

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MARMARİS BARAJI'NIN**  
**MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ**

**Ahmed KAYA**

**Eylül, 2008**

**İZMİR**

# **MARMARİS BARAJI'NIN MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı**

**Ahmed KAYA**

**Eylül, 2008**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**AHMED KAYA**, tarafından **PROF DR. NECDET TÜRK** yönetiminde hazırlanan “**MARMARİS BARAJI’NIN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

---

Prof.Dr. Necdet TÜRK

---

Yönetici

---

Prof. Dr. M. Yalçın KOCA

---

Jüri Üyesi

---

Prof. Dr. Arif Şengün KAYALAR

---

Jüri Üyesi

---

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın tüm evrelerinde engin bilgi, tecrübe ve hoşgörülerini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Necdet TÜRK'e, tez içeriğine değerli katkılarıyla Sayın Prof Dr. Arif Ş. Kayalar ve Prof Dr. M.Yalçın Koca'ya, tez çalışmalarım sırasında bana her türlü manevi destek ve anlayışı gösteren değerli eşim Nesibe KAYA'ya ve tez yazım aşamasında sürekli dikkatimi dağıtarak yazım süresini 3 katına çıkarmamı sağlayan sevimli kızım Ece Sıla KAYA'ya, barajlar konusundaki derin bilgilerini benimle paylaşıp, mühendislik hayatımın şekillenmesinde büyük pay sahibi olan emekli D.S.İ. XXI. Bölge Müdür Yardımcısı İnşaat Mühendisi Sayın Yılmaz Yapıcı'ya, arazi ve laboratuvar çalışmalarındaki paylaşımlarından dolayı Jeoloji Yüksek Mühendisi Sungur KEDEK, Jeoloji Mühendisi Can EMİR, Jeoloji Mühendisi Yolaç YILDIZ'a, Proje Müdürüm İnşaat Mühendisi Sayın Şakir BEKEM'e, İnşaat Mühendisi Yavuz Benzek, İnşaat Mühendisi Mahmut Nedim FETTAHLIOĞLU'na, tez yazımı sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Mehmet YAMAN, Kaan YAĞLI ve Arziye KAYA'ya, Jeoloji Mühendisi Fatma SARI'ya, petrografik analizlerde desteğini esirgemeyen Jeoloji Mühendisleri sayın Dr. Koray Sözeri ve Dr. Özden İleri'ye, Marmaris Çevre Koruma ve Altyapı Yapım Projesi bünyesinde görev alan tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ahmed KAYA

## MARMARİS BARAJI'NIN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

### ÖZ

Marmaris Barajı, “ön yüzü beton kaplama kaya dolgu ” tipinde bir barajdır. Yapımına 1998 yılında başlanmış ve 2006 yılında da tamamen hizmete girmiştir. Ülkemizde bu yöntemle yapılan beşinci barajdır. Yapım amacı Marmaris ve çevre beldelerinin (Beldibi, İçmeler, Armutalan) içme suyunun temini, barajın aşağı kısmında yer alan Çamlı Ovasının sulama suyunu karşılamak ve bu ovayı etkisi altına alan taşkınları kontrol etmektir.

Baraj yerinde bulunan alüvyon birimleri kaldırılarak baraj gövdesi serpantinit ana kayası üzerine oturtulmuştur. Temel kayacının sahip olduğu geçirimsizlik özelliği, inceleme alanında açılan sondaj kuyularında yapılan basınçlı su testleri ile belirlenmiş ve gerekli enjeksiyon perdelemesi yapılmıştır.

Marmaris Barajı'nın aynı tipteki benzer barajlardan en önemli farkı dolguda kullanılan kayanın ultrabazik bileşime sahip dünit kayası olmasıdır.

**Anahtar kelimeler:** Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj, dünit, serpantinit, enjeksiyon, sondaj

## ENGINEERING GEOLOGY OF THE MARMARIS DAM

### ABSTRACT

Marmaris dam is concrete face rock filled dam. It was started to be built in 1998 and finished in 2006 and it started up order full capacity. It is the 5th dam built with similar system in our country. It's aim is to supply drinking water to Marmaris and near by towns ( Beldibi, İçmeler, Armutalan) and provide irrigation water for Çamlı Plain which is below the dam and also to control floods.

The dam body was placed on serpentinite main rock after removing alluvium . Main rock's permeabilty was determined by the pressure water tests made on the bore holles drilled in the investigation area, and the necessary injection curtain was made.

The most important difference of Marmaris dam from the same kinds of dams is the rock used in the filling is dunite in ultrabasic rock type.

**Key words:** Concrete faced rockfill dam, dunite, serpentinite, injection, bore

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT .....	v
<b>BÖLÜM BİR-GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Marmaris Barajı'nın Yeri ve Barajın Yapım Amacı .....	2
1.1.1 Marmaris Barajının Yeri, Çevre ve İklim Özellikleri .....	2
1.1.1.1 Marmaris Barajının Yeri .....	2
1.1.1.2 Çevre ve İklim Özellikleri .....	3
1.1.1.2.1 Sıcaklık .....	4
1.1.1.2.1 Nem .....	4
1.1.1.2.2 Yağış .....	4
1.1.1.2.3 Hava Basıncı .....	6
1.1.1.2.4 Rüzgâr .....	6
1.1.1.2.5 Toprak Sıcaklığı .....	6
1.1.2 Barajın Yapım Amacı .....	6
1.2 Yöntem .....	7
<b>BÖLÜM İKİ- JEOLJİ .....</b>	<b>9</b>
2.1 Genel Jeoloji .....	10
2.1.1 Likya Napları .....	11
2.1.1.1 Bodrum Napı .....	11
2.1.1.1.1 Göçlediği Formasyonu .....	11
2.1.1.1.2 Karaböğürtlen Formasyonu .....	11

2.1.1.1.3 Bayırköy Formasyonu .....	12
2.1.1.1.4 Güverdağı Formasyonu .....	12
2.1.1.1.5 Karanasıflar Formasyonu .....	12
2.1.1.2 Gülbahar Napı .....	13
2.1.1.2.1 Orluca Formasyonu .....	13
2.1.1.2.2 Çövenliyayla Volkaniti .....	13
2.1.1.2.3 Orhaniye Formasyonu .....	13
2.1.1.3 Marmaris Ofiyolit Napı .....	14
2.1.1.3.1 Kızılcaadağ Melanj ve Olistostromu .....	14
2.1.1.3.2 Marmaris Peridotiti .....	14
2.2 Yapısal Jeoloji .....	14
2.2.1 Faylanma .....	14
2.2.2. Eklemlenme .....	15
2.2.3 Deprem Durumu .....	15
<b>BÖLÜM ÜÇ- MARMARİS BARAJININ ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>17</b>
<b>BÖLÜM DÖRT- ÖN YÜZÜ BETON KAPLI BARAJLAR .....</b>	<b>19</b>
4.1 Ön Yüzü Beton Kaplı Barajlarda Kaya Dolgusunun Yapısı .....	19
4.2 Ön Yüzü Beton Kaplı Baraj Tipinin Avantajları .....	19
4.3 Dünyada ve Ülkemizde Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajlar .....	21
<b>BÖLÜM BEŞ- MARMARİS BARAJI'NIN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ .....</b>	<b>22</b>
5.1 Baraj Yerinin ve Tipinin Belirlenmesi .....	22
5.2 Arazi Çalışmaları .....	25
5.2.1 Sondaj Çalışmaları .....	25
5.2.2 Sismik Refraksiyon Ölçümü .....	28
5.2.2.1 Sismik Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	31
5.3 Laboratuvar Çalışmaları .....	31
5.3.1 Kaya Mekaniği Deneyleri .....	31



5.3.1.1 Deneý Sonuçlarının Deęerlendirilmesi.....	34
5.3.2 Petrografik Analizler .....	35
5.3.2.1 Az Ayrışmış Örnek (Kaya Ocağı) .....	35
5.3.2.2 Orta Ayrışmış Örnek (Sol Sahil) .....	36
5.3.2.3 Çok Ayrışmış Örnek ( Dolu Savak) .....	37
5.3.2.4 Petrografik Analiz Sonuçları.....	39
5.4 Baraj Yeri ve Derivasyon Tünelinin Mühendislik Jeolojisi .....	39
5.4.1 Baraj Yeri .....	39
5.4.1.1 Alüvyon.....	39
5.4.1.2 Serpantinleşmiş Dünit.....	40
5.4.2 Derivasyon Tüneli (Dipsavak).....	41
<b>BÖLÜM ALTI- BARAJ ŞEVLERİNİN KİNEMATİK ANALİZLERİ.....</b>	<b>45</b>
6.1. Stereonet Yöntemi .....	45
6.2 SMR (Slope Mass Rating) Yöntemi.....	46
6.2.1 Yöntemin Marmaris Barajı'na Uyarlanması .....	51
6.2.1.1 Baraj Yeri Sağ Sahil Yamacı .....	55
6.2.1.2 Baraj Yeri Sol Sahil Yamacı.....	56
<b>BÖLÜM YEDİ- BARAJ İNŞAATI VE BARAJIN BUGÜNKÜ DURUMU.....</b>	<b>58</b>
7.1. Baraj Gövdesi .....	58
7.1.1 Baraj Sıyırma ve Temel (Cut-Off) Kazısı .....	58
7.1.2 Baraj Temel Betonu (Plinth) .....	59
7.1.3.Gövde Dolgusu .....	60
7.1.3.1 Gövde Dolgusunda Meydana Gelen Oturmalar .....	61
7.1.4 Ön Yüz Kaplama Betonu .....	64
7.1.5 Gövde Enjeksiyonları.....	65
7.2 Dolu Savak.....	67
7.3 Derivasyon Tüneli .....	68
7.4 Barajın Bugünkü Durumu ve Performansı .....	70

<b>BÖLÜM SEKİZ- SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>71</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>74</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>77</b>

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Baraj, yapım tekniği ve içerdiği üniteler bakımından kompleks bir yapıdır. Baraj inşaatları bünyesinde kazı, dolgu, beton, kalıp, destekleme gibi tekniklerin yanı sıra tünel, enjeksiyon, dolu savak, batardo gibi bölümleri barındırır.

Baraj inşaatlarında öncelikle uygun yer seçimi büyük önem taşır. Zira inşaat tekniği açısından mükemmel olarak inşa edildiği halde uygun yerde yapılmadığı için işlevini yerine getiremeyen bir baraj mühendislik bilimi açısından büyük bir talihsizlik olacaktır. Uygun yer seçiminde de ilgili alanda yapılacak mühendislik jeolojisi çalışmalarının önemi büyüktür. Bu çalışmalar sonucunda baraj yapımı tasarlanan yerin uygunluğu, barajın oturacağı birimin jeoteknik özellikleri, baraj temel kayasının hidrojeolojik özellikleri, uygun kazı ve destek sistemlerinin belirlenmesi gibi verilere ulaşılmış olacaktır.

Bu çalışmada Muğla İli Marmaris İlçesi Çamlı Köyünde, içme suyu temini ve sulama amacıyla yapılan Marmaris Barajı'nın Mühendislik Jeolojisi yer almaktadır. Marmaris Barajı'nın yapımına 1998 yılında başlanmış ve 2006 yılında tamamlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında öncelikle proje alanının 1/25000 (Şekil 2.2.) ve 1/1000 (Ek.1.) ölçekli jeolojik haritaları yapılmıştır. Haritalama sonucunda 22 lokasyonda 14 ile 74 metre arasında değişen karotlu zemin etüd sondaj kuyuları açılmış, alüvyon birimleri içerisinde her 1,5 metrede bir Standart Penetrasyon Deneyle (SPT) yapılmıştır. Sondajlar sırasında ana kayanın geçirimsizlik değerlerinin belirlenmesi ve temel enjeksiyonu projelerinin hazırlanmasına yönelik basınçlı su testleri yapılmıştır. Ayrıca zeminin fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak bir hatta sismik profil çıkarılmıştır(Ek.7.).

Sondajlar sırasında alınan zemin ve kaya örnekleri laboratuarda deneylere tabî tutulmuş, zemin ve kayaya ilişkin mekanik parametreler elde edilmiştir.

Farklı ayırma durumuna sahip üç mostradan alınan kaya örneklerinden ince kesitler çıkartılarak kayacın petrografik analizi yaptırılmış ve tanımlaması yapılmıştır.

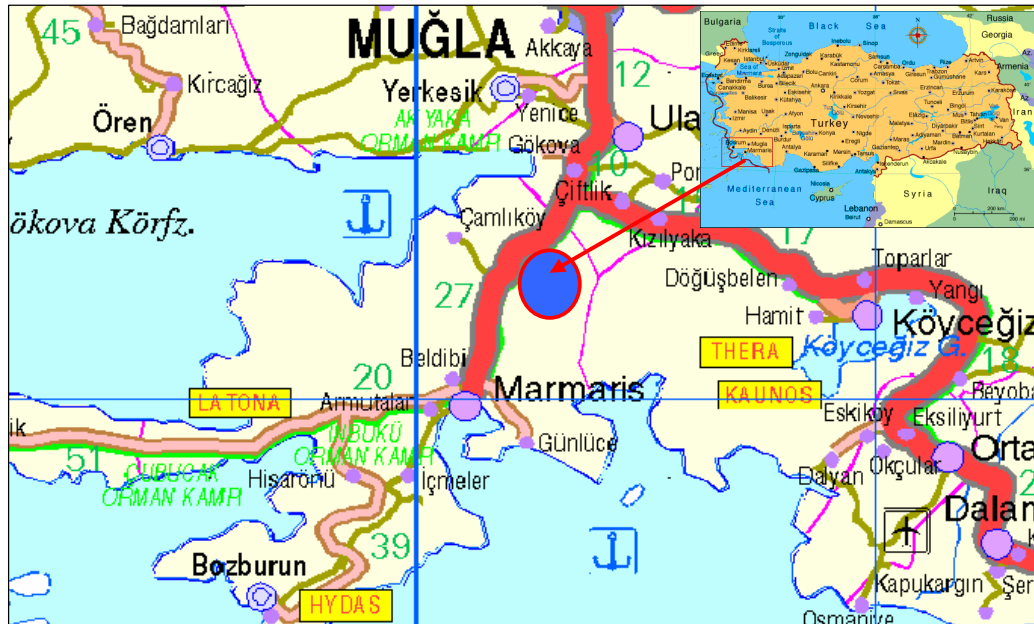
Tez çalışmaları sırasında baraj tamamlanmış olduğundan bu rapor kapsamında baraj inşaatı sırasında ve sonrasındaki durumlara da yer verilmiş böylece başlangıç ve bitiş ilişkisi de irdelenmiştir.

## 1.1 Marmaris Barajı'nın Yeri ve Barajın Yapım Amacı

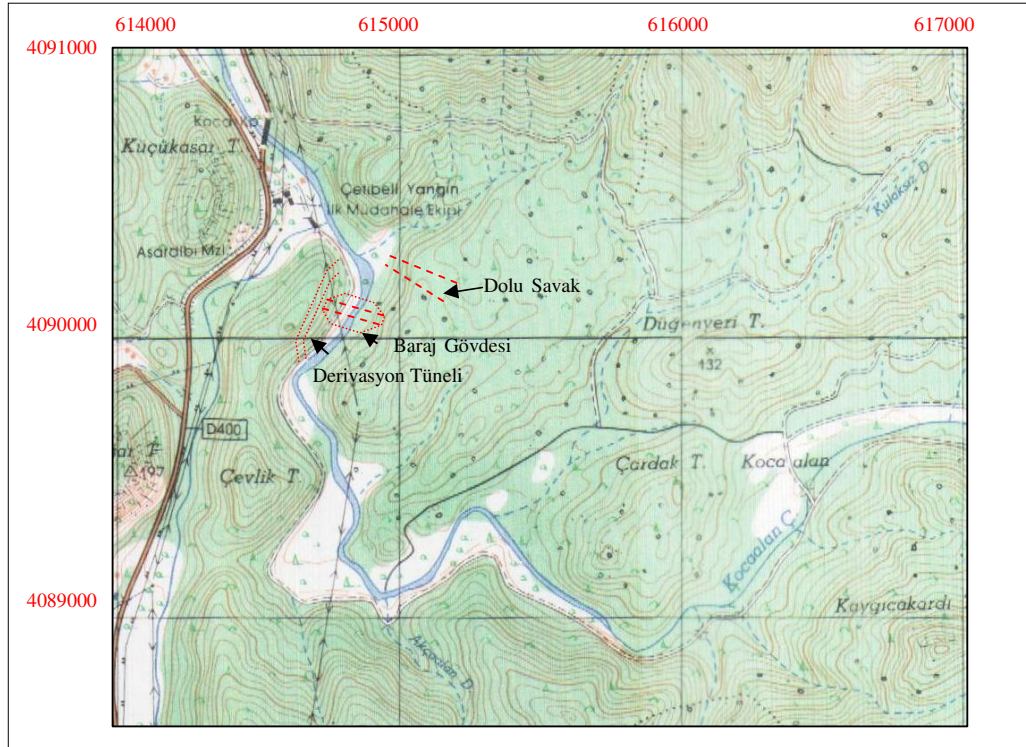
### 1.1.1 Marmaris Barajının Yeri, Çevre ve İklim Özellikleri

#### 1.1.1.1 Marmaris Barajının Yeri

Marmaris Barajı, Muğla İli Marmaris İlçesi'nin 12 km kuzeyinde, Taşhan Mevkii'nde yer almaktadır (Şekil 1.1., Şekil 1.2. Şekil 1.3.).



Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası



Şekil 1.2 İnceleme alanının 1/25000 ölçekli topoğrafik harita (Marmaris 020 b1) üzerindeki yeri



Şekil 1.3 Baraj yerinin ilk hali

#### 1.1.1.2 Çevre ve İklim Özellikleri

Çalışma alanında tipik Akdeniz iklimi hâkimdir. Yazları sıcak ve kuru, kışları ılık ve nemlidir. Bölgede yaygın olan bitki örtüsü çam ağaçlarının oluşturduğu ormanlar

ve kısa bitkilerdir ( maki, çalı v.s.). Aşağıda aktarılan meteorolojik ve iklimsel veriler Su-Yapı A.Ş firması tarafından 1998 yılında hazırlanan “Marmaris Barajı Planlama Ara Raporu’ndan” alınmıştır.

*1.1.1.2.1 Sıcaklık.* Bölgede yıllık ortalama sıcaklık  $18,5^{\circ}\text{C}$  dir. Marmaris ve çevresinde bugüne kadar ölçülen en yüksek sıcaklık  $47^{\circ}\text{C}$  (Ağustos–1958), en düşük sıcaklık değeri ise  $-4^{\circ}\text{C}$  (Şubat–1960) olarak kaydedilmiştir. Marmaris yöresinde ölçülen sıcaklık değerleri Tablo 1.1 de sunulmaktadır (Su-Yapı A.Ş., 1998).

Tablo 1.1 Marmaris’de ölçülen sıcaklık değerleri “ $^{\circ}\text{C}$ ” (Su-Yapı A.Ş., 1998)

AYLAR													
	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZ.	TEM.	AĞU.	EYL.	EKİM	KAS.	ARA.	YILLIK
MAX	22,50	24,00	27,50	31,60	40,00	43,10	42,30	40,40	34,00	28,60	21,80	23,30	43,10
ORT	10,40	11,30	12,80	15,70	20,20	25,00	27,70	27,40	24,00	19,30	15,10	12,00	18,40
MIN	-3,50	-2,50	-0,10	4,30	8,00	12,50	16,30	10,70	10,70	5,50	1,40	-0,80	-3,50

*1.1.1.2.1 Nem.* Yıllık ortalama nem oranı % 66’dır. En düşük bağıl nem %3 ile temmuz ayında ölçülmüştür. Tablo 1.2 de Marmaris’de ölçülen nisbî nem değerleri görülmektedir (Su-Yapı A.Ş., 1998).

Tablo 1.2 Marmaris’de ölçülen ortalama nisbî nem değerleri “%” (Su-Yapı A.Ş., 1998)

AYLAR											
OCAK	ŞUB.	MART	NİSAN	MAY.	HAZ.	TEM.	AĞU.	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARA.
71,00	73,00	70,00	68,00	67,00	55,00	51,00	52,00	59,00	67,00	74,00	75,00

*1.1.1.2.2 Yağış.* Bölgede yıllık ortalama yağış miktarı 1198,2 mm’dir. Günlük en çok yağış miktarı 202,2 mm ile Ekim ayında ölçülmüştür. Yağışın 10 mm’den fazla olduğu gün sayısı 35 iken, 50 mm’den fazla olduğu gün sayısı ise 5’tir. Marmaris yöresinde tespit edilen aylık toplam yağışlar tablo 1.3 de sunulmaktadır (Su-Yapı A.Ş., 1998).

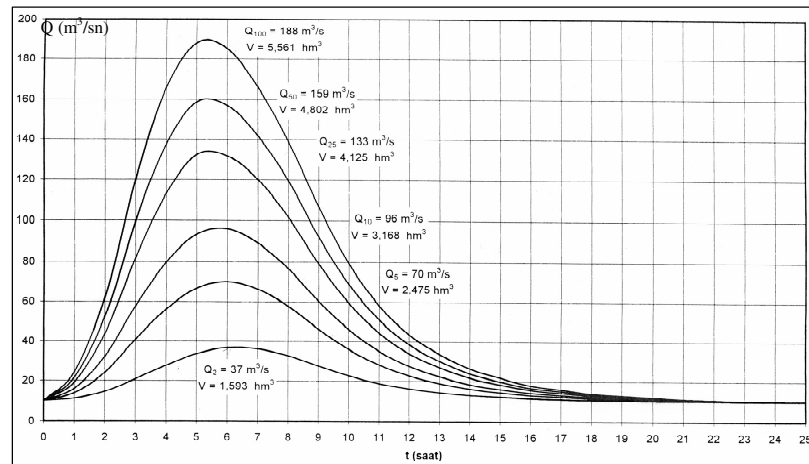
Tablo 1.3 Marmaris yöresi aylık toplam yağışlar (Su-Yapı A.Ş., 1998)

Yıl	AYLAR												
	Aylık Toplam Yağış ( mm )												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağ.	Eylül	Ekim	Kasım	Ara.	Yıllık
Top.	11322	7722,0	5764,5	1980	1444	495	85,5	81,5	508,5	4149	7722,0	13032	54306,0
Ort.	251,6	171,6	128,1	44,0	32,1	11,0	1,9	1,8	11,3	92,2	171,6	289,6	1206,8

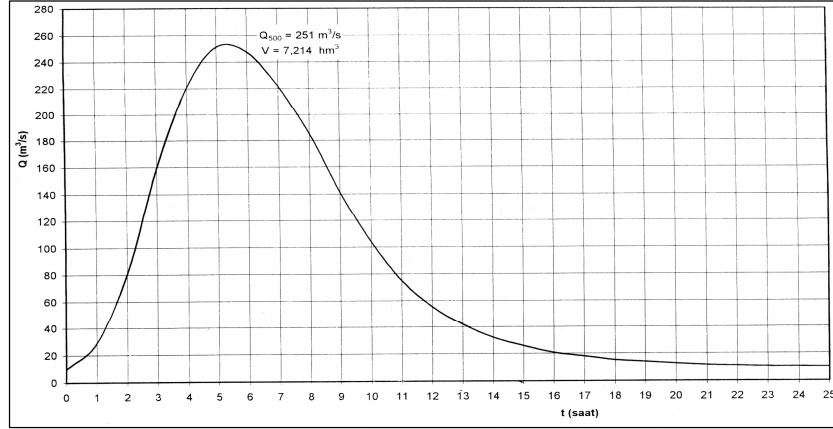
Kocaalan Deresi üzerinde DSİ XXI. Bölge Müdürlüğü tarafından yerleştirilen akım gözlem istasyonunda 1984–1995 yılları arasında yapılan akım ölçümleri tablo 1.4 te yer almaktadır. Bu veriler ışığında Marmaris Barajı'na ait 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık taşkın debileri belirlenmiştir. Marmaris Barajı'na ait taşkın yineleme hidrografları Şekil 1.4 ve 1.5 de sunulmaktadır (Su-Yapı A.Ş., 1998).

Tablo 1.4 Kocaalan Deresi akım değerleri "hm<sup>3</sup>" (Su-Yapı A.Ş., 1998)

YIL	Ekim	Kas.	Ara.	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağu	Eylül	Top.
1984	0,11	2,28	6,13	7,74	7,43	6,48	4,78	3,32	1,12	0,11	0,11	0,11	39,71
1985	0,11	4,12	3,33	7,77	5,69	4,63	3,47	2,41	0,89	0,11	0,11	0,11	32,73
1986	2,44	2,36	3,39	6,43	7,32	5,39	2,67	2,05	0,34	0,11	0,11	0,11	32,71
1987	0,11	0,43	2,76	6,34	5,14	6,74	4,16	2,25	0,89	0,11	0,11	0,11	29,14
1988	0,11	0,46	3,16	4,34	5,63	7,85	3,92	2,28	0,46	0,11	0,11	0,11	28,52
1989	0,11	3,38	7,34	2,91	2,42	4,89	2,32	1,25	0,70	0,45	0,34	0,46	26,58
1990	0,92	3,78	6,01	4,67	4,51	2,37	1,14	0,63	0,34	0,33	0,14	0,06	24,90
1991	0,11	0,43	4,92	3,45	4,67	2,74	1,85	1,36	0,85	0,42	0,25	0,15	21,18
1992	0,31	0,19	9,25	6,92	2,88	4,38	2,86	1,38	0,66	0,37	0,17	0,11	30,48
1993	0,11	2,87	4,32	3,47	5,58	5,61	3,44	2,80	0,66	0,11	0,11	0,11	29,18
1994	0,11	4,50	3,67	4,52	5,31	4,00	3,37	4,97	1,60	0,11	0,11	0,11	32,35
1995	0,75	4,02	8,12	9,04	3,75	6,18	3,91	1,72	0,81	0,56	0,29	0,15	39,28
Ort.	0,72	2,65	5,58	6,11	5,26	5,20	3,40	2,41	1,21	0,20	0,14	0,18	33,02



Şekil 1.4 Marmaris Barajı Taşkın Yineleme Hidrografı (Su-Yapı A.Ş., 1998)



Şekil 1.5 Marmaris Barajı 500 yıllık taşkın yineleme hidrografı (Su-Yapı A.Ş., 1998)

**1.1.1.2.3 Hava Basıncı.** Yıllık ortalama yerel basınç 1012,7 hPa olup en yüksek basınç 1034,1 hPa ile Ocak ayında, en düşük basınç ise 984,2 hPa ile Şubat ayında kaydedilmiştir (Su-Yapı A.Ş., 1998).

