

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

GELİNGÜLLÜ (YOZGAT) BARAJINDAKİ RİPRAP
MALZEMESİNİN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ

Mehmet Önder ATAY

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ersin KOLAY

Yozgat 2018

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70111110004 numaralı öğrencisi Mehmet Önder ATAY' ın hazırladığı "Gelingüllü (Yozgat) Barajındaki Riprap Malzemesinin Jeomekanik Özelliklerinin Belirlenmesi" başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 25/06/2018 Pazartesi günü saat 14.00' da yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Nursel ÖKSÜZ



Jüri Üyesi (Danışman) : Doç. Dr. Ersin KOLAY



Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ORHAN



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 27.6.2018 tarih ve 25. sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

29.6.2018


Prof. Dr. Fuat KÖKSAL
Müdür

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
1. 1. Amaç ve Kapsam	1
1. 2. Önceki Çalışmalar	2
1. 3. Barajlar	3
1.3.1. Baraj Türleri	4
1.3.2. Dolgu Barajlar	7
1.3.2.1. Homojen Gövdeli Barajlar	8
1.3.2.2. Zonlu Dolgu Barajlar	8
1.3.2.2.(1) Kum-Çakıl Dolgu Barajlar	9
1.3.2.2.(2) Kaya Dolgu Barajlar	10
1.3.2.2.(3) Karışık Zonlu Dolgu Barajlar	11
1.3.3. Ön Yüzü Beton Kaplamalı Dolgu Barajlar	12
1. 4. Riprap Malzemesi.....	14
2. ÇALIŞMA ALANIYLA İLGİLİ BİLGİLER	20
2. 1. İnceleme Alanının Yeri ve Konumu	20
2. 2. İklim ve Bitki Örtüsü	20

2. 3. Gelingüllü Barajının Genel Özellikleri	21
2. 3. Baraj Bölgesinin Jeolojisi	21
3. MATERYAL VE METOD	26
4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	29
4. 1. Yoğunluk-Birim Hacim Ağırlık Deneyi	29
4. 1. 1.Gerekli Araç-Gereçler	29
4. 1. 2. Yöntem.....	29
4. 1. 3. Hesaplamalar.....	30
4. 2. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi	30
4. 2. 1.Gerekli Araç-Gereçler	30
4. 2. 2. Yöntem.....	30
4. 2. 3. Hesaplamalar.....	30
4. 3. Ultrasonik Hız Deneyi	31
4. 3. 1.Gerekli Araç-Gereçler	31
4. 3. 2. Yöntem.....	31
4. 3. 3. Hesaplamalar.....	32
4. 4. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi	33
4. 4. 1.Gerekli Araç-Gereçler	33
4. 4. 2. Yöntem.....	34
4. 4. 3. Hesaplamalar.....	36
4. 5. Serbest Basınç Deneyi	37
4. 5. 1.Gerekli Araç-Gereçler	37
4. 5. 2. Yöntem.....	38
4. 5. 3. Hesaplamalar.....	38

4. 6. Schmidt Çekici Deneyi	39
4. 6. 1. Gerekli Araç-Gereçler	39
4. 6. 2. Yöntem.....	39
4. 6. 3. Hesaplamalar.....	39
4. 7. Sodyum Sülfat (NaSO ₄) Don Kaybı Deneyi	40
4. 7. 1. Gerekli Araç-Gereçler	40
4. 7. 2. Yöntem.....	40
4. 7. 3. Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi.....	41
5. MİNERALojİK VE PETROGRAfİK İNCELEMELER	42
5. 1. Petrografik İncelemeler	42
5. 2. XRD Analizi.....	44
6. JEOKİMYASAL İNCEMELER	47
7. BLOKLARIN KÖŞELİLİĞİ VE PÜRÜZLÜĞÜ	51
8. FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ	53
9. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	60
10. KAYNAKLAR	64
11. ÖZGEÇMİŞ	67

GELİNGÜLLÜ (YOZGAT) BARAJINDAKİ RİPRAP MALZEMESİNİN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet Önder ATAY

Bozok Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

2018; Sayfa: 81

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ersin KOLAY

ÖZET

Rıprap, toprak gövdeli barajların memba şevini korumak için yerleştirilen bir örtü tabakasıdır. Baraj gövdesinde rıprap malzemesi olarak kullanılacak kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirli sınır değerleri sağlaması gerekir. Fiziksel ve kimyasal bozunmalar etkisiyle kayaçların mineralojik, fiziksel ve mekanik özellikleri değişmekte, başlangıçta rıprap malzemesi için uygun sınırlar içerisinde olan fiziksel ve mekanik özellikleri bu sınırların dışına çıkabilmektedir. Sınırların dışına çıkan değerler baraj için problem oluşturmaktadır. Çalışma alanında karasal iklim hakim olduğundan, rıprap olarak kullanılan kayaçlar yoğun donma-çözünme etkisindedir. Bu tez kapsamında, Gelingüllü barajı gövdesinde rıprap malzemesi olarak kullanılan kayaçların jeolojik, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Blokların kenar zonlarının, özellikle sulu zonlardaki blokların (A, B, C) daha fazla killeşme, serisitleşme, hidrobiyotitleşme gösterdiği ve mikro çatlak içerdiği anlaşılmıştır. A zonundaki bloklar bozunma ve dalga etkisiyle yuvarlaklaşmıştır. Blokların kuru yoğunluk, su emme ve serbest basınç dayanımlarının ortalama değerleri tüm zonlarda kabul edilebilir sınırlar içindedir. Bununla birlikte, su etkisindeki A, B, ve C zonlarında bazı bloklarda mühendislik parametrelerinin sınır değerlerin dışına çıktığı gözlenmiştir. Kuru zonda (D) ise tüm parametreler kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır. A, B ve C zonlarında blokların gözeneklilik değerlerinde artış gözlenmiştir. Gözenekliliğin artması, göl suyu ile temas halinde olan bu zonlardaki blokların, bölgeyi etkileyen ıslanma-kuruma ve donma-çözülme gibi fiziksel etkilerden daha fazla etkilenmesine sebep olacaktır. Bu da blokların parçalanmasını ve zayıflamasını hızlandıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Rıprap, Gelingüllü barajı, toprak baraj, granit, Yozgat

**DETERMINATION OF THE GEOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF RIPRAP
MATERIALS IN GELİNGÜLU (YOZGAT) DAM**

Mehmet Önder ATAY

**Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering
Master of Science Thesis**

2018; Page: 81

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ersin KOLAY

ABSTRACT

Riprap is a cover layer that is placed to protect the upstream slope of the earth-dwelling dams. The physical and mechanical properties of the rocks to be used as riprap material in the dam body should have certain limit values. Mineralogical, physical and mechanical properties of the rocks change due to the physical and chemical degradation effects and the physical and mechanical properties of the rocks which are within the limits for riprap material initially can go beyond these limits. The values outside the boundaries constitute problems for the dam. The continental climate is dominant in the region, and the rocks used as riprap are intense frost-dissolving effect. In this study, geological, physical and mechanical properties of rocks used as riprap material in Gelingüllü dam body have been investigated. It has been understood that the marginal zones of the blocks, and especially the blocks of the aqueous zones (A, B, C), show more mating, sericitization, hydrobiotization and microcracking. Blocks in the A zone rounded by wave action and weathering. The average values of the dry density, the water absorption and the compressive strength of the blocks in all zones, are within acceptable limits. However, it was observed that the engineering parameters of some blocks in A, B, and C zones affected by the dam water are out of the acceptable limits. All engineering parameters remained within the acceptable limits in dry zone (D). Rocks in the A, B and C zones have higher porosity values than D zone. The increase in porosity can enhance the impact of wetting-drying and freezing-thawing on the riprap blocks. This will accelerate the degradation and weakening of the blocks.

Key words: Riprap, Gelingüllü Dam, earth dam, granite, Yozgat

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yön gösteren çok değerli hocam Doç. Dr. Ersin KOLAY'a sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmamıza destek olan Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine, DSİ 123.Şube (Yozgat) Müdürü Avni YILMAZ ve harita teknikeri Mustafa ATİK' e teőekkürlerimizi sunarız.

Personeli olmaktan gurur duyduğum Devlet Su İşleri nezdinde başta Genel Müdürlüğümüz ve bağlı olduğum DSİ 4. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına, çalışma alanımın sorumluluk sahasına düşen DSİ 12. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına verdikleri her konudaki bilgi ve destekleri için teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecinde manevi desteğini ve sevgisini esirgemeyen çok sevgili eşim Hatice BİLEN ATAY' a ve aileme teşekkür ederim..

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1: Dolgu barajlarda tipik zonlar, işlevleri ve karakteristikleri.....	13
Tablo 1.2: Riprap malzemenin riprap kalınlığına bağlı granülometresi.....	18
Tablo 1.3: Kaya boyutu (D_{50}) değerleri.....	18
Tablo 1.4: Riprap olarak kullanılacak bloklara uygulanacak deneyler ve limitler...	19
Tablo 2.1: Gelingüllü Barağının karakteristik özellikleri.....	21
Tablo 6.1: Zonlardaki bloklara ait XRF analiz sonuçları.....	48
Tablo 6.2: Blokların günlenme durumlarını belirlemek için hesaplanmış kimyasal günlenme indisleri.....	49
Tablo 8.1: Riprap zonlarında alınan (A,B,C,D) ve dolu savak kazısının yüzeyinden (o) alınan örneklere ait kuru yoğunluk, görünür gözeneklilik ve ağırlıkça su emme değerleri.....	53
Tablo 8.2: Blokların Serbest Basınç Dayanım (UCS) sonuçları.....	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Bağbaşı Barajı.....	6
Şekil 1.2: Ermenek Barajı.....	6
Şekil 1.3: Güneysınır Alanözü Barajı.....	7
Şekil 1.4: Homojen gövdeli baraj kesiti örneği.....	8
Şekil 1.5: Kil Çekirdekli yarı geçirimli kum-çakıl dolgu tipi baraj kesiti örneği.....	9
Şekil 1.6: Eğik kil çekirdekli kum-çakıl dolgu tipi baraj kesiti örneği.....	10
Şekil 1.7: Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu tipi baraj kesiti örneği.....	10
Şekil 1.8: Eğik kil çekirdekli kaya dolgu tipi baraj kesiti örneği.....	11
Şekil 1.9: Karışık zonlu dolgu tipi baraj kesiti örneği.....	12
Şekil 1.10: Kaya dolgu malzemesinin tahkimat olarak kullanılması.....	14
Şekil 1.11: Kaya dolgu malzemesinin anroşman olarak kullanılması.....	14
Şekil 1.12: Kaya malzemesinin barajlarda memba tarafında riprap, mansap tarafında kaya dolgu olarak kullanılması.....	15
Şekil 1.13: Suğla Depolaması.....	15
Şekil 1.14: Hadim Bolat Göleti.....	16
Şekil 1.15: Riprap olarak kullanılacak beton bloklar ve beton döşemeler.....	16
Şekil 2.1: Gelingüllü barajı yer bulduru haritası.....	20
Şekil 2.2: Baraj bölgesi ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	22
Şekil 3.1: Baraj gövdesinin memba yüzeyinin genel görünümü ve riprap bloklarının suya maruz kalma sürelerine göre ayrılması.....	27
Şekil 3.2: Riprap Bloklarından silindirik örneklerin hazırlanması.....	28

Şekil 3.3:	Rıprap bloklarının mühendislik parametrelerini belirlemek üzere hazırlanmış örneklerin bir kısmı.....	28
Şekil 4.1:	Nokta Yükleme Deney Aleti.....	34
Şekil 4.2:	Konik Yükleme Başlığı.....	34
Şekil 4.3:	Örnek Şekilleri: (a) çapsal, (b) aksenal, (c) blok ve (d) düzensiz şekilli örnekler.....	35
Şekil 5.1:	A zonundaki blokların kenar (k) ve orta (o) kısımlarından alınan imce kesit görüntüleri.....	42
Şekil 5.2:	A (a) ve B (b) zonlarındaki karot örneklerinin blok yüzeyine yakın kısımlarında bozunmalara bağlı renk değişimleri.....	43
Şekil 5.3:	D zonundaki blokların kenar (k) ve orta (o) kısımlarından alınan imce kesit görüntüleri.....	43
Şekil 5.4:	A zonunda kenar (a) ve orta (b) kısımların XRD sonuçları.....	44
Şekil 5.5:	B zonunda kenar (a) ve orta (b) kısımların XRD sonuçları.....	45
Şekil 5.6:	D zonunda kenar (a) ve orta (b) kısımların XRD sonuçları.....	46
Şekil 6.1:	Zonlarda ortalama temel oksit değerlerine göre hesaplanan MWPI, SAR ve LOI değerleri.....	50
Şekil 6.2:	Zonlarda ortalama temel oksit değerlerine göre hesaplanan CIW ve Wp değerleri.....	50
Şekil 6.3:	Zonların kenar (k) ve orta (o) kısımları için hesaplanan CIW ve LOI değerleri.....	50
Şekil 7.1:	Rıprap bloğunun Fraktal boyut değerinin hesaplanması.....	52
Şekil 7.2:	Baraj gövdesindeki zonlara göre Fraktal boyut değerleri.....	52
Şekil 8.1:	Zonların kuru yoğunluk değerleri.....	54
Şekil 8.2:	Zonların görünür gözeneklilik değerleri.....	54
Şekil 8.3:	Schmidt sertlik deneylerine ait geri sıçrama değerleri (N).....	55
Şekil 8.4:	Farklı zonlardaki örneklerin ultrasonik hız (V_p) değerleri.....	55

Şekil 8.5:	Farklı zonlardaki örneklere ait nokta yükü dayanım indeksi değerleri.....	56
Şekil 8.6:	A (a), B (b), C (c) ve D (d) zonları ile ocaktan alınan bloklarının (e) kenar ve ortak kısımlarına ait nokta yükü dayanım indeksi değerleri.....	56
Şekil 8.7:	A (a), B (b), C (c) ve D (d) zonları ile ocaktan alınan bloklarının (e) kenar ve ortak kısımlarına ait serbest basınç dayanım (UCS) değerleri değerleri ..	57
Şekil 8.8:	A,B,C ve D zonları ile Ocak (o) örneklerinin serbest basınç dayanımları....	58
Şekil 8.9:	Donma ve Çözünmeye karşı direnç tayini deney sonuçları.....	59



KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: American Society for Testing and Materials
CIW	: Kimyasal Günlenme İndisi
DSİ	: Devlet Su İşleri
EİE	: Elektrik İdaresi İşleri Etüt İdaresi
ICOLD	: Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu
ISRM	: International Society for Rock Mechanics
LOI	: Ateşte Kayıp Değerleri
MWPI	: Değiştirilmiş Günlenme Potansiyel İndeksi
SA	: Silika Alümina Oranı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UCS	: Serbest Basınç Dayanımı
Wp	: Parker İndisi
XRD	: X Işını Difraktometresi
XRF	: X Işını Floresans Spektrometresi

1.GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Baraj, tünel, yol ve bina gibi mühendislik projeleri, belirli amaçlar için inşa edilirler ve uzun yıllar bu amaçlar doğrultusunda kullanılırlar. Bu nedenle, yapıların kullanım ömrü boyunca görevini güvenli bir şekilde yerine getirmesi beklenir. Zaman içinde kullanım koşullarına ve çevresel etkilere bağlı olarak yapının ve yapıyı oluşturan elemanların özelliklerini değiştirmemesi gerekir. Mühendislik projelerinde birçok kayaç türü, kolay ulaşılabilirlik, ekonomik olması ve yeterli dayanıma sahip olması gibi özelliklerden dolayı yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Doğal yapı malzemelerinin en yoğun olarak kullanıldıkları mühendislik yapılarından birisi de dolgu gövdeli barajlardır. Dolgu gövdeli barajların özellikle memba şevlerinin rüzgâr ve dalga aşındırmasından korunması gereklidir. Şev yüzeyinde böyle bir koruma ya beton kaplama inşası ya da riprap kaplama ile sağlanır (Bell, 2004). Deniz içi yapılarda dalga kıran ve deniz suyu etkisinden korunmak için kullanılan iri kaya bloklarına Anroşman denir (Sevdinli, 2005). Kıрма taş yüksek kaliteli ve ucuz olması sebebiyle, toprak dolguları dalga etkisinden korumada en çok kullanılan malzemedir (Ahrens, 1981). Doğal yapı malzemelerinin yapılarda kullanıldıkları yerlerde, kullanım koşullarından ve çevresel etkilerden dolayı zamanla özelliklerinde bozunma ve zayıflama zayıflama olmaması beklenir. Buna taşın duraylılığı denir. Sonuç olarak, mühendislik projelerinde kullanılan doğal yapı malzemelerinin sağlam olmasının yanında, gelecekte yapının görevini güvenli ve ekonomik bir şekilde sürdürebilmesi için duraylı olması da gerekmektedir.

Bu çalışmada, Yozgat ilinde 20 yılı aşkın süredir kullanımda olan Gelingüllü Barajı' nın riprap katmanındaki kaya blokların şu andaki durumları incelenmiştir. Gelingüllü Barajı' nın inşaatı sırasında, aks çevresinden toplanan granitik kaya blokları riprap malzemesi olarak kullanılmıştır. İnceleme alanında sert karasal iklim hakim olup, yılda 25-30 kez donma-çözülme olayı gerçekleşmektedir. Gelingüllü Barajı' nda riprap malzemesi olarak kullanılan granitik blokların 20 yılı aşkın süreç sonucunda içyapısında ve dayanımında meydana gelen kimyasal, fiziksel ve mekanik değişimler incelenmiş ve sınır değerlerin neresinde olduğu araştırılmıştır.

1.2. Önceki Çalışmalar

Riprap malzemesinin suyun aşındırma etkisine olan direnci; ortalama büyüklük, şekil, tane dağılımı, gözeneklilik ve birim ağırlık gibi malzeme özelliklerine, ayrıca hidrolik karakteristiklere veya gövde mansap yüzünün eğimi ve birim debiye bağlı olarak değişmektedir. Kaş ve Yıldız (2002) köşeli taşların köşeli olmayan taşlara göre boşlukların dolması açısından avantaj sağladığını belirtmektedir. Akçalı ve Arman (2008), baraj dolgularında kullanılan doğal malzemenin seçim kriterleri ve limit aşımının doğuracağı tehlikeler konusunda araştırma yapmışlardır. Laboratuvar deneyleri, limit değerler, limit aşımının sakıncaları konuları hakkında bilgiler vermiştir.

Latham (1998); kayaç türü, yoğunluk, su emme, bozunma derecesi, zayıflık düzlemleri ve aşınma direncine göre anroşman (riprap) kalitesini incelemiş ve değerlendirmiştir.

Thorne vd. (1995) ise, belli bir projenin tasarım aşamasında anroşman olarak kullanılacak kaya malzemesinin boyut, derecelenme, şekil, yoğunluk, su emme, aşınma direnci, çarpma direnci, dayanım ve kararlılık gibi özelliklerinin göz önüne alınması gerektiğini belirtmektedir.

Doğal yapı taşları, doğal veya insan kaynaklı etkilerle zayıflatılmaya ve parçalanmaya maruz kalmaktadır. Bu etkiler anlık, tekrarlı ve zaman içinde yavaş yavaş olabilmektedir. Kayaçları bozunmaya uğratan fiziksel etkilerin en önemlileri tuz kristallenmesi, ıslanma-kuruma, ısınma-soğuma ve donma-çözülmedir. Acır (2007), Doğu Karadeniz limanlarında kullanılan anroşman kayaçlarında, deniz suyunun ve dalganın etkisiyle killeşme, tuzlanma, ufalanma, çatlama gibi aşınmaların oluştuğunu ve anroşmanın görev yapamaz duruma geldiğini belirtmektedir.

Çetin vd. (2000), Atatürk Barajının gövdesinde kullanılan vesiküler dokulu bazaltlar sebebiyle gövdede kayda değer boyutlarda faklı oturmaların meydana geldiğini belirtmektedir. Yakın tarihte farklı etkiler sonucunda yıkılan veya hasar gören barajların yarısına yakını, gövde inşaatında kullanılan doğal yapı malzemesi problemlerine bağlı olarak yıkılmıştır (Akçalı ve Arman, 2008; Baykan ve Saf, 2004). Biswas ve Chatterjee (1971), baraj yıkılmalarının %40' nın kötü inşaat malzemesi kullanımı, dalga etkisi ve yetersiz bakım gibi sebeplerden gerçekleştiğini belirtmektedir.

Ergüler ve Shakoor (2009), donma-çözülmenin kayaç parçalanmasında ısınma-soğumadan daha etkili bir iklim olayı olduğunu belirtmektedir. Donma-çözülme sonucunda kayaçların parçalanması, yollar, demiryolları, boru hatları ve bina inşaatı gibi bazı projeler için çok

önemli olduğu bilinmektedir. (Zhang vd., 2004; Grossi vd., 2007). Gözenek suyu kayacın içerisinde 0°C 'nin altında donduğunda, hacminde %9 artış olur ve bu durum muazzam bir boşluk suyu basıncı artışı oluşturur (Rahn, 1996; Bell, 2004). Donma şartları altında boşluk hidrostatik basınç kayacın çekme dayanımından daha büyüktür ve bu da ilksel çatlakların oluşması için yeterlidir (Lienhart, 1988). Su gözenek içinde -22°C' de donup katılaştığında 200MPa basınç uygular. Kayacın tane boyutu arttıkça donmaya karşı direnci de artmaktadır (Bell, 2004). Takarli vd. (2008) granit gibi kristalin kayalarda küçük sıcaklık değişimlerinin bile termal kırılmaya sebep olduğunu belirtmektedir. Şevli dalgakıranların koruyucu tabakalarında meydana gelen hasar genel olarak koruyucu tabakayı oluşturan bloklardan hareket edenlerin sayılması ya da şev eğiminin aşınan yüzey profilinin başlangıç profili ile karşılaştırılmasıyla belirlenmektedir (CEM, 2006).

Literatürde, riprap malzemelerinin sahip olması gereken özelliklerinden bahsedilmiş ve bu özelliklerin önemi vurgulanmıştır. Barajlar uzun yıllar hizmet veren projeler olarak tasarlanmaktadır. Bu süre içerisinde buldukları bölgenin özelliklerine göre iklim koşulları, su etkisi, deprem vb. etkenler baraj rezervuarındaki kayaları ve gövde inşaatında kullanılan doğal yapı taşlarını etkileyecektir. Bu etki doğal yapı taşlarının dayanımını azaltma yönünde olmaktadır. Dayanım kaybının oranı, zamana, dış etkenin ve doğal yapı materyalinin özelliğine bağlıdır. Coduto (1998), baraj mühendisliğinin geleceğinde, küçük barajların yapımı ile mevcut barajların bakımının ve güncelleştirilmesinin önemli yer tutacağını belirtmektedir.

1.3. Barajlar

Bir akarsu üzerine, enerji üretimi, içme, kullanma ve sulama suyu temini, taşkın önleme ve akarsuların düzenlenmesi gibi amaçlar için inşa edilen mühendislik yapılarına baraj denir (Erguvanlı, 1982). Bir başka tanımda barajlar, sulama, içme suyu, endüstriyel su temini ve elektrik üretimi için rezervuar oluşturulması, taşkın kontrolünün sağlanması, rekreasyon alanlarının oluşturulması ile maden ve metalurji sanayinde atık madde depolanması gibi amaçlarla yapılan ve vadi önlerinin kapatılmasıyla oluşturulan, değişik tipte ve değişik malzemelerden inşa edilen büyük boyutlu istinat yapıları olarak ifade edilmiştir (Tosun, 2004).

Akarsuları tutmak ve toplamak için yeryüzünde yapılan en eski barajın Dicle üzerinde yapılmış Maruk toprak barajı olduğu söylenmektedir. Akışı düzenlemek ve taşkınları

önlemek amacı ile tarih öncesi devirde yapılan bu barajdan 13. yüzyılın sonuna kadar yararlanılmıştır. Yeryüzünde taştan yapılan ilk kâgir baraj ise Nil nehrinin sularını çevirmek ve şehre içme suyu sağlamak için Menfiz şehrinin 20 km güneyinde, M.Ö. 4000 yılında yapılan barajdır. Bu barajdan 4-5 bin yıl yararlanılmıştır. Bu gün İspanya’da, çok eskiden inşa edilmiş olup bugün de kullanılan barajlar vardır. Bunların en eskisi 1384 yılında Araplar tarafından yapılmış olan, Almansa Barajıdır. Bu tarihe kadar yapılan barajlarda bugünkü tekniğin gerektirdiği hesaplar yapılmış değildir. Modern hidrolik hesaplara göre yapılan ilk baraj Fransa’da Chartrain (1888-1892)’dir. İlk beton ağırlık barajı ise 1887 – 1888’de Kaliforniya’da inşa edilen Sen Mates Barajıdır. 19. yüzyılın sonunda ve 20. yüzyılın başında yüksek enerji ve içme suyu elde etmek, sulama yapmak ve taşkın önlemek amacı ile kısa zamanda çeşitli tiplerde yüksek barajlar inşa edilmeye, emniyet ve maliyet bakımından ayrıntılı etütler yapılmaya başlanmıştır (Erguvanlı, 1982).

Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından 2015 yılı sonu itibariyle yapılan veya yaptırılan küçük su işleri kapsamında inşa edilen gölet sayısı 737, büyük su işleri kapsamında inşa edilen baraj ve HES sayısı 316’dır (DSİ, 2016).

1.3.1 Baraj Türleri

Erguvanlı (1982)’ya göre barajlar 4 tipte sınıflandırılmıştır. Bunlar;

1. Yüksekliklerine (H) ve göl hacimlerine (V) göre:

- a) Gölet: $H < 10 \text{ m}$ ve $V < 50.10^4 \text{ m}^3$
- b) Ufak baraj: $10 \text{ m} < H < 15 \text{ m}$, $5.10^4 < V < 1.10^6 \text{ m}^3$
- c) Büyük baraj: $H > 15 \text{ m}$, $V > 1.10^6 \text{ m}^3$.

2. Tarihi geçmişine göre, Urartulular, Romalılar, Osmanlı Türkleri tarafından yapılan barajlar diye adlandırılırlar.

3. Kent ve kasabalara içme suyu sağlamak, enerji üretmek, taşkın önlemek ya da sulama yapma amaçlarına göre ve

4. Yapımlarında kullanılan malzemeye ve yapılış şekline göre Kagir, Beton, Toprak, Kaya dolgu, Kaya-Toprak karışımı, Ahşap ve Çelik barajlar şeklinde sınıflandırılmıştır.

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD)’a göre baraj türleri ise;

- a) Kreti ile temeli arasındaki yükseklik 15 m’den fazla olan barajlar
- b) Yüksekliği 10-15 m arasında olan ve ayrıca
 - o Kret uzunluğu $> 500 \text{ m}$

- Hazne hacmi $> 1.10^6 \text{ m}^3$
- En büyük taşkın debisi $> 1000 \text{ m}^3/\text{s}$

olma özelliklerinden en az birisini taşıyan barajlar büyük baraj olarak.

- c) Büyük baraj tanımının dışında kalan su yapıları Gölet (Küçük baraj) olarak isimlendirilir.

Baraj büyüklüklerine göre sınıflandırmada Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 1996-04 genelgesinde talvegden yüksekliği $< 15\text{m}$ ve depolama hacmi $< 3 \text{ hm}^3$ olan depolama tesislerini *gölet*, talvegden yüksekliği $> 15\text{m}$ ve depolama hacmi $> 3 \text{ hm}^3$ olan depolama tesislerini ise *baraj* olarak tanımlamıştır. Ancak 2016-03 genelgesinde ise küçük depolama tesislerinin taleplerini karşılayabilmek ve yeni teknolojilerle proje süreçlerini kısaltılması amacıyla gölet sınıflandırılması revize edilmiştir. Bu genelgeye göre talvegden yüksekliği $\leq 15 \text{ m}$ ve depolama hacmi $\leq 0,5$ milyon m^3 olan depolama tesislerini *küçük gölet*, talvegden yüksekliği $15 < H \leq 40 \text{ m}$ ve depolama hacmi $0,5 < V \leq 5$ milyon m^3 olan depolama tesislerini ise *gölet* olarak tanımlamıştır (DSİ, 2016).

Ayrıca diğer çalışmalarda da barajlar; baraj gövdesinde kullanılan malzemenin türü, baraj gövdesinin özellikleri ve sekline göre:

- **Dolgu barajlar (Şekil 1.1)**
 - a) Homojen gövdeli
 - b) Zonlu dolgu
 - *Kum Çakıl dolgu*
 - *Kaya dolgu*
 - *Karışık zonlu dolgu*
 - c) Ön yüzü betonarme kaplı kaya dolgu
- **Beton barajlar**
 - a) Beton ağırlık
 - b) Payandalı
 - c) Beton kemer (Şekil 1.2)
 - d) Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (Şekil 1.3)

olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1.1. Bağbaşı Barajı – Konya (DSİ, 2015).



Şekil 1.2. Ermenek Barajı – Karaman (DSİ, 2015).



Şekil 1.3. Güneysınır Alanözü Barajı – Konya (DSİ, 2018).

1.3.2 Dolgu Barajlar

Dolgu Barajlar, gövdelerini kaya, kum-çakıl ve kil gibi doğal malzemelerin oluşturduğu barajlardır. Bu tip barajlar zeminin yeterince sağlam ve homojen olmaması ya da diğer tip barajların inşasının ekonomik düzeyde olmaması halinde tercih edilir.

Gövde mansap eteğini toparlamak için dolgu şevini dikleştirmek, baraj aksındaki jeolojik olumsuzluklardan kil çekirdek temelini kaçırmak veya kil malzemenin miktarını azaltmak için kil çekirdeğin temelini membaya kaydırmak gerekebilir. Kil çekirdeği bu şekilde tasarlanan barajlar “ Eğik Kil Çekirdekli Dolgu Barajlar” olarak adlandırılır (DSİ, 2012).

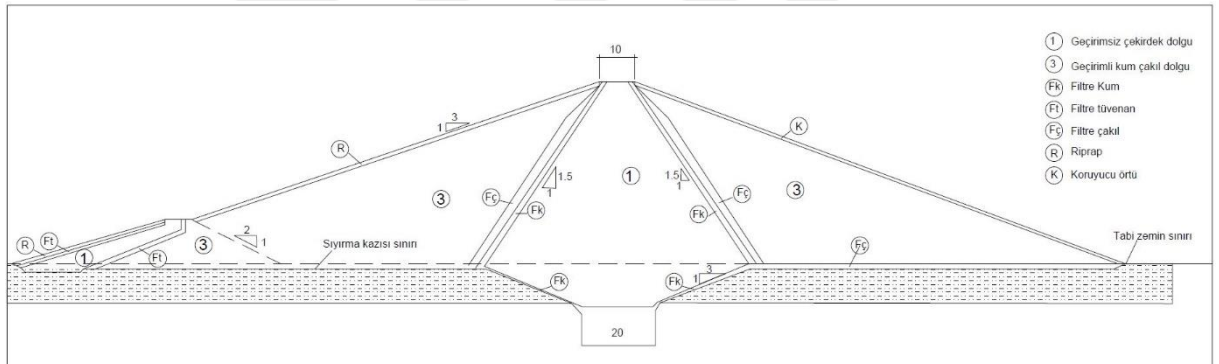
Toprak dolgu barajlar, bugün en genel kullanımı olan baraj tipini oluşturmaktadır. Çünkü esas olarak barajın inşası en az işlemi gerekli kılan tabii durumdaki malzemenin kullanımını ihtiva etmektedir ve işçiliğin ucuz, demir ve çimentonun az olduğu ülkeler için tercih sebebidir. Üstelik toprak dolgu barajlar, diğer tiplere göre daha az zorluklu zemin problemlerine sahiptir. Özellikle sulama için suyun depolanmasının esas olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde bu tip barajların inşası; bazı üstünlüklerinde dolayı tercih edilmektedir. Toprak dolgu barajlar, rezervuardaki fazla suyun tahliyesi için dolusavak gibi hizmet görecekle ilave yapıları gerekli kılmaktadır (Dinçergök, 1995).

Baraj yerinin topografyası, jeolojisi ve temel şartları (temeldeki alüvyonun granülometresi, kalınlığı ve taşıma gücü vb.), baraj yüksekliği, baraj dolgusunda kullanılacak malzemenin fiziksel özellikleri, miktarı, taşıma mesafesi, deprem durumu vb. göz önüne alınarak baraj

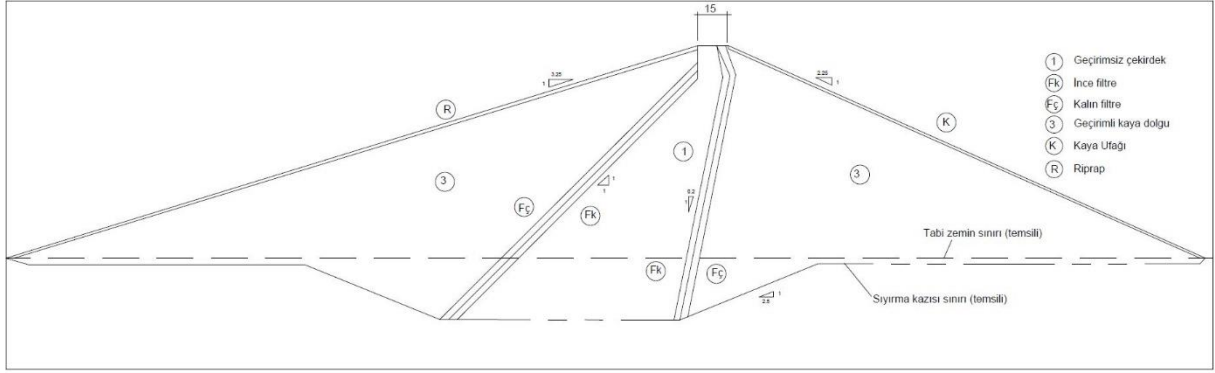
Riprap gövdenin memba şevinde dolguyu su etkisinden korumak için mansap şevinde ise baraj gövdesini dış etkenlerden muhafaza etmek için koruyucu tabaka konulmaktadır.

1.3.2.2 (1) Kum Çakıl Dolgu Barajlar

Barajın kabuk zonları; yarı geçirimli veya geçirimli, kum - çakıl ve benzeri nispeten ince daneli malzemelerden oluşturulmuştur. Baraj gövdesinin geçirimsizliği merkezi kil çekirdek veya eğik kil çekirdek ile sağlanır. Kil çekirdeğin memba ve mansap yüzlerinde kabuk dolgularının belirlediği tipte filtreler görülür. Çekirdeğin her iki tarafında çekirdeği destekleyen kabuk dolguları yer almıştır. Eğer merkezi kil çekirdek membaya doğru eğik veya ince olarak projelendirilmiş ise, mansap şevi biraz daha dikleştirilebilir. Barajın şevlerini korumak amacıyla memba ve mansap şevlerinde kabuk dolgu malzemesine göre gerekli zonlar oluşturulur (DSİ, 2012).



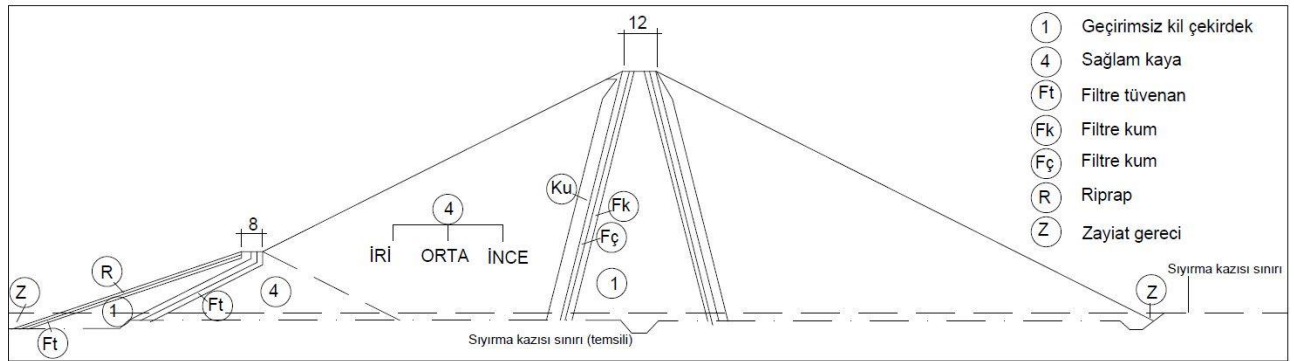
Şekil 1.5. Kil Çekirdekli Yarı Geçirimli Kum – Çakıl Dolgu Tipi baraj kesiti örneği (DSİ, 2012).



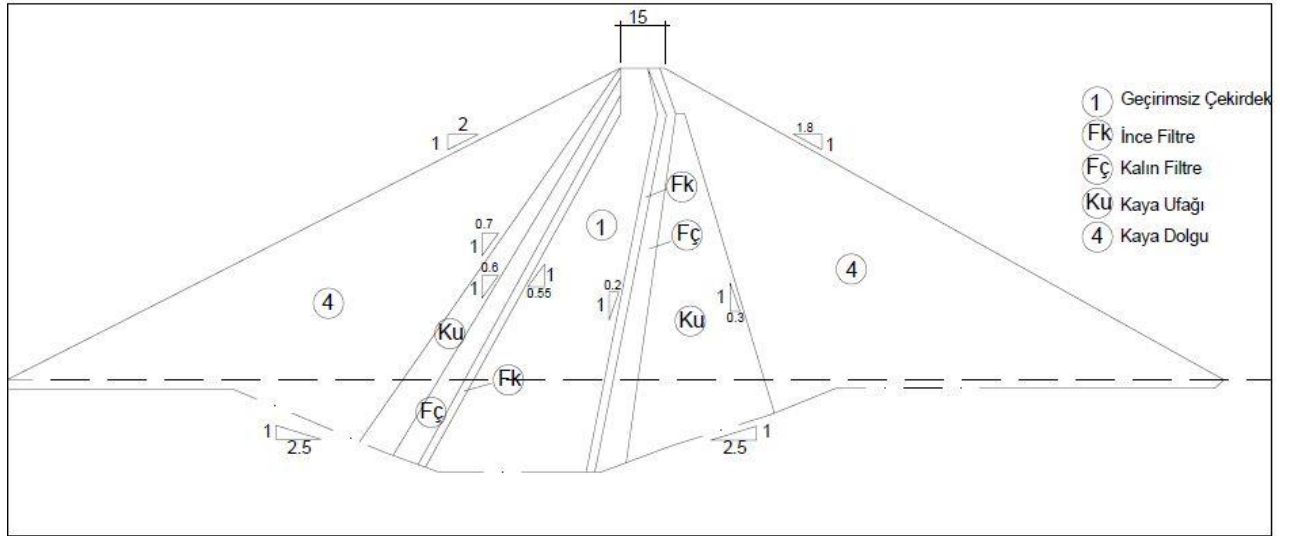
Şekil 1.6. Eğik Kil Çekirdekli Kum Çakıl Dolgu Tipi barajı kesiti örneği(DSİ, 2012).

1.3.2.2 (2) Kaya Dolgu Barajlar

Kaya dolgu tipi gövdelerde barajın kabuk zonları, kaya malzemeden oluşturulmuştur. Baraj gövdesinin geçirimsizliği merkezi kil çekirdek veya eğik kil çekirdek ile sağlanır. Kil çekirdeğin memba ve mansap yüzlerinde kabuk dolgularının belirlediği tipte filtreler görülür. Kaya dolgu gövde tipinde kil çekirdeğin mansabında yer alan ince (Fk) ve kalın filtrelerden (Fç) sonra, filtrelerin mansap kabuğu kaya dolgusu içerisine yıkanmaması için bir geçiş tabakası oluşturulur. Bu zon kaya ufağından meydana gelir. Barajın kabuk dolgusu kaya malzemeden tasarlandığı için, barajın şevlerini korumak amacıyla memba ve mansap şevlerinde herhangi bir zona gerek duyulmamaktadır (DSİ, 2012).



Şekil 1.7. Merkezi Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Tipi baraj kesiti örneği (DSİ, 2012).

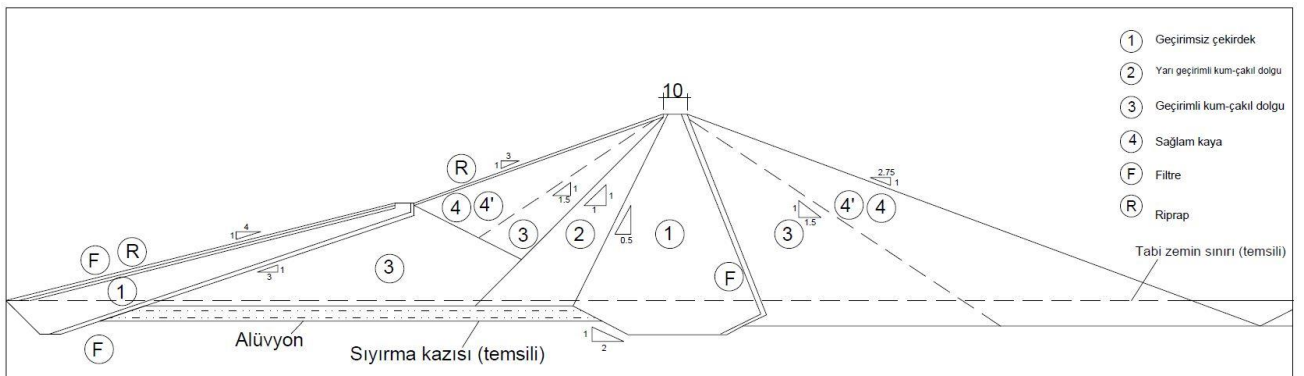


Şekil 1.8. Eğik Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Tipi baraj kesiti örneği (DSİ, 2012).

1.3.2.2 (3) Karışık Zonlu Dolgu Barajlar

Baraj tesislerinde genellikle, çeşitli amaçlar için inşa edilen yapıların kazılarında elde edilen uygun malzemelerin de ekonomik nedenlerle gövde dolgusunda kullanılma durumu vardır. Bundan dolayı karışık malzeme zonlarından oluşan gövde tiplerinin uygulama alanı geniştir.

Bu tip gövdelerde, mevcut malzemelerin (ocaktan ve kazılardan) etüdü ile teknik ve ekonomik yönden en uygun tasarım seçilir. Mevcut malzeme durumuna göre gövde memba ve mansap kabuk dolguları farklı malzemelerden oluşturulabilir. Memba kabuğunda minimum su seviyesi üstünde mümkün mertebe geçirimli malzeme kullanılmalıdır. Gövde mansap kabuk dolgusunda düşük kalitede ve az geçirimli olan malzeme, kil çekirdeğin bitiminden hemen sonra kullanılmalı yanına iyi derecelenmiş sağlam malzeme zonu oluşturulmalıdır (DSİ, 2012).



Şekil 1.9. Karışık Zonlu Dolgu Tipi baraj kesiti örneği

1.3.3 Ön Yüzü Beton Kaplamalı Dolgu Barajlar

Ön yüzü betonarme kaplı dolgu barajlarda; kil çekirdek temininin ekonomik olmadığı mesafelerde ya da yetersiz olması durumunda, geçirimsizliği sağlamak için ön yüze beton kullanılmaktadır. Bazı durumlarda ise beton yerine memba şevine jeomembran ya da asfalt uygulaması yapılmaktadır. Kil temininin mümkün olmadığı durumlarda barajların yapımında geçirimsizliği kil yerine beton ile sağlanması baraj maliyetinin düşük olması, dolgu malzemesinin atmosferik şartlardan etkilenmemesi, herhangi bir sızma durumunda onarımının kolay olması gibi avantajlarından dolayı diğer dolgu barajlarından ayrılmaktadır.

Dolgu barajlarda kullanılan tipik zonların işlevleri ve karakteristikleri aşağıdaki tablo'da verilmiştir (Tablo 1.1)

Tablo 1.1: Dolgu barajlarda tipik zonlar, işlevleri ve karakteristikleri (Tosun.H, 2004).

ZON	TANIM	İŞLEV	İNŞAAT MALZEMELERİ
1	Toprak dolgu	Baraj içindeki sızmanın kontrol edilmesi	Kil, kumlu kil, killi kum (muhtemelen çakıllı). Genellikle 75 mikrondan küçük malzeme %15' den daha büyük. Ayrıışmış silttaşı, şeyl ve kumtaşı; yeterli ince malzeme elde edebilmek için ince tabakalar halinde sıkıştırılabilir.
2A	İnce filtre (veya filtre dren)	a) Sızma suyu tarafından 1 no lu zonun erozyona uğramasının önlenmesi b) Baraj temelinin erozyonunun önlenmesi (yatay drenin kullanıldığı yerde) c) Mansap yüzünde oluşacak boşluk basınçlarının önlenmesi (düşey drenin kullanıldığı yerde)	75 mikrondan geçen ince malzemenin %5' den küçük (tercihen %2' den az) olduğu kum veya çakıllı kum. İnce malzeme plastik olmamalı. Kırma, yıkama, elem gibi işlemlere tabi tutularak uygun dağılım sağlanmalı.
2B	İri filtre (veya filtre dren)	a) Kaya dolgu içindeki 2A no lu zonun erozyonunun önlenmesi b) Düşey veya yatay dren içinde toplanan sızma suyunun boşalımı	Zon 2A gibi işleme tabi tutulmuş çakıllı kum veya kumlu çakıl. 2A ve 2B zonları, beton agregası gibi yeterince yoğun ve dayanıklı olmalıdır. Bu zonlar, filtre gibi hareket edecek dane dağılımına sahip olmalıdır.
2C	Memba filtresi Riprap altı filtre	Baraj çekirdeğinin (1 no lu zonun) memba kaya dolgu içine doğru erozyonunun önlenmesi Riprap içinden 1 no lu zonun erozyonunun önlenmesi	Kumlu çakıl – çakıllı kum (iyi dereceli, %100' ü 75 mm den geçen, %8' inden daha fazlası 75 mikrondan geçmeyen, incesi plastik olmayan). Genellikle ocak işletmekle ve kırma yöntemiyle elde edilir. Ancak 2A ve 2B zonlarına göre filtre tasarım kriterlerinde ve durabilitede daha toleranslı davranılır.
2D	İnce yatak tabaka	Beton yüzey tabakası için üniform desteğin sağlanması, beton kaplaması içindeki çatlaklardan veya eklem açıklıklarından kaçak suyun sınırlandırılması	İyi dereceli siltli kumlu çakıl. Permeabiliteyi azaltmak için tercihen %2-12' si 75 mikrondan küçük. Tabii olarak oluşmuş çakıl veya kırmataştan elde edilebilir. 200 mm' ya kadar taneler kabul edilebilir.
2E	İri yatak tabaka	Beton yüzey tabakası için üniform desteğin sağlanması, kaçak esnasında kaya dolgu içinde 2D no lu zonun erozyonunun önlenmesi	2D zonu için gerekli filtre kriterlerini sağlayan iyi derecelenmiş kum, çakıl ve blok karışımından oluşan 500 mm tabaka halinde yerleştirilen ince kaya dolgu.
3A	Kaya dolgu	Stabilitenin artırılması, genellikle baraj altından ve içinden sızımın boşalmasına müsaade ederek serbest drenajın sağlanması. İri kaya dolgu içindeki 2B zonunun erozyonunun önlenmesi	Ocak işletilerek elde edilen kaya dolgu. Muhtemelen büyük bloklar ocakta veya barajda ayıklanır. Tercihen sıkıştırmadan sonra yoğun, dayanıklı ve serbest drenajlı olmalıdır. Tabaka kalınlığı 0,5-1 m arası ve en büyük dane çapı sıkıştırılmış tabaka kalınlığına eşit olabilir.
3B	İri kaya dolgu	Stabilitenin artırılması, genellikle baraj altından ve içinden sızımın boşalmasına müsaade etmek için serbest drenajın sağlanması.	Ocak işletilerek elde edilir. Tercihen sıkıştırmadan sonra sıkı, yoğun ve serbest drenajlı olmalıdır. Sıkıştırma, 1-1,5 m lik tabakalar halinde yapılır. En büyük dane çapı sıkıştırılmış tabaka kalınlığına eşit olabilir.
4	Riprap	Dalga hareketiyle memba yüzünün erozyonunun önlenmesi	Dalga hareketinin yarattığı erozyonu önlemek için seçilmiş, sıkı, dayanıklı kaya dolgu malzemesidir. Toprak dolgu ve kaya dolgu barajlarda 3A ve 3B zonlarından ayrılan malzeme ile inşa edilirler.

1.4. Riprap Malzemesi

Riprap; dere kenarlarında (Şekil 1.10), sulama kanalları, köprü ayaklarında, deniz kıyılarında (Şekil 1.11) toprak dolgu barajları (Şekil 1.12), sulama depolamalarında (Şekil 1.13) gibi su yapılarında dış etkenlerin (su, buz, rüzgar vb.) etkisiyle yıkılmanın önlenmesi amacıyla yerleştirilen örtü tabakası olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1.10. Kaya Dolgu malzemesinin tahkimat olarak kullanılması (DSİ,2017).



Şekil 1.11. Kaya Dolgu malzemesinin anroşman olarak kullanılması (<http://www.ozkainsaat.com/Projeler/maltepe-sahil-duzenlemesi-1.-etap-anrosman-insaati>).



Şekil 1.12. Kaya malzemesinin barajlarda memba tarafında riprap, mansap tarafında kaya dolgu olarak kullanılması (DSİ, 2017).



Şekil 1.13. Suğla Depolaması – Konya (DSİ,2018).

