

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİYARBAKIR (HANI) KİREÇTAŞLARININ
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE DOĞAL YAPI
TAŞI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Kübra COŞKUN

Ekim, 2015
İZMİR

**DİYARBAKIR (HANI) KİREÇTAŞLARININ
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE DOĞAL YAPI
TAŞI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Programı**

Kübra COŞKUN

Ekim, 2015

İZMİR

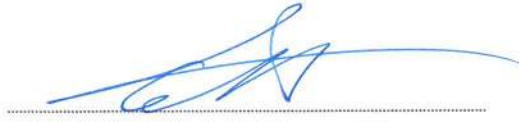
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

KÜBRA COŞKUN, tarafından PROF. DR. ALİ BAHADIR YAVUZ yönetiminde hazırlanan “DİYARBAKIR (HANI) KİREÇTAŞLARININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE DOĞAL YAPI TAŞI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



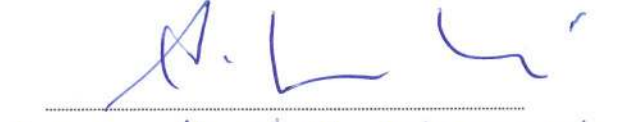
Prof. Dr. Ali Bahadır YAVUZ

Yönetici



Doç. Dr. Cem KINCAZ

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Ahmet H. Delisormancı

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince bilgilerini, tezimin tasarlanması ve hazırlanması aşamasında deneyim ve desteğini benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Ali Bahadır YAVUZ' a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin Diyarbakır'da gerçekleşen Demirören şirketler grubuna ait D Mermer hani ocaklarındaki arazi çalışmalarında, gerekli verilerin toplanması, örneklerin hazırlanması konularında bana büyük yardımları dokunan Üretim Müdürü Serdar AYDIN'a teşekkür ederim.

Tüm yaşantım boyunca bana maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen Babam Bekir COŞKUN ve Annem Şükriye COŞKUN başta olmak üzere sevgili aileme teşekkür ederim.

Kübra COŞKUN

DİYARBAKIR (HANI) KİREÇTAŞLARININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE DOĞAL YAPI TAŞI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Diyarbakır İli'nin kuzeydoğusunda ve Hani İlçesi güneyinde bulunan kireçtaşlarının mühendislik jeolojisinin ve doğal yapı taşı olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi amacıyla yörede bulunan üç adet taş ocağında elde edilen kaya numuneleri üzerinde laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür.

Çalışmanın ilk aşamasında ruhsat sahası ve ocakların içerisinde yürütülen arazi çalışmaları ile kireçtaşlarının stratigrafik ve yapısal özellikleri araştırılmıştır. Bu aşamada, Hani kireçtaşı açık ocakları üretim şev aynaları üzerinde yürütülen detay süreksizlik ölçümleri ile kayaç içerisinde egemen olan ve blok kireçtaşı üretimini etkileyen süreksizlik düzlemlerinin genel özellikleri olan konumları, çatlak ara uzaklıkları ve sıklıkları belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda Hani kireçtaşlarının az süreksizlik düzlemi içeren masif kayaçlar olduğu saptanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, ocaktan alınan kaya bloklarından elde edilen numuneler üzerinde yürütülen laboratuvar deneyleri ile Hani kireçtaşlarının mineralojik, fiziksel ve mekanik özellikleri saptanmıştır. Mikroskobik incelemeler sonucunda istif taşı olduğu saptanan kayacın görünür porozitesinin yüzde 3,30-3,48, birim hacim ağırlığının ise 2,45-2,47 gr/cm³ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Kuru tek eksenli basınç direnci 1576 kg/cm² olan kayacın direncinin, genellikle birbirlerine paralel konumlu kapalı kılcal süreksizlik düzlemlerine paralel yükleme koşullarında, belirgin oranda düştüğü ve anizotrop bir özellik taşıdığı belirlenmiştir.

Son aşamada kireçtaşlarının değişik çevresel ayrıştırıcı koşullar altındaki davranışlarının ve durabilitelerinin belirlenmesi amacıyla kaya örnekleri ıslanma-kuruma, donma-çözülme, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat tuz kıristallenmesi hızlandırılmış ayrıştırma deneylerine tabi tutulmuş ve bu koşulların kayacın

zerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca Hani kiretaşlarının durabilitesi, doygun-kuru tek eksenli basınç direnci oranı yöntemi ile belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hani kiretařı, mühendislik jeolojisi, durabilite, süreksizlik lm.



THE INVESTIGATION OF THE ENGINEERING GEOLOGY AND THEIR USE AS A NATURAL BUILDING STONE OF LIMESTONES FROM HANI- DIYARBAKIR

ABSTRACT

To identify the engineering properties and their use as a natural building stone of Koki limestone located northern east of Diyarbakir and south of Koki village field survey have been carried out in and around three limestone quarries and laboratory experiments have been performed on the samples obtained from the quarries.

In the first stage of the study, stratigraphical and structural properties of the limestone beds have been investigated by field works performed in quarry site. In this stage, main engineering properties of discontinuities like locations and orientation, spacing and frequency which affect the block efficiency of stones have been determined by detailed discontinuity measurements carried out on the block production surfaces and as a result, Hani limestone has been classified as a massive rock. Second, mineralogical, physical and mechanical properties of limestones have been investigated with the experiments carried out on rock samples obtained from the rock blocks from the quarries. As a result of microscopic investigations, it has been found that, Hani limestone is a pack stone and its apparent porosity varies between 3.30-3.48 percent and dry unit weight varies between 2.45-2.47 gr/cm³. According to the test results, it has been determined that, uniaxial compressive strength of Hani limestone is 1576 kg/cm² and its strength decreases while it is loaded parallel to the discontinuity surfaces located in the test samples. As a result of this experiment, it has been determined that, Hani limestone shows anisotropic behavior due to the loading directions in the uniaxial compressive strength test.

In the last stage of the study, accelerated weathering tests (wetting-drying, freezing-thawing and salt crystallization) have been performed on the fresh samples to see the behavior of the stone in different prevailing conditions. Additionally,

durability of the Hani limestone has been assessed using wet-to-dry uniaxial compressive strength ratio.

Keywords: Hani limestone, engineering geology, durability, discontinuity measurement.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii

BÖLÜM BİR-GİRİŞ..... 1

1.1 Amaç, Kapsam ve Yöntem.....	1
---------------------------------	---

1.2 Çalışma Alanın Konumu ve Ulaşımı.....	2
---	---

BÖLÜM İKİ-GENEL JEOLojİ..... 4

2.1 İnceleme Alanının Genel Jeoljisi ve Stratigrafi	4
---	---

2.1.1 Fırat Formasyonu.....	5
-----------------------------	---

2.1.2 Lice Formasyonu	6
-----------------------------	---

2.1.3 Alüvyonlar	7
------------------------	---

BÖLÜM ÜÇ-MİNERALojİK ÖZELLİKLER..... 8

BÖLÜM DÖRT-MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ 14

4.1 Süreksizlik Düzlemlerinin Genel Özellikleri	14
---	----

4.1.1 T1 No'lu Mermer Ocağı	15
-----------------------------------	----

4.1.2 T2 Nolu Mermer Ocağı	18
4.1.3 T4 Nolu Mermer Ocağı	20
4.1.4 T1,T2 ve T4 Nolu Mermer Ocağı İçerisinde Egemen Süreksizlik Setlerinin Konumları	24
BÖLÜM BEŞ-FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER.....	26
5.1 Giriş	26
5.2 Fiziksel Özellikler	28
5.2.1 Porozite	29
5.2.2 Birim Hacim Ağırlık.....	30
5.2.3 Ağırlıkça Su Emme.....	32
5.2.4 Boşluk Oranı.....	33
5.2.5 Ultrasonik Ses Hızı Tayini.....	34
5.3 Mekanik Özellikler.....	35
5.3.1 Tek Eksenli Basınç Direnci	36
5.3.2 Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı.....	37
5.4 Hani Kireçtaşları'nın Durabilitesi	38
5.4.1 Giriş	38
5.4.2 Islanma Kuruma Deneyi	39
5.4.3 Donma Çözülme Deneyi	41
5.4.4 Tuz Kristallenmesi Deneyi	42
5.4.5 Kuru ve Doygun Tek Eksenli Basınç Direnci Oranı	44
BÖLÜM ALTI-SONUÇLAR.....	45

KAYNAKLAR	49
------------------------	-----------



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 İnceleme alanının yer buldur haritası.....	3
Şekil 2.1 Diyarbakır (Hani) bölgesi mermer ocakları 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritası.....	5
Şekil 2.2 Çalışma alanının stratigrafik kolon kesiti	6
Şekil 2.3 Fırat formasyonuna ait bir görüntü	7
Şekil 3.1 Koki Köyü ocaklarına ait makro el numuneleri	9
Şekil 3.2 Koki Köyü ocaklarına ait kireçtaşlarının polarizan mikroskobu altında görünümü	10
Şekil 3.3 Koki Köyü ocaklarına ait kireçtaşlarının polarizan mikroskobu altında görünümü	11
Şekil 3.4 Koki Köyü ocaklarına ait kireçtaşlarının polarizan mikroskobu altında görünümü	12
Şekil 3.5 Koki Köyü ocaklarına ait kireçtaşlarının polarizan mikroskobu altında görünümü	13
Şekil 3.6 Koki Köyü ocaklarına ait kireçtaşlarının polarizan mikroskobu altında görünümü	14
Şekil 4.1 T1 nolu ocağa ait genel görüntü	17
Şekil 4.2 T2 nolu ocağa ait genel görüntü	20
Şekil 4.3 T4 nolu ocağa ait genel görüntü	22
Şekil 4.4 T4 Nolu ocağa ait iki süreksizlik düzlemi	23
Şekil 4.5 T4 Nolu ocağa ait A3 aynası	24
Şekil 4.6 T1, T2 ve T4 nolu ocaklarında yer alan süreksizlik düzlenimlerinin stereografik alt yarım küre projeksiyonu üzerindeki görünümleri	26
Şekil 5.1. Hani kireçtaşlarında gözlenen kapalı-kılcal süreksizlik düzlemler	29
Şekil 5.2 Hani kireçtaşı numunelerinde uygulanan ıslanma kuruma deneyi sonrası görüntü	41
Şekil 5.3 Hani Kireçtaşlarının hızlandırılmış aşındırma deneyleri sonrası bozunma şekilleri.....	44

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1 T1 nolu ocağa ait üst basamaktaki aynaların L (Ayna yüzeyi uzunluğu), N (Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı), $\bar{A}$ (Ortalama süreksizlik aralığı) ve λ (Süreksizlik sıklığı) değerleri	18
Tablo 4.2 T1 nolu ocağa ait alt basamaktaki aynaların L (Ayna yüzeyi uzunluğu), N (Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı), $\bar{A}$ (Ortalama süreksizlik aralığı) ve λ (Süreksizlik sıklığı) değerleri	19
Tablo 4.3 T2 nolu ocağa ait aynaların L (Ayna yüzeyi uzunluğu), N (Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı), $\bar{A}$ (Ortalama süreksizlik aralığı) ve λ (Süreksizlik sıklığı) değerleri	21
Tablo 4.4 T4 nolu ocağa ait aynaların L (Ayna yüzeyi uzunluğu), N (Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı), $\bar{A}$ (Ortalama süreksizlik aralığı) ve λ (Süreksizlik sıklığı) değerleri	25
Tablo 5. 1 Çalışma süresince yapılan laboratuvar deneyleri ve uyulan standartlar ...	28
Tablo 5.2 Hani Kireçtaşları'na ait Görünür porozite (n) değerleri	31
Tablo 5.3 Hani Kireçtaşları'nın kuru ve doymuş birim hacim ağırlıkları	32
Tablo 5.4 Hani Kireçtaşları'nın ağırlıkça su emme değeri	33
Tablo 5.5 Hani Kireçtaşları'nın boşluk oranı değerleri	34
Tablo 5.6 Hani Kireçtaşları'na ait ultrasonik ses hızı tayini deney sonuçları.....	35
Tablo 5.7 Hani kireçtaşları üzerinde yapılan tek eksenli basınç direnci deneyi sonuçları	38
Tablo 5.8 Hani Kireçtaşları'nın Böhme yüzeysel aşınma deneyi sonrası hacim kaybı	39
Tablo 5.9 Hani Kireçtaşları'nın ıslanma kuruma sonrası kütle kaybı.....	42
Tablo 5.10 Hani Kireçtaşlarının hızlandırılmış aşındırma deneyleri sonrası kütle kaybı.....	44
Tablo 5.11 Kuru ve suya doymuş hani kireçtaşlarının dik yönde tek eksenli basınç direnci ortalamaları	45
Tablo 5.12 Kuru ve suya doymuş hani kireçtaşlarının paralel yönde tek eksenli basınç direnci ortalamaları	45

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Amaç, Kapsam ve Yöntem

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalı yüksek lisans projesi kapsamında hazırlanmıştır. Çalışmada, Diyarbakır İli Hani İlçesi Koki Köyü'nde yer alan ve Demirören şirketler grubuna ait olan D-Mermer tarafından işletmeye açılmış ocaklardaki kireçtaşlarının mühendislik jeolojisinin araştırılması ve doğal yapı taşı olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma, arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir. Diyarbakır İli, Hani İlçesi kireçtaşlarının mermer üretimi için kullanıldığı üç ayrı ocakta yürütülen arazi çalışmalarında ilk olarak kireçtaşlarının stratigrafik ve yapısal özellikleri değerlendirilmiş, kireçtaşlarının doğadaki konumları arazi çalışması ile saptanmış ve katmanların yönelimleri jeolog pusulası yardımı ile ölçülmüştür. Sonraki aşamada çalışma yürütülen ocaklara ait üretim aynalarında yürütülen detay süreksizlik ölçümleri ile kayaç içerisinde egemen olan süreksizlik düzlemlerinin genel özellikleri belirlenmiş ve aynı ocaklardan laboratuvar çalışmalarında materyal olarak kullanılabilmesi için blok kaya örnekleri alınmıştır.

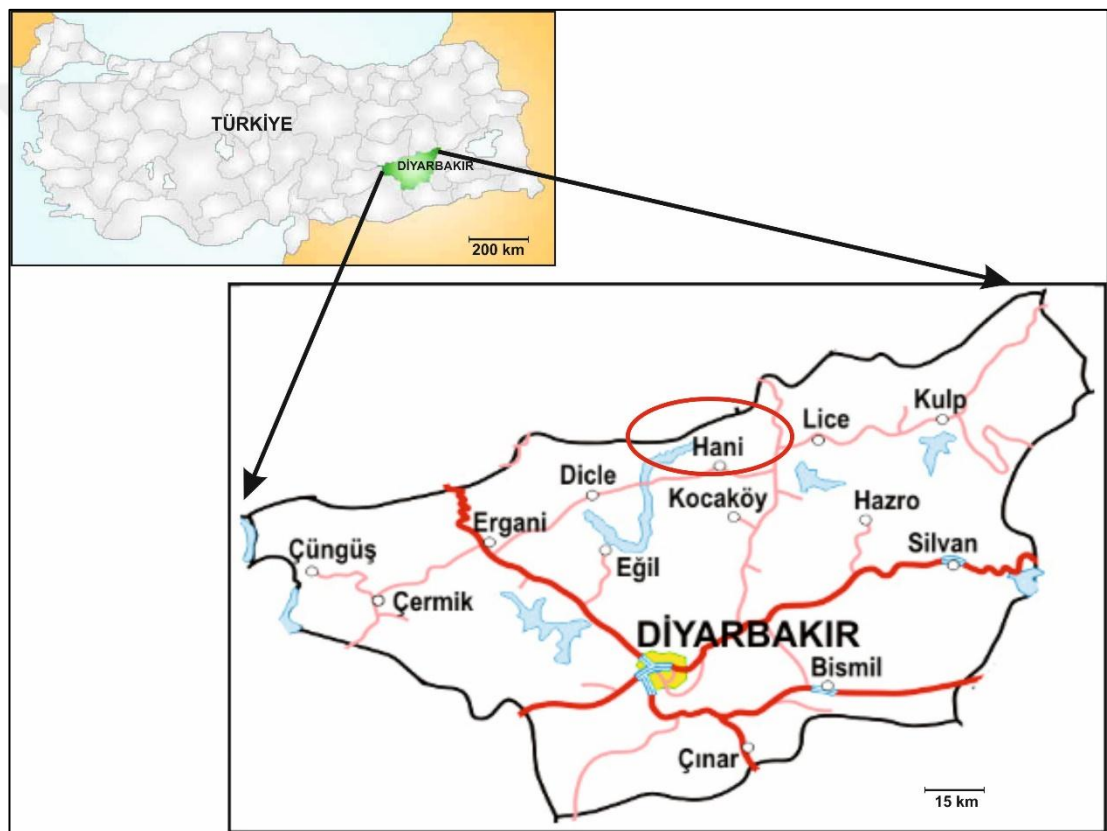
Çalışılan ocaklarda mermer işletmeciliği açısından rezerv ve blok verimi yeterlidir. Bunun yanı sıra içerisinde kırık mevcudiyetine bağlı olarak değerlendirilemeyip pasaya ayrılan kısımlar da söz konusudur. Tez kapsamında yürütülen saha ve laboratuvar çalışmalarıyla Hani İlçesi Koki Köyü kireçtaşı ocaklarında blok üretim verimliliğini etkileyen kaya kütle özelliklerinin yanı sıra mineralojik, fiziksel ve mekanik özellikleri ve durabilitesi araştırılmıştır.

