksel özet tablosu	40
Çizelge 4.10 : Birim Kaya Elemanlarının Biçim ve Boyutlarına göre tanımı (Müller, 1968).....	42
Çizelge 4.11 : RMR sisteminde kaya sınıfları ve puanları	45
Çizelge 4.12 : RMR sisteminde kaya sınıflarının bazı özellikleri	45
Çizelge 4.13 : Farklı Kayaç Türleri İçin Post Failure Deneylerinde Elde Edilen Direnç Düşüm Değerleri.....	48
Çizelge 4.14 : İTÜ-MJKM-Vardar sınıflama sistemine göre kaya kütle parametreleri.....	51
Çizelge 4.15 : Süreksizlik yüzey koşulu puanları (SCR)	52
Çizelge 4.16 : Baraj yeri ve çevresi için modifiye edilmiş GSI tespiti.....	52
Çizelge 4.17 : Oltu çayı volkanitleri için kaya kütle parametreleri.....	55
Çizelge 4.18 : Farklı sistemlere göre bulunan kaya kütle parametrelerinin karşılaştırılması.....	56
Çizelge 4.19 : Deformasyon modülü hesaplamaları.....	57
Çizelge 4.20 : Eklem yüzeyi boyunca yapılan kesme kutusu deneyleri.....	63

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 : İnceleme alanı ve baraj yeri	2
Şekil 1.2 : Ayvalı Barajı simülasyonu	3
Şekil 2.1 : Erzurum İlinin ve İnceleme Alanının Coğrafik Konumu.....	8
Şekil 3.1 : Proje Alanı ve Çevresinin Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti	18
Şekil 3.2 : Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası Erzurum (Afet İşleri Genel Müdürlüğü).....	21
Şekil 3.3 : İnceleme alanının diri fay haritası (MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi)	23
Şekil 4.1 : Andezitik kayaçların hakim olduğu yamaçlar.....	31
Şekil 4.2 : Andezitik kayaçların hakim olduğu sarp yamaçlar	32
Şekil 4.3 : Baraj yerindeki süreksizliklerin dağılımı	32
Şekil 4.4 : Hidrotermal ayrışmaya (alterasyona) uğramış Kayacın genel görünümü. Tamamen serizitleşmiş-killeşmiş ince taneli bir hamur içerisinde mikrokristalin kuvars (beyaz-gri renkli) ve pirit (siyah renkli) mineralleri (2.5 X büyütme, çift nikol)	34
Şekil 4.5 : Tek Eksenli Basınç Direnç'lerinin derinlik ile düzensiz dağılımı	38
Şekil 4.6 : Elastisite modülü'nün derinlik ile düzensiz dağılımı	38
Şekil 4.7 : Poisson Oranı'nın derinlik ile düzensiz dağılımı.	39
Şekil 4.8 : Birim hacim ağırlıkları'nın derinlik ile düzensiz dağılımı.....	39
Şekil 4.9 : Kaya Mekaniğinde aynı ortamın "Sistem Büyüklüğü"ne bağlı olarak farklı şekilde davranmasının Post- failure davranışı ile açıklanması (Vardar, 2002).	46
Şekil 4.10 : Tek Eksenli Basınç Dirençlerine Bağlı Olarak Taş-Kaya İlişkisi (Vardar, 1977)	46
Şekil 4.11 : Oltuçayı volkanitlerinin kütle parametreleri	55
Şekil 4.12 : Baraj Yerinde Yapılan Lugeon Değerlerinin Dağılımı	58
Şekil 4.13 : Düzlemsel kayma koşulu.....	61
Şekil 4.14 : Kama tipi kayma koşulu.....	62
Şekil 4.15 : Devrilme tipi yenilme koşulu	63
Şekil 4.16 : Sol sahil için kinematik analiz	65
Şekil 4.17 : Sağ sahil için kinematik analiz	66
Şekil 4.18 : Süreksizliklerin konumları ve kayaç yenilme türlerine göre taşıma gücü eşitlikleri (U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Manual 1110-1-2908'den geliştirilmiştir.)	68

AYVALI BARAJI EKSEN YERİ (ERZURUM – OLTU) VE DOLAYININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ, OLTUÇAYI VOLKANİTLERİNİN JEOTEKNİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesi amacı ile çıkarılan kanun uyarınca ülkemizde çeşitli kapasite ve büyüklüklerde Hidroelektrik Santral (HES) projeleri yapılmasına ve uygulanmasına başlanmıştır. Ayvalı Barajı ve HES projesi bu kapsamda projesi tamamlanan ve uygulama aşamasında olan ve 125 Megawatt ünite gücü ve yıllık 325.20 GWh enerji üretimi ile ülkemizdeki büyük baraj ve HES'ler arasına girecektir.

175 metre yüksekliğinde silindirle sıkıştırılmış beton baraj tipinde projelendirilen baraj, yeşil, gri ve yeşilimsi gri renkli dasit- riyodasit ve riylit bileşimli kayalardan oluşan Oltuçayı volkanitleri üzerinde inşaa edilecektir. Bu kapsamda ön proje ve kati proje aşamaları için baraj yeri ve civarının kapsamlı jeoteknik etüdlere tamamlanmıştır.

Jeoteknik etüdlere kapsamında toplam derinliği 1784,2 metre olan 29 adet sondaj kuyusu açılmış ve baraj yerine ait fiziksel ve mekanik parametrelerin değerlendirilmesi için açılan bu 29 sondajdan alınan korunmuş karotlar üzerinde gerekli kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır.

Baraj yerinde yapılan saha ve ofis çalışmaları neticesinde kayaların mühendislik jeolojisi tanımları yapılmış ve kaya ortamın fiziksel ve mekanik parametrelerini belirlenmiştir. Belirlenen parametreler göre Ayvalı Barajı eksen yeri ve dolayına ait kaya sınıflamaları verilmiştir. Ayrıca kaya ortamının belirlenen jeoteknik parametrelerine göre kaya taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır.

Bu kapsamda, ortamdaki kaya kütlelerini temsil eden sınıflama sistemi seçilmiş ve jeoteknik parametreler elde edilmiştir. Yerinde yapılan basınçlı su deneyleri sonucunda geçirimsizliğin derinlikle net bir azalma göstermediği ve oldukça heterojen bir dağılım içinde olduğu görülmüş ve bu sebeple enjeksiyon galerileri önerilmiştir. Baraj gövdesinin oturacağı Oltuçayı Volkanitlerinde izin verilen taşıma gücü hesaplanmış ve tartışılmıştır. Ayrıca yamaçların inşaat aşamasında duraylılığı için kinematik analizler yapılmış ve 1Y:1D şev geometrisinde büyük kütsel stabilize problemi olmayacağı görülmüştür.

ENGINEERING GEOLOGY OF AYVALI DAM ALIGNMENT (ERZURUM - OLTU) AND SURROUNDINGS, GEOTECHNICAL EVALUATION OF OLTUÇAYI VOLCANITES

SUMMARY

Hydroelectric Plants (HEPP) of various capacities and sizes have been started to built and functioned in our country as provisioned by the law that was passed on the expansion of the utilization of renewable energy resources for generating electrical energy, benefiting from these resources in secure, economic and qualified manner, increasing the diversification of energy resources, reduction of the greenhouse gas emissions, assessment of waste products, protection of the environment and the development of the related manufacturing sector for realizing these objectives. Ayvali Dam and HEPP project, having its project completed and standing on the applicatory status with unite power of 125 Megawatts and 325.20 Gwh annual energy production, will take its place among the large dams and HEPP's of our country.

The dam, which has been projected in the type of Roller Compacted Concrete (RCC) is compressed 175 meter in height, will be built on the Oltuçayı volcanites which are composed by green, grey, and greenish grey dasite- rioidasite and riolite. Under this framework, the geotechnical studies of the dam site and its environs have been completed for the feasibility and final project levels.

As part of the geotechnical studies, 29 boreholes with a depth of 1784,2 meters have been drilled and the necessary rock mechanics laboratory tests have been carried out on cores that were taken from these 29 boreholes with the aim of evaluating the physical and mechanical parameters of the dam site.

As a result of the field and office studies that were carried out in the dam site, the engineering geological definitions of the rocks were outlined and the physical and mechanical parameters of the rock mass were determined. Ayvali Dam alignment and the rock mass classifications of its surroundings were put forward in line with the defined parameters. Moreover, rock bearing capacity values were calculated according to the defined geotechnical parameters of the rock mass.

Within this framework, the classification system that would represent the rock mass was chosen and the geotechnical parameters were obtained. As a result of the lugeon test results that were carried out in the site, it was seen that permeability does not decrease as the depth decreases and that it has a quite heterogenous allocation, therefore injection galleries were suggested. The bearing capacity in the Oltuçayı Volcanites, upon which the dam body would be constructed was calculated and discussed. Moreover, kinematic analyses were carried out for the stability of the slopes in the construcion phase and it was seen in the 1Y 1D slope geometry that there would not be a big mass stability problem.

1. GİRİŞ

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında Erzurum ili sınırları içerisinde yapılacak olan “Ayvalı Barajı ve HES Tesisleri Kesin Projesi” kapsamında, Ayvalı Barajı eksen yeri ve dolayının mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi ve bölgede hakim olan Oltu çayı Volkanitleri’nin farklı zonlara göre jeoteknik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır. Kayacın irdelenen fiziksel ve mekanik özelliklerine göre kaya kütlelerinin dayanım parametreleri farklı araştırmacılara göre bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca tez kapsamında baraj temel ve yamaç duraylılığı irdelenmiştir.

Kesin projesi tamamlanan enerji amaçlı 175 metre yüksekliğindeki silindirik sıkıştırılmış beton barajı ve derivasyon tüneli Oltu çayı volkanitleri üzerinde inşa edilecektir. Bu kapsamda ön proje ve kati proje aşamaları için baraj yeri ve civarının kapsamlı jeoteknik etüdleri tamamlanmıştır.

Aynı litoloji içerisinde farklılaşmaların oluşmasında homojenliği ve anizotropiyi etkileyecek olan parametreler ve süreksizlikler sistem büyüklüğüne göre derlenerek kaya kütle parametreleri belirlenmiş, baraj temeli ve yamaç duraylılıkları irdelenmiştir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Kayanın mekanik davranışı, litolojisi ile birlikte, süreksizlikler ve ayrışma olmak üzere yapısal ve çevresel özellikler belirlenmektedir.

Bu çalışmanın amacı; Ayvalı Barajı örneğinde; baraj eksen yeri ve sanat yapılarının yer aldığı kesimlerde karşılaşılan Oltu çayı volkanitlerinin ayrışma ve süreksizliklere bağlı olarak dayanım değişimlerinin araştırılması ve irdelenmesidir.

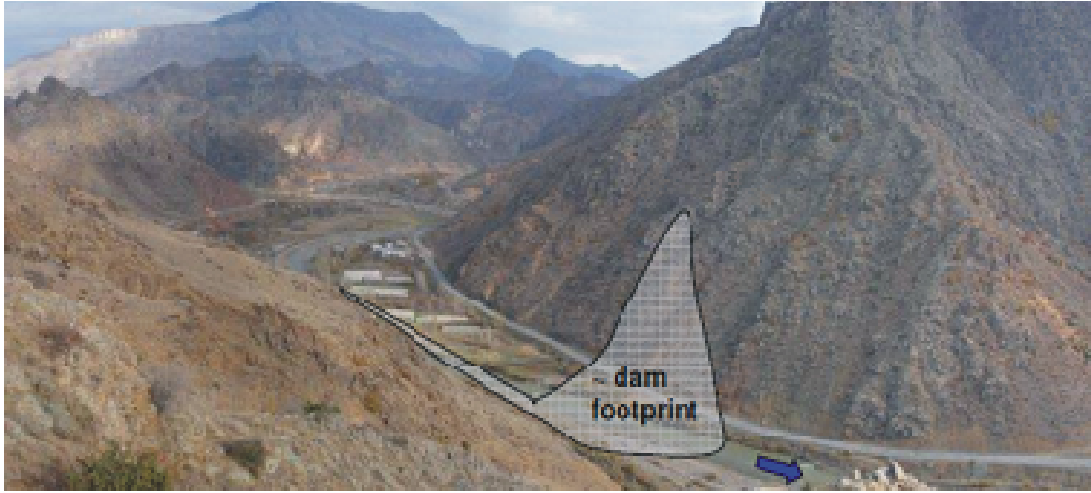
1.2 Ayvalı Barajı ve Hidroelektrik Tesisleri’nin Tanıtılması

Proje alanı, Doğu Anadolu Bölgesi’nde, Erzurum ili, Oltu ilçesi sınırları içerisinde bulunmakta olup Oltu çayı üzerinde yer almaktadır. Ayvalı barajı, göl alanı ve HES tesisleri Tortum G 47 – b3 ; G 47 – b4 ; G 47 – c1 ; G47 – c2 ; Kars G 48 – d1 1: 25

000 lik paftalar içerisinde bulunmaktadırlar. Baraj yeri Karatuş mahallesi yakınlarında, santral yeri ise Anzav deresi üzerindedir. 6° UTM'ye göre baraj yeri koordinatları $y = 4\,517\,169.13$ ve $x = 747\,309.60$ dir.

Erzurum-Artvin D-950 nolu devlet karayolu üzerinden Yusufeli – Olur kavşağına ulaşılmaktadır. Buradan D-060 nolu devlet karayolu Olur ilçesi yönünde takip edilerek baraj yerine her mevsim ulaşmak mümkündür. Regülatör ve santral yerleri D-060 nolu devlet karayolu üzerinde yer almaktadır. Yollar her mevsim ulaşılabilir açıktır.

Enerji amaçlı yapılacak olan baraj, Erzurum ili, Oltu çayı üzerinde olup Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) tipinde inşaa edilecektir (Şekil 1-1 ve Şekil 1-2). Drenaj alanı 4517 km² olan barajın genel özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 1-1).



Şekil 1.1 : İnceleme alanı ve baraj yeri



Şekil 1.2 : Ayvalı Barajı simülasyonu

Çizelge 1.1 : Ayvalı Barajı'nın genel özellikleri

Tipi	: SSB (Silindirle Sıkıştırılmış Beton)
Kret Kotu	: 935,00 m
Kret Uzunluğu	: 460 m
Temelden Yüksekliği	: 175,00 m
Toplam Dolgu Hacmi	: 1 900 000 m ³
Derivasyon Tüneli	: Sol sahilde 6,0 m çapında 1 adet dairesel kesitli, Betonarme tünelden ibaret olup, uzunluğu 535 m.
Taşkın debisi	: 350,74 m ³ /s
Dolusavak Tipi	: Kapaklı, 13,5 m x 6,0 m boyutunda 3 adet
Dolusavak Kapasitesi	: 817,83 m ³ /s
Göl Alanı	: 8,20 km ²
Yıllık Ortalama Su	: 696 230 000 m ³ /yıl

Maksimum Su Seviyesi	: 930,00 m
Toplam Göl Hacmi	: 354 800 000 m ³
Santral Binası	: Barajın 10,5 km mansabında gömülü tipte 19.00m genişliğinde, 44.50m uzunluğunda ve 42.00m yüksekliğindedir.
Ünite Sayısı	: 1 adet
Türbin Tipi	: Düşey eksenli FRANCIS
Ünite Gücü	: 125 Mw
Toplam Kurulu Güç	: 125 Mw
Proje Düşüsü	: 217,30 m
Proje Debisi	: 67 m ³ /s
Ünite Devir Sayısı	: 300 d/d
Yıllık Enerji Üretimi	: 325.20 GWh/yıl

1.3 Haritalama ve Çalışma Yöntemi

Çalışmalarda öncelikle, proje alanı ve çevresinde daha önce yapılmış jeolojik etüt ve araştırmaların bilgilerini içeren raporlar incelenmiş ve proje çalışma alanının jeolojik durumu hakkında ön bilgi edinilmiştir. Daha sonra önceki alt başlıklarda belirtilen amaç doğrultusunda baraj temeli ve yamaç duraylılığı için, süreksizlik ölçümleri yapılmış, kayanın dayanım parametreleri bulunmuş ve bulunan bu parametrelere göre kayaç taşıma gücü irdelenmiş ve kinematik analiz yöntemi kullanılarak yamaç şevleri değerlendirilmiştir. Bu işlemlere ek olarak baraj yeri ve dolayının morfolojik, jeolojik ve hidrojeolojik değerlendirmesi ve yorumu yapılarak karşılaşılan olumsuzlukların olası nedenleri ve riskleri tartışılmıştır.

Bu çerçevede kesin proje sırasında arazide mekanik sondajlara ve yerinde deneylere dayalı ayrıntılı jeolojik ve mühendislik jeolojisi çalışmaları yapılmış, baraj yeri ve derivasyon tünelinin 1:1000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası ve boy kesitleri hazırlanmıştır.

Temel kayaçlarının süreksizlikleri ve ayrışma durumları yüzey gözlem ve ölçümleriyle belirlenmiştir. Değişik yer ve derinliklerden alınan kayaç örnekleri

üzerinde kayaların fizikomekanik özellik ve parametrelerini tespit etmek üzere laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

Oltuçayı volkanitlerinin genel davranışı jeoteknik açıdan irdelenmiş, kaya kütle parametreleri tespit edilmiş ve temel taşıma gücü hesapları ile yamaç duraylılık analizleri yapılmıştır.

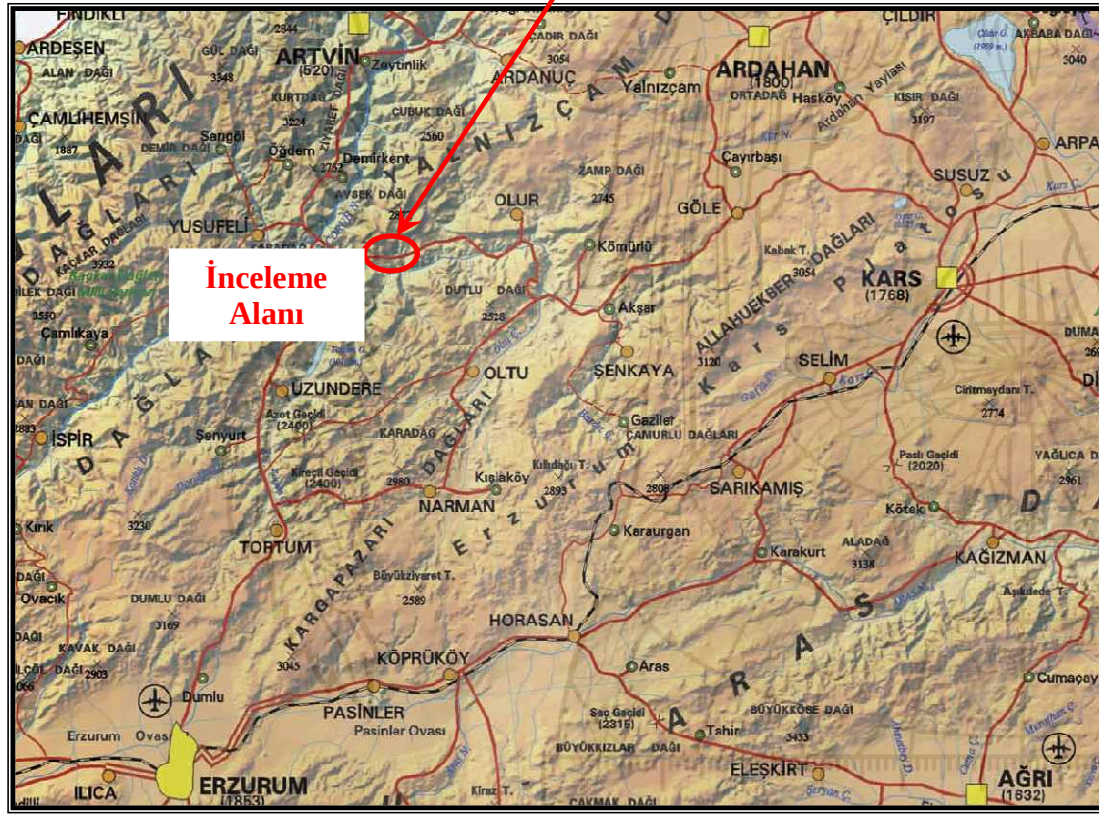
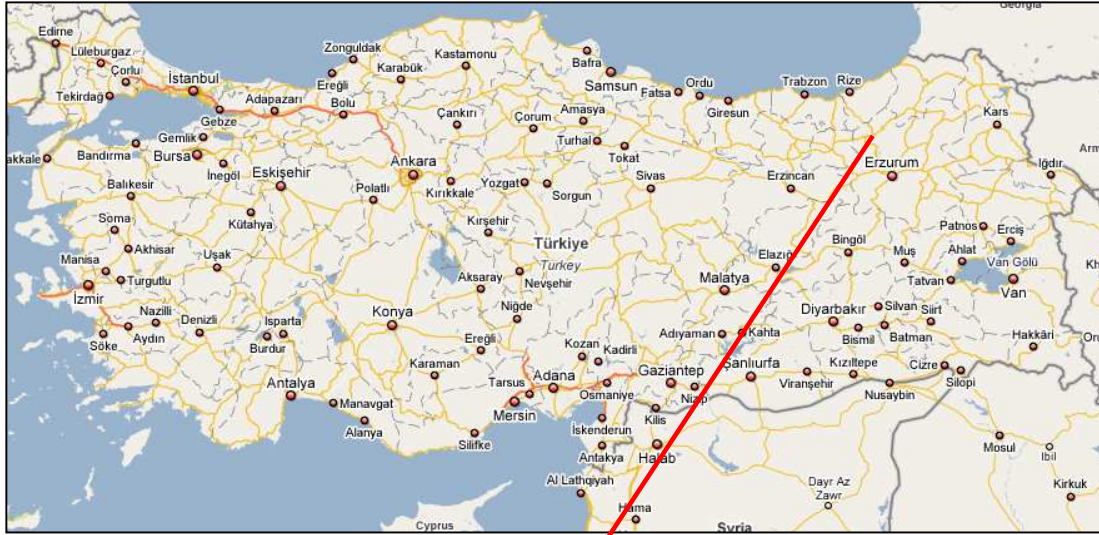
2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI

Bu bölümde, inceleme alanının coğrafi konumu, morfolojisi, iklim ve bitki örtüsü açıklanmıştır. İnceleme alanının bulunduğu coğrafyanın ulaşım bilgileri ve ekonomisi tanıtılmıştır.

2.1 Coğrafi Konum ve Morfoloji

İki coğrafi bölgede toprakları bulunan Erzurum İlinin arazi büyüklüğü, yaklaşık 25.066 km² kadar tutar. Bu toprakların kuzey kesimindeki İspir, Narman, Oltu, Olur, Pazaryolu, Tortum ve Uzundere İlçelerinin toprakları, Karadeniz Bölgesinin Doğu Karadeniz sınırları içinde kalmaktadır. Bu kesim, İl topraklarının yaklaşık % 30' luk bir payını oluşturur. Geriye kalan % 70 gibi önemli bir pay, Doğu Anadolu Bölgesi dahilinde yer alır. İl, arazi büyüklüğü bakımından, sırayla Konya, Sivas ve Ankara İllerinden sonra, Türkiye' nin 4. büyük ili konumundadır.

Erzurum İli, genel olarak yüksek arazilerden oluşur. Örneğin platoların deniz düzeyine göre yükseklikleri 2000 m' yi bulur, bunların üstünde yer alan dağların yükseklikleri ise, 3000 m. ve daha yüksektir. Platolar ve dağlar arasında, yükseklikleri yaklaşık 1500 ila 1800 metrelere ulaşan depresyon ovalarıyla oluklar yerleşmiştir. Karasu-Aras Dağlarının bazı dağ kütleleri, Erzurum İli arazisini güneyde engebelenirmiştir. Bunların en önemlileri, Erzurum kenti ve Erzurum ovası (825 km²) güneyinde yer almakta olan Palandöken Dağları (Büyük Ejder 3176 m.) ve Pasinler Ovası (540 km²) güneyinde yer alan Şahveled Dağları (Çakmak Dağı 3063 m.) olup, Bingöl Dağlarının kuzey yarısı da yine Erzurum İli sınırları içinde kalmaktadır.



Şekil 2.1 : Erzurum İlinin ve İnceleme Alanının Coğrafik Konumu

İl topraklarını kuzeyden engebelenlendirmiş olan dağlara, Kuzey Anadolu Dağlarının ikinci sırasına bağlı yükseltilerdir. Bunların başlıcaları, İspir ve Erzurum arasında yer alan Mescit Dağları (en yüksek nokta 3239 m.), onların doğusundaki Kargapazarı Dağları (Dumlu Dağı 3169 m.) ve bir kısmı Kars ili sınırları içinde kalan Allahuekber dağlarıdır. Söz konusu edilen bu kuzey ve güneydeki dağların arasına, iki önemli depresyon ovası yerleşmiştir. Bunlar Erzurum Kentinin de kenarında

kurulmuş olduğu Erzurum ovası ve Hasankale ovası olup, her iki ovayı birbirinden, 2030 m. yükseklikteki Deveboynu beli ayırır. Bunlardan Erzurum ovasının en alçak kesimi 1850 m, Hasankale ovasının ise, 1650 m. kadardır.

2.2 İklim ve Bitki Örtüsü

İl arazisinin büyük çoğunluğunda, karasal iklim özellikleri egemendir. Kışlar uzun ve sert, yazlar kısa ve sıcak geçer. İl topraklarının kuzey kesimlerinde, yüksekliği yaklaşık 1000 ila 1500 metrelere inen vadi içleriyle çukur sahalarda iklim, büyük ölçüde sertliğini yitirir. Erzurum il merkezindeki meteoroloji istasyonunda 1929’ dan bu yana gözlem yapılmaktadır. Yaklaşık 70 yılı bulan gözlem sonuçlarına göre, ilde en soğuk ay ortalaması, -8.6 °C, en sıcak ay ortalaması 19.6 °C, en düşük sıcaklık -35 °C ve en yüksek sıcaklık ise, 35 °C olarak ölçülmüştür. Yıllık yağış tutarı 453 mm. kadardır. En az yağış kış devresinde düşer. Bu devrenin yağışları kar biçiminde olup, kar yağışlı gün sayısı 50 ve kar örtüsünün yerde kalış süresi ise 114 gün kadardır. En yağışlı devre ilkbahar ve yaz mevsimleridir.

İl arazisinde egemen doğal bitki örtüsü, step formasyonudur. Orman örtüsü, pek yaygın değildir. Bu örtünün alt sınırı, 1900-2000 metrelerde başlamakta ve üst sınırı, 2400 metrelerde son bulmaktadır. Başlıca orman örtüsü alanları, Oltu, Olur ve Şenkaya ilçelerindeki sarıçam ve meşe ormanlarıyla, Erzincan-Aşkale sınırlarında rastlanan meşe ormanlarıdır. İl arazisinin % 60’ tan biraz fazlası steplerle kaplıdır. Bu doğal bitki örtüsü, yer yer keven topluluklarıyla verimsiz hale gelse de, geniş alanlarda mera hayvancılığına uygun verimli çayırliklar durumundadır.

2.3 Akarsu ve Göller

İl topraklarının doğu yarısı, Hazar akaçlama Havzası içinde kalır. Bu kesimin sularını, Aras Irmağı toplar. Batı kesimi ise, Basra Körfezi akaçlama alanında, kuzey kesimi de Karadeniz akaçlama havzasında kalır. Batı kesimi sularını Karasu, kuzey kesimininkini ise, Tortum ve Oltu çaylarının birleşmesiyle oluşan Çoruh ırmağı toplar.

İlde doğal göller azdır. Yapay göller ise, yeni yeni oluşmaktadır. İlin en önemli doğal gölü, Tortum çayı üzerinde oluşmuş, bir heyelan-sed gölü olan, Tortum gölüdür. Aslında bu göl, yönetim olarak, 1997’ de ilçe merkezi yapılan Uzundere ilçesi

yönetim sınırları içinde kalır. Alanı yaklaşık 8 km² kadar olan bu göl, kuzey batıda yer alan Kemerli dağından heyelan yoluyla kayan kütlelerin, Tortum çayının yatağını tıkaması yoluyla oluşmuştur. Bu nedenle çayın eski yatağı değişmiş ve önünde yüksekliği 48 metreyi bulan ünlü doğa harikası Tortum (Uzundere) Çağlayanı oluşmuştur. Gölün suları, 1963 yılında faaliyete geçen ve 1 km kadar kuzeydeki alçak bir boğazda kurulmuş olan Tortum santralını çalıştırmaktadır. Fazla sular ise, serbest akışa bırakılarak, Tortum çağlayanını oluşturmaktadır. Serçeme çayı üzerinde yer alan Kuzgun barajı (10.3 km²), Lezgi suyu üzerindeki Palandöken Göleti (22 km²), Lezgi, Pisyan Dereleri üzerinde Çat Barajı (220,5 km²), Tımar Çayı üzerinde Demirdöven Barajı (1,45 km²), Aras ırmağı üzerinde Söylemez barajı (46,3 km²) bölgedeki yapay göllerin başlıcalarıdır.

2.4 Ulaşım

Erzurum ili uluslararası karayolu, havayolu ve demiryolu ağı üzerindedir. Tüm İlçelere karayolu bağlantıları mevcuttur.

Uluslararası Erzurum Hava Limanı yıllık 2 milyon yolcu kapasitesine sahip olup, aynı anda 7 uçak barındırabilmektedir. ILS (Aletli İniş Sistemi) ile 24 saat uçak inebilmekte, yurtdışından gelen uçakların geçici gümrük işlemleri de yapılabilmektedir.

Hava Limanı şehir merkezine 10 dakika, kayak merkezine 20 dakika mesafededir. Aylık ortalama 202 uçağın iniş kalkış yaptığı Havalimanına 2008 yılında 4.842 adet uçak inmiştir. Havalimanını kullanan yolcu sayısı ise toplam 527.605'dir.

Erzurum ili, İstanbul-Haydarpaşa-Kars demiryolu hattı üzerindedir. Doğu Ekspres ve Mavi Tren Erzurum'dan geçmekte ve bu seferler her gün karşılıklı olarak yapılmaktadır.

2.5 Ekonomi

Özellikle kırsal kesimde halk geçimini tarım ve hayvancılıkla sağlamaktadır. Hayvancılık önemli bir yer tutmakta ise de girdi maliyetleri yüksek olduğu için et ve süt verimi düşük olmaktadır, bu ise hayat standardını önemli oranda etkilemektedir. Bunun yanı sıra memur ve işçi istihdamı, üniversite öğrencileri ve askeri birlikleri

bulunması ekonominin hareketliliği bakımından önemli bir etki sağlamakla birlikte sosyo-kültürel yönden de olumlu sonuçlar doğurmaktadır.

3. GENEL JEOLJİ

Çalışılan bölge pontidler tektonik ünitesi içinde yer alır. Hersiniyen ve Alpin orojenezleri etkisiyle kıvrımlanmış ve faylanmıştır. Bölgede en yaşlı birim (Jura) olarak Oltuçayı Volkanitleri mostra verir. Baraj yeri jeolojik özellikleri açısından Doğu Karadeniz bölgesinde yer almaktadır. Bu bölümde öncelikle baraj yeri ve dolayının jeolojik birimlerin yayılımının iyi anlaşılabilmesi için Oltu çayı havzasının stratigrafisi ve bu bölgede yapılan önceki çalışmalar özetlenmiştir. Baraj eksenin oturacağı ve dervisayon tünel güzergahının geçtiği Oltuçayı Volkanitleri'ne ise daha ayrıntılı olarak değinilmiştir.

3.1 Önceki Çalışmalar

Çoruh nehri ve yan kolları üzerinde jeolojik çalışmaların başlama tarihi 1940'lı yılların sonlarına dayanmaktadır. Bölgede bir çok araştırmacı tarafından arazi etüt çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanını içeren en eski jeolojik çalışmalar Ketin (1949-1951) tarafından Borçka – Tortum civarının jeolojisi için yapılmıştır. Daha sonraları bölgede Altınlı (1969), Çağatay ve Arda (1975), Eroskay ve Yılmaz (1981), Taşlıca ve Ertunç (1983), Bozkuş (1992) çeşitli ölçekte jeoloji harita alımı ve cevher yatakları prospeksiyonu ve stratigrafik çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca bölgenin MTA tarafından hazırlanmış ve halen yayınlanmamış raporları ve paftaları mevcuttur.

Oltu çayı üzerinde yapımı düşünülen Ayvalı Barajı ve HES tesislerinin etüt çalışmaları 1982 yılında EİE tarafından başlatılmıştır. Çoruh - Oltu çayı vadisi bir bütün olarak ele alınarak “Çoruh Nehri Master Plan Raporu” olarak ilk çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 1987 yılında Oltu çayı vadisi projeden ayırtlanmış ve çalışmalara ayrı olarak devam edilmiştir. Yapılan bu çalışmalar 1990 yılında “Oltu Çayı Havzası Master Plan Plan Raporu” adıyla yayımlanmıştır. Bu proje kapsamında çeşitli baraj ve HES yeri alternatifleri değerlendirilmiş, ekonomileri karşılaştırılmıştır. Oltu çayı

projesi etüt işleri EİE tarafından JİCA'ya verilmiştir. Bu çalışma JİCA tarafından 1992 yılında “Feasibility Study on Oltu River Hydroelectric Power Development Project” adı ile yayımlanmıştır. Ayvalı baraj yeri ve HES tesisleri “Oltu Çayı Ayvalı Barajı ve HES Fizibilite Raporu” olarak hazırlanmış ve 2005 yılında yayımlanmıştır. Ayvalı baraj yerinin ve tipinin değiştirilmesi üzerine yeni bir çalışma yapılması zorunlu olmuştur. Ayvalı barajının yeni yerleşim yerindeki jeolojik çalışmalar SİAL tarafından gerçekleştirilmiştir.

3.2 Bölgesel Jeoloji

Projelerin yer aldığı çalışma alanı Doğu Anadolu Bölgesinin kuzeyinde bir bölümü Erzurum bir bölümü Artvin ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Konum itibarı ile Tortum G 47 – b3 ; G 47 – b4 ; G 47 – c1 ; G47 – c2 ; Kars G 48 – d1 numaralı 1:25000 lik paftalar üzerindedir. Proje alanı ve çevresindeki stratigrafik durumu daha iyi açıklamak amacı ile Ayvalı barajı ve yapı yerlerinin üzerinde bulunduğu Oltu çayı havzasının büyük bir bölümünün jeolojik durumu incelenmiştir. Genel jeoloji amaçlı inceleme alanının stratigrafik kesiti ve 1/25.000 ölçekli baraj yerinin jeoloji haritası hazırlanmıştır.

Proje alanı ve çevresinde Jura'dan Kuvaterner'e kadar çeşitli fasiyeslerde gelişmiş formasyonlar yüzeylenir. Temel kayayı genellikle asit magmatiklerden meydana gelen Oltuçayı volkanitleri oluşturur. Oltuçayı volkanitleri genel olarak dasit, riyo-dasit, monzonit, diyorit, monzonitporfir, diyoritporfir, tuf, volkanikbreş, andezit ve riyolitlerden oluşmuştur. Üst kısımlara doğru andezitik ve riyolitik lav akmaları ve volkanizmanın yavaşladığı dönemlerde de sedimanter ve volkanosedimanter çökelimler meydana gelmiştir. Bu volkanosedimanterler içerisinde de yer yer bazalt sokulumlarına raslanılmaktadır. Oltuçayı volkanitlerinin üzerine Alt Kretase'de uyumsuz olarak Yeşilbağlar kireçtaşı çökelmiştir. Liyas da başlayan ve Üst Kretase'ye kadar kesintisiz devam eden denizel çökelim devresinde Yeşilbağlar kireçtaşı üzerine uyumlu biçimde Pügey formasyonu gelmiştir. Pügey formasyonunun üzerine uyumsuz olarak Eosen yaşlı Karataş formasyonu, bunun üzerinde de Oligosen yaşlı Deliktaş formasyonu uyumsuz olarak yer alır. Bu birimlerin üzerlerine

de açısız uyumsuzlukla Pliyokuvaterner akarsu çökelleri, birikinti konileri, yamaç molozları ve alüvyon depozitleri yerleşmiştir.

Proje alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti **Şekil 3.1**'de verilmiştir. Bu stratigrafik kesitin hazırlanmasında, Bozkuş (1992) "Olur yöresinin stratigrafisi" den yararlanılmıştır.

3.2.1 Mesozoyik

Oltuçayı volkanitleri (Ja)

Çalışma alanında yaygın olarak görülen Oltuçayı volkanitleri çeşitli türdeki asit mağmatiklerden, sedimanter ve volkanosedimanterler ile bunların arasına sokulum yapmış bazaltlardan meydana gelmiştir. Oltuçayı volkanitleri çeşitli amaçlar doğrultusunda yapılan çalışmalarda farklı isimlerle adlandırılmışlardır. Oltuçayı volkanitleri içerisinde yer alan asit magma kayaların Yılmaz (1985) Köprübaşı dasitleri, sedimanter ve volkanosedimanterleri de Olurdere formasyonu olarak isimlendirmiştir. Tez içerisinde daha önce yazılan raporlar ile uygunluk sağlaması açısından bu formasyonlar birlikte değerlendirilerek Oltuçayı volkanitleri olarak adlandırılmıştır. Birim genel olarak yeşil, gri ve yeşilimsi gri renkli dasit ve riyodasit türde volkaniklerden oluşmuştur. Bu oluşumlar yer yer siyah porfirik dokulu pembe ortozlu monzonit ve diyorit sokulumları tarafından kesilmişlerdir. Yaygın olarak andezit ve riyolit sokulumları dayk ve siller şeklinde bu birimlerin içerisine yerleşmiştir. Oltuçayı volkanitlerinin üst seviyelerine doğru riyolit ve andezit lav akıntıları içeren tüfler bulunur. Volkanizmanın yavaşladığı ya da durakladığı dönemlerde ise sedimanterler ve volkanosedimanter kayalar çökelmiştir. Bunların içerisine bazalt sokulumları yerleşmiştir.