Riprap malzemesi olarak sert kayalar (Şekil 1.14), beton döşemeler veya önceden oluşturulmuş beton bloklar kullanılmaktadır (Şekil 1.15). Ancak genellikle toprak dolgulu barajlarda riprap malzemesi, baraj yakınında bulunan bir taş ocağından alınarak baraj gövdesine yerleştirilmektedir.



Şekil 1.14. Hadim Bolat Göleti – Konya (DSİ, 2017).



Şekil 1.15. Riprap olarak kullanılacak beton bloklar (a) ve beton döşemeler (b).
(<http://www.gilladventures.com/Izu-Oshima-Island-rip-rap-2.html>)

Kayaların çapı ve tabakaların kalınlığı, dalga yüksekliğine göre tayin edilirse de genelde 0,5-1m çapında kayaları 1 m kalınlığında tabaka oluşturacak şekilde düzenlemek yeterli emniyeti sağlayacaktır (Akçalı, 2005).

Memba dolgusunda kaya kullanılmayıp, kum ve çakıl gibi daha ince malzemeler kullanılır ise, memba dolgusunun dalga etkisi ile riprap kayaların arasından dışarı sürüklenmesini önlemek için riprap'ın altında 30-50 cm kalınlığında çok iri çakıllardan oluşan bir geçiş tabakası sermek gerekir (Akçalı, 2005).

Toprak mansap dolgusu kullanılması halinde mansap Şevi, yağmur sularının erozyonuna maruz kalacaktır. Bunu önlemek amacı ile mansap Őevinin üzerinde 0,5-1,0 m kalınlığında bir kaya örtü tabakası gerekir (Akçalı, 2005).

İklimin uygun olması durumunda bir çimen veya çalı bitki örtüsü de bu fonksiyonu yerine getirebilir (Akçalı, 2005).

Kayalar, geçirimli veya yarı geçirimli malzeme olarak kullanılır. Büyük kayalar dıştaki zonlar için, küçük kayalar ise yarı-geçirimli zonlar için uygundur. Malzeme, dizayn koşullarında belirtilen kayma gerilmesine ve drenaj kapasitesine sahip olmalıdır. Genelde kayanın rahat drene edebilmesi, yüksek kayma gerilmesine sahip olması istenir. Zonlar belirlenirken ve dizayn değerleri seçilirken eğer malzeme karakteristikleri iyi belirlenirse, inşaat sırasında kırılabilen veya aşınan malzemeler de kullanılabilir. Ayrıca sağlam kaya parçalarından oluşan Őistik yapıdaki kayalar kullanılmamalıdır. (Bilgi, 1990).

Kaya dolgu barajlarda sağlam kaya malzemesinin kullanılması tercih edilir. Zayıf kaya, tahallüllü veya zayıf çimentolu kum taşları da kullanılabilir. Ancak kazı esnasında veya dolgu sırasında çok parçalanan ve ezilen malzeme kaya malzeme olarak vasıflandırılmamalıdır. Soğuk iklimlerde don etkisine karşı dış kabuk dolgularında daha sağlam malzeme kullanılmalıdır (DSİ, 2014)

Dalga yüksekliğine göre kayaların çapı ve tabakanın kalınlığı tayin edilirse de genelde 0,5-1 m çapında kayaları 1 m tabaka kalınlığında düzenlenecektir. Memba dolgusunun dalga etkisi ile riprap kayalarının arasından dışarı sürüklenmesini önlemek için riprap'in altında 30-50 cm kalınlığında çok iri çakıllardan oluşan bir geçiş tabakası (filtre) serilecektir. Ekonomik nedenler ile riprap tabakası rezervuardaki minimum su seviyesinin bir miktar altına kadar devam ettirilebilir (DSİ, 2014)

Ripraplar genel olarak, yoğun yağışlar süresince gövdenin mansap yüzünü erozyondan korumak için kullanıldığından gövde üzerinden aşınan akımlara karşı gövde koruması için yetersiz kalırlar. Dik eğimli gövde üzerindeki akımlar için standart akım ve sediment taşınım eşitlikleri ile analiz yapmak mümkün olmamaktadır. Riprap malzeme ile yapılacak gövde korumalarındaki riprap tasarım kriterinde ana ilke, kullanılan taşın hareketinin önlenmesi ve riprap tabakasının hasar görmesini engellemek olmalıdır (Kaş ve Yıldız, 2002).

Rıprapın gövde üzerinden aşan akıma karşı direnci malzeme özelliklerine (ortalama büyüklük, şekil, dane dağılımı, porozite ve birim ağırlık), hidrolik karakteristiklere veya gövde mansap yüzü eğimine ve birim debiye bağlı olarak değişmektedir (Kaş ve Yıldız, 2002).

Rıprap tabaka stabilitesinde diğer önemli bir parametre de taş şeklidir. Köşeli taşlar kamalanan veya birbirine kenetlenen ve benzer tane çaplı köşeli olmayan taşlarla karşılaştırıldıklarında boşlukların dolması açısından avantaj sağlamaktadır. Bu durum detaylı hazırlanmış rıprap şartnamelerinin stabilite açısından önemini ortaya koymaktadır (Kaş ve Yıldız, 2002).

Tablo 1.2. Rıprap malzemenin rıprap kalınlığına bağlı olarak granülometresi(www2.dsi.gov.tr/sydk/insaat_sartname /dolgu_isleri.doc)

Rıprap tabakası kalınlığı (cm)	Maksimum Tane ağırlığı (kg)	En az %25 nisbeti daha iri (kg)	%45-75 nisbetinin aralığı (kg)	En çok %25'nin daha iri olacağı tane ağırlığı (kg)
60	680	275	13,5-275	13,5
75	1140	455	22,5-455	22,5
90	2270	910	45,5-910	45,5

Tablo 1.3. Kaya boyutu (D₅₀) değerleri (www2.dsi.gov.tr/sydk/insaat_sartname /dolgu_isleri.doc)

Rıprap tabakası kalınlığı (cm)	Ortalama tane boyu (D ₅₀) (cm)
60	38
75	45
90	53
91	

Rıprap ve kaya dolgu malzemesinin belirli limitler içerisinde olması istenir. Bu limitleri belirlemek için malzeme aşağıdaki deneylere tabi tutulur:

- Birim ağırlık, su emme, görünür porozite

- Özgül ağırlık
- Los Angeles aşınma kaybı
- Basınç dayanımı
- Na₂SO₄ don kaybı
- Tabi don kaybı
- Petrografik analizler

Tablo1.4. Riprap olarak kullanılacak bloklara uygulanacak deneyler ve limitleri (Akçalı, 2005).

Deney Türü	Limitler	Kullanılmış veya tavsiye edilen alt limit	Kullanılmış veya tavsiye edilen üst limit	Kullanılmış veya tavsiye edilen değerler	Limit aşımının Tehlikesi
Su emme			% 1,8	< % 1,8	Mukavemet kaybı
Bağıl yoğunluk		2,6		>2,65	Stabilite, taşıma gücü
Birim hacim ağırlığı		-	-	-	Stabilite, taşıma gücü
Basınç dayanımı		500 kgf/ cm ²		> 500 kgf/ cm ²	Stabilite, taşıma gücü
Los Angeles aşınma kaybı			100 devirde % 10 500 devirde % 40	100 devirde en çok % 10 500 devirde en çok % 40	Mukavemet kaybı
Na ₂ SO ₄ don kaybı			10%	<10%	Mukavemet kaybı
Don sonu basınç dayanımı			10%	<10%	Mukavemet kaybı
Petrografik analizi		Kaçınılacak Kayalar: Çamurtaşı, şeyl, silttaşı, kiltası, tebeşir, topraklı kireçtaşı, diğer düşük çimentolu sediment kayaçlar	Dikkatle kullanılacak kayalar: Tabakalı kaya, killi mermer, tuf, senozoyik kumtaşı, gnays, şist (sıkı bağlı)	Uygun kayalar: Granit, bazalt, andezit, premosozoyik kumtaşı, kireçtaşı, kuvarsit	Oturma, çatlama, mukavemet kaybı, stabilite

DSİ Genel Müdürlüğü dolgu işleri teknik şartnamesinde riprap malzemesinin baraja yerleştirilmesi aşağıdaki şartname maddeleri ile şekillendirilmiştir;

- Riprap dolgusu ile baraj dolgusu birlikte yürütülecektir.
- Riprap dolgusu ana gövde dolgusundan 1 m aşağıda olacak şekilde ilerleyecektir.
- Riprap dolgu malzemesi, filtre dolgu malzemesi üzerine dökülecektir.
- Riprap dolgunun inşası sırasında filtre malzemenin kalınlığı ve şev eğimi bozulmayacaktır.
- Riprap malzeme döküldükten sonra el aletleri ve diğer ekipmanla gerekli istifleme ve yerleştirme çalışmaları yapılacaktır.
- Değişik ebattaki kaya malzemenin birbirlerinden ayrılarak karmaşık bir yapı oluşması önleneyecektir.

2. ÇALIŞMA ALANIYLA İLGİLİ BİLGİLER

2.1. İnceleme Alanının Yeri ve Konumu

Gelingüllü göleti; Yozgat ilinin 30 km güneydoğusunda, Gelingüllü köyünün 750 m kuzeybatısında, Yudan köyünün 500 m güneyinde, Kanak çayının üzerinde inşa edilmiştir. Gelingüllü göletine Yozgat-Boğazlıyan yolunun 34. km ayrılan yol ile gidilmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Gelingüllü Barajı yer bulduru haritası.

2.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Proje sahasında yazlar sıcak ve kuru, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Yazın da kışın da; gece ile gündüz arasındaki sıcaklık farkları yüksektir. Ortalama yıllık sıcaklık $9,1^{\circ}\text{C}$ 'dir. En düşük sıcaklık 23.02.1985 tarihinde $-24,4^{\circ}\text{C}$ ve en yüksek sıcaklık da 30.07.2000 tarihinde $38,8^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 8,73, yıllık toplam yağış miktarı $402,12 \text{ kg/m}^2$ ve yıllık ortalama yağış miktarı ise $33,51 \text{ kg/m}^2$ 'dir (MGM).

2.3. Gelingüllü Barajının Genel Özellikleri

Yozgat 'ın yaklaşık 30 km güneydoğusunda Kanak çayı üzerinde yer alan Gelingüllü Barajı (Şekil 2.1) Kızılırmak havzası Deliceirmek projesinin sulama amacıyla hizmet vermek için

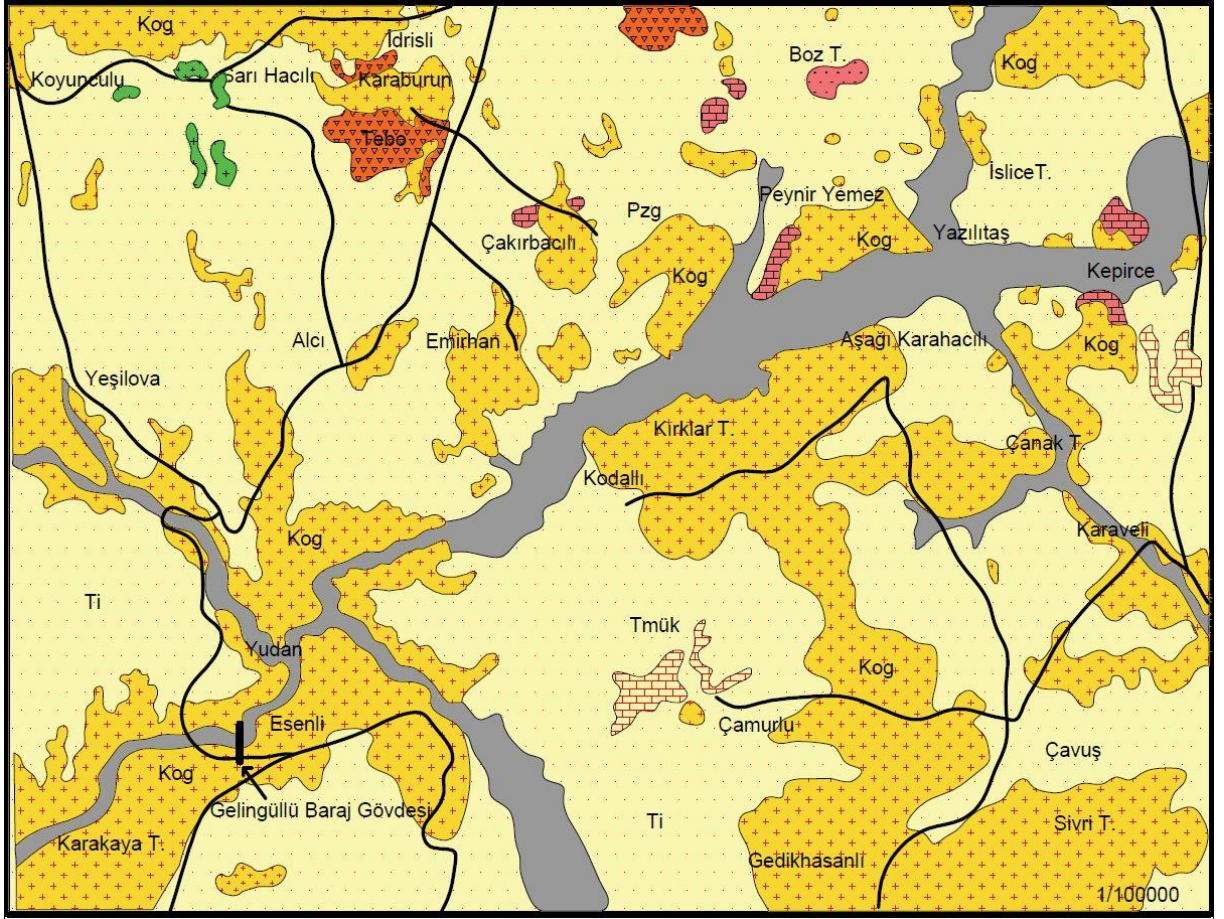
1969 yılında etüt çalışmaları yapılmıştır. 1979 yılında projelendirilmiş olan barajın yapımı 1986-1996 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Kanak Çayı üzerinde inşa edilen barajın gövdesi zonlu toprak dolgudur. Sulama amacıyla inşa edilen barajın talvegden yüksekliği 44.4 m olup, gövde hacmi 1.362 hm³ ve normal su kotunda göl hacmi 272.35 hm³' tür.

Tablo 2.1. Gelingüllü Barajının karakteristik özellikleri
(<http://www2.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=159>)

Baraj Tipi	Toprak Dolgu
Baraj yüksekliği	35 m
Barajın maksadı	Sulama
Drenaj alanı	2814 m
Yıllık ortalama su	1150x 10 ⁶ m ³ .
Regüle edilen su	135X 10 ⁶ m ³ .
Toplan depolarsa hacmi	180X 10 ⁶ m ³
Aktif hacim	150X 10 ⁶ m ³
Ölü hacim	30X 10 ⁶ m ³ .
Talveg kotu	965 m
Kret kotu	1000 m
Min.su kotu	987 m
Max. Su kotu	998 m
Göl alanı	18,6 m ²
Gövde dolgu hacmi	410X 10 ³ m ³
Sulayacağı saha	15000 Ha.

2.4. Baraj Bölgesinin Jeolojisi

Baraj bölgesindeki en yaşlı birimler Üst Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfik kayalardan oluşan Bozçaldağ ve Gümüşler formasyonlarıdır. Baraj aksı ve rezervuar alanında Üst Kretase yaşlı Orta Anadolu granitoidine ait granitik kayalar geniş yayılım göstermektedir. Yine aynı yaşlı Kötüdağ volkanitine ait volkanik kayalar çalışma alanının kuzey kesimlerinde dar alanda yüzeylenmektedir. Eosen çalışma alanında çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı, volkanik kayalar vb. bileşimli Boğazköy formasyonu ile temsil edilmektedir. Bölgede bu birimlerin üzeri yer yer Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal ve göl sel karakterli sedimanter birimler ile örtülmüştür (Şekil 2.2). DSİ (1979) sondajlarında aks bölgesindeki granitik kayaların 0-8 m arasında oldukça kırıklı ve bozunmuş durumda olduğu, 8 m' den sonra ise sağlam granitik kayalara geçildiği belirtilmektedir. Baraj aksının yakın çevresinde, kuzeyinde ve batısında yüzeyde dağılmış vaziyette sağlam görünümlü granitik kayaç blokları bulunmaktadır. DSİ (1979) raporunda bu kayaçların riprap malzemesi olarak kullanılmasının uygun olduğu belirtilmiş ve gövdede buradan toplanan kaya blokları riprap olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.2. Baraj Bölgesi ve çevresinin Jeoloji Haritası (Akçay, vd., 2008)

Kanak çayı üzerine inşa edilmiş barajın ve baraj göl alanında Üst Paleozoyik – Mesozoyik’den, Kuvaterner’e kadar değişik litoloji ve görünüşte birimlere rastlanmaktadır. Bunların genelleştirilmiş kolon stratigrafik kesiti Şekil 2.3’de verilmiştir. Kanak çayı üzerinde olan Gelingüllü baraj yeri ve göl alanında görülen bu formasyonların kısa tanımları aşağıda yapılmıştır.

	Yaşı	Formasyon
	Kuvaterner	Alüvyon
	Orta Miyosen- Pliyosen	İç Anadolu grubu: Ayrılmamış karasal çökeller
	Orta Miyosen- Pliyosen	Kozaklı kireçtaşı üyesi: Gölsel kireçtaşı
	Eosen	Boğazköy formasyonu: Çakıltası, kumtaşı, kireçtaşı volkanik kayalar vb.
	Üst Kreatse	Karaboğaz Dere gabrosu: Gabro
	Üst Kreatse	Orta Anadolu granitoidleri: Granit, granodiyorit monzonit vb.
	Üst Paleozoik- Mesozoik	Bozçaldağ formasyonu: Mermer
	Üst Paleozoik- Mesozoik	Gümüşler formasyonu: Gnays, şist, kuvarsit amfibolit, mermer vb.

Şekil 2.3. Baraj yeri ve civarının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Akçay, vd., 2008).

Gümüşler Formasyonu (Pzg)

Bölgede çoğunlukla gnays, az oranda şist, kuvarsit ve amfibolitlerden oluşan metamorfik kayalar, Göncüoğlu (1977) tarafından Gümüşler formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında Çakırhacılı, Peyniryemez köyleri dolayında yüzeylenen birim, stratigrafik kesitin en yaşlı birimine karşılık gelen formasyon, psammitik ve magmatik kökenli kayaların ardalanmasından oluşur (Kara ve Dönmez, 1990). Formasyon başlıca gnays, şist, kuvarsit, amfibolit ve ender mermer bantlarından oluşur. Doku, yapı ve mineral bileşimine göre yapraklanma ve renklenme gösterir.

Bozçaldağ Formasyonu (Pzb)

Bölgedeki mermer ve rekristalize kireçtaşları Seymen (1982) tarafından Bozçaldağ formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında Çakırhacılı, Peyniryemez ve Kepirce köyleri dolayında yüzeylenen Üst Paleozoik- Mesozoik yaşlı birim beyaz, gri renkli çoğunlukla iri kalsit kristalli, orta-kalın katmanlı ve masif mermerlerdir.

Orta Anadolu Granitoidleri (Kog)

Çalışma alanında, granit, granodiyorit, monzonit, kuvarssiyenit ve bunların porfirlerinden oluşan kayaç grubu, Orta Anadolu granitoyitleri olarak tanımlanmıştır.

Baraj aksı ve rezervuar alanında geniş yayılım gösteren Üst Kretase yaşlı bu formasyon, çeşitli fazda sığ yerleşmiş, Plüton ve stoklar ile onların kenar zonlarında gelişen damar kayaçlarından oluşur. Bunlar Orta Anadolu'da gözlenen ofiyolitlerin Kırşehir metamorfizmasını üzerlemesi ile oluşan kabuk kalınlaşması sonucu kısmi ergime ile oluşmuştur (Kara, 1997). Renk, doku, yapı ve mineral bileşimi kayaç türüne bağlı olarak gelişir.

Kötüdağ Volkaniti (Kkö)

Riyolit, riyodasit, latit bileşimli lav ve tüflerden oluşan birim, Seymen (1981) tarafından Kötüdağ volkaniti olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanının kuzey kesimlerinde dar alanda yüzeylenmektedir. Orta Anadolu granitoyitlerine ait intrüziflerin kenar zonlarında gelişen riyolit, riyodasit, dasit ve latit bileşimli damar ve yüzey kayaçlarından oluşan birim yer yer granitoyitin yerleşmesinin geç evresine bağlı olarak gelişmiş aplitik, pegmatitik dayklar tarafından kesilmiştir. Üst Kretase yaşlı birim içerisindeki gaz boşlukları kalsit ve klorit dolguludur.

Boğazköy Formasyonu (Tebo)

Volkanik ara düzeyli, kumtaşı, silttaşı, az miktarda çakıltaşı ile kireçtaşlarından oluşan birim Özcan ve diğerleri (1980) tarafından Boğazköy formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim en altta az belirgin tabakalı, gri, yer yer kırmızı renkli çakıltaşı, kumtaşı ile başlar. Bunların üzerinde kömür ara seviyeli, açık gri, gri renkli, paralel katmanlı, boylanmalı, iyi tutturulmuş kumtaşı ve silttaşı, çok az ince taneli çakıltaşları yer alır. Birimin orta düzeyleri gri renkli, orta-kalın katmanlı, yer yer killi-kumlu masif kireçtaşları, en üst kesimler ise türbiditik çakıltaşı, kumtaşı ara düzeyleri içeren yeşilimsi gri renkli masif, midye kabuğu kırılmalı çamurtaşlarından oluşur. Boğazköy formasyonu kıyı-şelf ortamında çökelmiş, sığ kesimlerde çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, derin kesimlerde ise türbiditik istifeye ait çakıltaşı-kireçtaşı ara düzeyli silttaşı-kumtaşı şeklindedir. Birimin yaşı Esosen'dir (Oktay, 1981).

Kozaklı Kireçtaşı Üyesi (Tmük)

İç Anadolu grubuna ait gölsel çökeller içerisinde yatay konumlu bant ve mercekler şeklinde yüzeylenen beyaz-bej renkli, masif, çok sert, kimi kesimleri mikritik yer yer kırıntılı, killi boşluklu kireçtaşı düzeyleri Kara ve Dönmez (1990) tarafından Kozaklı kireçtaşı üyesi olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında Boğazköy formasyonunun üzerini Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı Kozaklı Kireçtaşı üyesi tarafından örtülmüştür.

İç Anadolu Grubu (Ti)

İç Anadolu bölgesinde geniş bir alanda yüzeylenen kıvıll-kahve renkli, katmansız veya az belirgin katmanlı çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, jips ve anhidrit ile kireçtaşı ve ignimbirit ara düzeylerinden oluşan Orta-Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal birimler bu haritalarda, İç Anadolu grubu adın altında toplanmıştır. İç Anadolu grubuna ait çökeller Miyosen öncesi kayaları uyumsuzlukla örter. Üstünde ise uyumsuz olarak Kuvaterner çökelleri yer alır

3. MATERYAL VE METOD

Gelingüllü Barajının memba tarafındaki riprap katmanı talvegden krete, doğru su altında kalma süreleri dikkate alınarak dört farklı zona (A, B, C, D) ayrılmıştır. A zonu devamlı su etkisinde kalan zon, B zonu nispeten uzun süre su altında kalan zon, C zonu çok kısa süre su altında kalan zon ve D zonu hiç su altında kalmayan dolu savak seviyesinin üstünde kalan zon olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.1). Bu çalışmanın ana materyalini, Gelingüllü Barajı gövde üzerindeki kaplamanın A, B, C ve D zonlarındaki granitik kaya bloklarından alınan örnekler oluşturmuştur. Bunun yanında, Gelingüllü Barajına ait malzeme raporunda riprap malzemesinin çevreye yayılmış granit bloklarının toplanmasıyla elde edileceğinden bahsedilmektedir. Bu nedenle çevrede bir riprap malzemesi ocağı gözlenmemiştir. Ancak dolu savak kazısından çıkan granit bloklarının riprap katmanında kullanılmış olacağı göz önüne alınarak dolu savak yarmasından alınan doğal haldeki blokların bazı jeolojik özellikleri belirlenmiş ve gövdedeki blokların özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Bu örnekler metin içerisinde ocak (O) örnekleri olarak tanımlanmıştır.

Riprap katmanındaki her zondan kaya bloklarının fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için taşınabilecek boyutlarda ve yeterli sayıda blok laboratuvar çalışmaları için seçilmiştir. Her zonu temsilen alınan riprap bloklarının bozunma etkisi altında olan dış yüzeyine yakın kısımlarından (kenar) ve bozunmadan daha az etkilenecek iç kısımlarından (orta) ince kesitler hazırlanmış ve polarizan mikroskop yardımıyla petrografik incelemeye tabi tutulmuştur. Petrografik incelemeler sırasında, kayaçların nokta sayma metodu ile mineral yüzdeleri belirlenmiş, dokusal özellikleri ve bozunma-alterasyon durumları ortaya konmuştur. Bu blokların mümkün olduğunca kenar kısımlarından ve orta kısımlarından karot örnekleri alınmıştır (Şekil 3.2). Kenar örnekleri K, ortadan alınan örnekler de O harfleri ile simgelenmiştir. Bu şekilde hazırlanan örnekler üzerinde birim hacim ağırlık, gözeneklilik, su emme, ultrasonik hız (V_p), nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) ve serbest basınç deneyleri (UCS) ASTM (2001) ve ISRM (2007) yöntemlerine uygun şekilde yapılmıştır. Sahada her zondaki kaya blokları üzerinde Schmidt çekici ile sertlik değerleri (N) ölçülmüştür.