**1.1.1.2.4 Rüzgâr.** Yıllık ortalama rüzgâr hızı 2,4 m/s'dir. En hızlı rüzgâr 35,4 m/s ile Güneydoğudan esmektedir. Egemen rüzgar yönü Batı-Kuzeybatı'dır (Tablo 1.5), (Su-Yapı A.Ş., 1998).

Tablo 1.5 Marmaris yöresinde hakim rüzgar yönleri (Su-Yapı A.Ş., 1998)

AYLAR												
OCAK	ŞUB.	MART	NİS.	MAY.	HAZ.	TEM.	AĞU.	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	YILLIK
SSE 34	W 32,5	SSE 30,3	S 24,9	SEE 28,2	WNW 19,2	N 22,9	W 16,8	W 15,2	SE 35,4	ESE 26,02	ESE 35,75	SE 35,4

**1.1.1.2.5 Toprak Sıcaklığı.** 5 cm derinlikte ortalama toprak sıcaklığı 21,8° C olup, maksimum sıcaklık Temmuz ayında 35,5° C ; minimum sıcaklık ise Ocak ayında 9,7° C'dir (Su-Yapı A.Ş., 1998).

## 1.1.2 Barajın Yapım Amacı

Barajın öncelikli yapılış amacı Marmaris İlçesine ve yakın çevresine içme suyu temin etmektir. Aynı zamanda barajın mansap tarafında yer alan Çamlı Köyü'nün sulanması ve barajın üzerine inşa edildiği Kocalan Deresinin kış döneminde neden olduğu taşkınların kontrol altına alınması da diğer yapım amaçları arasındadır.



## 1.2 Yöntem

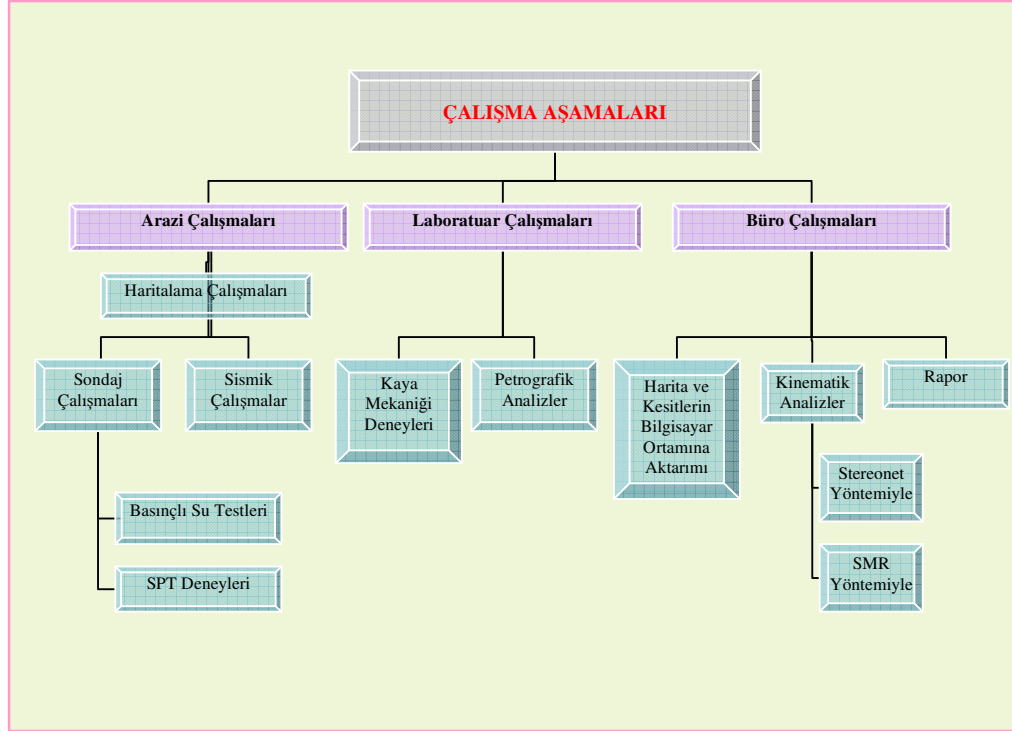
Marmaris Barajı mühendislik jeolojisi çalışmaları ana olarak üç aşamadan oluşur. Bunlar; arazi, laboratuvar ve büro aşamalarıdır.

Arazi çalışmaları sırasında öncelikle alanın 1/25000 ve 1/1000 ölçekli jeolojik haritaları çıkarılmıştır. Bu haritalar üzerinde belirlenen 22 lokasyonda karotlu zemin araştırma sondaj kuyuları açılmış, bir hat boyunca sismik refraksiyon ölçümü alınmıştır. Açılan kuyularda, kayaçlarda Basıncılı Su Testleri (BST) alüvyonda Standart Penetrasyon Testleri (SPT) yapılmıştır. Ayrıca baraj yerinde yer alan süreksizlikler ve şevler yerinde incelenip durumları ölçülmüş, şevlerin kinematik analizleri yapılmıştır.

Sondajlardan alınan karot örneklerinden kaya mekaniği deneyleri yaptırılmış ve ana kayaya ilişkin parametreler belirlenmiştir. Alınan dünit örnekleri üzerinde indeks deneyler yaptırılarak kayacın baraj gövde dolgusuna uygunluğu incelenmiştir. Ayrıca inceleme alanında farklı ayrışma durumu gösteren üç farklı mostradan alınan kaya örneklerinden ince kesitler hazırlanmış, petrografik analizleri yapılarak kayaçlar tanımlanmış ve ayrışma dereceleri belirlenmiştir.

Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları yanında Autocad yazılımı ile tüm harita ve kesitler bilgisayar ortamına aktarılmış çalışma konuları ile ilgili literatür taraması yapılmış ve mühendislik jeolojisi raporu düzenlenmiştir.

Çalışma aşamalarını gösteren diyagram Şekil 1.6' da sunulmuştur.



Şekil 1.6 Marmaris Barajı mühendislik jeolojisi çalışma aşamaları

## BÖLÜM İKİ JEOLOJİ

Marmaris Barajı'nın yapılması planlanan alanda Mesozoyik (Jura-Kretase) ve Senozoik (Tersiyer-Kuvaterner) zamanlarına ait jeolojik birimler yer almaktadır. Baraj yeri ve göl alanı içerisinde ana kaya Serpantinleşmiş Dünitlerdir. Bu birimler Marmaris Yöresinde karakteristik olarak görülen ve Marmaris Ofiyolitik Napı olarak bilinen ofiyolitik melanja aittir (Şenel ve Bilgin, 1997). Sert yapıda, genellikle yeşil, koyu yeşil sarımsı kahverengi renklerde, eklemliler olarak görülmektedir. Kalınlığı yörede 700 metreye kadar ulaşır.

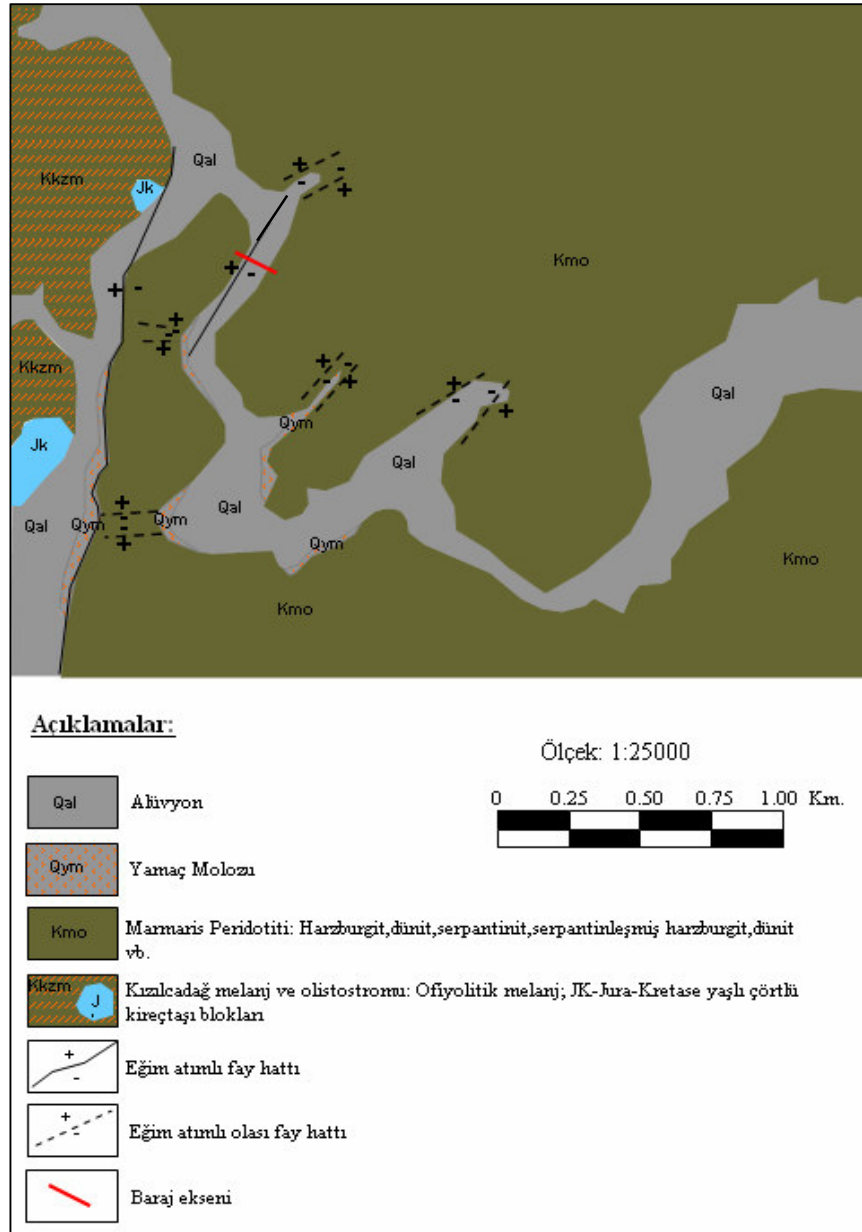
Baraj yerinde ve göl alanında görülen diğer birimler ise, kuvaterner yaşlı yamaç molozları ve alüvyonlardır. Yamaç molozları yamaç eteklerinde çok az bir bölgede görülmekte olup, köşeli serpantinize dünit bloklarından oluşmaktadır. Kalınlığı 0,5 ile 8 metre arasında değişmektedir. Alüvyonlar dere akış hattı boyunca uzanmaktadır. Serpantinit-serpantinize dünit çakıl ve bloklarından oluşmaktadır. Kalınlığı 20 metreye kadar ulaşmaktadır.

Üst Sistem	Sistem	Seri	Formasyon	Kalınlık	Simge	Litoloji	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER	HOLOSEN		0.30-0.5 m	Bt		Bitkisel Toprak
				3 – 20 m	Al		<b>Alüvyon:</b> İritiş , Kocataş,Silt, Kum Çakıl içeren
				0,5-8 m	Ym		<b>Yamaç Molozu:</b> Siltli kumlu iritiş-kocataş,Serpantinize Dünit parçalarından oluşmakta
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	MARMARİS OFİYOLİTİ	300 m	DM		<b>Demirli Melanj:</b> Karışık renkli (gri-yeşil-kırmızımsı kahverengi),sert,çok-orta derecede ayrılmış,zayıf-orta zayıf,çatlaklı
				700 m	PR-DN		<b>Peridotit – Serpantinize Dünit</b> Yeşil, sert,kırılğan,çatlaklı,orta dayanımlı,orta derecede ayrılmış,

Şekil 2.1 İnceleme Alanının Ölçeksiz Genel Jeolojik Dizilimi (Su-Yapı A.Ş.,1998)

## 2.1 Genel Jeoloji

Bölgede Likya naplarına ait Bodrum napı, Gülbahar napı ve Marmaris ofiyolit napı yer alır ve Eosen-Alt Miyosen yaşlı kaya birimleri, bölgenin paraallokton konumlu kayaçlarını oluşturur. Bunların en üzerinde Kuvaterner yaşlı alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve plaj çökelleri uyumsuzlukla gelmektedir.



Şekil 2.2 İnceleme Alanının Jeolojik Haritası (Şenel ve Bilgin, 1997)

### 2.1.1 Likya Napları

#### 2.1.1.1 Bodrum Napı

Bodrum napı genelde yapısal olarak Tavas napı üzerinde, Marmaris ofiyolit napı altında bulunur. Bodrum napı Menderes masifi güneyinde Ören, Çökek ve Bozburun birimleri olmak üzere az çok birbirine göre farklılık gösteren 3 yapısal birimden (tektonostratigrafi biriminden) oluşur. Çalışma alanında Bodrum napı ile Marmaris ofiyolit napı arasında Gülbahar napı yer alır. Bölgede, Bodrum napına ait Bozburun birimi ve Çökek birimi izlenir. Bozburun biriminin Orta-Üst Triyas yaşlı Bayırköy formasyonu, Üst Triyas-liyas yaşlı Güverdağı formasyonu ve Üst Senoniyen yaşlı Karanasıflar formasyonu, Çökek biriminin ise, Dogger (Toarsiyen)-Kretase yaşlı Göçgediği formasyonu ile Üst Senoniyen yaşlı Karaböğürtlen formasyonu yüzeyleyir (Şenel ve Bilgin, 1997).

*2.1.1.1.1 Göçgediği Formasyonu.* Kalsitürbidit, mikrit ve çörtlü mikritlerden oluşan birim birim ince-orta, yer yer kalın tabakalı, bej, krem açık gri, kirli sarı yeşilimsi gri renkli, yeryer kalsitürbidit ara seviyeli mikrit ve çörtlü mikritlerden oluşur. İnceleme alanında alt ilişkisi izlenemeyen formasyon, üstte Karaböğürtlen formasyonu tarafından olası uyumsuz olarak örtülür. Kalınlığı en fazla 350 metre olan birim az fosillidir ve yalnızca Kretase yaşlı kireçtaşları yüzeyleyir. Yamaç-havza ortamında çökelmiştir (Şenel ve Bilgin, 1997).

*2.1.1.1.2 Karaböğürtlen Formasyonu.* Yer yer bloklu fliş karakterinde olan birim çoğu Üst Senoniyen yaşlı yanal ve düşey yönlerde sık kaya türü değişimi gösteren flişlerle sonlanır. Değişik adlarla bilinen bu flişler, isim karışıklığına neden olmamak ve formasyon adlamasında birliktelik sağlamak amacıyla Karaböğürtlen formasyonu adı altında toplanmıştır. Karaböğürtlen formasyonu ince-orta-kalın tabakalı gri, yeşilimsi gri, siyah, koyu gri yersel pembe kırmızı, kirli sarı, yeşil renklerde kumtaşı, kilttaşı, siltaşı konglomera kumlu-killi kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı vb. kaya türlerinden oluşur. Yer yer değişik bloklar da içeren formasyonda seyrek de olsa bazik volkanit

düzeyler izlenir. Birim içindeki kil ve silttaşları yer yer yapraklanmış ve şeyi görünümünü almıştır (Şenel ve Bilgin, 1997).

*2.1.1.1.3 Bayırköy Formasyonu.* Dolomit, silttaşı ve kilttaşlarından oluşan formasyon ince-orta, yer yer kalın tabakalı, siyah, koyu gri renkli dolomit, dolomitik kireçtaşı, silttaşı, kilttaşı, kumlu-killi kireçtaşı ve rekristalize kireçtaşlarından oluşur. Bazı kireçtaşı düzeylerinde ince lamelli ve radyolarya izleri görülür. Birim üstte orta-kalın tabakalı dolomitlerle sonlanır. Alt ilişkisi tektonik olan formasyon, üstten Güverdağı ile geçişlidir (Şenel ve Bilgin, 1997).

*2.1.1.1.4 Güverdağı Formasyonu.* Yer yer megalodonlu ve algli kireçtaşlarından oluşan formasyon altta masif ve kalın tabakalanmalı, gri renkli dolomit ve dolomitik kireçtaşları kapsar. Bu karbonatlar üzerinde birimin egemen kaya türünü oluşturan orta-kalın tabakalı bazen masif gri, açık gri, krem, bej kirli beyaz renkli, yer yer bol megalodonlu ve algli kireçtaşları yer alır. Formasyonda yer yer lamelli gastropod gibi makro fosiller izlenir. Birimin orta kesiminde stromatolitli kireçtaşları yaygındır. Kireçtaşlarında gastropod, krinoid, lamelli gibi makro fosil yığışımı olup, seyrek de olsa kuruma çatlakları ve breşik düzeyler kapsar. Stromatolitli düzey üzerinde megalodon izleri küçük boyutlu olup üste doğru bu izler yok olarak yerini alg yığışımına bırakır. Yer yer oncoidli düzeyler de içeren Güverdağı formasyonunda ender olarak ince, yuvarlak kuvarsit-kuvars çakıllı kireçtaşı düzeyi izlenir. Birim üstte orta-ince ve bazen kalın tabakalı, bej, krem pembe, kırmızı renkli, yumrulu yapıda yer yer ammonitli kireçtaşları ile sonlanır (Şenel ve Bilgin, 1997).

*2.1.1.1.5 Karanastıflar Formasyonu.* Kireçtaşı ve çört elemanlı breşlerden oluşan birim, Fethiye kuzeyinde Şenel ve diğ. (1989) tarafından adlandırılmıştır. Formasyonun tabanında yer yer izlenen kırmızı renkli globotruncanalı mikritler, doğuda tanımlanan Camialanı formasyonunun eşleniğidir. Bu kırmızı renkli mikritler çalışma alanında ayırtlanamamıştır. Birim, orta-kalın, bazen ince tabakalı gri pembe, yeşil kızıl vb. renklerde kireçtaşı ve çört elemanı breşlerden oluşur. Bazın kırmızı, yeşil yeşilimsi gri renkli mikrit ve killi mikrit mercekleri kapsar. Breşler içinde yer yer bazik volkanitler yer alır (Şenel ve Bilgin, 1997).

### 2.1.1.2 *Gülbahar Napı*

Yapısal olarak Bodrum napı üzerinde, Marmaris ofiyolit napı altında bulunan Gülbahar napı birbirinden farklı özellikler gösteren Turunç birimi ve Ağla birimi olmak üzere iki yapısal birimden oluşur (Şenel ve Bilgin, 1997).

*2.1.1.2.1 Orluca Formasyonu.* Kumtaşı, kıltaşı kireçtaşı vb. kaya türlerinden oluşan formasyon, Fethiye kuzeyinde Şenel vd. (1989) tarafından adlandırılmıştır. Meşhur vd. (1989) birimi Bağlıca formasyonu olarak tanımlamıştır. Birim ince-orta-kalın tabakalı, haki, yeşilimsi gri, kahverengimsi gri kahve, sarımsı kahve, kirli sarı renkli kıltaşı, silttaşı, killi-kumlu kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşları kapsar. Birim içinde yer yer konglomera düzeyleri izlenebilir (Şenel ve Bilgin, 1997).

*2.1.1.2.2 Çövenliyayla Volkaniti .* Bazik volkanitlerden oluşan birim yeşil ve kırmızı renkli spilit, spilitleşmiş bazalt, yeşil renkli tüf ve tüfitlerden oluşan formasyon içinde yer yer radyolarit, çört ve kireçtaşı düzeyleri yer alır. Birim Orta Toroslar'daki Huğlu tüfitleri Monod (1977) ile benzer özelliktedir. Alt ilişkisi tektonik olan Çövenliyayla volkaniti, üstte Orhaniye formasyonu ile olası geçişlidir (Şenel ve Bilgin, 1997).

*2.1.1.2.3 Orhaniye Formasyonu.* Mikrit ve çörtlü mikritlerden oluşan formasyon ince-orta yersel kalın tabakalı, gri, bej, krem, yeşilimsi gri, kirli sarı, pembe, kırmızı renklere, yer yer kalsitürbidit ara düzeyli mikrit ve çörtlü mikritlerden oluşur. Orhaniye formasyonunun Üst Jura yaşlı kesiminde ince-orta tabakalı, kırmızı, kırmızı kahve, yersel gri, yeşil, mavi vb. renklere radyolarit, çört ve şeyller bulunur Kılavuz karakterinde olan bu seviye yanal yönde devamlılık gösterir (Şenel ve Bilgin, 1997).

### 2.1.1.3 Marmaris Ofiyolit Napı

Marmaris ofiyolit napı çalışma alanında Likya naplarının en üst yapısal birimi olup Kızılcadağ melanj ve olistostromu ile Marmaris peridotitini kapsar (Şenel ve Bilgin, 1997).

*2.1.1.3.1 Kızılcadağ Melanj ve Olistostromu.* Ofiyolitli melanj ve olistostromla temsil edilen birimin daha çok melanj kesimi yüzeyleyir. Birim daha önce Kertmeç melanjı ve Armutalan melanjı olarak tanımlanmıştır. Serpantinit bir hamur içine makaslanarak sokulmuş kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, dolomit radyolarit, çört, volkanit vb. kaya türleri kapsar (Şenel ve Bilgin, 1997).

*2.1.1.3.2 Marmaris Peridotiti.* Genelde yer yer harzburgitlerden oluşan birim bazı kesimlerde serpantinleşmiş harzburgit ve dunitler kapsar. Yer yer izlenen dunitler küçük kütleler halindedir. Marmaris peridotitinde yer yer diyabaz ve gabro kütleleri bulunur. Birim, yaklaşık 114 Milyon yıl (Apsiyen-Albiyen) oluşum yaşlıdır (Şenel ve Bilgin, 1997).

## 2.2 Yapısal Jeoloji

İnceleme alanında yer alan dunit birimleri genellikle eklemli ve faylıdır. Dunitlerde belirgin bir kıvrımlanma gözlenmemektedir.

### 2.2.1 Faylanma

İnceleme alanında aktivitesini kaybetmiş fay zonları mevcuttur(Ek 1). Fay zonları boyunca yer yer çökme ve ezilmelerin bulunduğu gözlenmiştir. Fayların tümü tansiyon etkisine bağlı olarak gelişen eğim atımlı normal faylardır. Faylar genellikle KD-GB ve KB-GD doğrultularında gözlenmektedir. Proje alanında baraj temelinin oturacağı alandan geçen ve yaklaşık 15 metre derinliğe kadar ezilme zonu şeklinde izlenen fay ( Şekil 2.3) büyük önem taşımakta olup, enjeksiyon aşamasında ve temel inşaatında bu ezilme zonu tamamen temizlenmiş ve konsolide edilmiştir.