Kireçtaşlarının değişik çevresel ayrıştırıcı koşullar altındaki davranışlarının ve durabilitelerinin belirlenmesi amacıyla kaya örnekleri ıslanma-kuruma, donma-çözülme, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat tuz kristallenmesi gibi değişik

hızlandırılmış ayrıştırma deneylerine tabi tutulmuş ve bu koşulların kayacın üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, Hani kireçtaşlarının durabilitesi, doygun-kuru tek eksenli basınç direnci oranı durabilite saptanma yöntemi ile belirlenmiştir.

1.2 Çalışma Alanının Konumu ve Ulaşımı

Çalışma alanı, Diyarbakır İli'nin kuzeydoğusunda Hani İlçesi güneyinde Koki Köyü'nde yer almaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Bu çalışmanın konusunu oluşturan kireçtaşları önceki çalışmalarda Alt Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu olarak adlandırılan birimler içerisinde yer almaktadır (Tuna, 1973). Arazi çalışmalarının yürütüldüğü işletmede doğal taş pazarına hitab eden malzeme özelliklerine (renk, desen, mineraloji, fiziksel ve mekanik özellikler) sahip, üretim için yeterli ölçülerde geniş/çok geniş kaya blokları alınabilmektedir. Ancak

işletmede, ocak üretim verimliliğini ve kayacın doğal yapıtaşı olarak kullanılabilirliğini olumsuz yönde etkileyen jeolojik parametreler de bulunmaktadır.

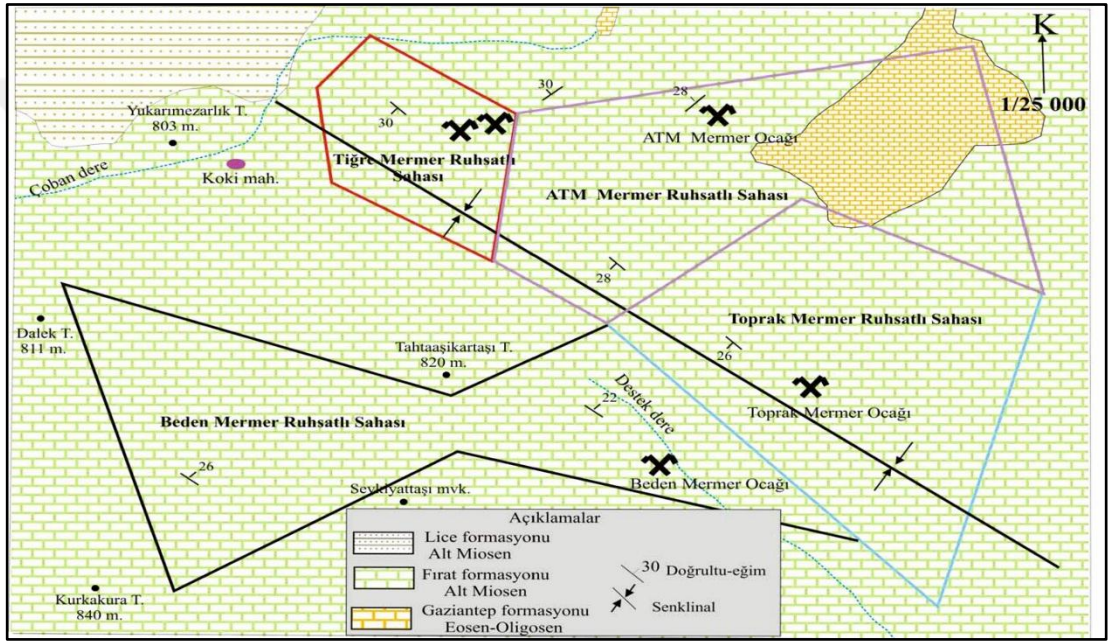


BÖLÜM İKİ

GENEL JEOLojİ

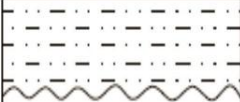
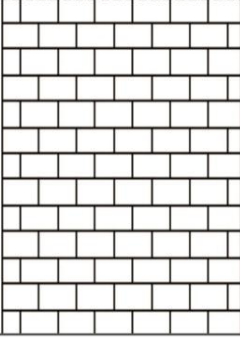
2.1 İnceleme Alanının Genel Jeoljisi ve Stratigrafisi

Çalışma alanında, önceki çalışmalara dayanılarak Fırat Formasyonu, Lice Formasyonu ve Güncel Alüvyonlar olmak üzere 3 farklı birim ayırt edilmiştir (Yıldırım, 2006) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Diyarbakır (Hani) bölgesi mermer ocakları 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritası (Tonçer, 2005).

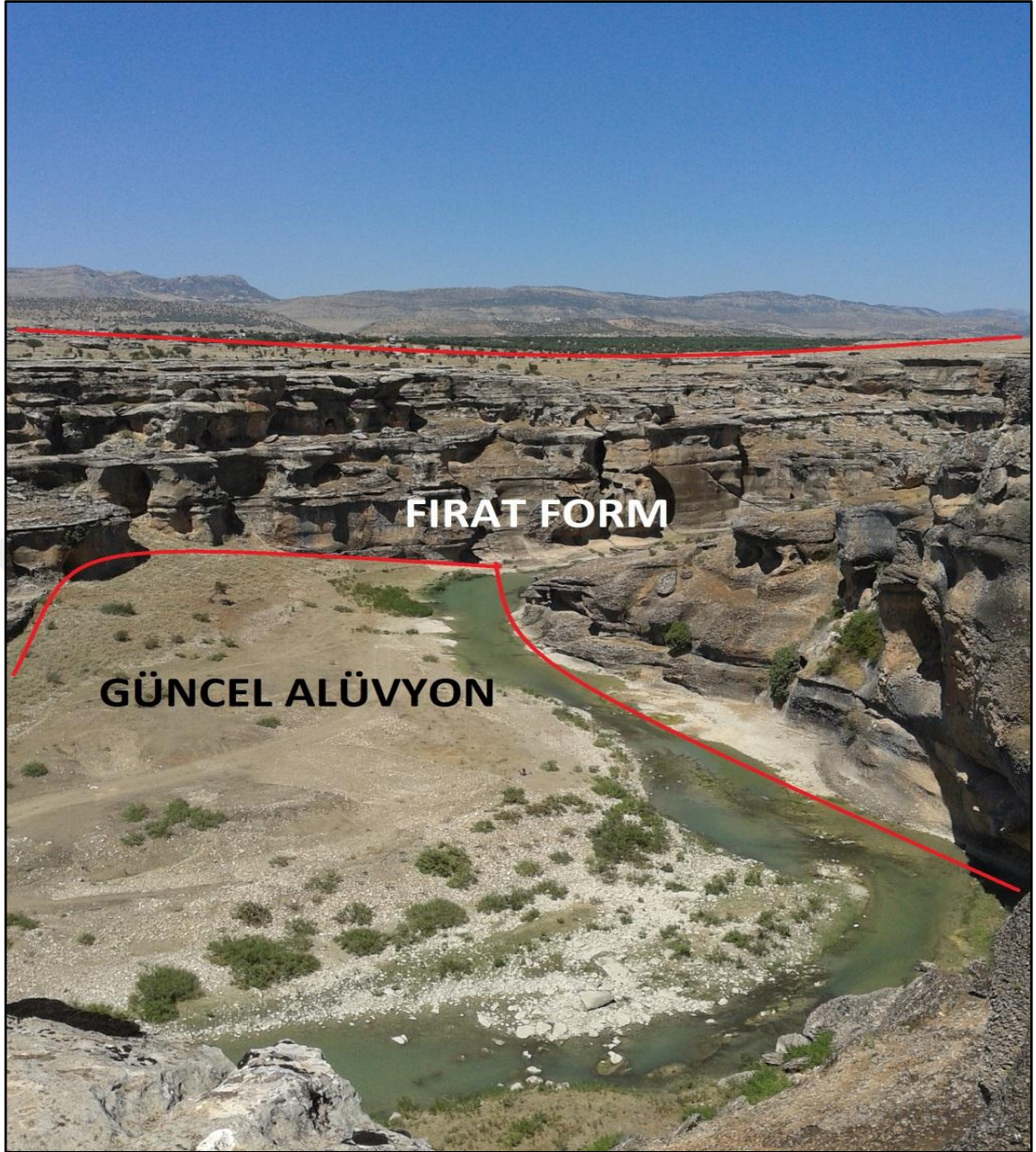
Stratigrafik olarak en altta Alt Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu, üstünde bu birimi uyumlu olarak örten Lice Formasyonu ve en üstte de bölgede çay ve dere boylarında gözlenen ve diğer birimleri uyumsuz olarak üstleyen güncel alüvyonlar bulunmaktadır (Yıldırım, 2006) (Şekil 2.2).

SERİ	KAT	SİMGESİ	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
MİYOSEN	KUVATERNER	Qd	GÜNCEL ALV.	20		Kil, kum, çakıla
	MİYOSEN	T1	LİCE FM.	30		Tabanda kumlu kireçtaşı, dereceli olarak kila-kumtaşı ardalanması
	ALT MİYOSEN	Tf	FIRAT FM.	130		Resifal Kireçtaşı

Şekil 2.2 Çalışma alanının stratigrafik kolon kesiti (Yıldırım, 2006).

2.1.1 Fırat Formasyonu

Ayrışma yüzeyi kirli beyaz, açık gri ve krem taze yüzeyi rengi beyaz-krem, bej olan Fırat formasyonun tabaka kalınlığı inceden-çok kalına kadar değişmektedir (Şekil 2.3). Birimin kalın tabakalı olan üst katmanları masif görünümlüdür. Konglomeratik bir seviye ile başlayan birim üste doğru killi-tebeşirli (yumuşak) kireçtaşı, plaketli kireçtaşı ve en üstte sert, sıkı dokulu som görünümlü kireçtaşlarıyla son bulur (Yıldırım, 2006). Bu fosillerin büyük bir çoğunluğu (mercan ve alg gibi) resifal ortamı karakterize eden bol makro ve mikro fosiller içerir. Nisbeten yumuşak, killi, bol fosilli kireçtaşı seviyelerinin dış yüzeyi pembemsi krem renklidir. Birimin kolay işlenebilme özelliğinden dolayı tarih öncesi devirlerde insanlar bu kayaçların içerisinde barınaklar oymuş ve barınma yeri olarak kullanmışlardır (Yıldırım, 2006).



Şekil 2.3 Fırat Formasyonuna ait bir görüntü.

2.1.2 Lice Formasyonu

Bölgede geniş bir alanda yüzeylenen Alt Miyosen yaşlı Lice Formasyonu, alttaki Fırat Formasyonu'na ait kireçtaşları ile geçişli olduğu yerlerde çoğunlukla krem-bej sarımsı renkli, ince-orta tabakalı kireçtaşı ve kumlu kireçtaşları ile başlayıp, üste doğru gri, yeşilimsi gri ve bej renkli çok ince-ince tabakalı kumtaşı, silttaşı, kiltası, şeyl, marn araldanmalı istiflenme ile devam etmektedir. Bunların arasında ince

tabakalı fosilli–kumlu kireçtaşları bulunmaktadır. Bu birimin tabanındaki Fırat Formasyonu ile uyumludur (Yıldırım, 2006).

2.1.3 Alüvyonlar

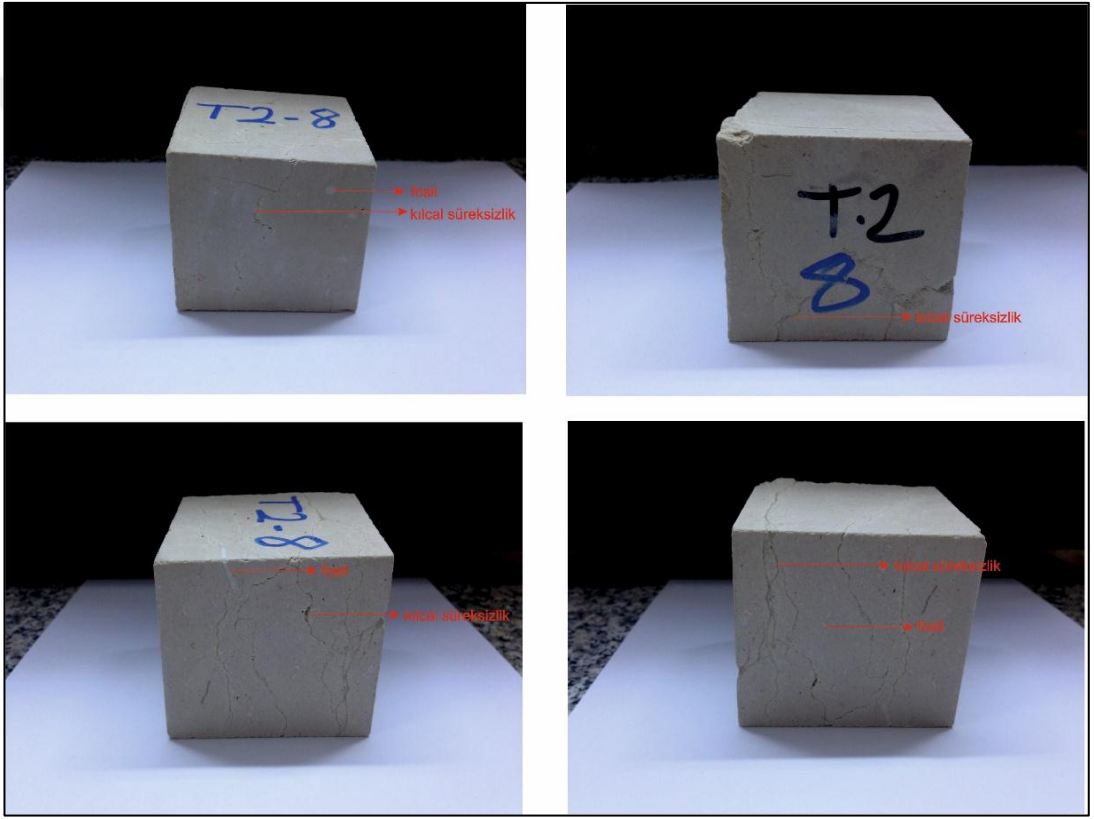
Çalışma alanında çay ve dere boylarında gözlenen, daha çok kum ve mil boyutlu malzeme içeren bu birimler eski alüvyonlar olarak tanımlanmıştır. Kuzeyde bulunan ofiyolitik ve magmatik kütleler ile Midyat Grubu kireçtaşları alüvyonlara malzeme veren başlıca birimlerdir.