Ayrıca blokların kenar ve orta kısımlarından alınan örnekler ile, XRF yöntemiyle ana oksit ve iz element analizleri, XRD yöntemiyle de mineralojik analizler yapılmıştır. Baraj suyu ile riprap kayaçlarının etkileşimini değerlendirebilmek amacıyla da su kimyası analizleri yaptırılmıştır.

Granitik kaya bloklarındaki günlenmenin en belirgin etkilerinden birisi bloklardaki yuvarlaklaşmadır. Bu sebeple her zondan fotoğraf çekilmiş ve bu fotoğraflar yardımıyla fraktal analiz yöntemiyle blokların yuvarlaklıkları hesaplanmıştır. Fraktal boyut hesaplamaları için A, B, C ve D zonlarını temsil eden 50' şer adet blok fotoğraflanmıştır.

Çalışmadan elde edilen bulgular zonlara göre karşılaştırmalı olarak incelenmiş sonuçlar yorumlanmıştır.



şekil 3.1. Baraj gövdesinin memba yüzeyinin genel görünümü ve riprap bloklarının suya maruz kalma sürelerine göre zonlara ayrılması.



Şekil 3.2. Bloklardan silindirik örneklerin hazırlanması.



Şekil 3.3. Bloklarının mühendislik parametrelerini belirlemek üzere hazırlanmış silindirik örneklerin bir kısmı.

4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Laboratuvar çalışmaları; petrografik incelemeler, kimyasal incelemeler ve jeomekanik incelemeler olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler üzerinde yapılan deneyler ASTM (2001) ve ISRM (2007) yöntemlerine uygun şekilde yapılmıştır. Deneyler Bozok Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü kaya mekaniği ve jeokimya laboratuvarları ve DSİ Kayseri Bölge Müdürlüğü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

4.1. Yoğunluk-Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Çalışma alanındaki riprap malzemesinden alınan örnekleri ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem esas alınarak belirlenmiştir (Ulusay vd. 2010). Bu yöntemle yoğunluğu ve birim hacim ağırlığı tayin edilecek kaya örnekleri, şişebilen ve ıslanma-kuruma sonucu kolaylıkla dağılabilecek özellikte olmamalıdır. Riprap malzemelerinde yüksek bağıl yoğunluk daha yüksek dayanım sağlamaktadır (Akçalı, 2005).

4.1.1 Gerekli Araç-Gereçler

- Fırın (105±30C kapasiteli)
- Desikatör (içine nemlenmeyi önleyici jel konulması önerilir.)
- Hassas terazi (0,01 g duyarlılıkta)
- Kompas (0,1 mm duyarlılıkta)

4.1.2 Yöntem

- Düzgün bir geometrik şekle sahip biçimde hazırlanmış (silindirik) en az 3 deney örneğinin çapı (D) ve boyu (L), kompasla birbirine dik iki ayrı yönde, 0,1 mm duyarlılıkta ölçülür ve her bir örnek için bu değerlerin ortalaması alınır. Benzer şekilde prizmatik örneklerin kullanılması halinde, bunların kısa ve uzun kenarları ile kalınlıkları birbirine dik yönde ikişer kez ölçülerek ortalamaları alınmalıdır.
- Silindirik karot örnekleri için boy ve çap değerleri, prizmatik örnekler için de üç ayrı yönde ölçülmüş değerler kullanılarak örneklerin hacmi hesaplanır (V).
- Örneklerin ağırlıkları (W) hassas terazide tartılarak belirlenir Kuru yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlık tayin edilecek ise, örnekler 105 °C' ye ayarlanmış fırında ve en az 24 saat kurutulduktan sonra soğumaları için 30 dakika süreyle desikatörde bekletilir. Daha sonra hassas terazi kullanılarak örneklerin kuru ağırlıkları belirlenir.

4.1.3 Hesaplamalar

Tayin edilen W ve V değerleri esas alınarak, her örneğin yoğunluğu (ρ) ve birim hacim ağırlığı (g) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır:

$$\text{Yoğunluk (g/cm}^3\text{)}, \rho = \frac{W}{V} \quad (4.1)$$

$$\text{Birim hacim ağırlık (kN/m}^3\text{)}, \gamma = 9.81 \times \rho \quad (4.2)$$

4.2 Ağırlıkça Ve Hacimce Su Emme Deneyi

Düzenli bir geometriye sahip kaya örneklelerinin, ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının tayini amacıyla yapılmaktadır. RILEM (1980) ve TSE (1978) tarafından önerilen yöntemler dikkate alınmıştır. Yöntem şişebilen ve ıslanma-kuruma ile kolaylıkla dağılabilen kayalar için uygun değildir.

4.2.1 Gerekli Araç-Gereçler

- Saf su (450 ml)
- 50 ml'lik cam beher
- Kompas (0,1 mm duyarlılıkta)
- Hassas Terazî (0,01 g duyarlılıkta)
- Fırın (105±30C kapasiteli)
- Kağıt Havlu
-

4.2.2 Yöntem

- Karot (silindirik) örneklelerin kullanılması halinde; bunların boyu (L) ve çapları (D) birbirine dik iki ayrı yönde, prizmatik örneklelerde ise her üç kenar kompasla ölçülür ve örneklelerin hacimleri (V) hesaplanır.
- Örnekleler, saf su doldurulmuş beherde en az 12 saat bekletilir.
- 12 saat sonunda örnekleler saf sudan çıkarılarak, suya doygun yüzeyleri kağıt havlu ile kurutulduktan sonra, ıslak ağırlıkları hassas terazide yapılan tartı işleminde belirlenir (W_s).
- Örnekleler, 105 °C'ye ayarlanmış fırında yerleştirilerek en az 12, tercihen 24 saat boyunca kurumaya bırakılır.
- Fırından çıkarılan örneklelerin kuru ağırlıkları (W_d) hassas terazide belirlenir.

4.2.3 Hesaplamalar

$$\text{Ağırlıkça su emme (\%)}, A_w = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (4.3)$$

$$\text{Hacimce su emme (\%)}, H_w = \frac{H_s - H_d}{V} \times 100 \quad (4.4)$$

4.3 Ultrasonik Hız Deneyi

Bu deney, kaya örnekleri içerisinde yayılan sıkışma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak, kaya malzemesinin dinamik Young modülü ile dinamik Poisson oranının tayini amacıyla yapılır. Yöntem, homojen ve izotrop veya çok az derecede anizotropiye sahip kayalarda uygulanabilir. Deney yöntemi, özellikle ASTM (1994), ayrıca ISRM (2007) ve CANMET (1977b) tarafından önerilen hususlar dikkate alınarak sunulmuştur.

4.3.1 Gerekli Araç-Gereçler

- Sinya üreticisi ve gerektiğinde voltaj yükselticisinden oluşan sinyal üretme ünitesi (2-30 Hz frekans aralığında)
- Elektronik sinyalleri mekanik sinyale dönüştüren bir gönderici (transmitter) ile mekanik sinyalleri elektrik sinyaline dönüştüren bir alıcı (receiver)'dan oluşan çevirgeç (transducer) ünitesi.
- Çevirgecin voltaj çıkışını ve zamanlama-okuma ünitesinin duyarlılığını arttırmak amacıyla voltaj yükselticisi
- Sinyalleri doğrudan görebilmek için osiloskop
- Kronometre
- Kompas (0,1 mm duyarlılıkta)
- Desikatör

4.3.2 Yöntem

- Deneyde çapı 31 mm ve daha büyük silindirik örnekler kullanılır. Örneklerin gönderici ile temasta olacak alt ve üst yüzeylerinin son derece düz ve birbirine paralel şekilde hazırlanmış olması gerekir. Yayılma hızı (V_p) ve tane boyu (d) malzemenin içsel özellikleri, buna karşın çevirgeç frekansı (f) ise kullanılan çevirgece özgü olduğu için, örneğin çapı (D) ve boyu (L) grafikte verilen koşullara uygun olarak seçilmelidir. Buna göre, herhangi bir V_p/f değeri için izin verilebilir örnek çapları diyagonal hattın üzerinde, izin verilebilir tane boyu ise bu hattın altında yer alır. ISRM (2007)'ye göre "ortalama tane boyu < dalga boyu < örneğin en küçük boyutu" koşulu sağlanmalı ve dalganın ilerleme yönüne dik konumdaki

boyut (D) dalga boyunun 10 katından az olmamalıdır. Çevirgeçlerin yüzeyleri de örnek yüzeyleri ile çakışacak şekilde çok düzgün olmalıdır.

- Deneyle kuru örnekler üzerinde yapılacak ise bu amaçla desikatör kullanılmalı, doygun koşullarda yapılacak deneyler için ise örnekler deney anına kadar su içinde tutulmalıdır.
- Deneye tabi tutulacak örnek sayısı, pratik değerlendirmelere göre belirlenmekle birlikte, her kayaç türü için en az üç deney örneği kullanılmalıdır.
- Deney karotunun boyu (L) ve çapı (D) birbirine dik iki ayrı yönde kompasla 0,1 mm hassasiyetle duyarlılıkta ölçüldükten sonra bunların ortalaması alınarak forma kaydedilir.
- Sinyalin merkezden çevirgecin temas alanlarının merkezine kadar ilerleme mesafesi 0,025 mm duyarlılıkta ölçülür. Bu deneyde genellikle silindirik örnekler kullanıldığı için, sinyalin ilerleme mesafesi örneğin boyuna (L) eşit olarak alınır.
- Yayılma hızı ölçülecek olan dalga türü (P veya S dalgası) yükselticinin üzerindeki düğmelerden belirlenir ve yükselticiden gelen iki kablo örneğin her iki ucuna temas ettirilen çevirgeçler takılır.
- Karotun yüzeyleri ile gönderici ve alıcı (çevirgeç) arasındaki teması artırılarak boşluk kalmasını önlemek amacıyla, örneğin alt ve üst yüzeylerine vazelin veya gress yağı sürülür.
- Sinyal üreticisinin voltaj çıktısı, yükselticinin ve osiloskopun duyarlılığı doğru zaman ölçümünün sağlanması amacıyla optimum bir seviye ayarlanır
- Dakikada bir veya iki okuma olacak şekilde sinyal gönderilerek sıkışma dalgasının (P) örnekten geçiş süresi (t_p) %1 duyarlılıkla ölçülür.
- Daha sonra makaslama dalgasının geçiş süresi (t_s) %2 duyarlılıkla ölçülür.

4.3.3 Hesaplamalar

Yayılma hızlarının hesaplanması:

$$V_p = \frac{L}{T_p} \quad (4.5)$$

Burada,

V_p : P – dalgasının yayılma hızı (m/s)

L : Silindirik deney örneğinin boyu (sinyalin katettiği mesafe, mm)

T_p : ($t_p - t_0$); P – dalgasının etkin ilerleme zamanı (μs)

t_p : P – dalgasının ölçülen yayılma hızı (μs)

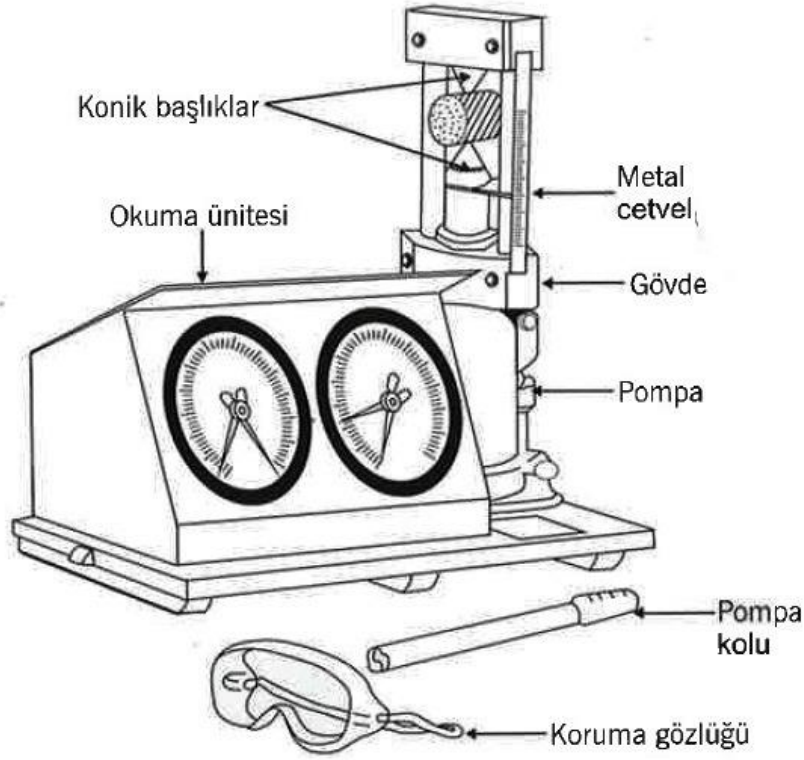
t_0 : Ölçülen sıfır (başlangıç) zamanı (μs)

4.4 Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi

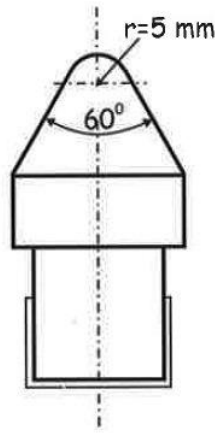
Kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta-yüğü dayanım indeksi tayini amacıyla kullanılmaktadır. Nokta yüğü dayanım indeksi , tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımları gibi diğđer dayanım parametrelerinin de dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütleli sınıflama sistemlerinde kaya malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde ISRM (2007)'den yararlanılmıştır. Arazi çalışmasında toplanan örnekler üzerinde Nokta Yüğü Dayanım İndeksi sonuçları için eksenel deney (karot eksenine paralel yükleme) yöntemi ile yapılmıştır.

4.4.1 Gerekli Araç-Gereçler

- Aşağıdaki parçalardan oluşan standart nokta yükleme aleti (Şekil 4.1)
 - Yükleme pompası
 - Yüğü göstergesi
 - Gövde
 - Konik başlıklar (yüğü örneğ>e aktarmak için kullanılır ve sertleştirilmiş çelikten imal edilir; (Şekil 4.2)
 - Konik başlıklar arasındaki mesafeyi ölçmek için gövdeye monteli metal cetvel.
- Kompas (0,1 mm duyarlılıkta)
- Koruma gözlüğü



Şekil 4.1. Nokta yükleme deney aleti.



Şekil 4.2. Konik yükleme başlığı (ISRM,2007)

4.4.2 Yöntem

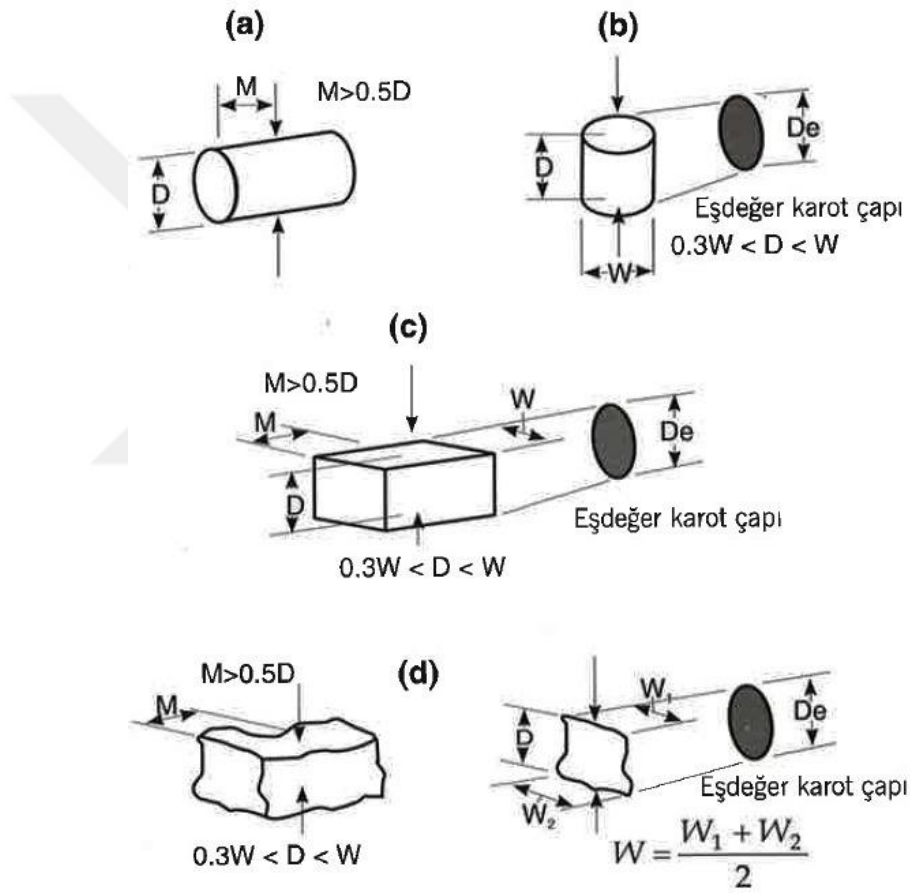
Bu deney için silindirik karot örneklerinin yanı sıra, blok ve düzensiz şekilli örnekler de kullanılabilir. Karot örneği, konik yükleme başlıklarının arasında karot eksenine dik veya paralel konumda yerleştirilebilir. Bu nedenle nokta yükleme deneyi,

- Çapsal deney (karot eksenine dik yönde yükleme)
- Eksenel deney (karot eksenine paralel yönde yükleme)
- Blok ve düzensiz örneklerle

deney olmak üzere, üç farklı şekilde yapılabilmektedir.

Capsal Deney

- Şekil 4.3 (a)' da gösterildiği gibi, bu deney için karot örneğinin uzunluğunun (L) çapına (D) oranı 1'den büyük olmalıdır ($L/D > 1$; tercihen $L/D = 1,0-1,4$).
- Kaya örneği heterojen ve anizotrop ise, deney en az 10 örnek üzerinde yapılmalıdır.
- Çapı ve uzunluğu kompas ile ölçülen örnek, konik uçların arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilir. Konik uçlar ile örnek arasına açıklık kalmaması için pompa kullanılarak silindirik yükleme tablası yükseltilir.
- Örnek 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde yükleme yapılır ve yenilme anındaki yük (P), yük göstergesinden okunarak forma kaydedilir.



Şekil 4.3. Örnek Şekilleri: (a) çapsal, (b) eksenel, (c) blok ve (d) düzensiz şekilli örnekler (ISRM,2007)

Eksenel Deney

- Bu deney için W/D oranı 0,3-1,0 arasında olan karot örnekleri kullanılmalıdır (Şekil 4.3 (b)).
- Kayaç örneği heterojen ve anizotrop ise, deney en az 10 örnek üzerinde yapılmalıdır.

- Örnek, çapı ve boyutu kompasla ölçüldükten sonra, konik uçlar arasına yükleme yönüne paralel olacak şekilde yerleştirilmelidir.
- Çapsal deney için belirtilen uygulama burada da yapılır.

Blok ve Düzensiz Örneklerle Deney

- 50±35 mm boyutundaki ve şekil 4.3 (c,d)'de gösterilen blok ve düzensiz şekilli örnekler bu tür deney için uygundur. Kalınlık (D) ve genişlik (W) oranı 0,3 ila 1,0 arasında tercihen 1'e yakın, Şekil 4.3 (d)'de gösterilen ve konik uçların temas noktası ile en yakın serbest uç arasındaki mesafeyi tanımlayan M mesafesi ise, en az 0,5D olmalıdır. Bu örneklerin eş değer çaplarının yaklaşık 50 mm olması tercih edilir.
- Kayaç örneğinin heterojen ve anizotrop olması koşulunda, en az 10 örnek kullanılarak deney yapılmalıdır.
- Örnek, konik başlıkların arasına yerleştirilir. Yükleme yönüne dik konumdaki en küçük örnek genişliği $W \pm \%5$ duyarlılıkla, konik başlıkların örnekle olan temas noktaları arasındaki D mesafesi de şekil 4.3'de gösterilen aletin gövdesindeki metal cetvel kullanılarak, $\pm \%2$ duyarlılıkla ölçülür. Örneğin kenarları birbirine paralel değilse, W uzunluğu, şekil 4.3'de gösterildiği gibi, $W=(W_1+W_2)/2$ eşitliğinden belirlenir.
- Çapsal ve eksenel deneylerde belirtildiği şekilde yükleme yapılarak yenilme yükü saptanır.

4.4.3 Hesaplamalar

Düzeltilmemiş nokta-yükü dayanım indeksi (kPa),

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (4.6)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada, P yenilme yükü ve De eşdeğer karot çapı olup, çapsal deneyde kullanılır. Eksenel deney, blok ve düzensiz örneklerde ise,

$D_e^2 = 4A / \pi$ (A=WD; konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanı) kullanılır.

Boyut düzeltmesi,

I_s değeri; çapsal deneyde D'nin, diğer deney türlerinde ise De'nin fonksiyonu olarak değişir.

Bu nedenle, I_s değerinin standart bir karot çapına (D=50 mm) göre düzeltilmesi gerekir. Bu

amaçla hazırlanmış nomogram kullanılarak düzeltilmiş nokta-yükü dayanım indeksi, $I_{s(50)}$ belirlenir (Şekil??). nomogram yoksa, düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi,

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (4.7)$$

eşitliğinden hesaplanır. Boyut düzeltme faktörü (F) Şekil??'deki grafikten doğrudan veya

$$F = (D_e/50)^{0.45} \quad (4.8)$$

eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Yukarıdaki eşitlikle D_e 'nin birimi milimetredir.

Ortalama $I_{s(50)}$ değerinin hesaplanması:

En az 10 adet geçerli deney sonucu arasındaki en yüksek ve en düşük ikişer değer iptal edilerek geriye kalan değerlerin ortalaması alınır. Elde edilen değer, ortalama $I_{s(50)}$ değeridir. Deney sayısı 10'dan az ve sadece birkaç örnek deneye tabi tutulabildi ise, en yüksek ve en küçük değerler iptal edilerek geriye kalanların ortalaması alınır.

Nokta-Yükleme dayanımı anizotropisi indeksi:

Dayanım anizotropisi indeksi, $I_{a(50)}$, zayıflık düzlemine dik ve paralel yönde ölçülen $I_{s(50)}$ değerlerinin oranı olup $I_{a(50)}=1$ koşulu kayacın $I_{a(50)} > 1$ ise anizotrop olduğunu gösterir.

$$I_{a(50)} = \frac{I_{s(50)}(\text{dik yönde})}{I_{s(50)}(\text{paralel yönde})} \quad (4.9)$$

4.5 Serbest Basınç Deneyi

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kaya malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında, ayrıca tasarımda yaygın biçimde kullanılan tek eksenli sıkışma dayanımının tayini amacıyla yapılır. Deney sırasında eksenel deformasyon da ölçülerek, kayaç malzemesinin deformasyon ve yenilme karakteristikleri de değerlendirilir. Bu deney için (ISRM 2007) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

4.5.1 Gerekli Araç- Gereçler

- Deney sırasında örneğe sabit hızda ve sürekli olarak eksenel yüklemeye yapabilecek yeterli kapasitede hidrolik pres kullanılır. Yenilmenin 5 ile 10 dakika arasında gerçekleşebilmesi için yüklemeye presinin kapasitesinin kayacın dayanımına uygun olarak seçilme gerekir. Bu nedenle, dayanımı düşük olan zayıf kayaçlarda düşük yük aralıkları için bölümlendirilmemiş yük göstergelerine sahip yüksek kapasiteli preslerin yerine, tercihen daha küçük yüklemeye yapılmasına olanak sağlayan presler kullanılmalıdır.
- Prese monteli küresel başlık veya karot çapına uygun, küresel yüzeyli çelik diskler veya silindirler gerekli olup, bunların kalınlığı en az 15 mm, düzlükleri 0,005 mm duyarlılıkta ve sertlikleri en az C30 (Rockwell sertliği) olmalıdır. Üstteki silindir,

sağlıklı bir aksenal yüklemenin yapılabilmesi için, küresel başlıkla örnek arasında yer almalı ve küresel başlığa temas etmelidir.