Yeşilbağlar kireçtaşı (Ky)

Bu formasyon Olur ilçesinin güney doğusunda, doğu-batı uzanımlı olup Pinitap tepe ve Ziyaret dağı çevresinde yüzeylenmiştir. Çalışma alanında mostraları bulunmamaktadır. Formasyon ilk kez Yılmaz (1985) tarafından isimlendirilmiştir. Gri renkli ince orta katmanlı killi-kumlu kireçtaşı, marn ardalanması ile başlayan formasyon açık krem renkli ince orta katmanlı kireçtaşı ile devam eder kilitaşı ara

katmanlı çötrlü-kumlu kireçtaşı ile son bulur. Alt Kretase yaşlı olan bu formasyon 900 metre kadar kalınlık göstermektedir.

Pügey formasyonu (Jkp)

Proje alanında santral yeri ve çevresi ile Oltu çayının kuzeyinde çalışma sahasının dışında yaygın olarak yüzeylenmektedir. Daha önce hazırlanan raporlarda Pügey formasyonu olarak adlandırılmış olup içerisinde Globotruncana lapparenti ve Hetero heliks fosilleri bulunmuştur. Üst kretaseyi temsil eden bu fosil çeşitlerini içeren formasyonlar Bozkuş (1992) tarafından Karasor, Boğazgören ve Akbayır formasyonları olarak ayırtlanmış ve tanımlanmıştır. Tez içerisinde karışıklığa meydan vermemek için Pügey formasyonu ismi ve (Jkp) rumuzu kullanılmıştır. Pügey formasyonu altta kırmızı, kırmızımsı kahverengi renkli, sarı, ince ve orta yer yer kalın katmanlı çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı ve marn ardalanması ile başlar üst tarafa doğru ince katmanlı nefti yeşil renkli aşırı kıvrımlı parçalanmış killi kireçtaşı, marn ardalanması ile son bulur. 1000 metre civarında bir kalınlık göstermektedir.

3.2.2 Senozoyik

Karataş formasyonu (Tk)

Formasyon inceleme alanının dışında yer alır. Kirli gri renkli kumtaşı, lav ve tuf ardalanmalı volkanosedimanterler ile yeşilimsi sarı renkli piroklastik kayalardan meydana gelmiştir. Birime ismi tip kesitin en iyi görüldüğü karataş köyüne izafeten ilk kez Bozkuş (1990) tarafından verilmiştir. Yoğun volkanik faaliyetlerin hüküm sürdüğü Eosen'de sık denizel ortamda oluştuğu söylenebilir. Ölçülebilen kalınlığı 400 metre civarındadır.

Deliktaş formasyonu (Td)

Birim Bozkuş (1990) tarafından adlandırılmıştır. Karasal bir fasiyeste gelişmiştir. Kırmızı, mor kahverengi renkli çakıltası, çakıllı kumtaşı, silttaşı ve kiltası ardalanmasından oluşmuştur. Birbirleriyle yanal ve düşey geçiş gösterirler. Yer yer lav ara katkılıdır. Deliktaş köyünde kalınlığın 550 metre civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Pliyokuvaterner çökeller(PLQ)

Bu çökeller, yatay konumlu olarak kendisinden yaşlı birimleri uyumsuz olarak örtmüştür. İyi seçilmemiş, gevşek tutturulmuş bloktaşı, çakıltası, kum, silt bir kaç santimetreden metre boyutuna varan bazalt, andezit, dasit, kireçtaşı, kumtaşı olmak üzere her türlü volkanik malzemeden türemiş çakıl, blok, kil silt ve kumdan oluşmuştur. Yer yer ritmik dereceli, yer yer de tekne tipi çapraz tabakalanma gösterirler. Kalınlığı birkaç metre ile 70-80 metre arasında değişir. Yüksek alanlardan sellenmelerle aşağıya inen malzemenin akak düzlüklerinde birikmesi ile oluşmuştur.

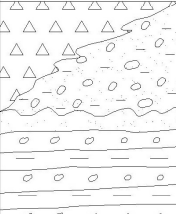
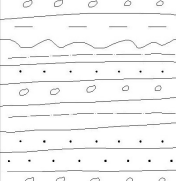
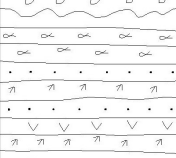
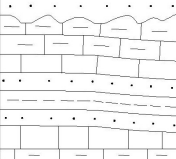
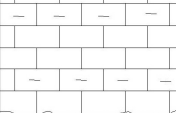
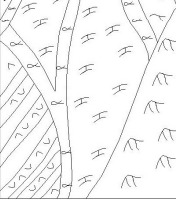
Kuvaterner

Alüvyon (Qal) :

Alüvyonlar, dar vadi içerisinde oldukça kalın olarak depolanmışlardır. Ayrışma ve alterasyonun yaygınlaşmış olduğu yörelerde topografyaya uygun olarak geniş sayılabilecek alanlarda yer alırlar. Aşınmanın az olduğu kısımlarda ise depolanma olanağı bulamamışlardır. İçerisinde ince malzeme az olup genellikle kireçtaşı, bazalt, dasit, riolit, andezit ve benzeri volkanik çakıl ve bloklardan oluşmuştur. Kalınlığı nehir topografyasına bağlı olarak 60 metreye kadar ulaşabilmektedir.

Yamaç Molozu (Qy) :

Yamaç Molozları İnceleme alanında oldukça yaygın olarak yüzeylenir. Tepelerin eteklerinde atmosferik kökenli ayrışma ürünü olarak istiflenmişlerdir. Tutturulmamış köşeli çakıl, blok boyutunda malzeme depozitleri olarak gözlenirler.

ZAMAN	DEVİR	DEVRE	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA	KALINLIK	DOKANAK İLİŞKİSİ
S E N O Z O Y İ K	T E R S İ Y E R	P L İ O K U V A T E R N E R			Qym : Yamaç molozu Qal : Alüvyon	25-60	UYUMSUZ
					Bk : Birikinti konisi, genelde sel sonucu oluşmuş depozitli. Plq : Gevşek çimentolu, çakıltası, kumtaşı karasal çökelleri.	4-80	UYUMSUZ
					Kumtaşı-Çakıltası-Silttaşı ardalanması.	550	UYUMSUZ
					Kumtaşı-Tüfit ardalanması, lav, tuf ara katmanlı.	400	UYUMSUZ
	K R E T A S E	Ü S T	P Ü G E Y F O R M A S Y O N U		Killi kireçtaşı, kireçtaşı, marn, kumtaşı, silttaşı ardalanması.	1000	UYUMSUZ
					Kumlu çörlü kireçtaşı.	900	UYUMLU
					Dasit-Riyodasit, diyorit, monzonit, diyorit porfir, monzonit porfir, andezit bileşimli magmatik kayalar ile üst seviyeleri ince-orta tabakalı sedimenter ve volkano sedimenterlerin bulunduğu yer yer bazalt sokulumlu magmatik-volkanik formasyon.		AÇISAL UYUMSUZLUK
	J U R A	L İ Y A S	A Y V A L I V O L K A N İ T L E R İ				

Şekil 3.1 : Proje Alanı ve Çevresinin Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti

3.3 Baraj Yeri'nin Jeolojisi

Ayvalı baraj yeri, Liyas yaşlı Oltuçayı volkanitlerinin üzerinde yer almaktadır. Çalışma alanında yaygın olarak görülen Oltuçayı volkanitleri çeşitli türdeki asit mağmatikler, sedimanter, volkanosedimanterler ve bunların arasına sokulum yapmış

bazaltlardan meydana gelmiştir. Oluçayı volkanitlerinde temel kayayı yeşil, gri ve yeşilimsi gri renkli dasit- riyodasit ve riyolit bileşimli kayalar oluşturur. Bunların arasına siyah porfirik dokulu pembe ortozlu monzonit ile gri-yeşil renkli diyoritler sokulum yapmışlardır. Diyorit ve monzonitler içerdikleri kuvars oranına göre yer yer kuvars diyorit ve kuvars monzonit biçiminde görülürler. Yer yer de andezitik-diyoritik ve latitik-monzonitik gibi ortaça kimyaya sahiptirler. Yaygın olarak andezit ve riyolit sokulumları dayk ve silller şeklinde bu birimlerin içerisine yerleşmiştir. Oluçayı volkanitlerinin üst seviyelerine doğru riyolit ve andezit lav akıntıları içeren tüfler bulunur. Volkanizmanın yavaşladığı ya da durakladığı dönemlerde ise sedimanterler ve volkanosedimanter kayalar çökelmiştir. Bunların içerisine bazalt sokulumları yerleşmiştir. Baraj yerini oluşturan Oluçayı volkanitleri yüzeyde yoğun olarak ayrışma ve alterasyon izleri taşır. Açılan sondajlarda riyolit ve dasitlerin arasına sokulum yapmış diyorit ve monzonitlerin oluşturduğu ezilme ve zayıflık zonlarına sık olarak rastlanır. Çatlaklar, eklem takımları ve fay süreksizlikleri boyunca hareket eden suyun hidrolizi sonucu hidrotermal alterasyona uğramış kesimlerde kaya- zemin arası davranış biçimi sergileyen zayıf kaya zonları oluşmuştur. Serizitleşmiş, killeşmiş, silisleşmiş, kloritleşmiş ve limonitleşmiş bu zonlara baraj yerinde ve mansap tarafında Anbarkaya tepe eteklerinde ayrıca, Oluçayı vadisi boyunca yüzeyde sık olarak sarı, beyaz, kahverengi, bordo renkli mostraları şeklinde raslanmaktadır. Dasitlerin altere olduğu yerlerde açılan sondajlarda ise petrografik analizlerde kuvars, kaolin, pirofillit olduğu anlaşılan beyaz renkli killer ile karşılaşmıştır. Bu sondajlarda süreksizlik düzlemleri boyunca kontak metamorfizmanın etkisi ile oluşan zayıflık zonları ve bu zonları dolduran sarı-kahverengi renkli taze kil oluşukları izlenmiştir. Monzonit türü kayalarda felspatların ayrışması sonucu kaya ilksel özelliğini kaybetmiş ve ayrılarak kaya-zemin arasında kalan zayıf kaya zonlarını oluşturmuştur. Bu zayıf kaya zonları sondaj sırasında oluşan basınç nedeni ile yıkanmakta olduğundan bu kesimlerden alınan karot yüzdeleri düşük kalmaktadır. Bu sokulum yapmış kayaların kenar zonları kısmi olarak kontakt metamorfizmaya uğramıştır. Sokulum zonlarında meydana gelen kontak metamorfizması ve hidrotermal alterasyon sonucu kayalar ayrılmışlardır. Bu nedenle de dayanımları düşmüştür. Kayalar sık eklemli, çatlaklı, parçalı, ayrılmış altere görünümlüdür. Çatlak araları yüzeyde genellikle dolgunsuz

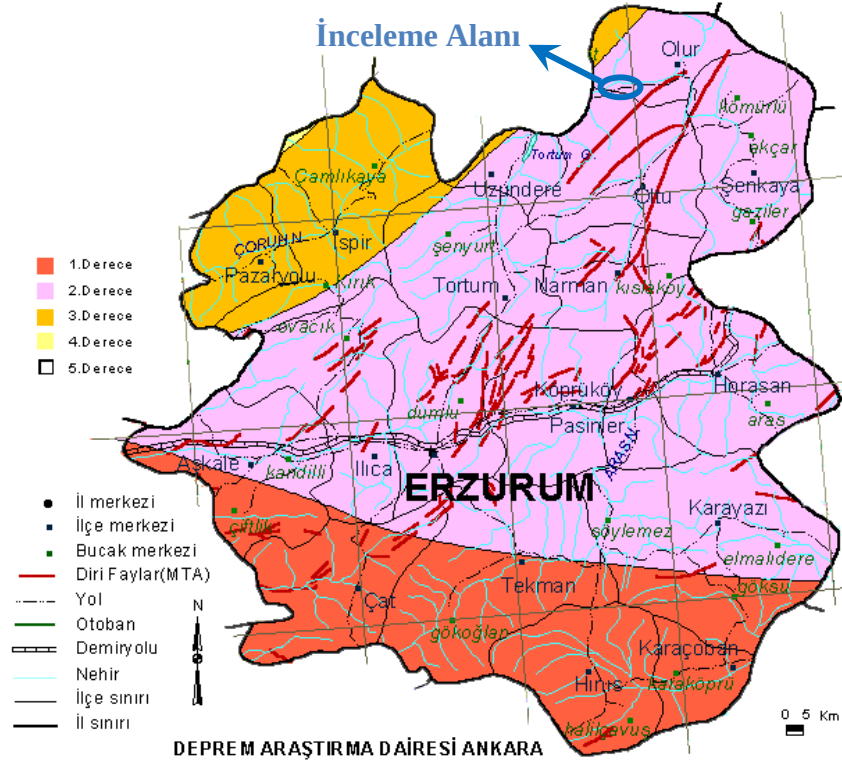
olup ayrıktır. Baraj yerinde açılan sondajlarda derinlik arttıkça çatlakların pirit, jips, kil, kalsit dolgulu olduğu yer yerde silisleşme özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Bütün bu veriler ışığında sokulum kayaçlarının bünyesindeki feldispatların alterasyonu ile, zayıf zonların oluştuğu, açığa çıkan malzemenin de süreksizlikler boyunca hareket ederek çatlakları doldurduğu anlaşılmaktadır. Genel olarak baraj yeri RQD değerlerine göre iyi-orta kaya kalitesindedir.

Baraj yerinde açılan sondajlarda 25 ila 55 metre arasında değişen magmatik ve sedimanter kökenli blok, çakıl, kum silt ve kilden oluşmuş alüvyon tespit edilmiştir. Alüvyonun derinliği ve kalınlığı paleotopografyaya bağlı olarak değişiklik göstermekte olup ortalama olarak 50 metre civarındadır.

3.4 Depremsellik

Proje sahası, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre 2. Derece Deprem Bölgesi üzerinde yer almakta olup (Şekil 3-2). KD Anadolu Fay zonunu etki alanında yer alır.

Geniş bir deformasyon zonu olan Kuzeydoğu Anadolu Fayı, birbirlerine paralel olarak gelişmiş KD-GB doğrultulu, sol yönlü ve ters bileşenli birçok kısa fay segmentlerinden meydana gelir. Bu faylar 15-20 km uzunlukta ki Kelkit Fayı, Erzincan'ın hemen kuzeybatısından başlayan ve kuzeydoğuya doğru 150 km devam eden Akdağ Fayı, Tortum güneybatısı ile Aşkale ilçesi arasında uzanan Aşkale Fayı, Çat civarından başlayan, Erzurum, Dumlupınar, Tortum ve Oltu boyunca uzanan Dumlupınar Fay Zonu ile Tekman ile Gaziler arasında uzanan Çobandede Faylarıdır. Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonunun proje yerlerine uzaklığı yaklaşık 110 km kadardır.



Şekil 3.2 : Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası Erzurum (Afet İşleri Genel Müdürlüğü)

“Kuzey Anadolu Fay Zonu” yaklaşık 2-110 km genişlikte, 1600 km uzunlukta yüksek sismik aktiviteye sahip bir fay sistemi olup büyüklüğü $M_w = 7$ ile 8 arasında değişen yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahiptir. KAFZ'nun doğu kesimi (Erzincan-Varto arasındaki bölümü), son yüzyıl içinde, büyüklükleri 5.5 ile 7.9 arasında değişen dokuz adet yıkıcı deprem üretmiştir. Bu bölümün proje alanına uzaklığı 240 km civarındadır.

3.5 Yapısal Jeoloji ve Tektonik

Santral yeri ve Olur çayının kuzeyinde yer alan sedimanter kayalar içerisinde tabakalanmalar mevcuttur. Santral yerinde bulunan killi kireçtaşı ve marnlar yoğun kıvrımlanmalar sonucu dalım ve yönelimlerinde kısa mesafelerde değişiklik gösterirler. Bu nedenle tabakaların devamlılığını tespit etmek zordur. Tavuskar derenin kuzeyinde yüzleklenen kireçtaşları genellikle 30 - 35 derece ile kuzey – kuzeybatı ‘ya dalımlı olarak gözlemlenmiştir.

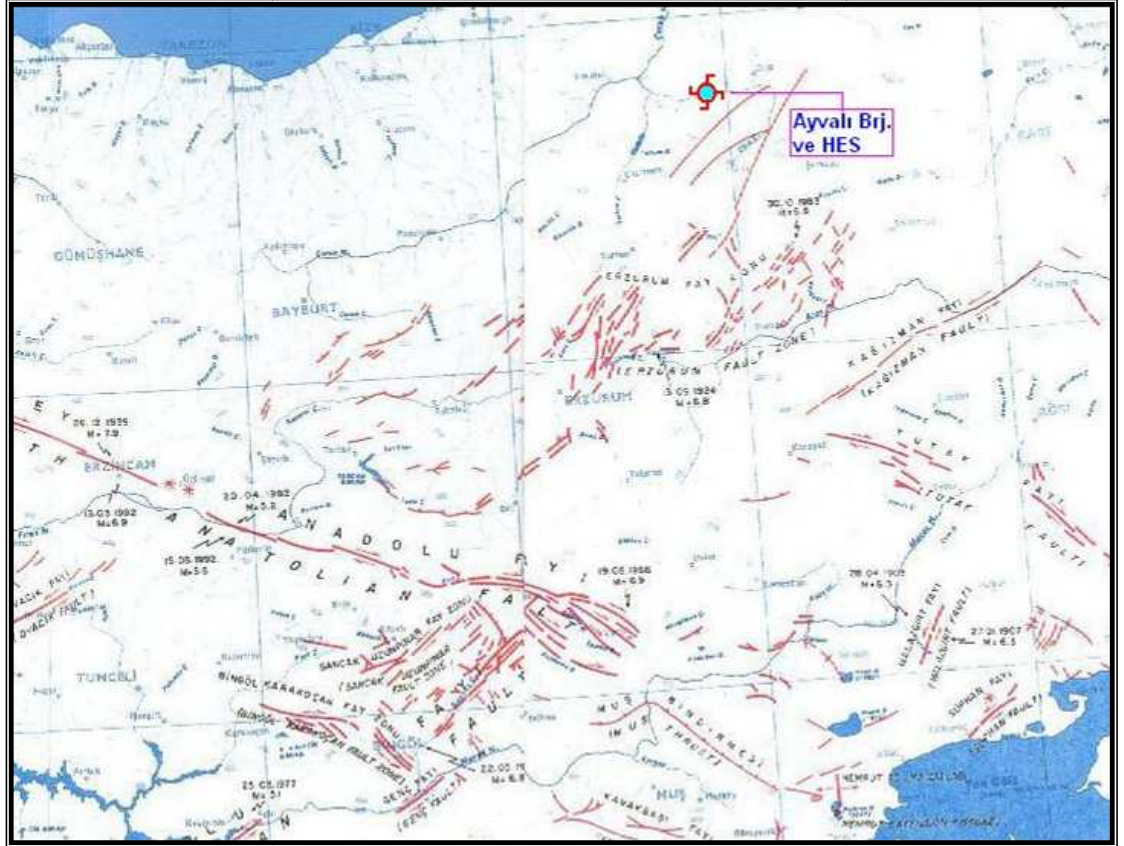
Çalışma alanı dolayındaki jeolojik birimler deniz altındaki volkanik etkinlik ile volkanizmanın yavaşladığı süreçte çökelen sedimanter ve volkanosedimanter kayalardan oluşmuştur. Bölgede de etkin olan Alp Orojenezi ile bu birimler kıvrılıp kırılarak karasal ortama geçmiştir. Bu orojenik hareketler bir kaç aşamalı olmuş ve Eosen dönemi sonucu bölge tamamen kara haline gelmiştir. Eosen ve öncesi zamanda oluşmuş jeolojik birimlerin içerisinde kıvrımlar gelişmiştir. Volkaniklerin hakim olduğu birimler içerisinde bu kıvrımlar genelde belirgin değildir. Sedimanter olarak temsil edilen Pügey formasyonu içerisinde ise yoğun bir kıvrımlanma mevcuttur. Killi kireçtaşı, kireçtaşı, marn ve kumtaşı ardalanmasından oluşan bu birim içerisinde yatay konumdan dikey konuma kadar yoğun bir kıvrımlanma görülmektedir. Tabakaların dalımları ve yönelimleri çok kısa mesafelerde değiştiğinden, tabakaların eğim açılarını ölçmek pek mümkün olmamaktadır.

Araştırma sahasında yer alan Oltuçayı volkanitlerinde KD - KB yönlerinde ve bunları dik doğrultuda kesen üçüncü bir eklem takım sistemi gelişmiştir. Bu eklem takımları ayrışma ve alterasyon zonlarına bağlı olarak jips, pirit, kil ve kalsit dolguludur. Oltuçayı volkanitlerinin eklem yüzeylerinde yer yer yoğun ayrışma gelişmiştir. Pügey formasyonunu oluşturan killi kireçtaşı, kireçtaşı, marn ardalanmasında aşırı kıvrımlanmaların yanısıra tabaka düzlemlerini verevine kesen eklem takımları da gelişmiştir. Kıvrımlanmalara bağlı olarak tabakalanmaların vadi içerisine bakan yamaçlarında eklem takımlarının boşalımları sonucu yoğun olarak sökülmeler meydana gelmiş ve kalınlığı 40-50 metreye varan çökellerin oluşmasına neden olmuşlardır.

Proje alanı ve çevresinin 110 km kadar güney batısında “Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu” bulunmaktadır. Yine aynı doğrultuda bulunan “Kuzey Anadolu Fay Zonu”na olan uzaklığı ise yaklaşık 240 km kadardır. “Doğu Anadolu Fay Zonu” içerisinde kabul edilen “Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu” içerisinde yer alan Erzurum-Tortum-Dumlu-Oltu hattını takip eden Dumlu fayı çalışma alanına oldukça yakın mesafede yer alır. (Şekil 3-3)

Stratigrafik temeli oluşturan Liyas yaşlı Oltuçayı volkanitlerinin (Ja) üzerine Alt Kretase’de açılal uyumsuzlukla Yeşilbağlar kireçtaşı (Ky) çökelmiştir. Yeşilbağlar kireçtaşının üzerine Üst Kretase’de Pügey formasyonu (Jkp) uyumlu olarak

gelmiştir. Eosen yaşlı Karataş formasyonu (Tk) Püsey formasyonunun üzerine uyumsuz olarak gelir. Oligosen yaşlı Deliktaş formasyonu da Karataş formasyonunun üzerine uyumsuz olarak yerleşir. Pliyokuvaterner yaşlı karasal çökeller (PLQ) ve Kuvaterner (Qal, Qy) daha yaşlı birimleri açısız uyumsuzlukla örterler.



Şekil 3.3 : İnceleme alanının diri fay haritası (MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi)

4. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ ÇALIŞMALARI VE JEOTEKNİK DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, Ayvalı Barajı için yapılan jeolojik – jeoteknik ve hidrojeolojik çalışmalar özet halinde sunulduktan sonra kayaçların mühendislik jeolojisi tanımları yapılmış ve bölgede ilk projelendirme aşamasında, kaya ortamın fiziksel ve mekanik parametrelerini belirlemek için yapılan deney sonuçlarına değinilmiştir. Elde edilen değerler ve kazı yöntemleri göz önünde tutularak Ayvalı Barajı eksen yeri ve dolayına ait kaya sınıflamaları verilmiş ve kazı yüzeyleri kinematik açıdan irdelenmiştir. Ayrıca ortamı belirlenen jeoteknik parametrelere göre kayanın taşıma gücü değerleri karşılaştırılmıştır.

4.1 Yapılan Çalışmalar

İnceleme alanı için detaylı (1:1000 ölçekli) mühendislik jeolojisi haritası çalışılmıştır. Fizibilite ve kesin proje aşamasında araştırma sondajları açılmış ve sondajların açımı sırasında yerinde deneyler, sonrasında ise laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Ayrıca baraj eksen ve civarında yüzey sismiği yapılmıştır.

4.1.1 Mühendislik jeolojisi haritası

Baraj yeri ve dolayının mühendislik jeolojisi haritası hazırlanırken öncelikle litolojik ayırtlama yapılarak jeolojik birimler sıralandırılmış ve 1:000 ölçekli topografik haritaya işlenmiştir. Kaya mostralarında süreksizliklerin yönelimleri tespit edilmiş ve süreksizlik özellikleri Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) tarafından önerilen süreksizlik tanımlamaları (ISRM, 1977) baz alınarak tespit edilmiştir

4.1.2 Sondajlar

Ayvalı Barajı için sağ yakada 5 adet, sol yakada 12 adet ve dere yatağında 12 adet olmak üzere toplam 29 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Derinlikleri 20.5 metre ila 150 metre arasında değişen bu sondajların toplam uzunluğu 1784.2 metredir. Sondaj çalışmaları 31.01.2009 - 17.02.2009 tarihleri arasında, rotary sondaj tekniği ve

ekipmanı kullanılarak, Diamec 262 tipi Atlas Copco marka sondaj makinasıyla yapılmıştır.

Çizelge 4.1 : Baraj yerinde açılan sondaj kuyuları özet tablosu

No	Sondaj No	Yeri	X	Y	Kotu (m)	Derinlik (m)	Eğim
1	Ayv./ SK - 1	Sağ yaka	493951,7	4514971,6	+932,6	135,0	Düşey
2	Ayv./ SK - 2	Sağ yaka	493980,4	4514948,5	+912,5	30,0	Düşey
3	Ayv./ SK - 3	Sağ yaka	494017,2	4514915,4	+867,9	80,0	Düşey
4	Ayv./ SK - 7	Sol Yaka	494190,6	4514755,9	+871,0	75,0	Düşey
5	Ayv./ SK - 8	Sol Yaka	494216,4	4514734,4	+907,0	73,5	Düşey
6	Ayv./ SK - 9	Sol Yaka	494235,2	4514710,8	+932,0	150,0	Düşey
7	Ayv./ SK 10	Sol Yaka	494147,6	4514715,5	+870,0	60,0	Düşey
8	Ayv./ SK 11	Sol Yaka	494142,3	4514755,0	+847,4	35,0	Düşey
9	Ayv./ SK 12	Sol Yaka	494066,4	4514724,0	+819,5	60,0	Düşey
10	Ayv./ SK 16	Dere Yatağı	493988,5	4514713,9	+814,7	80,0	Düşey
11	Ayv./ SK 17	Dere Yatağı	494033,3	4514747,8	+813,7	80,0	Düşey
12	Ayv./ SK 18	Dere Yatağı	494013,1	4514791,0	+815,3	80,0	Düşey
13	Ayv./ SK 19	Dere Yatağı	494076,9	4514790,2	+814,0	80,0	Düşey
14	Ayv./ SK 20	Sağ yaka	494027,2	4514852,8	+829,0	50,0	Düşey
15	Ayv./ SK 21	Sağ yaka	493977,2	4514865,7	+857,8	20,5	Düşey
16	Ayv./ SK 22	Dere Yatağı	494121,1	4514914,5	+815,1	60,0	Düşey
17	Ayv./ SK 25	Memba Batardosu	494172,0	4515047,9	+815,5	60,0	Düşey
18	Ayv./ SK 26	Mansap Batardosu	493935,6	4514600,0	+814,7	66,0	Düşey
19	Ayv./ SK 27	Derivasyon T. Giriş	494341,1	4515013,2	+832,6	40,0	Düşey
20	Ayv./ SK 29	Derivasyon T. Çıkış	493980,8	4514515,6	+831,4	46,5	Düşey
21	SKA - 1	Sol Yaka	493882,0	4514516,7	+811,1	40,2	Düşey
22	SKA - 2	Sol Yaka	493882,0	4514516,7	+811,1	31,0	Düşey
23	UAKS - 1	Sol Yaka	494155,5	4514811,0	+820,4	40,0	45°
24	UAKS - 1A	Dere Yatağı	494128,9	4514818,7	+815,6	39,0	Düşey
25	UAKS - 2	Dere Yatağı	494115,6	4514833,1	+815,8	81,0	Düşey
26	UAKS - 3	Dere Yatağı	494096,0	4514852,0	+814,0	58,0	Düşey
27	UAKS - 3A	Dere Yatağı	494084,4	4514859,7	+814,1	45,0	Düşey
28	UAKS - 4	Dere Yatağı	494075,3	4514867,9	+815,6	48,0	Düşey
29	UAKS - 5	Sağ Yaka	494067,2	4514875,7	+816,2	40,5	45°

4.1.3 Yerinde basınçlı su deneyleri

Ayvalı Barajı temelini oluşturan kayaçların geçirgenliklerini belirlemek amacı ile, 24 adet sondaj kuyusunda toplam 455 adet basınçlı su deneyi yapılmıştır. Bu deneyler, 2 ve 5 metrelik kademelerde , tek lastik yöntemi ile yapılmıştır. Deneylerde 2, 4, 6, 8 ve 10 atmosfer basınç kademelerinde su verilerek, her basınç kademesinde 5'er dakikalık aralıklarla 10 dakikalık süredeki su kayıpları ölçülmüştür.

Lugeon değerleri aşağıda verilen formülle hesaplanmıştır.

$$L_u = \frac{Q}{L \times t} \times \frac{10}{P} \quad (4.1)$$

Burada,

Q = su kaybı (litre)

L = deney zonu uzunluğu (m)

t = deney süresi (dakika)

P = efektif basınç (kg/cm²)

$$P = P_m + \frac{H_1 + H_2}{10} \quad (4.2)$$

P_m = manometre basıncı (kg/cm²)

H_1 = manometrenin zeminden yüksekliği (m)

H_2 = deneyin yeraltısuyu seviyesinin altında yapıldığı durumda, zemin yüzeyinden yeraltısuyu seviyesine olan derinlik (m), deneyin yeraltısuyu seviyesinin üzerinde yapıldığı durumda, zemin yüzeyinden deney zonunun ortasına olan derinlik (m).

Hesaplama sonucunda, her deney seviyesinde, 10 atmosferdeki kaybın eş değeri olan sonuç alınır. Bunun için, deneyde 10 atmosfere ulaşılan seviyede, 10 atmosfere karşılık elde edilen Lugeon değeri ile, basıncın 10 atmosfere çıkmadığı seviyelerde ise en yüksek basınca karşılık elde edilen Lugeon değeri, o deney seviyesinin Lugeon değeri olarak alınmıştır. Lugeon değerlerine göre, kayanın geçirimlilik tanımlamaları aşağıdaki gibidir.

Lugeon (l/dak/m)	Sınıf
0 – 1	Geçirimsiz
1-5	Az Geçirimli
5 - 25	Geçirimli
> 25	Çok Geçirimli

4.1.4 Laboratuvar deneyleri

Baraj yerine ait fiziksel ve mekanik parametrelerin değerlendirilmesi için açılan bu 29 sondajdan alınan korunmuş karotlar üzerinde gerekli kaya mekaniği deneyleri yapılmış ve bu deneylerin değerleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Alınan korunmuş karotların üzerinde 124 adet tek eksenli basınç dayanımı, 19 adet üç eksenli basınç dayanımı, 64 adet çekme dayanımı, 30 adet nokta yükleme deneyi, yapılmıştır. Yine 70 adet numune üzerinde elastisite modülü, 26 numunede poisson oranı ve 124 adet numunede de birim ağırlık tespiti yapılmıştır.

Deney Adı	Sayısı	Standard
Noktasal Yükleme Deneyi	30	ASTM 5731
Tek Eksenli Basma Deneyi	124	ASTM D2938
Kayada Tek eksenli Basma Deneyi ile Elastik modülü ve Poisson oranı tayini	124	ASTM D2938-D4341
Kayada Çekme Dayanımı	64	ASTM D3967-95a
Üç Eksenli Basma Dayanımı	19	ASTM-D2664
Kaya Çatlağında Kesme Deneyi	5	ISRM (1981)
Petrografik Analiz	15	

4.2 Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri

Bu bölümde kaya kütlelerinin mühendislik davranışlarını belirleyen süreksizlik düzlemlerinin çatlak aralıkları, çatlak açıklıkları, çatlak dolgu malzemesinin

nitelikleri, pürüzlülüğü ve konumları, oluşum koşulları açısından, irdelenerek baraj yeri kaya sınıflamasına veri tabanı oluşturulmaya çalışılmıştır

4.2.1 Jeolojik haritalama verileri

Araştırma sahasında 1:1000 ölçekli detaylı mühendislik jeolojisi haritası çıkarılmış ve EK-3'te sunulmuştur. Buna göre inceleme alanında gözlenen jeolojik birimler aşağıda sıralanmıştır.

- i. Volkanik Kayaçlar
- ii. Hidrotermal Sokulumlar
- iii. Yamaç Molozu
- iv. Alüvyon

Araştırma sahasında yer alan Oltuçayı volkanitlerinde yaklaşık K – G yöneliminde iki adet eklem takımı ve bunları dik doğrultuda kesen üçüncü bir eklem takım sistemi gelişmiştir. Bu eklem takımları ayrışma ve alterasyon zonlarına bağlı olarak jips, pirit, kil ve kalsit dolguludur. Oltuçayı volkanitlerinin eklem yüzeylerinde yer yer yoğun ayrışma gelişmiştir.

Süreksizlik yüzeylerinin dayanıma etkisi açısından taşıdığı önem dikkate alınarak kayaçların bozunma derecesi tanımlanmıştır. Bu tanımlama ISRM tarafından önerilmiş ve arazi çalışmaları sırasında pratik olarak kullanılabilecek bozunma sınıflamasına göre yapılmıştır. (Çizelge 4-2)

Çizelge 4.2 : Kayaçların bozunma derecesi (ISRM, 1981)

Tanım	Tanımlama ölçütü	Bozunma Derecesi
Bozunmamış (Taze)	Kayanın bozunduğuna ilişkin gözle ayırdedilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözlenebilir.	W1
Az bozunmuş	Kaya malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiş ve kaya taze halinden daha zayıf olabilir.	W2
Orta derecede bozunmuş	Kayanın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Kaya; taze yada renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	W3

Tanım	Tanımlama ölçütü	Bozunma Derecesi
Yüksek derecede bozunmuş	Kayanın yarısından fazla bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Kaya; taze yada renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	W4
Tamamen bozunmuş	Kayanın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	W5
Artık Zemin	Kayanın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmakla birlikte, zemin taşınmamıştır.	W5

Kayaçların dayanımının tahmin edilmesi amacıyla ISRM tarafından önerilmiş ve arazi çalışmaları sırasında pratik olarak kullanılabilecek basit deneylerden yararlanılmıştır. Bu deneyler süreksizlik yüzeylerinde veya bu yüzeyleri temsil eden kaya malzemesi üzerinde yapılabilmektedir (Çizelge 4-3)

Çizelge 4.3 : Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli basınç direnci ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981)

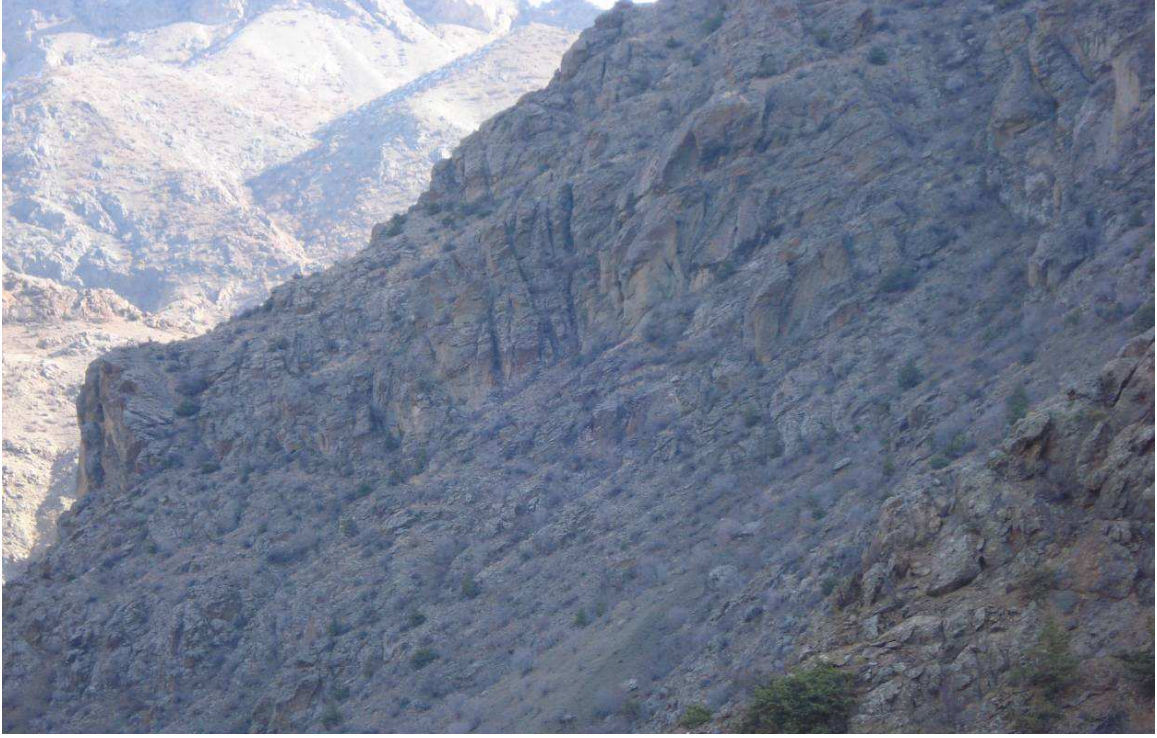
Dayanım Derecesi	Tanım	Saha tanımlaması	Tek eksenli basınç direnci (MPa)
R0	Aşırı derecede zayıf kaya	Kayanın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir	0,25 – 1,0
R1	Çok zayıf kaya	Jeolog çekiciyle sert bir darbeye ufalanan kaya, çakı ile doğranabilir.	1,0 – 5,0
R2	Zayıf kaya	Kaya, çakı ile güçlkle doğranır. Jeolog çekici ile yapılacak sert bir darbe kayacın yüzeyinde iz bırakır.	5,0 – 25
R3	Orta derecede sağlam kaya	Kaya, çakı ile doğranamaz. Kaya örneği, jeolog çekici ile yapılacak tek ve sert bir darbeye kırılabilir.	25 – 50
R4	Sağlam kaya	Kaya örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile birden fazla darbenin uygulanması gerekir.	50 – 100
R5	Çok sağlam kaya	Kaya örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile çok sayıda darbe gerekir.	100 – 250
R6	Aşırı derecede sağlam kaya	Kaya örneği jeolog çekici ile sadece yontulabilir.	>250

Sarp topografyayı oluşturan volkanik kayalar andezit ağırlıklı olup bu kesimde baraj çalışması için açılan sondaj verileri ve jeolojik haritalama esnasında elde edilen bilgiler, koyu gri - yeşil ve siyah renkli birimin taze - az ayrışmalı, orta sağlam - sağlam dayanımlı ve orta – geniş süreksizlik açıklıklarına sahip olduğunu göstermiştir. (Foto 4-1, Foto 4-2).