BÖLÜM ÜÇ

MİNERALOGİK ÖZELLİKLER

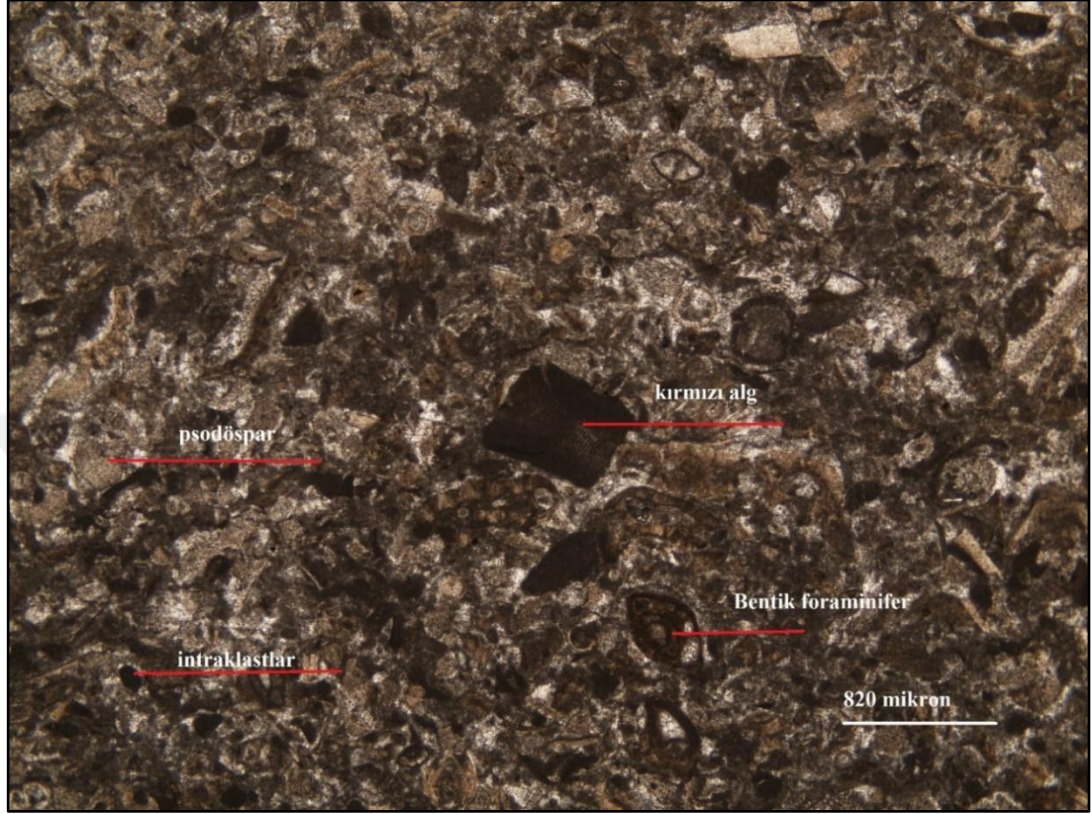
Koki Köyü taş ocaklarından alınan kireçtaşı örnekleri makroskobik olarak incelendiğinde açık sarı, bej renkli ve homojen görünümlüdür. Örneklerin yüzeyinde çoğunlukla yaklaşık birbirlerine paralel konumlu kısmen birbirlerini keser konumda kapalı kılcal süreksizlikler ve yer yer yaklaşık 0,3 cm boyutlarında fosiller gözlenmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Koki köyü ocaklarına ait makro el numuneleri

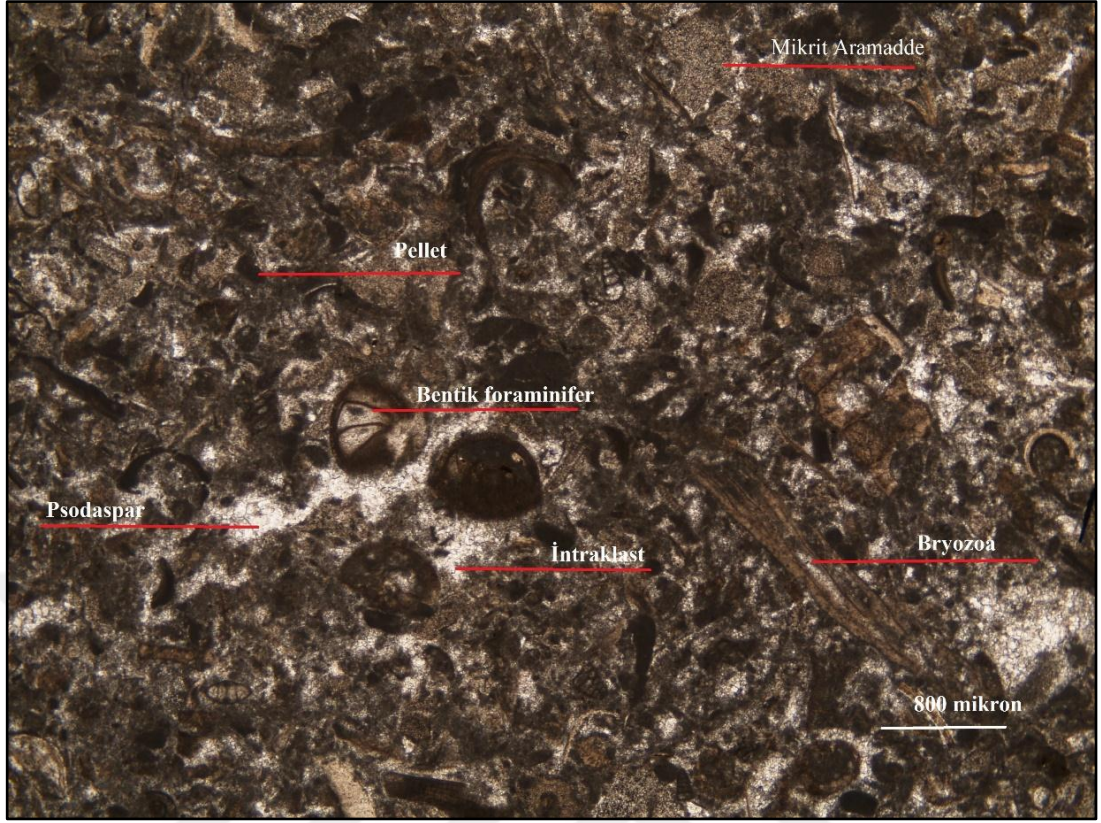
Koki Köyü yöresi kireçtaşlarının mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile blok kireçtaşı üretimi yapılan işletmede birbiri ile bitişik üç ayrı ocaktan el örnekleri alınmıştır. Bu örneklerden dokuz adet ince kesit oluşturulmuş ve bu kesitler polarizan mikroskopta incelenmiştir. Litolojik olarak benzer özelliklere sahip olduğu gözlenen kireçtaşı örnekleri mineralojik ve petrografik özellikleri doğrultusunda istif taşı olarak adlandırılmıştır. Bol bioklastlı kireçtaşı olarak belirlenen kayaç içerisinde

bentik foraminiferlerin, kırmızı alglerin, bryozoaların ve kavkı parçalarının olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6).



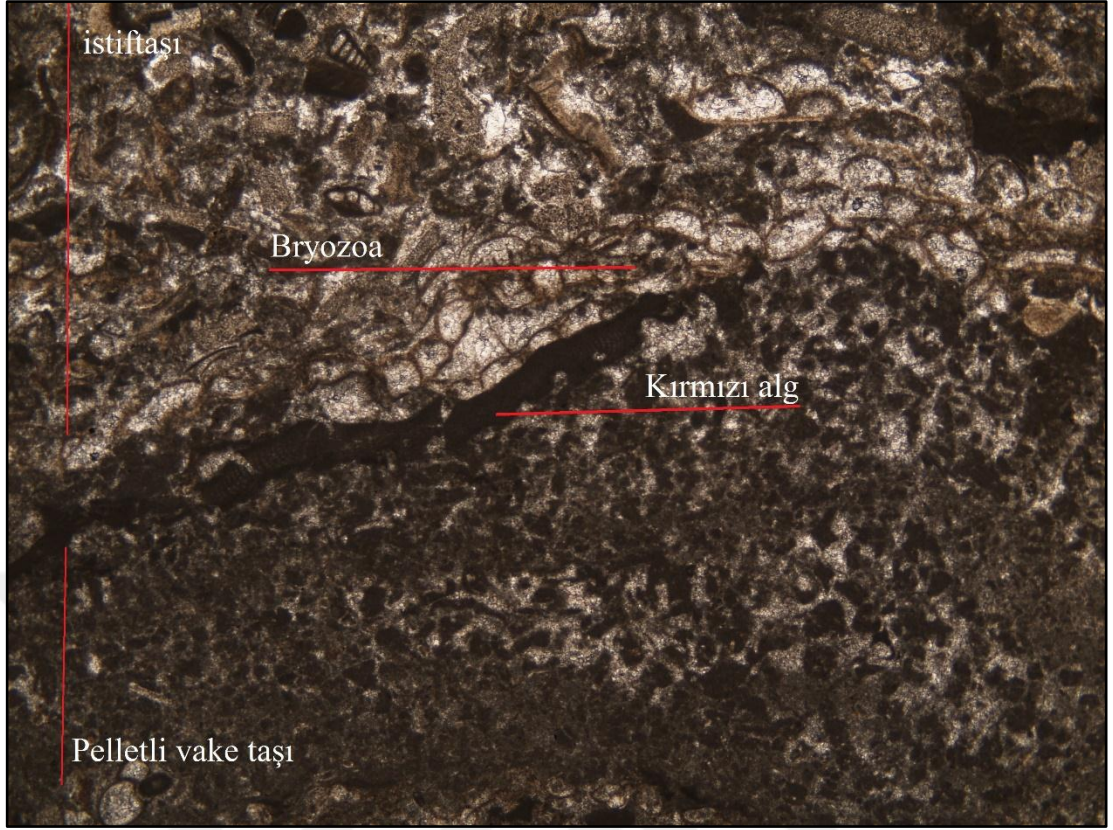
Şekil 3.2 Koki köyü ocaklarına ait kireçtaşlarının polarizan mikroskobu altında görünümü

Çalışma alanına ait el örnekleri 4x2 büyütme polarizan mikroskopta incelendiğinde, içerisinde intraklastların ve kırmızı alg, bentik foraminifer gibi fosillerin (biyoklast) yer aldığı, ara madde olarak bol mikritli kireçtaşı olduğu gözlenmektedir. Ayrıca mikrit aramaddenin yer yer spar kalsit ya da psodöspara dönüştüğü söylenebilir (Şekil 3.2).



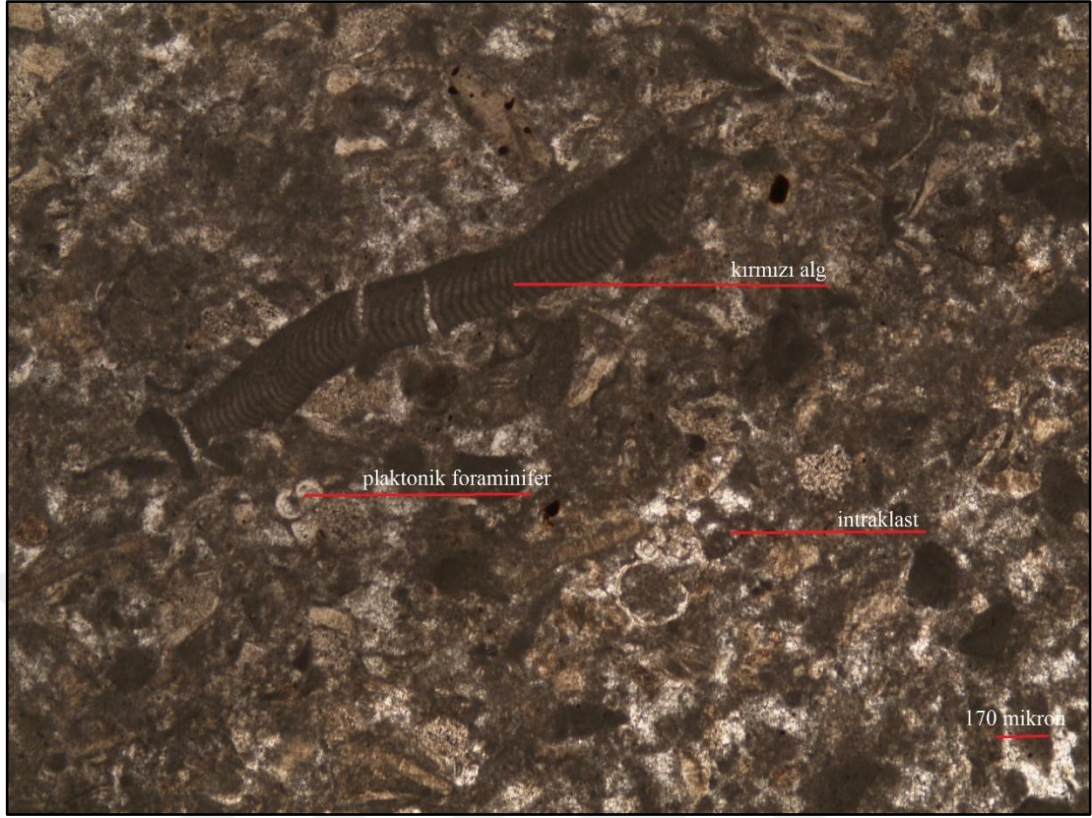
Şekil 3.3 Koki köyü ocaklarına ait kireçtaşlarının polarizan mikroskobu altında görünümü

Koki Köyüne ait kireçtaşlarının Dunham (1962)' a göre doku ağırlıklı sınıflaması yapıldığında tane destekli, bol mikrit ve mikrite oranla daha az spar aramadde katkı, biyoklastlı, intraklastlı, pelletli istifta ı olarak adlandırılmıştır ( ekil 3.3).



Şekil 3.4 Koki köyü ocaklarına ait kire ta ılarının polarizan mikroskobu altında görünümü

Çalışma alanına ait el  rne leri incelendiğinde, genel olarak istifta  olarak değerlendirilen Koki Köyü Kire ta ına ait bazı ince kesitlerde iki fasiyes birlikte gözlenmiştir. Şekil 3.4'te olduğu gibi tane destekli istifta  ile aramadde destekli peletli vaketa ı birlikte gözlenmiştir.