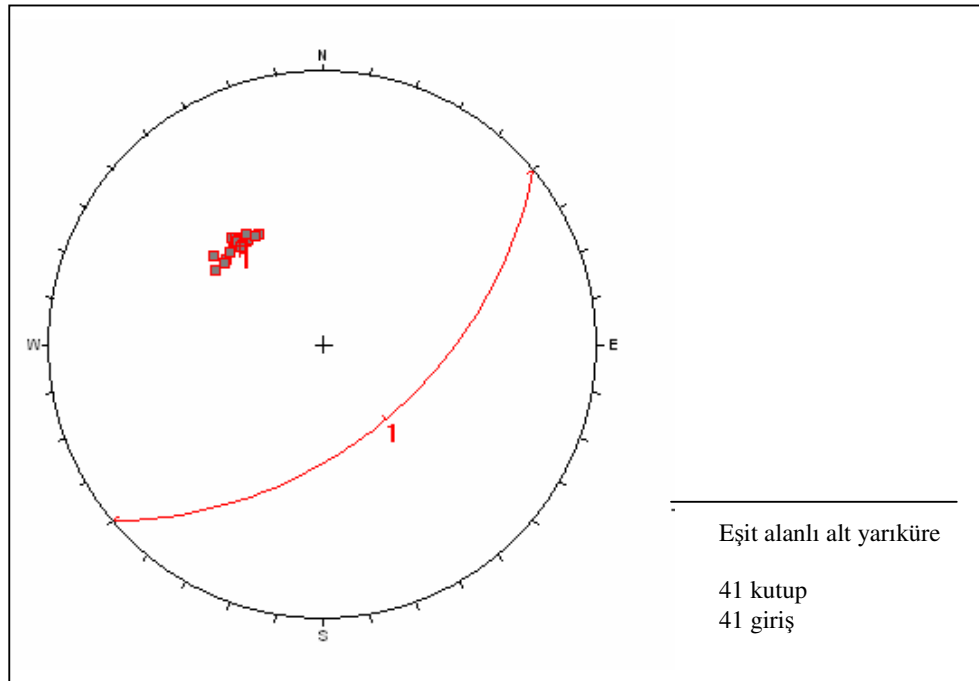
Şekil 2.3 Baraj gövdesinin oturacağı alanda görülen ezilme zonu

### 2.2.2. Eklemlenme

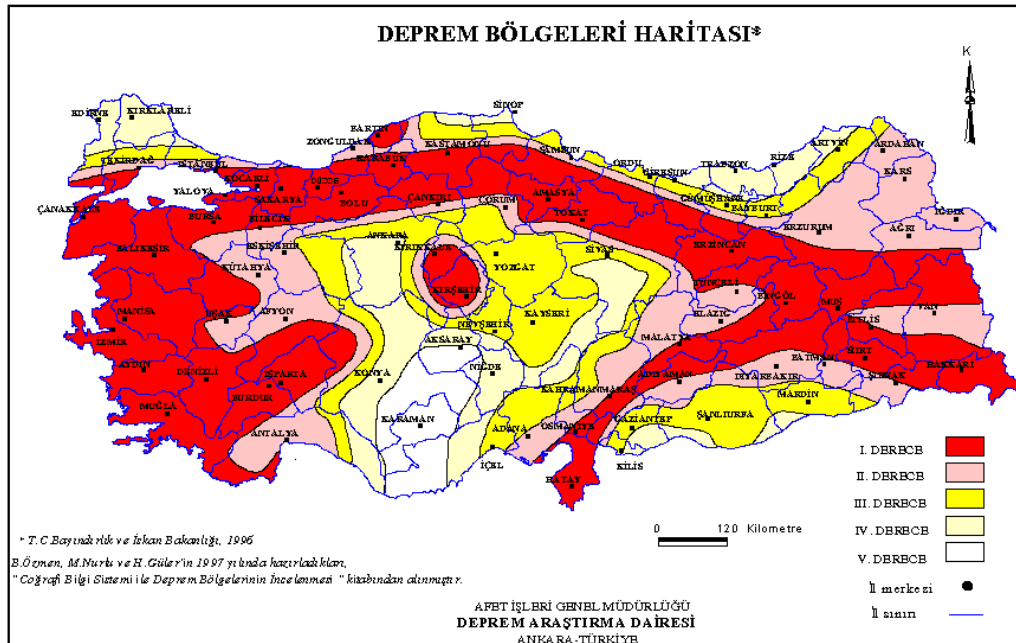
Serpantinit ve dünitlerde gelişigüzel biçimde oluşmuş eklemler gözlenmiştir. Kapalı çatlakların açıklığı 0,1 -0,5 cm arasında değişirken açık çatlaklarda çatlak genişliği 5 cm' ye kadar ulaşmaktadır. Çatlaklar genellikle dolgusuz olmakla beraber yer yer kil dolguları da gözlenmektedir. Hâkim süreksizliklerin eğim yönü ve açısı, 140/50 dolayındadır. Proje alanından alınan eklem doğrultu ve eğim değerleri esas alınarak "Dips" adlı bilgisayar yazılımıyla düzenlenen kutup diyagramı Şekil 2.4'te yer almaktadır.

### 2.2.3 Deprem Durumu

İnceleme alanı Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'nda (Şekil 2.5) 1. derece deprem bölgesi içerisinde kalmaktadır. 1957 yılında Fethiye-Burdur fay hattının harekete geçmesi sonucu meydana gelen deprem Marmaris ve çevresinde de etkili olmuş, can ve mal kaybına yol açmıştır.



Şekil 2.4 Marmaris Baraj yeri eklemlerine ait kutup diyagramı

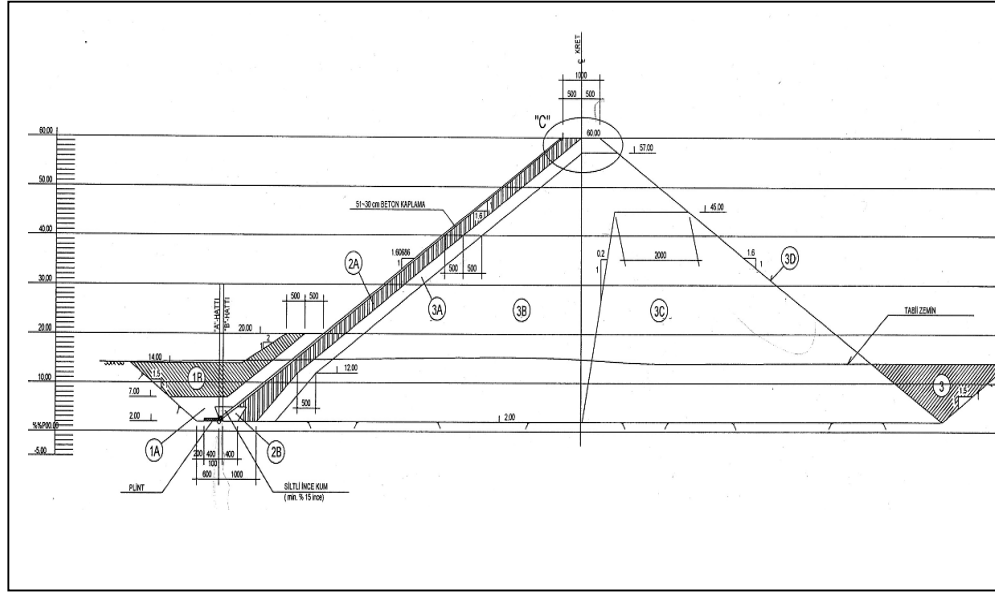


Şekil 2.5 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (Özmen, Nurlu, Güler, 1997)

## BÖLÜM ÜÇ

### MARMARİS BARAJININ ÖZELLİKLERİ

Marmaris Barajı ülkemizde yeni bir uygulama olan “ön yüzü beton kaplı zonlu kaya dolgu baraj” tipinde inşa edilmiştir. Baraj tipinin belirlenmesi beşinci bölümde detaylı olarak sunulmaktadır. Bu baraj tipinde geçirimsizliği sağlayan beton kaplama, zonlu kaya dolgusu üzerine yaslanmaktadır ( Şekil 3.1).

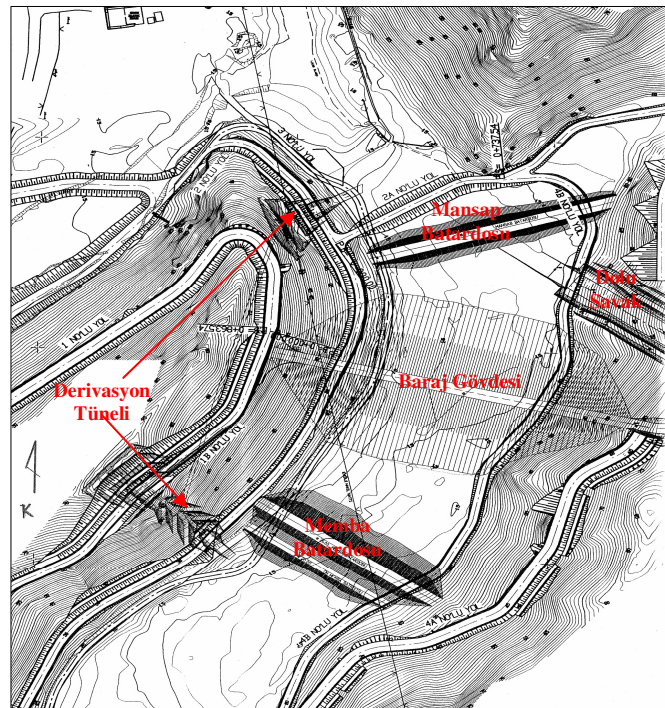


Şekil 3.1 Marmaris Barajı gövde en kesiti (Su-Yapı A.Ş., 1998)

Marmaris Barajı “ön yüzü beton kaplı kaya dolgu” tipinde bir baraj olup kaya dolgusunda Dunit kayacı kullanılmıştır. Marmaris Barajına ilişkin özellikler Su\_Yapı A.Ş. firması tarafından hazırlanmış olan “Marmaris Barajı Planlama Ara Raporu’ndan” alınmış olup aşağıda tablo halinde sunulmuştur (Tablo 3.1). Baraj ve ünitelerinin yerleşimi de Şekil 3.2 de yer almaktadır.

Tablo3.1 Marmaris Barajı'nın özellikleri (Su-Yapı A.Ş., 1998)

Tipi	Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu
Drenaj Alanı	62,83 Km <sup>2</sup>
Kret Kotu	60,00 M.
Kret Uzunluğu	303,00 M.
Kret Genişliği	10,00 M.
Talveg Kotu	14,00 M.
Temel Kotu	En Derin Kesimde -15,00 M.(Ortalama -2)
Talvegten Yükseklik	46,00 M.
Temelden Yükseklik	Ort. 62,00 M. (En Derin Kesimde 75 M)
Kaya Dolgu Hacmi	906.500 M <sup>3</sup> .
Beton Kaplama Hacmi	10.700 M <sup>3</sup> .
Gövde Şevleri (Memba-Mansap)	1/1,6
Barajın Normal Hacmi	29,47 Hm <sup>3</sup> .
Baraj Maksimum Su Kotu	57,08 M.
Maksimum Su Seviyesinde Göl Alanı	2,15 Km <sup>2</sup> .
Perde Enjeksiyon Derinliği	40,00 M.
Toplam Çekilen Su	25,95 Hm <sup>3</sup> /Yıl



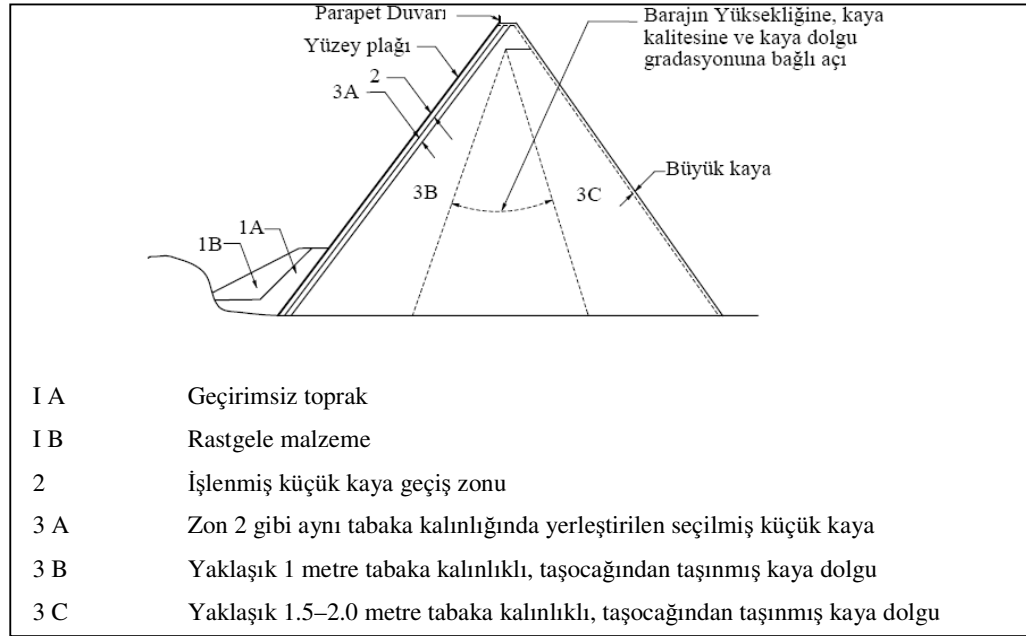
Şekil 3.2 Marmaris Barajı'nın bölümleri (Su-Yapı A.Ş., 1998)

## BÖLÜM DÖRT

### ÖN YÜZÜ BETON KAPLI BARAJLAR

#### 4.1 Ön Yüzü Beton Kaplı Barajlarda Kaya Dolgusunun Yapısı

Ön yüzü beton kaplı barajlarda kaya dolgusu belirli bir zonlanmaya sahiptir. Bu tür barajlarda kaya dolgusu genellikle 3 ana zondan oluşur (Şekil 4.1). Birinci zon geçirimsizlik zonu, ikinci zon filtre zonu ve üçüncü zon da kaya dolgu zonudur (Emiroğlu,1998). Bu zonlar tane boylarına ve geçirimsizlik özelliklerine göre alt zonlara ayrılır.



Şekil 4.1 Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj en kesiti ve zonları (Cooke,1991).

#### 4.2 Ön Yüzü Beton Kaplı Baraj Tipinin Avantajları

Emiroğlu, (1998), ön yüzü beton kaplı (ÖYBK) barajların avantajlarını şöyle sıralamaktadır:

- ÖYBK kaya dolgu baraj, maliyet ve iş programı açısından toprak çekirdekli kaya dolgu barajlar üzerinde avantajlara sahiptir. Hatta geçirimsizlik için toprak malzemesinin varlığına rağmen yine ÖYBK kaya dolgu barajlar daha ekonomik olabilmektedir.

- ÖYBK kaya dolgu barajlar, toprak çekirdekli kaya dolgu barajlara nispeten, yardımcı yapılardaki maliyet korumaları açısından daha küçük temel genişliğine sahiptir.
- Nehirlerdeki çalışmalar ve risk olayları, çoğu yerde ÖYBK kaya dolgu barajlarda toprak çekirdekli barajlara göre daha az olmaktadır.
- ÖYBK kaya dolgu barajlardaki sızma olayı, toprak çekirdekli barajlardaki sızmalara göre önemli farklılıklara sahiptir. Çünkü toprak çekirdek erozyonu ve baraj güvenliği için bir problem söz konusu değildir.
- Sıkıştırılmış ÖYBK kaya dolgu baraj için kret oturması, daha eski bir yöntem olan yığılmış (sıkıştırılmamış) kayalı olarak yapılan barajlara nispeten daha azdır. 100 m yüksekliğindeki sıkıştırılmış modern bir ÖYBK kaya dolgu baraj için umulan 5 yıllık kret oturması hemen hemen 10–15 cm olmakta ve 10 yılda 15–25 cm olmaktadır. Bu açıdan avantajlıdır.
- ÖYBK kaya dolgu barajlar gelecekteki çok yüksek barajlar için uygun bir tiptir. 300 m yüksekliğinde bir ÖYBK kaya dolgu barajın, mevcut barajlar üzerindeki ölçümlere ve deneyimlere dayanarak inşa edilebileceği ve yeterli düzeyde performans gösterebileceği günümüz tekniğine göre mümkündür. Yüksek barajların seçimi için uygundur.
- ÖYBK kaya dolgu barajlar üzerine dolu savak inşa etmek uygundur.
- ÖYBK kaya dolgu barajların depreme karşı dayanıklı olması kendi bünyesinden dolayıdır. Çok güçlü sismik olan bölgelerde ve sismik olmayan bölgelerde aynı tasarım ilkeleri kullanılmaktadır.
- Mamba topuğu (plinth) ve onun enjeksiyonu barajın dışındadır, iş programını kolaylaştırıcı yöndedir. Aşırı enjeksiyon gerektiren yerler için avantajlıdır.
- Barajın kısa taban genişliği, yardımcı yapıların ekonomik olarak yapılmalarını sağlamaktadır.
- Son zamanlarda, yüzey plağının kalınlığının daha ince yapılması eğilimleri haklı olarak gelişmektedir. Bu maliyeti azaltacaktır.
- Eğer vadi şekli kemer baraj için uygun ise, fakat temel ya da yamaçta süreksizlikler varsa ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.
- Eğer vadi yamaçlarında yerel değişimler varsa ve bunlar gerilme yığılmalarına neden olarsa beton barajlara tercih edilebilirler.

- Bölgede uygun nitelik ve nicelikte kaya malzeme bol olarak varsa kil malzeme kısıtlı ise veya kil malzeme temininde çevrecilerin etkisi varsa ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

#### 4.3 Dünyada ve Ülkemizde Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajlar

Ön yüzü beton kaplı barajlara dünya üzerinde örnekleri mevcuttur. Özellikle son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir baraj tipi halini almıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Dünya üzerindeki bazı ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlar ve yükseklikleri (Emiroğlu, 1998)

Barajın Adı	İnşaa Edildiği Yer	Baraj Yüksekliği ( m )
Shibuya	Çin	233
Bakun	Malezya	205
Karahjukar	İzlanda	196
Aguamilpa	Meksika	187
Miel I	Kolombiya	185
Tianshengqiao	Çin	180
Foz do Areia	Brezilya	160
Cirata	Batı Java	140
Alto Anchicaya	Kolombiya	140
Khao Laem	Tayland	130
Machadinho	Brezilya	127
Lower Pieman	Avustralya	122
Cethana	Avustralya	110
Murchison	Avustralya	94
Cogoti	Şili	85
Mackintosh	Avustralya	75
Bastyan	Avustralya	75
Fades	Fransa	68
Serpentine	Avustralya	39

Son yıllarda ülkemizde de bu tip baraj yapımı gittikçe artmıştır. Örnek olarak: Kürtün Barajı, 110 m (talveg'ten) yüksekliğinde, gövde dolgu hacmi  $3.8 \times 10^6$  m<sup>3</sup> Atasu Barajı, 116 m (talveg'ten) yüksekliğinde, gövde dolgu hacmi  $3.8 \times 10^6$  m<sup>3</sup> Torul Barajı, 137 m (talveg'ten) yüksekliğinde, gövde dolgu hacmi  $4.6 \times 10^6$  m<sup>3</sup> Dim Barajı, 124 m (talveg'ten) yüksekliğinde, gövde dolgu hacmi  $4.95 \times 10^6$  m<sup>3</sup> sayılabilir (Emiroğlu, 1998).

## BÖLÜM BEŞ

### MARMARİS BARAJI'NIN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Marmaris Barajı mühendislik jeolojisi bakımından incelenirken öncelikle baraj yerinin ve tipinin belirlenmesi konularının üzerinde durulmuştur. Yer ve tip belirlendikten sonra baraj yeri ve derivasyon tüneli ayrı ayrı ele alınmış ve çalışmaları ayrı aşamalarda yürütülmüştür. Aynı zamanda gölalanı içerisinde baraj inşaatında ya da projenin (Marmaris Çevre Koruma ve Altyapı Yapım Projesi) diğer alanlarında kullanılabilir doğal yapı malzemelerinin varlığı da araştırılmıştır.

#### 5.1 Baraj Yerinin ve Tipinin Belirlenmesi

D.S.İ. XXI. Bölge Müdürlüğü tarafından önceki dönemlerde yapılan “İstikşaf ve Master Planı” çalışmaları sırasında Marmaris Barajı için öngörülen yer şimdiki yerin yaklaşık 250 metre kadar mansabında yer almaktaydı. Ancak bölgede yapılan topografik incelemelerde vadinin daha dar olduğu bir yer olan şimdiki yer daha uygun bulunmuş ve barajın bu yere yapılması kararına varılmıştır. Baraj gövdesinin oturacağı alanın sol yamacına derivasyon tüneli, sağ yamacına da dolu savak yapılması planlanmıştır.

Baraj ve ünitelerinin yerleri tespit edildikten sonra baraj tipinin belirlenmesi hususu üzerinde durulmuştur. Baraj tipini belirlemek için öncelikle vadi şekli faktörü “K” hesaplanmıştır.

$$\text{Hesaplama} \quad K = \frac{b + H(\text{tg}U_1 + \text{Tg}U_2)}{H} \quad (\text{Bureau of Reclamation, 1960})$$

bağıntısı kullanılmıştır. Bu bağıntıda:

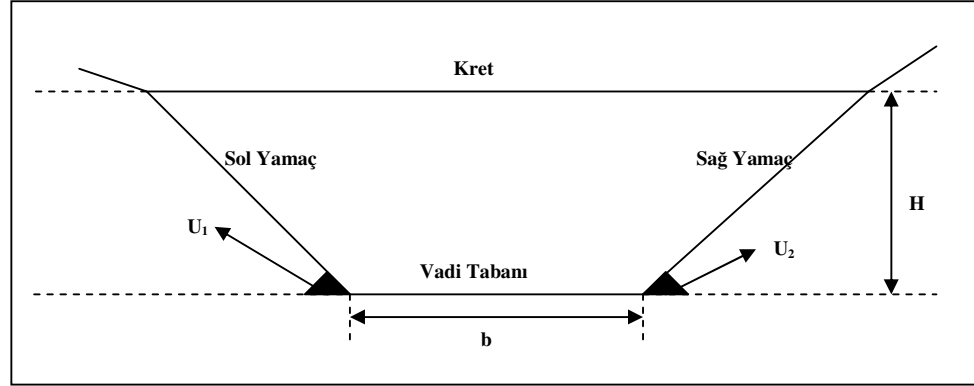
H : Barajın maksimum yüksekliği (m)

b : Tabanda vadi genişliği (m)

U<sub>1</sub> : (mansaba bakarak) sol yamacın düşeyle yaptığı açı (derece)



$U_2$  : (mansaba bakarak) sağ yamaçın düşeyle yaptığı açı (derece) , değerlerini temsil eder( Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Vadi şekli faktörü parametreleri

Marmaris Baraj yerinde yapılan ölçüm ve incelemelerde yukarıdaki parametreler belirlenmiştir. Buna göre:

$$H= 40 \text{ m}$$

$$b=145,5 \text{ m}$$

$$U_1= 58^\circ \quad \text{tg}U_1=1,60$$

$$U_2= 58^\circ \quad \text{tg}U_2=1,60 \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

$$K = \frac{b + H(\text{tg}U_1 + \text{Tg}U_2)}{H} \quad \text{Bağıntısına göre değerler yerine konursa vadi şekli}$$

faktörü

$$K = \frac{145,5 + 40(1,60 + 1,60)}{40} = 6,83 \text{ Olarak hesaplanır.}$$

Amerika'da K değerinin 5'ten, İtalya da 7'den büyük olduğu durumlarda beton baraj tipi tercih edilmez. Fransa'da ise sınır K değeri 11'dir (Erguvanlı,1994).

Eğer K, 4,5 ile 5 arasında ise karşılaştırma yapmak, diğer faktörleri de göz önünde tutmak ve öyle karar vermek gerekir (Erguvanlı,1994). Marmaris barajında hesaplanan değer beton kemer baraj yapımına uygun bulunmamıştır.

Baraj tipinin belirlenmesinin ardından dolgu tipi üzerinde durulmuş ve alternatifler gözden geçirilmiştir. Öncelikle kaya dolgu maddesi olarak kireçtaşı düşünülmüş ancak yakın çevrede yeterli miktarda kaya sağlayabilecek bir ocak bulunmaması nedeniyle bu alternatif göz ardı edilmiştir. Bunun üzerine baraj havzasında yaygın olarak yer alan dünit-serpantinize dünit kayaları ele alınmış, gerekli kaya mekaniği testleri yapıldıktan sonra bu kayaların kaya dolgusunda kullanılabilir malzeme kriterlerine uygunluğu anlaşılmıştır. Rezerv olarak da gereken miktarın yaklaşık 10 katı havzada mevcut olduğundan kaya dolgu malzemesi olarak dünit- serpantinize dünit kayasının kullanımına karar verilmiştir. Dünit-serpantinize dünit kayaları üzerinde yapılan deneylere ilişkin sonuçlar Bölüm 5.3.1’de sunulmaktadır.

Sonraki aşamada geçirimsiz zonun nasıl ve hangi malzemedan oluşturulacağı araştırılmıştır. Baraj havzası içerisinde yer alan kil zonları incelenmiş, killerin jeoteknik açıdan geçirimsiz çekirdek yapımına uygun olduğu ancak havzada yeteri kadar rezerv bulunmadığı anlaşılmıştır. Bunun üzerine geçirimsizliği kil çekirdek yerine, kaya dolgunun memba yüzeyine inşa edilecek beton kaplamanın sağlaması ön görülmüştür.

Sonuç olarak Marmaris Barajı’nın tipi “ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj” olarak belirlenmiştir.

## 5.2 Arazi Çalışmaları

### 5.2.1 Sondaj Çalışmaları

İnceleme alanında baraj tesislerinin oturacağı alanlarda sondaj noktaları ve derinlikleri tespit edilmiş ve sondaj işlemleri yapılmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Sondaj çalışmalarından bir görünüm (sağ sahil)

Baraj gövdesi ve batardoların oturacağı alana 14, derivasyon tüneli boyunca 3, dolu savak üzerinde 3, gölalanı içerisinde de 2 adet olmak üzere toplam 22 adet temel araştırma sondaj kuyusu açılmıştır.

Baraj gövdesi ve batardoların geleceği kısımlara açılan sondajlara SK, tünel boyunca açılan kuyulara TSK, dolu savak üzerinde açılan kuyulara DSK, göl alanı içerisinde açılan kuyulara da GSK isimleri verilmiştir.

Açılan tüm kuyuların numaraları, kotları, koordinatları, derinlikleri, yerleri ve kuyu boyunca yer altı su derinlikleri Tablo 5.1 de sunulmuştur.