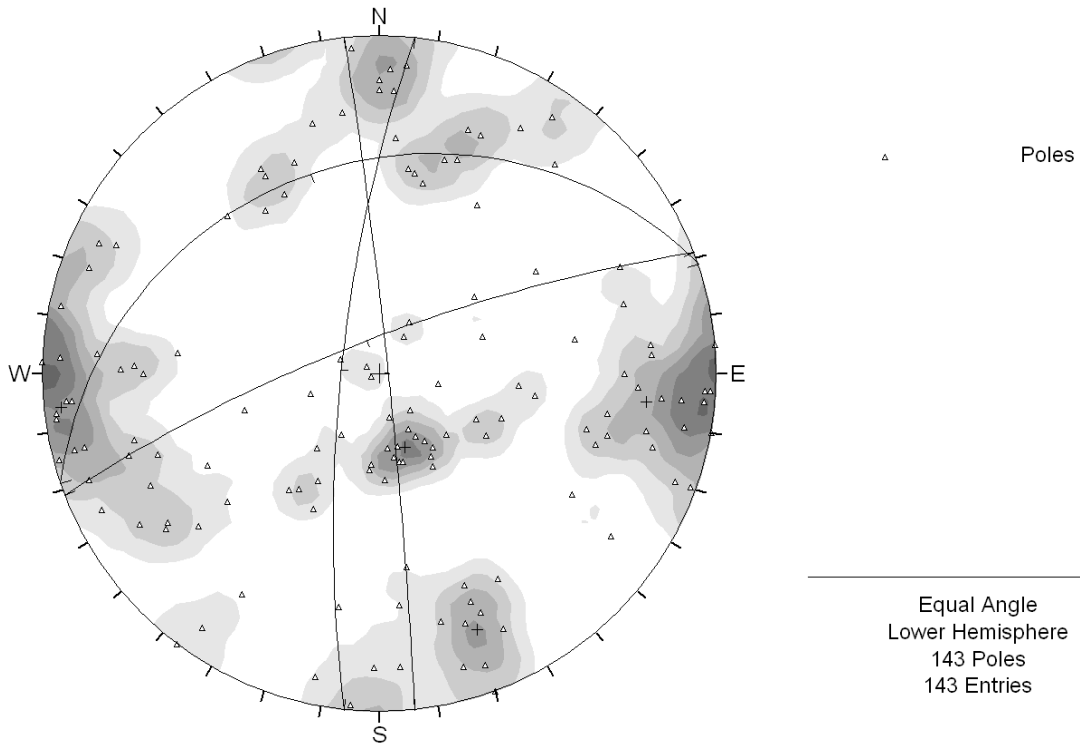
Baraj sahasında Oltuçayı volkanitleri üzerinde ölçülen eklem takımları ile tespit edilen ana eklem takımlarının yüzey özellikleri stereonet projeksiyon üzerinde (Şekil 4-3) ve tabloda (Çizelge 4-4) verilmiştir



Şekil 4.1 : Andezitik kayaların hakim olduğu yamaçlar



Şekil 4.2 : Andezitik kayaçların hakim olduğu sarp yamaçlar



Şekil 4.3 : Baraj yerindeki süreksizliklerin dağılımı

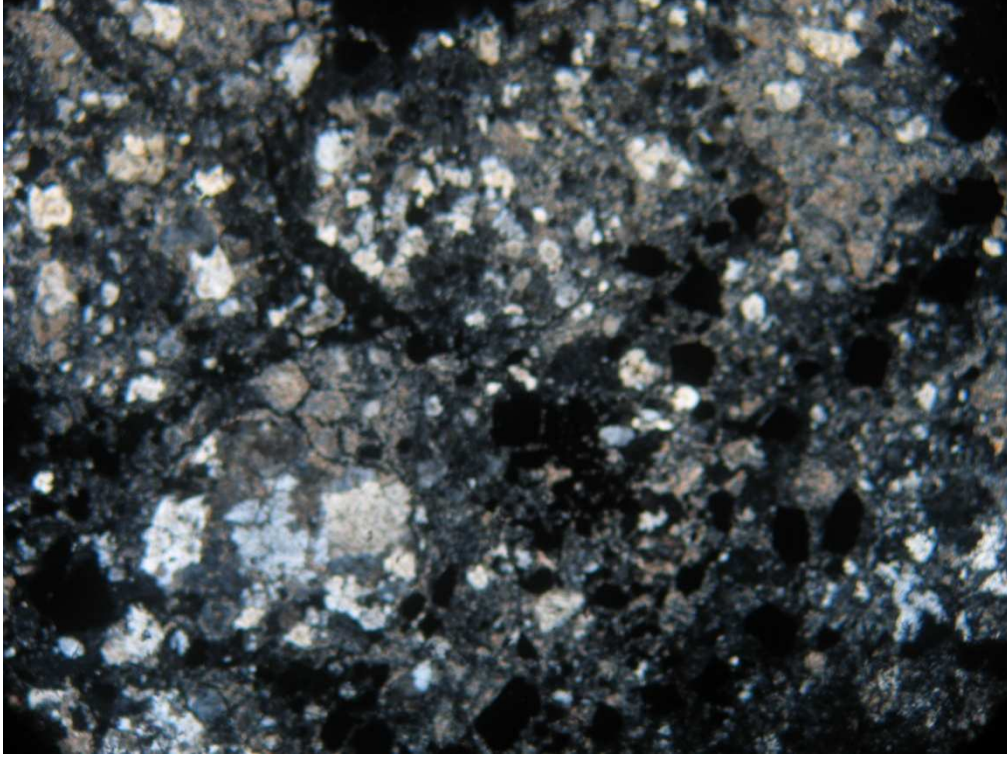
Çizelge 4.4 : Baraj yerindeki süreksizlik takımlarının özellikleri

Süreksizlik tipi	Aralık (m)	Devamlılık	Süreksizlik yüzeyi ayrışması ve dolgu tipi	Pürüzlülük	Eğim yönü / Eğim açısı
Eklem 1	0.10-1.00	3-10m	Az – Jips, kil dolgulu	Ondülasyonlu, pürüzlü	77/275
Eklem 2	0.10-1.00	3-10m	Az – Jips, kil dolgulu	Ondülasyonlu, pürüzlü	87/084
Eklem 3	0.10-1.00	> 3m	Az – Jips, kil dolgulu	Ondülasyonlu, pürüzlü	25/340
Eklem 4	0.10-1.00	> 3m	Az – Jips, kil dolgulu	Ondülasyonlu, pürüzlü	78/340

Formasyon içindeki zayıflık zonları hidrotermal sokulum zonlarıdır. Bu zonlar aynı zamanda su akışının yüksek olduğu kesimlerdir. Hidrotermal sokulumlar volkanik kayaları düzensiz olarak kestikleri görülmüştür. Bu zonlar genelde sarımsı kahverenkli yüksek ayrışmalı ve zayıf dayanımlıdır. Birim içinde kil dolgular sıkça görülür. Bu zonlar loglar üzerinde işaretlenmiş olup ayrıca jeolojik profil ve enkesit üzerinde sondajlarda belirtilmiştir.

Sondajlardan, hidrotermal sokulum olduğu düşünülen yerlerden numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde petrografik analiz yapılmıştır. SK-18 no'lu sondajın 40,5. metresinden alınan numune üzerinde yapılan petrografik analiz sonucu aşağıda verilmiştir. Diğer analiz sonuçları EK-2'de sunulmuştur.

Örnek, maruz kaldığı yoğun hidrotermal alterasyon sonucu tamamen serizitleşmiş-killeşmiş, silisleşmiş ve piritleşmiştir. Kayacın ilksel mineralojik ve dokusal özelliklerini belirlemek mümkün değildir. Yoğun serizitleşme ve killeşme kayacı elle parçalanabilecek düzeyde ayrıştırmıştır. Hidrotermal alterasyon ürünü kuvarslar genellikle mikro-mezokristalin, bazıları ise polikristalin özellikler göstermektedir. Örnekte bol miktarda da özşekilli-yarı özşekilli, orta-iri taneli pirit minerali bulunmaktadır (Dr. Kemal TÜRELİ, 2009)



Şekil 4.4 : Hidrotermal ayrışmaya (alterasyona) uğramış Kayacın genel görünümü. Tamamen serizitleşmiş-killeşmiş ince taneli bir hamur içersinde mikrokristalin kuvars (beyaz-gri renkli) ve pirit (siyah renkli) mineralleri (2.5 X büyütme, çift nikol)

Baraj alanı, özellikle sağ yamacında Oltu Çayı volkanitleri üzerinde gözlenmiştir. Sağ yamaç mansap topuğu civarında Ayv./SK-18 nolu sondajda 4.5m alüvyon altında 4.5 kalınlığında yamaç molozu ve bu biriminde altında ayrışmış volkanitler tespit edilmiştir. Yamaç molozu genelde baraj sağ sahilinde birikmiş olup siltli kil matriks içinde çakıl ve blok boyutundaki malzemeden oluşmaktadır.

Oltu Çayı alüvyonları kum – çakıl ve iri bloklardan oluşmaktadır. Bunlar genellikle kireçtaşı, bazalt, dasit, riyolit, andezit ve benzeri volkaniklerden oluşmuştur Baraj alanında açılan sondajlarda ince malzemenin çok az olduğu gözlemlenmiştir. Fakat yer yer killi mercleklerde rastlanılmıştır. Alüvyonun kalınlığı USKA-2 nolu sondaj verilerine göre 54 metre olarak tespit edilmiştir.

4.2.2 Fiziksel ve mekanik özellikler

Baraj yerine ait fiziksel ve mekanik parametrelerin değerlendirilmesi için açılan bu 21 sondajdan alınan korunmuş karotlar üzerinde gerekli kaya mekaniği deneyleri

yapılmış ve bu deneylerin değerleri sağ yaka, sol yaka ve dere yatağı olmak üzere ayrı ayrı özetlenerek aşağıdaki tablolarda (Çizelge 4-5, Çizelge 4-6 ve Çizelge 4-7) verilmiştir.

Sağ yakada Ayv./SK-1, Ayv./SK-2, Ayv./SK-3, Ayv./SK-20 ve Ayv./SK-21 no'lu sondajlarda toplam 36 numune üzerinde kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Deneyler +927,88 kotundan +779, 28 kotuna kadar yaklaşık 148 metrelik bir aralıkta yapılmıştır.

Çizelge 4.5 : Sağ yakada yapılan kaya mekaniği deneyleri

DENEY			Sondaj Sayısı	Kullanılan Numune Sayısı	En Düşük Değer	En Yüksek Değer	Ortalama Değer
Birim Hacim Ağırlık	γ	kN/m ³	5	37	24,40	28,15	25,63
Tek Eksenli Basınç Direnci	UCS	MPa	5	37	17,63	91,40	54,94
Elastisite Modülü	E_i	GPa	5	29	8,36	72,56	29,34
Poisson Oranı	ν		5	12	0,10	0,28	0,19
Üç Eksenli Basınç Direnci	c	MPa	4	7	1	44	20
	ϕ	(°)			21	51	37
Süreksizlik Yüzeylerinde Kesme Dayanımı	c	MPa	1	1	0,2	0,2	0,2
	ϕ	(°)			33	33	33

Dere yatağında Ayv./SK-16, Ayv./SK-17, Ayv./SK-18, Ayv./SK-19, Ayv./SK-22, Ayv./SK-25 ve Ayv./SK-26 no'lu sondajlarda toplam 29 numune üzerinde kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Deneyler +787,78 kotundan +734,93 kotuna kadar sağ ve sol yakaya oranla nispeten daha kısa yaklaşık 53 metrelik bir aralıkta yapılmıştır.

Çizelge 4.6 : Dere yatağında yapılan kaya mekaniği deneyleri

DENEY			Sondaj Sayısı	Kullanılan Numune Sayısı	En Düşük Değer	En Yüksek Değer	Ortalama Değer
Birim Hacim Ağırlık	γ	kN/m ³	7	29	23,25	27,98	25,77
Tek Eksenli Basınç Direnci	UCS	MPa	7	29	7,56	90,38	41,85
Elastisite Modülü	E _i	GPa	7	14	0,92	84,45	29,58
Poisson Oranı	ν		4	5	0,14	0,23	0,19
Üç Eksenli Basınç Direnci	c	MPa	4	6	6	36	23
	ϕ	(°)			33	63	41

Sol yakada Ayv./SK-7, Ayv./SK-8, Ayv./SK-9, Ayv./SK-10, Ayv./SK-11, Ayv./SK-12, Ayv./SK-27 ve Ayv./SK-29 no'lu sondajlarda toplam 56 numune üzerinde kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Deneyler +928,70 kotundan +760,16 kotuna kadar yaklaşık 168 metrelik bir aralıkta yapılmıştır.

Çizelge 4.7 : Sol yakada yapılan kaya mekaniği deneyleri

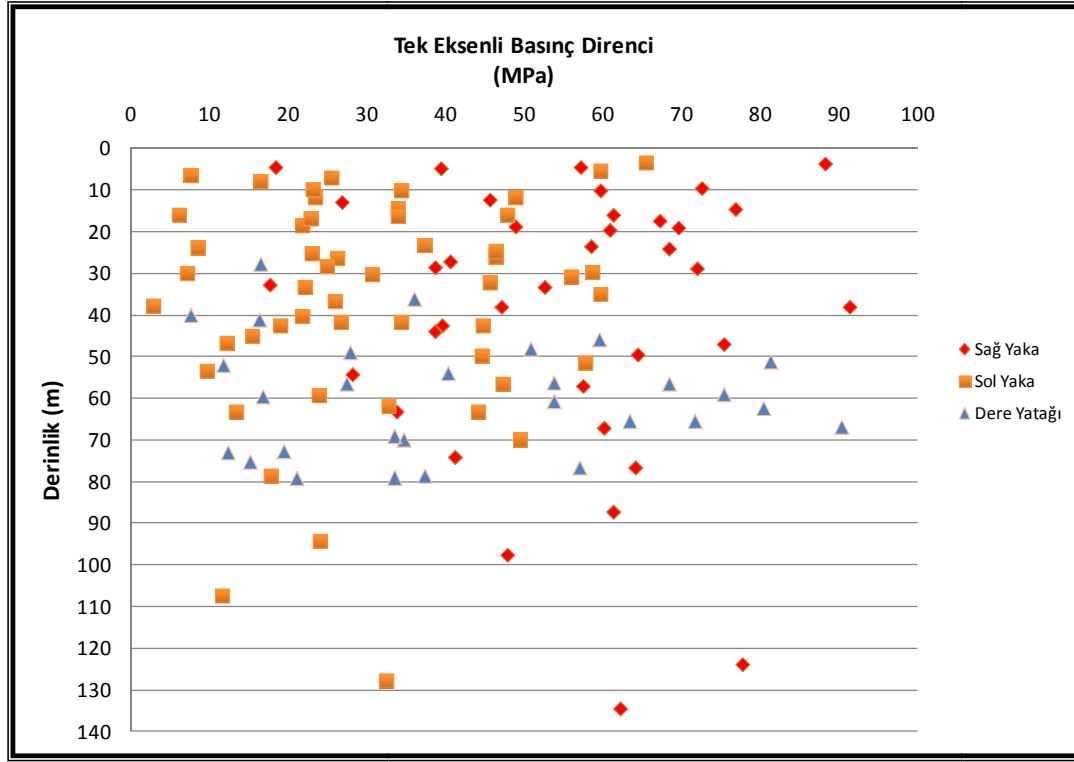
DENEY			Sondaj Sayısı	Kullanılan Numune Sayısı	En Düşük Değer	En Yüksek Değer	Ortalama Değer
Birim Hacim Ağırlık	γ	kN/m ³	9	51	22,29	26,80	25,12
Tek Eksenli Basınç Direnci	UCS	MPa	9	51	2,90	65,50	30,92
Elastisite Modülü	E _i	GPa	9	22	0,45	46,60	16,42
Poisson Oranı	ν		7	8	0,12	0,27	0,21
Üç Eksenli Basınç Direnci	c	MPa	5	5	2	20	12
	ϕ	(°)			20	45	30
Süreksizlik Yüzeylerinde Kesme Dayanımı	c	kPa	5	5	0,001	0,75	0,29
	ϕ	(°)			23	40	32,6

Bu bilgiler ışığı altında sol yaka, dere yatağı ve sağ yakada yapılan kaya mekaniği deney sonuçlarının ortalama değerleri göz önüne alınarak karşılaştırılması aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

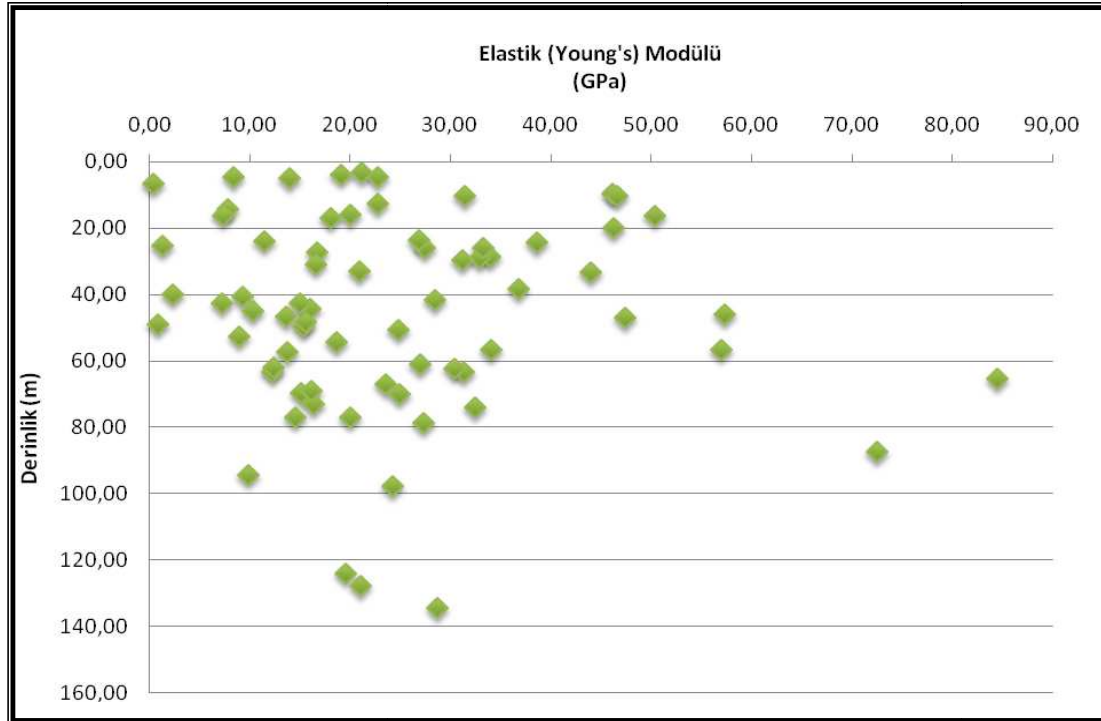
Çizelge 4.8 : Baraj yerinde yapılan kaya mekaniği ortalama deney sonuçlarının zonlara göre dağılımı

Konum	Birim Hacim Ağırlık	Tek Eksenli Basınç Direnci	Elastisite Modülü	Poisson Oranı	Üç Eksenli Basınç Direnci	Süreksizlik Yüzeylerinde Kesme Dayanımı		
	γ	UCS	E_i	ν	c	ϕ	c	ϕ
	kN/m ³	MPa	GPa		MPa	(°)	MPa	(°)
Sağ Yaka	25,63	54,94	29,34	0,19	20	37	0,20	33
Dere Yatağı	25,77	41,85	29,58	0,19	23	41	-	-
Sol Yaka	25,12	30,92	16,42	0,21	12	30	0,29	32,6

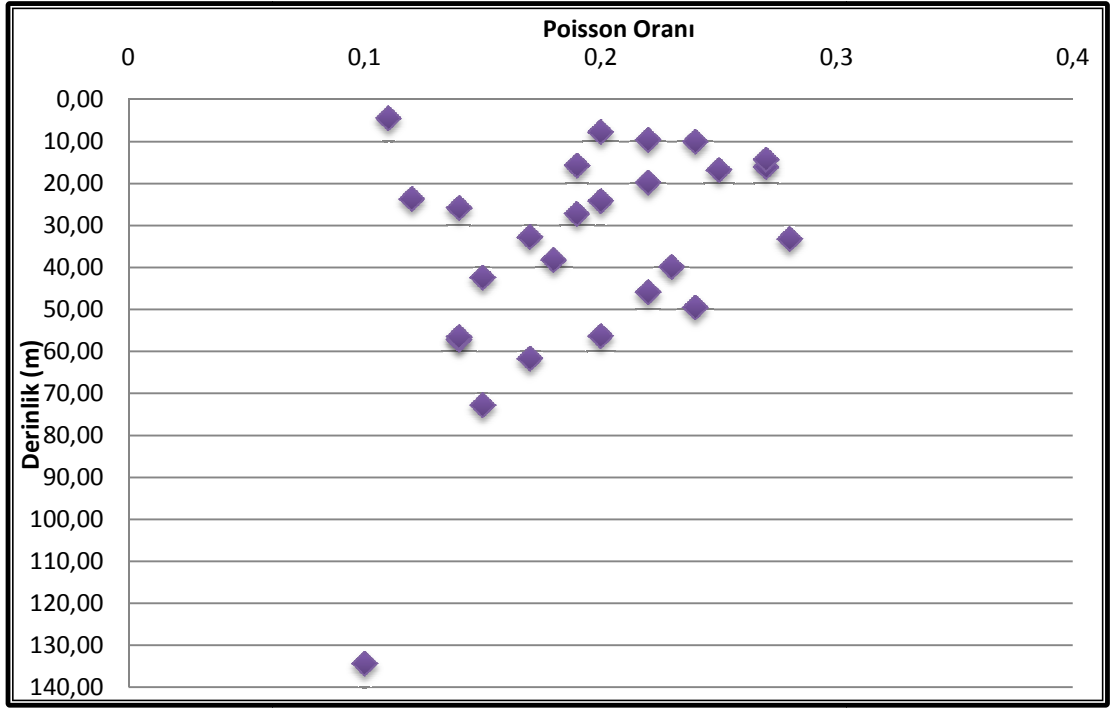
Yukarıda verilen sonuçlar baraj eksenine ve civarında ki kayaların dayanımının zonlara göre farklılıklar gösterdiğini ifade etmektedir. Bölüm 3'te de anlatıldığı üzere Oltuçayı volkanitlerinin içerisinde bulunan dasit - riyodasit ve riolit – andezit bileşimli kayalar ve hidrotermal sokulumlar bulunmaktadır. Bu kayaç ve sokulumların dayanım yönünden farklılık göstermektedirler. Bu farklılıklar derinlik ile de düzensiz dağılım göstermektedirler. Baraj yerinde yapılan kaya mekaniği deneylerinden elde edilen verilere göre Şekil 4-5'te 117 adet tek eksenli basınç dayanımının derinlikle ilişkisi ve yine Şekil 4-6'da 65 adet elastisite modülünün derinlikle ilişkisi gösterilmiştir. Bu grafikler kayaç dayanımlarının derinlik ile düzensiz dağılımları göstermektedir.



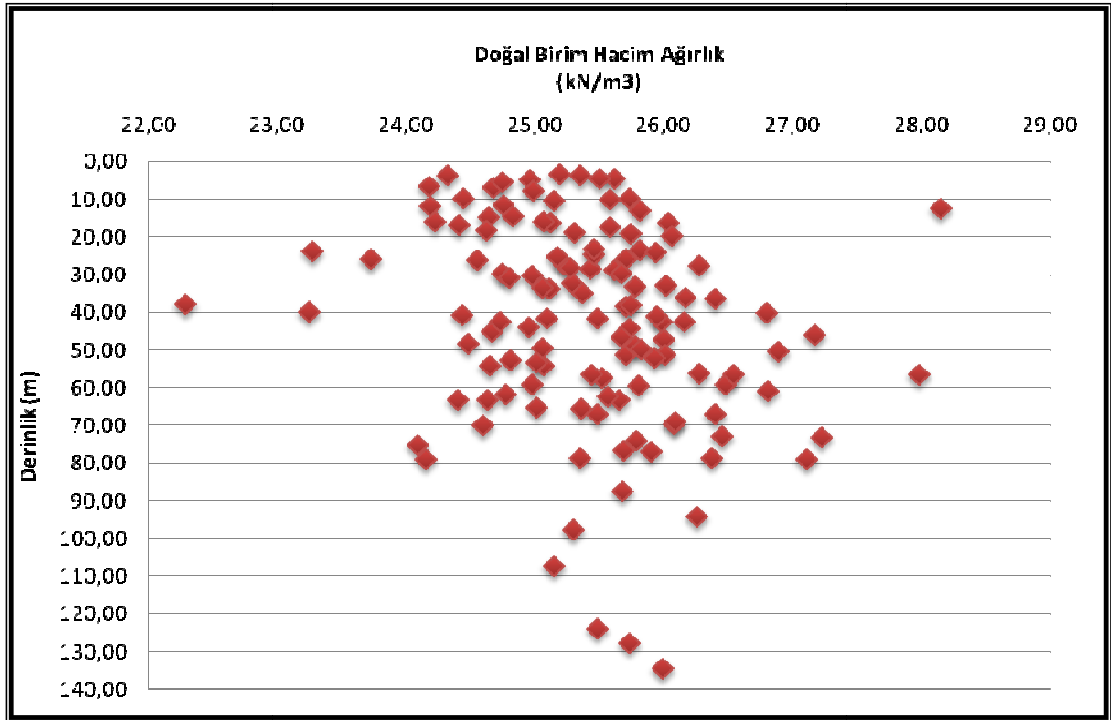
Şekil 4.5 : Tek Eksenli Basınç Direnç'lerinin derinlik ile düzensiz dağılımı



Şekil 4.6 : Elastisite modülü'nün derinlik ile düzensiz dağılımı.



Şekil 4.7 : Poisson Oranı'nın derinlik ile düzensiz dağılımı.



Şekil 4.8 : Birim hacim ağırlıkları'nın derinlik ile düzensiz dağılımı

Oltuçayı volkanitleri girim genel dasit ve riyodasit türde volkaniklerden oluşmuştur. Bu oluşumlar yer yer monzonit ve diyorit sokulumları tarafından kesilmişlerdir. Yaygın olarak andezit ve riyolit sokulumları dayk ve siller şeklinde bu birimlerin içerisine yerleşmiştir. Bu oklu ortam içerisinde yapılan kaya mekaniği deney sonuçları düzensiz bir dağılım göstermektedir. Örneğin farklı litolojiden oluşan Oltuçayı volkanitlerinin tek eksenli basınç direnci değerleri 4,5 MPa ile 90 MPa arasında değişmektedir.

Bununla beraber laboratuvar sonuçlarının içersinden alınan 121 kayaç rneği üzerinde yapılan deney sonuçlarından aşağıdaki parametreler (izelge 4-9) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9 : Oltu ayı volkanitlerinin kaya mekaniği deneylerinden elde edilen sonuçların istatistiksel zet tablosu

	<i>Doğal Birim Hacim Ağırlık</i>	<i>Nokta Yükleme</i>	<i>Tek Eksenli Basınç Direnci</i>	<i>ekme Dayanımı</i>	<i>Elastisite (Young's) Modülü</i>	<i> Eksenli Basınç Direnci</i>	<i>Poisson Oranı</i>
	γ_n	I_{50}	UCS	σ_t	E_i	c ϕ	ν
	(kN/m ³)	(MPa)	(MPa)	(Mpa)	(GPa)	MPa (°)	
Ortalama	25,42	1,91	40,69	6,79	24,5	18,56 36,4	0,192

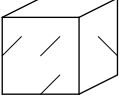
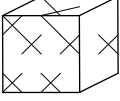
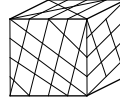
4.2.3 Kaya kütlesinin fiziksel ve mekanik zellikleri

Kaya kütlesi veya yerinde kaya, süreksizlik ağı ile kaya malzemesinin birlikte oluşturdukları kütle veya sistemdir. Kaya kütlelerinde süreksizliklerle sınırlanan kaya malzemesi blokları, taze kaya malzemesinden bozunmuş (ayrışmış) kayaya kadar değişik özellikler sergileyebilir. Kaya kütlelerinin belirli bir gerilme altındaki davranışı, genellikle kaya malzemesine ait bloklar ile süreksizlikler arasındaki etkileşim tarafından denetlenir. Dolayısıyla kaya malzemesi, kendisiyle birlikte süreksizlikleri ve bozunma profilini de içine alan kaya kütlesi kavramından farklı olup, bu kavramla karıştırılmamalıdır.

Kaya kütlesi ve kaya kütlelerinin davranışı ile ilgili olarak Müller (1963; Yüzer ve Vardar 1986'dan) tarafından önerilen kavramlar, kaya kütlelerinin davranışına yönelik olarak günümüze değin sürdürülmüş çalışmalar açısından önem taşımaktadır. Çizelge 4-10'dan görüleceği gibi Müller (1968), süreksizliklerin durumunu da

dikkate alarak, kayaların çatlaksız ortamdan (tek cisim ortamı) süreksiz parçalanmış ortama kadar değişen ortam özelliklerine sahip olabileceğini, dolayısıyla bu ortamların farklı davranış sergileyeceklerini belirtmiştir. Diğer bir ifadeyle Müller (1968)'e göre; süreksizlik içermeyen (masif) veya az sayıda süreksizlikle bölünmüş ortamlar süreksiz ortamlar olarak tanımlanırken, süreksizliklerin sayısının ve sıklığının artmasıyla kaya süreksiz ortam haline geçebilmekte, dolayısıyla kaya kütlelerinin davranışı kütlelerin malzeme ve dokusal özellikleri tarafından denetlenmelidir. (Ulusay, 2002)

Çizelge 4.10 : Birim Kaya Elemanlarının Biçim ve Boyutlarına göre tanımı (Müller, 1968)

DOKUSU - NİTELİKLERİ	ŞEKİL DEĞİŞTİRME DAVRANIŞLARI			DİRENÇ ÖZELLİKLERİ			GÖRÜLDÜĞÜ YERLER
	DEFORMASYON	DEFORMASYON MEKANİZMASI	KAREKTERİSTİK DEĞERLER	DİRENÇ	SINIR KOŞULLARI	KAREKTERİSTİK DEĞERLER	
 Çatlaksız, Masif, Tek Parça ANİZOTROPİ: K = 0 Yapı ve oluşumdan doğan primer (ilkel) anizotropi	Elastik Plastik Viskoz	Kırılma Akma	E-Modülü Poisson Oranı Relaksasyon Plastiklik Viskozite	Gerçek Çekme, Basınç ve Kesme Direnci	Değişik Kırılma Teorileri, Normal Gerilme, Enerji, Kesme Gerilmeleri	Çekme Direnci Basınç Direnci Kesme Direnci Reolojik Katsayılar	Kaya Tuzu ocakları, Kısmen Cevher ocaklarında
 Çatlaklanmış fakat parçalanmamış, Çatlaklar arasında malzeme köprüleri, Çok cisim ortamına geçiş, Diskontinium ANİZOTROPİ: K < 1 Primer Anizotropi + Tektonizma, Kazı ve Patlatma sonucu oluşan anizotropi	Elastik Psödoplastik	Kırılma Kırılma Akması Basamaklı Kırılma	Sanal E-Modülü Deformasyon Modülü Sanal Poisson Oranı (Ayrılma derecesine bağlı olarak tek cisim veya sürekli çok cisim özellikleri hakim)	Artık Direnç	Henüz bir teoriye bağlanabilmiş değil, belirsizliklerin sayısı çok, Deneyim ve Ölçme Tekniğine dayalı varsayımlar	Artık Çekme Direnci Artık Basınç Direnci Artık Kesme Direnci	Taş ocakları, Maden ocakları, Baraj Temelleri, Tünel, Metro
 İri Parçalı, Tam Kırıklı, sistem, Çatlak cisimlerinin oluşturduğu kuru tuğla duvar yapısı, Gerçek Diskontinium, İstatistiksel ele alındığında sürekli ortam (kontinium) yaklaşımı ANİZOTROPİ: K = 1 Tektonik kökenli	Kayma sürtünmesi Yapışma sürtünmesi Psödoplastik kenetlenme	Kırılma Akması Doku Deformasyonu	Çatlak cisimlerinin her birinin özel hareket olanağı var Deformasyon modülü Elastiklik ve Plastiklik (Tek cisim özellikleri ikinci planda)	Yapışma, Doku Direnci, Kenetlenme	Teorisi henüz tam gelişmiş değil Müller, John, Bray, Vardar	Çekme, Basınç, Kesme Direnci Yanal genleşme Davranışı, Anizotropi, Yorulma Karakteristiği, Pekişme, Post-failure davranış karakteristiği	Taş ocakları, Cevher Yatakları, Baraj, Tünel, Tünel girişi, Az miktarda Yeraltı Madenciligi
Ezilmiş, Kırılmış, Yontulmuş yığma malzeme. Ayrık kütle, Sürekli ortam ANİZOTROPİ: Mümkün değil, Araştırılmış değil	Elastik Plastik	Danelerin ötelenmesi, dönmesi ve deformasyonu	Su içeriği, Geçirgenlik, Sıkışma ve Konsolidasyon, Kıvam Limitleri	Kesme Direnci	Coulomb, Rankin v.s	İçsel Sürtünme Açısı, Kohezyon	Derin Yapılar, Tünel, Linyit ocakları, Parçalanmış Fay Zonları

Süreksizliklerle kısmen veya tümüyle ayrılmış olan bir kaya elemanlarının (çatlak cismi - taş) kayaç içindeki boyutları, biçimleri, dizilimleri ve süreksizliklerin tüm fiziko mekanik özellikleri “**kaya dokusu**” kavramını içinde ele alınmaktadır.

Kaya mekaniği açısından süreksizliklerin tanımlanması sırasında, bunların

1. Türü (Tabaka, kesme çatlağı, çekme çatlağı, fissür, fay vb gibi)
2. Konumu (x, y, z)
3. Takımı ($\zeta T_1, \zeta T_2, \zeta T_3 \dots$)
4. Aralığı (d (d_{min}, d_{max}))
5. Sıklığı (k (k_{min}, k_{max}))
6. Ayrılma derecesi (χ)
7. Oluşturduğu kaya elemanı boyutu ($d_1 \times d_2 \times d_3$)
8. Pürüzlülüğü
9. Dolgu malzemesi (türü, c, ϕ)
10. Dolgu kalınlığı (s)
11. Açıklığı (S)

sayısal olarak saptanmak zorundadır. (Yüzer ve Vardar 1986)

Bu bilgiler ışığı altında proje sahasında mühendislik jeolojisi çalışmaları sırasında yukarıda sıralanan kayanın doku özellikleri tespit edilmiş ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar ile birleştirilerek;

- i. RMR Sınıflama Sistemi (1973)
- ii. İTÜ-MJKM-Vardar Sınıflaması (1977)
- iii. Hoek – Brown Göreceli Yenilme Ölçütü (1980)

Sınıflamaları yapılmış ve aşağıda maddeler halinde gösterilmiştir.

4.2.3.1 RMR sınıflama sistemi

RMR Sınıflama Sistemi, ilk kez 1972-1973 yılları arasında Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiştir. Bieniawski’nin o dönemde Güney Afrika Bilimsel ve Sanayi Araştırma Merkezi (CSIR)’nde çalışıyor olması nedeniyle, adı daha sonra

“Kaya Kütlesi Puanlama Sistemi (Rock Mass Rating System – RMR)” olarak değiştirilen bu sistem uygulamacılar tarafından uzun yıllar boyunca “CSIR Jeomekanik Sınıflama Sistemi” olarak anılmıştır. Sistemin geliştiricisinin uyarılarına rağmen, ancak 1980’lerin sonuna doğru RMR adının kullanımı yaygınlaşmıştır. Başlangıçta bu sistem Bieniawski’nin sedimanter kayalarda açılmış tünellerde yaptığı gözlemler ve bu gözlemlerden kazandığı deneyimler esas alınarak geliştirilmiştir. Sistem 1989’a kadar geçen 15 yıllık süre içinde yapılan gözlemler ve yeni veriler esas alınarak birkaç kez değişikliğe uğramıştır. 1973’ten 1989’a kadar tüneller, büyük yeraltı açıklıkları, maden işletmeleri ile ilgili toplam 351 farklı uygulamadan derlenen veriler ve kazanılan deneyimler çerçevesinde sistem son şeklini almıştır (Bieniawski, 1989). Sistemin zaman içerisinde sık sık değişikliğe uğraması, uygulamacıların bu değişiklikleri izleyebilmelerini ve bunlara kısa sürede uyum sağlamalarını güçleştirmiştir. Bu nedenle, daha sonraki dönemlerde bile zaman zaman sistemin eski versiyonlarının kullanıldığı görülmektedir. (Ulusay, 2002).