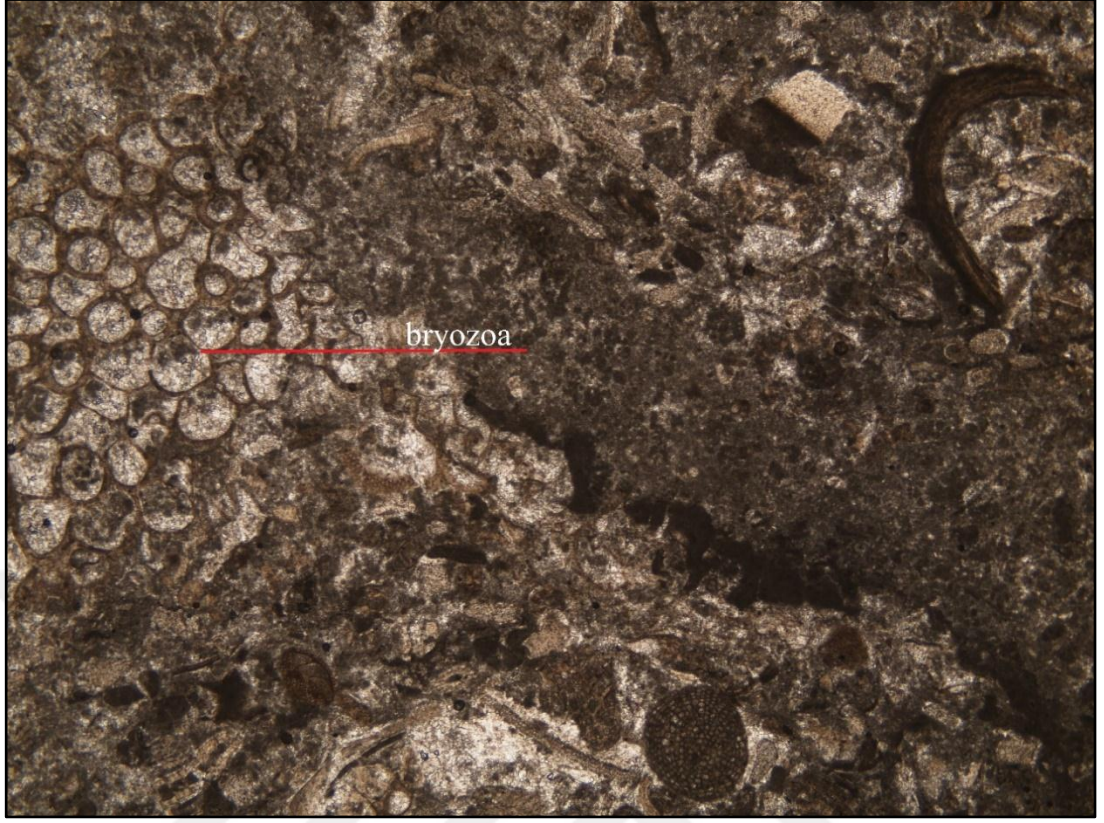


Şekil 3.5 Koki köyü ocaklarına ait kireçtaşlarının polarizan mikroskobu altında görünümü

0-100 m arası derinliklerde görülen kırmızı algler ezici çoğunlukla denizeldir ve çalkantılı ve berrak suları severler (Akyol ve diğer.,1999).

Planktonik foraminiferler ise çok çeşitli litolojik fasiyeslerde gözlenebilir. Bir tortul kaya içerisinde çok sayıda planktonik foraminifer olması açık deniz karakterini belirtir. Sıcak veya ılık sularda algler veya tek hücreli canlılarla beslenirler (Akyol ve diğer.,1999)

4x4 büyütmeli polarizan mikroskopla incelendiğinde ortalama 170 μm büyüklüğünde planktonik foraminiferler, 200 μm -1000 μm arasında intraklastlar ve kırmızı algler gözlenmiştir. Bu allokemlerin varlığına bağlı olarak ortam ile ilgili değerlendirme yapılabilir. Kayacın içeriğindeki fosillerin çoğunun, özellikle kırmızı algler, sıg denizlere ait olmasına karşın yer yer derin denizel ortama ait planktonik foraminifere rastlanır (Şekil 3.5). Buna bağlı olarak kayacın çökelim ortamı her iki ortam fosilini barındıran yokuş fasiyesi olarak adlandırılabilir.



Şekil 3.6 Koki köyü ocaklarına ait kireçtaşlarının polarizan mikroskobu altında görünümü

Kesitler içerisinde sığ deniz ortamını simgeleyen Bryozoa fosillerinin kalsit dolgulu olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.6).

BÖLÜM DÖRT

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Koki Köyü kireçtaşlarına ait mermer ocaklarında yürütülen mühendislik jeolojisi çalışmaları; arazi ve laboratuvar çalışmaları olarak iki ayrı aşamada gerçekleşmiştir. Arazi çalışmaları, ilk olarak mermer ocakları içerisinde gözlenen üretim basamağı aynaları üzerinde yürütülen detay süreksizlik ölçümleri ile kayaların blok mermer kaynağı olarak kullanılabilirliğini etkileyen en önemli özelliği olan süreksizlik düzlemlerinin mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

Kireçtaşı mermer ocağı aynaları üzerinde yatay hatlar boyunca yürütülen detay süreksizlik ölçümünde, yatay hattı kesen süreksizlik düzlemlerinin konumları ile süreksizlik aralığı ve eklem sıklığı belirlenmiştir.

Çalışma alanı içerisinde yapılan arazi çalışmaları kapsamında aynalar üzerinde varolan süreksizliklerin konumu (eğim yönü-eğim açısı, doğrultu- eğim) belirlenmiş bu veriler bilgisayar ortamında steografik projeksiyon üzerine aktarılmış ve kayaç içerisinde egemen olan süreksizlik seti sayısı ve konumları saptanmıştır.

Blok kireçtaşı üretimi yapılan üç ayrı mermer ocağından alınan kaya bloklarından elde edilen numuneler üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları ile Koki Köyü Kireçtaşları'nın fiziksel ve mekanik özellikleri ile durabiliteleri saptanmıştır.

4.1 Süreksizlik Düzlemlerinin Genel Özellikleri

Süreksizlik düzlemlerinin konumu (eğim yönü-eğim açısı, doğrultu eğim), süreksizlik seti sayısı ve çatlak ara uzaklığı mermer ocaklarındaki blok üretimi hakkında bilgi veren en önemli faktörlerdir. Aynı zamanda ocağa giriş ve ilerleme yönünün belirlenmesinde de kaya kütlesinin içerdiği süreksizlik düzlemlerinin genel özellikleri büyük önem taşımaktadır (Yavuz, 2001).

Çalışma alanına yer alan kireçtaşlarına ait kaya kütle özelliklerinin belirlenmesi amacı ile öncelikle ocak şev aynalarından elde edilen süreksizlik ara uzaklığı verileri kullanılarak ortalama görünür süreksizlik aralığı ve ortalama süreksizlik sıklığı hesabı yapılmıştır. Bu bağlamda ayna yüzeylerinin uzunlukları (L) ve ayna yüzeylerine ait süreksizliklerin sayısı (N) ölçülmüş, bu değerler ortalama süreksizlik aralığı ve ortalama süreksizlik sıklığının bulunmasında kullanılmıştır (Eşitlik 4.1 ve 4.2).

Ortalama Görünür Süreksizlik Aralığı ($\check{A}$);

$$\check{A} = \frac{L}{N} \quad (4.1)$$

Süreksizlik Sıklığı (λ)

$$\lambda = \frac{N}{L} \quad (4.2)$$

4.1.1 T1 No'lu Mermer Ocağı

Koki Köyü kireçtaşı mermer ocağına ait T1 nolu ocakta alttan üste doğru ortalama yükseklikleri sırasıyla 6 m ve 7 m olan iki ayrı basamakta blok üretimi yapılmaktadır (Şekil 4.1). T1 nolu ocağın olduğu bölgede kireçtaşı tabakalarının K77B/9GB konumlu olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.1 T1 nolu ocağa ait genel görüntü.

Üst basamakta ayna yüzeyini tabakalanmaya paralel, D-B doğrultulu süreksizlik düzlemleri kesmektedir. 0,8 cm ile 1,5 m süreksizlik yüzey açıklığına sahip bu çatlaklarda toprak dolgu gözlenmektedir (Şekil 4.1).

T1 nolu ocağa ait üst basamakta, altı adet ayna yüzeyinde detay süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. A'1, A'2 ve A'3 aynalarına ait ortalama görünür süreksizlik ara uzaklığı $>1\text{m}$, süreksizlik sıklığı <1 olarak ölçülmüştür (Tablo 4.1). Aynı ocaktaki A'4, A'5 ve A'6 aynalarına ait ortalama süreksizlik aralığı $0,3 < \check{\lambda} < 1$, süreksizlik sıklığı 1-3 olarak ölçülmüştür (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 T1 nolu ocağa ait üst basamaktaki aynaların L (Ayna yüzeyi uzunluğu), N (Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı), $\check{\lambda}$ (Ortalama süreksizlik aralığı) ve λ (Süreksizlik sıklığı) değerleri

Ayna adı	Ayna yüzeyi uzunluğu (m)	Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı	Ortalama süreksizlik aralığı ($\check{\lambda}$, m)	Süreksizlik sıklığı (λ)
A'1	5	2	2,5	0,4
A'2	5	4	1,25	0,8
A'3	3	1	3	0,3
A'4	2	3	0,6	1,5
A'5	3	4	0,75	1,3
A'6	1.5	2	0,75	1

T1 Nolu ocakta alt basamakta üst basamaktan devamlılığı olan süreksizliklerin yanı sıra yine toprak dolgulu 10 cm ile 8 m arasında değişen süreksizlik açıklığına sahip çatlaklar gözlenmiştir (Şekil 4.1).

T1 nolu ocağa ait alt basamakta, beş adet ayna yüzeyinde detay süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. A1, A2, A3, A4 ve A5 aynalarına ait ortalama süreksizlik aralığı $>1\text{ m}$, süreksizlik sıklığı $<1\text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 T1 nolu ocağa ait alt basamaktaki aynaların L (Ayna yüzeyi uzunluğu), N (Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı), $\bar{A}$ (Ortalama süreksizlik aralığı) ve λ (Süreksizlik sıklığı) değerleri

Ayna adı	Ayna yüzeyi uzunluğu (m)	Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı	Ortalama süreksizlik aralığı ($\bar{A}$, m)	Süreksizlik sıklığı (λ , m ⁻¹)
A1	20	3	6,6	0,15
A2	11,5	2	5,75	0,17
A3	8,5	1	8,5	0,11
A4	16	2	8	0,12
A5	10	2	5	0,2

4.1.2 T2 Nolu Mermer Ocağı

Koki Köyü kireçtaşı mermer ocağına ait T2 nolu ocakta ortalama yüksekliği 8 m olan bir basamaktan oluşan üretim aynaları mevcuttur (Şekil 4. 2). T2 nolu ocağın olduğu bölgede kireçtaşı tabakalarının DB/ 5G konumlu olduğu belirlenmiştir.

T2 nolu ocak ayna yüzeyinde kimi yerlerde birbiriyle kesişen, bazen aynayı dik bazen paralel kesen süreksizlik düzlemleri mevcuttur. Bu süreksizliklerde toprak dolgulu ortalama 1 cm-1,5m aralığında süreksizlik yüzey açıklıklarına rastlanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 T2 nolu ocağa ait genel görüntü.

T2 nolu ocağı ayna yüzeyine ait yedi adet hat etüdü yapılmıştır. A1, A2, A3, A4, A5, A6 ve A7 aynalarına ait ortalama süreksizlik aralığı >1 m, süreksizlik sıklığı <1 m^{-1} olarak ölçülmüştür (Tablo 4.3).

Tablo 4.3 T2 nolu ocağa ait aynaların L (Ayna yüzeyi uzunluğu), N (Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı), $\bar{\lambda}$ (Ortalama süreksizlik aralığı) ve λ (Süreksizlik sıklığı) değerleri

Ayna adı	Ayna yüzeyi uzunluğu (m)	Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı	Ortalama süreksizlik aralığı ($\bar{\lambda}$, m)	Süreksizlik sıklığı (λ, m^{-1})
A1	12	6	2	0,5
A2	5	4	1,25	0,8
A3	7	4	1,75	0,6
A4	16	5	3,2	0,3
A5	3	1	3	0,3
A6	41	12	3,41	0,2
A7	10	6	1,6	0,6

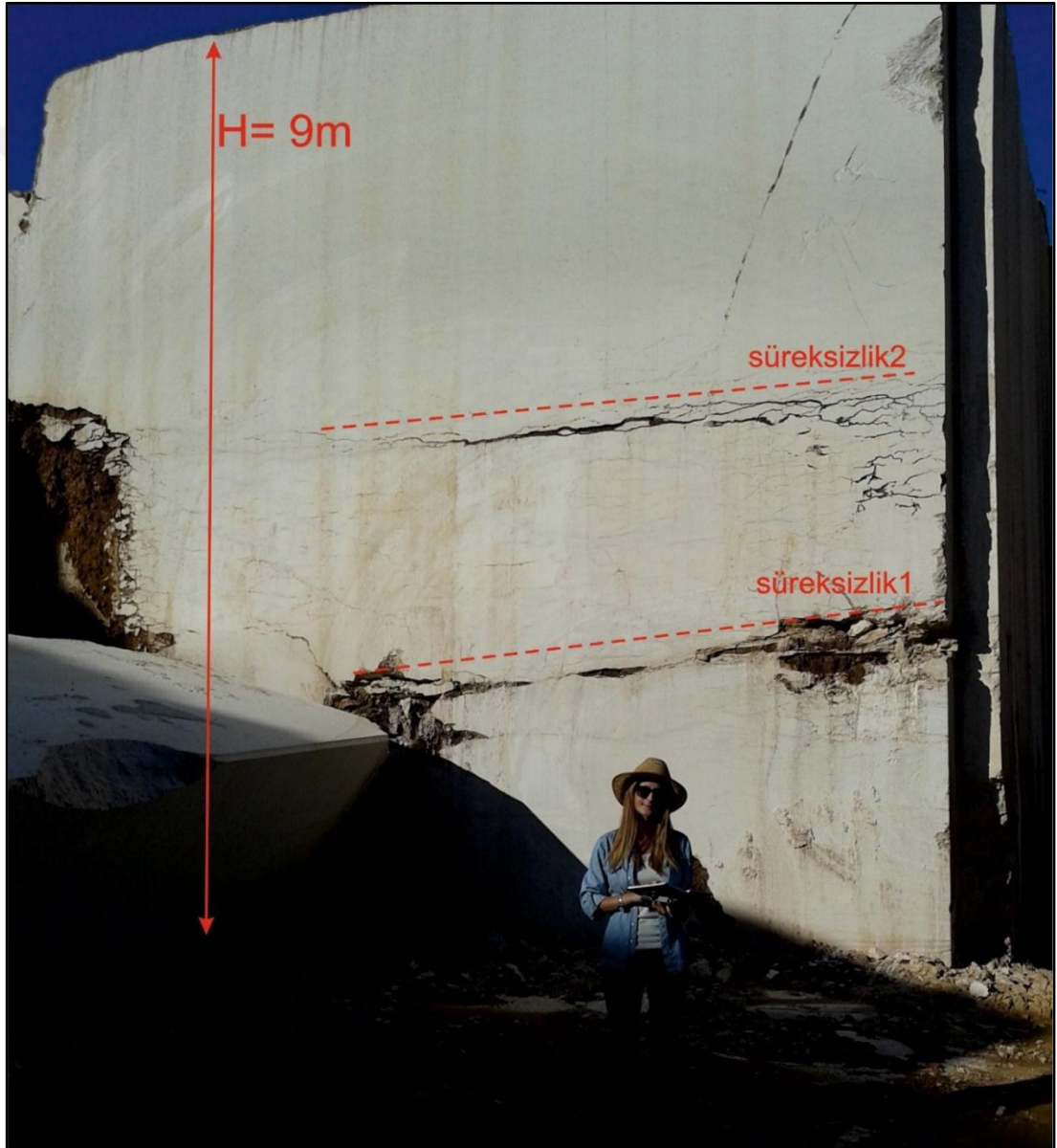
4.1.3 T4 Nolu Mermer Ocağı

Koki Köyü T4 nolu ocakta ortalama yüksekliği 9 m olan bir basamakta blok kireçtaşı üretimi yapılmaktadır (Şekil 4.3). T4 nolu ocağın olduğu bölgede kireçtaşı tabakalarının K85B/ 11GB konumlu olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.3 T4 nolu ocağa ait genel görüntü.