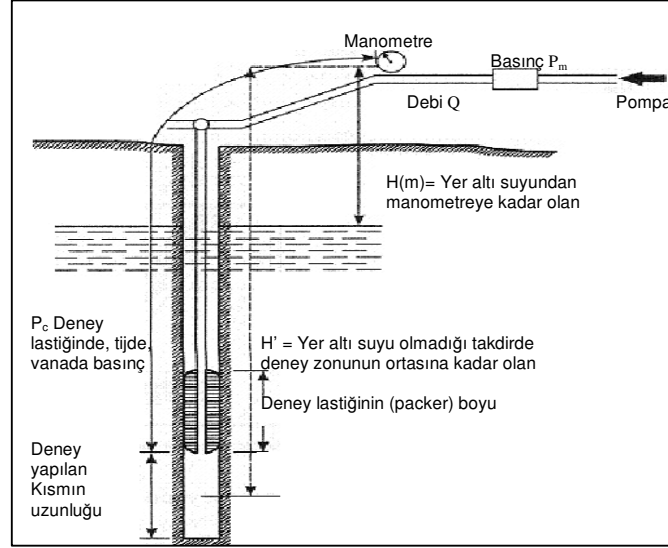
Tablo 5.1 İnceleme alanında açılan temel sondajlarına ait bilgiler

SONDAJ NO	KOT (m)	DERİNLİK (m)	KOORDİNATLAR		Y.A.S.S. (m)	YERİ
			N,S (y)	E,W (x)		
SK-1	46,36	60,00	614807,00	4091795,00	31,50	Baraj Ekseni Sol Sahil
SK-2	22,83	40,00	614819,00	4091715,40	8,50	Sol Sahil Memba
SK-3	15,75	50,00	614895,00	4091685,99	1,90	Talveg-Memba
SK-3A	15,20	17,00	614893,13	4091678,08	1,70	Talveg-Memba
SK-4	24,25	40,00	614959,50	4091677,00	11,00	Sağ Sahil-Memba
SK-5	45,25	40,00	615010,25	4091700,00	26,00	Sağ Sahil-Memba
SK-6	14,36	60,00	614905,09	4091779,62	0,30	Baraj Ekseni
SK-6A	14,02	17,00	614953,47	4091759,85	0,40	Baraj Ekseni
SK-7	16,20	30,00	615010,25	4091795,00	6,00	Sağ Sahil-Mansap
SK-8	19,98	30,00	614867,00	4091813,00	4,20	Sol Sahil-Mansap
SK-9	14,10	20,00	614954,00	4091914,00	0,50	Mansap Batardo Ekseni
SK-10	17,70	15,00	614892,00	4091578,00	3,60	Memba Batardo Ekseni
SK-11	16,00	33,00	614843,50	4091609,00	0,70	Memba Batardo Ekseni
SK-12	18,00	15,00	614789,00	4091647,00	6,50	Memba Batardo Ekseni
<b>DERİVASYON TÜNELİ</b>						
TSK-1	18,91	24,50	614751,00	4091616,00	4,30	Sol Sahil Giriş Ağzı
TSK-2	65,03	65,00	614746,00	4091725,00	51,00	Sol Sahil
TSK-3	25,30	30,00	614836,00	4091891,00	21,30	Sol Sahil Çıkış Ağzı
<b>DOLU SAVAK</b>						
DSK-1	73,62	35,00	615137,00	4091779,00	-	Dolu Savak Bölgesi
DSK-2	70,74	35,00	615074,00	4091726,00	-	Dolu Savak Bölgesi
DSK-3	20,50	15,00	615021,00	4091865,00	9,00	Dolu Savak Bölgesi
<b>GÖL ALANI</b>						
GSK-1	54,38	40,00	614410,00	4091084,00	-	Sol Sahil
GSK-2	51,09	30,00	614554,86	4091427,90	-	Sol Sahil

Baraj yerinde bulunan alüvyon birimleri içerisinde sondaj çalışmaları sırasında her 1,5 metre derinlikte Standart Penetrasyon Testleri yapılmış, SPT takımının zemine giriş değerleri kaydedilmiş ve zeminden örselenmiş örnekler alınmıştır.

Baraj yerinde zeminin geçirimsizliğini ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla, inşa edilecek baraj dolgusunun oturacağı alana 8 adet temel sondajı açılmıştır (Tablo 5.1). Açılan sondaj kuyularında, ana kaya olan serpantinize peridotid-dünit birimleri içerisinde 2 metrelik kademeler halinde Lugeon Testi yapılmış ve kaya birimlerinin geçirimsizlik değerleri Lugeon (L) cinsinden hesaplanmıştır.

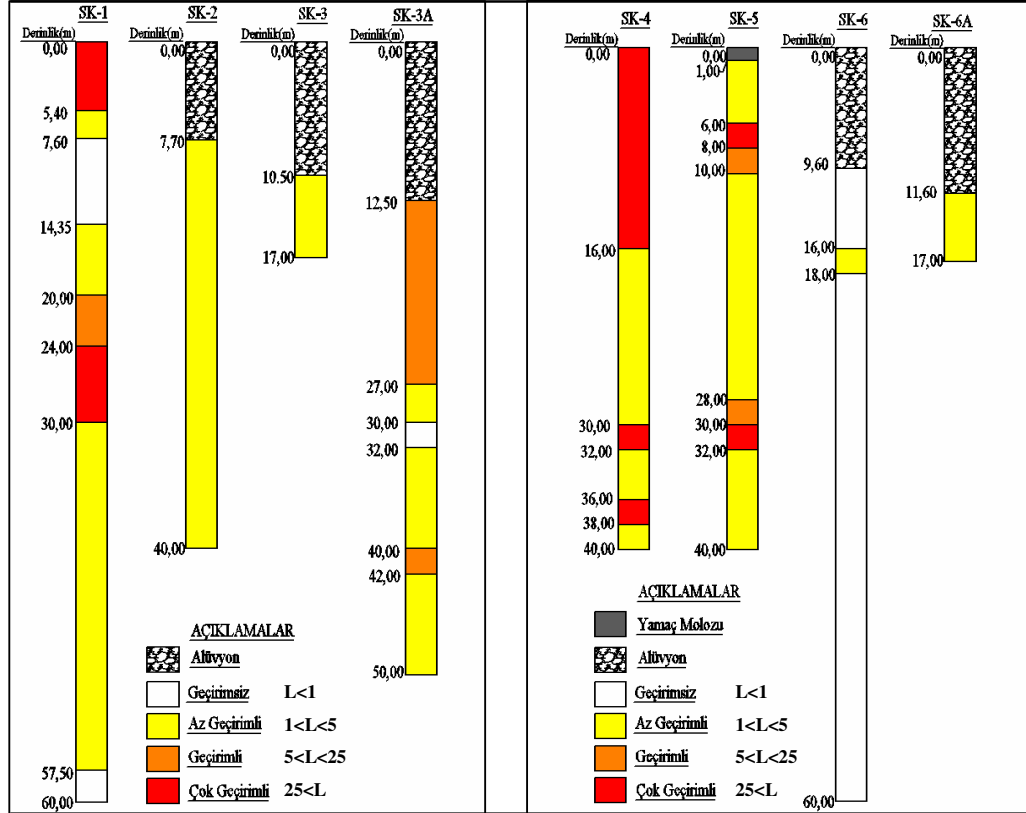
Bilindiği gibi Lugeon, 10 atmosfer basınç altında, 1 dakikada, 1 metre uzunluğundaki deney zonunda litre olarak basılan su miktarıdır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Lugeon deneyinin yapılışı Şekercioğlu (2007)

İnceleme alanında baraj gövdesinin oturacağı yerde açılan 8 adet sondajda yapılan basınçlı su testleri sonucunda elde edilen geçirimsizlik verileri Şekil 5.4'te sunulmaktadır. Ayrıca baraj temelinde yapılan enjeksiyon profili Ek.6'da yer almaktadır.

Bu veriler ışığında, baraj yerinde, sadece yüzeye yakın bazı kesimler ve daha derinlerde yer alan bazı ezilme ve kırılma zonları dışında temel kayası genelde az geçirimli-geçirimsiz bir hidrojeolojik yapıya sahiptir. Geçirimli ya da çok geçirimli zonlar baraj inşaatı sırasında yapılan perde ve kapak enjeksiyonları ile geçirimsiz hale getirilmiştir.

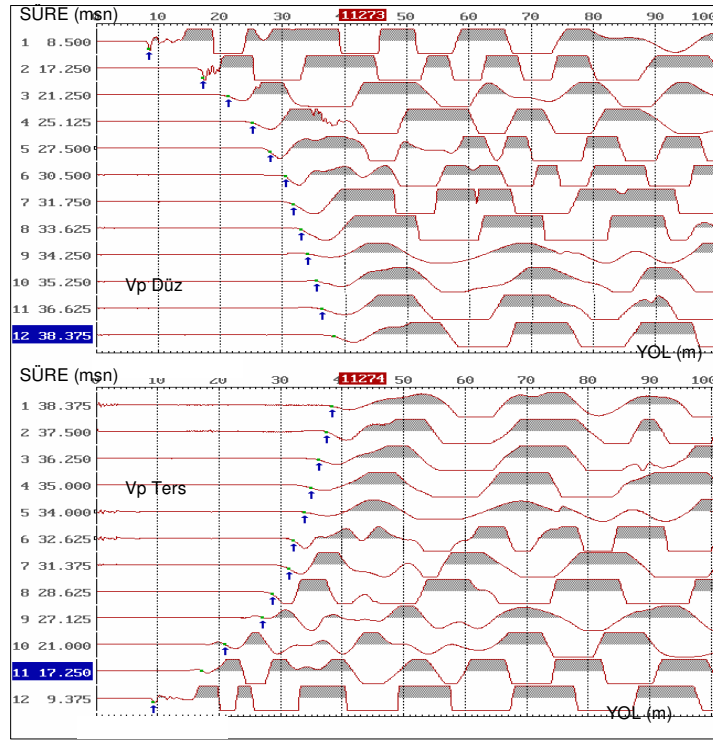


Şekil 5.4 SK-1, SK-2, SK-3, SK-3A, SK-4, SK-5, SK-6 ve SK-6A kuyularında elde edilen geçirimsizlik verileri

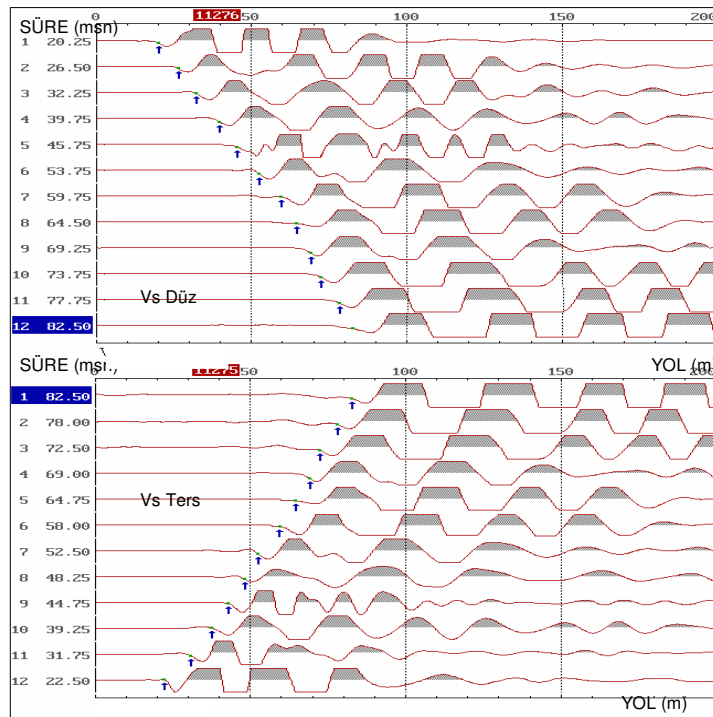
### 5.2.2 Sismik Refraksiyon Ölçümü

Baraj inşaatının tamamlanmasından sonra, bu tez çalışması için ek veri elde etmek amacıyla mansap batardosu üzerinde bir adet sismik refraksiyon (kırılma) ölçümü yapılmış ve birimlerin jeofizik özellikleri, jeolojik istif gibi özellikler belirlenmiştir.

Sismik çalışmada P ve S dalgalarını oluşturma sırasında impulsif enerji kaynaklarından balyoz kullanılmış ve elde edilen P ve S dalgaları zamana bağlı, yol fonksiyonu olarak çizilmiş ve kırılma değerleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler SIP yazılımına yüklenerek ilk kırılmalar belirlenip (Şekil 5.5, 5.6) uzaklık-zaman grafiğinde işaretlenmiştir (Şekil 5.7). Bu grafiklerden En Küçük Kareler Yöntemi ile doğrunun eğiminden P ve S hızları ile hızların değiştiği derinlikler belirlenmiştir.

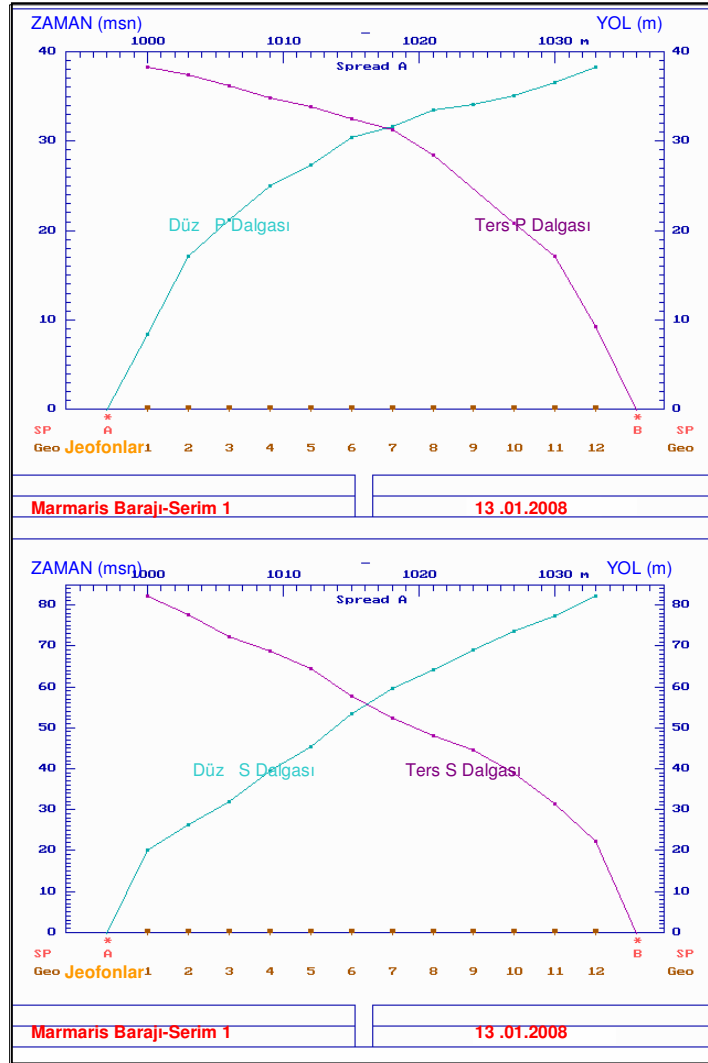


Şekil 5.5 Sismik refraksiyon ölçümü P dalgası yol-zaman grafiği



Şekil 5.6 Sismik refraksiyon ölçümü S dalgası yol-zaman grafiği

İnceleme alanında zeminin dinamik, litolojik yapısını aydınlatmak amacıyla yapılan Sismik Kırılma (Refraction) çalışmalarında Geometrics - SmartSeis marka, 12 kanallı sismik cihaz kullanılmıştır. Alınan ölçülerde sinyali izleme, gürültüyü ayırmlayan analog ve sayısal filtreleme işlemi otomatik olarak yapıldığından en az güç harcayarak yüksek sinyal/gürültü oranı elde edilmektedir. Sistem bilgisayar aracılığı ile örnekleme aralığını seçebilen, bir triggerli balyoz, 12 adet yatay jeofon 12 adet düşey jeofon ve özel bağlantı ünitelerinden oluşmaktadır.



Şekil 5.7 Sismik refraksiyon ölçümü P ve S dalgaları yol-zaman grafiği



### 5.2.2.1 Sismik Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Mansap batardosu üzerinden alınan sismik refraksiyon ölçümünde dalga yayılma hızlarına bağlı olarak üç farklı birim ayırt edilmiştir. Sismik hızlar 0,00–2,00 metreler arasında 141 m/s, 2,00–8,00 metreler arasında 492 m/s ve 8,00 metreden itibaren 664 m/s olarak kaydedilmiştir ( sıfır olarak kabul edilen seviye ölçümün yapıldığı seviye olup kotu +9 dur). Burada üstteki 2 metrelik kısım yapay dolgu, 2-8 metreler arasında kalan birim alüvyon ve 8 metreden itibaren yer alan yüksek hızlı birim de ana kaya olarak değerlendirilmiştir.

### 5.3 Laboratuvar Çalışmaları

Baraj alanında açılan sondajlardan alınan örnekler Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği-İnşaat Mühendisliği laboratuvarlarında, D.S.İ. Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Kalite Kontrol Dairesi laboratuvarlarında ve Marmaris Barajı Projesi müteahhidi Vinsan A.Ş. laboratuvarlarında gerekli zemin ve kaya deneylerine tabi tutulmuştur. Bu deneyler sonucunda kayacın mekanik özellikleri belirlenmiş ve dünit kayasının baraj gövde dolgusunda kullanılabilme özelliği incelenmiştir.

Arazi üzerinden değişik ayrışma değerlerine sahip 3 adet kaya örneği de Ankara’da bulunan Vommak Firmasına gönderilerek ince kesitleri yaptırılmış, ince kesitlerden petrografik analizler yapılmıştır.

#### 5.3.1 Kaya Mekaniği Deneyleri

Sondajlardan elde edilen karot örnekleriyle göl alanında bulunan ve ana kayayı temsil eden kaya blok örnekleri alınarak DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı Kaya Mekaniği Laboratuvarına, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarına gönderilmiş, bir dizi deneye tabi tutulmuş, bu sayede birimin fiziksel ve mekanik özellikleri ortaya çıkartılmıştır. Buradan hareketle birimin baraj gövdesi

için gerekli kaya malzeme ocağı olarak kullanılabilme durumu da ortaya konulmaya çalışılmıştır .

Örnekler üzerinde TS699/1987 standartlarında tek eksenli basınç direnci (kuru ve doymuş hallerde ayrı ayrı ), elastisite modülü, özgül ağırlık, birim kütle, su emme yüzdesi, görünür porozite yüzdesi, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> don kaybı yüzdesi, Los Angeles aşınma kaybı yüzdesi (100 ve 500 devirde ayrı ayrı), don sonu basınç dayanımı ve dayanım azalma yüzdesi deneyleri yaptırılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları aşağıda tablolar halinde verilmektedir (Tablo 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8).

Tablo 5.2 Birim hacim ağırlık- yoğunluk deney sonuçları

Örnek No	Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	Doğal Ağırlık G <sub>d</sub> (gr)	Birim Hacim Ağırlık ( Havada Kuru) (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuru Ağırlık G <sub>k</sub> (gr)	Birim Hacim Ağırlık ( Kuru) (gr/cm <sup>3</sup> )	Özgül Ağ. (gr/cm <sup>3</sup> )
1	61	29,0	222,4	2,63	221,3	2,61	2,63
2	61	35,0	272,2	2,66	270,6	2,65	2,66
3	61	34,0	264,0	2,66	262,9	2,65	2,66
4	61	30,5	232,4	2,61	230,9	2,60	2,63
5	61	28,5	221,8	2,66	220,8	2,65	2,66
<b>ORTALAMA</b>				<b>2,64</b>		<b>2,63</b>	<b>2,65</b>

Tablo5.3 Atmosfer basıncında su emme deney sonuçları

Örnek No	Örneğin Kuru Ağırlığı (gr)	Örneğin Su Emdirilmiş Ağırlığı (gr)	Su Emme Yeteneği (%)
1	221,3	222,2	0,41
2	270,6	272,0	0,52
3	262,9	263,9	0,38
4	230,9	232,2	0,56
5	220,8	221,7	0,41
<b>ORTALAMA</b>			<b>0,46</b>

Tablo 5.4 Suda dağılım deney sonucu

Örnek No	Tambur No	Tambur (gr)	Doğal Örnek (gr)	Kuru Örnek (gr)	Tambur+ Örnek (Kuru) (gr)	1. Çevrim (gr)	2. Çevrim (gr)	(%) İ <sub>ç-1</sub>	(%) İ <sub>ç-2</sub>
1	2	1629,6	527,1	523,9	2153,3	2151,7	2150,7	99,69	99,50

Tablo5.5 Basınç dayanımı deney sonuçları

Örnek No	Çap D (mm)	Boy L (mm)	Basınç Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )	Basınç Dayanımı (MPa)
1	61	115	682,9	68,29
2	61	112	684,5	68,45
3	61	112	595,8	59,58
4	61	108	752,9	75,29
5	61	112	695,5	69,55
ORTALAMA			<b>682,3</b>	<b>68,23</b>
STANDART SAPMA			<b>± 56,2</b>	<b>± 5,6</b>

Tablo 5.6 Don sonrası basınç dayanımı deney sonuçları

Örnek No	Çap D (mm)	Boy L (mm)	Basınç Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )	Basınç Dayanımı (MPa)
1	61	117	616,5	61,65
2	61	118	558,2	55,82
3	61	116	610,5	61,05
4	61	115	620,8	62,08
5	61	113	597,3	59,73
ORTALAMA			<b>600,7</b>	<b>60,07</b>
STANDART SAPMA			<b>± 25,3</b>	<b>± 2,5</b>
DON SONRASI BASINÇ DAYANIM DÜŞÜŞÜ			<b>% 12</b>	

Tablo 5.7 Tekno-mekanik özellikler

	Değer	Birim
Birim Hacim Kütle (Havada Kuru)	2,64	-
Birim Hacim Kütle	2,63	-
Özgül Ağırlık	2,65	-
Atmosfer Basıncında Ağırlıkça Su Emme	0,46	%
Porozite	0,75	%
Doluluk Oranı	99,25	%
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	682,3	Kg/cm <sup>2</sup>
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	68,2	MPa
Don Sonrası Basınç Dayanımı	600,7	Kg/cm <sup>2</sup>
Don Sonrası Basınç Dayanımı	60,1	MPa
Don Sonrası Basınç Dayanımı Değişimi	12	%
Suda Dağılım (%) İ <sub>ç-1</sub>	99,69	%
Suda Dağılım (%) İ <sub>ç-2</sub>	99,50	%

Tablo 5.8 Los Angeles aşınma kaybı ve Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile don kaybı deney sonuçları

Örnek No	Özgül Kütle (gr/cm <sup>3</sup> )	Birim Kütle (gr/cm <sup>3</sup> )	Kütlece Su Emme %	Görünen Porozite %	Los Angeles Aşınma Kaybı		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> İle Don Kaybı %
					100 Devir	500 Devir	
T1A	2,97	2,77	1,7	4,7	6,9	27,1	0,9
T1B	2,99	2,42	6,5	15,7	11,4	39,5	
T2A	2,96	2,65	3,0	8,0	7,4	27,1	

### 5.3.1.1 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Açılan kuyulardan ve arazi üzerinden alınan örneklere ilişkin deney sonuçları Bölüm 5.3.1’de sunulmuştur. Sonuçlar, Şekercioğlu (2007) ye göre kaya dolgu malzemesinin taşınması gereken özelliklerle karşılaştırılmıştır. Buna göre:

- İncelenen kaya malzemesi serpantinleşmiş dünitir
- Özgül ağırlık değerinin 2,60 ten büyük olması istenirken laboratuarda ortalama değer 2,65 olarak belirlenmiştir (Tablo 5.2).
- Kütlece su emme yüzdesinin maksimum %1.80 olması istenirken laboratuarda ortalama değer %0,46 olarak belirlenmiştir(Tablo 5.3).
- Tek eksenli basınç direnci değerinin en az 500 kg/cm<sup>2</sup> olması istenirken laboratuarda ortalama değer 682,20 kg/cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır(Tablo 5.5).
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> don kaybı değerinin en fazla %18 olması istenirken laboratuarda bulunan değer %0.90 mertebesinde kalmıştır(Tablo 5.8).
- Los Angeles aşınma kaybının 100 devirde en fazla %10 olması istenirken laboratuarda bulunan ortalama değer 8.57; 500 devirde en fazla %40 olması istenirken laboratuarda bulunan ortalama değer 31.23’tür(Tablo 5.8).
- Don sonu basınç dayanımı azalmasını en fazla %10 olması istenirken laboratuarda bulunan ortalama değer %12.00 olarak belirlenmiştir(Tablo 5.6).
- Suyu dayanıklılık indisi Ip %99.60 çıkmıştır. Bu değer Franklin ve Chandra, (1972)’nin yapmış olduğu sınıflamada, suya aşırı yüksek dayanımlı kaya sınıfında çıkmaktadır(Tablo 5.4).

Bu sonuçlardan hareket edilirse, kaya ocağından yer alan kayaların özgül ağırlık, su emme, tek eksenli basınç dayanımı, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> don kaybı, Los Angeles aşınma kaybı

(100 ve 500 devir için), suya dayanıklılık indisi gibi parametreler bakımından kabul edilebilir değerler arasında kaldığı (Şekercioğlu, 2007), sadece don sonu basınç azalımı oranı bakımından limitin çok az üzerinde olduğu görülmektedir. Bu bakımdan söz konusu kayaç jeo-mekanik bakımdan kaya dolgusu olarak kullanılabilir niteliktedir.

### **5.3.2 Petrografik Analizler**

İnceleme alanında değişik ayrışma değerlerine sahip üç farklı mostradan kaya örnekleri alınmış, alınan örnekler Ankara'da bulunan Vommak Firmasına gönderilerek ince kesitleri çıkarttırılmıştır. Hazırlatılan 3 adet petrografik ince kesit polarize mikroskopta birinci ve ikinci nikolde incelenmiş, mineral dağılım oranları, minerallerin optik özellikleri belirlenerek petrografik analizleri yapılmış ve kayaçlar sınıflandırılmıştır. Böylelikle farklı ayrışma değerlerindeki mineralojik değişimler ve mineral oranları tespit edilmiştir.