RMR Parametresi		RMR Puanlaması (ortalama)
I _D	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti	5
I _{RQD}	RQD	12
I _{SA}	Süreksizlik aralığı	10,8
I _{SD}	Süreksizlik Yüzeyinin Durumu	
	Devamlılık	2
	Süreksizlik açıklığı	4
	Pürüzlülük	5
	Dolgu	2
	Bozunma	5
I _{YA}	Yeraltısuyu Durumu	15
Temel RMR		60,8
Kaya Sınıfı		II veya III

Çizelge 4.11 : RMR sisteminde kaya sınıfları ve puanları

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

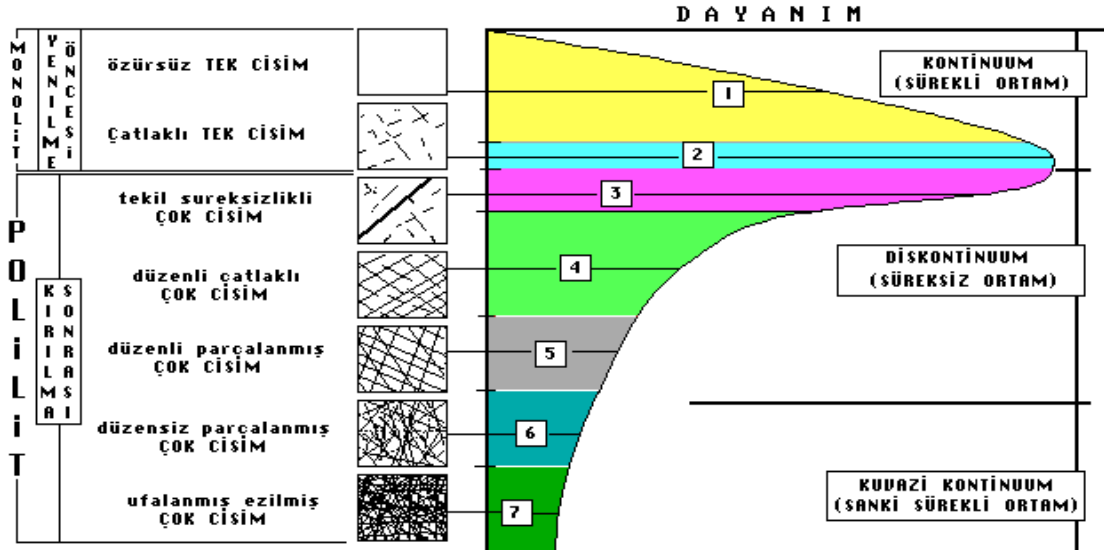
Hesaplanan temel RMR değerleri 60,8 olarak bulunmuştur. Bu değere göre baraj eksenini ve civarındaki Oltuçayı volkanitleri “orta kaya” ile “iyi kaya” kaya sınıflamasında (Çizelge 4-14) olduğunu göstermektedir. Bu sınıflamaya göre kaya kütlelerinin kohezyonu 300 kPa ve içsel sürtünme açısının 35° olduğu (Çizelge 4-15) belirlenmiştir.

Çizelge 4.12 : RMR sisteminde kaya sınıflarının bazı özellikleri

Sınıf No	I	II	III	IV	V
Kaya kütlelerinin kohezyonu (kPa)	> 400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	<100
Kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı (°)	> 45	35 – 45	25 – 35	15 – 25	<15

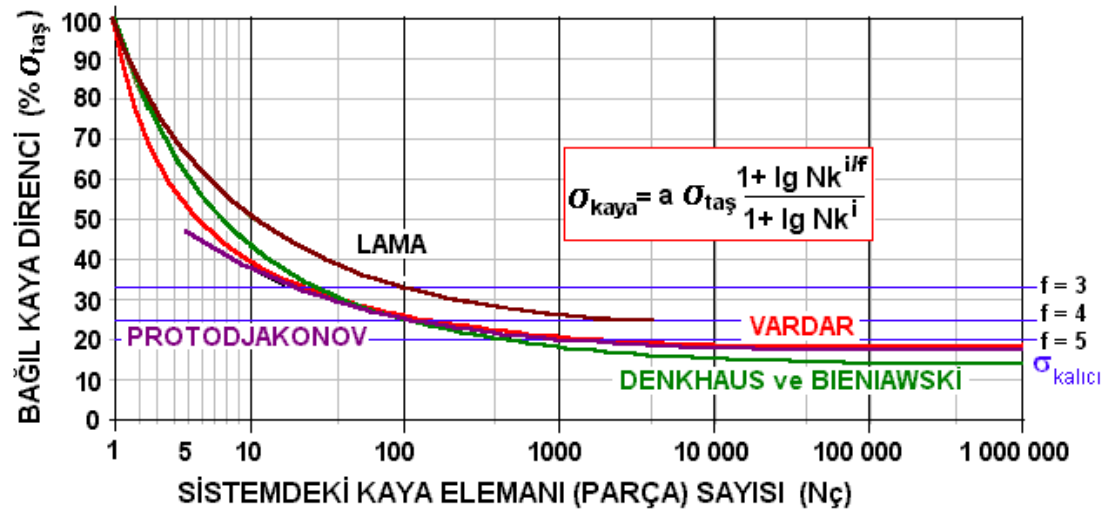
4.2.3.2 İTÜ-MJKM-Vardar sınıflaması

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda laboratuvar deneyleri sonuçlarının kayaya aktarılamıyacağı ve kayanın her yeni ortam ve koşulda her yeni teknik girişim için yerinde kendine özgü mekanik parametreler göstereceği saptanmıştır. Bu duruma bağlı olarak da sistem büyüklüğüne bağlı olarak kırılma öncesi, sırası ve sonrasında kaya ortam farklı davranışlı olacak ve farklı dayanım parametreleri sunacaktır (Şekil 4-9).



Şekil 4.9 : Kaya Mekaniğinde aynı ortamın “Sistem Büyüklüğü”ne bağlı olarak farklı şekilde davranmasının Post- failure davranışı ile açıklanması (Vardar, 2002).

Mevcut proje deneyimleri ile de uyum içindeki bu sonuçlara ilişkin ilk bağıntı, çok sayıdaki model deney ve arazi çalışmalarına dayalı olarak geliştirilmiştir (Vardar, 1977).



Şekil 4.10 : Tek Eksenli Basınç Dirençlerine Bağlı Olarak Taş-Kaya İlişkisi (Vardar, 1977)

Şekil 4-10’ da belirtildiği gibi bağıl kaya direncinin % 80 azalmasıyla sistemdeki kaya elemanı sayısı sonsuza gitmektedir. Buna bağlı olarak bağıl kaya direncinde ise bir değişim görülmemektedir.

$$\sigma_{arazi} = a \times \sigma_{lab} \frac{1 + \lg(N_k)^{i/f}}{1 + \lg(N_k)^i} \quad (4.3)$$

Bu eşitlikte

σ_{arazi} : Kayanın arazide beklenen tek eksenli basınç direnci (σ_{kaya})

σ_{lab} : Laboratuvar örneğinin deneyde belirlenen tek eksenli basınç direnci ($\sigma_{taş}$)

a : Anizotropi yükleme yönüne bağlı olarak azalan dayanımın oransal değeridir. ($0.2 \geq a \leq 1$)

N_k : Teknik girişimden etkilenen alandaki parça (birim kaya elemanı) sayısı

i : İnhomojenlik (heterojenlik) sayısı

f : Direnç düşüm sayısı ($3 > f < 40$) dır.

σ_{lab} ve a , yönlü örneklerin kullanıldığı tek eksenli basınç direnci deneyleri ile laboratuvar da kolayca belirlenebilirken i ve f için daha özel deneylere ihtiyaç duyulur. Bunların başında yenilme sonrası (Post failure) deneyleri gelmektedir. Anizotropi sayısına ise yönlü örneklerde elde edilen tek eksenli basınç dirençlerinin karşılaştırılması ile ulaşılır. Tabakaların etkisinin görüldüğü durumlarda ölçülen en küçük direncin en büyük dirence oranı a' yı vermektedir.

$$a = \sigma_{min} / \sigma_{max} \quad (4.4)$$

Belirgin süreksizliklerin bulunduğu ortamlarda anizotropi sayısı saptanırken süreksizliklerin ve taşın yenilmesi için gereken asal gerilme oranlarının karşılaştırılması gerekir. Bu durumda anizotropi, $n = \sigma_{2,3} / \sigma_1$ olmak üzere

$$a = n_{süreksizlik} / n_{taş} \quad (4.5)$$

şeklindedir. Mohr hipotezi gereği, asal gerilme oranının içsel sürtünme açısından hareketle belirlenmesi de mümkün olduğundan $n = \sigma_{2,3} / \sigma_1$ ilişkisi

$$n = (1 + \sin \varphi) / (1 - \sin \varphi) \quad (4.6)$$

bağıntısı kullanılarak da bulunabilir. Ancak bu durumda da taşın ve süreksizliklerin içsel parametreleri, 3 eksenli deneyler ve kesme kutusu deneyleriyle saptanmış

olmalıdır. Araştırmalar anizotropi sayısının 0.2 ila 1 değerleri arasında değişebileceğini göstermiştir. Ayrıca; taşın asal gerilme oranlarının 4’ den küçük olduğu durumlarda anizotropi etkisinin azaldığı ve a değerinin giderek 1’ e yaklaştığı gözlenmiştir. Buradan çıkarılacak sonuç, dayanımı düşük kayalarda ve ayrışma zonlarında yön bağımlı davranışların çok sınırlı olabildiğidir.

Laboratuvar deneylerinde elde edilen Post failure eğrileri incelendiğinde, kayaların türlerinin kalıcı (rezidüel) dayanım için belirleyici olduğu anlaşılmıştır. Yüksek dirençli gevrek kayalarda, kırılma sonrasında elde edilen rezidüel dayanım, oransal olarak çok büyük düşüş göstermiş, daha zayıf ve plastik davranışlı kayalarda ise bu düşüş daha sınırlı kalmıştır.

Sonuçta; post failure davranışının asimptotu şeklinde de ifade edilebilecek olan bu direnç düşüm faktörü “f” için kullanılabilecek değerleri içeren bir Şekil (Çizelge 4-9) hazırlanmıştır.

Çizelge 4.13 : Farklı Kaya Türleri İçin Post Failure Deneylerinde Elde Edilen Direnç Düşüm Değerleri

Kaya Türü	Direnç düşüm sayısı “f”
Obsidiyen	>40
Kuvarsit	30-40
Granit	25-35
Bazalt	20-30
Kumtaşı	15-25
Kireçtaşı	12-20
Marn	8-15
Kiltaşı	3-12

Arazide beklenen kaya direncini veren (5) nolu bağıntı, daha sonraki çalışmalarda projedeki kazı boyutlarını ve mühendislik jeolojisi parametrelerini öne çıkaran anlayışlarla geliştirilmiştir (Vardar, 2002).

$$\sigma_{arazi} = a \times \sigma_{lab} \frac{1 + 2i/f \times \log(SBxk)}{1 + 2i \times \log(SBxk)} \quad (4.7)$$

Bu denklemde

k : eşdeğer çatlak sıklığı (k_{stini})

SB : Sistem Büyüklüğü olup yeraltı açıklığının 8 katı kadardır.

$$SB = 8 D^\phi \quad (4.8)$$

D^ϕ : Yeraltı açıklığının eşdeğer çapı (kazı açıklığının ortalama çapı) dır.

i ve f değerleri için de Barton ve Müller yaklaşımlarından alınan değerlerin kullanıldığı yeni bağıntılar geliştirilmiştir.

Buna göre:

$$i = \chi J_r (J_a)^{0.5} \quad (4.9)$$

ve

$$f = SRF \tan \phi \quad (4.10)$$

olacak şekilde belirlenmiştir.

Kayanın yük taşıma direncinin bilinmesi, tünel hesapları için yetersiz kaldığından, çatlaklanma ve kırılanmanın etkisiyle içsel parametrelerdeki değişimlerin de yeni bağıntılarla somutlaştırılması gerekmektedir. Bu kapsamdaki çalışmalarımız kayanın teknik kohezyonunun

$$c_{kaya} = c_{lab} i^{0.5} \sigma_{kaya} / \sigma_{lab} \quad (4.11)$$

ve sürtünme açısının

$$\phi_{kaya} = 90 - ((2 \arctan (2 c_{kaya} / \sigma_{kaya})) \quad (4.12)$$

eşitlikleriyle verilebileceğini göstermiştir.

Dış etkilere bırakılan kayanın içsel parametrelerinin zaman, su ve psödoplastikleşme etkisiyle alabileceği son değerler için ise Barton ve Bianiawski parametreleriyle:

$$\phi_{rez} = \phi_{kaya} J_W RMR_{final} / RMR_{basic} \quad (4.13)$$

ve

$$c_{rez} = 0.018 c_{kaya} \quad (4.14)$$

bağıntıları geliştirilmiştir.

Bu bağıntılara göre kaya kütlelerinin parametreleri eşitlik (7)'te yerine konarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\sigma_{arazi} = a \times \sigma_{lab} \frac{1 + 2i/f \times \log(SB \times k)}{1 + 2i \times \log(SB \times k)}$$

$$a = 0,2$$

$$\sigma_{lab} = 18,56 \text{ MPa (Çizelge 4-9)}$$

$$SB = 80 \text{ m.}$$

$$f = 25 \text{ (Çizelge 4-13)}$$

$$k = 20 \text{ adet/m}$$

ve

$$i = \chi J_r (J_a)^{0,5}$$

$$\chi = 25 \text{ mm}$$

$$J_r = 3$$

$$J_a = 4$$

İse

$$\sigma_{arazi} = 0,2 \times 18,56 \frac{1 + 2 \times 0,15 / 25 \times \log(80 \times 20)}{1 + 2 \times 0,15 \times \log(80 \times 20)}$$

$$\sigma_{arazi} = 4,31 \text{ MPa}$$

Olarak bulunur. Burdan kaya kütlelerinin kohezyonunu eşitlik (4.11) ve sürtünme açısı eşitlik (4.12)'de yerlerine konarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$c_{kaya} = c_{lab} i^{0,5} \sigma_{kaya} / \sigma_{lab}$$

$$c_{kaya} = 18,56 \times (0,15)^2 \times 4,31 / 40,7$$

$$c_{kaya} = 0,760 \text{ MPa}$$

ve

$$\phi_{kaya} = 90 - ((2 \arctan(2 c_{kaya} / \sigma_{kaya}))$$

$$\phi_{kaya} = 90 - ((2 \arctan(2 \times 0,76 / 4,31))$$

$$\phi_{kaya} = 51^{\circ}$$

Olarak bulunur.

Çizelge 4.14 : İTÜ-MJKM-Vardar sınıflama sistemine göre kaya kütle parametreleri

	Kohezyon c (kPa)	İçsel sürtünme açısı φ (°)
Ortalama	760	51

4.2.3.3 Hoek-Brown göreceli yenilme ölçütü

Hoek-Brown Göreceli Yenilme Ölçütü, E. Hoek ve E.T. Brown'ın 1980'de basılan *Underground Exavations in Rock* adlı kitabının hazırlık aşamasında, yeraltı kazılarının tasarımı konusuna katkıda bulunmak amacıyla geliştirilmiştir. O dönemde yazarlar, çalışmalarını jeolojik bilgilerle ölçülebilecek boyutsuz bir denklem üstünde odaklamıştı. Hoek-Brown denklemi ne yeniydi ne de emsalsizdi – kendisiyle özdeş bir denklem 1936'dan beri, uzun zamandır betonun yenilmesini açıklamak amacıyla kullanılmaktaydı. Bienawski'nin RMR'si genelde, ölçütü sahadaki mühendislik jeolojisi bilgisiyle ilişkilendirebilmek için kullanılır, fakat 1995 yılında Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) adı verilen daha özel amaçlı bir sınıflandırma sistemi ortaya konulmuştur. Hem Hoek-Brown ölçütü hem de GSI sınıflandırması zaman içinde gelişmiştir, ve yeni uygulamaları karşılamak ve kullanıcılar tarafından karşılaşılan sıradışı şartlarda ele alınmak için gelişmeye devam etmektedir (Hoek, 2007).

Ölçütün gerek 1995 gerekse 1997'deki versiyonlarında GSI'deki küçük bir değişim kaya kütlesi sabitlerini etkilemektedir. Bu husus gözetilerek süreksizlik yüzeyi koşulunun ve kaya kütlesi yapısının doğru ve duyarlı bir şekilde tayini amacıyla ölçülebilen ve/veya tanımlanabilen bir puanlama sistemine geçilmesi gerekli görülmüştür. Bu amaçla “Yapısal Özellik Puanı (SR)” ve “Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı (SCR)” olarak tanımlanan iki parametrenin sisteme dahil edilmesi önerilmiştir (Sönmez ve Ulusay, 1999; Ulusay ve Sönmez, 2000)

Yapısal Özellik Puanı'nın (SR) belirlenmesi amacıyla hacimsel eklem sayısı (Jv) önerilmiştir. Hacimsel eklem sayısı (Jv) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \dots \dots \frac{1}{S_n} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{S_i} \right) \quad (4.15)$$

Yapısal Özellik Puanı ise GSI sınıflama sistemi abağı'ndan ve/veya

$$SR = -17,5 \ln(J_v) + 79,8 \quad (4.16)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Süreksizlik yüzey koşulunun tanımlanması amacıyla RMR Sınıflama Sistemi'nin dolgu, bozunma ve pürüzlülükle ilgili olarak önerdiği tanımlamalar ve Bieniawski (1989) tarafından bu parametrelere verilen puanlar kullanılmış olup, Süreksizlik Yüzey Koşulu için 0 ile 18 arasında değişen puanlar atanmıştır. Süreksizlik Yüzey Koşulu puanı,

$$SCR = R_r + R_w + R_f \quad (4.17)$$

ifadesinden hesaplanmaktadır. Burada sırasıyla; süreksizliklerin pürüzlülük, bozunma ve dolgu puanları olup, Sönmez ve Ulusay (1999)'ın önerdiği şekilden belirlenmektedir (Çizelge 4-10).

Çizelge 4.15 : Süreksizlik yüzey koşulu puanları (SCR)

Pürüzlülük (Rr)	Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan
Puan	6	5	3	1	0
Bozunma (Rw)	Yok	Az Bozunmuş	Orta Derecede Bozunmuş	İleri Derecede Bozunmuş	Çok İleri Derecede Bozunmuş
Puan	6	5	3	1	0
Dolgu (Rf)	Yok	Sert < 5 mm	Sert > 5 mm	Yumuşak < 5 mm	Yumuşak > 5 mm
Puan	6	4	2	2	0

Bu bilgiler ışığı altında baraj yeri ve çevresi için modifiye edilmiş GSI tespiti minimum, ortalama ve maksimum aralık değerlerine göre hesaplanmış ve aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 4.16 : Baraj yeri ve çevresi için modifiye edilmiş GSI tespiti

	Hacimsel Eklem Sayısı (Jv)*	Yapısal özellik puanı (SR) **	Süreksizlik yüzey koşulu puanı (SCR)	GSI
Ortalama Aralık	$(1/0,5 + 1/0,5 + 1/0,5 + 1/0,5) = 8$	43,4	$(R_r=5 + R_w=5 + R_f=2) = 12$	49,0

* Jv değerleri Çizelge 4-4'ten alınmıştır.

** GSI sınıflama sistemi abağı'ndan ve/veya $SR = -17,5 \ln(J_v) + 79,8$ eşitliğinden (Sönmez ve Ulusay, 2002)

Hoek ve Brown, kayalardaki kırık mekaniğiyle ilgili deneyimlerini ve kaya malzemesinde çok sayıda, eklemli kaya kütlelerinde ise oldukça sınırlı sayıda yapılan deneylerin sonuçlarını esas alarak, Griffith (1924) yenilme ölçütüyle uyum gösterebilecek bir dizi parabolik eğr, üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar çalışmaları sırasında; özellikle sıkıştırıcı gerilmeler altındaki gevrek kayalarda gözlenen yenilme loşullarına uyan bir ilişki üzerinde durmuşlar ve bu amaçla deneme-yenilme yaralanmışlardır. Dolayısıyla Hoek ve Brown'un geliştirdiği yenilme ölçütü, Griffith (1921 ve 1924)'in önerdiği ve McClintock ve Walsh (1962) tarafından modifiye edilen kuramın üzerine kurulmuştur. Şekil 4-9'da gösterilen (Müller 1963, Vardar 1977) kaya ortamlarının adları ve bunların sistem büyüklüğündeki görünümünün yanı sıra, gerilme-deformasyon grafiği üzerinde kayanın yenilme (kırılma öncesi, yenilme sırası ve sonrasındaki idealize edilmiş davranışı görülmektedir. Bu yaklaşımın, kaya kütleleri için önerilen Hoek-Brown yenilme ölçütünün gelişiminde ve buna ilişkin kaya kütlesi kavramları açısından bir esin kaynağı olmuştur.

Hoek ve Brown, çalışmalarının sonucunda en büyük asal gerilme ile en küçük asal gerilme ve makaslama dayanımı arasındaki ilişkinin eğrisel olduğunu belirlemişler ve aşağıdaki yenilme ölçütünü önermişlerdir (Ulusay 2002)

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci}(m_b \sigma_3' / \sigma_{ci} + s)^a \quad (4.18)$$

Burada m_b , s ve a malzeme sabitleri olup aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$m_b = m_i \exp (GSI - 100/28 - 14D) \quad (4.19)$$

$$s = \exp (GSI - 100/9 - 3D) \quad (4.20)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (4.21)$$

Bu eşitliklerde m_i masif kayanın boyutsuz malzeme sabiti olup inceleme alanındaki andezitler için 25 ± 5 olarak önerilmiştir. Çizelge 4-16'da Baraj yeri ve çevresi için modifiye edilmiş GSI tespiti hesaplanmıştır. O halde m_b , s ve a malzeme sabitleri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$m_b = 25 \times \exp(49 - 100/28 - 14 \times 0)$$

$$m_b = 4,045$$

,

$$s = \exp(49 - 100/9 - 3 \times 0)$$

$$s = 0,00346$$

ve

$$a = 0,5 + 1/6(e^{-49/15} - e^{-20/3})$$

$$a = 0,505$$

olarak bulunur, bulunan bu değerler kohezyon ve sürtünme açısının tahmini amacıyla ölçütün 2002 yılında geliştirilen son versiyonunda aşağıdaki eşitlikler önerilmiştir.

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad (4.22)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1})/((1+a)(2+a))}} \quad (4.23)$$

Bu eşitliklerde değerler yerlerine konulduğunda, kaya kütesinin parametreleri hesaplanmış olur.

Burada $\sigma'_{3n} = \sigma_{ci}/4$ olarak önerilmiştir.

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6 \times 0,505 \times 4,045 \times (0,00346 + 4,045 \times 10,175)^{0,505-1}}{2 \times (1 + 0,505) \times (2 + 0,505) + 6 \times 0,505 \times 4,045 \times (0,00346 + 4,045 \times 10,175)^{0,505-1}} \right]$$

$$\phi' = 38^\circ$$

ve

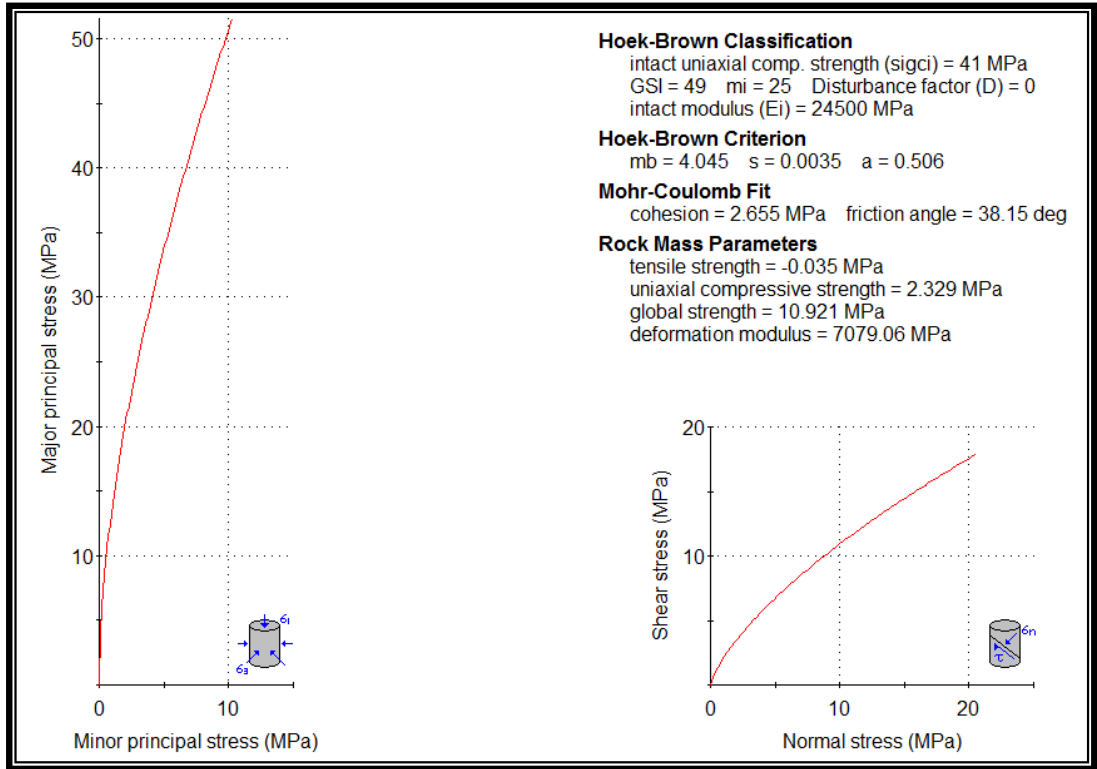
$$c' = \frac{40,7 \times [(1 + 0,505) \times 0,00346 + (1 - 0,505) \times 4,045 \times 10,175] \times (0,00346 + 4,045 \times 10,175)^{0,505-1}}{(1 + 0,505) \times (2 + 0,505) \sqrt{1 + (6 \times 0,505 \times 4,045 \times (0,00346 + 4,045 \times 10,175)^{0,505-1})/((1 + 0,505) \times (2 + 0,505))}}$$

$$c' = 2644 \text{ kPa}$$

Olarak elde edilir.

Çizelge 4.17 : Oltuçayı volkanitleri için kaya kütle parametreleri

Tek eksenli basınç direnci	Jeolojik dayanım indeksi	Malzeme sabiti	Elastisite modülü	Kohezyon	İçsel sürtünme açısı
<i>UCS</i>	<i>GSI</i>	<i>m_i</i>	<i>E_i</i>	<i>c</i>	<i>Φ</i>
(Mpa)			(MPa)	(kPa)	(°)
41	49,0	25	24,5	2644	38



Şekil 4.11 : Oltuçayı volkanitlerinin kütle parametreleri

4.2.4 Farklı yöntemlere göre belirlenmiş olan kaya kütle dayanımlarının karşılaştırılması

Bölüm 4.2.3'te Oltuçayı volkanitlerine ait kütle dayanım parametreleri yüzey jeolojik haritalamasından elde edilen veriler ve laboratuvar deneylerinden elde edilen taşın fiziksel ve mekanik özellikleri kullanılarak;

- Hoek – Brown Göreceli Yenilme Ölçütü
- RMR Sınıflama Sistemi
- İTÜ-MJKM-Vardar Sınıflaması

Sınıflamaları kullanılarak yapılmış ve aşağıdaki tabloda (Çizelge 4-18) karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 4.18 : Farklı sistemlere göre bulunan kaya kütle parametrelerinin karşılaştırılması

Sınıflama	Kohezyon c (kPa)	İçsel sürtünme açısı ϕ (°)
	Ortalama	Ortalama
RMR	300	35
İTÜ-MJKM-Vardar	760	51
Hoek – Brown	2644	38

Arazide yapılan mühendislik jeolojisi çalışmaları ile Çizelge 4-18’de verilen değerler karşılaştırıldığında RMR değerlerinin ortam koşullarına göre güvenli tarafta kaldığını gözlemliyoruz. Hoek-Brown sınıflama sisteminde ise kohezyonun çok yüksek değerlere çıktığı görülmektedir. İTÜ-MJKM-Vardar sisteminde ise içsel sürtünme açısının yüksek olduğu gözlenmiştir. Kısaca Ayvalı barajı ve eksen yerinde 3 ayrı sisteme göre yapılan hesaplamalarda Oltuçayı volkanitlerine ait kütle parametreleri oldukça farklılıklar göstermektedir. Bu sebeple Oltuçayı volkanitlerine ait kütle parametrelerini en doğru şekilde belirlemek amacıyla yerinde deneyler yapılması gerekmektedir.

4.2.5 Kaya kütlelerinin deformasyon modülü

Kaya malzemesiyle birlikte süreksizlikleri de içermesi nedeniyle, kaya kütlelerinden laboratuvar da deney yapılabilecek boyutlarda büyük örnekler alınamamaktadır. Bu sebeple çeşitli araştırmacılar tarafından kaya kütlelerinin deformasyon modülünü tahmin amacı ile ampirik eşitlikler geliştirilmiştir. Bu bölümde çeşitli araştırmacılara göre Oltuçayı Volkanitlerinin deformasyon modülü hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülü ile RMR arasındaki ilişkiler Nicholson ve Bieniawski’ ye (1990) ve Sönmez vd (2006b) göre tespit edilmiş ve bulunan değerler Hoek & Brown kırılma kriterine göre karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre;

$$E_m = E_i (AF) \quad (\text{Nicholson ve Bieniawski}) \quad (4.24)$$

Burada E_i kaya malzemesinin elastisite modülü ve AF azaltma faktörü olup $AF = 0.0028(RMR)^2 + 0.9e^{[(RMR)/22.82]}$ eşitliğinden bulunabilir.

Ortalama Temel RMR'nin 60,8 olduğu durumda AF %23,2 olarak bulunur ve $E_m = E_i (AF)$ eşitliği kullanılarak kaya kütleinin deformasyon modülü (E_i 'nin 24,5 GPa olduğu durumda) 5,7 GPa olarak bulunur.

$$E_m = E_i 10^{[(((RMR-100)(100-RMR)/4000 \exp(-RMR/100)))]} \quad (\text{Sönmez vd.}) \quad (4.25)$$

Kayaç malzemesinin Elastisite modülünün 24,5 GPa ve temel RMR'nin 60,8 olduğu durumda yukarıdaki eşitlikten (Sönmez vd.) kaya kütleinin deformasyon modülü 4,8 GPa olarak bulunur.

$$E_m = E_i \left(0.02 + \frac{1 - (D/2)}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right) \quad (\text{Hoek ve Diederichs}) \quad (4.26)$$

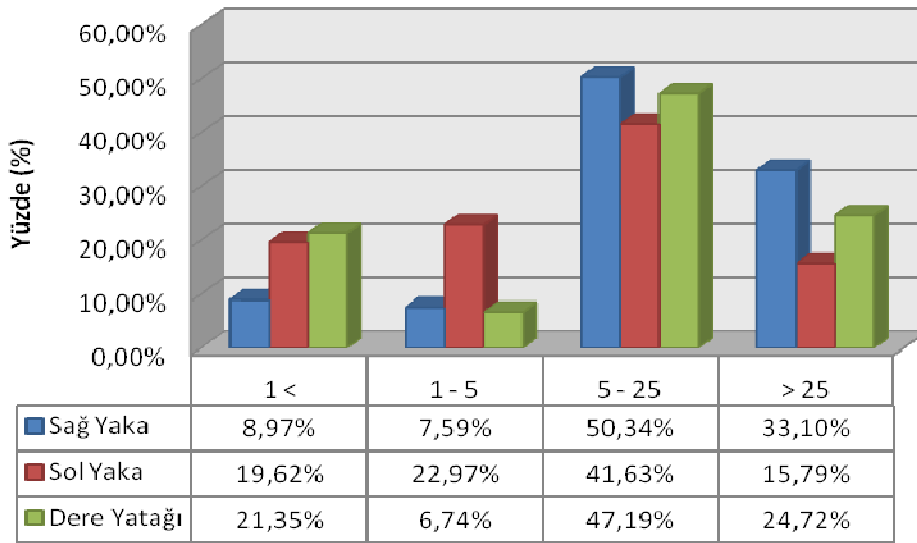
Burada E_i kaya malzemesinin elastisite modülü, D örselenme fakörü ve GSI da Jeolojik dayanım indeksi olup değerler yerine konulduğunda kaya kütleinin deformasyon modülü 7,1 GPa olarak bulunur .

Çizelge 4.19 : Deformasyon modülü hesaplamaları

Eşitliği Öneren	Yılı	Kullanılan parametreler	Eşitlik	%10 (GPa)	Ortalama (GPa)	%90 (GPa)
Nicholson ve Bieniawski	1990	E_i, RMR	$E_m = E_i(0.0028RMR^2 + 0.9e^{(RMR/22.82)})$	1,1	5,7	17,1
Hoek ve Brown	1997	GSI, σ_{ci}	$E_m = (\sigma_{ci}/100)^{0.5} 10^{(GSI-10)/40}$	1,9	6,0	11,7
Hoek ve Diederichs	2006	E_i, GSI, D	$E_m = E_i \left(0.02 + \frac{1 - (D/2)}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$	1,2	7,1	19,9
Sönmez vd.	2006b	E_i, RMR	$E_m = E_i 10^{[(((RMR-100)(100-RMR)/4000 \exp(-RMR/100)))]}$	0,6	4,8	19,4

4.2.6 Kayaçların geçirimsizlik açısından incelenmesi

Baraj yerinde ön etüt amacı ile açılan 7 adet araştırma kuyusuna ilaveten 6 adet temel sondaj kuyusu daha açılmıştır. Bu açılan sondajlarda yapılan su testlerinde Oltuçayı volkanitlerinin içerdikleri çatlak sistemlerine, ayrışma ve çatlakların dolgu durumuna göre geçirimsiz ile çok geçirimli mertebesinde zonlar içerdiği saptanmıştır. Baraj yerinde açılan bu sondajlarda yapılan basınçlı su testlerinde 0 - 64 Lugeon arasında değerler elde edilmiştir. Yapılan Lugeon deneylerini sağ yamaç, sol yamaç ve talveg için değerlendirdiğimizde aşağıdaki istatistik değerler karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 4.12 : Baraj Yerinde Yapılan Lugeon Değerlerinin Dağılımı

Baraj yerinde kret kotu altında temeli oluşturacak birimler üzerinde gerçekleştirilen Lugeon deney sonuçları incelendiğinde değerlerin derinlikle net bir azalma göstermediği ve oldukça heterojen bir dağılım içinde oldukları gözlenmiştir. Bununla beraber ölçülen değerlerin sağ sahilde yaklaşık %83'ü, sol sahilde %57 si ve talvegde ise %72'si 5 Lugeon değeri üzerindedir.

Genel olarak literatürde mağmatikler geçirimsiz olarak kabul edilmelerine karşın yapılan su testlerinde Oltuçayı volkanitlerinin içerdikleri çatlak, ayrışma ve alterasyon zonlarına, ayrıca minerolojik yapısına göre geçirimsiz ile çok geçirimli kayaç gurubu içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Baraj yerinde yapılan yeraltısuyu ölçümleri de bu durumu doğrulamaktadır. Oltuçayı volkanitleri akifer özelliği taşımaz ancak geçirimsizlik yönünden dikkat edilmelidir. Yapılan BST deneylerinde

alt kademelere doğru Lugeon değerlerinde azalış olmadığı gibi yeraltı su seviyesinin yamaçlara doğru yatay olduğu ya da çok az eğimli olarak yükseldiği tespit edilmiştir.

Baraj yeri için geçirimsizliği sağlamak amacıyla enjeksiyon perdesinin oluşturulması gereklidir.

Yeraltı su seviyesinin yamaçlara doğru çok az bir eğimle yükselmesi, geçirimsiz seviyelerin yamaçlarda ve talvegte derinlere doğru tespit edilememesi, yapılan BST deneylerinde Oltuçayı volkanitlerinin bazı seviyelerinde basıncın yükselmemesi, basınçlı su testlerinde elde edilen lugeon değerlerinin büyük farklılıklar göstermesi nedenleri ile baraj yerini oluşturan Oltuçayı volkanitlerinin içerisinde yer alan çatlakların basınç altında yıkandığı bu nedenle de yapılan BST testlerinde basıncın yükselmediği ve su kaçaqlarını arttığı düşünülmektedir. Bu durumdan baraj yerinde yapılması düşünülen enjeksiyon perdesinin boyutları olumsuz olarak etkilenmekte ve yamaçlara doğru geçirimsiz seviyelerin hem derinlik olarak hem de yatay olarak tespit edilememesi nedeni ile enjeksiyon galerilerinin açılması zorunlu olmaktadır.

Enjeksiyon perdesi boyutlandırması iki temel parametre üzerinedir. Bu parametreler;

- i. Yeraltı su tablası,
- ii. Lugeon değerleri

Dolayısıyla, enjeksiyon perdesi yamaçlarda yeraltı su tablasının altına uzanacak kadar uzatılacaktır. Yeraltı su tablasının altında bulunan talveg de Lugeon değerleri kriter olarak alınmıştır. Yukarıdaki istatistikleri içeren şekilde görüldüğü gibi değerlerin büyük çoğunluğu 5 – 25 Lugeon aralığındadır. Bu durumda, geçirimsizliğe bağlı perde enjeksiyon deliği derinliği Şekerçioğlu,1998'e göre uyarlanmıştır. Buna göre

$$h' = 1/2h + c$$

eşitliği ile talveg deki perde derinliği 90 m olarak hesaplanmıştır.

h' = perde derinliği,

h = baraj yüksekliği,

c = 7.5 ile 23 arasında sabit olup, burada 15 alınmıştır.

4.3 Baraj Gövdesi Temeli ve Yamaç Duraylılığı

Baraj yerinde açılan sondajlarda yaklaşık 50 – 55 metre kalınlığında alüvyon geçilmiştir. Alüvyonun altında da kalınlığı ayrışma derecesine bağlı olarak değişen altere kaya zonu yer almakta olup her iki yamaçta da farklı kalınlıklarda bulunmaktadır. Yine baraj yerinde yapılan sondajlarda özellikle hidrotermal alterasyon sonucunda oluşmuş killeşmiş seviyelere raslanılmıştır. Sıyırma kazıları yapılırken bu seviyelerin durumuna dikkat edilmesi ve kaldırılması uygun olacaktır.