- Kompas (0,1 mm duyarlılıkta)
- Kronometre

4.5.2 Yöntem

- Deneyde boy/çap (L/D) oranı 2,5-3,0 arasında olacak şekilde hazırlanmış, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz-düz ve herhangi bir kırık ve çatlak içermeyen karot örnekleri kullanılır. Deney için kabul edilebilir örnek boyutları aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Bununla birlikte, mümkünse, NX çaplı (>54 mm) karotlar tercih edilmelidir.
- Örneğin alt ve üst yüzeyleri, 0,02 mm duyarlılıkta düzeltilmiş ve birbirine paralel olmalıdır. Örnek eksenini, düşeyden en fazla 0,001 radyan (50 mm'de 0,05 mm) sapma göstermelidir.
- Örnekler, alındıkları tarihten itibaren 30 günden daha fazla bekletilmemiş olmalıdır. Aksi takdirde örnekler doğal su içeriklerini kaybederler. Bu açıdan, gerekiyorsa örneklerin su içerikleri de deney öncesinde tayin edilmelidir.
- Örneğin çapı ve boyu kompasla birbirine dik yönlerde ölçülerek bu değerlerin ortalaması alınır ve yüklemenin yapılacağı kesit alanı hesaplanır.
- Örnek, presin ortasındaki yükseltme plakasının üzerine merkezlenerek yerleştirilir. Eğer presin tavanına monte edilmiş büyük küresel bir başlık yoksa, küçük boyutlu ve küresel yüzeyli iki çelik silindir küresel yüzeyleri birbiriyle çakışacak şekilde örneği üzerine konur.
- Hidrolik sistemdeki hidrolik vana kapalı konuma getirildikten sonra sistemin çalıştırma düğmesine basılır ve yükleme kontrol vanası kolu ileri itirilerek örneğin üzerine konduğu

4.5.3 Hesaplamalar

Örneğin tek aksenal sıkışma dayanımı (σ_c) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\sigma_c = F/A \quad (4.10)$$

F: Yenilme anında kaydedilen yük

A: Silindirik örneğin kesit alanı ($= \pi(D/2)^2$)

4.6 Schmidt Çekici Deneyi

Bu deney, Schmidt çekici kullanılarak, kayaların Schmidt geri sıçrama değerinin tayini ve dolaylı olarak tek eksenli sıkışma dayanımlarının saptanması amacıyla yapılır. Schmidt çekici, çok zayıf ve çok sert kayalarda sağlıklı sonuçlar vermemektedir (Xu vd.,1990). Deney yöntemi olarak, ISRM (2007) tarafından önerilenler esas alınmıştır.

4.6.1 Gerekli Araç- Gereçler

- Bu çekicinin N ve L tipi türleri olup, kayalar için 0,74 Nm çarpma enerjisine sahip L tipi Schmidt çekici tercih edilir.
- Sertlik standardı belli örs

4.6.2 Yöntem

- Deney, arazide süreksizlik yüzeyleri üzerinde uygulandığında, çekiç süreksizlik yüzeyine dik konuma getirilir ve aynı yüzeyin 10 farklı noktasından elde edilen geri sıçrama değeri kaydedilir. Deneyin uygulandığı süreksizliğin yüzeyden itibaren en az 6 cm'lik kısmında gözle görülebilecek kırık çatlak olmamalıdır.
- Arazi uygulamalarında çekicinin üç farklı konumda kullanılması önerilir. Bunlar, düşey yönde aşağı ve yukarı doğru yatay yöndeki uygulamalardır. Bu uygulamalar sırasında çekicinin ekseninden en fazla ±50 kadar sapması kabul edilebilir. Bununla birlikte, çekicinin yukarıda belirtilen üç farklı konumdan birinin bile uygulanamayacağı koşullarda, çekiç yüzeye herhangi bir açıyla uygulanıp deney yapıldıktan sonra, çekiç üreten firmanın sağladığı düzeltme grafikleri kullanılarak, sonuçlar çekicinin yatay veya düşey konumları için düzeltilir.

4.6.3 Hesaplamalar

- Kalibrasyon yapma olanağı varsa, aşağıda verilen ifadeden düzeltme faktörü hesaplanır.

$$\text{Düzeltilme Faktörü} = \frac{\text{Kalibrasyon örsünün standart değeri}}{\frac{\text{Kalibrasyon örsü üzerinde alınan}}{10 \text{ okumanın ortalaması}}} \quad (4.11)$$

- Laboratuvarında veya arazide elde edilen geri sıçrama değerleri, en büyük en küçük değere doğru sıralanır ve bu değerlerin en küçük %50'si iptal edilir. Geri kalan sıçrama değerlerinin aritmetik ortalaması alınır. Kayacın veya süreksizlik yüzeyinin Schmidt geri sıçrama değeri bu ortalama değer ile düzeltme katsayısının çarpımından elde edilir. Eğer çekicinin kalibrasyonu ile ilgili bir kuşku yoksa, ortalama değere düzeltme uygulanmaz ve bu değer doğrudan Schmidt geri sıçrama değeri olarak alınır.

- Deneý örneđinin dolaylý yoldan tek eksenli sýkýşma dayanımı (σ_c) da saptanmak isteniyorsa, örneđin birim hacim ađırlık (γ) ve Schmidt sertliđi deđerleri çekicinin deneý sırasındaki konumuyla birlikte esas alınarak, grafikten σ_c belirlenir. Bu grafikten tayin edilecek σ_c deđerinin, Schmidt geri sıçrama deđerinin artması koşut olarak, belirli bir aralık sapma göstereceđi ve ortalama bir deđer olduđu göz önünde bulundurulmalıdır.

4.7 Sodyum Sülfat (NaSO₄) Don Kaybı Deneýi

Bu deneý, agreganın periyodik olarak sodyum sülfata maruz bırakılması halinde gösterdiği davranış biçimi hususunda bilgi sağlar. Bu deneý için TSE EN 1367-2 tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır (Ünsal,A., Şen,H,2008).

Tane büyüklüğu 10mm ilâ 14 mm arasında olan agregalardan oluşan deneý numunesi doymuş sodyum sülfat çözeltisine 5 kere daldırılır ve takiben (110±5)⁰C'de etüvde kurutulur. Sodyum sülfatın tekrar su alması ve agrega numunesinde tekrarlanan kristalizasyon ile agrega boşluklarında zararlı etkiler ortaya çıkar. Tane büyüklüğu 10mm'den daha küçük malzemelerin oluşmasına neden olan zararlı etkilerin neden olduğu ufalanma ölçülür.

4.7.1 Araç Gereç

- Havalandırmalı etüv, sıcaklığı (110 ± 5) °C'de tutulabilen.
- Terazi, ±0,1 g doğrulukla tartabilen.
- Düşük sıcaklık dolabı, düşey veya yatay, hava dolaşımly.
- Metal kutular, dikişsiz çekilmiş veya kaynakly, 0,6 mm et kalınlığına sahip korozyona dayanıklı metalden imâl edilmiş, 2000 mL kapasiteli, 120 mm ilâ 140 mm'lik iç çap ve 170 mm ilâ 220 mm'lik iç yüksekliğe sahip. Metal kutular, uygun kapaklarla kapatılmalıdır.
- Deneý elekleri, TS EN 933-2'ye uygun.

4.7.2 Yöntem

- Her sepetteki agreganın 20 mm'lik çözelti ile kaplanacak şekilde (17±0,5) saat boyunca doymuş sodyum sülfat çözeltisi kap içersine daldırılır. Her sepet ile yığılmış tuz depolanmaları ve kap kenarları arasında en azından 20 mm açıklık bulunmalıdır. Deneýin her aşamasında sepetlerden herhangi bir tanenin kaybolmamasına özel dikkat gösterilmelidir. Buharlařma ve kirlenmeden sakınmak için kabın kapağı kapatılmalıdır.

- Daldırma işleminden sonra her sepet çözülden çıkartılarak (2±0,25)saat boyunca suyu süzülür. Takiben her bir sepet (110±5)°C'lik etüvde (24±1)saat boyunca kurutulur ve (5±0,25)saat boyunca lâboratuvar sıcaklığına erişmesi için soğutulur.
- Bir sonraki daldırma işleminde, kabın tabanında toplanan tuz çökeltileri önce çözülür ve çözelti iyice karıştırılarak 30 dakika süre ile beklemeye bırakılır. Kaptaki çözeltinin yoğunluğu kontrol edilir. Yoğunluk belirlenmiş aralığın dışında ise çözelti hazırlanmış doygun taze sodyum sülfat çözeltiyle değiştirilir.
- Daldırma işlemi esnasında kayaç tanelerinin aşırı şekilde etrafa sıçraması durumunda çözeltinin ölçülen yoğunluğu, süspansiyon halindeki ince taneler veya iyon değiştirme etkilerinden dolayı tam olmayabilir. Bu şartlar altında çözelti taze bir çözelti ile değiştirilir.
- Çalışma periyodu (48±2) saat süre ile 5 defa uygulanmalıdır.
- İşlemlerin 5 defa tekrar edilmesinden sonra agrega soğutulur,her bir sepetteki agrega sodyum sülfat temizlenene kadar musluk suyuyla yıkanır. Bu durum 10 ml yıkama (alikit) çözelti bir kaç damla baryum klorür çözeltisi kullanılmak sureti ile bulanıklık kontrol edilerek ve aynı şekilde işleme tâbi tutulmuş eşit hacimdeki taze musluk suyunun bulanıklığı ile karşılaştırmak sureti ile ispatlanabilir.
- Her deney numunesi kurutulur. Deney numunesi 10 mm lik elekten elle elenir ve agrega elek üstü kütlesi (M2) 0,1 gram doğrulukla kaydedilir.

4.7.3 Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi

Her deney numunesinin sodyum sülfat değeri kütlece aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır ve her değer 0,1 doğrulukla kaydedilir;

$$F = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

Burada;

M1 : Deney numunesinin toplam ilk kuru kütlesi, ±0,1 gr doğrulukla.

M2 : Deneyden sonra 10 mm'lik elekten kalan agreganın nihai kütlesi, ±0,1 gram doğrulukta.

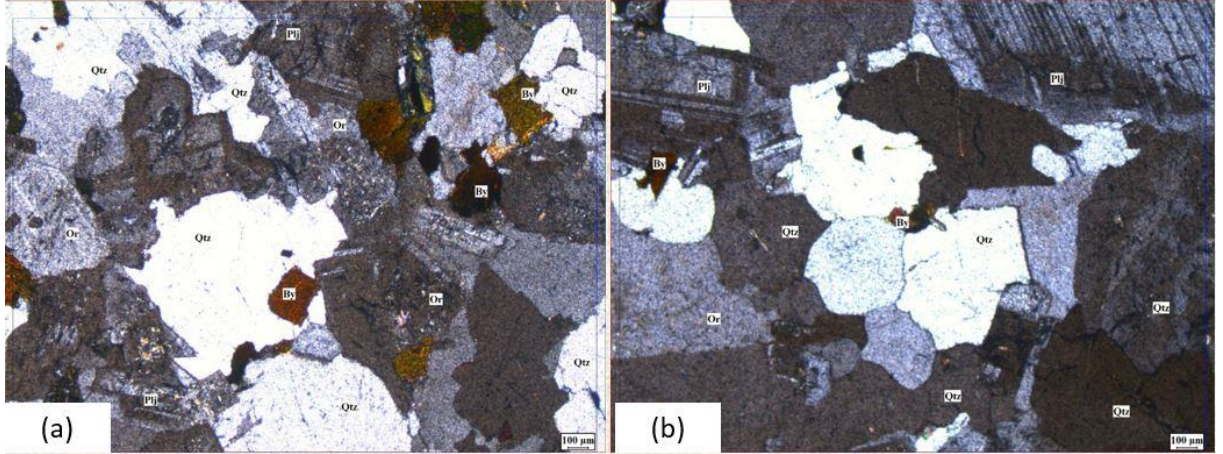
F : Deney numunesinin kütlece yüzde kaybıdır.

5. MİNERALOJİK VE PETROGRAFİK İNCELEMELER

5.1 Petrografik İncelemeler

Baraj gövdesindeki granitlerden alınan örneklerin mineralojik ve petrografik özelliklerini belirleyebilmek için örnek elmas testere ile kesilerek döner disk ile çeşitli aşındırıcılarla parlatılmıştır. Bu parlatılan örnek lam üzerine yapıştırılarak elmas aşındırıcılar vasıtasıyla 3 mikron kalınlığına kadar inceltilerek incelenmeye hazır hale getirilmiştir.

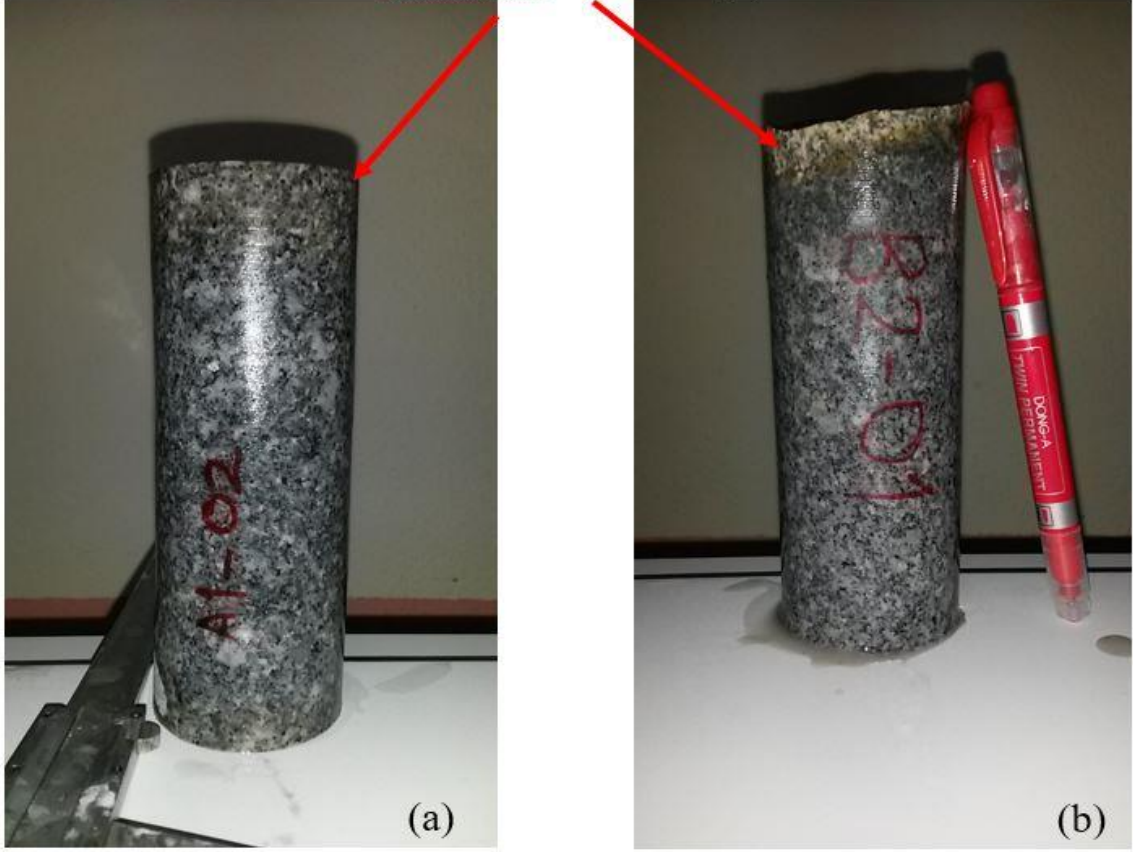
Baraj gövdesindeki granitler, mineralojik ve dokusal özelliklerindeki farklılıklara göre farklı renklere sahiptir. El örneklerinde çoğunlukla fanaritik bazen de porfiro-fanaritik dokuya sahip olan granitler, ince kesitlerde çoğunlukla holokristalin, hipidiyamorfor, taneli doku göstermektedir. Granitler bolluk sırasına göre, kuvars, ortoklaz, plajiyoklaz, biyotit, amfibol, sfen ve opak mineral içermekte olup orta-iri tanelidir. Farklı zonlardan alınan blokların kenar ve orta kısımlarından hazırlanan ince kesitler polarizasyon mikroskopta incelenmiş ve ilgili yerler fotoğraflanmıştır. Özellikle yılın belirli dönemlerinde su ile temas halinde bulunan A, B ve C zonlarındaki blokların kenar kısımlarından hazırlanan ince kesitlerde orta kısımlardan hazırlanan kesitlere göre; feldispatların daha çok killeştiği, serisitleştiği; biyotitlerin daha fazla hidrobiyotite dönüştüğü, kloritleştiği ve serisitleştiği; amfibollerin daha çok kloritleştiği ve opaklaştığı ve kuvarsların daha çatlaklı olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. A zonundaki blokların kenar (a) ve orta (o) kısımlarından alınan ince kesit görüntüleri (Çift Nikol).

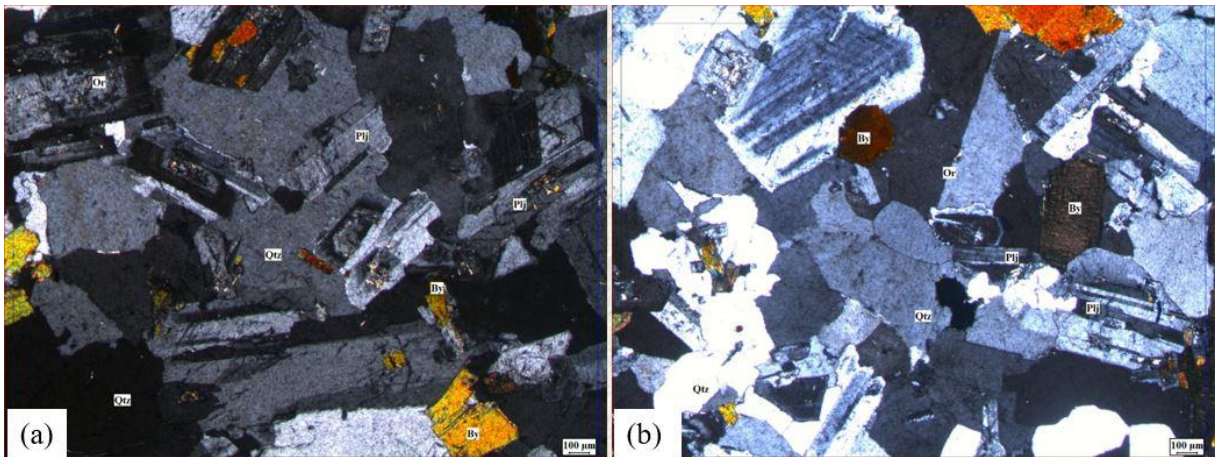
Daha fazla bozunma-alterasyon etkisi gösteren kenar kısımlar karot örneklerinde 0.5-1cm genişliğinde daha açık zonlar olarak izlenmektedir (Şekil 5.2).

Bozunmaya bağlı renk değişimi



şekil 5.2. A (a) ve B (b) zonlarındaki karot örneklerinin blok yüzeyine yakın kenar kısımlarında bozunmalara bağlı renk değişimleri.

Dolu savak seviyesinin üst kotunda bulunan ve rezervuardaki su ile hiçbir zaman etkileşimde bulunmayan D zonunda ise blokların kenar ve orta kısımlarında yukarıda anlatıldığı gibi belirgin bir farklılık gözlenmemiştir (şekil 5.3).

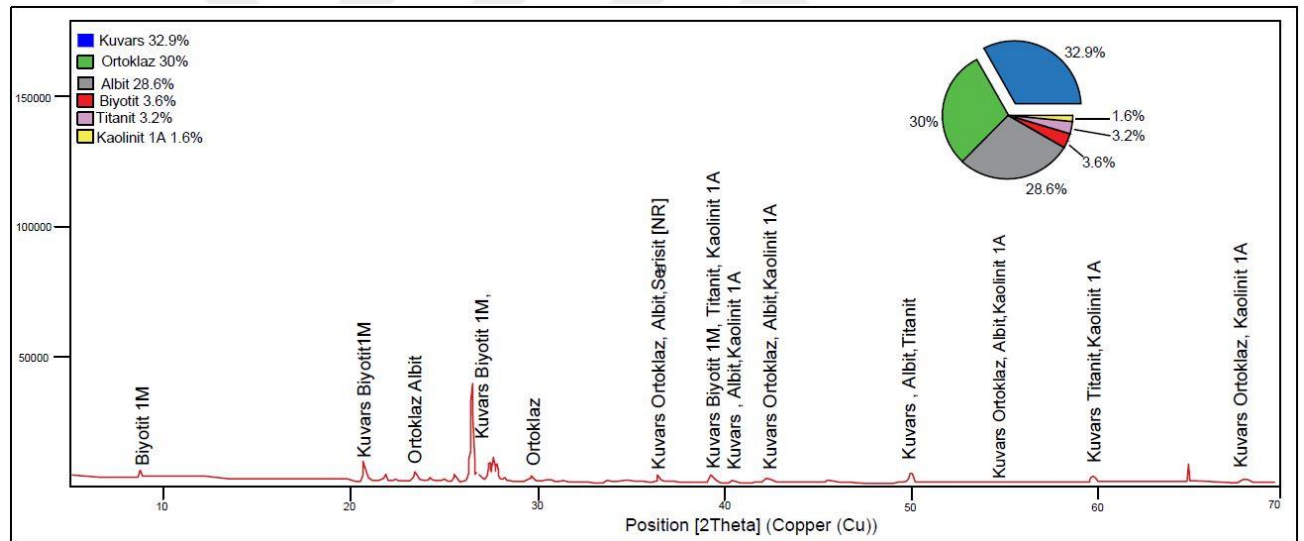


şekil 5.3. D zonundaki blokların kenar (a) ve orta (o) kısımlarından alınan ince kesit görüntüleri (Çift Nikol).

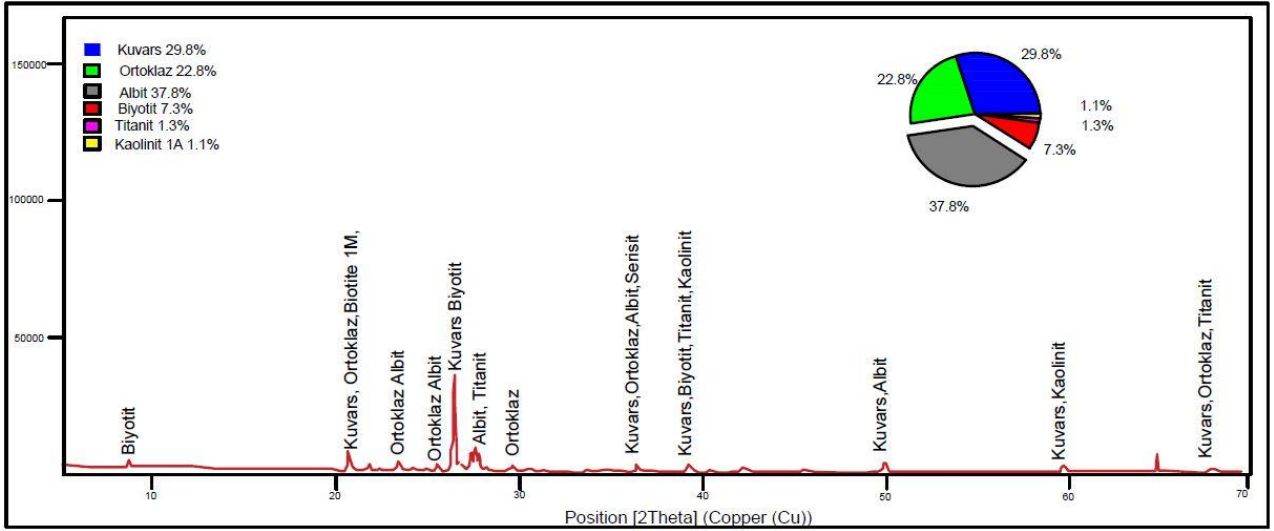
5.2. XRD Analizi

XRD analizi, optik mikroskobu yöntemleri ile belirlenemeyecek kadar küçük tane boyutuna sahip minerallerin kristal yapı özelliklerine göre tanımlanmasında kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte incelenecek olan numune ideal tane boyutuna gelene kadar öğütülerek toz hale getirilmekte ve XRD analiz cihazları ile analiz edilmektedir.

XRD analizleri PANalytical (EMPYREAN) model cihazla, tarama aralığı 5-70, Cu anot kullanılarak yapılmıştır. Mineralojik tayin ve oran belirlemede ise Rietveld methodu kullanılarak mineral bollukları yarı kantitatif olarak belirlenmiştir. XRD analizleri sonucunda, tamamen su altında kalan A zonu ile zaman zaman su altında kalan B, ve C zonlarındaki blokların kenar kısımlarında orta kısımlara göre daha çok kaolenit minerali bulunduğu anlaşılmaktadır (Şekil 5.4-5.5). Su altında kalmayan D zonunda ise kenar ve orta kısımlardaki kaolenit içerikleri hemen hemen aynı değerlerde olup diğer zonlarla karşılaştırıldığında daha düşüktür (Şekil 5.6).