T4 nolu ocak ayna yüzeyinde tüm aynayı kesen birbirine paralel K70D/ 20KB konumlu iki adet tabaka düzlemi gözlenmiştir. Ortalama 5 cm süreksizlik açıklığına sahip bu iki süreksizlik düzlemi arasında birimde litolojik olarak bir değişim gözlenmekte ve burada yer alan daha az pekleşmiş, çakıyla bile çizilebilen sertlikte ve ocağın diğer kısımlarına oranla daha yumuşak bir yapıya sahiptir. Süreksizlik açıklığı kısmen toprak dolguludur (Şekil 4.4). T4 nolu ocak çalışma alanında yeralan diğer ocaklara kıyasla daha az süreksizlik düzlemi içermektedir.



Şekil 4.4 T4 Nolu ocağa ait iki süreksizlik düzlemi

T4 nolu ocağa ait A3 aynasında tüm aynayı kesen iki adet süreksizlik arasındaki yumuşak seviye bu aynada kendini toprak dolgu olarak göstermektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 T4 Nolu ocağa ait A3 aynası

T4 nolu ocağa ait yedi adet ayna yüzeyinde detay süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. A1, A2, A3, A4, A5, A6 ve A7 aynalarına ait ortalama süreksizlik aralığı >1 , süreksizlik sıklığı <1 olarak ölçülmüştür (Tablo 4.4).

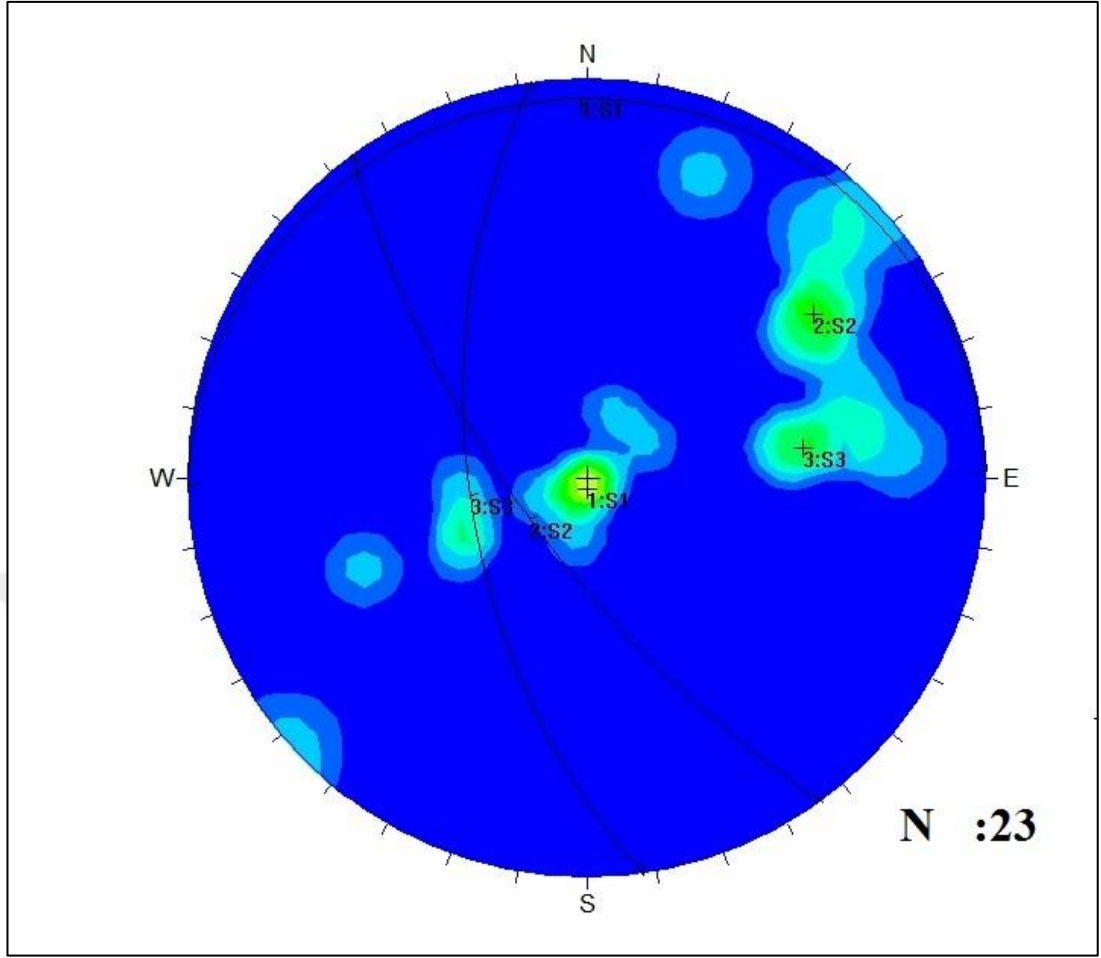
Tablo 4.4 T4 nolu ocağa ait aynaların L (Ayna yüzeyi uzunluğu), N (Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı), $\bar{A}$ (Ortalama süreksizlik aralığı) ve λ (Süreksizlik sıklığı) değerleri

Ayna adı	Ayna yüzeyi uzunluğu (m)	Ayna yüzeyindeki çatlak sayısı	Ortalama süreksizlik aralığı ($\bar{A}$, m)	Süreksizlik sıklığı (λ)
A1	4,5	1	4,5	0,2
A2	8	4	2	0,5
A3	6	Alınamamıştır	-	-
A4	11	2	5,5	0,1
A5	8	2	4	0,2
A6	12	Alınamamıştır	-	-
A7	14	2	7	0,1

4.1.4 T1,T2 ve T4 Nolu Mermer Ocağı İçerisinde Egemen Süreksizlik Setlerinin Konumları

Koki Köyü T1, T2 ve T4 nolu kireçtaşı mermer ocaklarına ait üretim basamaklarında gözlenen süreksizliklerin konumları jeolog pusulası yardımıyla ölçülmüş ve veriler ‘Dips’ programı yardımı ile bilgisayar ortamında stereografik projeksiyon üzerine aktarılmıştır.

T1, T2 ve T4 ocakları üretim aynalarında yapılan süreksizlik ölçümleri neticesinde kaya kütlesinin 359/3, 234/70 ve 262/67 olmak üzere yüksek ve düşük eğim açlarına sahip üç ayrı süreksizlik seti içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.6). Bununla birlikte egemen yönelim değerlerinden sapma gösteren tali yönelimler de söz konusudur. Yani bu süreksizlik düzlemlerini değişik açılarla kesen düzensiz başka süreksizlik düzlemleri de kayaç içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 4.6 T1, T2 ve T4 nolu ocaklarında yer alan süreksizlik düzlemlerinin stereografik alt yarım küre projeksiyonu üzerindeki görünüşleri. (N: Deney Sayısı. S1,S2 ve S3: Kutup yoğunlaşma noktaları.1:S1, 2:S2 ve 3:S3: Kutup yoğunlaşma noktalarına ait büyük daireler).

BÖLÜM BEŞ

FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER

5.1 Giriş

Çalışmanın bu bölümünde, Diyarbakır İli, Hani İlçesi'ne ait kireçtaşlarının fiziksel ve mekanik özellikleri ile durabilitelerinin incelenmesi amacıyla sahadan alınan kaya bloklarında elde edilen numuneler üzerinde bir seri laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Tez kapsamında, Hani İlçesi mermer ocaklarından alınan kaya numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ve uyulan standartlar Tablo 5.1 de verilmiştir.

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda, ilgili standartlara uygun olarak yürütülen çalışmanın ilk aşamasında, T1, T2 ve T3 nolu kireçtaşı mermer ocaklarından alınan kaya bloklarından üretilen numuneler üzerinde, laboratuvar koşullarında yürütülen deneylerle bölge kireçtaşlarının porozite, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, ağırlıkça su emme, boşluk oranı ve ses iletim hızı gibi fiziksel özellikleri ile suya doymun ve kuru tek eksenli basınç direnci, Böhme yüzeysel aşınma kaybı gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Hani kireçtaşlarında göz ile ayırtedilebilen ve yer yer kayacın renginden daha koyu bir dolgu maddesi ile çimentolanmış kapalı-kılcal süreksizlik düzlemleri bulunmaktadır (Şekil 5.1). Bu düzlemlerin bir kısmı birbirlerine ve kayacın tabakalanma düzlemlerine paralel konumlu bir kısmı ise bu düzlemlerini değişik konumda kesen devamsız kılcal süreksizlik düzlemleridir. Bu süreksizlik düzlemlerinin kayacın dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması ve kayacın anizotrop bir özellik taşıyıp taşımadığı değişik yöntemler ile araştırılmıştır. Bu amaçla kayacın ses iletim hızı lamina düzlemlerine paralel ve dik şekilde ölçülmüş ve tek eksenli basınç direnci deneyinde de yükleme bu düzlemlere dik ve paralel konumlarda olmak üzere iki farklı şekilde yapılmıştır.

Tablo 5. 1 Çalışma süresince yapılan laboratuvar deneyleri ve uyulan standartlar

Analiz	Deney Türü	Uyulan Standartlar
Mineralojik Analiz	Polarizan Mikroskop	-
Fiziksel Özellikler	Toplam Porozite	TS EN 1936
	Görünür (Etkin) Porozite Su emdirme yöntemi ile	TS EN 1936
	Kuru Birim Hacim Ağırlık	TS 699
	Doygun Birim Hacim Ağırlık	TS 699
	Ağırlıkça Su Emme	TS 13755
	Boşluk Oranı	TS 699
	Ses İletim Hızı	ISRM 1981
Mekanik Özellikler	Tek Eksenli Basınç Direnci	TS 1962
	Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı	TS 14157
Durabilite Belirleme	Donma-Çözülme Sonrası Kütle Kaybı	TS 699
	Tuz Kristallenmesi Sonrası Kütle Kaybı	TS EN 12370
	Islanma-Kuruma Sonrası Kütle Kaybı	TS 699
	Doygun-Kuru Tek Eksenli Basınç Direnci Oranı	Winkler, 1986



Şekil 5.1 Hani kireçtaşlarında gözlenen kapalı-kılcal süreksizlik düzlemler.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise Hani kireçtaşı ocaklarının değişik atmosferik koşullar altında dayanıklılığının (durabilitesinin) belirlenmesi amacıyla, kireçtaşı numuneleri üzerinde hızlandırılmış ayrıştırma deneyleri yapılmıştır. Bu amaçla ilgili standartlara bağlı kalarak kaya numuneleri donma- çözülme, ıslanma kuruma ve tuz (sodyum ve magnezyum) kristallenmesi gibi hızlandırılmış ayrıştırma deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler sonrasında uygulanan ayrıştırıcı çevresel etkilerin Hani kireçtaşları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Kireçtaşlarının durabilitesi Winkler (1986) tarafından önerilen bir yöntem olan doygun-kuru tek eksenli basınç direnci oranına göre belirlenmiştir.

5.2 Fiziksel Özellikler

Hani kireçtaşlarının fiziksel özellikleri Koki Köyü'ne ait kireçtaşı ocaklarından üretilen numuneler üzerinde yapılan deneylerle belirlenmiştir. Çalışma alanından üç ayrı ocağa ait 7x7x7 cm 36 adet küp numune hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde

Türk Standartları'nda belirtilen yöntemlere uygun olarak Tablo 5.1 de belirtilen deneyler gerçekleştirilmiştir (Ek 1).

5.2.1 Porozite

Görünür porozite bir kayaç içindeki boşluk hacimlerinin (V_b) o kayacın toplam hacmine (V_t) oranının yüzdesel ifadesidir. Kayaçların doğal yapıtaşı olarak kullanılabilirliğini tesbit ederken toplam porozite ve görünür porozite olmak üzere iki şekilde değerlendirme yapılabilir. Toplam porozite kayacın içerdiği tüm boşluk hacminin toplam hacmine oranıdır. Görünür porozite ise kayacın içerisinde yer alan ve birbiri ile ilişkili gözeneklerin neden olduğu boşluk hacminin toplam hacmine oranıdır.

Kayaçların doğal yapı taşı olarak kullanılabilirliğinin tesbitinde ve durabilitelerinin saptanmasında daha çok görünür porozite değeri kullanılır. Bir kayacın görünür porozitesinin yüksek olması, bu kayacın içerisinde birbiriyle ilişkili gözeneklerin fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bu durumdaki kayaç içerisine daha çok su alacak, daha çabuk kirlenecek, donma-çözülme ve ıslanma-kuruma olaylarından daha çok etkilenecek ve görünür porozitesi daha düşük olan aynı tür kayaca oranla daha kısa sürede bozulacaktır (Erdoğan ve Yavuz 2004).

Hani kireçtaşlarının görünür porozitesi aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hasaplanmıştır (Eşitlik 5.1).

$$n = \frac{V_b}{V_t} \times 100 \quad (5.1)$$

n : Görünür Porozite

V_b : Boşluk Hacmi (cm^3)

V_t : Toplam Hacim (cm^3)

Hani Kireçtaşları'nın görünür porozitesi ortalama olarak 1 No'lu ocakta % 3,39, 2 No' lu ocakta %3,30 ve 4 No'lu ocakta %3,48 olarak belirlenmiştir (Tablo 5.2, Ek 1).

Tablo 5.2 Hani Kireçtaşları'na ait Görünür porozite (n) değerleri

Lokasyon	N	Görünür Porozite Değeri (%)	
1 No'lu Ocak	13	Ortalama	3,39
		Standart Sapma	0,47
2 No'lu Ocak	12	Ortalama	3,30
		Standart Sapma	0,47
4 No'lu Ocak	11	Ortalama	3,48
		Standart Sapma	0,54

N: Deney Sayısı

Hani kireçtaşlarının mikroskobik ve makroskobik özellikleri ile malzeme özellikleri göz önüne alındığında, kayacın görünür porozitesinin yüksek olmasının kayacın içerdiği kapalı-kılcal süreksizlik düzlemlerinin neden olduğu ikincil porozite ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

5.2.2 Birim Hacim Ağırlık

Kayaçların türlerine göre değişiklik gösteren birim hacim ağırlığı, kayacın bir cm^3 'ünün gram cinsinden ifadesidir. Kayacın birim hacim ağırlığı kayaç içerisindeki boşluk, çatlak ve su miktarına göre değişmekte, mineralojik bileşime, diğer fiziksel ve mekanik özelliklere göre de farklı olmaktadır. Numune ağırlığının, toplam hacme bölünmesi ile bulunmaktadır. Birimi gr/cm^3 veya ton/m^3 dır (Tonçer, 2005).

Kayaçların birim hacim ağırlıkları, onların fiziksel özelliklerinin yanısıra dayanımları hakkındada fikir vermektedir. Yüksek birim hacim ağırlığına sahip kayalar genellikle düşük poroziteli, düşük su emme oranına sahip ve dayanımlı kayalardır (Erdoğan ve Yavuz, 2004).

Hani kireçtaşlarının kuru ve suya doymun birim hacim ağırlıkları hesaplanırken aşağıda verilen eşitlikler kullanılmıştır (Eşitlik 5.2 ve 5.3)

$$\gamma_{\text{doygun}} = \frac{w_{\text{doygun}}}{V_T} \quad (5.2)$$

$$\gamma_{\text{kuru}} = \frac{w_{\text{kuru}}}{V_T} \quad (5.3)$$

γ_{doygun} : Doygun birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

γ_{kuru} : Kuru birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

w_{doygun} : Doygun ağırlık (gr)

w_{kuru} : Kuru ağırlık (gr)

V_T : Toplam hacim (cm³)

T1, T2 ve T4 nolu mermer ocaklarından alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kireçtaşlarının kuru ve suya doymuş birim hacim ağırlıklarının ortalaması sırasıyla T1 Ocağı için; 2,45 gr/cm³, 2,49 gr/cm³, T2 Ocağı için; 2,45 gr/cm³, 2,48 gr/cm³, T4 Ocağı için; 2,47 gr/cm³, 2,50 gr/cm³ olarak belirlenmiştir (Tablo 5.3, Ek 1).