4.3.1 Kazı yüzeylerinin kinematik açıdan incelenmesi

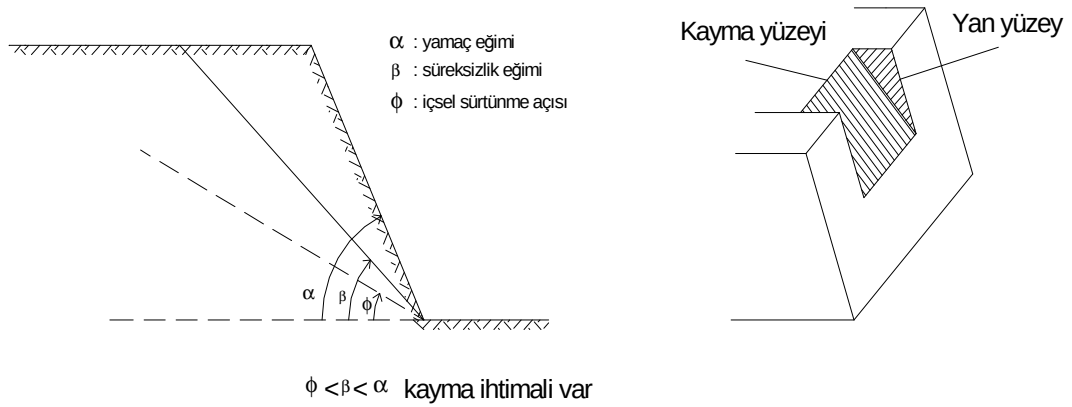
Kinematik analiz yöntemi, duraylılığın süreksizlik sistemleri tarafından denetlendiği kaya şevlerinde duraylı ve duraysız olabilecek şevlerin ayırt edilmesi amacıyla yararlanılan pratik bir yöntemdir. Ekonomik bir yarma, yamaç eğimi araştırması, saha koşullarının ayrıntılı bir şekilde ortaya konması ve jeolojik modelin hazırlanmasından geçer. Yer yer eğim miktarı ve alınabilecek mühendislik önlem ve iyileştirme yöntemleri birlikte ele alınıp uygun çözümün bulunmasını kolaylaştırır. Kaya şevlerindeki duraysızlıklar üç ana başlık altında toplanabilir.

1. Düzlemsel Kayma
2. Kama Tipi Kayma
3. Devrilme Tipi Yenilme

Düzlemsel kayma, oluşması için birçok geometrik koşulun biraraya gelmesini gerektirdiğinden kaya şevlerinde nadiren görülen bir yenilme türüdür. Bu yüzden düzlemsel kayma, kama tipi kaymanın özel bir şekli olarak da tanımlanır. Düzlemsel kayma analizine geçmeden önce yamaç doğrultusu ile süreksizlik doğrultusu arasındaki açı araştırılır. İki doğrultu arasındaki açı 20° - 30° 'den küçük ise kayma analizi yapılır. Eğer iki doğrultu arasındaki açı 20° - 30° 'den büyükse bu süreksizlik düzlemi boyunca kayma olmayacağı için kinematik analiz yapmaya gerek olmayacaktır.

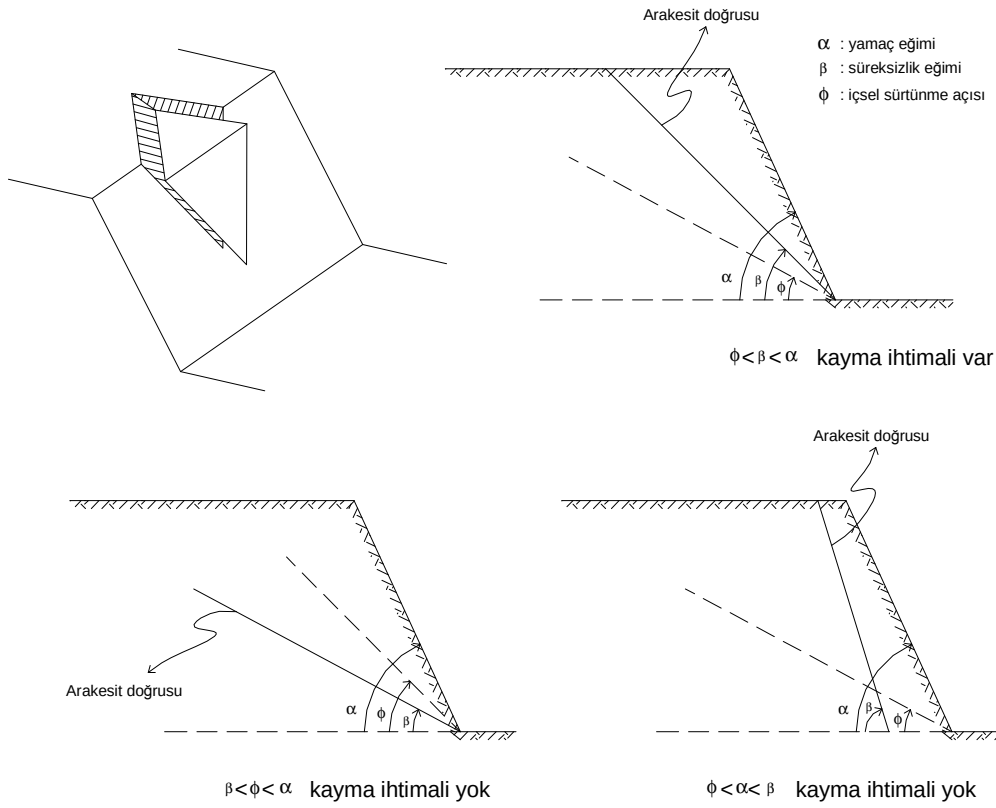
Kaymanın bir düzlem üzerinde olabilmesi için aşağıdaki geometrik koşulların olması gerekir;

- Kayma düzleminin doğrultusu şev aynasının doğrultusuna paralel yada paralele yakın olmalıdır. (yaklaşık $20^\circ - 30^\circ$)
- Kayma düzleminin eğimi, şev (yamaç) eğiminden küçük olmalıdır. ($\beta < \alpha$)
- Kayma düzleminin eğimi bu yüzeydeki içsel sürtünme açısından (ϕ) büyük olmalıdır ($\beta > \phi$)
- Kayan kütlenin iki tarafında yan yüzeyler bulunmamalı yada kaymaya karşı çok az direnç gösteren yüzeyler bulunmalıdır. (Şekil 4-13)



Şekil 4.13 : Düzlemsel kayma koşulu

Kama Tipi Kayma, kaymanın oluşabileceği süreksizliklerin şev aynasını diagonal olarak kestikleri ve kaymanın bu süreksizliklerin herhangi ikisinin kesişme doğrusu boyunca meydana geldiği kayma tipi olarak adlandırılır. Kama tipi kayma Şekil 4-14'te verilen koşulların sağlanması halinde meydana gelmektedir.



Şekil 4.14 : Kama tipi kayma koşulu

Devrilme tipi yenilme tabaka ve süreksizlik düzlemleri dik veya dike yakınsa ve eğim yönü ile yamaç yüzeyi ters yönde ise süreksizlikler yüzeyinde kayma veya devrilme oluşması gündeme gelmektedir. Fakat yamaç doğrultusu ile süreksizlik doğrultusu arasındaki açı $20^\circ - 30^\circ$ 'den fazla ise devrilme analizi yapmaya gerek yoktur.

- Bir kaya şevinde, şev yüzeyi; tüm şev yüzey için asal geriliminin (σ) yönünü gösterir.
- Süreksizlik içsel sürtünme açısı (ϕ), eğer σ 'nın yönü ϕ 'nin süreksizlik düzleminin normali ile yaptığı açıdan büyükse devrilme meydana gelir (Şekil 4-15)

Çizelge 4-20’de belirtilen eklem yüzeyi kesme kutusu sonuçları dikkate alınarak süreksizlik yüzeylerinin parametresi güvenli tarafta kalınarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$c = 5 \text{ kPa,}$$

$$\phi = 35^\circ$$

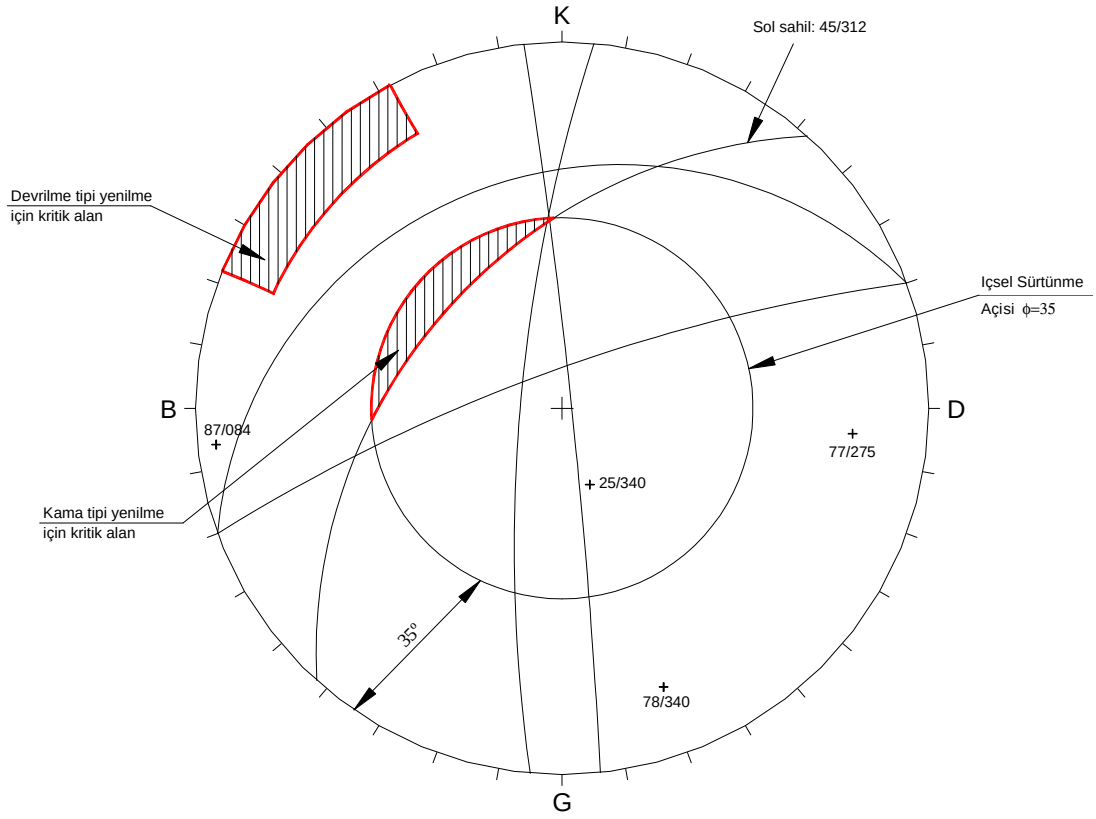
Kinematik analizlerde 4 ana eklem takımı dikkate alınmış olup alın şevlerinin eğim/eğim yönü aşağıda verilmiştir:

Tanımlama	Eğim / Eğim yönü
Eklem 1	77/275
Eklem 2	87/084
Eklem 3	25/340
Eklem 4	78/340
Sol Sahil	45/312
Sağ Sahil	45/132

Şekil 4-16’da ki analizden anlaşıldığı üzere devrilme tipi yenilme için kritik alana hakim eklem takımlarından herhangi birinin kutbu düşmemektedir, bu sebeple sol yakada devrilme tipi yenilme beklenmemelidir.

Sol sahilin yamaç yönelimi 45/312 olduğundan 77/275, 25/340 ve 78/340 yönelimli eklemlerin bu yamaç için düzlemsel kayma yönünden risk taşıyacağı düşünülebilir. Fakat süreksizliklerin içsel sürtünme açısının 35° olduğu ve yamaç eğiminin 45° olduğu düşünüldüğünde bu eklem takımlarının eğimleri $35^\circ - 45^\circ$ derece arasında olmadığı görülmektedir. Üstelik 312 eğim yönü olan sol sahile en yakın eklem takımının eğim yönünün 340 olduğu yani arada 20° fazla fark olduğu görülmektedir. Bu sebeple sol sahilde düzlemsel kayma riski beklenmemelidir.

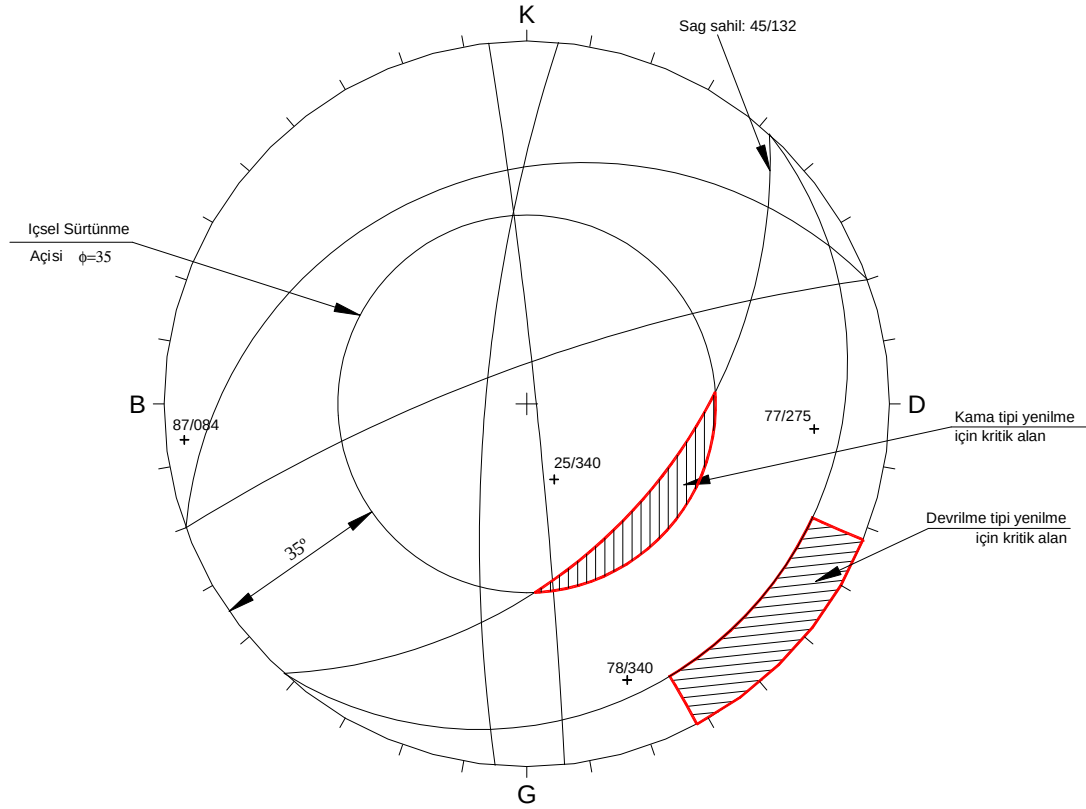
Yine Şekil 4-16’da görüldüğü üzere kama tipi yenilme için kritik alana süreksizlik düzlemlerinin arakesiti noktası yada noktaları düşmemektedir. Bu sebeple sol sahilde genelde büyük kütleli stabilite problemi beklenmemekle beraber inşaat aşamasında süreksizlik kontrolünde küçük ölçekte blok yenilmeleri (kama tipi) görülebilir.



Şekil 4.16 : Sol sahil için kinematik analiz

Şekil 4-17’de ki analizde de üzere devrilme tipi yenilme için kritik alana hakim eklem takımlarından herhangi birinin kutbu düşmemektedir, bu sebeple sağ yakada devrilme tipi yenilme beklenmemelidir.

Yine Şekil 4-17’de görüldüğü üzere kama tipi yenilme için kritik alana süreksizlik düzlemlerinin arakesiti noktası yada noktaları düşmemektedir. Bu sebeple sağ sahilde herhangi bir stabilite problemi beklenmemektedir.



Şekil 4.17 : Sağ sahil için kinematik analiz

4.3.2 Taşıma gücü

Yenilme biçimleri, kalıcı ve izin verilebilir taşıma gücünü belirleme yöntemleri ve taşıma gücü hesapları doğrudan kayaya oturmuş ve temel genişliğinin dörtte birinden daha az miktarda gömülmüş temeller için kullanılır. Kazıklar ve kesonlar için kullanılmaz.

Kural olarak, temel tasarımı yalnızca taşıma gücüne göre değil, deformasyon/oturma, kayma stabilitesi veya devrilme gibi başka faktörler de göz önüne alınarak kontrol edilir.

Kaya kütleleri üzerindeki yapıların taşıma gücü yenilmeleri, temelin genişliği, süreksizliklerin yönelimi, bunların açık veya kapalı oluşuna ve eklem aralığına tabidir. Şekil 4-18 çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen biçimlerden geliştirilen kaya kütlesi koşullarına yönelik tipik yenilme biçimlerini göstermektedir.

Ayvalı barajı eksen yerinde de olduğu gibi eklemli kaya kütlelerinde taşıma gücü yenilmeleri süreksizlik aralığına, yönelmeye, ve ortama bağlıdır.

Sıklıkla görülen ve Ayvalı Barajı'nda da karşılaşılan yenilme türü Şekil 4-18 (iv)'te gösterilen yenilme tipidir. Bu tip yenilmelerde düşey ve kapalı süreksizlikler yanal yönde kısıtlama yapar. Bu durumda genel kesme yenilmesi muhtemel yenilme biçimidir.

Kulhawy and Goodman (1980) bu ortamlar için Şekil 4-18 (iv)'te de gösterilen aşağıdaki eşitliği geliştirmiştir.

$$q_{ult} = cN_c + \frac{B\gamma}{2}N_\gamma + \gamma DN_q \quad (4.27)$$

Daha sonraları Kulhawy derinlik faktörlerini hesaba katarak eşitliğe son halini vermiştir

$$q_{ult} = cN_c \zeta_c + \frac{B\gamma}{2}N_\gamma \zeta_\gamma + \gamma DN_q \zeta_q \quad (4.28)$$

Kaya Kutlesi			Yenilme		Tasima Gucu Esitlikleri
Tip	Sureksizlik Egimi	Sureksizlik Acikligi	Illustrasyon	Mod	
MASIF KAYA	N/A	S>>B		Gevrek Kaya: Yerel (sinirli) gevrek catlaklarca belirlenen kesme yenilmesi	(i) $q_{ult} = cN_c + \frac{B\gamma}{2} N_\gamma$
				Yumusak Kaya: Iyi tanimlanmis yenilme yuzeylerinde genel kesme yenilmesi	(ii) $q_{ult} = cN_c + \frac{B\gamma}{2} N_\gamma + \gamma DN_q$
DIK SUREKSIZLIKLER	70<alpha<90	S<B		Acik sureksizlikler: Kaya kolonlarinin (biyessel) sikisma yenilmesi. Dikey sureksizlik takimlarinda.	(iii) $q_{ult} = 2 c \tan(45+\phi/2)$
				Kapali Sureksizlikler: Iyi tanimlanmis yenilme yuzeylerinde genel kesme yenilmesi. Dikey sureksizlik takimlarinda.	(iv) $q_{ult} = cN_c + 0.5B\gamma N_\gamma + \gamma DN_q$ $q_{ult} = cN_c \zeta_c + \frac{B\gamma}{2} N_\gamma \zeta_\gamma + \gamma DN_q \zeta_q$
		S>B		Acik veya Kapali Eklemler: Yenilme, parcalanma ile baslayip, genel kesme yenilmesine donusur. Dikey eklemler takimlarinda.	(v) $q_{ult} = JcN_{cr}$ $q_{ult} = 0.85JcN_{cr}$ $q_{ult} = JcN_{cr} / (2.2 + 0.18L/B)$
EKLEMLI	20<alpha<70	S<B veya S>B sureksizlikler uzerinde kama tipi yenilme		Sureksizlikler uzerinde potansiyel yenilme sonucu genel kesme yenilmesi. Orta derecede egimli eklemler takimlarinda	(vi) $q_{ult} = \frac{B\gamma}{2} N_\gamma + \gamma DN_q$
TABAKALI	0<alpha<20	B'ye gore limitli H yuksekligi, malzemenin ozelliklerine baglidir		Ince Rijit Ust Tabaka: Yenilme, ince rijit ust tabakanin bukulmesine sebebi olan cekme yenilmesiye baslar	(vii) N / A
				Ince Ust Rijit Tabaka: Yenilme, ince rijit ust tabakanin cekme yenilmesinin etkisiyle baslar.	(viii) N / A
KIRIKLI	N/A	S<<B		Kaya kutlesindeki duzensiz yenilme yuzeyleri uzerinde genel kesme yenilmesi. Iki veya daha cok yakin aralikli eklemler takimlari	(ix) $q_{ult} = \frac{B\gamma}{2} N_\gamma + \gamma DN_q$

Şekil 4.18 : Süreksizliklerin konumları ve kayaç yenilme türlerine göre taşıma gücü eşitlikleri (U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Manual 1110-1-2908'den geliştirilmiştir.)

Burada,

q_{ult} = kabul edilebilen en yüksek taşıma gücü

γ = kaya kütlelerinin efektif birim ağırlığı

B = temel genişliği

D = temel derinliği

c = kohezyon

ϕ = içsel sürtünme açısı

N_c, N_γ, N_q = taşıma gücü faktörleri

$$N_c = 2N_\phi^{0.5}(N_\phi + 1) \quad (4.29)$$

$$N_\gamma = N_\phi^{0.5}(N_\phi^2 - 1) \quad (4.30)$$

$$N_q = N_\phi^2 \quad (4.31)$$

$$N_\phi = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

ζ_c, ζ_γ ve ζ_q şekil, eğim, derinlik faktörleri olarak tanımlanmıştır.

$$\zeta_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \quad \zeta_\gamma = 0.6 \quad \zeta_q = 1 + \tan \phi \quad (4.32)$$

Önerilen bu eşitliklerde Bölüm 4.1 ve Bölüm 4.2’de bulunan parametreler konulduğunda güvenlik sayısı 5 alınarak izin verilen taşıma gücü 19 no’lu eşitliğe göre 28,9 MPa ve 20 no’lu eşitliğe göre de 31,4 MPa bulunmaktadır.

5. DEĞERLENDİRME VE DURAYLILIK İRDELEMESİ

Ayvalı Barajı, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı projelendirilmiş ve tamamlandığında 125 Megawatt ünite gücü ile yıllık 325.20 GWh enerji üretebilecek bir HES projesidir. 175 metre yüksekliğinde silindirle sıkıştırılmış beton baraj tipinde projelendirilen baraj, yeşil, gri ve yeşilimsi gri renkli dasit-riyodasit ve riyolit bileşimli kayalardan oluşan Oltuçayı volkanitleri üzerinde inşaa edilecektir.

Bu kapsamda ön proje ve kati proje aşamaları için baraj yeri ve civarının kapsamlı jeoteknik etüdları tamamlanmıştır. Tez kapsamında arazide yapılan mühendislik jeolojisi çalışmaları, mekanik sondaj çalışmaları ile yerinde deneyler ve laboratuvar deneyleri derlenerek Ayvalı barajı eksen yeri ve civarında ki kayaların kaya kütle parametreleri Hoek-Brown, RMR ve İTÜ-MJKM-Vardar sınıflama sistemleri kullanılarak bulunmuştur. Bu 3 sınıflama sistemine göre bulunan kaya kütle parametre sonuçlarının büyük farklılıklar gösterdiği anlaşılmıştır. Bununla beraber 3 farklı yöntemle bulunan kaya kütle parametrelerinin karşılaştırılması için Baraj ekseninde galeri açılıp yerinde deneyler ile kaya kütle parametrelerinin bulunması uygun olacaktır.

Otuçayı volkanitlerinde jeoteknik araştırmalar için açılan mekanik sondajlar sırasında yerinde basınçlı su deneyleri yapılmış ve deney sonuçları incelendiğinde geçirimsizliğin derinlikle net bir azalma göstermediği ve oldukça heterojen bir dağılım içinde olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple baraj yeri için geçirimsizliği sağlamak amacıyla enjeksiyon perdesinin oluşturulması ve enjeksiyon galerilerinin açılmasının gerekliği vurgulanmıştır.

Baraj gövdesi temeli ve yamaç duraylığı ayrıca irdelenmiş, bu kapsamda eksen yerinde gövdenin otracağı Oltuçayı volkanitlerinde yapılan jeoteknik araştırmalar ışığında süreksizlik kontrolünde taşıma gücü hesabı yapılmış ve izin verilen değerlerin 30 MPa civarında olduğu görülmüştür. Ayrıca sağ ve sol yamaçların kazı sırasında duraylılığı 1Y:1D şev geometrisi için kinematik analiz yöntemi ile

araştırılmış ve düzlemsel, kama kayması yada devrilme tipi yenilme kriterlerine rastlanılmamıştır.

KAYNAKLAR

- Barton, N.**, 1976. Recent experiences with the Q-System of tunnel support design.- Norv. Geotech. Inst., Oslo
- Barton N, ve diğerleri**, 1977. Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, “*International Society for Rock Mechanics (ISRM), Commission on Testing Methods*”
- Baydar, O., ve diğerleri**, 1969. Yusufeli – Öğdem – Madenköy, Tortum Gölü ve Ersis, MTA raporu (yayımlanmamış), MTA Jeolojik Etütler Dairesi Kitaplığı, Ankara
- Bell F.G.**, 1987. Ground Engineer’s Reference Book. Butterworth and Co Ltd., Cornwall, Great Britain
- Bell F.G.**, 2000. Engineering Properties of Soils and Rocks, 4th edition. Blackwell Science Ltd., Cornwall, Great Britain
- Bieniawski, Z.T.**, 1989. Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual For Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering. John Wiley & sons, Inc., Canada
- Bozkurtoğlu, E.** 2003. Çanakkale-Tuzla yöresi volkanik kayalarında süreksizliklerin ayrışma - alterasyon olaylarına etkisinin araştırılması. Doktora tezi, İTÜ Fen Bil. Enst., İstanbul
- Bozkuş, C.**, 1992a. Olur (Erzurum) yöresinin stratigrafisi (Stratigraphy of the Olur (Erzurum) Region), Türkiye Jeoloji Bülteni, **v.35**, p. 103-119
- Erentöz, C., Ketin, İ.**, 1966. 1:500 000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Trabzon Paftası, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayını, Ankara
- Erguvanlı, K.**, 1982. Mühendislik Jeolojisi, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul
- Goodman, R.E.**, 1980. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley & sons, Inc
- Goodman, R. E.**, 1993. Engineering Geology: rock in engineering construction, John Wiley & Sons, Inc.,
- Hoek, E., ve Brown, E. T.**, 1997. Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, **34** (8),
- ISRM**, 1981. ISRM suggested methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring, E. T. Brown (ed.). Pergamon Press, London

- Koçak, B.**, 2006. Yeraltı kaya yapılarının denetimi ve yönlendirilmesinde uzman sistem oluşturulması. Doktora tezi, İTÜ Fen Bil. Enst. İstanbul
- Konak, N., ve diğerleri**, 2001. Kuzeydoğu Pontidlerin (Oltu – Olur – Şenkaya – Narman – Tortum – Uzundere – Yusufeli) Jeolojisi, MTA raporu (yayımlanmamış), MTA Jeolojik Etütler Dairesi Kitaplığı, Ankara
- Okay, A.I.**, 2008. Geology of Turkey: A synopsis. *Anschnitt*, **21**, 19-42
- Sönmez, H. ve Ulusay, R.**, 1999. Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, **v.35** (2), 219-233
- Ulusay, R. ve Sönmez H.**, 2007. Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri: Güncellenmiş – genişletilmiş 2. Baskı, *TMMOB Jeoloji mühendisleri odası yayınları*, **No:60**, Ankara
- Vardar, M.**, 1979a. Mühendislik jeolojisi yeraltı kaya mekaniği ilişkisi, *Mühendislik Jeolojisi Simpozyumu*, İstanbul, s. 29-36.
- Vardar, M.**, 2002. Kayanın Dayanım Parametreleri, Ders Notları, *Yayımlanmamış*, İstanbul.
- Vardar, M.**, 2005. Time dependent stability problems in tunnels and time-dependent behavior of the rock mass. ITA/AITES – Training Course Tunnel Engineering, İstanbul
- Wyllie, D. C.**, 1999. Foundations on Rock. Taylor & Francis; 2 edition (27 May 1999), New York.
- Wyllie, D. C., & Mah, C.,W.**, 2004. Rock Slope Engineering Civil and Mining 4th Edition. Based on the third edition by E Hoek and J Bray, New York. Taylor & Francis; 26 Aug 2004, New York
- Yüzer, E. ve Vardar, M.**, 1986. Kaya Mekaniği, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Kars-G48-a4 Paftası**, 1:25 000 Ölçekli Jeoloji Haritası, Kars-G48-a4 Paftası, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara

EKLER

Çizelge A.1: Laboratuvar deney sonuçları özet tabloları

Ek A.1: Petrografik analizler

Ek A.2: Ayvalı barajı ve tesisleri jeoloji haritası

Ek A.3: Ayvalı barajı eksen yeri jeolojik profili

Ek A.4: Ayvalı baraj yeri sondajları rqd ve lugeon grafikleri

Ek A.5: Ayvalı baraj yeri mühendislik jeolojisi enkesiti

Çizelge A.1: Laboratuvar deney sonuçları özet tabloları

No	Sondaj No	Yeri	Sondaj Kotu	Derinlik		Deney Kotu	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Tek Eksenli Basınç Direnci	Elastisite (Young's) Modülü	Poisson Oranı
				Başlangıç	Bitiş		γ_n	UCS	E_i	ν
				(m)	(m)		(kN/m^3)	(MPa)	(GPa)	
1	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	4,65	4,80	+927,88	25,62	18,45	8,36	
2	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	16,00	16,35	+916,43	26,03	61,31	50,38	0,27
3	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	23,50	23,75	+908,98	25,81	58,57	26,91	
4	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	33,20	33,50	+899,25	25,78	52,62	44,01	0,28
5	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	44,00	44,30	+888,45	24,95	38,73	16,04	
6	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	54,20	54,40	+878,30	25,07	28,17	18,70	
7	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	63,00	63,55	+869,33	24,40	33,84	31,32	
8	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	74,00	74,30	+858,45	25,79	41,18	32,50	
9	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	87,30	87,50	+845,20	25,68	61,38	72,56	
10	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	97,55	97,90	+834,88	25,30	47,88	24,30	
11	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	123,80	124,10	+808,65	25,48	77,71	19,54	
12	Ayv./SK - 1	Sağ Yaka	+932,6	134,35	134,65	+798,10	25,99	62,21	28,67	0,10
13	Ayv./SK - 2	Sağ Yaka	+912,5	4,90	5,10	+907,50	24,96	39,39	13,96	
14	Ayv./SK - 2	Sağ Yaka	+912,5	10,10	10,50	+902,20	25,15	59,78	31,42	
15	Ayv./SK - 2	Sağ Yaka	+912,5	14,60	14,75	+897,83	24,64	76,94	-	
16	Ayv./SK - 2	Sağ Yaka	+912,5	19,10	19,40	+893,25	25,74	69,60	-	
17	Ayv./SK - 2	Sağ Yaka	+912,5	24,10	24,50	+888,20	25,94	68,49	38,64	0,20
18	Ayv./SK - 2	Sağ Yaka	+912,5	27,25	27,45	+885,15	25,23	40,66	16,68	0,19
19	Ayv./SK - 2	Sağ Yaka	+912,5	28,60	28,70	+883,85	25,43	38,70	33,99	
20	Ayv./SK - 3	Sağ Yaka	+867,9	9,60	9,90	+858,15	25,73	72,64	46,12	0,22
21	Ayv./SK - 3	Sağ Yaka	+867,9	18,80	19,00	+849,00	25,31	48,92	-	
22	Ayv./SK - 3	Sağ Yaka	+867,9	28,90	29,05	+838,93	25,62	71,99	32,91	
23	Ayv./SK - 3	Sağ Yaka	+867,9	38,10	38,55	+829,58	25,71	47,07	36,76	0,18
24	Ayv./SK - 3	Sağ Yaka	+867,9	47,00	47,25	+820,78	26,00	75,42	47,43	
25	Ayv./SK - 3	Sağ Yaka	+867,9	57,10	57,55	+810,58	25,52	57,46	13,77	0,14
26	Ayv./SK - 3	Sağ Yaka	+867,9	67,00	67,30	+800,75	25,48	60,15	23,55	
27	Ayv./SK - 3	Sağ Yaka	+867,9	76,75	77,00	+791,03	25,90	64,20	14,56	
28	Ayv./SK - 20	Sağ Yaka	+829,0	3,5	3,9	+825,30	25,35	88,25	-	
29	Ayv./SK - 20	Sağ Yaka	+829,0	13	13,3	+815,85	25,81	26,90	-	
30	Ayv./SK - 20	Sağ Yaka	+829,0	32,75	33	+796,13	26,02	17,63	20,97	0,17
31	Ayv./SK - 20	Sağ Yaka	+829,0	38,1	38,4	+790,75	25,74	91,40	-	
32	Ayv./SK - 20	Sağ Yaka	+829,0	42,4	42,7	+786,45	25,98	39,59	15,03	0,15

No	Sondaj No	Yeri	Sondaj Kotu	Derinlik		Deney Kotu	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Tek Eksenli Basınç Direnci	Elastisite (Young's) Modülü	Poisson Oranı
				Başlangıç	Bitiş		γ_n	UCS	E_i	ν
				(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ³)	(MPa)	(GPa)
33	Ayv./SK - 20	Sağ Yaka	+829,0	49,5	49,95	+779,28	25,82	64,45	-	
34	Ayv./SK - 21	Sağ Yaka	+857,8	4,5	4,7	+853,20	25,50	57,21	22,81	0,11
35	Ayv./SK - 21	Sağ Yaka	+857,8	12,5	12,7	+845,20	28,15	45,59	22,73	
36	Ayv./SK - 21	Sağ Yaka	+857,8	17,4	17,6	+840,30	25,58	67,25	-	
37	Ayv./SK - 21	Sağ Yaka	+857,8	19,75	20	+837,93	26,06	60,93	46,31	0,22
38	Ayv./SK - 16	Dere Yatağı	+814,7	48,2	48,35	+766,43	24,48	50,78	15,54	
39	Ayv./SK - 16	Dere Yatağı	+814,7	56,5	56,7	+758,10	27,98	68,46	-	
40	Ayv./SK - 16	Dere Yatağı	+814,7	62,3	62,5	+752,30	25,56	80,37	30,47	
41	Ayv./SK - 16	Dere Yatağı	+814,7	65,4	65,75	+749,13	25,36	63,34	-	
42	Ayv./SK - 16	Dere Yatağı	+814,7	76,7	77	+737,85	25,69	56,99	20,07	
43	Ayv./SK - 17	Dere Yatağı	+813,7	60,8	61,1	+752,75	26,81	53,77	27,01	
44	Ayv./SK - 17	Dere Yatağı	+813,7	66,95	67,1	+746,68	26,40	90,38	-	
45	Ayv./SK - 17	Dere Yatağı	+813,7	70	70,2	+743,60	24,60	34,72	24,93	
46	Ayv./SK - 17	Dere Yatağı	+813,7	72,8	73,1	+740,75	26,45	19,54	16,41	0,15
47	Ayv./SK - 17	Dere Yatağı	+813,7	75,15	75,4	+738,43	24,09	15,17	-	
48	Ayv./SK - 17	Dere Yatağı	+813,7	78,45	78,8	+735,08	26,37	37,34	27,34	
49	Ayv./SK - 18	Dere Yatağı	+815,3	49	49,2	+766,20	25,78	27,84	0,92	
50	Ayv./SK - 18	Dere Yatağı	+815,3	59,5	59,7	+755,70	25,80	16,75	-	
51	Ayv./SK - 18	Dere Yatağı	+815,3	73	73,35	+742,13	27,22	12,30	-	
52	Ayv./SK - 18	Dere Yatağı	+815,3	78,9	79,4	+736,15	27,11	21,10	-	
53	Ayv./SK - 19	Dere Yatağı	+814,0	51,3	51,5	+762,60	26,01	81,34	-	
54	Ayv./SK - 19	Dere Yatağı	+814,0	54	54,35	+759,83	24,65	40,35	-	
55	Ayv./SK - 19	Dere Yatağı	+814,0	59,1	59,3	+754,80	24,98	75,41	-	
56	Ayv./SK - 19	Dere Yatağı	+814,0	69	69,2	+744,90	26,09	33,51	16,17	
57	Ayv./SK - 19	Dere Yatağı	+814,0	79	79,15	+734,93	24,15	33,50	-	
58	Ayv./SK - 22	Dere Yatağı	+815,1	39,95	40,1	+775,08	23,25	7,56	2,40	0,23
59	Ayv./SK - 25	Dere Yatağı	+815,5	27,6	27,85	+787,78	26,27	16,54	-	
60	Ayv./SK - 25	Dere Yatağı	+815,5	36	36,25	+779,38	26,17	36,03	-	
61	Ayv./SK - 25	Dere Yatağı	+815,5	40,95	41,4	+774,33	25,95	16,41	-	
62	Ayv./SK - 25	Dere Yatağı	+815,5	45,9	46,2	+769,45	27,17	59,49	57,33	0,22
63	Ayv./SK - 25	Dere Yatağı	+815,5	52,1	52,45	+763,23	25,93	11,76	-	
64	Ayv./SK - 25	Dere Yatağı	+815,5	56,5	56,9	+758,80	26,54	27,47	34,10	0,14
65	Ayv./SK - 26	Dere Yatağı	+813,7	56,4	56,6	+757,20	25,44	53,79	57,04	0,20