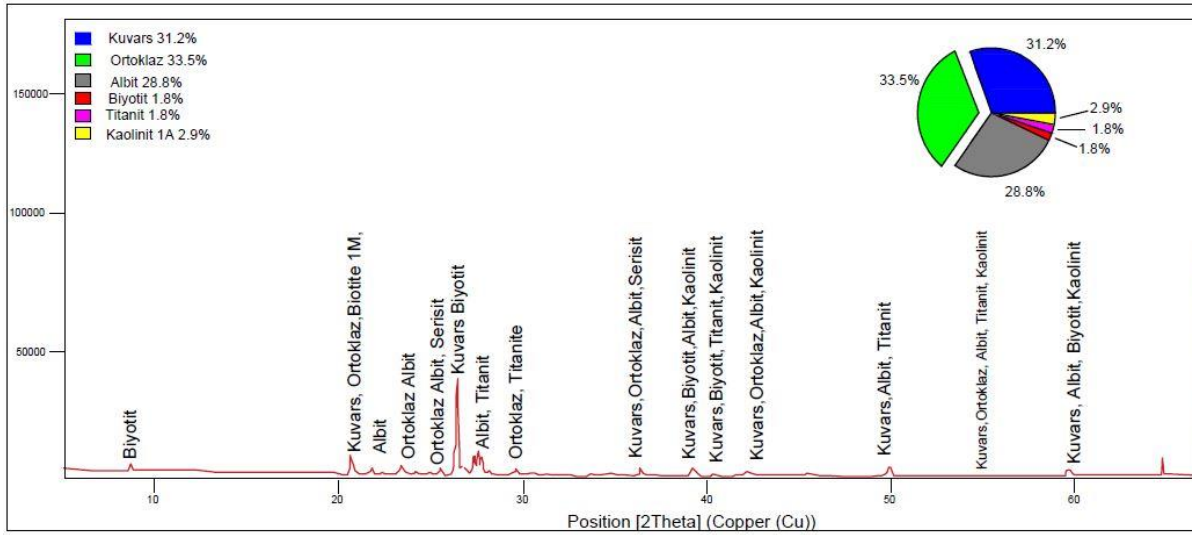


(a)

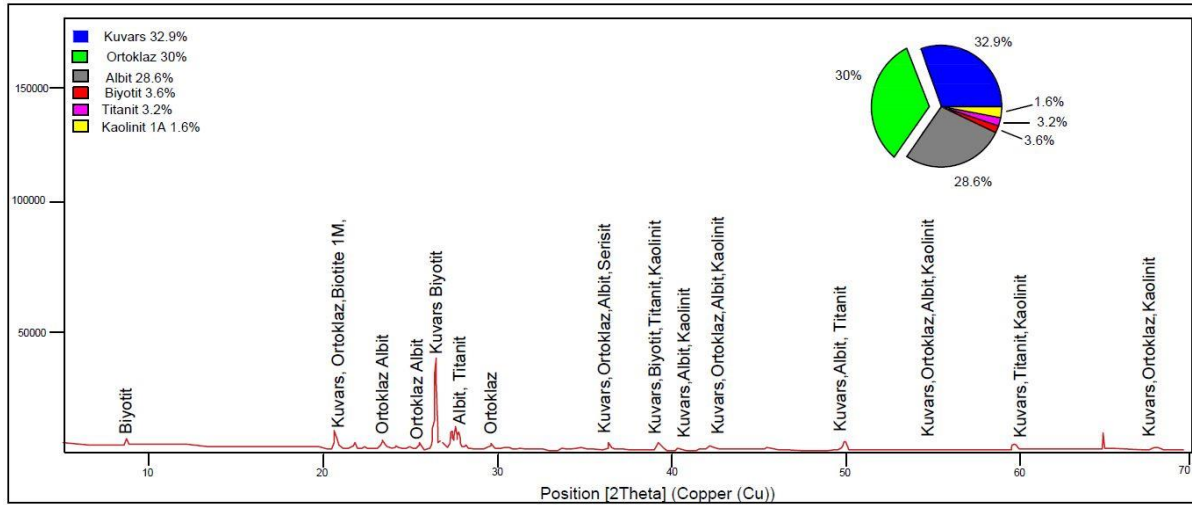


(b)

Şekil 5.4. A zonunda kenar (a) ve orta (b) kısımların XRD sonuçları.

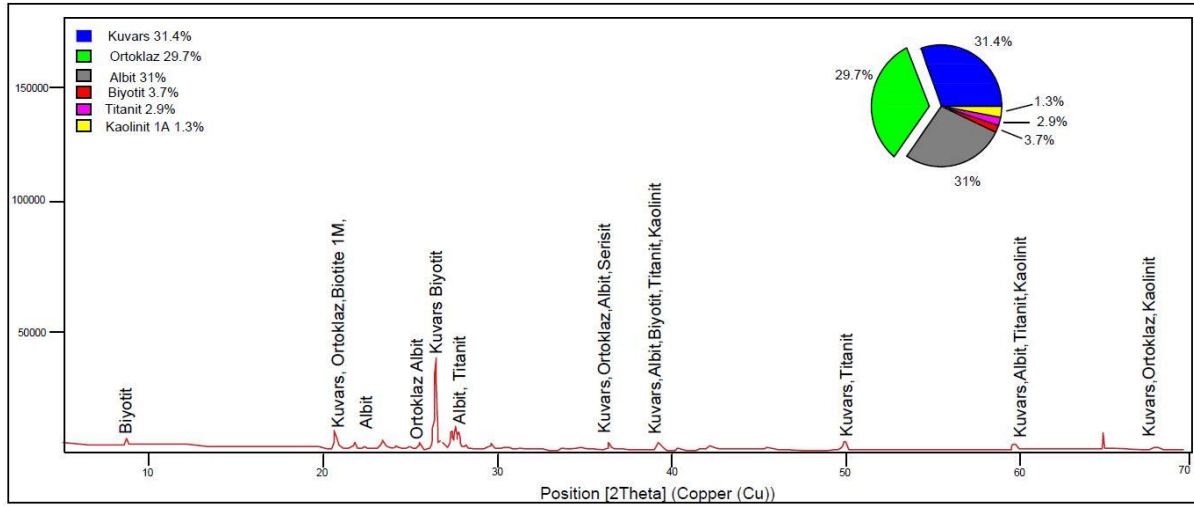


(a)

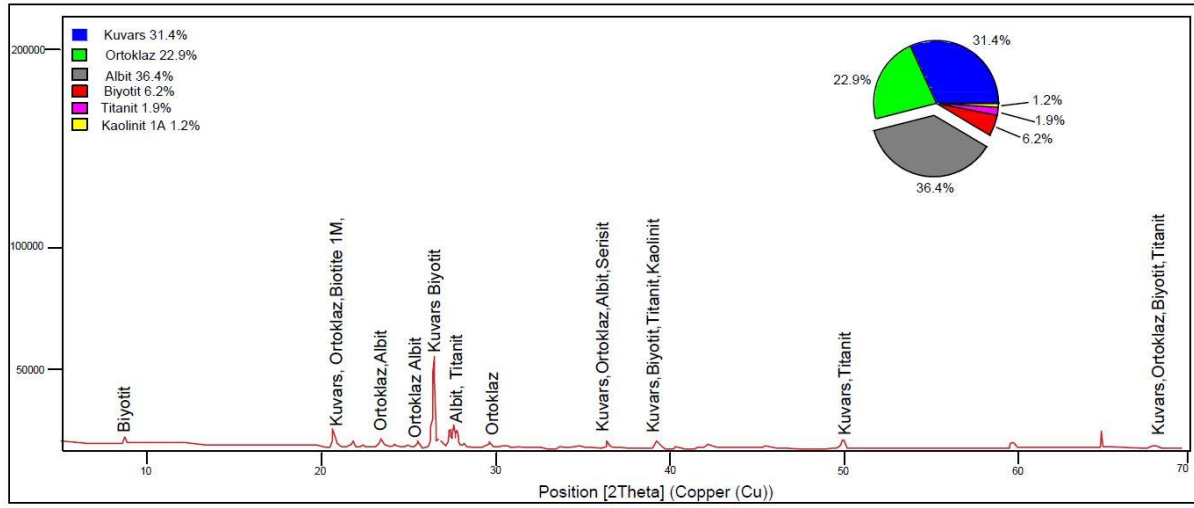


(b)

Şekil 5.5. B zonunda kenar (a) ve orta (b) kısımların XRD sonuçları.



(a)



(b)

Şekil 5.6. D zonunda kenar (a) ve orta (b) kısımların XRD sonuçları.

6. JEOKİMYASAL İNCELEMELER

Günlenme, yüzeydeki ve yüzeye yakın kaya ve zemin materyallerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenler bozunması olayıdır (Selby, 1993). Günlenme de eş zamanlı olarak kayaların mühendislik davranışlarını etkilemektedir. Günlenme etkisiyle kayadaki bazı mineraller değişime uğrarken ikincil mineral oluşumlarında meydana gelebilmektedir. Bu durumda kayaç kimyasında da değişimler meydana gelebilmektedir. Günlenmeye bağlı olarak kimyasal değişimleri ortaya koymak için K_2O , Na_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , TiO_2 H_2O gibi ana oksitler yardımıyla bazı kimyasal günlenme indisleri geliştirilmiştir. Na, Ca, Mg ve Si granitin günlenmesiyle süzülüp azalan bileşenler olarak düşünülmekte, bunun yanında günlenme oranıyla Si değişimi düzensiz olmaktadır (Parker, 1970). Al ve Ti günlenmeyle ortamdaki uzaklaşmazken, Fe ve K ortamı etkileyen çözeltinin kimyasal özelliklerine bağlı olarak karmaşık bir davranış sergilemektedir. Minerallerin içyapısındaki su ise günlenmeyle artmaktadır (Haskins, 2006).

Granit; kuvars, plajyoklaz, ortoklaz, biyotit, hornblend ve az oranda da titan ve opak mineral içeren magmatik kayadır. Plajyoklaz, ortoklaz, biyotit hidrotermal alterasyondan ve günlenmeden en çok etkilenen minerallerdir.

Riprap katmanındaki blokların dış yüzeyleri (kenar), baraj suyundan ve atmosferik etkilerden en çok etkilenecek kısımdır. Blokların iç kısımlarında (orta) bu etkilerin daha az olması beklenmektedir. Blokların dış yüzey (kenar) ve iç kısımlarından (orta) alınan örneklere ait kimyasal analiz sonuçlarının ortalama (sırasıyla Kort ve Oort) değerleri Tablo 6.1’ de verilmiştir. Baraj riprap katmanındaki A, B, C, D zonları ile malzeme ocağından alınan blokların günlenmeye bağlı kimyasal değişimlerini ortaya koymak için kimyasal günlenme indislerinden faydalanılmıştır. Bu amaçla blokların kenar ve orta kısımlarını temsil eden Parker indisi (W_p), silika-alümina oranı (SA), değiştirilmiş günlenme potansiyel indeksi (MWPI), kimyasal günlenme indisi (CIW) ve ateşte kayıp değerleri hesaplanmıştır (Tablo 6.2).

A, B, C ve D zonlarındaki blokların günlenmeye bağlı kimyasal değişimleri ortaya koymak için kimyasal günlenme indislerinden faydalanılmıştır. Bu amaçla kenar ve orta kısımlardan alınan örneklerin XRF analizi sonuçlarına göre, Parker indisi (W_p), silika-alümina oranı (SA), değiştirilmiş günlenme potansiyel indeksi (MWPI), kimyasal günlenme indisi (CIW) ve ateşte kayıp değerleri (LOI) hesaplanmıştır (Şekil 6.1,2,3). Literatür verileri incelendiğinde (Arel and Tugrul, 2001; Heidari vd., 2010; İrfan, 1994), kayaçların günlenme derecesi arttıkça W_p , SA, MWPI'nın azaldığı, CIW ve LOI'nin ise arttığı görülmektedir. CIW ve LOI değerleri, A, B, C ve D zonlarındaki blokların kenar kısımlarında belirgin olarak yüksek çıkmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarının ortalama değerlerine göre hesaplanan günlenme indislerinde ise zonlara göre belirgin bir farkın oluşmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 6.1. Zonlardaki bloklara ait XRF analizi sonuçları.

Oksit değerleri (%)	A		B		C		D	
	Kort	Oort	Kort	Oort	Kort	Oort	Kort	Oort
SiO ₂	67.170	66.783	66.847	67.177	67.365	67.090	67.360	66.470
Al ₂ O ₃	16.590	16.460	16.383	16.320	16.405	16.345	16.485	16.690
K ₂ O	5.230	5.097	5.543	5.203	5.265	5.535	5.160	5.305
Na ₂ O	3.490	3.520	3.180	3.357	3.125	3.310	3.350	3.500
CaO	2.640	2.983	3.207	2.913	3.180	2.930	2.875	3.190
Fe ₂ O ₃	2.900	2.913	2.727	2.860	2.650	2.695	2.725	2.730
MgO	1.010	1.123	1.014	1.117	0.949	1.020	0.993	1.025
TiO ₂	0.408	0.429	0.427	0.419	0.436	0.414	0.426	0.422
BaO	0.155	0.159	0.161	0.153	0.156	0.166	0.151	0.179
WO ₃	0.087	0.113	0.137	0.136	0.124	0.141	0.128	0.072
SrO	0.076	0.080	0.079	0.077	0.079	0.082	0.077	0.089
ZrO ₂	0.049	0.051	0.048	0.049	0.051	0.049	0.052	0.050
MnO	0.054	0.057	0.053	0.057	0.050	0.052	0.051	0.053
Cs ₂ O	0.039	0.045	0.044	0.041	0.042	0.038	0.043	0.042
Rb ₂ O	0.030	0.025	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.025
I	0.018	0.020	0.020	0.022	0.018	0.017	0.017	0.018
Co ₃ O ₄	0.014	0.017	0.021	0.018	0.017	0.020	0.019	0.013
TeO ₂	0.008	0.009	0.008	0.007	0.006	0.007	0.007	0.006
ThO ₂	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007	0.006	0.007	0.007
ZnO	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
Nb ₂ O ₅	0.005	0.005	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006	0.005
PuO ₂	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004

$$W_p = \left[\frac{2 Na_2 O}{0.35} + \frac{MgO}{0.9} + \frac{2 K_2 O}{0.25} + \frac{CaO}{0.7} \right] \quad (6.1)$$

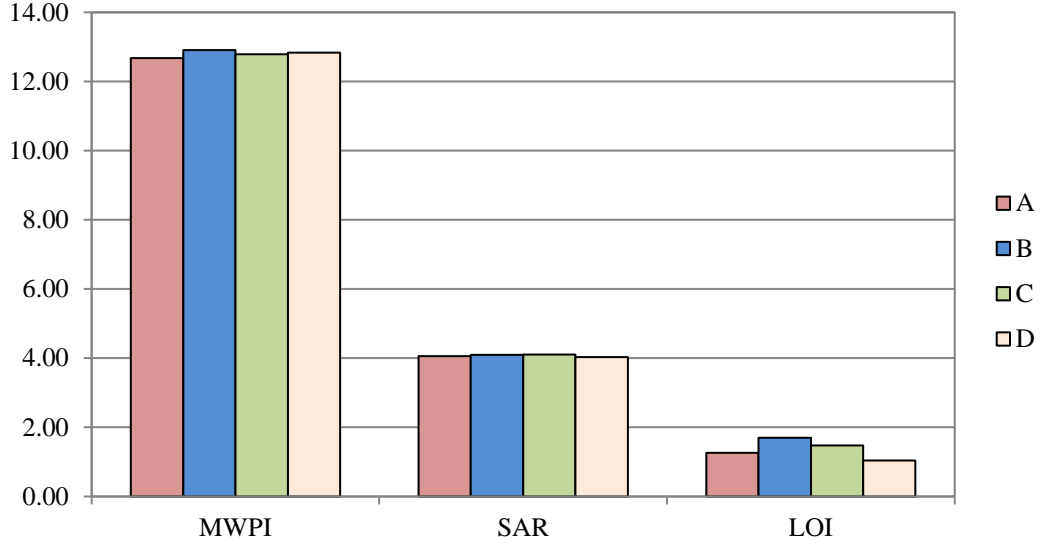
$$Silica - Alumina Ratio = \frac{SiO_2}{Al_2 O_3} \quad (6.2)$$

$$MWPI = \frac{(Na_2O + K_2O + CaO + MgO) * 100}{(Na_2O + K_2O + CaO + MgO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)} \quad (6.3)$$

$$CIW = \frac{Al_2O_3 + K_2O}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O} * 100 \quad (6.4)$$

Tablo 6.2. Blokların günlenme durumlarını belirlemek için hesaplanmış kimyasal günlenme indisleri.

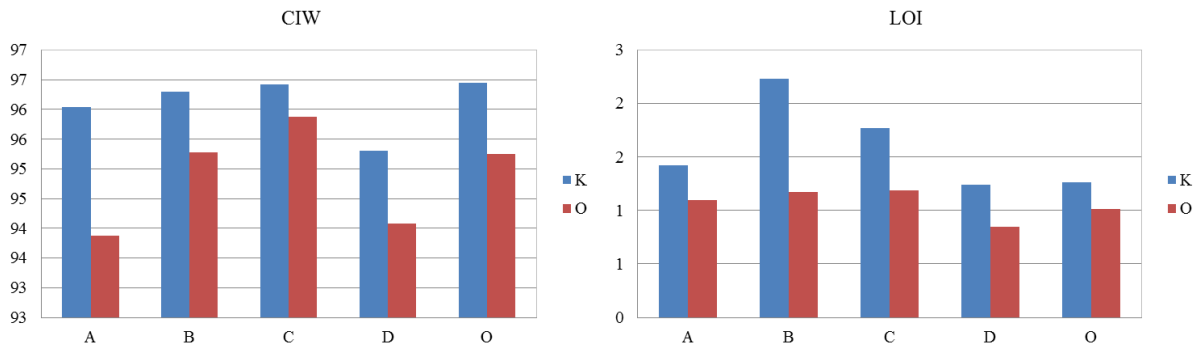
Örnek	Wp	SA	MWPI	CIW	LOI
AK	66.68	4.0	12.49	96.04	1.42
AO	66.40	4.1	12.87	93.87	1.10
BK	68.23	4.1	13.09	96.30	2.23
BO	66.21	4.1	12.72	95.28	1.17
CK	65.57	4.1	12.65	96.42	1.77
CO	68.51	4.1	12.93	95.88	1.19
DK	65.63	4.1	12.51	95.31	1.24
DO	68.14	4.0	13.16	94.08	0.85
OK	65.48	4.1	12.35	96.45	1.26
OO	66.96	4.1	12.81	95.25	1.01



Şekil 6.1. Zonlarda ortalama temel oksit değerlerine göre hesaplanan MWPI, SAR ve LOI değerleri.



Şekil 6.2. Zonlarda ortalama temel oksit değerlerine göre hesaplanan CIW ve Wp değerleri.



Şekil 6.3. Zonların kenar (K) ve orta (O) kısımları için hesaplanan CIW ve LOI değerleri.

7. BLOKLARIN KÖŞELİLİĞİ VE PÜRÜZLÜĞÜ (FRAKTAL BOYUT)

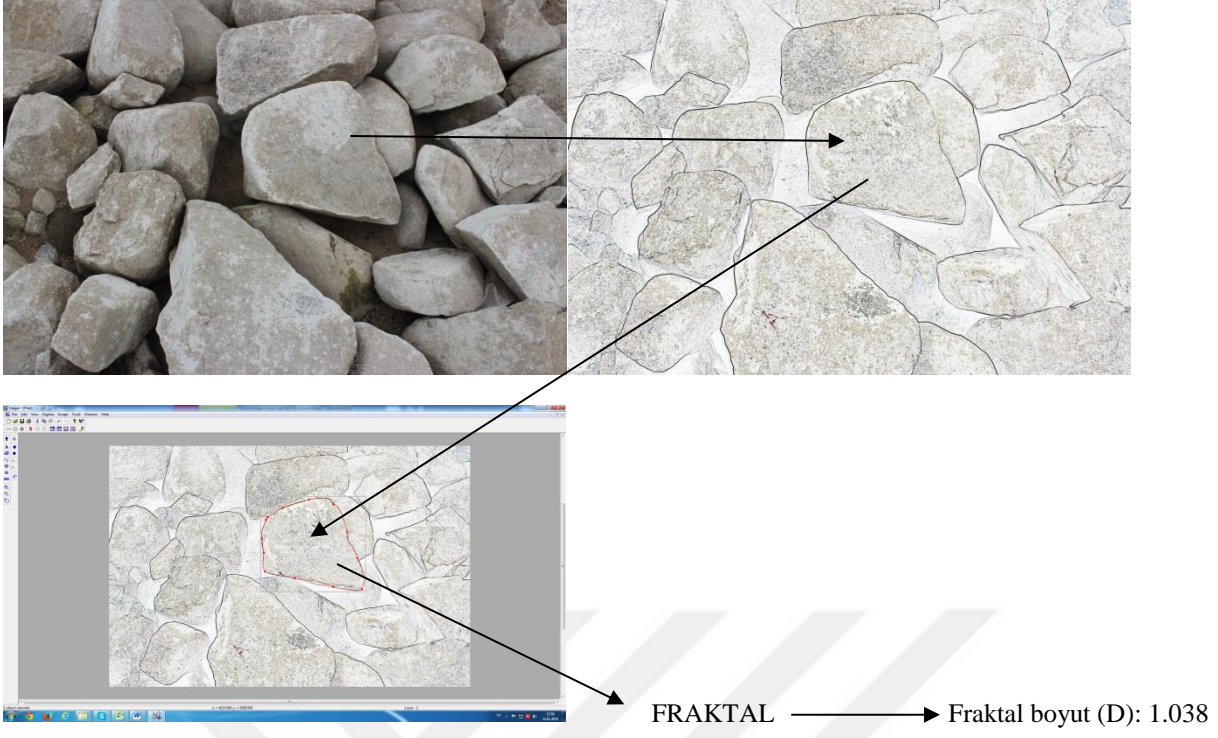
Tanelerin köşelilik ve pürüzlülük özellikleri, zemin kütlelerinin mühendislik davranışı ve kaya parçaları ile yapılan deneysel çalışmaların sonuçları üzerinde etkili olmaktadır (Kolay ve Kayabalı,2005). Zemin tanelerinin ve kaya parçalarının köşelilik ve pürüzlülük özelliklerini sedimanter petrologlar tarafından geliştirilen kurallara göre nitel olarak ifade etmek mümkünse de, bu yöntem jeoteknik uygulamalarında sıkça başvurulan bir yöntem değildir (Holtz ve Kovacs, 1981).

Fraktal boyut, ilk kez deniz kıyısının uzunluğunun belirlenmesi çalışmalarında kullanılmış (Mandelbrot, 1967) ve kıyı uzunluğu cetvel kullanılarak ölçülmüştür (Kolay ve Kayabalı, 2005).

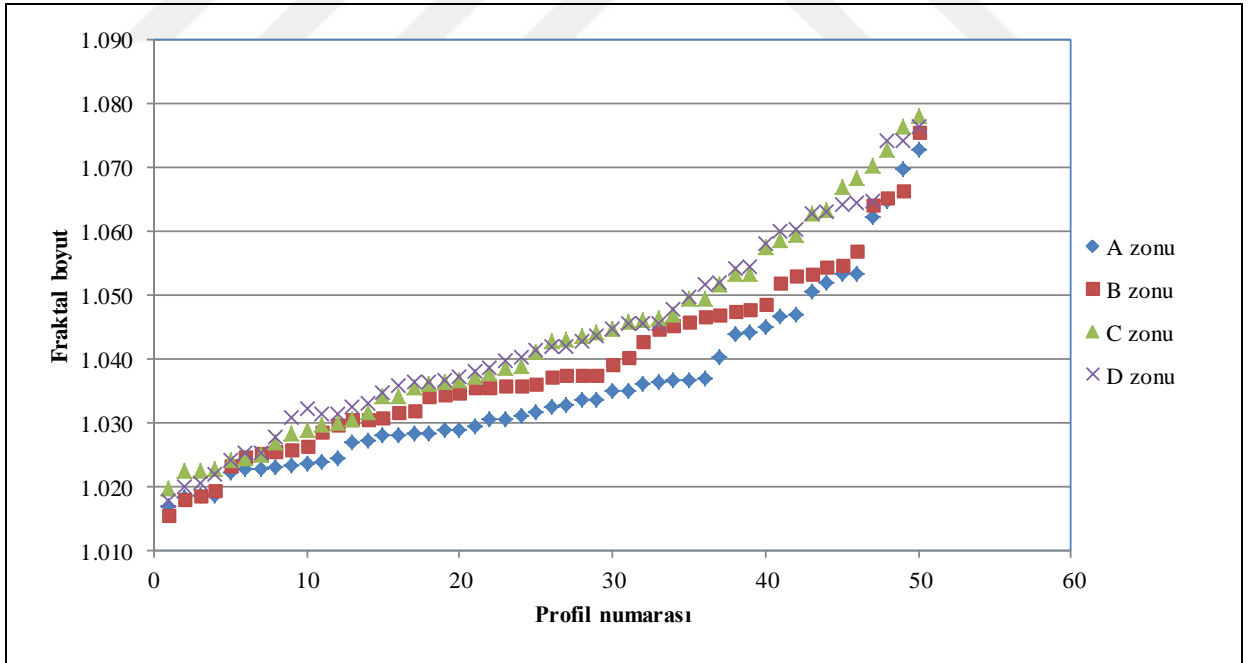
Fraktal boyut hesaplamaları Kolay ve Kayabalı (2005) 'ya göre yapılmıştır. Bu yöntemle göre baraj gövdesi üzerinde tanımlanan A, B, C ve D zonlarının temsilen 50 'şer adet bloklara ait profiller tarayıcı kullanılarak bilgisayar ortamına kaydedilmiştir (Şekil 7.1).