#### **5.3.2.1 Az Ayrışmış Örnek (Kaya Ocağı)**

Kaya ocağından alınan örnek koyu yeşil-siyah renkte, sağlam yapıda, genellikle masif dokudadır. Petrografik incelemede olivin ve piroksen minerallerinin yanı sıra az oranda opak minerallere de rastlanmıştır. Kayacın mineral dağılımı aşağıda verilmiştir.

**Olivin:** İnce-orta taneli kristaller halinde gözlenmektedir. 1. Nikolde renksiz, orta-yüksek röliyefli (optik engebeli), 2. Nikolde 1. dizi gri ve sarı-turuncu girişim renklerine sahiptir (Şekil 7.1). Büyük bir kısmı (% 60–70) serpantinleşmiştir. Kayacın içindeki oranı % 90 civarındadır.

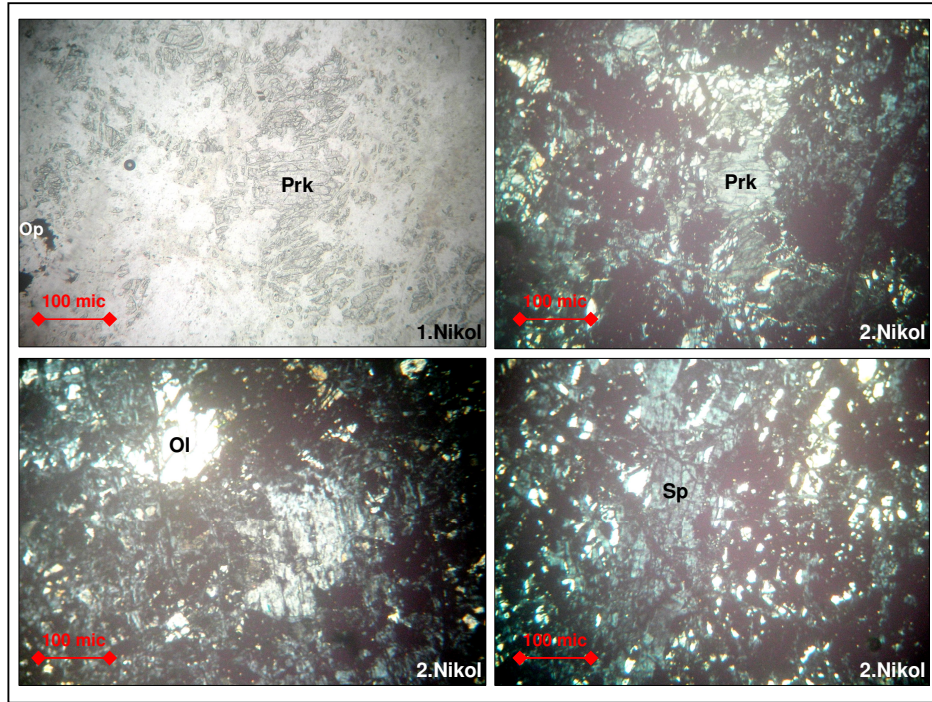
**Piroksen:** İnce taneli ve genellikle eş boyutlu kristaller şeklinde gözlenmektedir. Kayaç içindeki oranı % 10'dan azdır. 1. nikolde açık yeşil renkte veya renksiz, tek yönlü dilinimli, 2. Nikolde 1. dizi grisi veya sarı-turuncu girişim renklerine sahiptir.

Opak Mineraller: Kayaçta az oranda gözlenen opak mineraller genellikle ince taneli olarak gelişmişlerdir. Kayaç içerisindeki oranı %1 dolayındadır.

Kayaçın dokusu : Elek dokusu (mesh texture)

Kayaçın adı : **Dünit**

Kayaçın polarize mikroskop altındaki birinci ve ikinci nikol görünüşleri şekil 5.8’de yer almaktadır.



Şekil 5.8 Birinci örneğin polarize mikroskopta görünümü (Ol: Olivin, Prk: Piroksen  
Op: Opak mineral Sp: Serpantin)

### 5.3.2.2 Orta Ayrılmış Örnek (Sol Sahil)

Baraj yeri sol sahilinden alınan örnek sarımsı yeşil-yeşil renkte orta sağlam yapıdadır. Petrografik incelemede olivin ve piroksen minerallerinin yanı sıra az oranda opak minerallere de rastlanmıştır. Kayaçın mineral dağılımı aşağıda verilmiştir.

Olivin: İnce taneli kristaller halinde gözlenmektedir. Serpantinleşme oranı % 80–90 dolayındadır. Kayacın içindeki oranı % 50 civarındadır(Şekil 5.9).

Serpantin: Kesitte Olivinin bozuşması ile ortaya çıktığı görülmektedir. Kayacın içinde %40 oranında bulunmaktadır.

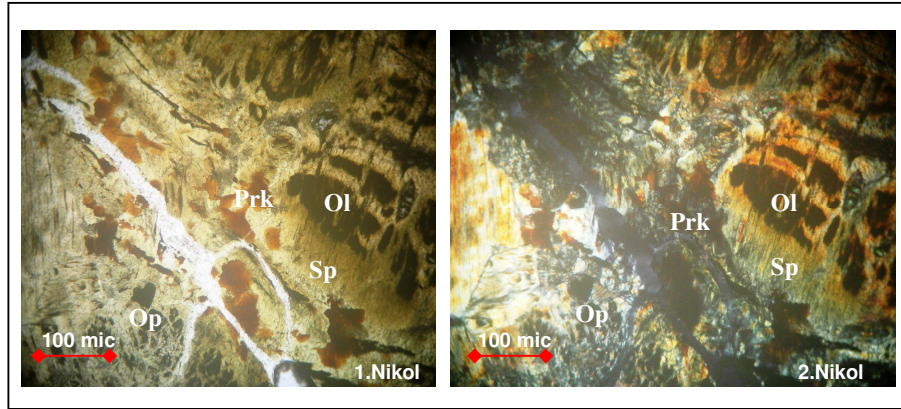
Piroksen: İnce taneli eş boyutlu kristaller şeklinde gözlenmektedir. Kayaç içindeki oranı % 10 civarındadır.

Opak Mineraller: Kayaç içerisindeki oranı %1 dolayındadır.

Kayacın dokusu : Elek dokusu (mesh texture)

Kayacın adı : **Serpantinleşmiş dünit**

Kayacın polarize mikroskop altındaki birinci ve ikinci nikol görünüşleri şekil 5.9'da yer almaktadır.



Şekil 5.9 İkinci örneğin polarize mikroskopta görünümü (Ol: Olivin, Prk: Piroksen  
Op: Opak mineral Sp: Serpantin)

### 5.3.2.3 Çok Ayrılmış Örnek ( Dolu Savak)

Baraj yeri dolu savak yakınından alınan örnek sarı-sarımsı yeşil renkte zayıf yapıdadır. Petrografik incelemede olivin, serpantin ve piroksen minerallerinin yanı sıra az oranda opak minerallere de rastlanmıştır. Bu kayaçta olivinler önemli oranda

serpantinleşerek kayaç içerisindeki oranlarını azaltmışlardır. Kayaçın mineral dağılımı aşağıda verilmiştir.

**Olivin:** Çok ince taneli kristaller halinde gözlenmektedir. Serpantinleşme oranı % 90 dolayındadır. Kayaçın içindeki oranı % 10 civarındadır (Şekil 5.10).

**Serpantin:** Kayaçın içinde %80 oranında bulunmaktadır.

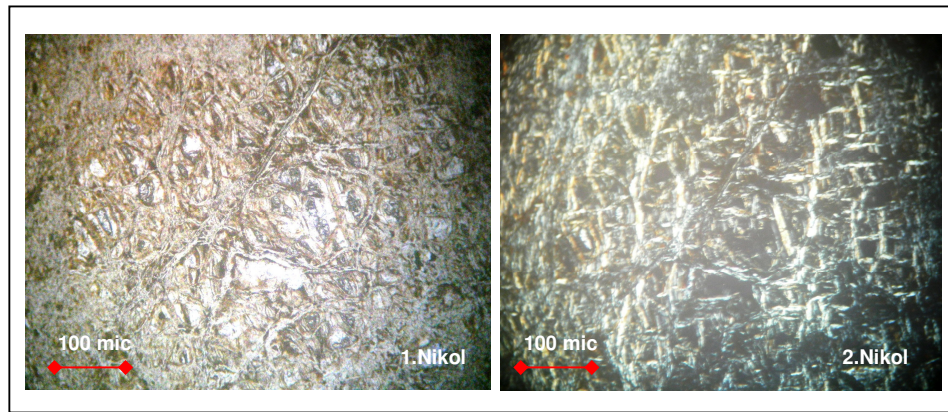
**Piroksen:** İnce taneli kristaller şeklinde gözlenmektedir. Kayaç içindeki oranı % 10 civarındadır.

**Opak Mineraller:** Kayaç içerisindeki oranı %1 dolayındadır.

Kayaçın dokusu : Elek dokusu (mesh texture)

Kayaçın adı : **Serpantinit**

Kayaçın polarize mikroskop altındaki birinci ve ikinci nikol görünüşleri Şekil 5.10'da yer almaktadır.



Şekil 5.10 Üçüncü örneğin polarize mikroskofta görünümü



#### 5.3.2.4 Petrografik Analiz Sonuçları

Üç farklı ayrışma derecesine sahip kaya örneklerinden hazırlatılan ince kesitlerin petrografik incelemesinden elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Alınan kaya numunelerinin tümü ultrabazik türde kayadır.
- Tüm kayalarda mineral bileşimi olivin, piroksen, serpantin ve az oranda opak minerallerden (kromit v.s.) meydana gelmektedir.
- Ayrışmaya bağlı olarak piroksen ve opak mineral oranları genellikle değişmemektedir.
- Ayrışma ile birlikte olivin mineralleri serpantinleşmekte, buna bağlı olarak kayadaki olivin oranı azalmakta, serpantin oranı artmaktadır (serpantinizasyon olayı).
- Ayrışma arttıkça mineral boyutları küçülmekte, elek dokusu sıklaşmaktadır.

### 5.4 Baraj Yeri ve Derivasyon Tünelinin Mühendislik Jeolojisi

#### 5.4.1 Baraj Yeri

Baraj yerinde ana kaya olarak peridotitler ve serpantinleşmiş dünitler yaygındır. Bu birim üzerine alüvyonlar gelmektedir.

##### 5.4.1.1 Alüvyon

Dere yatağında kumlu çakıllı bloklu, taneleri genellikle yuvarlak serpantinitlelerden oluşan alüvyon birimi yer almaktadır. Alüvyon kalınlığı baraj gövdesinin oturacağı alanda 15–20 metreler arasında değişim göstermektedir. Baraj gövdesinin oturacağı alanda yapılan sondajlarda serpantinitle ana kayasının alüvyonla olan dokanağı tespit edilmiştir. Dokanak yüzeyi yer yer küçük engebelere sahipse de dokanak yüzeyinin eğimi yaklaşık yatayıdır.

Baraj sıyırma ve temel kazısı (cut-off) yapılırken ana kaya üzerinde yer alan tüm alüvyon ve yamaç molozu birimleri kaldırılmış, kaya dolgusunun ve temel betonunun (plinth betonu) oturacağı kısım tam anlamıyla temizlenmiş, dolgunun taze ve sağlam kaya yüzeyine oturtulması sağlanmıştır(Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Baraj sıyırma ve temel kazısından bir görünüm

#### 5.4.1.2 Serpantinleşmiş Diünit

Baraj yerinde egemen olarak serpantinleşmiş ultrabazik kayalar yer alır. Bu birimler genellikle orta zayıf-orta dayanımlı karakter sunarlar. Sondajlardan elde edilen verilere göre kaya kalitesi (RQD) yüzeye yakın kısımlarda zayıftır. Baraj temel betonunun oturacağı alana ilişkin derinliğe bağlı RQD profili Ek.5'te sunulmuştur. Birimin zayıf olması yüzey şartlarında aşınma topografyasının oluşmasına neden olmuştur. Bu aşınmanın ürünü olan kaya parçaları, her iki yamaç eteğinde de yamaç molozlarını oluşturmuştur. Yamaç molozunun kalınlığı 0,25–8,00 m. arasında değişmektedir.

Baraj yerinde şev açıları sol ve sağ sahilde 58 derece'dir. Baraj yeri sağ ve sol sahil şevleri üzerinde bulunan süreksizliklerin ve şevlerin durumları ölçülmüş,

süreksizlik durumları belirlenerek stereonet yöntemi ve SMR (Slope Mass Rating) yöntemi ile şev kinematik analizleri yapılmış, şev yüzeylerinin duraylılığı irdelenmiş, olası şev hareketleri ve destek sistemleri araştırılmıştır. Kinematik analizler Bölüm 6 da ayrıntılı olarak yer almaktadır.

#### 5.4.2 Derivasyon Tüneli (Dipsavak)

Marmaris Barajı'nın derivasyon tüneli baraj bittikten sonra dip savak olarak kullanılmıştır. Yeri sol sahildedir. Tünel güzergahı boyunca 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır (Tablo 5.1). Açılan kuyularda ana kaya birimi peridotit-dunittir. TSK-1 kuyusunda yaklaşık 10, TSK-3 kuyusunda da 3 metre yamaç molozu geçilmiş olmasına karşın, tünelin geçeceği güzergâhta rastlanılan tek birim peridotit-dünit birimleridir (Şekil 5.12). Tünel giriş ve çıkış ağzlarında herhangi bir faylanma tespit edilmemiştir. Ancak yer yer tektonizmanın ürünü olan çatlaklar gözlenmektedir.



Şekil 5.12 Derivasyon tünel kazısından bir görünüm. Aynada serpantinize dünit birimlerindeki yoğun kırıklı yapı ve çatlaklar arasındaki kil dolgusu görülmektedir.

Tünel güzergahında açılan kuyularda yapılan basınçlı su testlerine göre, geçilen birimler genellikle “az geçirimli” olmasına karşın yer yer geçirimli zonlara da rastlanılmaktadır. Tünel kazısı tamamlanıp, beton kaplama işlemi yapıldıktan sonra bu kısımlar çimento enjeksiyonu ile doldurularak geçirimsiz hale getirilmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 Derivasyon tüneli enjeksiyon çalışmaları

Kayanın çatlak sıklığı değeri 3–10 arası olup (E.T.Brown. Ed.,1981), kırıklı bir yapıdadır. Çatlak yüzeyleri yer yer kil dolgulu olmakla beraber genellikle temiz ve pürüzlüdür (Şekil 5.12). Ayrışma derecesi  $W_3$ - $W_4$  (orta- çok ayrılmış) arasındadır (Şekercioğlu,2007).

Tünel kazı-destek kategorisi “Q” sistemine göre belirlenmiştir (Barton, Lien, Lunde, 1974). Tünel güzergâhı boyunca açılan TSK-1, TSK-2, TSK-3 sondajlardan elde edilen verilere göre “Q” sistemi parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametreler şunlardır:

**RQD** (kaya kalitesi niteliği), **Jn** ( eklem sistemi sayısı), **Jr** (eklem pürüzlülük değeri), **Ja** (eklem ayrışma değeri), **Jw** (çatlak suyu azaltma faktörü), **SRF** (gerilim azaltma faktörü), **ESR** ( kazı destek oranları faktörü).

Barton vd. (1974) Q değerinin belirlenmesine yönelik olarak aşağıdaki bağıntıyı geliştirmişlerdir.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad \text{Barton vd. (1974)}$$

Marmaris Barajı için belirlenen parametreler tablo 5.9 da sunulmuştur.

Tablo 5.9 Tünel kayasına ilişkin parametreler

SONDAJ NO	RQD	J <sub>n</sub>	J <sub>r</sub>	J <sub>a</sub>	J <sub>w</sub>	SRF	ESR
TSK-1	30	6	1,5	2	0,66	7,5	1,6
TSK-2	36	6	1,5	2	0,66	7,5	1,6
TSK-3	32	6	1,5	2	0,66	7,5	1,6

Yukarıdaki parametreler Barton vd. (1974) bağıntısında yerine konulduğunda Q değerleri şu şekilde elde edilmiştir.

$$Q_{TSK-1} = 0,33$$

$$Q_{TSK-2} = 0,39$$

$$Q_{TSK-3} = 0,35$$

Tablo 5.10 Barton vd. (1974)'nin Q sınıflaması

Q DEĞERİ	KAYA KÜTLESİ SINIFI
<0,01	Fevkalade Zayıf
0,01-0,1	Son Derece Zayıf
0,1-1,0	Çok Zayıf
1,0-4,0	Zayıf
4,0-10,0	Orta
10,0-40,0	İyi
40,0-100,0	Çok İyi
100,0-400,0	Son Derece İyi
>400,0	Fevkalade İyi

Bu durumda Q değerleri 0,1–1,0 arasında değişmektedir. Yani tünelin geçtiği kaya birimleri “çok zayıf” karakterdedir (Tablo 5.10). RQD/J<sub>n</sub> değerleri de 5’ten büyük olduğundan tünel güzergâhının destek kategorisi “29” olarak belirlenmiştir.

Bu kategoride yapılan tünel kazılarında öngörülen destek tipi **1 metre aralıklı gerilmesiz enjeksiyonlu sistematik bulonlama + tel kafes+ 5 cm shot-crete** şeklindedir (Şekercioğlu,2007). Ancak tünel kazısı sırasında günlük ayna kesitleri alınarak yukarıdaki parametreler yeniden değerlendirilmiş ve gerekli durumlarda destek tipi değiştirilmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 Derivasyon tüneli kazı-destek sistemlerinin görünümü

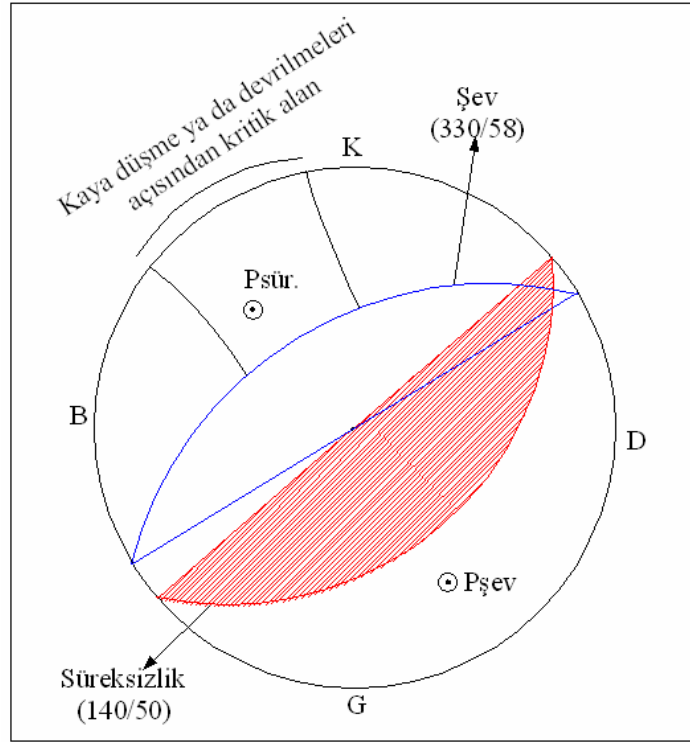
## BÖLÜM ALTI

### BARAJ ŞEVLERİNİN KİNEMATİK ANALİZLERİ

Baraj yeri sağ ve sol sahil şevlerinin ve şevler üzerinde gözlenen süreksizliklerin yönelimleri ve eğimleri ölçülerek şevlerin kinematik analizleri yapılmıştır. Kinematik analizler stereonet yöntemi ve SMR (Slope Mass Rating) yöntemi ile yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

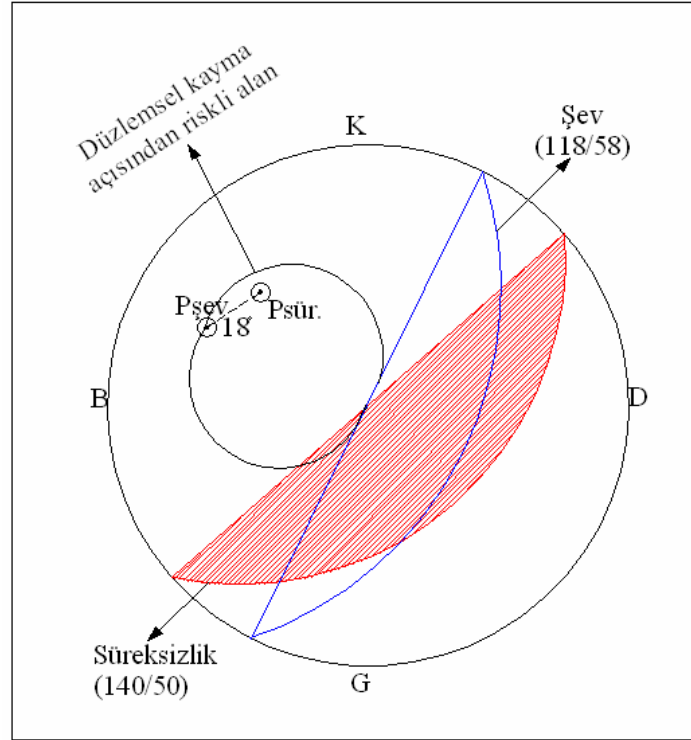
#### 6.1. Stereonet Yöntemi

Baraj yeri sağ ve sol sahilinde mevcut şev düzlemlerinin ve süreksizlik düzlemlerinin eğim yönleri ve eğimleri ölçülmüş, alınan ölçülere göre sağ ve sol sahiller için ayrı ayrı alt yarıküre projeksiyonları çizilmiştir (Şekil 6.1 ve 6.2).



Şekil 6.1 Baraj yeri sağ sahil yamacına ait yarımküre projeksiyonu

Baraj yeri sağ sahil yamacı projeksiyonu üzerinde kayma, düşme ya da devrilme açısından kritik olan alanlar gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Baraj yeri sol sahil yamacına ait yarımküre projeksiyonu

Sol sahil yamacı projeksiyonu üzerinde düzlemsel kayma açısından riskli olan alan gösterilmiştir.

## 6.2 SMR (Slope Mass Rating) Yöntemi

SMR; RMR (Kaya Kütle Puanlaması) sınıflaması ile şev ve süreksizlik arasındaki ilişkilerden yola çıkılarak oluşturulmuş bir sınıflama sistemidir.

$$SMR = RMR_{79} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4 \quad (\text{Romana, 1985})$$

Bağıntısından hesaplanır. Bu bağıntıda:

**RMR:** Bieniawski tarafından 1979 yılında yapılmış olan Kaya Kütle Puanlaması sınıflamasıdır (Tablo 6.1). Bu sınıflamada kayacın tek eksenli basınç dayanımı, karot



kalitesi (RQD), süreksizlik açıklığı, süreksizliklerin durumu ve yeraltı suyu durumlarına göre ayrı ayrı puanlaması yapılır ve elde edilen puanlar toplanarak RMR değeri elde edilir (Bieniawski,1979).

Tablo 6.1 Kaya kütleli puanlama sistemi RMR<sub>79</sub> (Bieniawski,1979)

Parametre			Değer Aralığı						
1	Taze kaya Malzemesinin dayanımı	Nokta yük dayanım indisi (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Bu düşük aralık için tek eksenli basınç dayanımı tercih edilir		
		Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
		Puanı	15	12	7	4	2	1	0
2	Karot kalitesi RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
		Puanı	20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik açıklığı		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
		Puanı	20	15	10	8	5		
4	Süreksizliklerin durumu		Çok pürüzlü yüzeyler Devamlı değil Kapalı yarıklar Bozlaşmamış duvar kayası	Az pürüzlü yüzeyler Yarıkların genişliği <1 mm Az bozlaşmış Duvar kayası	Az pürüzlü yüzeyler Yarıkların genişliği <1 mm Çok bozlaşmış duvar kayası	Çizikli yüzeyler veya Dolgu kalınlığı<5 mm veya Yarıkların genişliği 1-5 mm Sürekli	Yumuşak dolgu, Kalınlık > 5 mm veya Yarıkların genişliği >5 mm		
		Puanı	30	25	20	20	0		
5	Yeraltı suyu	Genel şartlar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Akma		
		Ekleme suyu basıncı/ majör asal gerilme oranı	0	< 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Puanı	15	10	7	4	0		

**F<sub>1</sub> Faktörü:** Süreksizlik eğim yönü şev yüzeyi eğim yönü arasındaki paralelliktir. 0,15 ile 1,00 değerleri arasında değişir.  $F_1 = (1 - \sin A)^2$  bağıntısından hesaplanır. Burada A süreksizlik eğim yönü ( $\alpha_j$ ) ile şev eğim yönü ( $\alpha_s$ ) arasındaki açı farkıdır. F<sub>1</sub> faktörü; şev düzlemi ile süreksizlik düzlemi doğrultuları arasındaki açı > 30° ise 0,15, düzlemler kendi aralarında paralel ise 1,00 değerini alır (Romana,1985).

**F<sub>2</sub> Faktörü:** Düzlemsel kayma türü yenilmede süreksizlik yüzeyinin eğimine bağlıdır. Bu faktör, süreksizlik kesme direncinin de bir ifadesi olarak ele alınmalıdır. Süreksizlik eğim açısı 45°'den fazla ise 1,00, 20°'den düşük ise 0,15 değerini alır.

Faktör, devrilme türü yenilme için 1,00 kabul edilir. Düzlemsel kayma analizi için aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmektedir (Romana,1985):

$$F_2 = \text{tg}^2\beta_j \quad (\beta_j : \text{süreksizlik eğim açısıdır}).$$

**F<sub>3</sub> Faktörü:** Şev yüzeyi ile süreksizlik eğimi arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu faktörün belirlenmesinde Bieniawski'nin 1976 yılındaki "Süreksizlik Yönelimleri İçin Puanlama Düzeltmeleri" tablosundan yararlanır. Bu faktör düzlemsel kayma tipi yenilmede süreksizliğin şev düzlemini kesip kesmediğinin bir göstergesidir (Romana, 1985).