Tablo 5.3 Hani Kireçtaşları'nın kuru ve doymuş birim hacim ağırlıkları

Lokasyon	N	Ortalama Değer ± Standart Sapma	Kuru Birim Hacim Ağırlık Değeri (gr/cm ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlık Değeri (gr/cm ³)
T1 Nolu Ocak	13	Ortalama Değer	2,45	2,49
		Standart Sapma	0,02	0,01
T2 Nolu Ocak	12	Ortalama Değer	2,45	2,48
		Standart Sapma	0,03	0,04
T4 Nolu Ocak	11	Ortalama Değer	2,47	2,50
		Standart Sapma	0,03	0,03

N: Deney sayısı

5.2.3 Ağırlıkça Su Emme

Kayaçları karakterize etmekte kullanılan bu özellik, basınç altında olmaksızın kayacın ne oranda su alabildiğini gösterir. Sürekli olarak toprak ile temas halindeki yerlerde ise bu özellik kayacın, toprağın nemini emebilirliğini gösterir (Tonçer, 2005).

Bir doğal yapı taşının ağırlıkça su emme değerinin belirtilen standartların üzerinde olması, bu kayacın düşük durabiliteli olmasına ve kullanım alan ve iklim koşullarında bağlı olarak, kısa bir süre içerisinde bozunmasına ve atmosferik kirlilikten etkilenmesine neden olabilir (Erdoğan ve Yavuz, 2004).

Çalışma alanı kireçtaşlarına ait ağırlıkça su emme değeri aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Eşitlik 5.4).

$$Aw = \frac{Wd - Wk}{Wk} \times 100 \quad (5.4)$$

Aw :Ağırlıkça Su Emme (%)

Wd :Doygun Ağırlık (gr)

Wk :Kuru Ağırlık (gr)

T1, T2 ve T4 nolu mermer ocaklarından alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kireçtaşlarının ağırlıkça su emme değerleri sırasıyla T1 Ocağı için; %1,37, T2 Ocağı için; %1,34, T4 Ocağı için; %1,40 olarak belirlenmiştir (Tablo 5.4, Ek 1).

Tablo 5.4 Hani Kireçtaşları'nın ağırlıkça su emme değerleri

Lokasyon	N (Deney Sayısı)	Ağırlıkça Su Emme (%)	
1 No'lu Ocak	13	Ortalama	1,37
		Standart Sapma	0,20
2 No'lu Ocak	12	Ortalama	1,34
		Standart Sapma	0,24
4 No'lu Ocak	11	Ortalama	1,40
		Standart Sapma	0,22

5.2.4 Boşluk Oranı

Boşluk oranı kayaçların içerdiği boşluk hacminin katı kısmının hacmine oranının yüzdesel ifadesidir. Boşluk oranında porozite gibi kayacın içerdiği boşluk hacmi hakkında bilgi vermektedir (Er, 2011).

Hani Kireçtaşları' nın boşluk oranı hesaplanırken aşağıda verilen eşitlik kullanılmıştır (Eşitlik 5.5).

$$e = \frac{V_b}{V_k} \times 100 \quad (5.5)$$

e :Boşlu oranı (%)

V_b :Boşluk hacmi (cm³)

V_k :Katı hacim (cm³)

T1, T2 ve T4 nolu mermer ocaklarından alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kireçtaşlarının boşluk oranı değerleri sırasıyla T1 Ocağı için; %3,51, T2 Ocağı için; %3,42, T4 Ocağı için; %3,61 olarak belirlenmiştir (Tablo 5.5, Ek 1).

Tablo 5.5 Hani Kireçtaşları'nın boşluk oranı değerleri.

Lokasyon	N	Boşluk Oranı (%)	
1 No'lu Ocak	13	Ortalama	3,51
		Standart Sapma	0,51
2 No'lu Ocak	12	Ortalama	3,42
		Standart Sapma	0,59
4 No'lu Ocak	11	Ortalama	3,61
		Standart Sapma	0,58

N: Deney sayısı

5.2.5 Ultrasonik Ses Hızı Tayini

Ses, homojen kayalarda belirli bir hızda hareket ederken kayalarda süreksizlik olması durumunda yayılma hızında bir yavaşlama olur. Bu sayede çatlak yoğunluğu, sıklığı ve bunların kayaç içerisinde oluşturdukları ikincil parametreler hakkında genel bir bilgi edinilebilir (Davis, 1972).

Çalışmanın bu bölümünde Proceq marca Pundit Plus cihazı kullanılarak Hani kireçtaşlarının ses iletim hızları ölçülmüştür. Su muhtevasının ve kaya numunelerinde gözlenen kılcal kapalı süreksizlik düzlemlerinin ses iletim hızı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla deney, kuru ve suya doymun numuneler üzerinde, bu süreksizlik düzlemlerine paralel ve dik konumlarda tekrarlanmıştır.

Taze numunelerdeki ses hızı iletkenliği suya doymun numunelerde yönlenmeye paralel yapılan deneyde 5,59 km/sn yönlenmeye dik yapılan deneyde 5,78 km/sn kuru numunelerde yönlenmeye paralel yapılan deneyde 5,33 km/sn yönlenmeye dik yapılan deneyde 5,73 km/sn olarak ölçülmüştür (Tablo 5.6, Ek 4). Bu veriler ışığında, kuru numuneler üzerinde yürütülen ses hızı ölçümlerinde, kayacın içerdiği süreksizlik düzlemlerine dik ve paralel konumlu ses iletim hızı arasında belirli bir oranda farklılık tespit edilmiştir (Tablo 5.6).

Tablo 5.6 Hani Kireçtaşları'na ait ultrasonik ses hızı tayini deney sonuçları.

Deney Sayısı	Suya Doygun Ses İletim Hızı (km/sn)		Kuru Ses İletim Hızı (km/sn)	
	Yönlenmeye Paralel	Yönlenmeye Dik	Yönlenmeye Paralel	Yönlenmeye Dik
Ortalama ±Standart Sapma	5,59± 0,23	5,78± 0,26	5,33± 0,38	5,73± 0,24

5.3 Mekanik Özellikler

Doğal yapı taşlarının mekanik özellikleri, bu kayaçların kullanım alanlarının belirlenmesinde, ocak ve fabrikalardaki üretim verimliliğinde oldukça önemli rol oynamaktadırlar (Tonçer, 2005). Kayaların gerilmeler altındaki davranışlarını denetleyen mekanik özellikler; kayaçların fiziksel, minerolojik ve dokusal özelliklerinin bileşkesi olarak ortaya çıkar. Ayrıca kayaçların mekanik özellikleri doygunluk derecesi ve su içeriği gibi fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişim sunar (Er, 2011).

Cisimlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirli yönlerde farklılık sunmasına anizotropi adı verilmektedir. Anizotropi bir kaya kütesinin doğal yapıtaşı kaynağı olarak kullanılabilirliğini doğrudan etkiler. Anizotropik davranışın, kayaçların gerek ocakta blok üretimi sırasında gelişen gerilmelerin etkisi ile kırılmalara neden olarak ocak üretim maliyetini attıran ve özellikle üretilmiş kaya bloklarının fabrikada kesilip işlenmesi esnasında üretilen levha ve plakaların kırılmasına neden olarak fabrika üretim zayıfatını arttıran ve çoğu zaman taşı kullanılamaz hale getiren bir özelliği vardır (Yavuz 1996 ; Yavuz ve diğer., 2007).

Kayaçalarda genellikle birbirlerine paralel konumlu süreksizlik düzlemlerinin neden olduğu anizotropik davranış kayaçların içerdikleri bu süreksizlik düzlemleri ile değişik açılarda yükleme yapılan tek eksenli basınç direnci deneylerinde farklı yükler altında kırılmalarına yol açar. Yapılan çalışmalarda, tek eksenli basınç direnci deneyinde en yüksek basınç direncinin, yükleme yönü ile anizotropiye neden olan düzlemler arasındaki açının 90 olduğu durumda elde edildiği belirtilmiştir (Yavuz 2001; Yavuz ve Elçi 2007).

Kayaçların anizotropik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla değişik deneyler yapılmak ile birlikte tek eksenli basınç direnci, nokta yükleme indeksi deneyleri ile ses hızı iletim ölçümleri en yaygın kullanılan deneylerdir. Anizotropinin belirlenmesi amacıyla kullanılan bu deneylerde, numuneler içerdikleri süreksizlik düzlemleri ile

değişik açılar yapacak yükleme ve ölçüm koşullarında test edilirler (Yavuz, 2001; Yavuz ve Elçi, 2007).

Bu çalışma kapsamında Hani Kireçtaşı ocaklarından alınan kaya numunelerinden elde edilen küp şekilli örnekler üzerinde mekanik özelliklerin belirlendiği tek eksenli basınç direnci ve Böhme yüzeysel aşınma kaybı Tablo 5.1’de belirtilen ilgili standartlarda prosedüre uygun olarak yapılmıştır.

5.3.1 Tek Eksenli Basınç Direnci

Hani Kireçtaşları’nın tek eksenli basınç direncinin belirlenmesi amacıyla Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında 200 Ton’luk tam otomatik hidroik pres kullanılarak yapılan deneyde TS EN 1926 da öngörülen prosedür uygulanmıştır. 16 adet 7x7x7 cm boyutlarında küp şekilli kaya numunesinin taş parlatma makinesinde yüzeyleri düzeltilerek yüzey paralellliği ve parlaklığı sağlanmış ve 8 adet kuru 8 adet suya doymuş numune üzerinde hem yönlenmeye paralel hem dik yük uygulanacak şekilde deney yapılmış deney sonucu elde edilen veriler tablo 5.16 de verilmiştir.

Tek eksenli basınç direnci belirli boyutlardaki mermerlerin tek eksenli etkiyen gerilmeler karşısında davranışları ve kırılmaya karşı gösterdiği direnç özelliğidir. Birimi kg/cm^2 veya MPa’dır (Tonçer, 2005).

Tek eksenli basınç direnci genel anlatımla kayaçların dayanımı hakkında fikir verir ve onları dayanım derecelerine göre sınıflandırmamızı sağlar. Bilindiği gibi doğal taşlar mimari yapılarda değişik bölgelerde kullanılmakta ve bu nedenle farklı tür ve büyüklükte gerilmelere maruz kalmaktadırlar. Kayaçların bu gerilmeler altında kırılmaya karşı gösterdikleri direncin önceden belirlenmesi, bulunduğu alanda uzun dönem durabilitesi açısından son derece önemlidir (Erdoğan ve Yavuz 2004).

Makroskobik olarak gözlenebilen birbirlerine paralel konumlu ve kapalı kılcal süreksizlik düzlemleri içeren Hani kireçtaşları üzerinde yürütülen tek eksenli basınç

direnci deneyinde öncelikle kayacın anizotropik özelliği araştırılmıştır. Bu amaçla tek eksenli basınç direnci deneyi kaya numunelerinde gözlenen süreksizlik düzlemlerine dik ve paralel yükleme koşulları altında iki farklı şekilde kırılmıştır.

Tablo 5.7'den görüldüğü üzere kuru kaya numunelerinin tek eksenli basınç direnci süreksizlik düzlemlerine dik konumlu yüklemede $1566,722 \text{ kg/cm}^2$ paralel yükleme koşullarında ise $1239,658 \text{ kg/cm}^2$ olduğu ve kayacın tek eksenli basınç direncinin, paralel yükleme koşullarında, dik yükleme koşullarına oranla %20 oranında düştüğü belirlenmiştir. Bu deney sonuçları ışığında Hani kireçtaşlarının anizotrop bir özellik taşıdığını görülmektedir.

Deneyin ikinci aşamasında anizotropinin kayacın su içeriği ile ilişkisi araştırılmış ve bu amaçla bir seri suya doymun kaya numunesi yine içerdiği süreksizlik düzlemlerine paralel ve dik yükleme koşullarında tek eksenli basınç direnci deneyine tabi tutulmuştur. Bu deney sonucunda suya doymun numunelerin kuru numunelere oranla oldukça düşük yükler altında kırıldığı ancak dik ve paralel yüklemeler sonrasında anizotropiden kaynaklanan direnç farkının %18.5 ile kuru numunelerdeki orana oldukça yakın olduğu görülmüştür (Tablo 5.7).

Tablo 5.7 Hani kireçtaşları üzerinde yapılan tek eksenli basınç direnci deneyi sonuçları

Deney No	Kuru T.E.B Direnci -Paralel-	Kuru T.E.B Direnci -Dik-	Doygun T.E.B Direnci -Paralel-	Doygun T.E.B Direnci -Dik-
1	1352,5	1626,5	1094,6	1330,9
2	1244,9	1558,6	1065,9	1158,7
3	1097,9	1363,8	1014,6	1197,7
4	1263,3	1717,9	-	-
Ortalama	1239,6	1566,7	1058,4	1229,1
Standart Sapma	127,772	136,3877	40,529	90,277

5.3.2 Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı

Taban döşemelerinde ve merdiven basamaklarında kullanılacak mermer plakalarda oluşabilecek aşınma kayıplarının önceden labaratuarda ölçümü, uygun taş seçimine imkân sağlamaktadır. Mermerlerin aşınma dayanımlarının belirlenmesi için küp numuneler hazırlanır bu numuneler 105 °C de kurulularak tartılır ve tartım sonuçları kaydedilir. Daha sonra numuneler Böhme yüzey aşındırma cihazında deneye tabi tutulur (Kun, 2013).

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında ve TS 14157 ye uygun olarak yapılan deneyde 7x7x7 cm boyutlarında 3 adet küp numune kullanılmıştır. Deney sonuçları Tablo 5.8 ve Ek 2’ de belirtilmiştir.

Tablo 5.8 Hani Kireçtaşları’nın Böhme yüzeysel aşınma deneyi sonrası hacim kaybı.

N	Böhme Yüzeysel Aşınma Kaybı (cm ³ /cm ²)	
3	Ortalama	13,878
	Standart Sapma	0,701

Hani Kireçtaşları’ndan elde edilen böhme yüzeysel aşınma deneyi sonrası ölçülen hacim kaybı değeri 13,8 cm³/cm² olarak ölçülmüştür.

5.4 Hani Kireçtaşları’nın Durabilitesi

5.4.1 Giriş

Durabilite, doğal yapıtaşlarının kullanıldığı mühendislik projelerinin değişik bölgelerinde maruz kaldıkları çeşitli çevresel ayrıştırıcı etkilere karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Kayaçların durabilitesine etki eden çok sayıda ayrıştırıcı çevresel etki vardır. Isınma-kuruma, ısınma-soğuma, donma-çözülme, tuz kristallenmesi ve biyolojik aktiviteler kayaçların bozunma sürecinde önemli rol oynayan temel faktörlerdendir (Siegesmund ve Ruedrich 2011; Stück ve diğer.,

2011; Reudrich ve diğer., 2011; Koralay ve diğer., 2011; Steingberger 2003; Topal ve Sözen 2003; Topal ve Doyuran 1977; Yavuz 2006).

Kayaçların değişik çevresel ayrıştırıcı koşullar altındaki davranışlarının belirlenmesi amacıyla kayaçlar üzerinde laboratuvar koşulları altında hızlandırılmış ayrıştırma deneyleri uygulanır. Donma çözülme, ıslanma kuruma ve tuz kristallenmesi deneyleri en yaygın kullanılan hızlandırılmış yıprandırma deneyleridir (Yavuz 2006; Topal ve Doyuran 1997; Topal ve Sözen 2003).

Bu çalışmada Hani Kireçtaşları'nın üretildiği ocaklardan alınan kaya numuneleri üzerinde ıslanma kuruma, donma çözülme, Na₂SO₄, MgSO₄ tuz kristallenmesi deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda Hani Kireçtaşları'nın ayrıştırıcı çevresel etkiler altındaki davranışları, deformasyon şekilleri ve deney sonrası kütle kayıpları belirlenmiştir.

5.4.2 Islanma Kuruma Deneyi

Islanma kuruma deneyi doğal yapıtaşı olarak kullanılacak kayaçların durabilitelerinin belirlenmesi amacı ile kullanılan bir deneydir (Yavuz 2006; Topal ve Sözen 2003; Topal 2009; Rossi- Manaresi 1976; Knöfel ve diğer., 1987).