Tarayıcı ile elde edilen profil agrega yüzeyini iki boyutta ifade etmektedir. Gerçekte ise agregalar üç boyutludur. Dolayısıyla bir agreganın şekil ve pürüzlülüğünün üç boyutlu olarak ifade edilebilmesi için, her agreganın dört farklı yüzeyi taranmış ve elde edilen profilin fraktal boyutu hesaplanmıştır. Agreganın dört profiline ait fraktal boyut değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak, bulunan ortalama fraktal boyut değeri (D_{ort}), o agreganın şekil ve pürüzlülüğü olarak ifade edilmiştir. Bilgisayar ortamına aktarılan agrega profilinin sınırları poligon şeklinde sayısallaştırılarak veri dosyası oluşturulmuştur. Daha sonra bu dosyadaki veriler kullanılarak, ilgili profile ait fraktal boyut değeri fraktal programı yardımıyla hesaplanmıştır.

Fraktal boyut değerinin yüksek olması bloğun köşeli olduğunu ve küresellikten uzaklaştığını ifade etmektedir. Her zonu temsil eden fraktal boyut değerleri Şekil 7.2' de gösterilmiştir. A, B, C ve D zonlarındaki bloklar sırasıyla ortalama 1.035, 1.039, 1.043 ve 1.043 fraktal boyut değerlerine sahiptir. Buna göre A zonundaki kaya bloklarının, daha yuvarlak ve pürüzsüz olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 7.1. Riprap bloğunun Fraktal boyut değerinin hesaplanması.



Şekil 7.2. Baraj gövdesindeki zonlara ait Fraktal boyut değerleri.

8. FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER

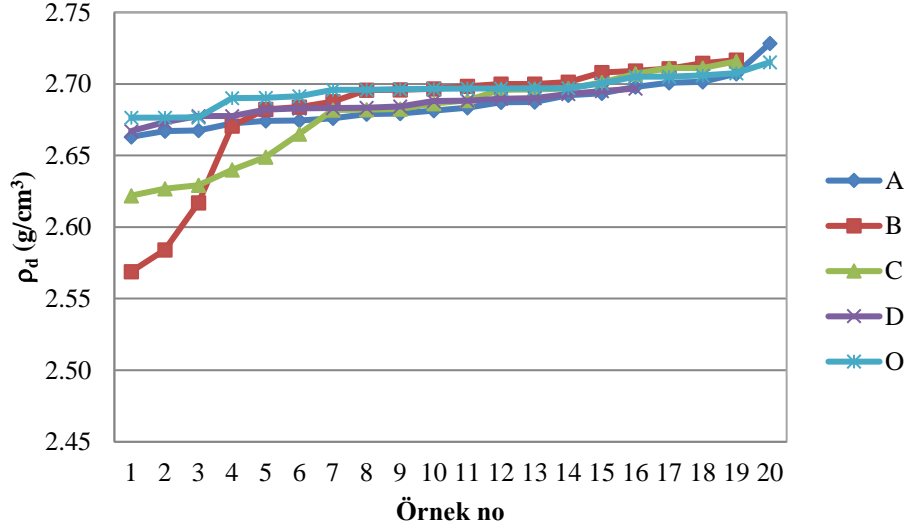
Riprap zonlarından ve dolu savak kazısının yüzeyinden alınan örneklerle ait kuru yoğunluk (Şekil 8.1), görünür gözeneklilik (Şekil 8.2) ve ağırlıkça su emme değerleri tablo 8.1’ de verilmiştir. Buna göre ortalama kuru yoğunluk değerleri 2.68-2.70 g/cm³, ortalama gözeneklilik değerleri %0.41-%1.21 ve ortalama ağırlıkça su emme değerleri %0.15-%0.48 arasında değişmektedir.

Baraj gövdesinin üzerindeki ve ocaktaki bloklarda yerinde yapılan Schmidt sertlik deneylerine ait geri sıçrama değerleri (N) şekil 8.3’ te verilmiştir. Buna göre devamlı su altında kalan A zonunun sıçrama değerlerinin diğer zonlardan belirgin oranda daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. A, B, C, D zonları ile ocaktan elde edilen Schmidt sertlik deneylerinin ortalamaları sırası ile 41.54, 45.36, 47.29, 49.8 ve 51.58 olarak hesaplanmıştır.

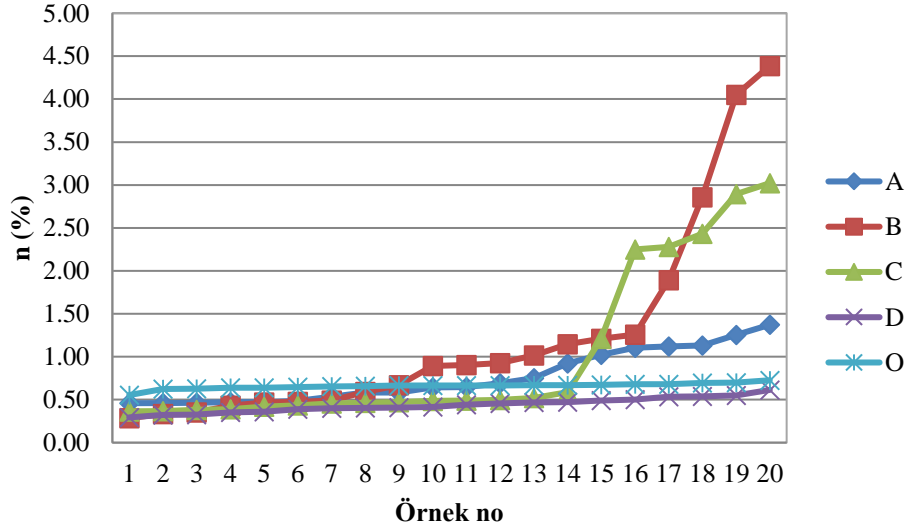
Laboratuvara getirilen granit bloklarından hazırlanan silindirik karot örnekleri üzerinde kuru şartlar altında ultrasonik hız (V_p) ölçümleri yapılmıştır (Şekil 8.4). A, B, C, D zonları ile ocak numunelerine ait ortalama ultrasonik hız değerleri sırasıyla 4831, 4491, 4478, 5403 ve 5110 m/s olarak bulunmuştur.

Tablo 8.1. Riprap zonlarından (A, B, C, D) ve dolu savak kazısının yüzeyinden (O) alınan örneklerle ait kuru yoğunluk, görünür gözeneklilik ve ağırlıkça su emme değerleri

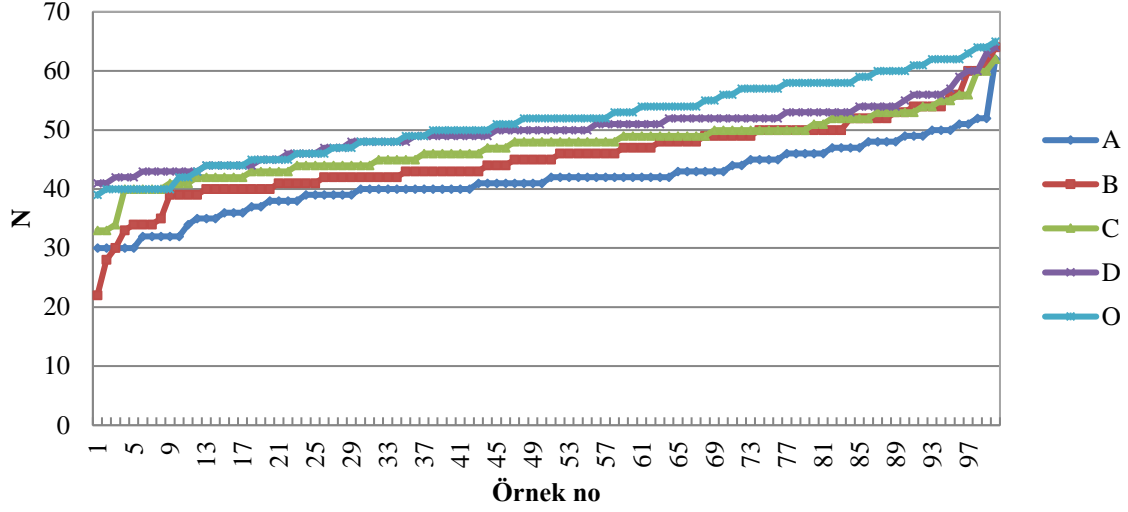
Zon		ρ_d (g/cm ³)			n (%)			Aw (%)		
		En az	En çok	Ortalama	En az	En çok	Ortalama	En az	En çok	Ortalama
A	Kenar	2.66	2.70	2.68	0.46	1.13	0.77	0.18	0.43	0.29
	Orta	2.67	2.73	2.69	0.46	1.37	0.75	0.17	0.53	0.28
B	Kenar	2.58	2.72	2.68	0.22	1.59	0.58	0.11	1.59	0.48
	Orta	2.57	2.71	2.69	0.16	1.72	0.55	0.16	1.72	0.46
C	Kenar	2.62	2.71	2.68	0.37	3	1.21	0.14	1.17	0.46
	Orta	2.63	2.72	2.68	0.36	2.43	0.83	0.14	0.94	0.32
D	Kenar	2.67	2.71	2.68	0.29	0.61	0.46	0.11	0.23	0.17
	Orta	2.68	2.70	2.69	0.32	0.54	0.41	0.12	0.19	0.15
O	Kenar	2.68	2.70	2.69	0.66	0.73	0.68	0.25	0.27	0.25
	Orta	2.69	2.72	2.70	0.55	0.69	0.64	0.21	0.26	0.24



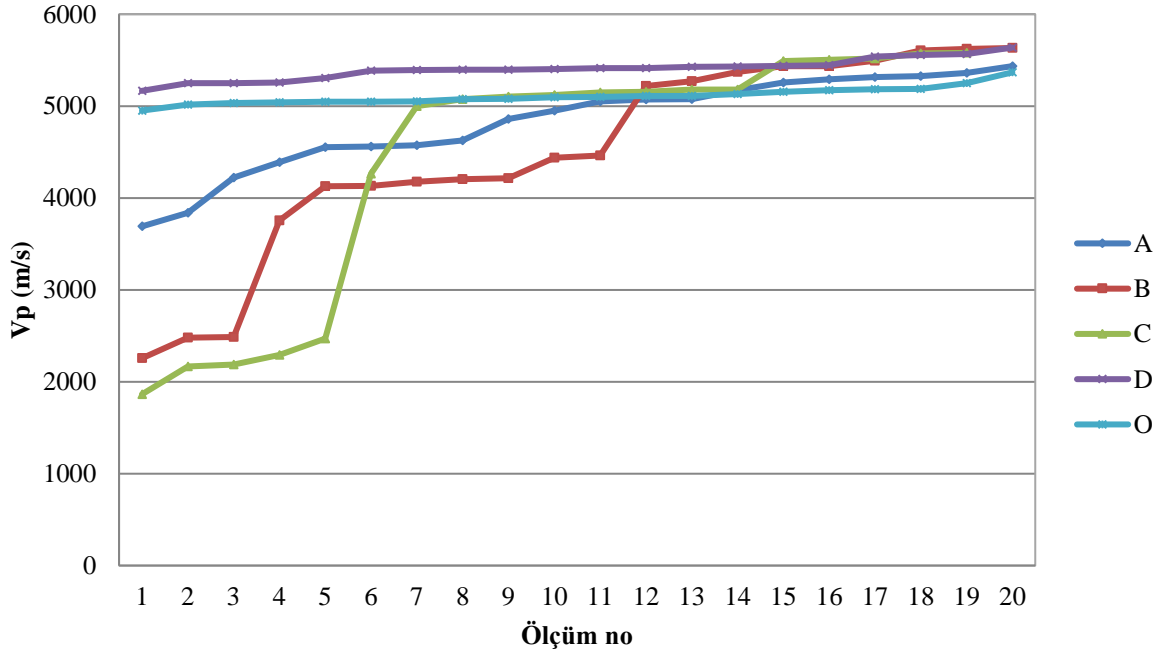
Şekil 8.1. Zonların kuru yoğunluk değerleri.



Şekil 8.2. Zonların görünür gözeneklilik değerleri.

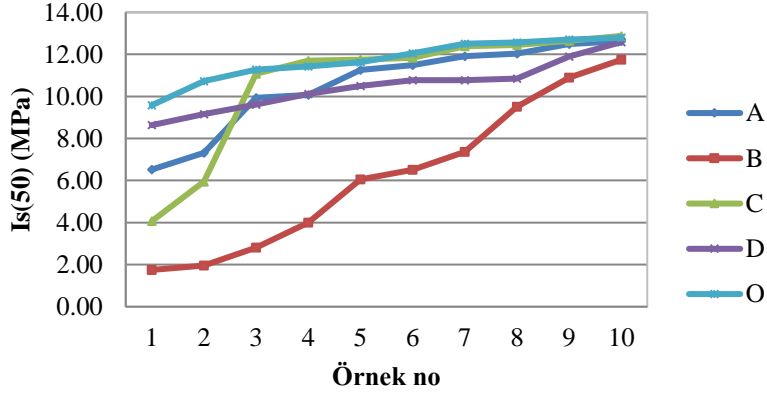


Şekil 8.3. Schmidt sertlik deneylerine ait geri sıçrama değerleri (N).

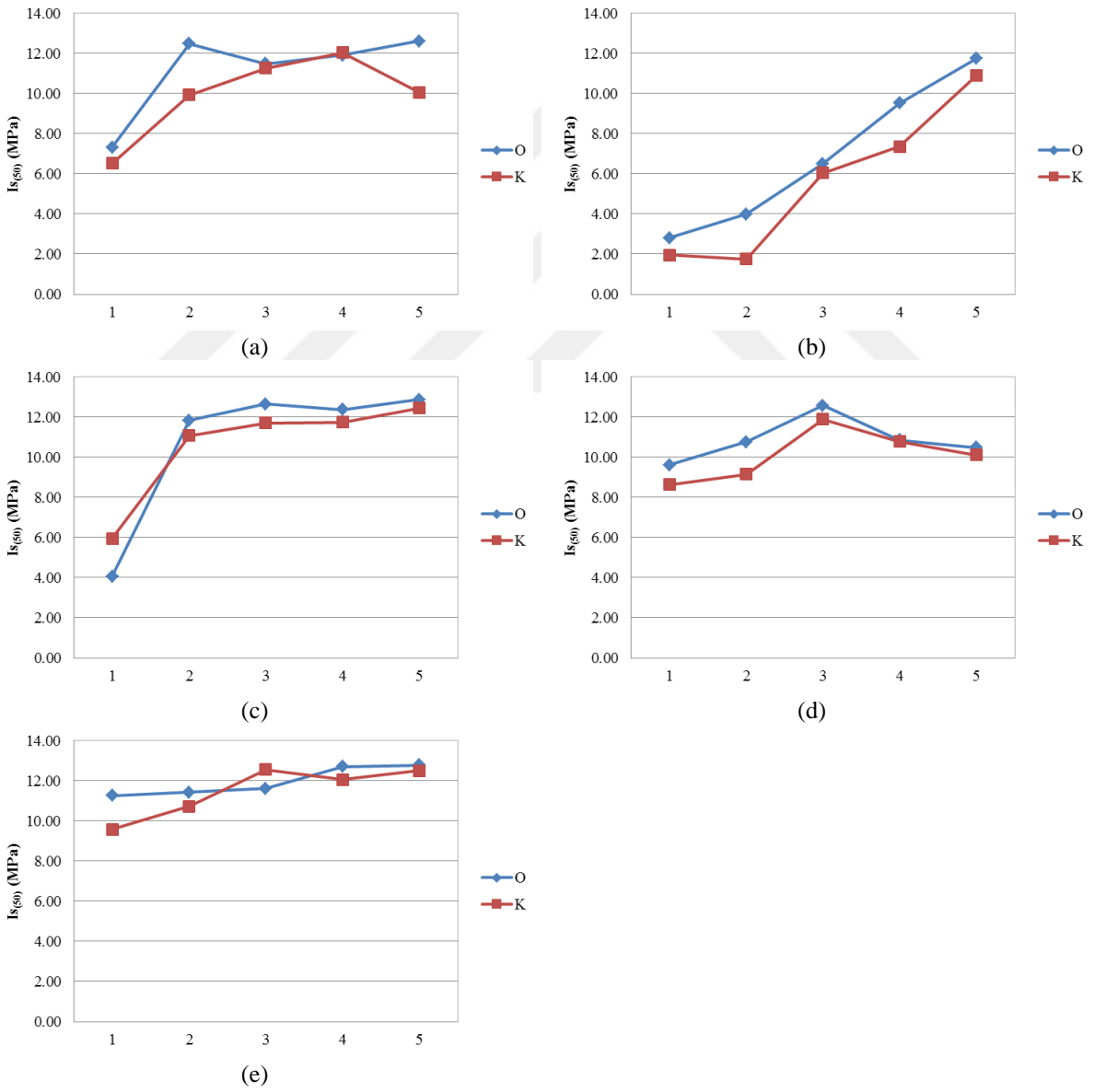


Şekil 8.4. Farklı zonlardaki örneklerin ultrasonik hız (V_p) değerleri.

Baraj gövdesindeki zonlardan ve ocaktan alınan örneklere ait nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerleri şekil 8.5' te verilmiştir. Ayrıca blokların kenar ve orta kısımlarına ait $I_{s(50)}$ değerleri de şekil 8.6' da görülmektedir.

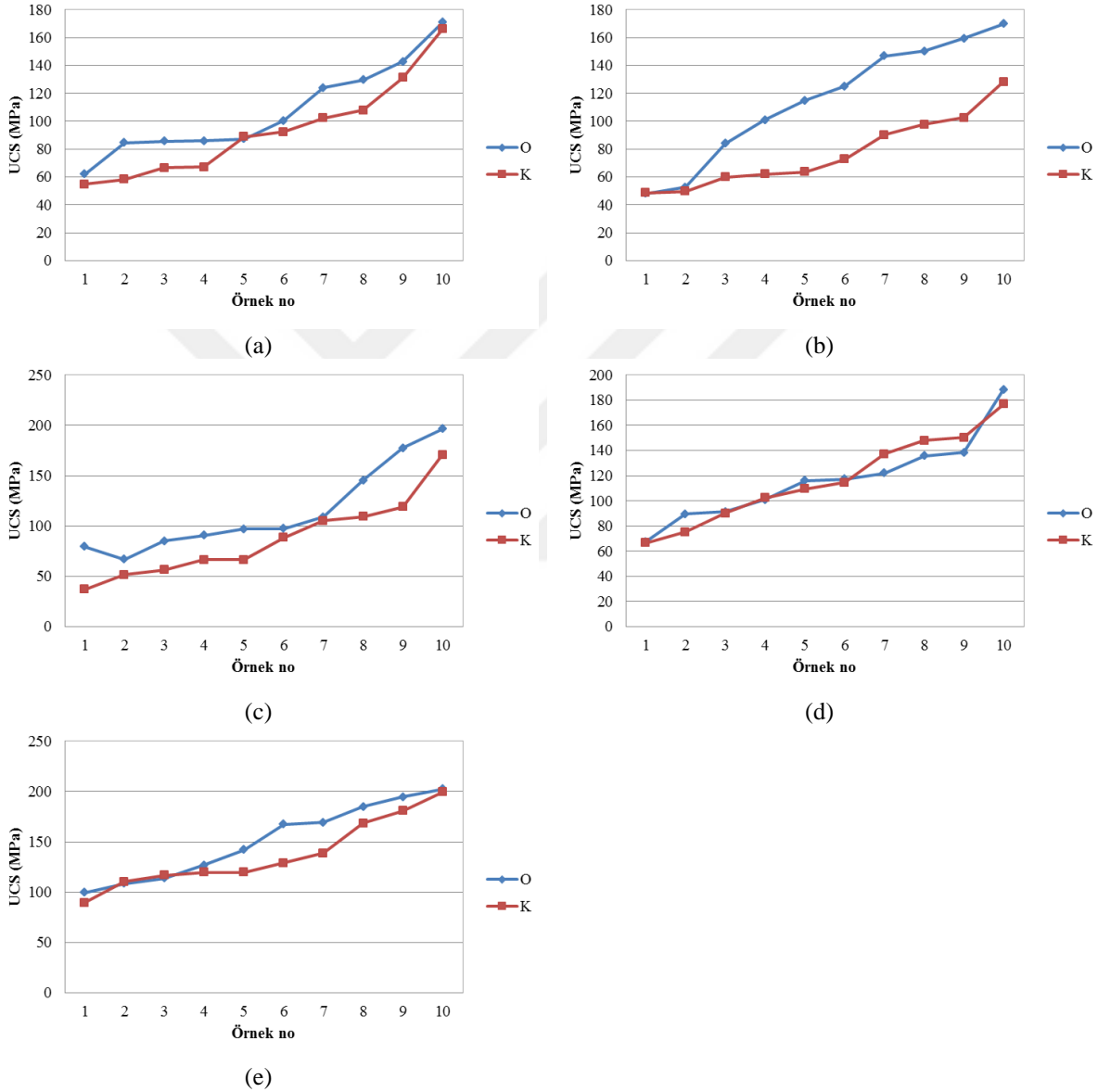


Şekil 8.5. Farklı zonlardaki örneklere ait nokta yükü dayanım indeksi değerleri.



Şekil 8.6. A (a), B (b), C (c) ve D (d) zonları ile ocaktan alınan blokların (e) kenar ve orta kısımlara ait nokta yükü dayanım indeksi değerleri.

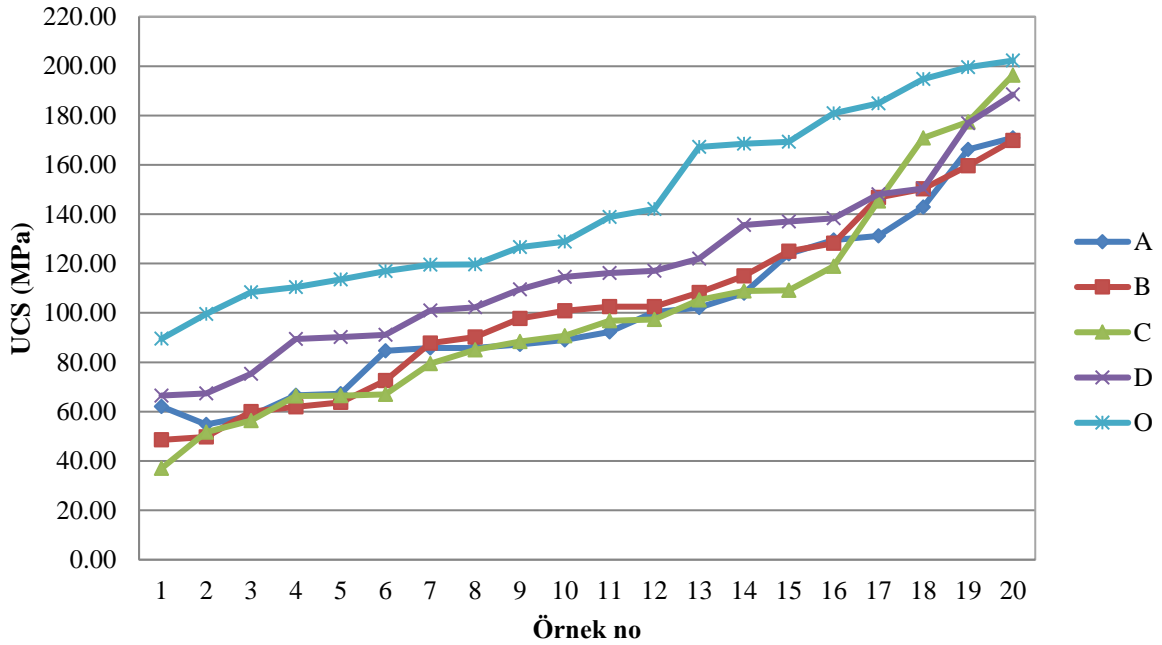
A, B, ve C zonlarında blokların kenar kısımlarının UCS değerleri orta kısımlara göre daha düşük çıkarken D zonu ve ocak bloklarında ise değerler birbirine yakın çıkmıştır (Şekil 8.7). Baraj gövdesinden ve ocaktan alınan blokların serbest basınç dayanım (UCS) sonuçları ve dayanım anizotropisi oranı Tablo 8.2’ te verilmiştir. Ayrıca A, B ve C zonlarının serbest basınç dayanımı D zonundan ve ocak örneklerinden daha düşüktür (Şekil 8.8).