**F<sub>4</sub> Faktörü:** Şev kazısının metoduna bağlı olan ve deneysel olarak belirlenmiş bir değerdir. Kazı yöntemine bağlı olarak şevin örselenme durumunu gösteren bir parametredir. Şev durumuna ve kullanılan metoda göre +15 ile -8 değerleri arasında değişir (Romana,1985).

- Doğal şevler: F4 = +15
- Ön yarma: F4 = +10
- Düz patlatma: F4 = +8
- Düzenli patlatma: F4 = 0
- Mekanik kazı: F4 = 0
- Yetersiz patlatma: F4 = -8 (Romana,1993)

Hesaplanan SMR değerine göre, şev durumu hakkında gerekli bilgiler elde edilir. Yenilmenin meydana gelip gelmeyeceği, olası yenilme tipi, şev için desteklemenin gerekli olup olmadığı gibi veriler de belirlenir (Romana, Serón, Montalar, 2003)

Tablo 6.2 SMR puanlama sistemi ( Romana vd.,2003)

SMR=RMR <sub>79</sub> + (F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub> x F <sub>3</sub> ) + F <sub>4</sub>					
Süreksizlikler için uyarılma faktörleri (F <sub>1</sub> ,F <sub>2</sub> ,F <sub>3</sub> )	P: düzlemsel yenilme α <sub>i</sub> : yamaç eğim yönü β <sub>i</sub> : yamaç eğimi T: devrilme yenilmesi α <sub>j</sub> : süreksizlik eğim yönü α <sub>j</sub> : süreksizlik eğimi				
	Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
P  α <sub>j</sub> - α <sub>s</sub>   T  α <sub>j</sub> - α <sub>s</sub> -180°	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°
F <sub>1</sub> değeri	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Bağıntı	Düzlemsel kayma için; F <sub>1</sub> =(1-Sin α <sub>j</sub> -α <sub>s</sub>  ) <sup>2</sup>				
β <sub>j</sub>	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
F <sub>2</sub> değeri P	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
F <sub>2</sub> değeri T	1,00				
Bağıntı	F <sub>2</sub> =tg <sup>2</sup> β <sub>j</sub>				
P β <sub>j</sub> - β <sub>s</sub>	>10°	10°-0°	0°	0°-(10°)	<(-10°)
T β <sub>j</sub> + β <sub>s</sub>	<110°	110°-120°	>120°	-	-
F <sub>3</sub> değeri	0	-6	-25	-50	-60
Bağıntı	Süreksizlik yönelimleri için puanlama düzeltme tablosundan (Bieniawski,1976)				

Tablo 6.3 Kazı yöntemine bağlı deneysel F<sub>4</sub> değeri (Romana,1993)

Yöntem	Doğal Yamaç	Ön Yarma	Düz Patlatma	Düzenli Patlatma	Eksik Patlatma
F <sub>4</sub>	+15	+10	+8	0	-8

SMR puanları 0 ile 100 değerleri arasında değişmektedir. SMR puan değerine göre, şevler 5 sınıfa, bu 5 sınıf da 10 puanlık aralıklarla kendi içerisinde “a” ve “b” olmak üzere alt sınıflara ayrılır (Tablo 6.4).

Tablo 6.4 SMR sınıflarının tanımı (Romana vd.,2003)

Sınıf No	Vb	Va	IVb	IVa	IIIb	IIIa	IIb	IIa	Ib	Ia
SMR	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	90-100
Tanım	Çok kötü		Kötü		Orta		İyi		Çok iyi	
Duraylılık	Çok duraysız		Duraysız		Kısmen duraylı		Duraylı		Tamamen duraylı	
Yenilmeler	Büyük düzlemsel veya zemin gibi		Düzlemsel veya büyük kamalar		Bazı eklemeler veya çok sayıda kama		Bazı bloklar		Yok	
Destek	Yeniden kazı		Kapsamlı iyileştirme		Sistematik		Arada bir		Yok	

Romana vd. (2003), SMR puanlaması ile şev desteklemesi arasındaki ilişkiyi irdelemiş ve desteklemeye ilişkin birtakım öneriler getirmişlerdir. Önerdikleri destek yöntemleri Tablo 6.5'te yer almaktadır.

Tablo 6.5 Önerilen destek yöntemleri (Romana vd.,2003)

SMR	0	10	15	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100
Yeniden Kazı			Yeniden kazı, İstinad Duvarları													
Drenaj			Yüzey ve yeraltı sularının drenajı													
Betonlama				Püskürtme beton, dolgu beton, iksa ve veya kirişler, topuğa ağırlık koyma												
Güçlendirme					Kaya blonu, Ankrajlar											
Koruma						Topuk hendeği, Topuk veya yamaç parmaklıkları, Fileler, çelik hasır										
Destek gerekmez												Kademelendirme ya da gerekmez (Yeniden tasarım)				

SMR sınıflama sisteminde, blok kayması ve devrilme türü yenilmeler analiz edilmekte, kama tipi kayma ise blok kayması şeklindeki kaymanın özel bir türü olarak değerlendirilmektedir. Ancak, kama tipi kayma, iki süreksizliğin oluşturduğu arakesitin şev yüzeyini kesmesi sonucunda gelişmektedir.

Anbalagan, Sharma, ve Tarun,(1992) düzlemsel ve kama tipi kaymanın farklı değerlendirilmeleri gerekliliğinden yola çıkarak, SMR sistemini yeniden düzenlemişlerdir. Bu düzenleme için düzeltme faktörleri hesaplanırken süreksizlik düzlemlerinin eğim ve doğrultuları yerine, süreksizliklerin ara kesitinin yönlem ve dalımı hesaplamalarda kullanılmaktadır.

Çalışmada, kama tipi kayma duraylılık analizleri yapılırken, yenilmenin tahmini için süreksizliklerin ara kesit doğrusunun yönlem ve dalım değerleri kullanılmış, buna göre düzeltilmiş SMR puanları kullanılmıştır.

### 6.2.1 Yöntemin Marmaris Barajı'na Uyarlanması

Marmaris Barajı şevlerinin duraylılığının SMR yöntemiyle belirlenmesine yönelik olarak baraj yerinde yer alan kayaca ilişkin özellikler irdelenmiş, sondaj çalışmaları, laboratuvar deneyleri ve saha incelemeleriyle kayaca ilişkin RMR değeri Tablo 6.1'e göre hesaplanmıştır. Baraj yerinde sağ ve sol sahil şevleri ile dolu savak sağ ve sol şevlerine ait şev düzlemi ve süreksizlik düzlemlerinin konumları ölçülmüştür. Şevlere ilişkin SMR hesaplamaları yapılmış ve şevlerin stabilite açısından durumları incelenmiştir.

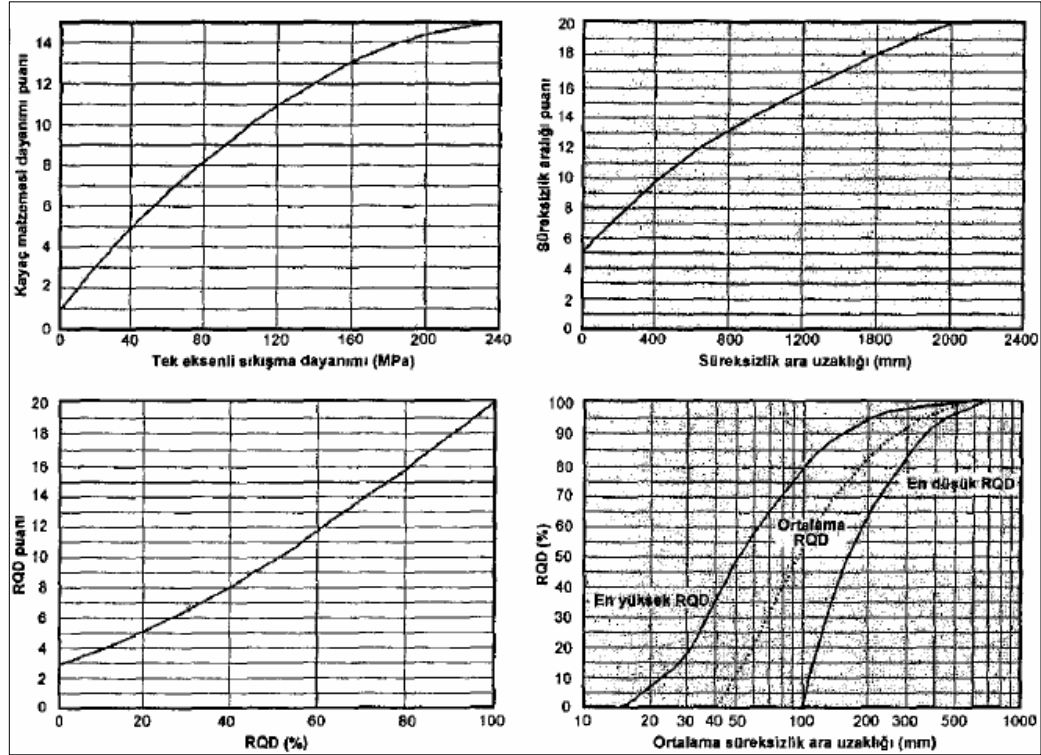
Baraj alanında yer alan serpantinleşmiş ultrabazik kayaç birimleri tüm inceleme alanında benzer özellik gösterdiğinden, RMR değerleri ortalama olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.3 Baraj yeri kayasından ve süreksizliklerinden bir görünüm (sol sahil). Düzlemsel kayma şeklinde şev duraysızlıkları gözlenmektedir.

Mühendislik Jeolojisi çalışmalarında, süreksizliklerin konumu önemli bir parametre olduğu için RMR sınıflama sisteminde süreksizlik sisteminin konumu göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle mühendislik yapısı ve süreksizlik konumu arasındaki

ilişkiye göre Bieniawski (1979 ve 1989) tarafından süreksizlik yönelimi düzeltmesi ortaya atılmıştır. Tablo 6.6'da süreksizlik konum etkisi ve Tablo 6.7'de süreksizlik yönelimine göre düzeltme katsayısı değerleri verilmektedir.



Şekil 6.4 RMR sisteminin son versiyonunda tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD % parametrelerine ait tanımlama grafikleri (Bieniawski, 1989).

Tablo 6.6 RMR sınıflama sisteminde süreksizlik eğim ve doğrultusunun etkisi ( Bieniawski, 1989)

Eğim Yönünde İlerleme		Eğime Karşı Yönde İlerleme		Doğrultuya Paralel İlerleme		Doğrultuya Bakılmaksızın Eğim ( 0 - 20 <sup>0</sup> )
Eğim 45 <sup>0</sup> - 90 <sup>0</sup>	Eğim 20 <sup>0</sup> - 45 <sup>0</sup>	Eğim 45 <sup>0</sup> - 90 <sup>0</sup>	Eğim 20 <sup>0</sup> - 45 <sup>0</sup>	Eğim 45 <sup>0</sup> - 90 <sup>0</sup>	Eğim 20 <sup>0</sup> - 45 <sup>0</sup>	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta	Orta

Tablo 6.7 RMR sınıflama sisteminde süreksizlik yönelimine göre düzeltme (Bieniawski, 1989)

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

Bunun yanı sıra, RMR sınıflama sisteminin yaygın olarak kullanıldığı tüneller ve madencilik uygulamalarında yapılacak olan patlatmalarda daha fazla miktarda dinamik etki meydana gelmektedir. Bu nedenle özellikle madencilik uygulamalarında patlatma, yerinde gerilimler ve fayların durumu gibi faktörler de dikkate alınmakta ve gerektiği durumlarda bu faktörler için de düzeltme yapılarak nihai RMR değerinde azaltmaya gidilmelidir (Laubscher, 1977; Kendorski, Cumming, Bieniawski, ve Skinner, 1983). Bununla birlikte, gerilim alanının yatay ve düşey bileşenlerinin çok pahalı olan yerinde ölçüm deneyleriyle belirlenmesi nedeniyle, gerilim düzeltme katsayısı uygulamada çok fazla dikkate alınmamaktadır. Tablo 6.8’de patlatma ve başlıca zayıflık düzlemleriyle ilgili uygulama koşulları, yöntemler ve düzeltme katsayıları verilmektedir.

Singh ve Gahrooe, (1989) kaya şevlerinde süreksizlik yönelimi düzeltmesi için şevde gelişmesi olası duraysızlık modelinin sayısına göre bir puanlama önermiştir. Bu araştırmada duraysızlık sayısı dikkate alınmıştır. Örneğin tek bir tip duraysızlık şevde sözkonusu ise düzeltme puanı -5, iki tip ise -25’tir. Bu durumda barajın sağ ve sol sahilleri düzlemsel kayma açısından değerlendirildiği için, süreksizlik yönelimi düzeltme puanı -5 alınmalıdır. Ayrıca Ünal ve Özkan, (1990)’a göre şevde açılmış sondajlarda sağlam karot verimi  $>25\%$  ise düzeltme puanı aynı şekilde -5 olarak alınması önerilmektedir.

Tablo 6.8 Patlatma ve başlıca zayıflık düzlemleriyle ilgili düzeltme katsayıları ( Kendorski vd.,1983)

<b>Patlatma Düzeltmesi</b>		
<b>Koşullar/Yöntem</b>	<b>Uygulanabilir Terim</b>	<b>Düzeltilme Katsayısı</b>
1 Makineyle kazı	Hasarsız	1,0
2 Denetimli patlatma	Çok az hasar	0,94-0,97
3 İyi klasik patlatma	Orta derecede hasar	0,90-0,94
4 Kötü klasik patlatma	Şiddetli hasar	0,80-0,90
<b>Başlıca Zayıflık Düzlemleri İle İlgili Düzeltme</b>		
<b>Koşul</b>	<b>Düzeltilme Katsayısı</b>	
1 Zayıflık düzlemi yok	1,00	
2 Sert dayklar	0,90	
3 Yumuşak cevher zonları	0,85	
4 Ana kayaç/cevher dokanak zonları	0,80	
5 Kıvrımlar	0,75	
6 Fay zonları	0,70	

Buna göre kayacın;

Tek eksenli basınç dayanımı 50–100 MPa (ort. 75) arasında olup, puanı 7 olarak Tablo 6.1’den bulunmuştur.

Karot kalite göstergesi (RQD) %25 -50 (% 30) arasında olup, puanı 6,5 olarak Şekil 6.4’ten bulunmuştur.

Süreksizlik ara uzaklığı 200–600 mm (ort. 300 mm) olup, puanı 9 olarak Şekil 6.4’ten bulunmuştur.

Süreksizlik durumu az pürüzlü yüzeyler, yarı genişliği 1 mm’den küçük, az bozunmuş durumda olup, puanı 25 olarak Tablo 6.1 kullanılarak belirlenmiştir.

Yeraltı suyu bakımından tamamen kuru olup, puanı 15’tir.

Baraj yeri kayasının toplam RMR değeri 62,5 olarak elde edilmiştir. Baraj sol sahili için RMR puanı -5 süreksizlik yönelimi düzeltme puanı çıkarıldıktan sonra elde edilen (62,5-5) 57,5 değeri kullanılmalıdır.

Şekil 6.3 incelendiğinde, şev düzlemini kesen süreksizlikler boyunca düzlemsel kaymaların meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, çatlak yüzeyleri boyunca serpantinleşme sonucu oluşan, (bozunma ürünü) talk minerallerinin kaymayı



kolaylaştırıcı bir etmen olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Süreksizlikler şevi kestiği için  $\alpha_{şev} > \alpha_{çatlak}$  olduğu aynı şekilden açıkça görülmektedir. ( $\alpha_{çatlak} = 50^0$ ). Şevde meydana gelen düzlemsel kaymalar, büyük ölçekli derin kaymalar olmayıp, lokal olarak gerçekleşmiş yaygın kitle hareketi şeklindedir.

Şevin konumu baraj yeri sol sahilde; 118/58 (K62D/58 GD)

Şevin konumu baraj yeri sağ sahilde; 330/58 ( K40D/58GD)

#### 6.2.1.1 Baraj Yeri Sağ Sahil Yamacı

Sağ sahilde yapılan süreksizlik ölçümlerinde hâkim süreksizlik durumu tespit edilmiştir (Şekil 2.4). Yapılan ölçümlere göre;

Süreksizlik eğim yönü ( $\alpha_j$ ) =  $140^0$

Süreksizlik eğim açısı ( $\beta_j$ ) =  $50^0$

Şev eğim yönü ( $\alpha_s$ ) =  $330^0$

Şev eğim açısı ( $\beta_s$ ) =  $58^0$

$A = |\alpha_j - \alpha_s| = |58 - 50| = 8$  olarak hesaplanır.

Düzlemsel kayma için;

$F_1 = (1 - \sin|\alpha_j - \alpha_s|)^2$  bağıntısından  **$F_1 = 0,74$**  olarak bulunur.

Süreksizlik eğim açısı  $\beta_j = 50^0$  olduğundan,

Tablo 6.2 ye göre  $F_2 = 1,00$  olarak bulunur.

$\beta_j - \beta_s = 50 - 58 = -8 > 10^0$

$\beta_j + \beta_s = 50 + 58 = 108 < 110^0$

Tablo 6.2 ye göre düzlemsel yenilme için  $F_3 = -50$ , devrilme yenilmesi için “0” olarak belirlenir.

Yamaç doğal olduğundan Tablo 6.3’e göre  $F_4 = +15$  olarak bulunur.

Tüm bu veriler  $SMR = RMR_{79} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$  (Romana, 1985) bağıntısında yerine konursa SMR değeri belirlenir.

$$SMR_{\text{sağ sahil}} = 62,5 + (0,74 \times 1,00 \times -50) + 15 = \underline{\underline{40,50}} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Romana vd. (2003) sınıflamasına göre (Tablo 6.4) sağ sahil yamacının SMR sınıfı IIIb'dir. Bu durumda sağ sahil orta, kısmen duraylı bir yamaçtır. Yamaçta lokal düzlemsel hareketler ve dökülmeler beklenmektedir. Sistematik olarak topuğa yük koyma, püskürtme beton, blonlama ve ankraj yapılarak desteklenmelidir.

#### 6.2.1.2 Baraj Yeri Sol Sahil Yamacı

Sol sahilde yapılan süreksizlik ölçümlerinde hâkim süreksizlik durumu tespit edilmiştir (Şekil 2.4). Yapılan ölçümlere göre;

$$\text{Süreksizlik eğim yönü } (\alpha_j) = 140^0$$

$$\text{Süreksizlik eğim açısı } (\beta_j) = 50^0$$

$$\text{Şev eğim yönü } (\alpha_s) = 118^0$$

$$\text{Şev eğim açısı } (\beta_s) = 58^0$$

$$A = |\alpha_j - \alpha_s| = |58 - 50| = 8 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Düzlemsel kayma için;

$$F_1 = (1 - \sin|\alpha_j - \alpha_s|)^2 \text{ bağıntısından } \underline{\underline{F_1 = 0,74}} \text{ olarak bulunur.}$$

Süreksizlik eğim açısı  $\beta_j = 50^0$  olduğundan,

Tablo 6.2 ye göre  $F_2 = 1,00$  olarak bulunur.

$$\beta_j - \beta_s = 50 - 58 = -8 > 10^0$$

$$\beta_j + \beta_s = 50 + 58 = 108 < 110^0$$

Tablo 6.2 ye göre düzlemsel yenilme için  $F_3=-50$ , devrilme yenilmesi için “0” olarak belirlenir.

Yamaç doğal olduğundan Tablo 6.3’e göre  $F_4 = +15$  olarak bulunur.

Tüm bu veriler  $SMR = RMR_{79} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$  (Romana, 1985) bağıntısında yerine konursa SMR değeri belirlenir.

$SMR_{\text{sol sahil}} = 57,5 + (0,74 \times 1,00 \times -50) + 15 = \underline{\underline{38,00}}$  olarak hesaplanır.

Romana vd. (2003) sınıflamasına göre (Tablo 6.4) sol sahil yamacının SMR sınıfı IVa’dır. Bu durumda sol sahil kötü, duraysız bir yamaçtır. Yamaçta düzlemsel hareketler beklenmektedir. Kapsamlı olarak topuğa yük koyma, yüzey sularının drenajı, püskürtme beton, blonlama ve ankraj yapılarak desteklenmelidir.

## **BÖLÜM YEDİ**

### **BARAJ İNŞAATI VE BARAJIN BUGÜNKÜ DURUMU**

Marmaris Barajı inşaatına 1998 yılında başlanmış ve 2006 yılında bitirilerek baraj hizmete alınmıştır. Bu bölümde baraj üniteleri ayrı ayrı ele alınarak kısaca inşaat aşaması irdelenmiş, karşılaşılan problemler ve getirilen çözümler aktarılmıştır. Ayrıca barajın bugünkü durumu ve mevcut performansı da ele alınmıştır.

#### **7.1. Baraj Gövdesi**

##### ***7.1.1 Baraj Sıyırma ve Temel (Cut-Off) Kazısı***

Marmaris Barajı inşaatı ilk aşamada kazı çalışmaları ile başlamıştır. Baraj gövde kazısı da bunlardan biridir. Gövde kazısı; sıyırma kazısı ve temel kazısı (cut-off) olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Sıyırma kazısı ile yamaçlardaki bitkisel örtü ve altere kaya birimleri tamamen sıyrılmıştır (Şekil 7.1) . Temel kazısında da vadi tabanında yer alan alüvyon birimi de baraj gövdesinin oturacağı alanda tamamen kaldırılmıştır (Şekil 5.10). Alüvyon altındaki ayrışmış kaya yüzeyleri hassas biçimde temizlenmiş ve tüm dolgunun ve plinth betonunun taze kaya yüzeyi üzerine oturtulması sağlanmıştır. Ayrıca dere yatağında bulunan KD-GB uzanımlı ezilme zonu (Şekil 2.3) temizlenmiş, açılan boşluğa beton dolgu yapılmıştır.

Kazı işlemleri sırasında herhangi bir problemle karşılaşılmamıştır.



Şekil 7.1 Baraj sıyırma ve alüvyon kazısından görünüm

### 7.1.2 Baraj Temel Betonu (Plinth)

Sıyırma kazısının ardından ön yüz beton kaplamasının temeli işlevini görecek olan plinth betonu döküm çalışmalarına başlanmıştır (Şekil 7.2) . Plinth betonu dolgu ile paralel olarak yürütülmüştür. Döküm anolar halinde yapılmıştır. Enjeksiyon işlemi sırasında beton ve donatılara zarar vermemek için, beton dökülürken enjeksiyon projesine uygun delikler bırakılmıştır.



Şekil 7.2 Sol sahil plinth betonu dökümü

### 7.1.3.Gövde Dolgusu

Marmaris Barajı dolgusu havzada yaygın olarak bulunan ve dolgu olarak kullanılabilme özelliğine sahip olan dunit-serpantinize dunit türü kayalarla yapılmıştır. Dolgu Bölüm 4'te belirtilen zonlu yapıda ve tabaka kalınlıklarında yapılmıştır (Şekil 7.3)



Şekil 7.3 Zonlu gövde dolgusu çalışmalarından bir görünüm.

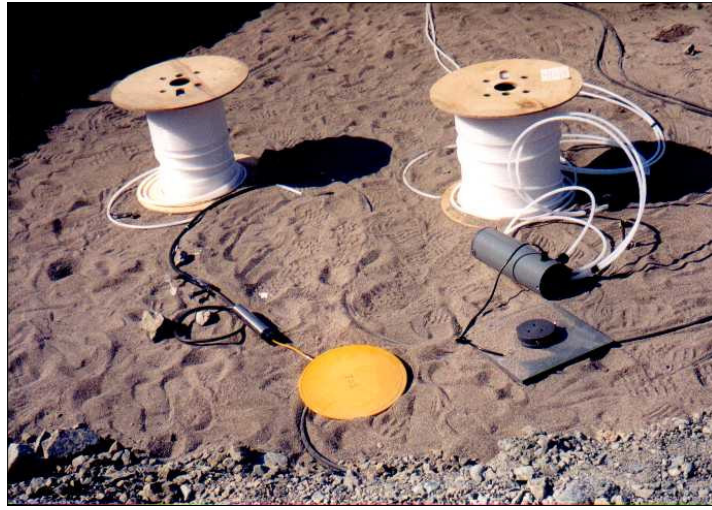
Dolgu işlemi proje kotu olan +60 kotuna kadar devam etmiş ve sona ermiştir. Bundan sonraki aşamada kaya dolgunun oturma aşamasını tamamlanması beklenmiştir. Oturmalar beklenirken kaya dolgunun ön yüzeyinin atmosferik etkilere maruz kalmaması için dolgu yüzeyi 10 cm. kalınlığında shot-crete ile kaplanmıştır (Şekil 7.4). Oturmalar hakkında detaylı bilgi bölüm 7.1.3.1'de sunulmaktadır.