No	Sondaj No	Yeri	Sondaj Kotu	Derinlik		Deney Kotu	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Tek Eksenli Basınç Direnci	Elastisite (Young's) Modülü	Poisson Oranı
				Başlangıç	Bitiş		γ_n	UCS	E_i	ν
				(m)	(m)	(m)	(kN/m^3)	(MPa)	(GPa)	
66	Ayv./SK - 26	Dere Yatağı	+813,7	65,3	65,6	+748,25	25,01	71,71	84,45	
67	Ayv./SK - 7	Sol Yaka	+871,0	6,40	6,65	+864,48	24,18	7,62	0,45	
68	Ayv./SK - 7	Sol Yaka	+871,0	15,85	16,05	+855,05	24,22	6,15	-	
69	Ayv./SK - 7	Sol Yaka	+871,0	25,80	26,00	+845,10	25,71	46,39	33,30	
70	Ayv./SK - 7	Sol Yaka	+871,0	36,45	36,65	+834,45	26,40	26,00	-	
71	Ayv./SK - 7	Sol Yaka	+871,0	45	45,2	+825,90	24,67	15,50	10,35	
72	Ayv./SK - 7	Sol Yaka	+871,0	56,3	56,5	+814,60	26,27	47,26	-	
73	Ayv./SK - 7	Sol Yaka	+871,0	69,7	69,95	+801,18	26,08	49,47	15,09	
74	Ayv./SK - 8	Sol Yaka	+907,0	7,8	7,95	+899,13	24,99	16,55	-	0,20
75	Ayv./SK - 8	Sol Yaka	+907,0	18,2	18,5	+888,65	24,62	21,80	-	
76	Ayv./SK - 8	Sol Yaka	+907,0	29,7	30	+877,15	24,75	7,20	-	
77	Ayv./SK - 8	Sol Yaka	+907,0	41,5	41,75	+865,38	25,09	26,70	-	
78	Ayv./SK - 8	Sol Yaka	+907,0	42,5	42,7	+864,40	26,16	44,75	7,20	
79	Ayv./SK - 8	Sol Yaka	+907,0	51,2	51,45	+855,68	25,71	57,78	-	
80	Ayv./SK - 8	Sol Yaka	+907,0	63,1	63,4	+843,75	25,65	44,16	12,28	
81	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	3,1	3,5	+928,70	25,19	65,50	21,23	
82	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	11,6	11,8	+920,30	24,76	48,87	-	
83	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	23,7	23,9	+908,20	23,27	8,47	11,51	0,12
84	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	33,3	33,5	+898,60	25,06	22,18	-	
85	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	41,5	41,7	+890,40	25,48	34,46	28,46	
86	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	53,25	53,5	+878,63	25,01	9,68	-	
87	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	61,7	61,95	+870,18	24,77	32,72	12,37	0,17
88	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	63,1	63,45	+868,73	24,63	13,43	-	
89	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	78,55	78,8	+853,33	25,35	17,78	-	
90	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	94,1	94,4	+837,75	26,26	24,00	9,87	
91	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	107,15	107,4 5	+824,70	25,15	11,69	-	
92	Ayv./SK - 9	Sol Yaka	+932,0	127,6	127,9	+804,25	25,73	32,42	21,02	
93	Ayv./SK - 10	Sol Yaka	+870,0	11,7	11,85	+858,23	24,19	23,44	-	
94	Ayv./SK - 10	Sol Yaka	+870,0	14,25	14,6	+855,58	24,83	33,96	7,82	0,27
95	Ayv./SK - 10	Sol Yaka	+870,0	24,6	24,85	+845,28	25,46	46,36	-	
96	Ayv./SK - 10	Sol Yaka	+870,0	30,2	30,45	+839,68	24,98	30,71	-	
97	Ayv./SK - 10	Sol Yaka	+870,0	42,5	42,7	+827,40	24,73	19,02	-	
98	Ayv./SK - 10	Sol Yaka	+870,0	49,5	49,8	+820,35	25,06	44,65	15,35	0,24

No	Sondaj No	Yeri	Sondaj Kotu	Derinlik		Deney Kotu	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Tek Eksenli Basınç Direnci	Elastisite (Young's) Modülü	Poisson Oranı
				Başlangıç	Bitiş		γ_n	UCS	E_i	ν
				(m)	(m)	(m)	(kN/m^3)	(MPa)	(GPa)	
99	Ayv./SK - 11	Sol Yaka	+847,4	6,8	7	+840,50	24,68	25,54	-	
100	Ayv./SK - 11	Sol Yaka	+847,4	9,55	10,05	+837,60	24,45	23,10	-	
101	Ayv./SK - 11	Sol Yaka	+847,4	16,05	16,25	+831,25	25,12	34,03	7,39	
102	Ayv./SK - 11	Sol Yaka	+847,4	26,2	26,4	+821,10	24,55	26,28	-	
103	Ayv./SK - 11	Sol Yaka	+847,4	32,1	32,35	+815,18	25,29	45,71	-	
104	Ayv./SK - 12	Sol Yaka	+819,5	10	10,35	+809,33	25,58	34,41	46,60	0,24
105	Ayv./SK - 12	Sol Yaka	+819,5	28,3	28,45	+791,13	25,27	24,97	-	
106	Ayv./SK - 12	Sol Yaka	+819,5	29,45	29,7	+789,93	25,67	58,70	31,22	
107	Ayv./SK - 12	Sol Yaka	+819,5	40,1	40,3	+779,30	26,80	21,78	-	
108	Ayv./SK - 12	Sol Yaka	+819,5	46,5	46,7	+772,90	25,67	12,29	13,70	
109	Ayv./SK - 12	Sol Yaka	+819,5	59,25	59,43	+760,16	26,48	23,88	-	
110	Ayv./SK - 27	Sol Yaka	+832,6	5,35	5,6	+827,13	24,75	59,63	-	
111	Ayv./SK - 27	Sol Yaka	+832,6	15,7	16	+816,75	25,07	47,81	20,06	0,19
112	Ayv./SK - 27	Sol Yaka	+832,6	23,2	23,5	+809,25	25,46	37,43	-	
113	Ayv./SK - 27	Sol Yaka	+832,6	30,7	30,95	+801,78	24,80	56,05	16,56	
114	Ayv./SK - 27	Sol Yaka	+832,6	35	35,2	+797,50	25,37	59,74	-	
115	Ayv./SK - 29	Sol Yaka	+831,4	16,8	17	+814,50	24,41	22,90	18,13	0,25
116	Ayv./SK - 29	Sol Yaka	+831,4	25,1	25,5	+806,10	25,17	23,01	1,33	
117	Ayv./SK - 29	Sol Yaka	+831,4	37,7	37,95	+793,58	22,29	2,90	-	

Ek A.1: Petrografik analizler

SK-3 (32.50m): KISMEN HİDROTHERMAL ALTERASYONA MARUZ KALMIŞ MONZONİT/ VE VEYA DİYORİT BİLEŞİMLİ DAMAR KAYACI

Porfirik dokulu örnekte feldispat fenokristal ve mikrofenokristalleri ile tamamen kloritleşmiş iri taneli mafik mineral formları, mikrokristalen feldispat ve kuvarsdan oluşan bir hamur içersinde dağılmış olarak bulunmaktadır. Kayaç maruz kaldığı hidrotermal alterasyon nedeniyle kısmen kloritleşmiş, killeşmiş ve silisleşmiştir. Kloritleşme hem mafik mineral oldukları düşünülen formlarda hem de hamurda yoğun olarak gözlenmiştir. Silisleşme; mikro-mezokristalin damar dolguları, ışınal-kalsedonik oluşumlar ve kriptokristalin hamur malzemesi olarak gelişmiştir. Killeşme ise feldispat fenokristallerinde ve hamur malzemesini oluşturan mikrokristalin feldispatlarda saptanmıştır. Killeşmeye nadir olarak yer yer serizitleşme eşlik etmiştir. Feldispatlardaki killeşme nedeniyle bileşimleri çok sağlıklı olarak saptamak mümkün olamamıştır. Ancak mineral formlarında yapılan incelemelerden ve dokusal özelliklerinden kayacın hem plagiyoklaz hem de ortoklaz türü feldispat içerdiği belirlenmiştir. İnce taneli demir oksit mineralleşmeleri içeren örnekte aksesörük olarak apatit ve biyotit kalıntıları gözlenmiştir.

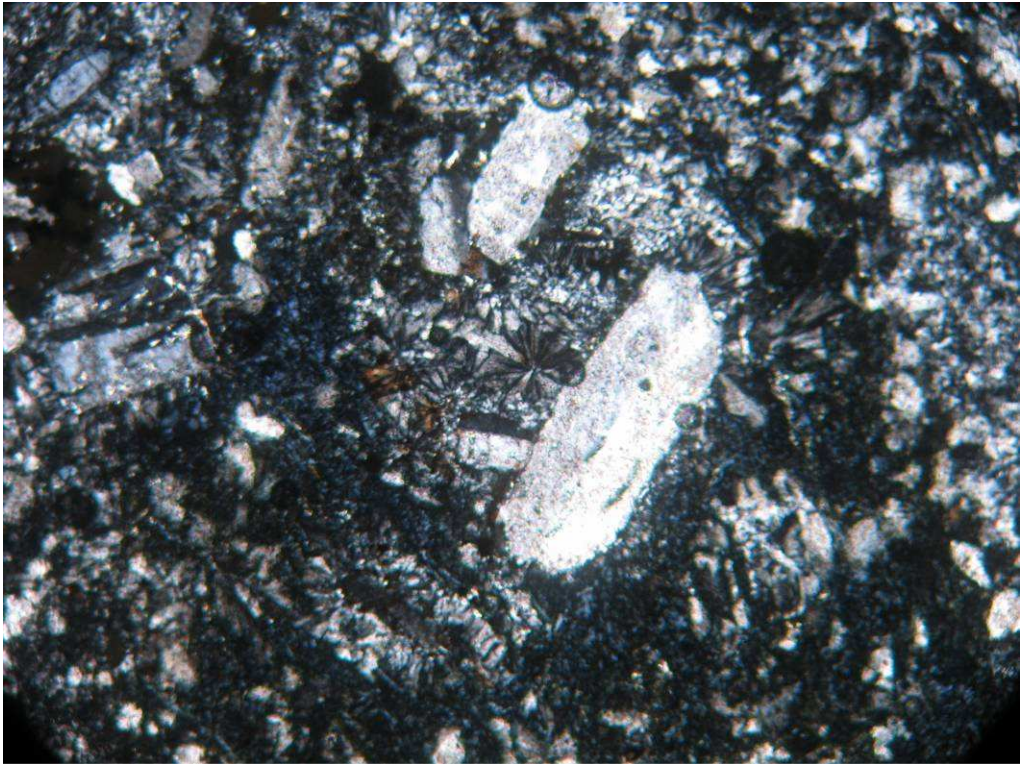


Foto 1 : 2.5 X büyütme, çift nikol, Kayacın genel görünümü.

Porfirik dokulu örnekte feldispat fenokristal ve mikrofenokristalleri, daha ufak taneli (mikrokristalin) feldispat ve kuvarsdan oluşan bir hamur içersinde. Koyu mavi renkli klorit oluşumları ile ışınsal kalsedonik kuvarslar ayrıca gözlenebilmekte.

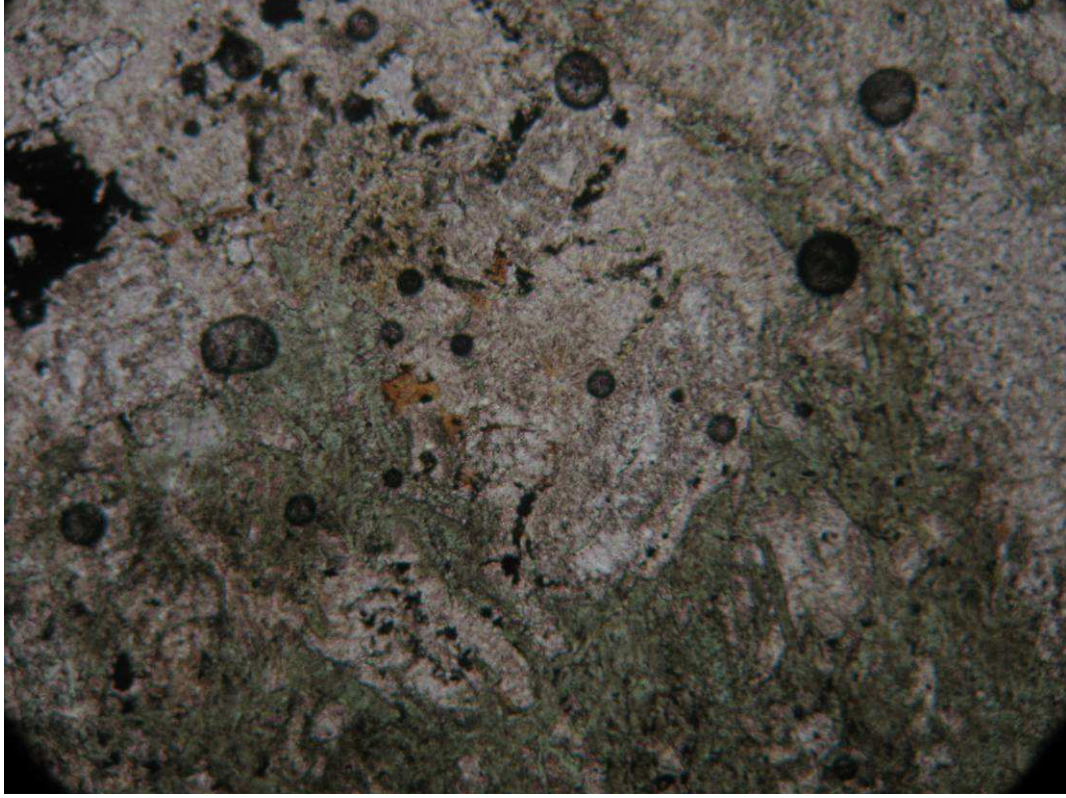


Foto 2 : 10 X büyütme, tek nikol, Yeşil renkte gözlenen yoğun kloritleşme, siyah (opak) olarak gözlenen demir oksit mineralleşmeleri ve kahverengi gözlenen kalıntı biyotitler.

SK-18 (40.50m) TAMAMEN HİDROTERMAL ALTERASYONA MARUZ KALMIŞ MAĞMATİK KAYAÇ (VOLKANİK/ VE VEYA DAMAR)

Örnek maruz kaldığı yoğun hidrotermal alterasyon sonucu tamamen serizitleşmiş-killeşmiş, silisleşmiş ve piritleşmiştir. Kayacın ilksel mineralojik ve dokusal özelliklerini belirlemek mümkün değildir. Yoğun serizitleşme ve killeşme kayacı elle parçalanabilecek düzeyde ayrıştırmıştır. Hidrotermal alterasyon ürünü kuvarslar genellikle mikro-mezokristalin, bazıları ise polikristalin özellikler göstermektedir. Örnekte bol miktarda da özşekilli-yarı özşekilli, orta-iri taneli pirit minerali bulunmaktadır.

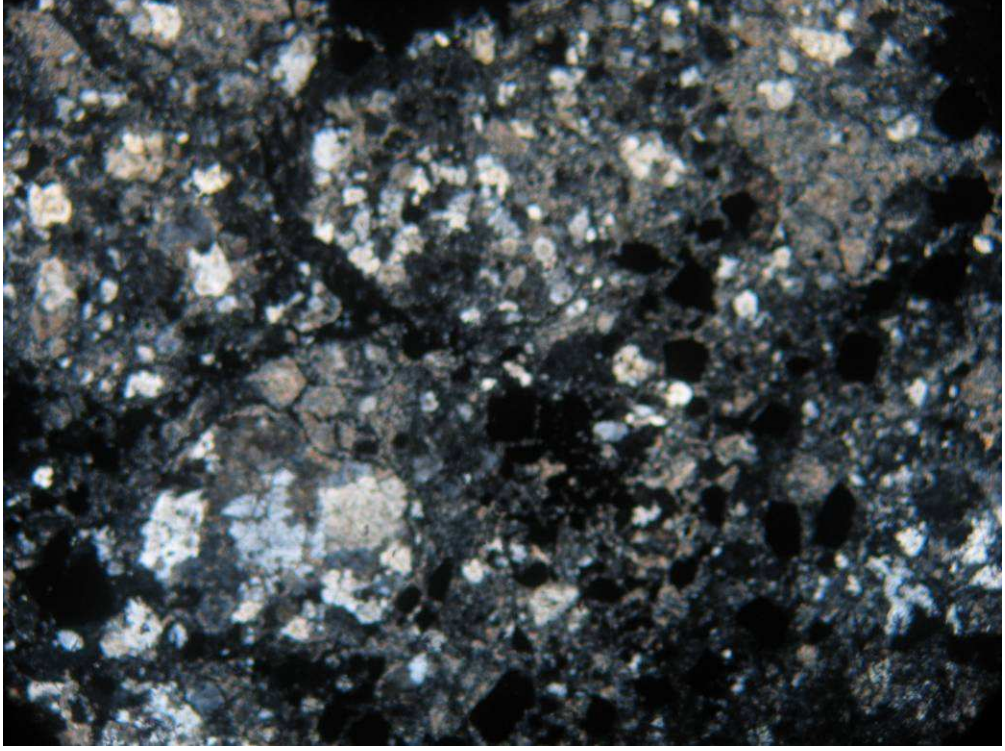


Foto 3 : 2.5 X büyütme, çift nikol, Kayacın genel görünümü.

Tamamen serizitleşmiş-killeşmiş ince taneli bir hamur içerisinde mikrokristalin kuvars (beyaz-gri renkli) ve pirit (siyah renkli) mineralleri.

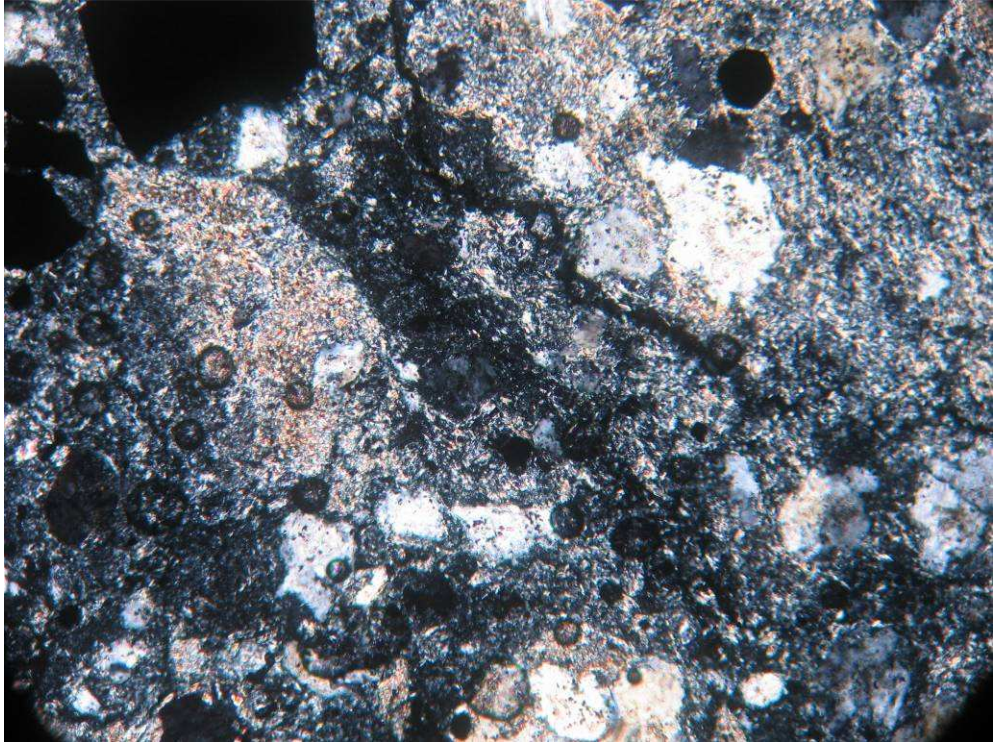


Foto 4 : 10 X büyütme çift nikol, Kuvars mineralleri arasında gözlenen çok ince taneli yoğun serizitleşme.

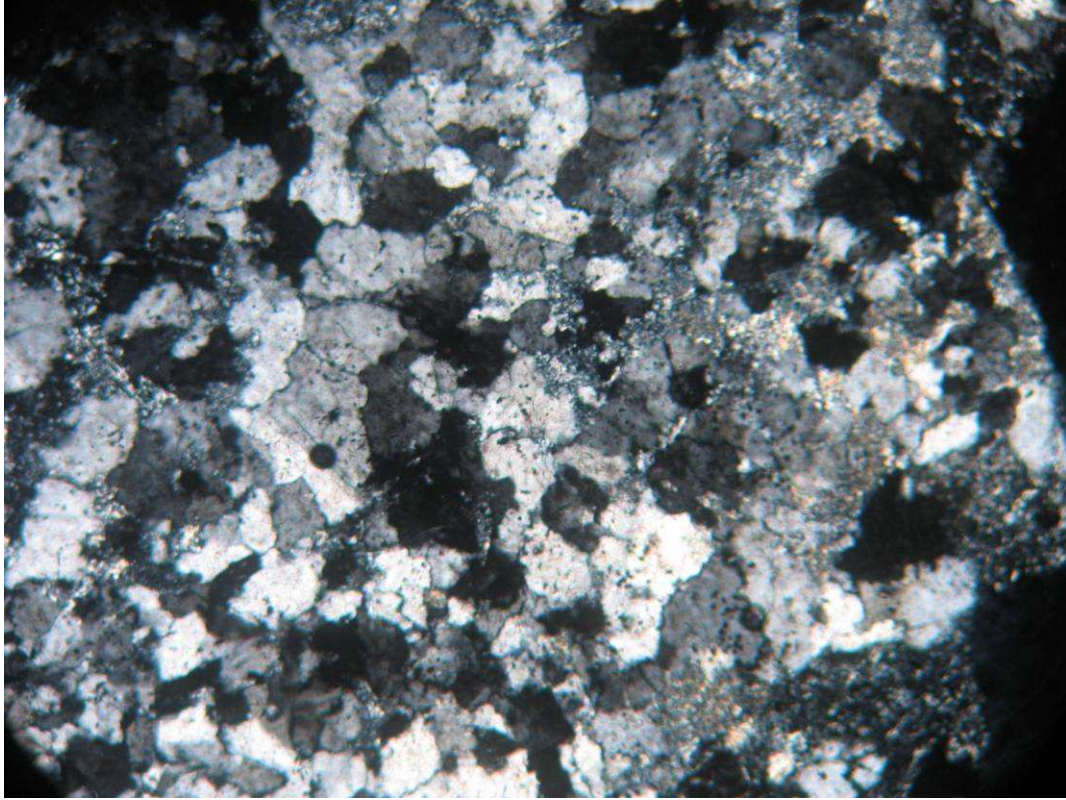


Foto 5 : 10 X büyütme çift nikol, Hidrotermal kökenli, polikristalin gelişmiş kuvars mineralleri .

SK-18 (36.00-36.10m) TAMAMEN HİDROTERMAL ALTERASYONA MARUZ KALMIŞ VOLKANİK KAYAÇ

Yoğun hidrotermal alterasyon nedeniyle kayaç tamamen serizitleşmiş ve silisleşmiştir. Dolayısıyla kayacın ilksel mineralojik ve dokusal özellikleri tanınamamaktadır. Serizitleşme nedeniyle cinsleri sağlıklı saptanamayan ancak formlarından feldispat mikrofeno-kristalleri oldukları düşünülen bazı kalıntılarla, az miktardaki birincil oldukları düşünülen kuvars mikro fenokristali nedeniyle ilksel kayacın dasitik ve/ veya kuvars andezitik bileşimli olduğu söylenebilir. Hidrotermal alterasyonla yerleşmiş serizitler çok ince taneli, kuvarslar ise mikrokristalen haldedir. Kayaç bol miktarda özşekilli-yarı özşekilli, ufak taneli dissemine helde pirit mineralleri de içermektedir. Ayrıca çok az miktarlarda da kloritleşme ve lökokslenleşmeler gözlenmiştir.

Kayacın ayrıca yaptırılan XRD (X Işını Kırınım) analizinde ana bileşenler olarak çoktan aza doğru ; kuvars, kaolinit, pirofillit, pirit ile çok az oranda opal, illit, feldispat, eser oranda analsim ve karışık tabakalı kil mineralleri saptanmıştır.

SK-18 (51.00-51.15 m) JİPS DAMARLARI İÇEREN HİDROTERMAL ALTERASYONA MARUZ KALMIŞ VOLKANİK KAYAÇ

Örneğin mineralojik ve dokusal özellikleri bir önceki örneğe benzerlik göstermektedir. Bu örnekte ayrıca oldukça bol miktarda kayacı çeşitli yönlerde kat eden jips damarcıkları bulunmaktadır. Jips kristalleri bu damarcıklarda granoblastik kenetlenmeli, özşekilli mikro oluşumlar halinde gözlenmiştir. Bu örnekte alterasyondan etkilenmemiş az sayıdaki feldispat mikrofeno-kristallerinin albit-oligoklaz bileşimli oldukları saptanmıştır. Bu örnekteki pirit minerallerinin daha ufak taneli ve yaygın oldukları gözlenmiştir.

Kayacın ayrıca yaptırılan XRD (X Işını Kırınım) analizinde ana bileşenler olarak çoktan aza doğru ; kuvars, jips, kaolinit, pirofillit, pirit ile çok az oranda illit, feldispat, opal, eser oranda karışık tabakalı kil mineralleri saptanmıştır

SK-19 (53.00 m) HİDROTERMAL ALTERASYONA VE DİNAMİK METAMORFİZMAYA MARUZ KALMIŞ ANDEZİTİK BİLEŞİMLİ SUBVOLKANİK KAYAÇ

Kısmen korunmuş porfirik doku özellikleri gösteren örnekte feldispat fenokristal ve mikrofeno-kristalleri, mikro-kriptokristalen feldispat ve kuvarsdan oluşan bir hamur içerisinde dağılmış olarak bulunmaktadır. Kayaç maruz kaldığı hidrotermal alterasyon nedeniyle kısmen silisleşmiş, epidotlaşmış, killeşmiştir-serizitleşmiş ve kloritleşmiştir.. Silisleşme; mikro-mezokristalin boşluk dolguları ve kriptokristalin hamur malzemesi olarak gelişmiştir Epidotlaşma mikro taneli kümelenmeler halindedir. Killeşme-serizitleşme ise feldispat fenokristallerinde ve hamur malzemesini oluşturan mikrokristalin feldispatlarda saptanmıştır. Killeşmeye yer yer serizitleşme, kloritleşme ve nadir olarak kalsitleşme eşlik etmiştir. Feldispatlardaki killeşme nedeniyle bileşimleri çok sağlıklı olarak saptamak mümkün olamamıştır. Ancak mineral formlarında yapılan incelemelerden ve dokusal özelliklerinden kayacın ağırlıklı olarak plagiyoklaz içerdiği belirlenmiştir. Örnekte bol miktarda da özşekilli-yarı özşekilli pirit minerali bulunmaktadır. Kayaç ayrıca olasılıkla kısmen dinamik metamorfizma etkisinde de kalarak deformasyona uğramıştır. Bu deformasyon bazı minerallerde uzamalara, zayıf yönlenmelere, minerallerde ufalanmalara ve mikro kıvrımlanmalara neden olmuştur.

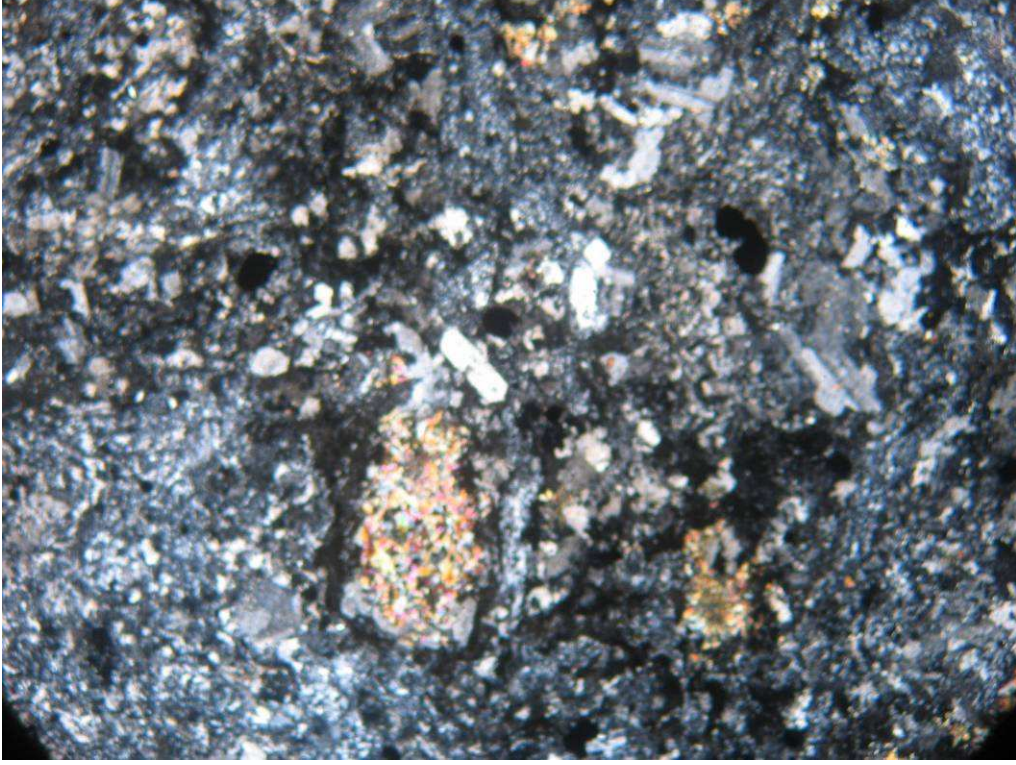


Foto 6 : 2.5 X büyütme, çift nikol, Kısmen korunmuş porfirik dokuya sahip kayacın genel görünümü

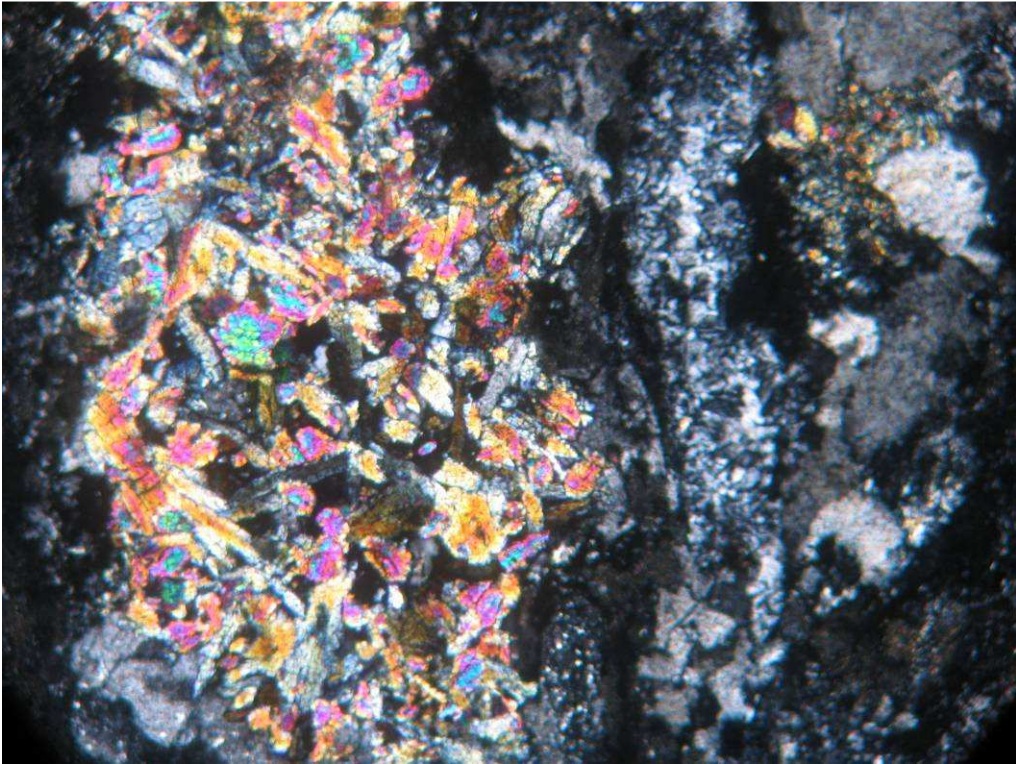


Foto 7 : 10 X büyütme, çift nikol, Mikrokristalin epidotlardan oluşmuş bir kümelenme (canlı renkler). Sağ tarafta açık gri-beyaz renkli kuvars ve bulanık gri renkli feldispat fenokristalleri.

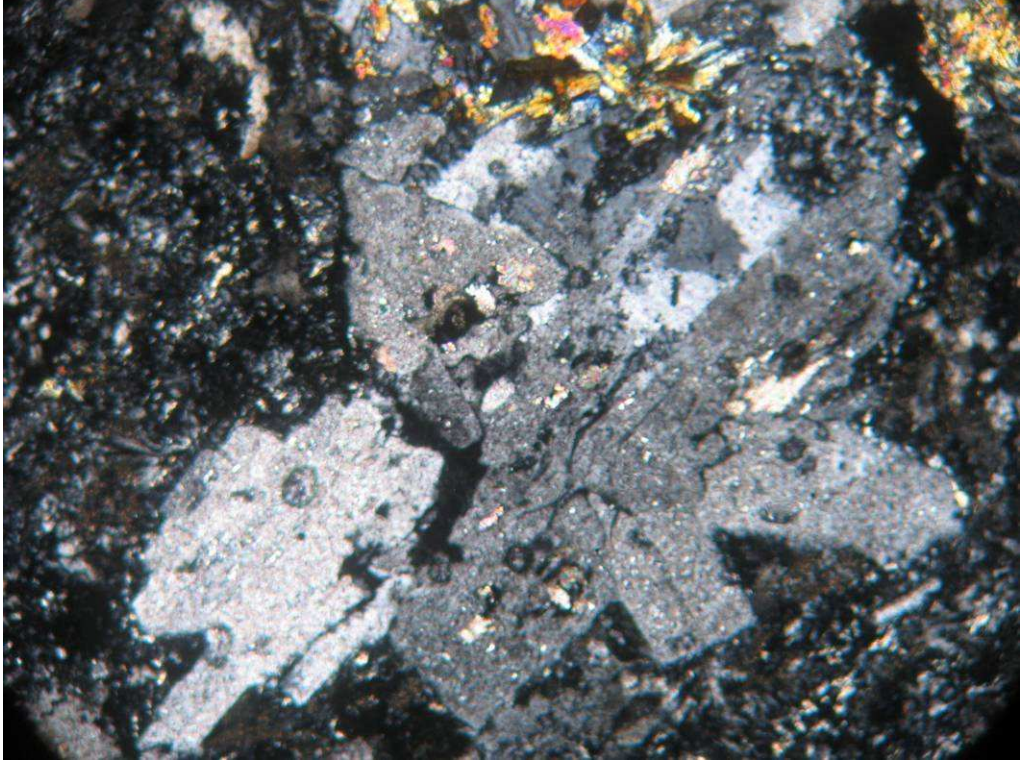


Foto 8 : 10 X büyütme çift nikol, Merkezde killeşme ve zayıf karbonatlaşma gösteren feldispat fenokristalleri. Üst kesimde epidot ve kuvars oluşumları.

SK-19 (59.50 m) HİDROTERMAL ALTERASYONA VE DİNAMİK METAMORFİZMAYA MARUZ KALMIŞ ANDEZİTİK BİLEŞİMLİ SUBVOLKANİK KAYAÇ

Örnek mineralojik ve dokusal özellikleri bakımından bir önceki SK-19 (53.00 m) örneğine benzemektedir. Ancak bu örnekte kloritleşme, silisleşme ve piritleşmenin daha yoğun olduğu saptanmıştır.

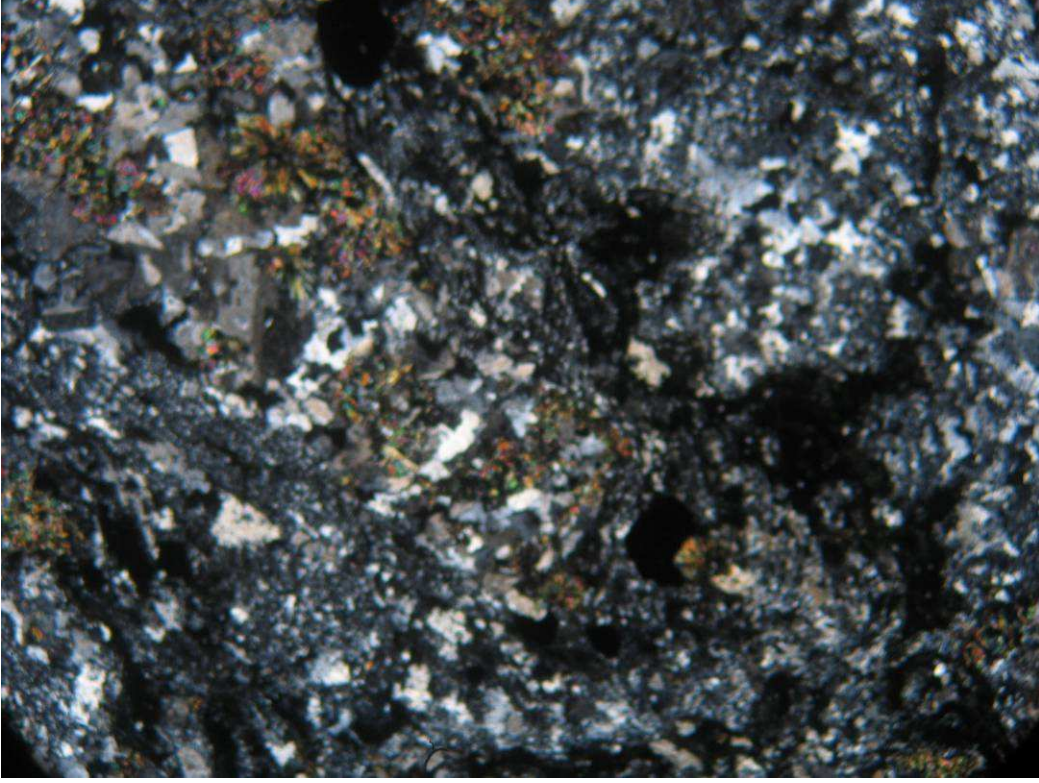


Foto 9: 2.5 X büyütme, çift nikol, Kayacın genel görünümü, canlı renklerde epidotlar, bulanık gri renkli feldispatlar ve gri-beyaz renkli kuvarslar.