Şekil 8.7. A (a), B (b), C (c) ve D (d) zonları ile ocaktan alınan blokların (e) kenar ve orta kısımlara ait serbest basınç dayanımı (UCS) değerleri.

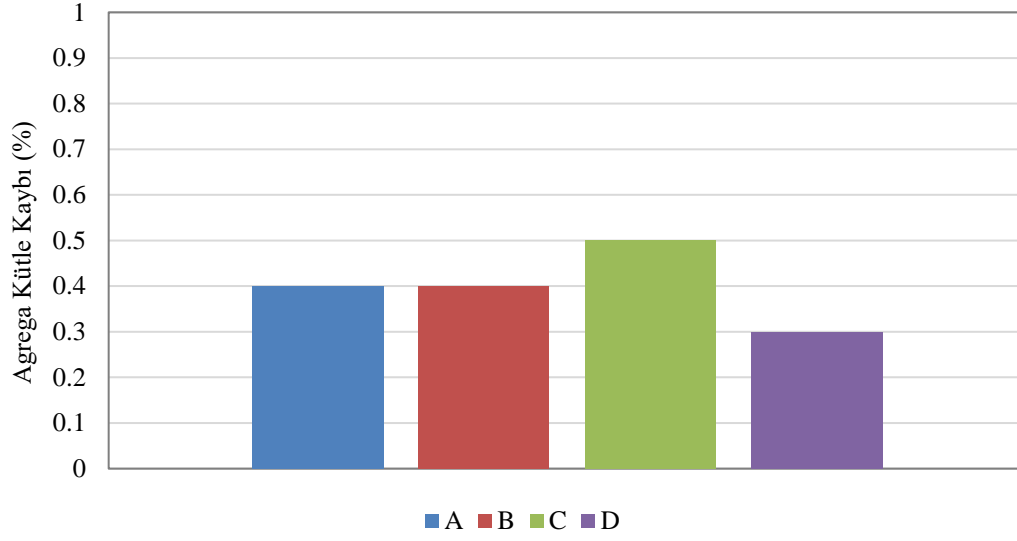
Tablo 8.2. Blokların serbest basınç dayanım (UCS) sonuçları.

Zonlar	Kenar (K)	UCS (MPa)			Dayanı anizotropisi oranı (UCS _K /UCS _O)
		Orta (O)	En az	En çok	
A	K	54.8	166.21	93.56	0.872
	O	62.11	170.94	107.3	
B	K	48.54	108.27	77.52	0.673
	O	48.15	169.86	115.23	
C	K	36.96	170.88	87.02	0.761
	O	79.45	196.32	114.42	
D	K	66.52	176.79	117.07	1.004
	O	67.39	188.47	116.66	
O	K	89.5	199.58	137.28	0.910
	O	99.54	202.24	150.87	



Şekil 8.8. A, B, C ve D zonları ile ocak (O) örneklerinin serbest basınç dayanımları.

A, B, C ve D zonlarında alınan bloklar üzerinde yapılan donma çözünmeye karşı direncin tayini deneyi sonuçları birbirine yakın çıkmıştır (Şekil 8. 9).



Şekil 8.9. Donma ve çözünmeye karşı direnç tayini deney sonuçları.

9. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Baraj gövdesi memba yüzeyindeki riprap katmanını oluşturan blokların petrografik ve jeokimyasal incelemeleri sonucunda çoğunlukla granit bileşimli oldukları anlaşılmıştır. Granitler bolluk sırasına göre kuvars, ortoklaz, plajyoklaz, biyotit, sfen, amfibol ve opak mineral içermekte olup, holokristalin hipidiyamorf taneler dokuludur. Bazı örneklerde porfirik dokuya da geçişler olduğu gözlenmiştir. Kayaçlar el örneğinde koyu ve açık minerallerin bolluğuna ve bozunma durumuna bağlı olarak farklı renkler göstermektedir.

Blokların bozunma durumları ISRM (1981)' ye göre 1 (bozunmamış)-3 (orta derecede bozunmuş) aralığındadır. Özellikle su ile temasın daha çok olduğu A, B ve C zonlarındaki blokların kenar kısımlarından hazırlanan ince kesitlerde orta kısımlardan hazırlanan kesitlere göre; feldispatların daha çok killeştiği, serisitleştiği; biyotitlerin daha fazla hidrobiyotite dönüştüğü, kloritleştiği; amfibollerin daha çok kloritleştiği ve opaklaştığı ve kuvarsların daha çatlaklı olduğu gözlenmiştir. Daha fazla bozunma etkisi gösteren kenar kısımlar karot örneklerinde 0.5-1cm genişliğinde daha açık zonlar olarak izlenmektedir. Göl suyu ile hiçbir zaman temas halinde olmayan D zonunda ise blokların kenar ve orta kısımlarında bozunma bakımından yukarıda anlatıldığı gibi belirgin bir farklılık gözlenmemiştir. Bu durum, XRD analizlerinde belirlenen ikincil kaolenitin varlığı ve bulunma bolluğu ile uyumludur.

A, B, C, D zonlarından alınan blokların günlenmeye bağlı kimyasal değişimleri ortaya koymak için kimyasal günlenme indislerinden faydalanılmıştır. Bu amaçla blokların kenar ve orta kısımlarını temsil eden Parker indisi (Wp), silika-alümina oranı (SA), değiştirilmiş günlenme potansiyel indeksi (MWPI), kimyasal günlenme indisi (CIW) ve ateşte kayıp değerleri hesaplanmıştır. Buna göre günlenme indisleri arasında önemli bir farkın oluşmadığı görülmüştür. Bu sonuçlardan kenar kısımlarda meydana gelen günlenmenin önemli bir kimyasal değişikliğe neden olmadığını göstermektedir. Ayrıca zonlar arasında da kimyasal açıdan önemli bir farkın olmadığı görülmektedir.

Riprap zonu geçirimli malzemenin üzerinde 30-70 cm kalınlıkta olup, bloklar rastgele dökülerek yerleştirilmiştir. Zonlardaki ortalama blok boyutları A, B, C ve D zonları için sırasıyla 50cm, 44cm, 51cm ve 46cm olarak bulunmuştur. Riprap katmanının bazı bölümlerde blokların sık ve kalın bir şekilde yığıldığı, bazı bölgelerde ise alttaki geçirimli malzeme üzerine çok seyrek, küçük bloklardan oluşan ince bir tabaka şeklinde bulunduğu gözlenmiştir. Buna göre gövdedeki dolgu malzemesinin yer yer göl suyunun aşındırma etkisi

altında kaldığı söylenebilir. Vadi kotundaki (A zonundaki) riprap bloklarının yer yer yaklaşık 10 cm kalınlığındaki granit kumu ile örtüldüğü görülmüştür. Gövdenin üzerine oturduğu bozunmuş granitlerin suyun aşındırma etkisiyle kum haline geldiği ve bu kumun da plaj etkisiyle blokların üzerine yerleştiği anlaşılmaktadır. Temeldeki bu erozyon riprap bloklarının baraj gölüne doğru hareketlenmesine neden olabilir. Riprap katmanında az da olsa tamamen bozunmuş (4.derece) ve parçalanmış granit bloklarının bulunduğu da izlenmiştir.

Devamlı su altında kalan A zonunun Fraktal boyut değeri diğer zonlara göre daha düşüktür. Bu durum, bu zondaki blokların kenar (dış) kısımlarının ıslanma-kuruma, donma-çözülme süreçleri, dalga enerjisi ve baraj suyunun etkisiyle bozunmaya uğradığını ve bozulan kısımların da aşınmasıyla bloklarda yuvarlaklaşma meydana geldiğini ve pürüzlerin kaybolduğunu ifade etmektedir. Bu mekanizma A zonundaki blokların boyutlarının zaman içinde küçülme eğiliminde olduğunu da ifade etmektedir.

Tüm blokların kuru yoğunluk değerleri $2.68-2.70 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmekte olup, zonlar arasında ve kenar orta örneklerinde belirgin bir fark yoktur. Kenar kısımlarda %1' lik bir farkla yoğunluklar daha düşüktür. Yoğunluğu 2.66 g/cm^3 ' ten küçük olan bloklar sulu zonlarda ortam şartlarından daha çok etkilenecek belirgin oranda yoğunluk kayıplarına uğramıştır.

Riprap bloklarının görünür gözeneklilik değerleri A zonunda %0.77-%0.75, B zonunda %0.58-%0.55, C zonunda %1.21-%0.83 ve D zonunda %0.46-%0.41 (ilk değer kenar ikinci değer orta kısım örneklerine aittir) olarak çıkmıştır. Genel olarak tüm zonlarda blokların kenar kısımlarında gözeneklilik değerlerinin biraz yüksek çıktığı söylenebilir. Ayrıca A zonundaki gözeneklilik değerleri diğer zonlardan daha yüksektir. Gözenekliliği %0.55' in altında olan bloklar sulu ve kuru zonlarda benzer davranışlar sergilerken, bu değerden daha yüksek gözenekliliğe sahip bloklarda sulu ortamda 8 kata kadar gözeneklilik artışları meydana gelmiştir.

Zonlardaki blokların ağırlıkça su emme durumları incelendiğinde, A zonunda %0.29-%0.28, B zonunda %0.48-%0.46, C zonunda %0.46-%0.32 ve D zonunda %0.17-%0.15 olduğu görülmektedir. Tüm zonlarda blokların kenar kısımlarının daha yüksek su emme gösterdiği, D zonunun ise en düşük su emme değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Baraj gövdesinin üzerindeki ve ocaktaki bloklarda yerinde yapılan Schmidt sertlik deneylerinde A, B, C, D zonları ile ocaktan elde edilen Schmidt sertlik deneylerinin ortalamaları sırası ile 41.54, 45.36, 47.29, 49.8 ve 51.58 olarak hesaplanmıştır. Buna göre devamlı su altında kalan A zonunun sıçrama değerlerinin diğer zonlardan belirgin oranda daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum blokların yüzey kısmındaki biyotit ve feldispat gibi minerallerin A zonunda daha çok bozunmaya uğradığının bir göstergesidir. Bozunma ile yüzeydeki sertlik de azalmıştır.

Laboratuvara getirilen granit bloklarından hazırlanan silindirik karot örnekleri üzerinde kuru şartlar altında ultrasonik hız (V_p) ölçümleri yapılmıştır. A, B, C, D zonları ile ocak numunelerine ait ortalama ultrasonik hız değerleri sırasıyla 4831, 4491, 4478, 5403 ve 5110 m/s olarak bulunmuştur. Şekil 18 incelendiğinde özellikle 5300 m/s' den daha düşük V_p değerine sahip blokların zaman içinde baraj gövdesindeki bozunma süreçlerinden daha çok etkilendiği anlaşılmaktadır. Su ile temas halinde olan A, B ve C zonlarının V_p değerleri dikkat çekici şekilde D zonundan daha düşük çıkmıştır.

A, B ve C zonlarında kenar örneklerinin nokta yükü dayanım indeksleri biraz daha düşük çıkarken D zonu ve ocak örneklerinin kenar ve orta örneklerinde değerler birbirine yakın çıkmıştır. B zonu belirgin bir şekilde diğer zonlardan daha düşük nokta yükü dayanım indeksi değerine sahiptir.

Kenar ve orta örneklerine ait serbest basınç dayanımları sırasıyla, A zonunda 93.56-107.30MPa, B zonunda 77.52-115.23MPa, C zonunda 87.02-114.42MPa, D zonunda 117.07-116.66MPa ve ocak numunelerinde 137.28-150.87MPa' dır. Blokların kenar (UCS_K) ve orta (UCS_O) kısımları arasında dayanım anizotropisini incelemek için UCS_K/UCS_O oranı hesaplanmıştır. Bu oranın 1' den oldukça düşük çıkması, A, B ve C zonlarında bozunmaya bağlı olarak kenar kısımlarda, orta kısımlara göre daha fazla dayanım kaybının meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca A, B ve C zonundaki UCS değerleri D zonundan belirgin oranda düşük çıkmıştır. Özellikle 140MPa' dan daha düşük dayanıma sahip kayaçların sulu zonlarda 20 yıllık süre içinde daha fazla dayanım kaybına uğradığı anlaşılmaktadır.

A, B, C ve D zonlarında alınan bloklar üzerinde yapılan donma çözünmeye karşı direncin tayini deneyi sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. A ve B zonunda kütle kaybı 0,4 iken C zonunda 0,6 ve D zonunda ise 0,3 olarak hesaplanmıştır.

Akçalı ve Arman (2008) tarafından riprap kayaçları için yoğunluk ve serbest basınç dayanımının kabul edilebilir minimum değerleri sırasıyla 2.65g/cm^3 ve 49.05MPa , su emme ise maksimum %1.8 olarak verilmiştir. Çalışmada test edilen bloklara ait bahsedilen parametrelerin ortalama değerlerine bakıldığında yukarıdaki sınır şartlarını sağladığı görülmektedir. Ancak A, B ve C zonlarında kuru yoğunluk için minimum değerler sırasıyla 2.66g/cm^3 , 2.57g/cm^3 ve 2.62g/cm^3 olarak kabul edilebilir sınırlardan daha düşük olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde B ve C zonlarındaki minimum UCS değerleri de kabul edilebilir sınır değerlerden daha düşüktür. A zonu ise sınır değerine çok yakındır. Ancak bu zonda bozulan kenar zonlar dalga etkisiyle aşınarak bloklardan uzaklaştırıldığı için kenar zon örnekleri B ve C zonuna göre göreceli taze örnekler ile yapılmış olmaktadır. Bu sebeple minimum UCS değerlerinin B ve C zonlarından biraz daha yüksek elde edildiği düşünülmektedir. Göl suyunun etkisinde bulunmayan D zonu için parametrelerin tamamı sınır değerlere uygundur. Su emme oranı açısından yine B ve C zonları sırasıyla maksimum %1.59 ve %1.17 değerleri ile sınır değere en yakın zonlar olmuştur. D zonunda ise maksimum %0.23 ile su emme oranı en düşük seviyededir.

Blokların fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde, blokları etkileyen bozunma süreçlerinin granit bloklarının kimyasal özelliklerini fazla değiştirmedeği ancak fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır.

D zonunda gözeneklilik en çok %0.61 iken, A, B ve C zonlarında en çok sırasıyla %1.37, %1.72 ve %2.43 değerlerine yükselmiştir. Gözenekliliğin artması göl suyu ile temas halinde olan bu zonlardaki blokların, bölgeyi etkileyen ıslanma-kuruma ve donma-çözülme gibi fiziksel etkilerden daha fazla etkilenmesine sebep olacaktır. Bu da kayaçların parçalanmasını ve zayıflamasını hızlandıracaktır.

KAYNAKLAR

Acır, Ö., Doğu Karadeniz Limanlarında Anroşman Olarak Kullanılan Bazaltların Kalite ve Dayanıklılığının Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamış), Ankara,2007.

Ahrens, J.P., Design of Riprap Revetments for Protection Against Wave Attack. Technical paper no: 81-5, U.S Army, Corps of Engineers Coastal Engineering Research Center, Kingman Building,1981.

Arel, E., Tugrul, A., Weathering and its relation to geomechanical properties of Çavuşbaşı granitik rocks in Northwestern Turkey.Bull Eng Geol Env 60:123–133, 2001.

ASTM, Annual Book of ASTM Standarts- Construction: Soil and Rock, ASTM Publication, V.04.08, 978 p., 1994.

Akçalı, E. ve Arman, H., Baraj Dolgularında Kullanılan Doğal Malzemenin Seçim Kriterleri ve Limit Aşımının Doğuracağı Tehlikeler, DSİ Teknik Bülteni, Sayı 103, 1-9,Ankara,2008.

Akçalı, E., Dolgu Barajlarda Kullanılan Doğal Malzemelerin Seçim Kriterlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya,2005.

Akçay, A.E., Dönmez, M., Kara, H., Yergök, A.F., Esentürk, K.,Türkiye Jeoloji Haritaları, Yozgat İ-34 Paftası, MTA, Ankara, 2008.

Baykan, N.O., Saf, B., “Barajların yıpranma ve elden çıkma nedenleri ile güvenlik sınamaları”, 1. Ulusal Barajlar ve HES Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı, Sayfa 395-401, Ankara, 2004.

Bell, F.G., Engineering Geology and Constraction. Spone Press, 797p,USA,2004.

BİLGİ, V., Toprak ve Kaya Dolgu Barajların Projelendirme Kriterleri, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1990.

Biswas, A.K., Chatterjee, S.,Dam Disasters- An Assesment. Engineering Journal (Canada), Vol. 54, No. 3, pp.3-8, Canada, 1971.

CANMET, Laboratory test for design parameters. In: Pit Slope Manuel OF CANMET, Supplement 3-2, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-26, 74 p., 1997b.

CEM, U.S Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Manual (CEM), Washington, D.C., 2006, Part VI, Chapter 5, USA, 2006.

Cetin, H., Laman, M., and Ertunc., A., Settlement and slaking problems in the world's fourth largest rock-fill dam, the Ataturk Dam in Turkey. Engineering Geology, 56 (3-4): 225-242,Turkey,2000.

Coastal Engineering Research Center (CEM), Shore Protection Manual. U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, Vol. I and II., 1984.

Coduto, D.P., Geotechnical Engineering. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. 759 p., 1998.

Erguvanlı, K., Mühendislik Jeolojisi, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1982.

Dinçergök, T., Baraj ve Gölet Projelendirme Semineri, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı, Bursa, 1995.

DSİ, Delice Irmak Projesi, Gelingüllü Barajı Proje Aşaması Doğl Yapı Gereçleri Araştırma Raporu, 1979.

DSİ, Jeoteknik Etüd Şartnamesi, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1996.

DSİ, Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi, 1. Barajlar Kongresi, Sayfa: 12-20, Ankara, Ekim 2012.

DSİ, Dolgu İşleri Şartnamesi, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2014.

DSİ, 2016/3 Genelgesi, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2016.

DSİ, DSİ 2016 yılı faaliyet raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2016.

Erguler, Z.A., Shakoor, A., Relative contribution of various climatic processes in disintegration of clay-bearing rocks. Eng Geol 108:36-42, 2009.

Göncüoğlu, M.C., Geologic des westhichen Niğde Massivs: Bonn University Doktora Tezi (Yayınlanmamış), 1977.

Grossi, C.M., Brimblecombe, P., Harris I., Predicting long term freeze–thaw risks on Europe built heritage and archaeological sites in a changing climate. Sci Total Environ 377 (2):273–281, 2007.

Hale, P.A., Shakoor, A., A laboratory investigation of the effect of cyclic heating and cooling, wetting and drying, and freezing and thawing on the comprehensive strength of selected sandstones. Environ Eng Geosci 9(2): 117–130, 2003.

Haskins, D., Chemical and mineralogical weathering indices as applied to a granite saprolite in South Africa. IAEG2006 paper no:465, 2006.

Heidari, H., Khanlari, G.R., Momeni, A.A., Weathering indices and its relation to uniaxial compressive strength of Hamedan hololeucogranite rocks in west of Iran. World Applied Sciences Journal, 11 (2): 142-150, 2010.

Holtz. R.D., and Kovacs W.D., Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice-Hall International, USA, 1981.

Irfan, T.Y., Mineralogy and fabric characterization of weathered granitic rocks in Hong Kong. Geo Report no: 41. Geotechnical Engineering Office, Civ. Eng. Dep. Hong Kong, 1994.

ICOLD, <http://www.icold-cigb.org/>

ISRM, In: Brown, E.T. (Ed.), ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. Pergamon Press, London. 211 pp, 1981.

ISRM, The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), Suggested Medhods Prepared by Commissions on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, Turkey, 628p., 2007.

Kara, H., Dönmez, M., 1/100 000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Kırşehir-G17 paftası No:54 MTA, Ankara, 1997.

Kara, H., 1/100 000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Yozgat-G19 paftası No:34 MTA, Ankara, 1990.

Kaş, İ., Yıldız, E., Toprak Baraj Dolgusu Üzerinden Suların Savaklanması Durumunda Kullanılan Gövde Koruma Metotları, Türkiye Mühendislik Haberleri, 420-421-422, 2002.

Kolay, E., Kayabalı, K., Agregaların köşeliliğinin ve pürüzlülüğünün belirlenmesinde fraktal boyut yönteminin kullanılması. Yerbilimler, 26(2): 49-61, 2005.

Latham, J.P., Assesment and specification of armourstone quality: from CIRIA/CUR (1991) to CEN (2000). In: Advances in Aggregates and Armourstone Evaluation. Engineering Geology Special Publication No: 13.Latham, J.P (ed.), The Geological Society, London, 91-106, 1998.

Lienhart, D.A., The geographic distribution of intensity and frequency of freeze-thaw cycles. Bull Assoc Eng Geol 25(4): 465-469, 1988.

Mandelbrot, B.B., How long is the coast of Great Britain: Statical self similarity and the fractional dimension. Science, 156, pp. 636-638., 1967.

MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/>

Oktay, F.Y., Savcılı-Büyükoba (Kaman) çevresinde Orta Anadolu masifi tortul örtüsünün jeolojisi: İTÜ Maden Fakültesi Doçentlik Tezi (yayınlanmamış), İstanbul, 1981

Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Oral, A., Özer, S., Sümengen, M. ve Tekeli, O., Kuzey Anadolu fay-Kırşehir masifi arasının temel jeolojisi: MTA Raporu No:6722 (yayınlanmamış), Ankara, 1980.

Parker, A., An index of weathering for silicate rocks. Geol Mag, 501-504, 1970.

Rahn, P.H., Engineering Geology. Prentice-Hall, New York, 1996.

RILEM, Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. Commission 25-PEM, Material and Structures in Rock Mechanics. John Wiley and Sons Inc., New York, 650 p., 1980.

Selby, M.J., Hillslope materials and processes. 2nd edn. Oxford University Press, Oxford, 1993.

Sevdiñli, G., Ceyhan (Adana) Dolayı Yapı Taşı Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana,2005.

Seymen, İ., Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir masifinin stratigrafisi ve metamorfizması: TJK Bülteni, 24/2, 101-108, Ankara, 1981.

Seymen, İ., Kaman dolayında Kırşehir masifinin jeolojisi: İTÜ Maden Fak. Doçentlik tezi, 164 s, İstanbul, 1982.

Takarlı, M., Prince, W., Siddique, R., Damage in granite under heating/cooling cycles and water freeze–thaw condition. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 45, 1164–1175, 2008.

Thorne, C.R., Abt, S.R., Batends, F.B.J., Maynard, S.T. and Pilarczyk, K.W., Coastal and Shoreline Portection, Wiley, Chichester, 1995.

Topal, T., Sozmen, B., Deterioration mechanisms of tuffs in Midas monument. Eng Geol 68: 201–223, 2003.

Tosun, H., Baraj Mühendisliğinde Genel Tanımlamalar ve Tasarım Esasları, DSİ Mühendislere İlişkin Su İşleri Eğitim Semineri, Ankara, 2004.

TSE, Doğal yapı taşlarının muayene ve deney methodları. Tükr Standartları Enstitüsü, 16 s, 1978.

Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. Ve Binal, A., Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneylei, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları :58, Ankara, 2010.

Ünsal,A.,Şen,H., Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneylei, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara,2008.

Xu, S., Grasso, P. and Mahtab, A., Use of Schmidt hammer for estimating mechanical properties of weak rock. 6th Int. IAEG Congress, Balkemai Rotterdam, Vol.1, pp. 511-519., 1990.

Zhang, S.J., Lai, Y.M., Zhang, X.F., Pu, Y.B., Yu, W.B., Study on the damage propagation of surrounding rock from a cold-region tunnel under freeze–thaw cycle condition. Tunn Undergr Space Technol 19: 295–302, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Ankara’da doğan Mehmet Önder ATAY, orta ve lise öğrenimini sırasıyla OSTİM ilköğretim okulu ve Kayabayazıtöğlu Lisesinde tamamlamıştır. 2005 yılında kazandığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü 2010 yılında başarıyla bitirmiştir.

2011 yılında yüksek lisans eğitime Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır. Doç.Dr. Ersin Kolay danışmanlığında hazırladığı “Gelingüllü (Yozgat) Barajındaki Riprap Malzemesinin Jeomekanik Özelliklerinin Belirlenmesi” başlıklı teziyle 2018 yılında mezun olmuştur.

2013 yılından beri Devlet Su İşleri 4. Bölge Müdürlüğünde Jeoloji Mühendisi olarak çalışmakta olan Mehmet Önder ATAY, evlidir.

İletişim Bilgileri

Adres : DSİ 4. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik ve YAS Şube Müdürlüğü Anıt alanı Meram

42040 KONYA

Telefon: (332) 322 01 91 /1020

Faks: (332) 320 99 53

E-posta: moatay@gmail.com