Hani Kireçtaşları'nın ıslanma kuruma deneyi sonrası kütle kaybı değişimi incelenmiştir. 7x7x7 cm boyutlarındaki küp numuneler TS 699'da öngörüldüğü şekilde deneye tabi tutulmuştur. Islanma kuruma deneyine tabi tutulan kaya numunelerin deney sonunda tartılan kuru ağırlığı ile deney başında tartılan kuru ağırlığı karşılaştırılmış ve kütle kaybı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Eşitlik 5.6).

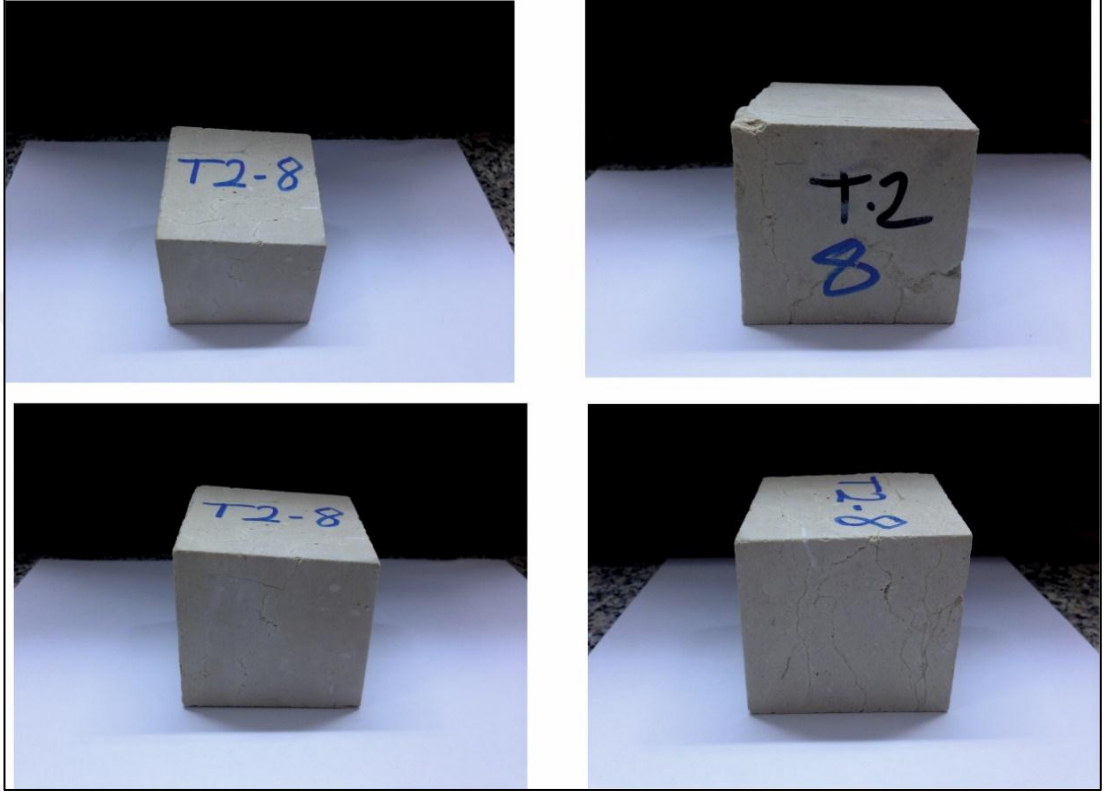
$$w = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \quad (5.6)$$

w :Deney sonu kütle kaybı (%)

w₁ :Deneye başlamadan önceki kuru ağırlık (gr)

w₂ :Deney sonrası kuru ağırlık (gr)

Hani kireçtaşı ocaklarından alınan numuneler üzerinde yapılan ıslanma-kuruma deneyi sonrası kayalarda belirgin bir kırılma ve parçalanma gelişmediği ve kayada düşük bir oranda (% 0,37) kütle kaybı geliştiği belirlenmiştir belirlenmiştir (Şekil 5.2, Tablo 5.25).



Şekil 5.2 Hani kireçtaşı numunelerinde uygulanan ıslanma kuruma deneyi sonrası görüntü

Tablo 5.9 Hani Kireçtaşları'nın ıslanma kuruma sonrası kütle kaybı

Numune No	Deneye başlamadan önceki kuru ağırlık (gr)	Deney sonrası kuru ağırlık (gr)	Islanma kuruma sonrası kütle kaybı (%)	Ortalama $\pm$ standart sapma
1	841,85	832,71	1,08	0,37 $\pm$ 0,61
2	855,67	855,58	0,01	
3	799,76	799,56	0,02	

5.4.3 Donma Çözülme Deneyi

Mevsimlik donma çözülme döngüsü sonrasında, doğal taşların bozunması kayacın gözenek ve çatlaklarında depolanan su nedeniyle meydana gelir. Donan su, donma sırasında suyun hacminin % 9 oranında genişlemesi nedeniyle materyal içerisindeki gözenekler basınca neden olmaktadır. Su genişlemesinin neden olduğu bu basınç, kayacın çekme gerilmesine erişir. Donma-çözülme sonucunda kayaç içerisinde yeni mikro çatlaklar gelişir, önceden var olanlar daha da derinleşir ve genişler. Çözülme sonrasında su daha yeni gelişen çatlakların içerisine göç edebilir (Yavuz ve diğer., 2006).

Hızlandırılmış bir kaya yıpratma deneyi olan donma-çözülme deneyi doğal taşlarda iklimsel değişimler sonrasında meydana gelen kütle kaybı ile fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimleri önceden tahmin etmemize olanak sağlar (Topal ve Doyuran 1997; Siegesmund ve Ruedrich 2011).

Bu çalışmada Hani kireçtaşı mermer ocağından alınan 7x7x7 cm boyutlarında hazırlanan 3 adet küp şekilli kaya numuneleri üzerinde TS 699 da belirtilen prosedüre uygun olarak donma çözülme deneyi yapılmış, deney sonrası numunelerde gözlenen bozunma şekilleri tespit edilmiş ve numunelerde gelişen deney sonrası kütle kaybı saptanmıştır.

Hani kireçtaşları üzerinde yürütülen donma-çözülme deneyi sonrası numunelerin tamamen bozunduğu gözlenmiştir (Şekil 5.3-a). Deney sonrası numuneler üzerinde yapılan incelemelerde kayacın içerdiği kılcal kapalı süreksizlik düzlemleri boyunca değişik boyutlarda küçük kaya parçalarına dönüştüğü görülmüştür (Şekil 5.3-a). Bu sonuca göre Hani kireçtaşlarının donma çözülme deneyi sonrası kütle kaybı %100 olarak değerlendirilmiştir (Tablo 5.10).

5.4.4 Tuz Kristallenmesi Deneyi

Tuzların kristalizasyonu taş bozunmaları içerisinde en yaygın ve tahrip edici olanıdır. Kimyasal yapıları ne olursa olsun gözenekli kayaların tümünde, donma ya da hava kirliliğine bağlı olmaksızın etkili olmaktadır. Suda eriyebilen tuzlar su ile taşınarak herhangi bir yolla taşın gözeneklerine ve çatlaklarına ulaşarak buharlaşır. Buharlaşma sonucunda tuz, taşın yüzeyi ile kılcal çatlaklarında birikir. Kılcal çatlaklara taşınan tuz osmos şartları hazırlayarak sürekli bir tuz birikimine neden olur (Topal, 1997).

Doğal yapı taşları kullanım alanlarında değişik nedenlerle tuzlanmaya maruz kalırlar. Tuzlanma kaya durabilitesini olumsuz yönde etkileyen ve kayacın kısa süre içerisinde bozunmasına neden olan önemli faktörlerden birisidir (Yavuz, 2001).

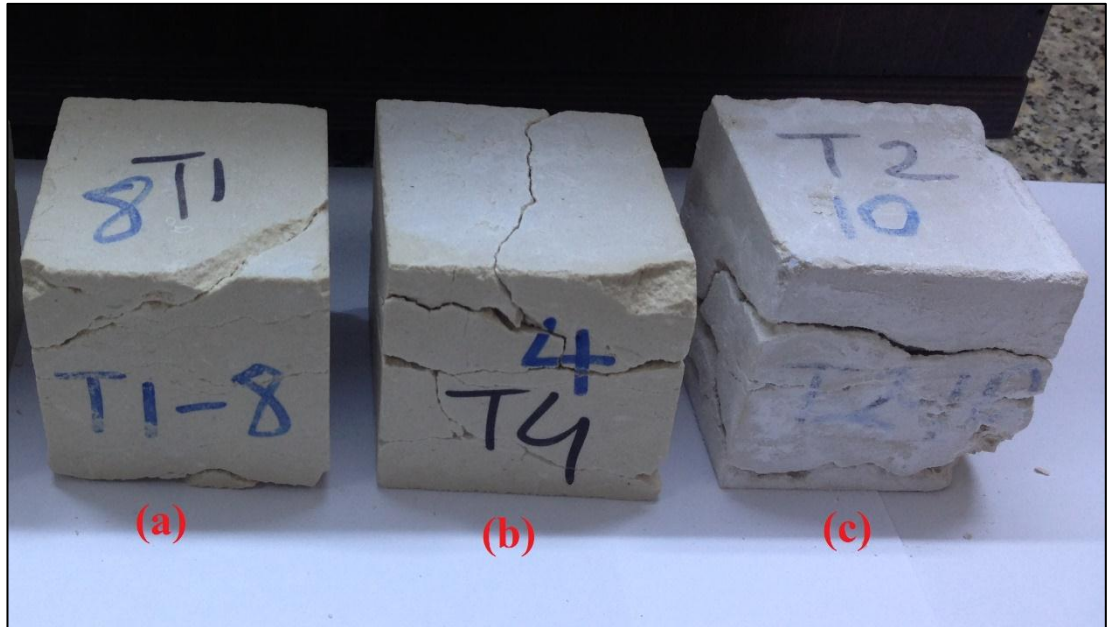
Hani kireçtaşlarının durabilitesini etkileyebilecek tuz kristallerine karşı nasıl davranacağını tespit edilmesi için magnezyum sülfat ($MgSO_4$) ve sodyum sülfat ($NaSO_4$) tuzları ile ocaktan alınan 7x7x7 cm numuneler üzerinde tuz kristallenmesi deneyleri yapılmış, deney sonrası numunelerde gözlenen bozunma şekilleri tespit edilmiş ve numunelerde gelişen deney sonrası kütle kaybı saptanmıştır.

Hani kireçtaşları üzerinde yürütülen tuz kristallenmesi deneyi sonrası numunelerin tamamen bozunduğu gözlenmiştir (Şekil 5.3-b ve Şekil 5.3-c). Deney sonrası numuneler üzerinde yapılan incelemelerde kayacın içerdiği kılcal kapalı süreksizlik düzlemleri boyunca değişik boyutlarda küçük kaya parçalarına dönüştüğü görülmüştür (Şekil 5.3-b ve Şekil 5.3-c). Bu sonuca göre Hani kireçtaşlarının tuz

kristallenmesi deneyi sonrası kütle kaybı %100 olarak değerlendirilmiştir (Tablo 5.10). Deney sonucunda tuz kristallenmesinin numuneler üzerinde donma çözülme deneyinden daha etkili olduğu ve bu deneylere tabi tutulan numunelerin daha küçük kaya parçalarına dönüştüğü belirlenmiştir. Ayrıca benzer durum sodyum sülfat ve magnezyum sülfat deneyleri içinde geçerlidir. Magnezyum sülfat deneyine tabi tutulan numuneler sodyum sülfat deneyine tabi tutulan numunelere oranla çok daha belirgin bir şekilde parçalanmışlardır (Şekil 5.3-a, Şekil 5.3-b ve Şekil 5.3-c).

Tablo 5.10 Hani Kireçtaşlarının hızlandırılmış aşındırma deneyleri sonrası kütle kaybı

Deney Adı	Uygulanan Standart	Deney Sayısı	Kütle Kaybı (%)
Donma-çözülme sonrası kütle kaybı	TS699	3	%100
Tuz (NaSO_4) kristallenmesi sonrası kütle kaybı	TS EN 12370	3	%100
Tuz (MgSO_4) kristallenmesi sonrası kütle kaybı	TS EN 12370	3	%100



Şekil 5.3 Hani Kireçtaşlarının hızlandırılmış aşındırma deneyleri sonrası bozunma şekilleri, (a) Donma çözülme deneyi sonrası, (b) Sodyum Sülfat (NaSO_4) kristallenmesi deneyi sonrası, (c) Magnezyum Sülfat (MgSO_4) kristallenmesi deneyi sonrası

5.4.5 Kuru ve Doygun Tek Eksenli Basınç Direnci Oranı

Winkler (1993) tarafından önerilen ve kayaçların durabilitelerinin belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan doymuş kuru tek eksenli basınç direnci oranı durabilite sınıflandırma yöntemi kayacımızın içerdiği süreksizlik düzlemlerinin neden olduğu anizotropik özelliği göz önüne alınarak yönlenmeye dik ve paralel yükleme koşullarında iki farklı şekilde belirlenmiştir (Tablo 5.11 ve Tablo 5.12).

Tablo 5.11 ve Tablo 5.12 den görüldüğü üzere kayacın doymuş/kuru tek eksenli basınç direnci oranı süreksizlik düzlemlerine dik yükleme koşullarında %78,48 iken paralel yükleme koşullarında 85,3 dibi yüksek bir değere ulaşmıştır. Bu durum bölüm 5.3.1’de açıklanan ve kayacımızın içerdiği süreksizlik düzlemlerine dik ve paralel yükleme koşullarında anizotrop bir özellik göstermesi ve kayacın süreksizlik düzlemlerine paralel yüklemede dik yükleme oranla % 20,8 daha düşük tek eksenli basınç direnci sunması ile açıklanmıştır. Anizotropik bir kayaç olan Hani kireçtaşlarında tek eksenli basınç direnci deneyinde anizotropinin etkisi kayacın su içeriği etkisinin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu deney sonucundan da anlaşıldığı üzere anizotrop kayaçlarda doymuş/kuru tek eksenli basınç direnci oranının, kayacın en yüksek basınç direnci elde edileceği yükleme kuru olan yönlenmelere dik koşulda yükleme yapılarak elde edilen basınç dirençlerinin kullanılması ile belirlenmesi daha anlamlıdır.

Tablo 5.11 Kuru ve suya doymuş hani kireçtaşlarının dik yönde tek eksenli basınç direnci ortalamaları

N	Kuru TEBD (kgf/cm ²)	N	Suya Doygun TEBD (kgf/cm ²)	Direnç oranı (%)
4	1566,72±136,38	4	1229,1 ± 90,2	78.4

Tablo 5.12 Kuru ve suya doymuş hani kireçtaşlarının paralel yönde tek eksenli basınç direnci ortalamaları

N	Kuru TEBD (kgf/cm ²)	N	Suya Doygun TEBD (kgf/cm ²)	Direnç oranı (%)
4	1239,65±127,77	4	1058 ± 40,5	85.3

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

Bu çalışmanın konusunu oluşturan kireçtaşları önceki çalışmalarda Alt Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu olarak adlandırılan birimler içerisinde yer almaktadır (Tuna 1973). Arazi çalışmalarının yürütüldüğü işletmede doğal taş pazarına hitap eden malzeme özelliklerine (renk, desen, mineraloji, fiziksel ve mekanik özelliklere) sahip, üretim için yeterli ölçülerde geniş/çok geniş kaya blokları alınabilmektedir. Çalışma alanında, önceki çalışmalara dayanılarak Fırat Formasyonu, Lice Formasyonu ve güncel alüvyonlar olmak üzere 3 farklı birim ayırt edilebilmiştir (Yıldırım, 2006).