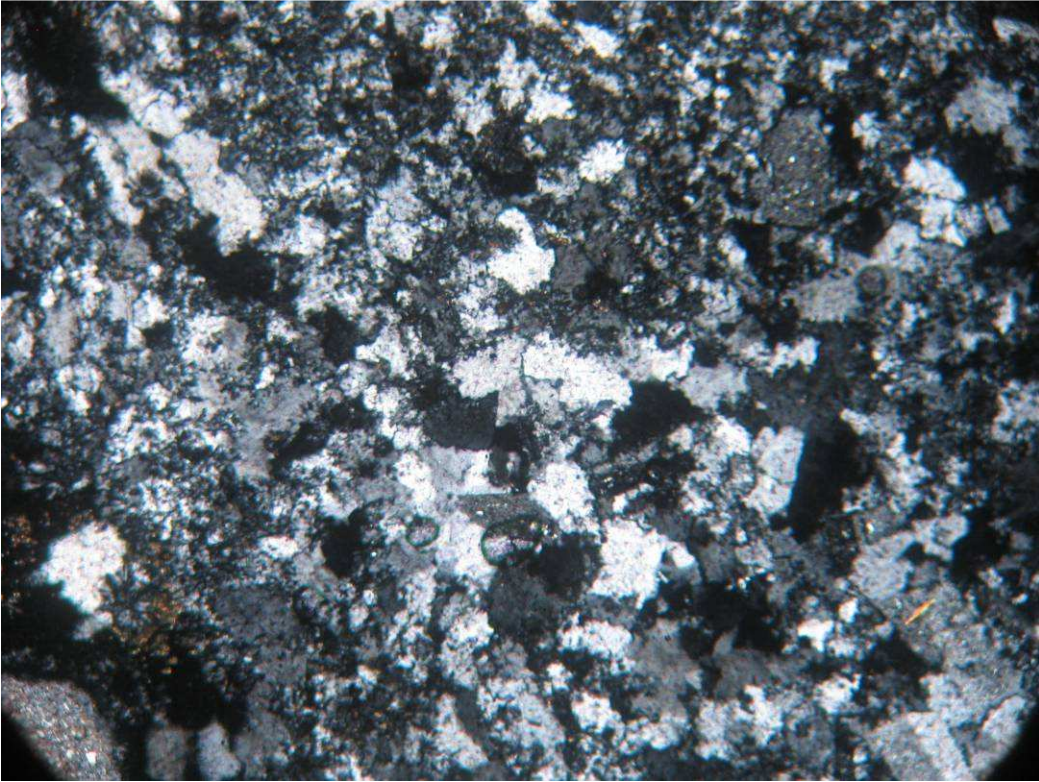


Foto 10 : 10 X büyütme, çift nikol, Mikrokristalin hidrotermal kuvarslar

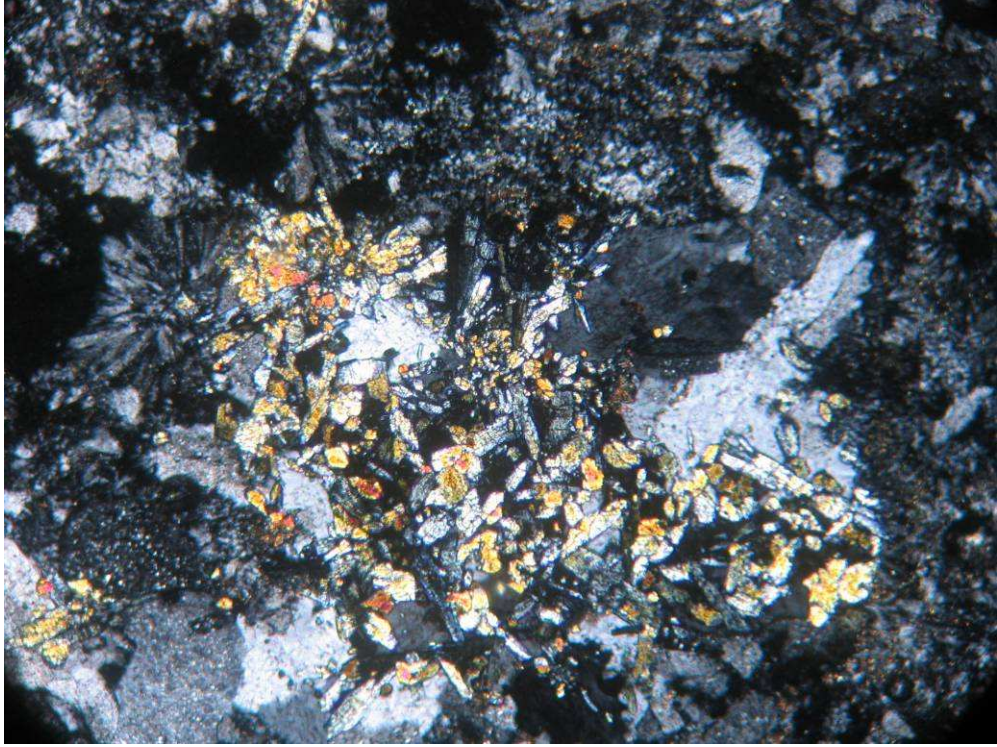


Foto 11 : 10 X büyütme çift nikol) Feldispatlar ve kuvars içersinde mikrokristalen epidot kümesi.

SK-19 (79.50 m) HİDROTERMAL ALTERASYONA VE DİNAMİK METAMORFİZMAYA MARUZ KALMIŞ ANDEZİTİK BİLEŞİMLİ SUBVOLKANİK KAYAÇ

Örnek mineralojik ve dokusal özellikleri bakımından bir önceki SK-19 örneklerine benzemekle birlikte daha boşluklu bir yapıya sahiptir. Bu örnekte serizitleşmenin daha yoğun, epidotlaşmanın ise daha az geliştiği saptanmıştır. Ayrıca dinamik metamorfizma etkileri bu kayaçta çok daha net olarak gözlenebilmektedir.

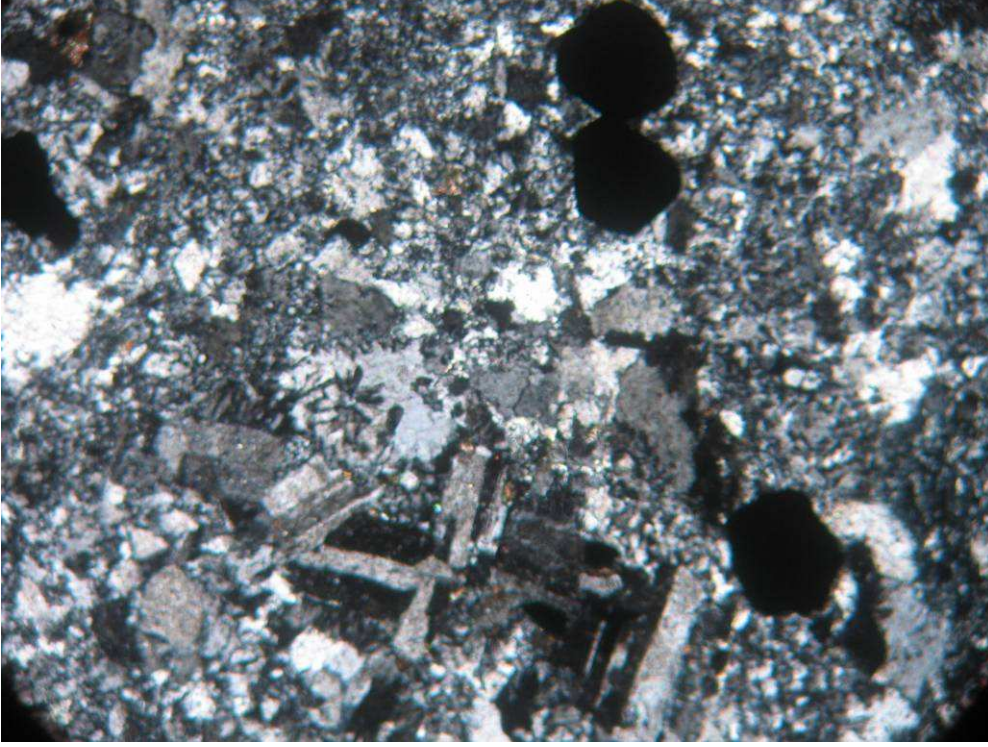


Foto 12 : 10 X büyütme, çift nikol Kayacın genel görünümü, siyah renkli özşekilli gözlenenler pirit.

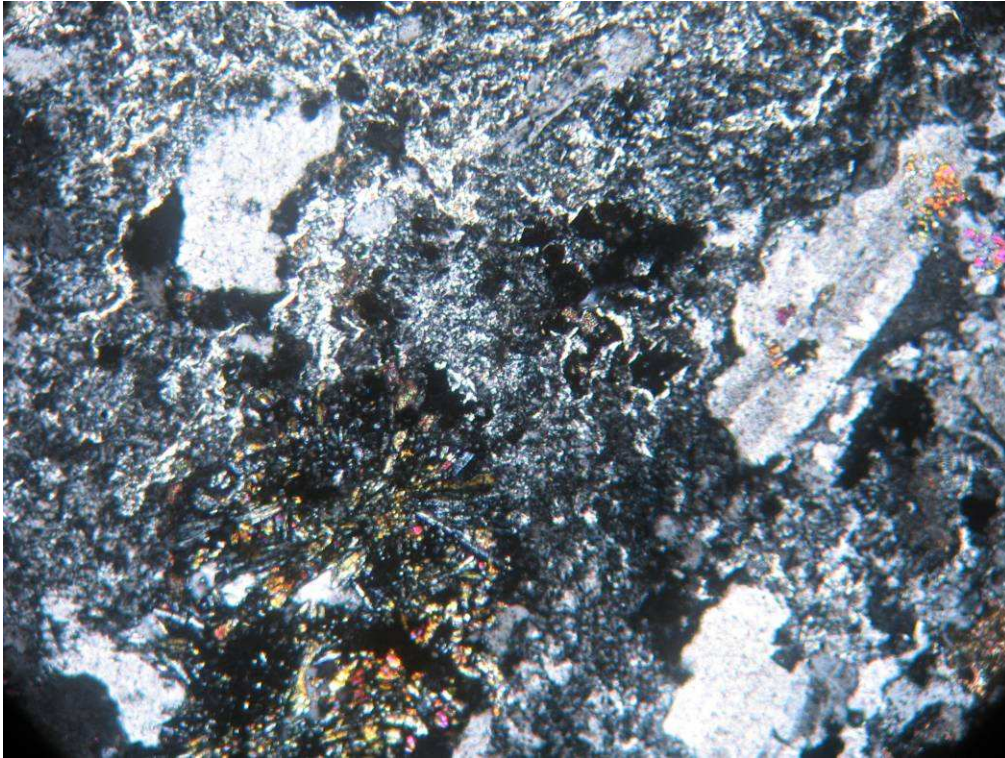


Foto 13 : 10 X büyütme, çift nikol, Feldispat fenokristallerinde gözlenen uzun eksenlere paralel yönlenme ve mikro kıvrımlanma. Beyaz şeritcikler halinde gözlenen yoğun serizitleşme. Altta canlı renkli epidotlar.

SK-20 (8.00 m) KISMEN HİDROTHERMAL ALTERASYONA MARUZ KALMIŞ MONZONİT/ VE VEYA DİYORİT BİLEŞİMLİ DAMAR KAYACI

Porfirik dokulu örnekte feldispat fenokristal ve mikrofenokristalleri ile tamamen kloritleşmiş iri taneli mafik mineral formları, mikrokristalen feldispat ve kuvarsdan oluşan bir hamur içersinde dağılmış olarak bulunmaktadır. Kayaç maruz kaldığı hidrotermal alterasyon nedeniyle yaygın olarak kloritleşmiş, kısmen killeşmiş-serizitleşmiş ve silisleşmiştir. Kloritleşme hem mafik mineral oldukları düşünülen formlarda hem de hamurda yoğun olarak gözlenmiştir. Silisleşme; mikrokristalin boşluk dolguları, kriptokristalin hamur malzemesi olarak gelişmiştir. Killeşme ise feldispat fenokristallerinde ve hamur malzemesini oluşturan mikrokristalin feldispatlarda saptanmıştır. Killeşmeye yer yer serizitleşme eşlik etmiştir. Feldispatlardaki killeşme nedeniyle bileşimleri çok sağlıklı olarak saptamak mümkün olamamıştır. Ancak mineral formlarında yapılan incelemelerden ve dokusal özelliklerinden kayacın hem plagiyoklaz hem de ortoklaz türü feldispat içerdiği belirlenmiştir. Kayaçta ayrıca ince taneli demir oksit mineralleşmeleri ve boyanmaları gözlenmiştir.

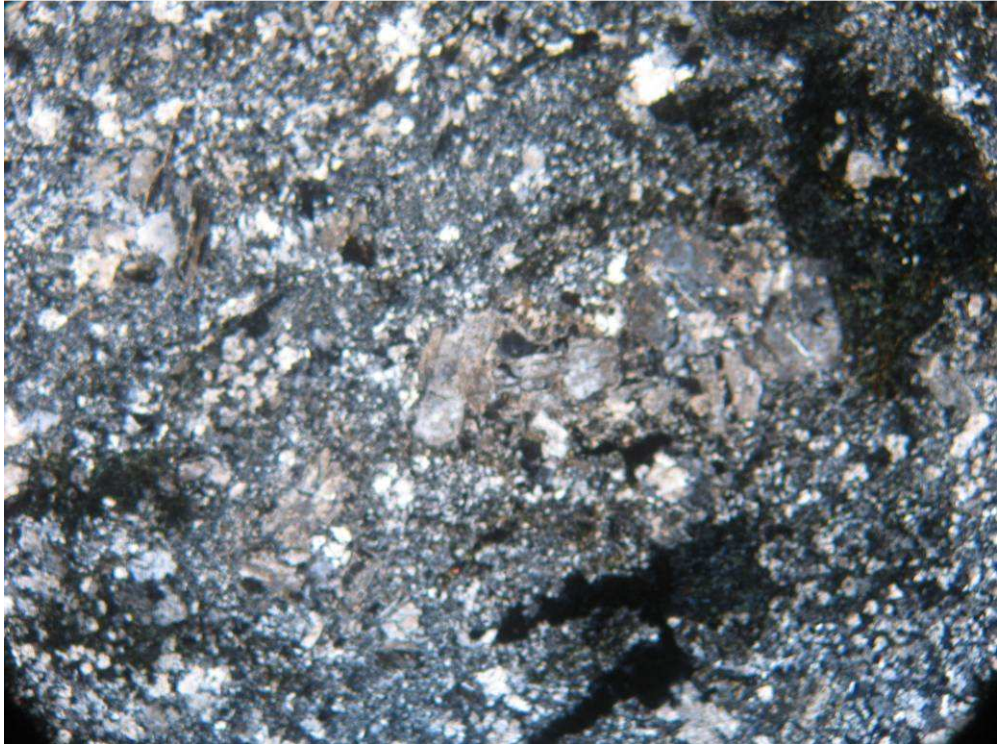


Foto 14 : 2.5 X büyütme, çift nikol, Kayacın genel görünümü. Porfirik dokulu örnekte merkezde serizitleşme-killeşme gösteren feldispat mikrofenokristalleri, daha ufak taneli (mikrokristalin) feldispat ve kuvarsdan oluşan bir hamur içersinde. Sağda koyu mavimsi-yeşil renkli mafik mineral formunda gelişmiş kloritleşme.

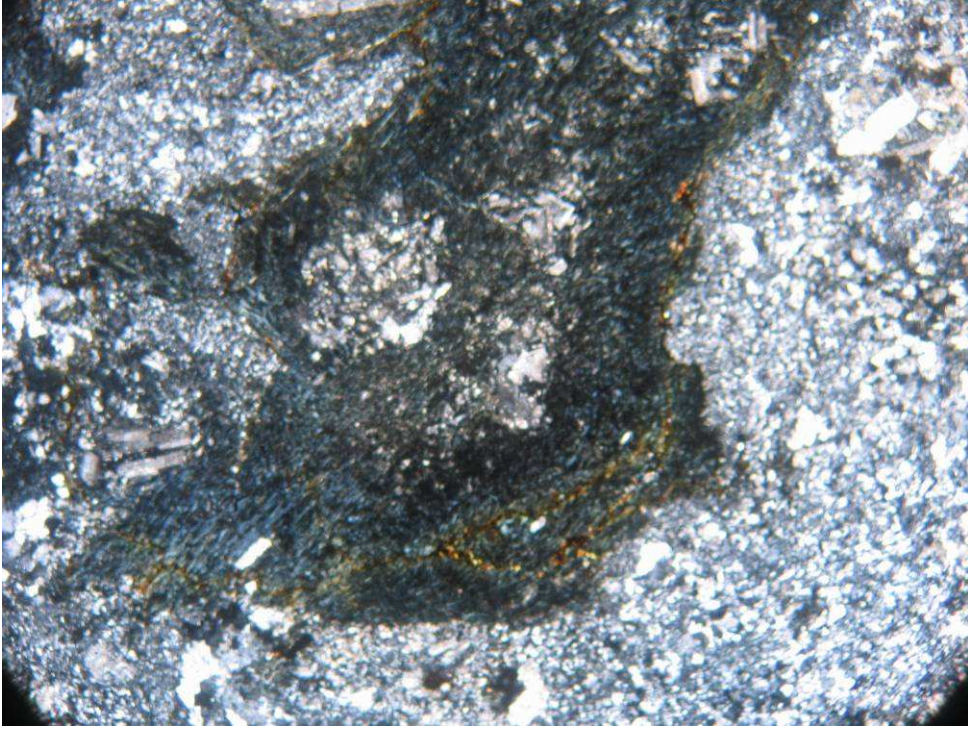


Foto 15 : 10 X büyütme, çift nikol, Koyu renkte gözlenen kloritleşme, açık renkte gözlenen kuvars (silis) mineralleşmesi.



Foto 16 10 X büyütme, tek nikol, bir önceki fotonun tek nikol görüntüsü.Yeşil renkli gözlenen kloritleşmenin içinde kahverengi demir oksit damarcığı.

SK-20 (30.50 m) YAYGIN HİDROTHERMAL ALTERASYONA MARUZ KALMIŞ ORTAÇ BİLEŞİMLİ VOLKANİK/ VE VEYA DAMAR KAYAC

Porfirik dokulu örnekte feldispat fenokristal ve mikrofenokristalleri ile çok az miktardaki kloritleşmiş mafik mineral formları, mikrokristalen feldispat ve kuvarsdan oluşan bir ince taneli bir hamur içersinde dağılmış olarak bulunmaktadır. Kayaç maruz kaldığı hidrotermal alterasyon nedeniyle yaygın olarak serizitleşmiş-killeşmiş, kısmende silisleşmiş ve piritleşmiştir. Serizitleşme kayaç genelinde ince seritçikler halinde yaygındır. Killeşme ise feldispat fenokristallerinde ve hamur malzemesini oluşturan mikrokristalin feldispatlarda saptanmıştır. Feldispatlarda gelişen bu killeşmeye yer yer serizitleşme eşlik etmiştir. Silisleşme; mikrokristalin boşluk dolguları, kriptokristalin hamur malzemesi olarak gelişmiştir. Piritleşme ince taneli özşekilli dissemine tanecikler ve damarcıklar halinde gözlenmiştir. Feldispatlardaki killeşme nedeniyle bileşimleri çok sağlıklı olarak saptamak mümkün olamamıştır. Kayaçta ayrıca ince taneli demir oksit mineralleşmeleri ve boyanmaları gözlenmiştir.

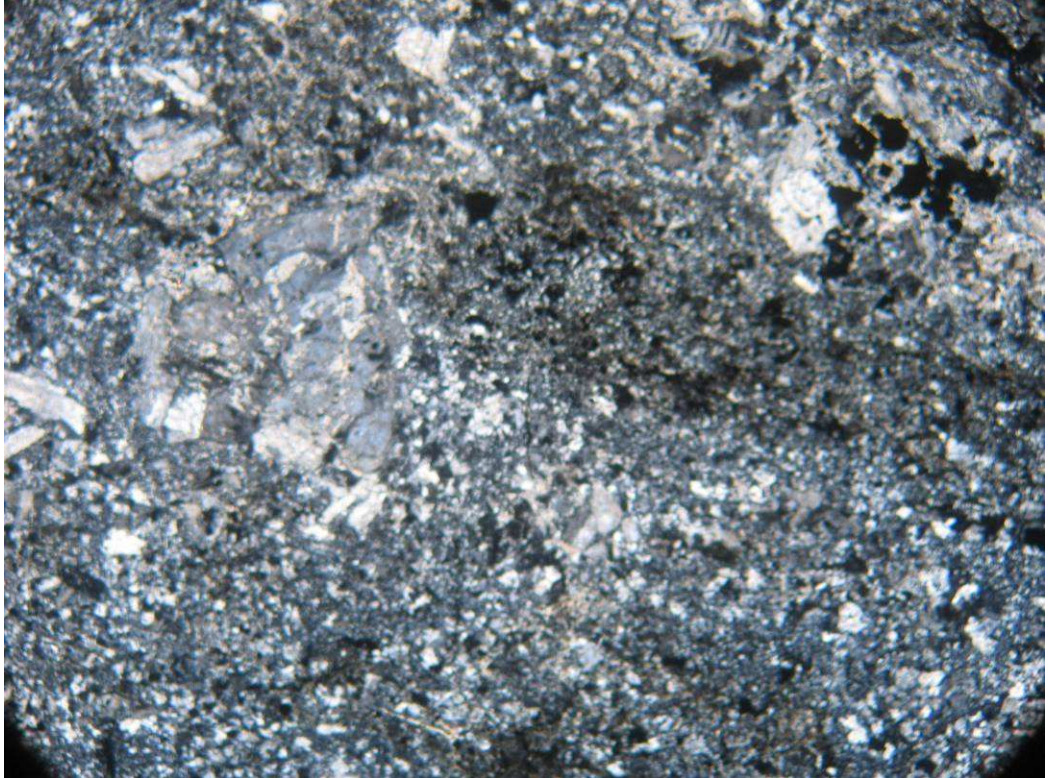


Foto 17 : 2.5 X büyütme, çift nikol, Kayacın genel görünümü.

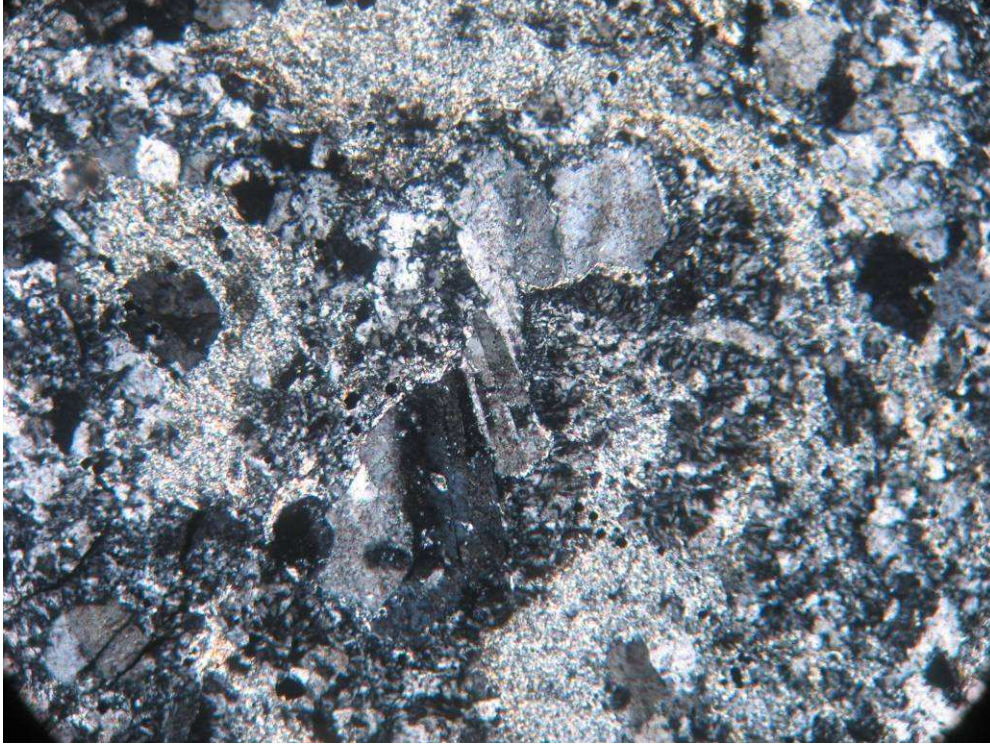


Foto 18 : 2.5 X büyütme, çift nikol Feldispat fenokristalleri arasında, ince şeritçikler halinde gelişmiş yoğun serizitleşme.

SK-20 (35.00m) DİNAMİK METAMORFİZMAYA VE KISMEN HİDROTERMAL ALTERASYONA MARUZ KALMIŞ ORTAÇ BİLEŞİMLİ VOLKANİK/ VE VEYA DAMAR KAYACI

Kayaç olasılıkla dinamik metamorfizma etkisinde de kalarak deformasyona uğramıştır. Bu deformasyon kayaç genelinde minerallerde uzamalara, yönlenmelere ve minerallerde ufalanmalara neden olmuştur.

Kısmen korunmuş porfirik doku özellikleri gösteren örnekte feldispat fenokristal ve mikrofenokristalleri, mikro-kriptokristalen feldispat ve kuvarsdan oluşan bir hamur içerisinde dağılmış olarak bulunmaktadır. Kayaç maruz kaldığı hidrotermal alterasyon nedeniyle kısmen kloritleşmiş, killeşmiştir-serizitleşmiş, piritleşmiş ve silisleşmiştir. Kloritleşme kayaç genelinde yaygın olarak gözlenmiştir Killeşme-serizitleşme ise feldispat fenokristallerinde ve hamur malzemesini oluşturan mikrokristalin feldispatlarda saptanmıştır. Killeşmeye yer yer serizitleşme eşlik etmiştir. Piritleşme özşekilli tanecikler halinde gelişmiştir. Az miktardaki silisleşme genellikle boşluk

dolgusu kriptokristalin hamur malzemesi olarak izlenmiştir. Feldispatlardaki killeşme nedeniyle bileşimleri çok sağlıklı olarak saptamak mümkün olamamıştır. Ancak mineral formlarında yapılan incelemelerden ve dokusal özelliklerinden kayacın ağırlıklı olarak plagiyoklaz içerdiği belirlenmiştir. Kayaçta ayrıca ince taneli demir oksit mineralleşmeleri ve çatlak dolgusu boyanmaları gözlenmiştir.

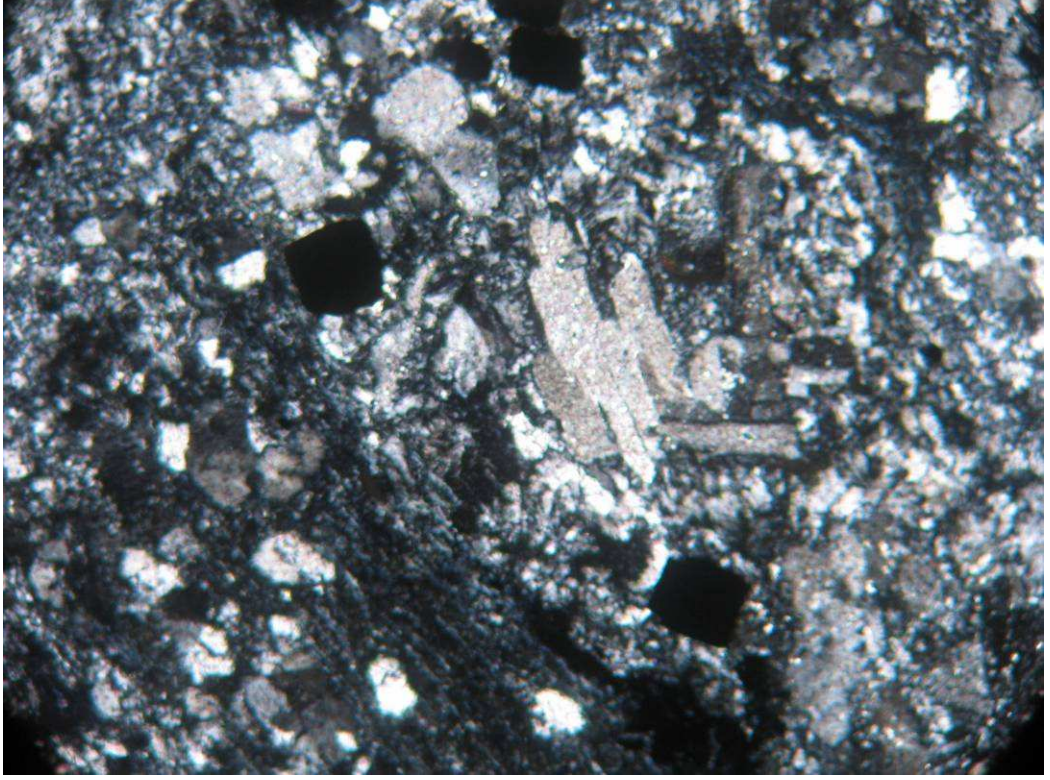


Foto 19 : 2.5 X büyütme, çift nikol, Kayacın genel görünümü ve hafif gelişmiş yönlü dokusu. Merkezde feldispat mikrofenokristallerinde killeşme, koyu mavimsi yeşil kloritleşme gözlenmekte. Siyah özşekli mineraller pirit.

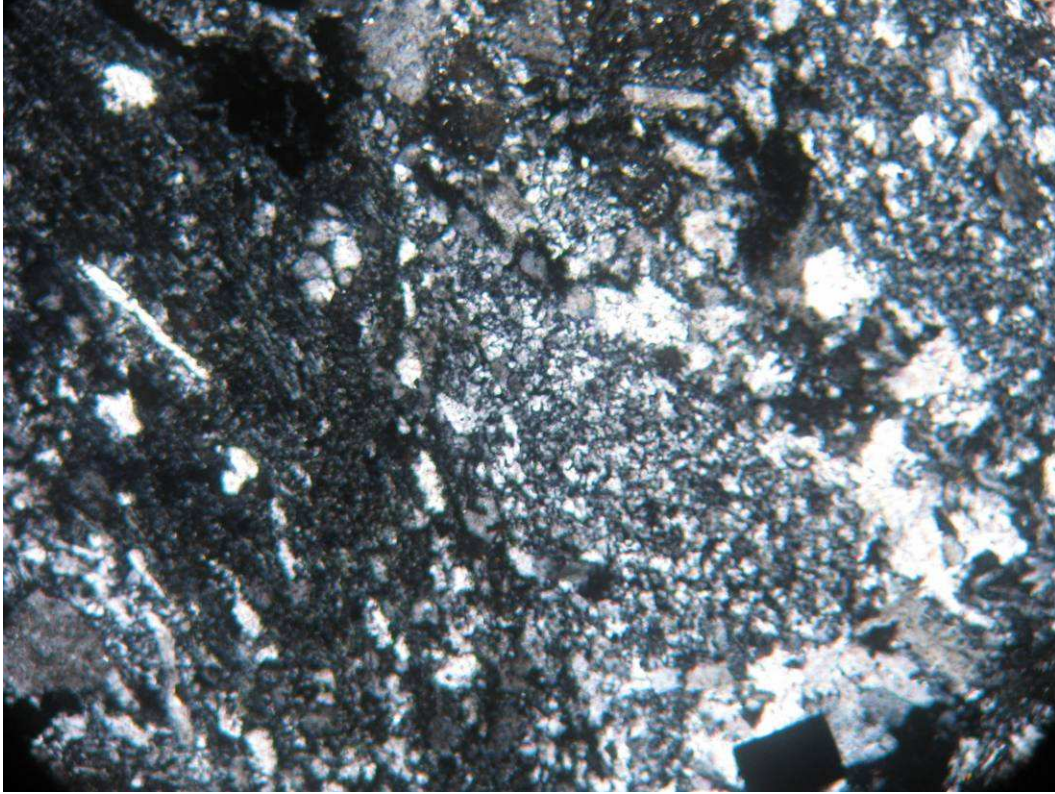


Foto 20 : 10 X büyütme, çift nikol, koyu renkli kesimde kloritleşme, açık renkli kesimde silisleşme.

SK-22 (41.00 m) YOĞUN HİDROTHERMAL ALTERASYONA MARUZ KALMIŞ MAĞMATİK KAYAÇ (VOLKANİK/ VE VEYA DAMAR)

Örnek maruz kaldığı yoğun hidrotermal alterasyon sonucu yaygın olarak serizitleşmiş, silisleşmiş, kloritleşmiş, piritleşmiş, kısmen killeşmiş ve epidotlaşmıştır. Bazı serizitleşmiş feldispat formları gözlenebilse de kayacın ilksel mineralojik ve dokusal özelliklerini belirlemek mümkün değildir. Kayacın bazı kesimlerinde zayıf dinamik metamorfizma etkisiyle geliştiği düşünülen lokal yönlenmeler, ufalanmalar ve kıvrımlanmalar oluşmuştur. Demir oksit damarcıkları ve boyanmaları içeren örnekte az miktarda da sfen ve lökoksen mineralleri saptanmıştır.

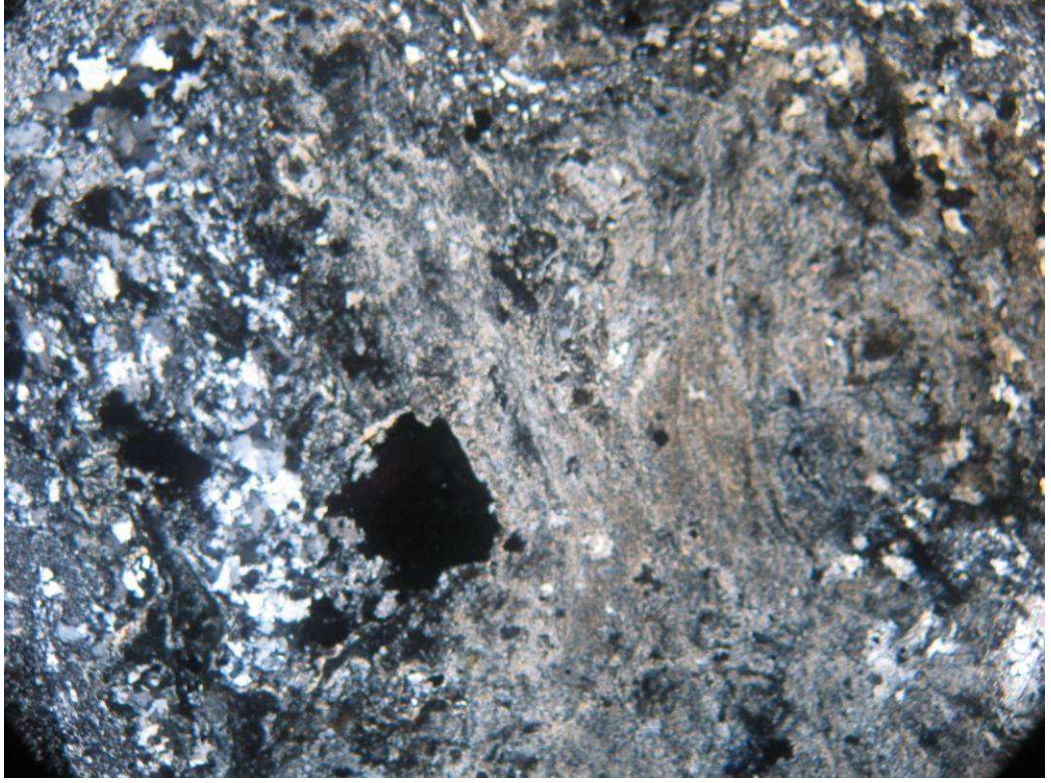


Foto 21 : 10 X büyütme, çift nikol, kayacın genel görünümü. Sağda örnekte çok yaygın olan serizitik alterasyon, solda açık gri-beyaz renkli silis oluşumları.

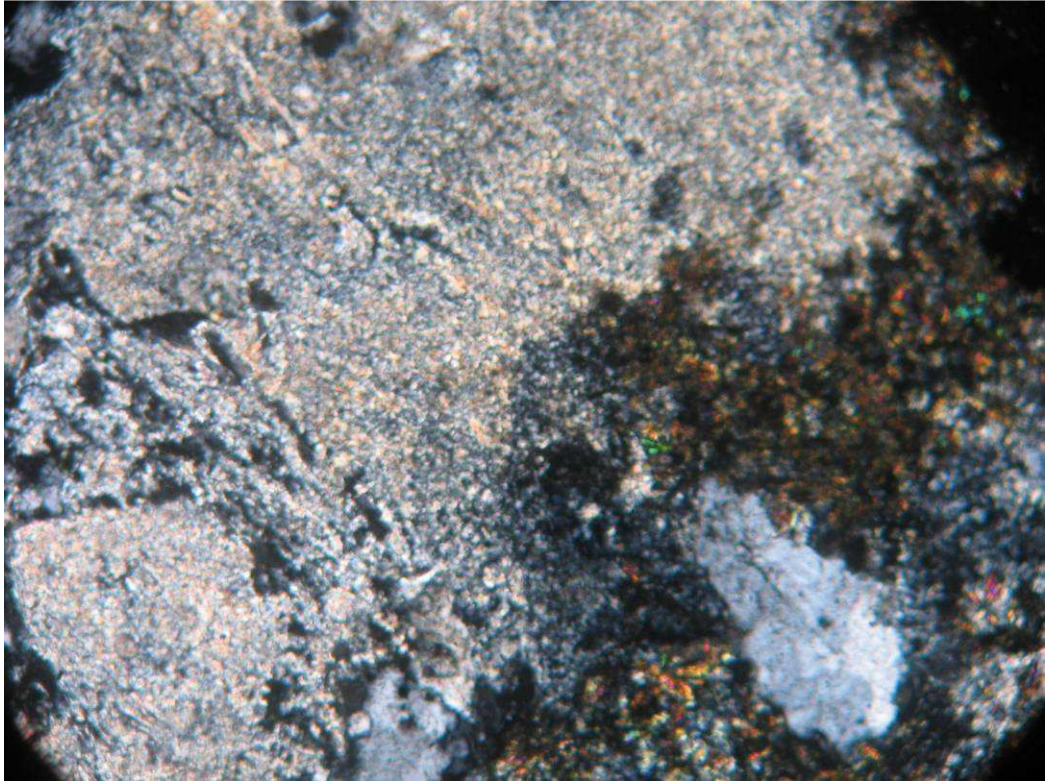


Foto 22 : 10 X büyütme çift nikol, üst sol kesimde gözlenen çok ince taneli yoğun serizitleşme. Alt sağ kesimde canlı renklerde gözlenen epidotlaşma.