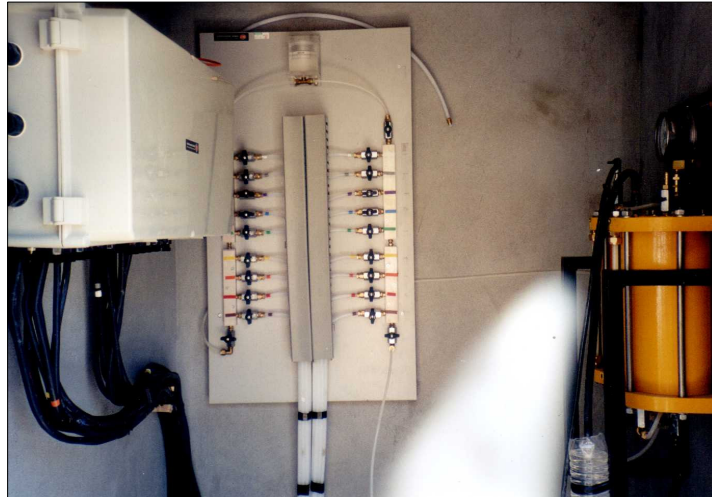
Şekil 7.4 Dolgu ön yüzeyine yapılan shot-crete uygulaması

### 7.1.3.1 Gövde Dolgusunda Meydana Gelen Oturmalar

Baraj gövdesinde meydana gelen oturmaları belirlemek amacıyla gövde dolgusu sırasında +20 ve +40 kotlarına Zemin Deplasman lm aletleri ( bundan sonraki kısımlarda ZD olarak bahsedilecektir) yerleştirilmiştir( Şekil 7.5 ve 7.6). Soil Instruments firması tarafından yerleştirilen bu aletler kaya dolgusu sırasında ve sonrasında dolguda meydana gelen düşey deplasmanları tespit etmeye yöneliktir. +20 kotuna 9 adet (Şekil 7.7), + 40 kotuna da 8 adet (Şekil 7.8) ZD yerleştirilmiştir.



Şekil 7.5 Dolgu içerisine yerleştirilen ZD hücresi ve ekipmanları



Şekil 7.6 ZD hücrelerinin verileri aktardığı ölçüm odası



Şekil 7.7 + 20 kotunda ZDÖ hücrelerinin kaya dolgu içerisine yerleştirilmesi



Şekil 7.8 + 40 kotunda ZDÖ hücrelerinin kaya dolgu içerisine yerleştirilmesi



+20 kotuna yerleştirilen ZDÖ cihazlarına sırayla ZDÖ-1, ZDÖ-2, ZDÖ-3, ZDÖ-4, , ZDÖ-5, ZDÖ-6, ZDÖ-7, ZDÖ-8, ZDÖ-9, +40 kotuna yerleştirilen ZDÖ cihazlarına da ZDÖ-10, ZDÖ-11, ZDÖ-12, ZDÖ-13, ZDÖ-14, ZDÖ-15, ZDÖ-16, ZDÖ-17 numaraları verilmiştir. Ölçülen toplam oturma miktarları ve oturma süreleri tablo 7.1’de sunulmuştur.

Tablo 7.1 Ölçüm aletlerinin yeri, dolguda toplam oturma miktarları ve oturma süreleri

Cihaz No	Yeri (kot)	Toplam Oturma Miktarı (cm)	Toplam Oturma İçin Geçen Süre (ay)
ZDÖ- 1	+20	144	6
ZDÖ- 2	+20	142	6
ZDÖ- 3	+20	175	6
ZDÖ- 4	+20	153	6
ZDÖ- 5	+20	73	6
ZDÖ- 6	+20	111	6
ZDÖ- 7	+20	145	6
ZDÖ- 8	+20	124	6
ZDÖ- 9	+20	62	6
ZDÖ- 10	+40	50	6
ZDÖ- 11	+40	75	6
ZDÖ- 12	+40	59	6
ZDÖ- 13	+40	65	6
ZDÖ- 14	+40	68	6
ZDÖ- 15	+40	99	6
ZDÖ- 16	+40	94	6
ZDÖ- 17	+40	66	6

Kaya dolguda meydana gelen oturmalar maksimum 6 ay sonunda durmuş olup gövdede ortalama 140 cm oturma meydana gelmiştir.

+20 ve +40 kotlarına yerleştirilen oturma ölçüm hücrelerinden elde edilen verilere dayanılarak hazırlanmış olan “oturma- dolgu kotu-zaman” grafikleri Ek-8 de sunulmaktadır.

#### 7.1.4 Ön Yüz Kaplama Betonu

Kaya dolgu işleminin ardından, kaya dolgusunun oturması için bekleme sürecine geçilmiştir. ZDÖ hücreleri vasıtasıyla kaydedilen oturma ölçümleri zamana bağlı olarak değerlendirilmiş ve yaklaşık 6 aylık sürede oturmalar tamamlanmıştır.

Oturmaların 6 ayda tamamlanmasına rağmen müteahhit firma ile yaşanan sıkıntılar dolayısıyla beton kaplama işlemine ancak 3 yıl sonra başlanabilmektedir. Kaplama için BS-20 Sınıfı beton kullanılmıştır. Beton kalınlığı en alt kotta 56 cm, kret kotunda ise 31 cm. Betonun sıkıştırılması 6 tonluk finişer ile sağlanmıştır (Şekil 7.9). Betonlama işlemi 15 metre kalınlığında anolar halinde yapılmıştır. Anolar arası geçirimsizliği sağlamak amacıyla ano aralarına bakır su tutucular ve kauçuk contalar yerleştirilmiştir (Şekil 7.10). Kaplama betonu ve plinth betonu arasında da geçirimsizlik amaçlı bakır su tutucular kullanılmıştır.



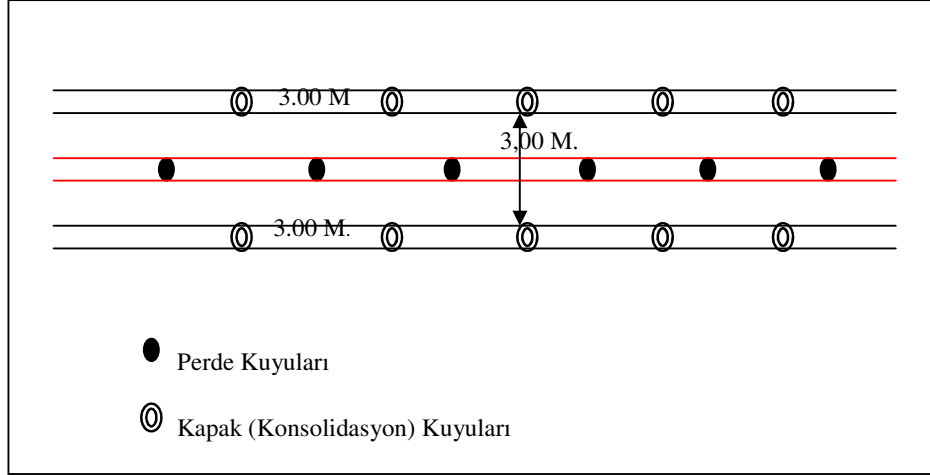
Şekil 7.9 Beton kaplama işleminde kullanılan finişer



Şekil 7.10 Anolar arasındaki kauçuk contaların görünümü

### ***7.1.5 Gövde Enjeksiyonları***

Plinth betonu dökülmeye başladıktan sonra, dökümü biten anolarda bırakılan deliklerden baraj perde ve kapak enjeksiyon kuyuları açılmıştır. Perde enjeksiyonunun amacı temel kaya geçirimsizliğinin sağlanması, kapak kuyularının amacı ise plinth betonu ile temel formasyon arasındaki kontak zonunun doldurulmasıdır. Projede ön görülen perde derinliği 40 metre, kuyular arasındaki mesafe de 3 metredir (Şekil 7.11). Kapak kuyularının derinliği de 7,50 metre, ara mesafesi 3 metre olarak planlanmıştır (Şekil 7.11). Kapak kuyuları perde kuyularıyla şaşırtmalı olarak yerleştirilmiştir. Enjeksiyon işlemi sırasındaki alış durumlarına göre kuyu aralıkları yer yer sıklaştırılmış hatta bazı kesimlerde 37,50 cm'e kadar düşürülmüştür.



Şekil 7.10 Baraj gövde enjeksiyon kuyularının bir kesitinin krokisi

Enjeksiyon işleminde değişik karışım oranları planlanmış ve alış durumlarına göre gerekli karışıma geçiş yapılarak kuyunun refü şartına ulaşması sağlanmıştır. Öngörülen refü şartı 20 dakikalık bir zaman diliminde 1 metrelik enjeksiyon kademesinden dakikada 0.60 litre ve daha az alış yapmasıdır.. (D.S.İ., 1983).

Karışım oranları aşağıdaki oran ve miktarlarda ayarlanmıştır. Burada ilk oran çimento/su oranıdır. Bentonit ve kum oranı ise aynı karışımda kullanılan çimento ağırlığının yüzdesi kadardır. Gerekli görülen durumlarda kumlu karışıma da geçilmiştir. Karışım oranı ve miktarları Tablo 7.2’de sunulmaktadır.

Tablo 7.2 Enjeksiyon işleminde kullanılan karışım oranları

Karışım No	Çimento-Su Oranı	Bentonit Oranı	Kum Oranı
1	1/3	% 5	-
2	2/3	% 4	-
3	1/1	% 3	-
4	7/5	% 2	-
5	7/5	% 2	% 25
6	7/5	% 2	% 50

Gövde enjeksiyonlarına ilişkin kesit Ek-6’da sunulmuştur.

## 7.2 Dolu Savak

Yüksek debiler sonucunda dolacak olan barajın tahliyesi amacıyla inşa edilen dolu savakta öncelikle kazı işlemi yürütülmüştür (Şekil 7.11).



Şekil 7.11 Dolu savak kazısı

Gövde şevlerine göre nispeten daha kırıklı yapıda olan dolu savak şevleri shot-crete ve tel kafesle desteklenerek atmosferik etkilere maruz kalması önlenmiştir. (Şekil 7.12).



Şekil 7.12 Dolu savak shot-crete uygulaması

Dolu savak kazısının ardından betonlama işlemine geçilmiş ve dolu savak kanalı beton kaplaması tamamlanmıştır (Şekil 7.13)



Şekil 7.13 Dolu savak betonlama çalışmaları

### 7.3 Derivasyon Tüneli

Baraj kazı ve dolgu işlemleri sırasında dere suyunu taliye etme görevini üstlenen derivasyon tüneli sol sahil üzerinde inşa edilmiştir. At nalı kesitindeki tünelin kazı çapı 4,00 metre olup betonlama işleminden sonra çap 3,00 metreye düşmüştür.

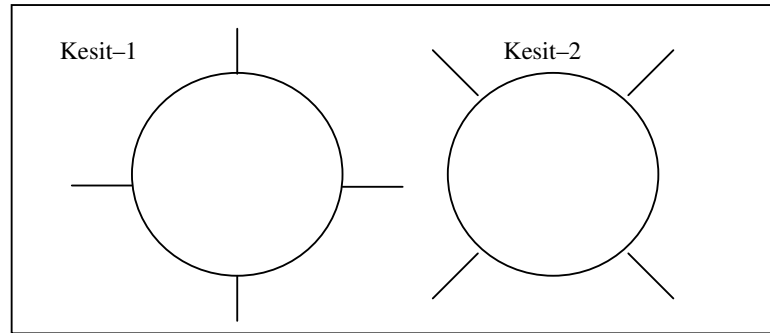
Tünel kazısı delme-patlatma tekniğiyle sürdürülmüştür (Şekil 5.12). Kazı işlemi sırasında yer yer aynada görülen kil zonları boyunca akmlar meydana gelmiş olup bu durum tünel kazısı boyunca 3 noktada küçük ve orta ölçekli ayna göçüklerine neden olmuştur. Göçük durumunda akan malzeme kaldırılmadan üzerine shot-crete tatbik edilerek atmosferik etkilere maruz kalması önlenmiş, shot crete altına ve ayna üst kesimlerine yatay ve eğik enjeksiyon kuyuları açılmıştır. Açılan bu kuyulardan çimento su karışımı, zaman zaman kumlu karışım enjekte edilerek göçük kütlesi konsolide edilmiştir. Bunun üzerine ayna temizlenmiş ve gerekli destek paterni uygulanarak kazı işlemi sürdürülmüştür.

Kazı işleminin ardından tünel beton kaplaması işlemine geçilmiştir (Şekil 7.14). Beton kaplama için özel yapım hidrolik dairesel kesitli kalıplar kullanılmıştır.



Şekil 7.14 Derivasyon tüneli beton kaplama çalışmaları

Betonun ardından enjeksiyon işlemine başlanmıştır (Şekil 5.13). Enjeksiyon kuyuları bir kesitte 4 kuyu olacak şekilde, 2 farklı ardışık kesitte şaşırtmalı olarak açılmıştır (Şekil 7.15). Enjeksiyon kuyularının derinlikleri 5,00 metredir.



Şekil 7.15 Derivasyon tüneline 2 farklı kesitte açılan şaşırtmalı kuyular

#### 7.4 Barajın Bugünkü Durumu ve Performansı

Marmaris Barajı işletmeye alındığı 2006 yılından bu güne herhangi bir sorun yaratmaksızın işlevini sürdürmektedir (Şekil 7.16). Beton kaplama üzerine monte edilen yüzey gerilimölçer ve derz gerilimölçer cihazları müteahhit firma ile taşeron firma arasındaki problemler nedeniyle faaliyete geçirilememiş olmakla birlikte, beton üzerinde yapılan rutin kontrollerde herhangi bir çatlak ya da kırık tespit edilmemiştir.



Şekil 7.16 Kaplama betonunun bugünkü hali, su kotu +50 metre

Dolgudaki oturmalar dolgu işlemi bitiminden yaklaşık 6 ay sonra sonlanmıştır. Ödenek sorunları nedeniyle kaplama işlemine 2,5 yıl sonra başlandığından dolgu gövdesi tamamen oturmasını tamamlamıştır. Her ne kadar bu tür barajlarda beton kaplama sonrası müsaade edilebilir oturma 100 metrelik dolgu için 5 yılda 10–15 cm ve 10 yılda 15–25 cm ise de (Emiroğlu,1998) Marmaris Barajı'nda oturmalar betonlama öncesi 6 ay içerisinde tamamlanmıştır (EK-8)

Marmaris Barajı 2006 yılından itibaren yıllık 22,78 hm<sup>3</sup> suyu içme suyu olarak Marmaris ve çevresine, 3,17 hm<sup>3</sup> suyu da sulama suyu olarak Çamlı ovasına yollamaktadır.

Barajda rastlanılan en önemli problem derivasyon tüneli drenaj deliklerinin bazılarında günde 20 ton dolayında su kaçağının meydana gelmesidir. İlerleyen zamanda bu kaçaklar ilave enjeksiyon işlemi yapılarak kapatılacaktır.



## BÖLÜM SEKİZ

### SONUÇ VE ÖNERİLER

İnceleme alanında yapılan tüm gözlemsel ve deneysel çalışmaların ışığında Marmaris Barajı inşaatı için gerekli olan jeolojik, jeoteknik veriler elde edilmiş, projeye ilişkin olarak sonuç, görüş ve öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Marmaris Barajı ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj tipinde tasarlanmıştır.
- Baraj alanı 1.derece deprem alanı içinde yer almaktadır (Şekil 2.5).
- Peridotit-dunitin üzeri kalınlığı 0,00–2,00 metre arasında değişen yamaç molozu ile örtülüdür. Yamaç molozu kalınlığı dere içine yaklaşan kısımlarda 8,00 metrelere kadar ulaşmaktadır.
- Alüvyon kalınlığı 0,00–20,00 metre arasında değişir. Baraj dolgusundan önce bu alüvyon birimi tamamen kaldırılarak gövde dolgusunun ana kaya olan serpantinize dunit birimleri üzerine oturması sağlanmıştır.
- Baraj yerinde ana kaya serpantinleşmiş ultrabazik kaya birimidir. Kalınlığı bölgede 1000 metreye kadar ulaşır.
- Kaya, kırıklı bir yapıdadır. Çatlak yüzeyleri yer yer kil dolgulu olmakla beraber genellikle temiz ve pürüzlüdür.
- İnceleme alanında hâkim süreksizliklerin eğim yönlü ve açısı, 140/50'dir
- Planlama aşamasında baraj yerinde toplam 741,50 metre derinliğinde 22 sondaj açılmıştır.
- Marmaris baraj yerinde açılan sondajlarda yapılan basınçlı su testi sonuçlarına göre temel kayası geçirimsizden çok geçirimliye kadar değişen bir geçirimsizlik yelpazesi içerisinde yer almaktadır. Ancak genellikle az geçirimli-geçirimli zonlar yaygındır. Enjeksiyon işlemi ile bu zonlar konsolide edilmiş ve geçirimsizlik özelliği sağlanmıştır (Ek-6).
- Sondajlardan elde edilen verilere göre kaya biriminin kaya kalitesi niteliği (RQD)çok zayıf niteliktedir.

- Hesaplanan ortalama RMR değeri de 57,5–62,5 arasındadır. Baraj yeri sağ ve sol sahil şevlerine ilişkin stereonet yöntemi ve SMR yöntemi ile ayrı ayrı kinematik analizler yapılmıştır. Stereonet üzerine sağ ve sol sahil yamaçlarının alt yarıküre projeksiyonları çizilmiştir; düzlemsel kayma, kaya düşmesi ve devrilme bakımından riskli olan alanlar net üzerine işaretlenmiştir. SMR yönteminde Romana vd. (2003) sınıflamasına göre (Tablo 6.4) sağ sahil yamacının SMR sınıfı IIIb'dir. Bu durumda sağ sahil orta, kısmen duraylı bir yamaçtır. Yamaçta lokal düzlemsel hareketler ve dökülmeler beklenmektedir. Sistematik olarak topuğa yük koyma, püskürtme beton, blonlama ve ankraj yapılarak desteklenmelidir. Aynı sınıflamaya göre sol sahil yamacının SMR sınıfı IVa'dır. Bu durumda sol sahil kötü, duraysız bir yamaçtır. Yamaçta düzlemsel hareketler beklenmektedir. Kapsamlı olarak topuğa yük koyma, yüzey sularının drenajı, püskürtme beton, blonlama ve ankraj yapılarak desteklenmelidir.

- Derivasyon tüneli boyunca açılan sondaj ve arazi gözlemleri değerlendirilmiş, tünel güzergâhında yer alan kaya birimleri Q(NGI) sistemine göre sınıflanmıştır. Tünel için elde edilen Q değerleri 0,33 ile 0,39 (çok zayıf) arasında değişmektedir. Yine Q sistemine göre belirlenen destek kategorisi "29" dur. Buna göre tünel kazısı boyunca 1 metre aralıklı gerilmesiz enjeksiyonlu sistemlik bulonlama + tel kafes+ 5 cm shot-crete şeklinde destekleme paterni uygulanmış, kazı sırasında karşılaşılan özel durumlar sırasında da gerekli görüldüğünde destek tipi değiştirilmiştir.

- Baraj alanında küçük çaplı aktivitesini yitirmiş faylar dışında önemli yapısal unsur gözlememiştir. Ancak gövde altında yer alan serpantinize dünit birimi içöerisinde KD-GB uzanımlı bir ezilme zonu tespit edilmiştir (Şekil 2.3). Dolgu işleminden önce bu son hassas biçimde temizlenmiş ve oluşan boşluklara beton dolgusu yapılmıştır.

- Ek veri sağlamak için mansap batardosu üzerinde 1 hatta sismik refraksiyon ölçümü yapılmış ve düşey hızlar belirlenmiştir. Hızlara göre 3 farklı birim ayırt edilmiştir.

- Baraj göl alanınının 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritası (Şekil 2.2) ve baraj yerinin 1/1000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritaları çıkartılmıştır (Ek-1).

- Baraj sahasında yer alan serpantinize dünit birimlerinin kaya dolgusu olarak kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla alınan örnekler laboratuarlarda TS699/1987

standartlarında tek eksenli basınç direnci (kuru ve doymuş hallerde ayrı ayrı ), elastisite modülü, özgül kütle, birim kütle, su emme yüzdesi, görünür porozite yüzdesi, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> don kaybı yüzdesi, Los Angeles aşınma kaybı yüzdesi (100 ve 500 devirde ayrı ayrı), don sonu basınç dayanımı ve dayanım azalma yüzdesi deneylerine tabi tutulmuş ve sonuç olarak serpantinize dünit kayacının kaya dolgusunda kullanılabilir nitelikte olduğu anlaşılmıştır.

- Baraj dolgusu bitiminden itibaren 6 aylık süre içerisinde dolgu içerisinde ortalama 140 cm'ye varan oturmalar meydana gelmiştir. Oturmalarla ilişkin veriler tablo 7.1'de, grafikler Ek-8 de sunulmuştur.

- Günümüzde Marmaris Barajı ve ilgili ünitelerde herhangi bir problem, deformasyon gözlenmemektedir. Beton kaplama üzerinde herhangi bir çatlak kırık bulunmamaktadır. Ancak derivasyon tüneli drenaj deliklerinden önemsiz miktarda su kaçağı tespit edilmiş olup (yaklaşık 20 m<sup>3</sup>/gün), ilerleyen zamanda ek enjeksiyon işlemiyle kaçak önlenecektir.

## KAYNAKLAR

- Anbalagan,R., Sharma,S. and Tarun,R. (1992). Rock mass stability evaluation using modified SMR. approach. *Sixth National Symposium on Rock Mechanics*. Kolar. 258–268.
- Barton, N., Lien, R., ve Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support . *Rock Mechanics*. 6. 189–236
- Bieniawski Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. Pennsylvania. USA. June. 237.
- Bieniawski Z. T. (1979). The Geomechanics Classification in rock engineering applications. *In Proc. 4 th Int. Congr. Rock Mech., Montreux, chap. 5* pp 55–95. Balkema, Rotterdam.
- Bieniawski, Z. T. (1976). Rock Mass Classification in Rock Engineering. *In Proc. Symp. Exploration for Rock Eng., vol 1*, pp 97-106. Balkema, Rotterdam.
- Bureau of Reclamation. (1960). *Earth Manuel*. Washington
- Cooke, J.B., (1991). *The Concrete - Faced Rockfill Dam, Water Power & Dam Construction*. January. pp. 11–15.
- D.S.İ., 1983. *Sondaj ve Enjeksiyon Teknik Şartnamesi*. Ankara. D.S.İ. Yayını.
- E.T.Brown. (Ed.).(1981). *Rock Characterization, Testing and Monitoring: ISRM Suggested Methods*, Pergamon Press, Oxford
- Emiroğlu, M. E. (1998). Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajların Avantajları ve İnşasındaki Son Gelişmeler. *Türkiye Mühendislik Haberleri*. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Sayı 393.

- Erguvanlı, K. (1994). *Mühendislik Jeolojisi* (Dördüncü Baskı). İstanbul: Seç Yayın Dağıtım
- Franklin J.A. & Chandra R. 1972. The slake durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*,
- Kendorski, F.S., Cumming, R.A., Bieniawski, Z.T., and Skinner, E.H., (1983). Rock mass classification for block caving mine drift support. *Proceedings of the Fifteenth International Congress on Rock Mechanics, Melbourne, Australia*. B51-B63.
- Laubscher, D.H., (1977) Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses - Mining Applications. *Trans. Inst. of Min. and Metal. Vol.86*. pp. A 1–8.
- Meşhur, M., Yoldemir, O., Akpınar, M., Öztaş, Y. ve Alkan, H. (1989). Batı Torosların jeolojisi ve petrol olanakları. *TPAO Rap., Ankara*
- Monod, O., (1977). Recherches Geologiques Dans Le Taurus Occidental au Sud de Beyşehir (Turguie): *These d'etat, l'Univ. de Paris Sud, Center d'Orsay, sr. A*, s896, 571.
- Özmen, B., Nurlu, M., Güler, H. (1997), Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi. *T.C Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü*. (Yayınlanmamış). Ankara.
- Romana, M. (1985). New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes. *International Symposium On The Role of Rock Mechanics, ISRM 49–53. Zacatecas*.
- Romana, M. (1993). A Geomechanics Classification for Slopes: Slope Mass Rating. J. Hudson, (Ed.), *Comprehensive Rock Engineering* içinde Pergamon. Vol 3. pp 575–600.

- Romana, M., Serón, J.B., Montalar, E., (2003). SMR Geomechanics Classification: Application, Experience and Validation. *ISRM 2003–Technology Roadmap for Rock Mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy*, pp 981–984
- Singh, R.N., Gahrooe, D.R., (1989). Application of rock mass weakening coefficient for stability assessment of slopes in heavily jointed rock masses. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment* 3, 217–219.
- Su-Yapı A.Ş. (1998). *Marmaris Barajı Planlama Ara Raporu*. Ankara (Yayınlanmamış)
- Şekercioğlu, E. (2007). *Yapıların Projelenmesinde Mühendislik Jeolojisi* (Dördüncü Baskı). Ankara. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları.
- Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z.R., Şen, M.A., Karaman, T., Dinçer, M.A., Durukan, E., Arbas, A., Örcen, S., Bilgi, C, 1989, Çameli (Denizli) - Yeşilova (Burdur) - Elmalı (Antalya) ve Dolayının Jeolojisi. Ankara. *MTA Rapor No. 9429*, s344, (Yayınlanmamış)
- Şenel, M., ve Bilgin, Z. R. (1997). Türkiye Jeoloji Haritaları Marmaris L–6 Paftası. *Ankara: MTA Jeoloji Etütleri Dairesi Yayınları No:19*.
- Ünal, E. ve Özkan, İ. (1990). Determination of Classification Parameters for Claybearing and Stratified Rock Mass. *9th Int. Conf. on Ground Control in Mining. West Virginia Universit., Morgantown*, pp. 250–259.

**EKLER**

EK-1 İnceleme Alanının 1/1000 Ölçekli Mühendislik Jeolojisi Haritası

EK-2 AA' Jeolojik Kesiti

EK-3 BB' Jeolojik Kesiti

EK-4 CC' Jeolojik Kesiti

EK-5 RQD Zonlanma Profili

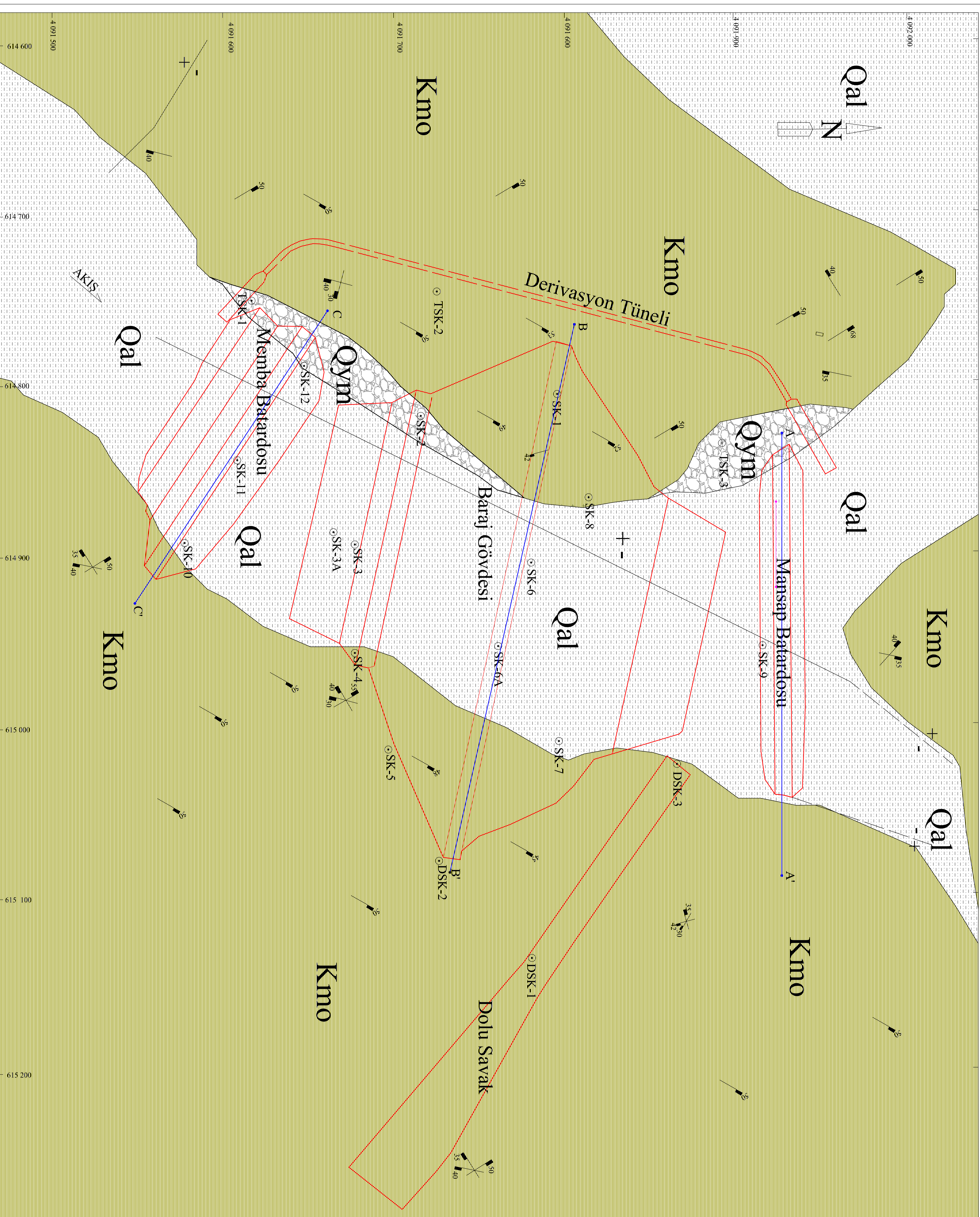
EK-6 Enjeksiyon Profili

EK-7 Sismik Profil

EK-8 +20 ve +40 Kotlarında Meydana Gelen Oturma-Dolgu Kotu-Zaman Grafikleri

## AÇIKLAMALAR

Qal	Kuvaterner Alüvyon
Qym	Kuvaterner Yamaç Molozu
Kmo	Marmaris Peridotiti-Kretase
	Eğim Atımlı Fay
	Eğim Atımlı Olası Fay
	Ekleme Doğrultu ve Eğimi
	Temel Sondaj Kuyusu
	Jeolojik Kesit Hatı
	Sismik Ölçüm Hatı



MARİÇ-BELBİR MARMARİS ÇEVRE KORUMA  
ALTYAPI TESİSLERİ YAPMA VE İŞLETME BİRLİĞİ

MARMARİS ÇEVRE KORUMA VE  
ALTYAPI YAPIM PROJESİ

YÜKLENİCİ : VİNSAN A.Ş., ANKARA

PROJE TASARIMI:  
SU-YAPI MÜHENDİSLİK MÜŞAVİRLİK A.Ş., ANKARA

ONAY : T.Ç.T. TUĞAL ÇEVRE TEKNOLOJİSİ  
PROJE MÜŞAVİRLİK MÜMESSİLLİK LTD. ŞTİ. İSTANBUL

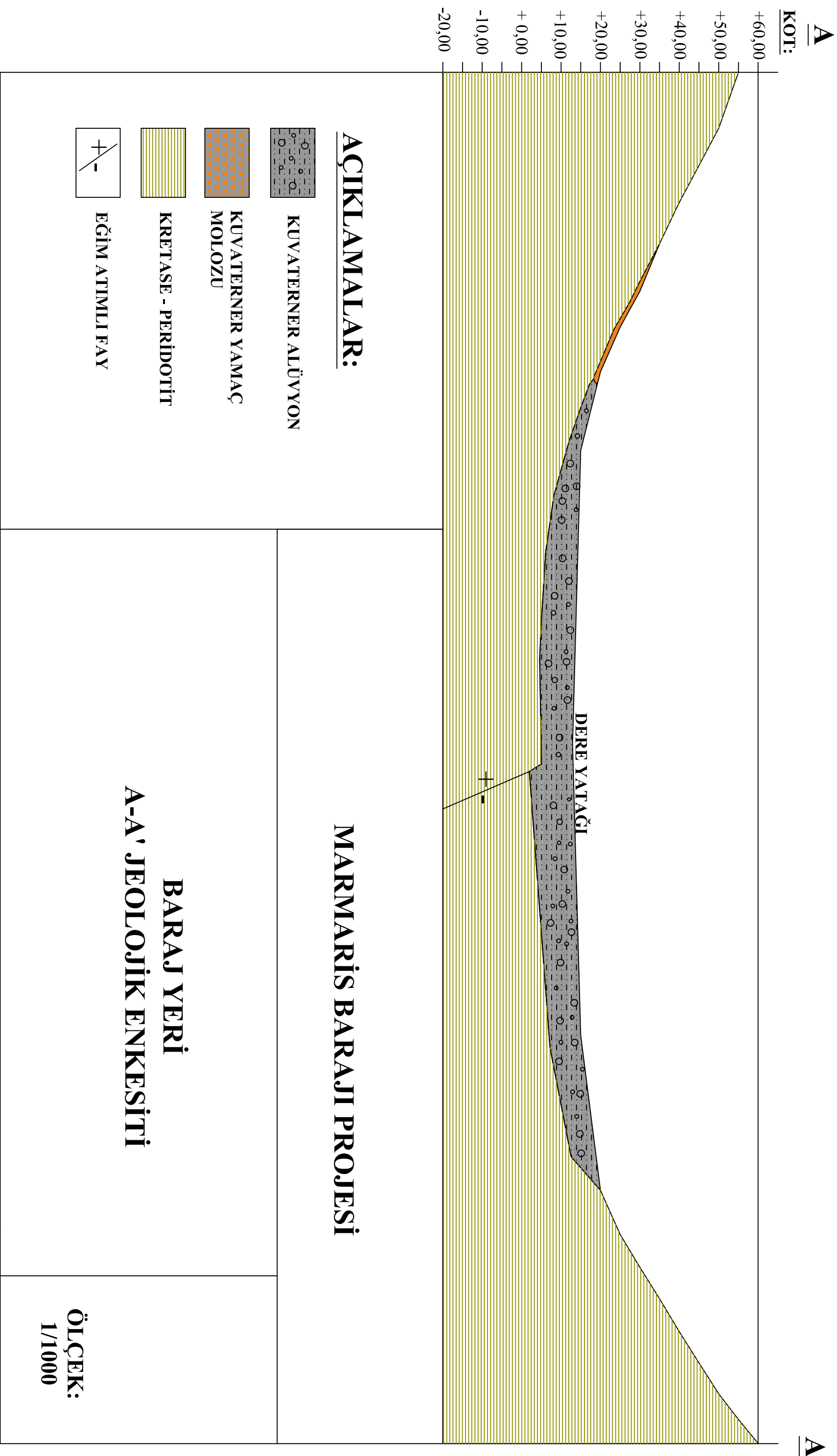
MARMARİS BARAJI PROJESİ

BARAJ YERİ  
MÜHENDİSLİK JEOLOJİ HARİTASI

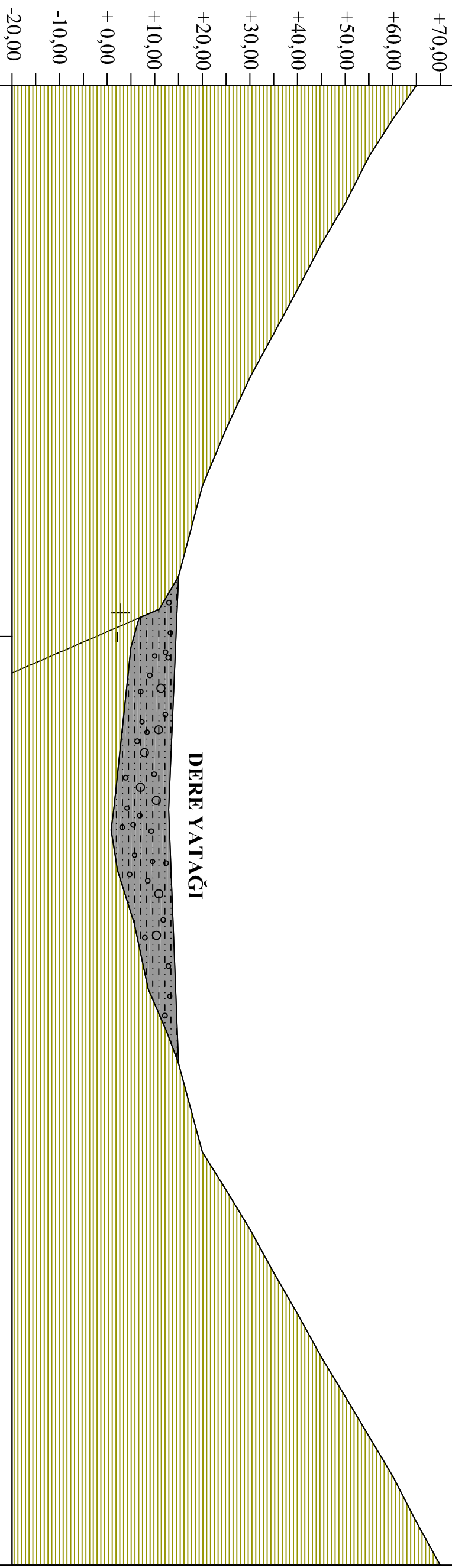
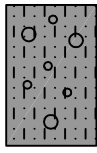
ÖLÇEK:  
1/1000

İLK ÇIKIŞ TARİHİ : HAZİRAN- 1999

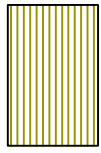




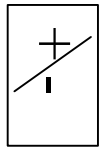
KOT:

**AÇIKLAMALAR:**

KUVATERNER ALÜVYON



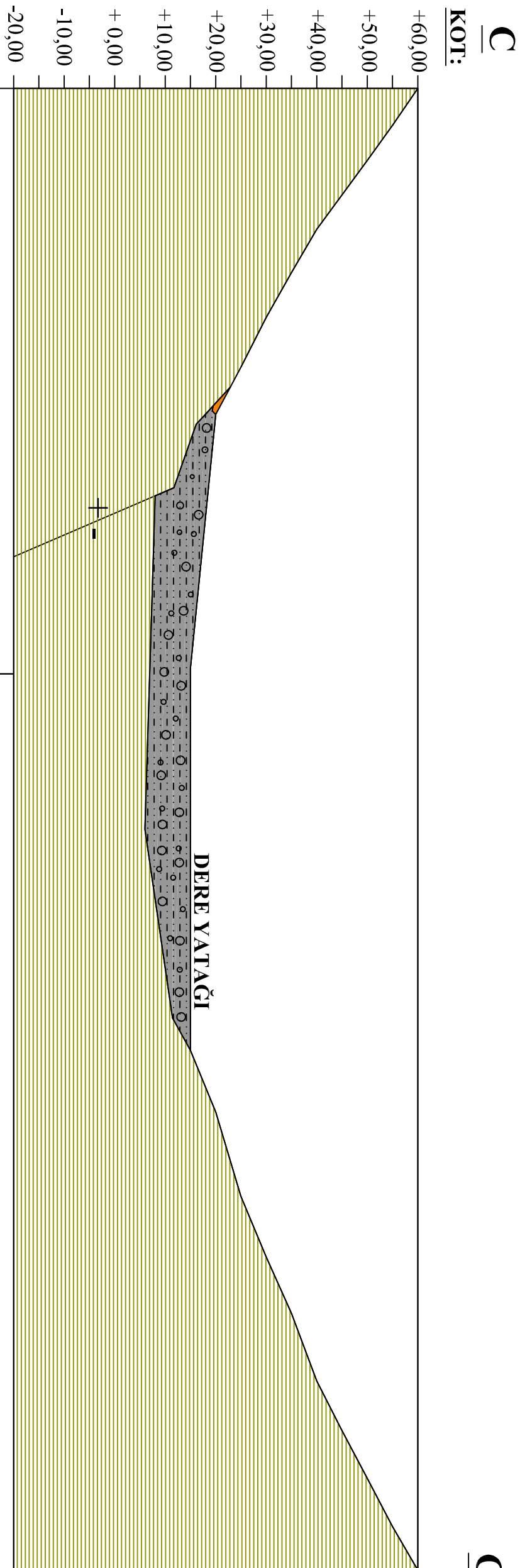
KRETASE - PERIDOTIT



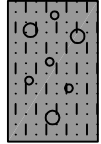
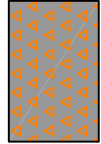
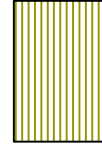
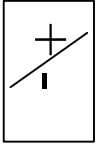
EĞİM ATIMLI FAY

**MARMARİS BARAJI PROJESİ****BARAJ YERİ  
B-B' JEOLOJİK ENKESİTİ****ÖLÇEK:  
1/1000**

C'



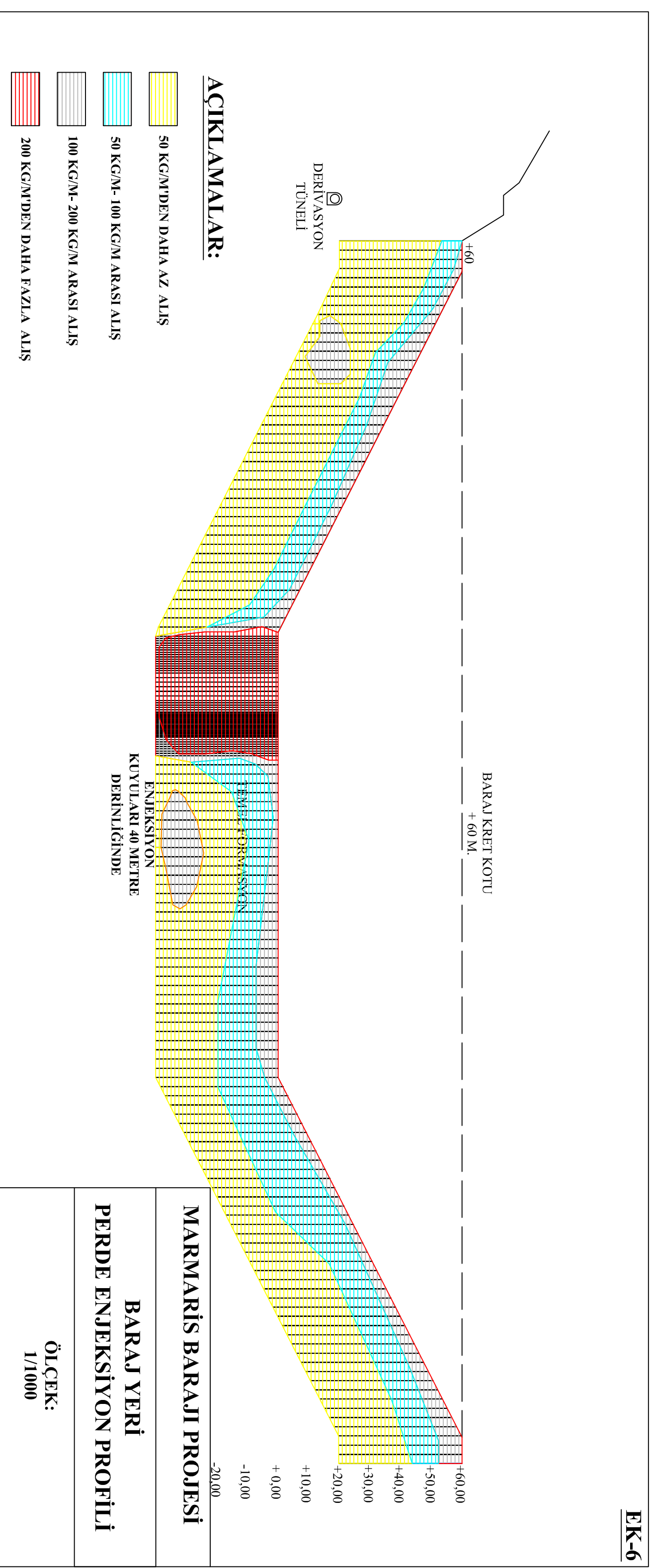
**AÇIKLAMALAR:**

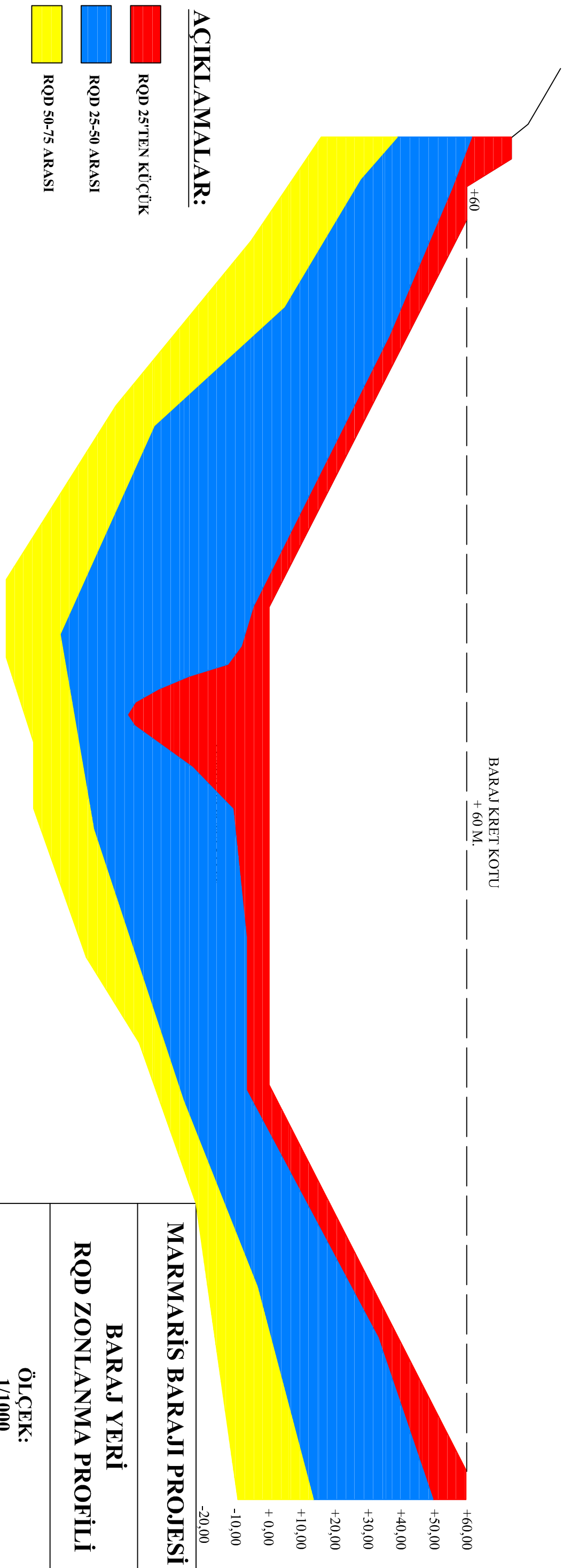
-  KUVATERNER ALÜVYON
-  KUVATERNER YAMAÇ MOLOZU
-  KRETASE - PERIDOTIT
-  EĞİM ATIMLI FAY

**MARMARİS BARAJI PROJESİ**

**BARAJ YERİ  
C-C' JEOLOJİK ENKESİTİ**

**ÖLÇEK:  
1/1000**

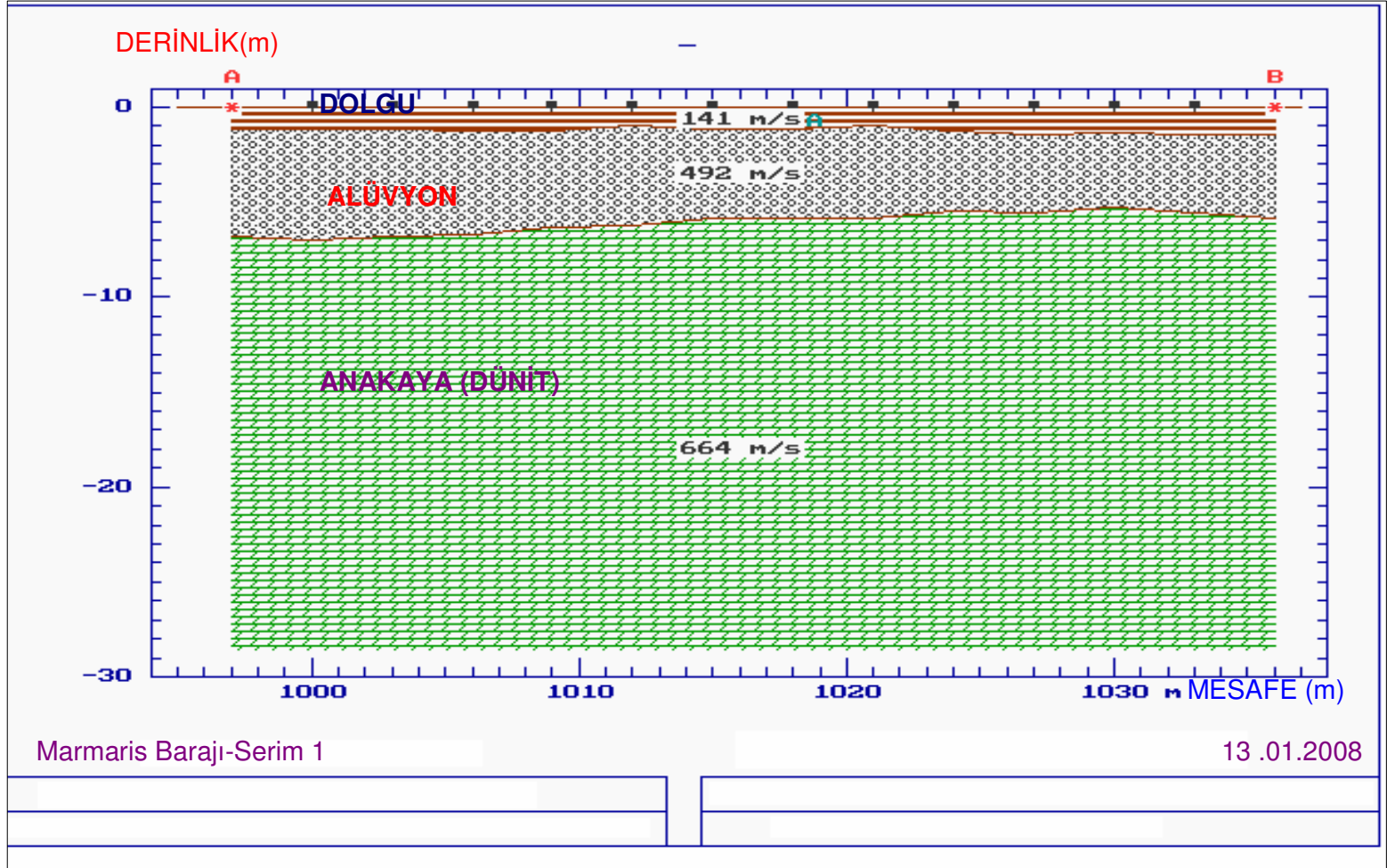




**MARMARİS BARAJI PROJESİ**

**BARAJ YERİ  
RQD ZONLANMA PROFİLİ**

**ÖLÇEK:  
1/1000**



EK-7 SİSMİK ZEMİN PROFİLİ (ÖLÇEKSİZ-ÖLÇÜLER ÜZERİNDE)

**EK-8**  
**+20 VE +40 KOTLARINDA MEYDANA**  
**GELEN OTURMA GRAFİKLERİ**