**SK-27 (7.50 m) HİDROTERMAL ALTERASYONA MARUZ KALMIŞ
ORTAÇ BİLEŞİMLİ SUBVOLKANİK/ VE VEYA DAMAR KAYAÇI**

Hidrotermal alterasyona maruz kalmış örnekte çoğunluğu plagiyo­klaz, az bir kısmıda ortoklaz bileşimli olan killeşmiş feldispat fenokristal ve mikrofenokristalleri, yer yer yaygın serizitleşme, kısmen kloritleşme gösteren mikrokristalen feldispat ve kuvarsdan oluşan bir hamur içersinde dağılmış olarak bulunmaktadır. Serizitleşme örnekteki hakim alterasyon türü olup tane sınırları arasını dolduran matriks şeklinde ve ince damarcıklar halinde izlenebilmektedir. Silisleşme; mikro-mezokristalin boşluk dolguları ve ışınsal- kalsedonik kuvars mineralleşmeleri halinde gelişmiştir. Az miktardaki epidotlaşma mikro taneler halindedir. Örnekte bol miktarda da özşekilli-yarı özşekilli pirit minerali bulunmaktadır.

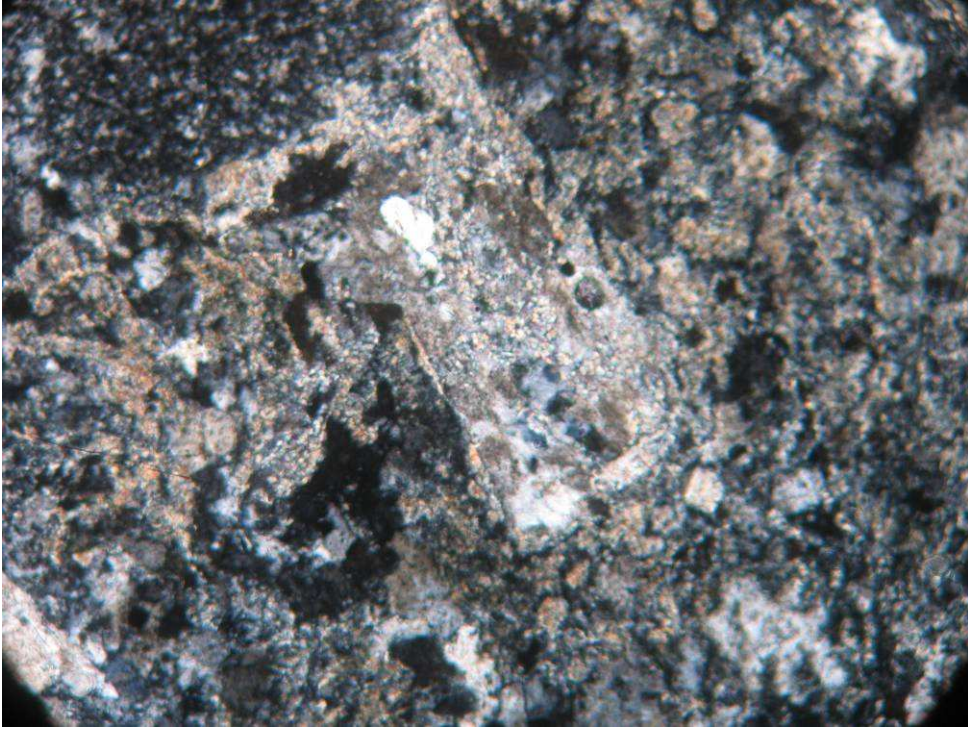


Foto 23 : 2.5 X büyütme, çift nikol, kayacın genel görünümü. Merkezdeki feldispat fenokristalinde, kahverengi killeşme ve ince açık renkli pulcuklar halinde gelişmiş serizitleşme beraber izlenebiliyor.

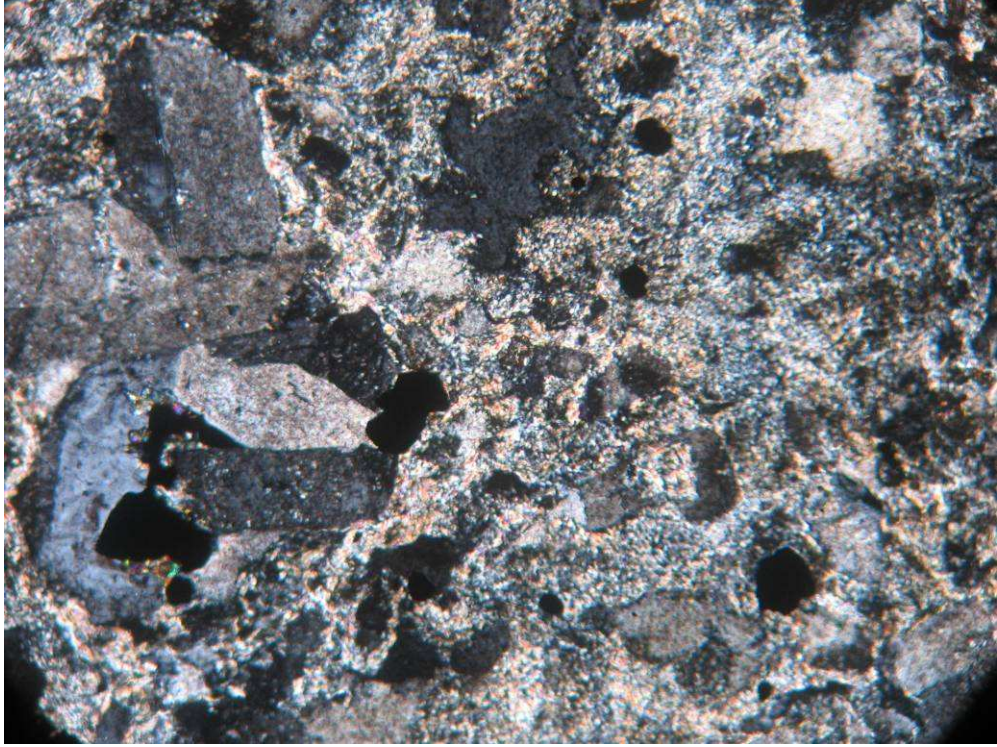


Foto 24 : 10 X büyütme, çift nikol, mineral tane sınırları arasını doldurur biçimde gelişmiş serizitleşme.

SK-27 (11.00 m) YOĞUN HİDROTERMAL ALTERASYONA MARUZ KALMIŞ MAĞMATİK KAYAÇ (VOLKANİK/ VE VEYA DAMAR)

Örnek maruz kaldığı yoğun hidrotermal alterasyon sonucu yoğun olarak serizitleşmiş, daha az oranlarda da silisleşmiş, piritleşmiş ve killeşmiştir. Bazı hamur malzemesi kalıntısı olduğu düşünülen mikro taneli killeşmiş feldispatlar dışında birincil mineral gözlenememiştir. Bu nedenle kayacın ilksel mineralojik ve dokusal özelliklerini belirlemek mümkün değildir. Demir oksit damarcıkları ve boyanmaları içeren örnekte çok az miktarda da sfen ve lökoksen mineralleri saptanmıştır.

SK-29 (16.50 m) KISMEN HİDROTERMAL ALTERASYONA MARUZ DİYORİT BİLEŞİMLİ DAMAR KAYACI

Porfirik dokulu örnekte feldispat fenokristal ve mikrofenokristalleri ile tamamen kloritleşmiş iri taneli mafik mineral formları, mikrokristalen feldispat ve kuvarsdan oluşan bir hamur içersinde dağılmış olarak bulunmaktadır. Kayaç maruz kaldığı hidrotermal alterasyon nedeniyle yaygın olarak kloritleşmiş, kısmen killeşmiş ve silisleşmiştir. Kloritleşme hem mafik mineral oldukları düşünülen formlarda hem de

hamurda yoğun olarak gözlenmiştir. Silisleşme; mikrokristalin damar dolguları ve kriptokristalin hamur malzemesi olarak gelişmiştir. Killeşme ise feldispat fenokristallerinde ve hamur malzemesini oluşturan mikrokristalin feldispatlarda saptanmıştır. Killeşmeye nadir olarak yer yer serizitleşme eşlik etmiştir. Feldispatlardaki killeşme nedeniyle bileşimleri çok sağlıklı olarak saptamak mümkün olamamıştır. Ancak mineral formlarında yapılan incelemelerden ve dokusal özelliklerinden kayacın genellikle plagiyoklaz, az bir oranda da ortoklaz türü feldispat içerdiği belirlenmiştir. Ayrıca kayacı çeşitli yönlerde kat eden demir oksit mineralleşmeleri ve boyanmaları gözlenmiştir.

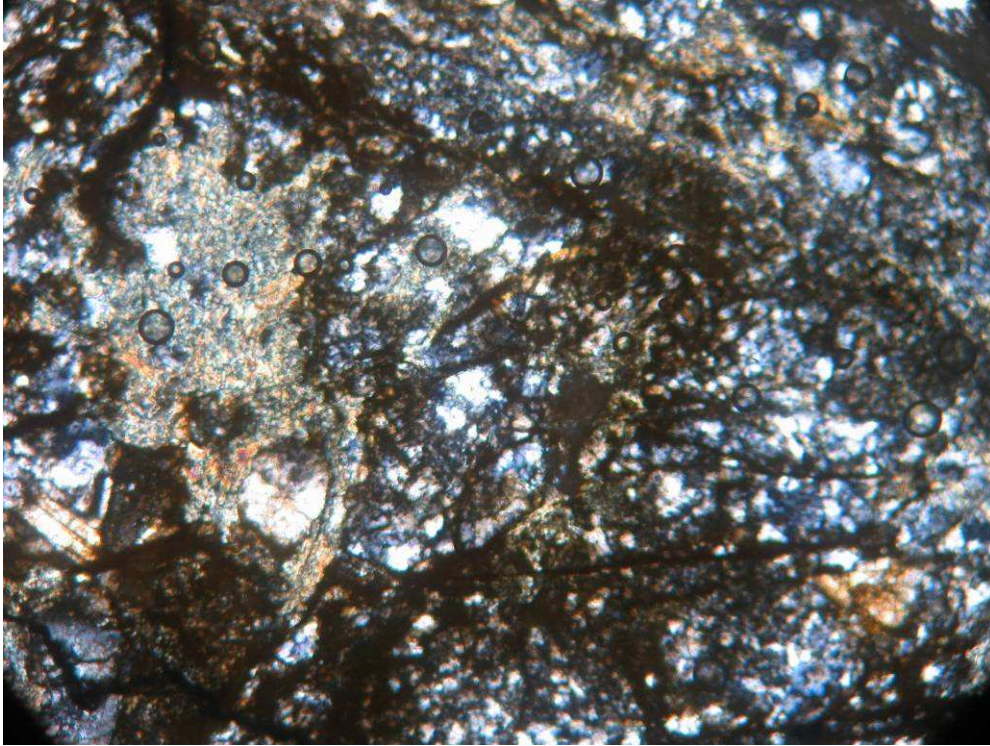


Foto 25 : 10 X büyütme, çift nikol, Kayacın genel görünümü. Silisleşme, ağsal demir oksit mineralleşmesi, kloritleşme ve serizitleşme.

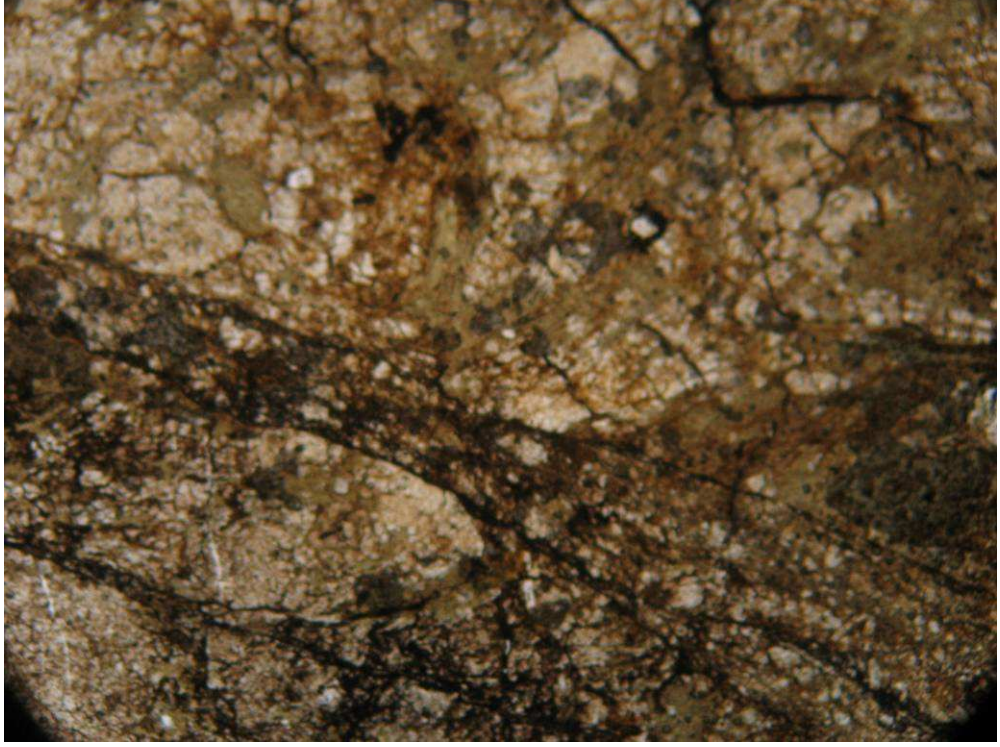


Foto 26 : 10 X büyütme, tek nikol, kayaç genel görüntüsü tek nikol. Yeşil renkte kloritleşme ve kahverengimsi olarak gözlenen demir oksit mineralleşmeleri daha belirgin.

**SK-29 (35.20 m) YOĞUN HİDROTHERMAL ALTERASYONA MARUZ
DİYORİT BİLEŞİMLİ DAMAR KAYACI**

Örnek bir öncekiyle benzer mineralojik ve dokusal özelliklere sahiptir. Ancak maruz kaldığı kloritleşme, silisleşme, killeşme ve demir oksitleşme gibi hidrotermal alterasyonlar daha yaygın olarak gelişmiştir.

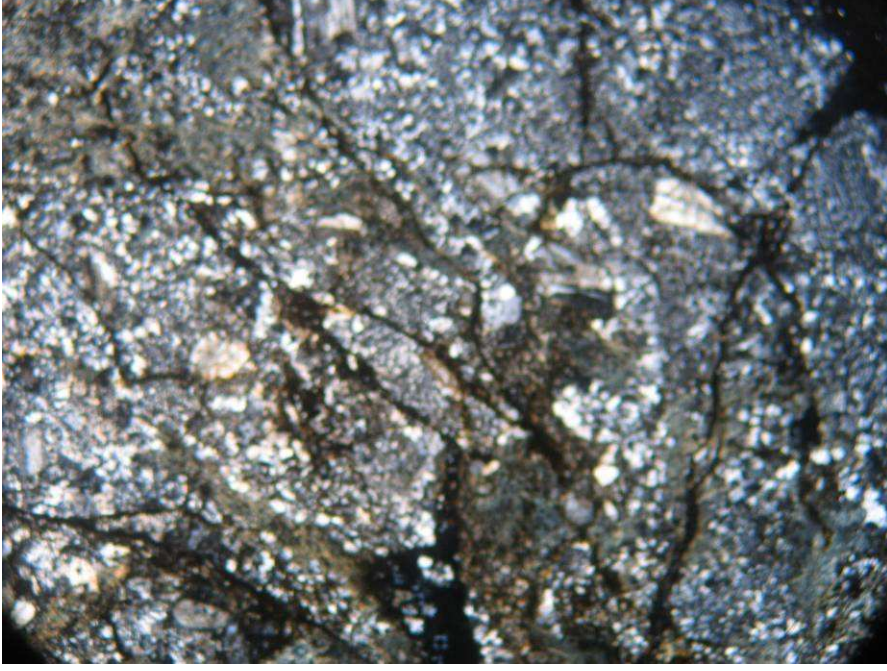


Foto 27 : 2.5 X büyütme, çift nikol, Hidrotermal alterasyon ürünü kloritleşme, silisleşme ve demir oksit mineralleşmesinin yaygın olduğu kayacın genel görünümü.



Foto 28 : 2.5 X büyütme, tek nikol, tek nikolde daha belirgin gözlenebilen yeşil renkli kloritleşme, kahverengimsi damarlar halinde izlenebilen demir oksit mineralleşmeleri.

EK NOT : Petrografik incelemesi yapılan kayaçlar mineral bileşimleri birbirine yakın ve geçişli olan, ortaç kimyaya (andezitik-diyoritik ve latitik-monzonitik) sahip mağmatik kayaçlardan oluşmaktadır. Dokusal özelliklere dayandırılarak yapılan volkanik, subvolkanik ve damar kayacı tanımlamaları ise kayaçların maruz kaldığı hidrotermal alterasyon ve bazı kayaçlarda gözlenen dinamik metamorfizma etkileri nedeniyle maskelenmiştir. Bu şartlar altında sadece mikroskop gözlemlerine dayandırılarak yapılan bu tanımlamaların genel saha jeolojisi, arazideki konum ve yayılım unsurlarıyla da desteklenmesi gerekmektedir.

Ek A.2: Ayvalı barajı ve tesisleri jeoloji haritası

Ek A.3: Ayvalı barajı eksen yeri jeolojik profili

Ek A.4: Ayvalı baraj yeri sondajları rqd ve lugeon grafikleri

Ek A.5: Ayvalı baraj yeri mühendislik jeolojisi enkesiti

ÖZGEÇMİŞ

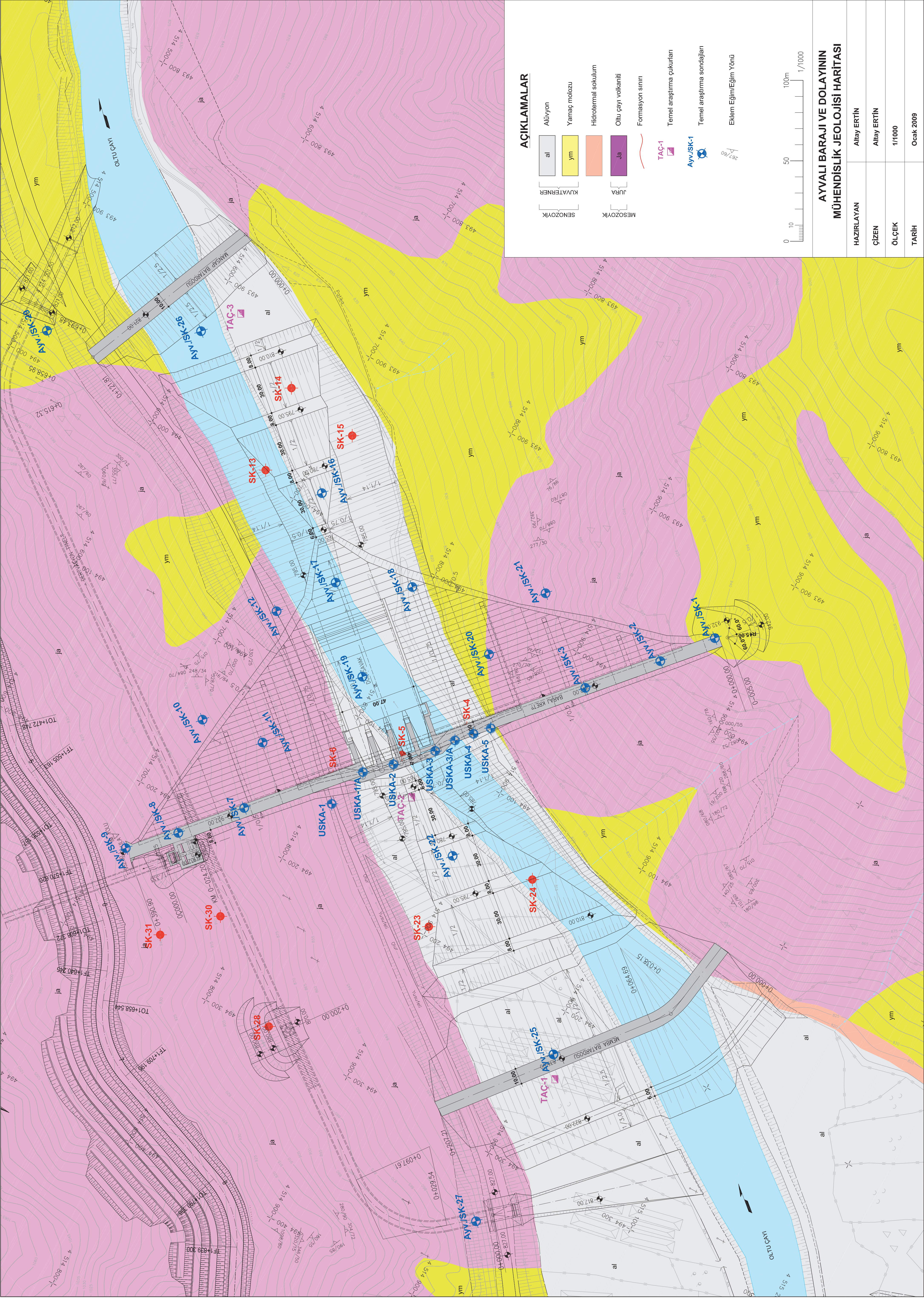


Ad Soyad: Altay Ertin

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar, 09.01.1971

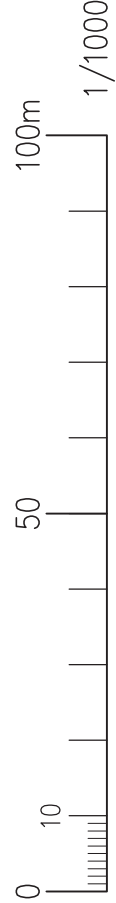
Lisans Üniversite: İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Altay Ertin 1971 yılında Üsküdar’da doğdu. Orta ve lise öğrenimini Edirne Anadolu Lisesi’nde tamamladı. .İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden mezun olan Altay Ertin, uzun yıllar yurtiçi ve yurtdışında Jeoloji Mühendisi olarak çalıştıktan sonra İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Uygulamalı Jeoloji programında yüksek lisans öğrenimini tamamladı.



AÇIKLAMALAR

- al Alüvyon
ym Yamaç molozu
Hidrotermal sokulum
Ja Olu çayı volkaniti
Formasyon sınırı
- TAÇ-1
Avv/ISK-1
Temel araştırma çukurları
Temel araştırma sondajları
Eklem Eğim/Eğim Yönü



AYVALI BARAJI VE DOLAYININ MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ HARİTASI

HAZIRLAYAN	Altay ERTİN
ÇİZEN	Altay ERTİN
ÖLÇEK	1/1000
TARİH	Ocak 2009

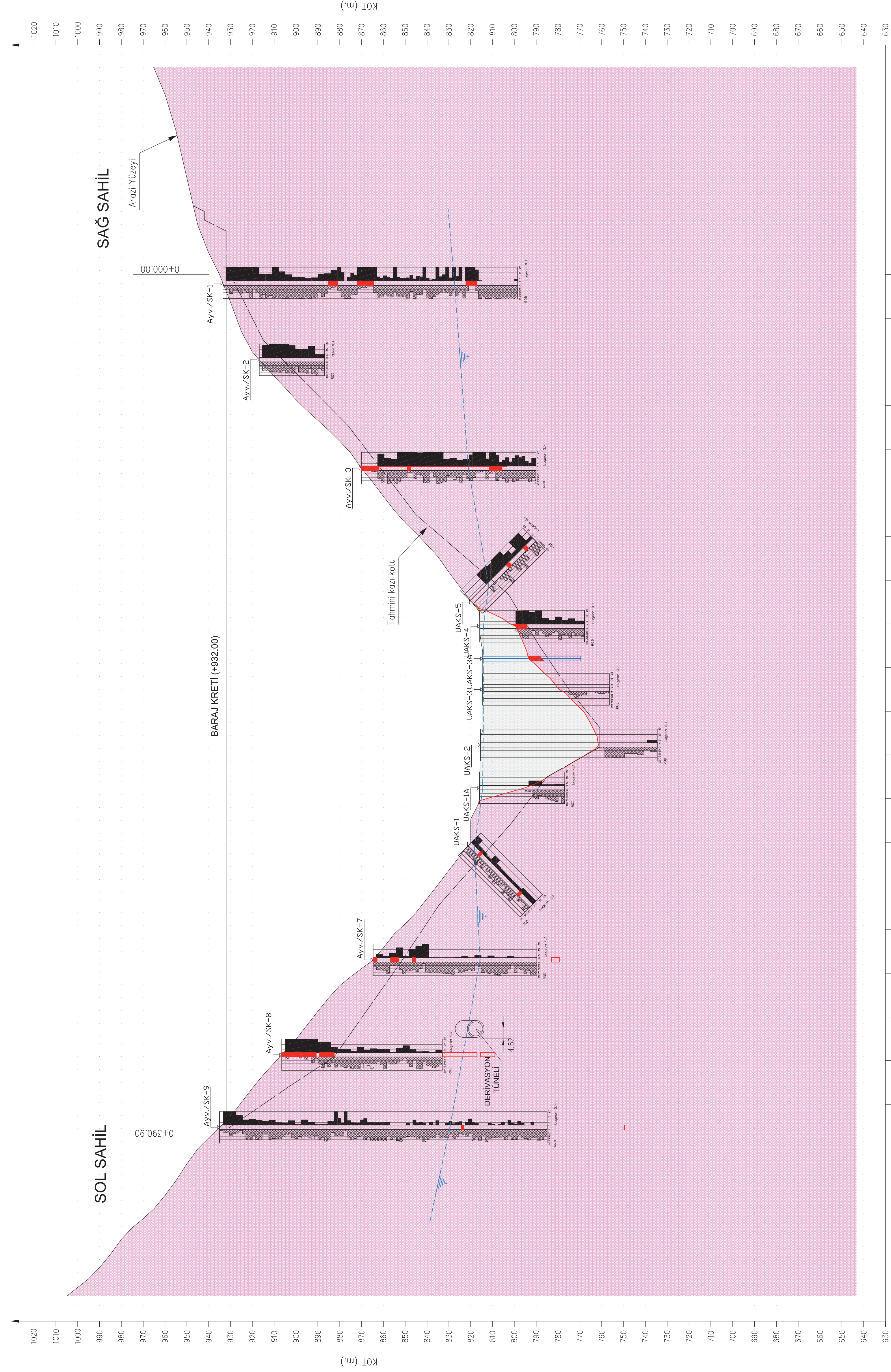
AÇIKLAMALAR

- Alüvyon
Yamaç molozu
Oluçayı volkanitleri
Hidrotermal sokulum
Yeraltısuyu seviyesi
Temel sondaj kuyusu

Qal

Qym

oJo



0 10 50 100m 1/1000

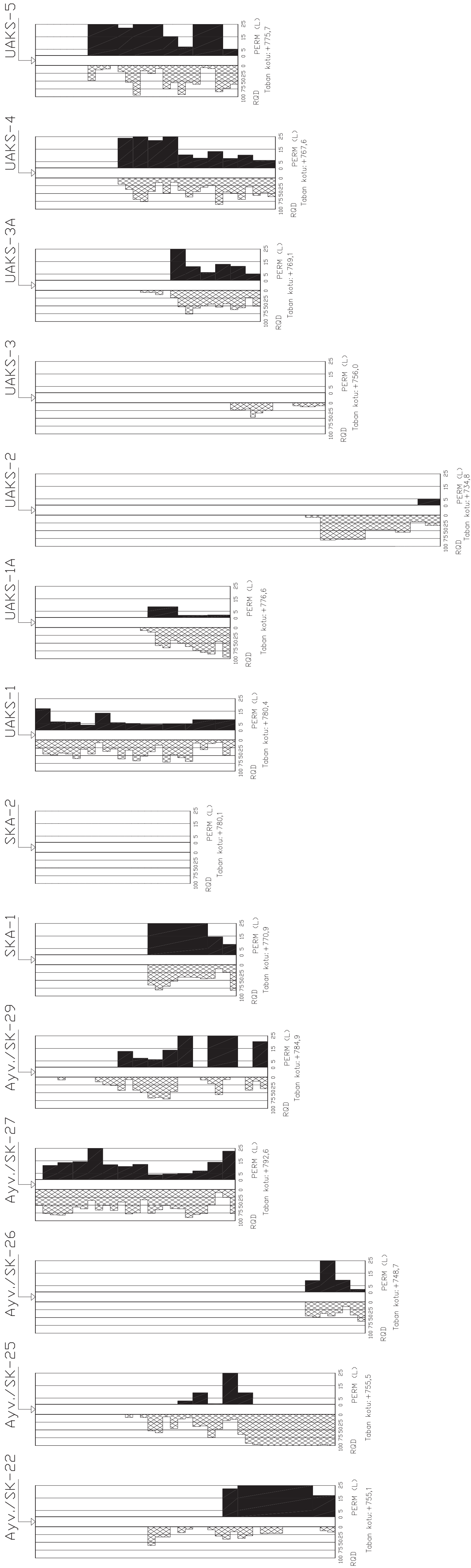
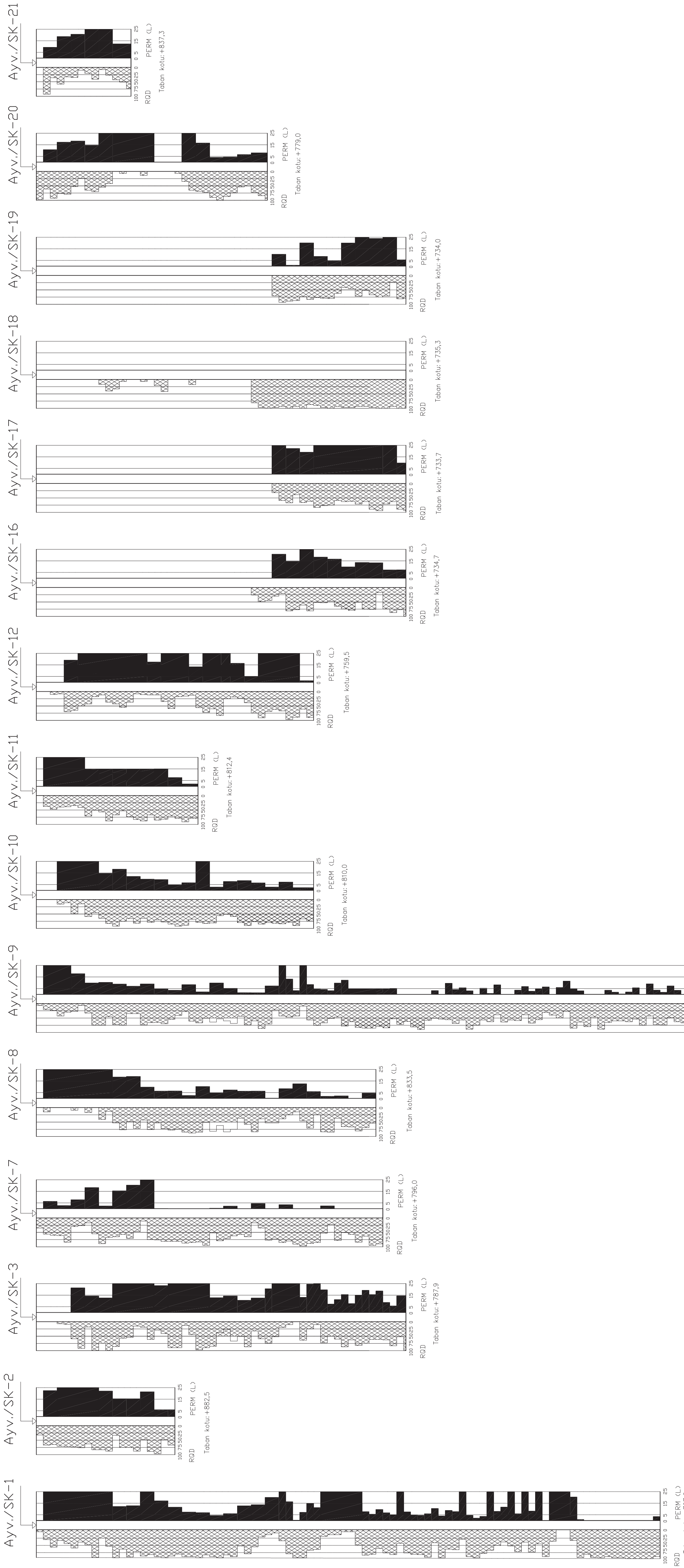
1/1000

BARAJ EKSENİ JEOLojİK PROFİLİ

AYVALI BARAJI

BARAJ GÖVDESİ MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ PROFİLİ

HAZIRLAYAN	Altay ERTİN
ÇİZEN	Altay ERTİN
ÖLÇEK	1/1000
TARİH	Ocak 2009



AYVALI BARAJ YERİ SONDAJLARI RQD VE LUEGON GRAFİKLERİ	
HAZIRLAYAN	Altay ERTİN
ÇİZEN	Altay ERTİN
ÖLÇEK	1/1000
TARİH	Ocak 2009

AÇIKLAMALAR

Qal

Alüvyon

Qym

Yamaç molozu

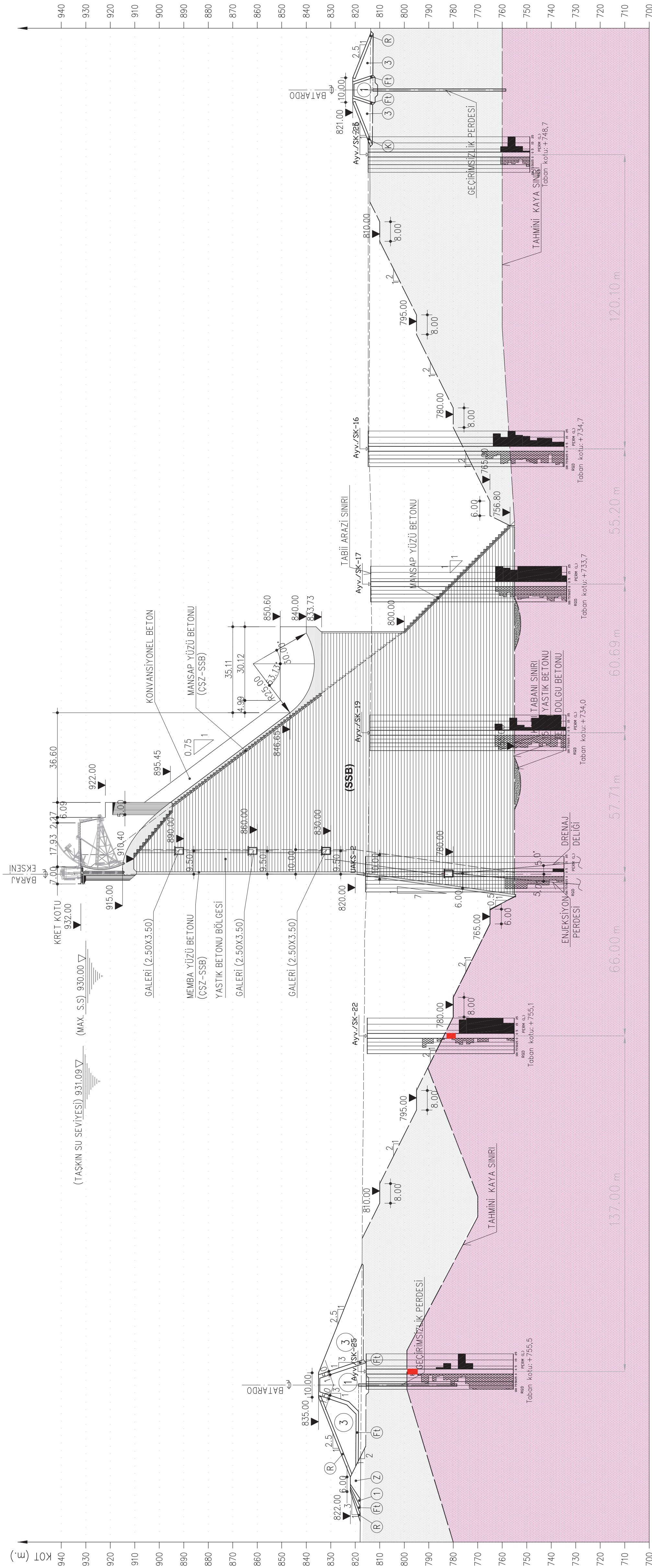
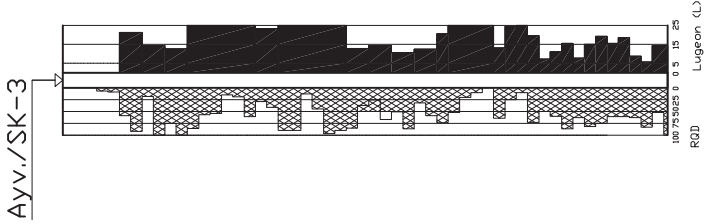
oJo

Volkanik kaya

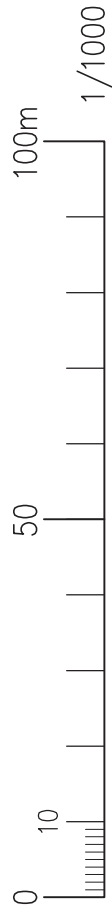
Hidrotermal sokulum

Yeraltısuyu seviyesi

Temel sondaj kuyusu



Km: 0+210.00



AYVALI BARAJ YERİ	
MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ ENKESİTİ	
HAZIRLAYAN	Altay ERTİN
ÇİZEN	Altay ERTİN
ÖLÇEK	1/1000
TARİH	Ocak 2009

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Altay Ertin

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar, 09.01.1971

Lisans Üniversite: İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Altay Ertin 1971 yılında Üsküdar’da doğdu. Orta ve lise öğrenimini Edirne Anadolu Lisesi’nde tamamladı. .İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden mezun olan Altay Ertin, uzun yıllar yurtiçi ve yurtdışında Jeoloji Mühendisi olarak çalıştıktan sonra İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Uygulamalı Jeoloji programında yüksek lisans öğrenimini tamamladı.