Koki Köyü yöresi kireçtaşlarının mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacı alınan ince kesitler polarizan mikroskopta incelenmiştir. Litolojik olarak benzer özelliklere sahip olduğu gözlenen kireçtaşı örnekleri mineralojik ve petrografik özellikleri doğrultusunda 'istif taşı' olarak adlandırılmıştır. Bol biyoblastlı kireçtaşı olarak belirlediğimiz kayaç içerisinde bentik foraminiferler, kırmızı algler, bryozoaların ve kavrık parçalarının olduğu gözlenmiştir.

Polarizan mikroskopta 4x4 büyütme mercek ile incelendiğinde ortalama 170 µm büyüklüğünde planktonik foraminiferler, 200 µm-1000 µm arasında intraklastlar ve kırmızı algler gözlenmiştir. Kayacın içeriğindeki fosillerin çoğunun, özellikle kırmızı algler, sıg denizlere ait olmasına karşın yer yer derin denizel ortama ait planktonik foraminifere raslanmıştır. Bu veriler ışığında kayacın çökeltim ortamı her iki ortam fosilini barındıran yokuş fasiyesi olarak belirlenmiştir.

Kireçtaşı mermer ocağı aynaları üzerinde yatay hatlar boyunca yürütülen detay süreksizlik ölçümünde, yatay hattı kesen süreksizlik düzlemlerinin konumları ile süreksizlik aralığı ve eklem sıklığı belirlenmiştir.

T1 nolu ocağın olduğu bölgede kireçtaşı tabakalarının K77B/ 9GB konumlu olduğu belirlenmiştir. T1 nolu ocağa ait üst basamakta, altı adet ayna yüzeyinde

detay süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. A'1, A'2 ve A'3 aynalarına ait ortalama görünür süreksizlik ara uzaklığı $>1\text{m}$, süreksizlik sıklığı $<1\text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Aynı ocaktaki A'4, A'5 ve A'6 aynalarına ait ortalama süreksizlik aralığı $0.3 < \lambda < 1$, süreksizlik sıklığı $1-3\text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür.

T1 nolu ocağa ait alt basamakta, beş adet ayna yüzeyinde detay süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. A1, A2, A3, A4 ve A5 aynalarına ait ortalama süreksizlik aralığı >1 , süreksizlik sıklığı <1 olarak ölçülmüştür.

T2 nolu ocağın olduğu bölgede kireçtaşı tabakalarının DB/ 5G konumlu olduğu belirlenmiştir. T2 nolu ocak ayna yüzeyinde kimi yerlerde birbiriyle kesişen, bazen aynayı dik bazen paralel kesen süreksizlik düzlemleri mevcuttur. Bu süreksizliklerde toprak dolgulu ortalama $1\text{ cm}-1.5\text{m}$ aralığında süreksizlik yüzey açıklıklarına rastlanmıştır.

T2 nolu ocağı ayna yüzeyine ait yedi adet detay süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. A1, A2, A3, A4, A5, A6 ve A7 aynalarına ait ortalama süreksizlik aralığı $>1\text{ m}$, süreksizlik sıklığı $<1\text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür.

T4 nolu ocağın olduğu bölgede kireçtaşı tabakalarının K85B/ 11GB konumlu olduğu belirlenmiştir. T4 nolu ocak ayna yüzeyinde tüm aynayı kesen birbirine paralel K70D/ 20KB konumlu iki adet tabaka düzlemi gözlenmiştir.

T4 nolu ocağa ait yedi adet ayna yüzeyinde detay süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. A1, A2, A3, A4, A5, A6 ve A7 aynalarına ait ortalama süreksizlik aralığı $>1\text{ m}$, süreksizlik sıklığı $<1\text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür.

T1, T2 ve T4 ocakları üretim aynalarında yapılan süreksizlik ölçümleri neticesinde kaya kütlesinin 359/3, 234/70 ve 262/67 olmak üzere yüksek ve düşük eğim açılarına sahip üç ayrı süreksizlik takımı içerdiği belirlenmiştir

Hani Kireçtaşları'nın görünür porozitesi ortalama olarak 1 No'lu Ocakta % 3,39, 2 No' lu Ocakta %3,30 ve 4 No'lu Ocakta %3.48 olarak belirlenmiştir.

Hani kireçtaşlarının kireçtaşlarının kuru ve suya doymun birim hacim ağırlıklarının ortalaması sırasıyla T1 Ocağı için; 2,45 gr/cm³, 2,49 gr/cm³, T2 Ocağı için; 2,45 gr/cm³, 2,48 gr/cm³, T4 Ocağı için; 2,47 gr/cm³, 2,50 gr/cm³ olarak belirlenmiştir

Hani kireçtaşlarının kireçtaşlarının ağırlıkça su emme değeri sırasıyla T1 Ocağı için; %1,37, T2 Ocağı için; %1,34, T4 Ocağı için; %1,40 olarak belirlenmiştir.

Hani kireçtaşlarının kireçtaşlarının boşluk oranı değeri sırasıyla T1 Ocağı için; %3,51, T2 Ocağı için; %3,42, T4 Ocağı için; %3,61 olarak belirlenmiştir.

Hani kireçtaşlarının ses hızı iletkenliği, suya doymun numunelerde ve kayacın içediğı birbirlerine paralel konumlu kapalı kılcal süreksizlik düzlemlerine paralel yapılan ölçümlerde 5,59 km/sn, dik ölçümlerde 5,78 km/sn, kuru numunelerde paralel ölçümlerde 5,33 km/sn dik ölçümlerde ise 5,73 km/sn olarak belirlenmiştir.

Tek eksenli basınç direnci deneyinde kaya numuneleri gözlenen süreksizlik düzlemlerine dik ve paralel yükleme koşulları altında iki farklı şekilde kırılmıştır. Kayacın tek eksenli basınç direncinin süreksizlik düzlemlerine dik konumlu yüklemede 1566 kg/cm² paralel yükleme koşullarında ise 1239,658 kg/cm² olduğı ve kayacın tek eksenli basınç direncinin, paralel yükleme koşullarında, dik yükleme koşullarına oranla %20 oranında düştüğü belirlenmiştir. Bu deney sonuçları ışığında Hani kireçtaşlarının anizotrop bir özellik taşıdığı belirlenmiştir.

Tek eksenli basınç direnci deneyinde suya doymun numunelerin kuru numunelere oranla oldukça düşük yükler altında kırıldığı ancak dik ve paralel yüklemeler sonrasında anizotropiden kaynaklanan direnç farkının %18.5 ile kuru numunelerdeki orana oldukça yakın olduğı görülmüştür.

Hani Kireçtaşları'ndan elde edilen böhme yüzeysel aşınma deneyi sonrası ölçülen hacim kaybı değeri $13,8 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ olduğu belirlenmiştir.

Islanma-kuruma deneyi sonrası kaya numunelerinde belirgin bir kırılma ve parçalanma gelişmediği ve numunelerde düşük bir oranda (% 0,37) kütle kaybı geliştiği belirlenmiştir.

Hani kireçtaşları üzerinde yapılan donma-çözülme ve tuz kristallenmesi deneyleri sonrası numunelerin tamamen bozunduğu gözlenmiştir. Buna bağlı kütle kaybı %100 olarak değerlendirilmiştir.

Hani Kireçtaşları doymun/kuru tek eksenli basınç direnci oranı süreksizlik düzlemlerine dik yükleme koşullarında %78,48 iken, paralel yükleme koşullarında 85,3 dibi yüksek bir değere ulaşmıştır. Bu durum bölüm 5.3.1'de açıklanan ve kayacın içerdiği süreksizlik düzlemlerine dik ve paralel yükleme koşullarında anizotrop bir özellik göstermesi ve kayacın süreksizlik düzlemlerine paralel yüklemede dik yüklemeye oranla % 20,8 daha düşük tek eksenli basınç direnci sunması ile açıklanmıştır. Anizotropik bir kayaç olan Hani kireçtaşlarında tek eksenli basınç direnci deneyinde anizotropinin etkisi kayacın su içeriği etkisinin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu deney sonucundan da anlaşıldığı üzere anizotrop kayaçlarda doymun/kuru tek eksenli basınç direnci oranının, kayacın en yüksek basınç direnci elde edileceği yükleme kuru olan yönlenmelere dik koşulda yükleme yapılarak elde edilen basınç dirençlerinin kullanılması ile belirlenmesi daha anlamlıdır.

KAYNAKLAR

- Akyol, E., Özer, S. ve Akgün, F. (1999). *Paleontoloji*, İzmir: D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Davis W. R (1972). *Ultrasonic techniques in ceramic research and testing. Ultrasonics, May*.
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture, *American Association of Petroleum Geologist, Memoir 1*, 108-121.
- Erdoğan, B. ve Yavuz, A.B. (2004). Kayaçların yapı taşı olarak kullanılabilirliğini belirlemede fiziko-mekanik özelliklerinin önemi. *Naturel Stone Dergisi*, 6, 22-229.
- Er, Ö. (2011). *İzmir Seferihisar (Batı Türkiye) Africano mermerlerinin jeolojisi malzeme özellikleri ve durabilitesinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- ISRM (1981). Rock Charakterization, Testing and Monitoring: *ISRM Suggested Methods*, E. T. Brown, E.T. (Ed), Pergamon Pres, 211 pp.
- Kun, N. (2013). *Mermer jeolojisi ve teknolojisi kitabı*. İzmir: Mermerciler Odası.
- Koralay, T., Özkul, M., Kumsar, H., Çelik, B.S. ve Pektaş, K., (2011). *The effect of welding degree on geotechnical properties of an ignimbrite flow unit: Bitlis castle case (eastern Turkey)* *Environmental Earth Science* Article in press. DOI 10.1007/s12665-011-0931-
- Knöfel, D.K., Hoffman, D. ve Snethlage, R. (1987). Physico-chemical weathering reactions as a formulary for time-lapsing ageing tests. *Materials and Structures*, 20, 127-145

- Rossi-Manaresi, R. (1976). Causes of decay and conservation treatments of the tuff of Castel Dell'ovo in Naples. *Proceedings. 2nd International. Symptoms On the Deterioration of Building Stones, Athens*, 233-248.
- Ruedrich, J., Kirchner, D. ve Siegesmund, S. (2011). Physical weathering of building stones induced by freeze–thaw action: a laboratory long-term study. *Environ Earth Science*, 63, 1573-1586.
- Stück, H., Siegesmund, S. ve Rüdrieh, J. (2011). Weathering behaviour and construction suitability of dimension stones from the Drei Gleichen area (Thuringia, Germany) *Environmental Geology*, 63, 1763-1786.
- Topal, T. (1997). Accelerated weathering in the Cappadocian tuff. *Proceedings of the international symposium on geology and environment, İstanbul*, 281-291.
- Tuna, D. (1973). *VI Bölge Litostratigrafisi Adlamasının Açıklayıcı Raporu*, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Raporu, No 813, 131 s.
- Topal, T. ve Doyuran, V. (1997). Analyses of deterioration of the Cappadocian tuff, Turkey. *Environmental Geology*, 34, 5–20.
- Topal, T. ve Sözen, B. (2003). Deterioration mechanism of tuffs in Midas monument. *Engineering Geology*, 68, 201-233.
- Tonçer, M. (2005). *Diyarbakır Hani yöresindeki mermer ocaklarının blok alma olanakları, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri açısından değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi. Adana.
- TS 699 (2009). *Doğal yapı taşları-İnceleme ve laboratuvar deney metodları (Natural building stones-methods of inspection and laboratory testing)* Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (in Turkish) 36 p.

TSEN 14157 (2005). *Doğal taş-Aşınma direncinin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 13755 (2003). *Doğal taşlar-deney metotları-atmosfer basıncında su emme tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TSEN 14157 (2005). *Doğal taş-Aşınma direncinin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

Winkler, E.M. (1993). Discussion and reply on the durability of sandstone as a building stone, especially in urban environments. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 30, 99–101.

Winkler, E.M. (1986). A durability index for stone. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 23, 344–357.

Yavuz, A.B ve Topal, T. (2007). Thermal and salt crystallization effects on the marble deterioration: examples from Western Anatolia, Turkey. *Engineering Geology*, 80, 30-40.

Yavuz, A.B. (1996). *Kaya mekaniği ders notları*, İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu, 30s.

Yavuz, A.B., Elçi, H. ve Topal, T.(2007). *Belevi (Selçuk-İzmir) mermerlerinin jeolojisi ve mühendislik jeolojisi*. İstanbul: Erdoğan Yüzer Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 440-450.

Yavuz, A.B. (2001). *Muğla yöresi mermer ocaklarında blok mermer üretimini etkileyen jeolojik parametreler*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Yavuz, A.B., Elçi, H., Koca, M.Y. ve Tonguç, E. (2006). Çeşme Alaçatı tüflerinin malzeme özellikleri ve doğal yapıtaşı olarak kullanılabilirlikleri. *30th Anniversary*

Fikret Kurtman Geology Symposium, Selçuk University, Geological Engineering Department (Abstract).

Yavuz A.B. (2006). Deterioration of the volcanic kerb and pavement stones in a humid environment in the city centre of Izmir, Turkey. *Environmental Geology*, 51, 211-227.

Yavuz, A.B. ve Elçi, H. (2007). Göktepe (Muğla) beyaz mermerlerinin doğal yapı taşı olarak kullanılabilirliğini etkileyen jeolojik parametreler, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23/3, 57-67.

Yıldırım, M.A (2006). *Diyarbakır Hani İlçesi jeolojisi ve teknolojik özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

EKLER

EK 1 T1, T2 ve IV NO'LU OCAKLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

T1 No'lu Ocak

No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Su İçerisinde Ağırlık (gr)	Boşluk (cm ³)	Hacim (cm ³) (Arşimet)
1	835,89	847,61	525,26	11,72	322,35
2	849,86	862,60	534,12	12,74	328,48
3	843,29	854,27	530,32	10,98	323,95
4	860,60	870,28	541,36	9,68	328,92
5	862,32	872,62	542,00	10,3	330,62
6	834,56	848,61	524,24	14,05	324,37
7	846,07	857,38	532,04	11,31	325,34
8	841,85	854,36	529,20	12,51	325,16
9	844,89	853,09	531,66	8,2	321,43
10	841,58	855,20	528,55	13,62	326,65
11	846,38	858,09	532,06	11,71	326,03
12	843,41	856,60	530,02	13,19	326,58
13	850,48	862,06	534,83	11,58	327,23

No	Porozite (%)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)	Doygun B.H.A (gr/cm ³)	Boşluk Oranı (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)
1	3,41	2,43	2,47	3,53	1,40
2	3,71	2,42	2,51	3,85	1,49
3	3,20	2,45	2,49	3,30	1,30
4	2,82	2,50	2,53	2,90	1,12
5	3,00	2,51	2,54	3,09	1,16
6	4,09	2,43	2,49	4,27	1,68
7	3,29	2,46	2,49	3,40	1,33
8	3,64	2,45	2,49	3,78	1,48
9	2,39	2,46	2,48	2,44	0,97
10	3,97	2,45	2,49	4,13	1,61
11	3,41	2,46	2,50	3,53	1,38
12	3,84	2,45	2,49	3,99	1,56
13	3,37	2,47	2,51	3,49	1,36
Ort.	3,39	2,45	2,49	3,51	1,37
SS	0,47	0,02	0,01	0,51	0,20

Ort.: Ortalama

SS: Standart Sapma

T2 No'lu Ocak

No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Su İçerisinde Ağırlık (gr)	Boşluk (cm ³)	Hacim (cm ³) (Arşimet)
1	841,81	853,93	528,60	12,12	325,33
2	863,63	874,48	542,89	10,85	331,59
3	851,42	862,99	535,20	11,57	327,79
4	857,04	865,20	539,26	8,16	325,94
5	820,77	831,07	516,09	10,3	314,98
6	835,04	849,38	524,52	14,34	324,86
7	859,40	869,09	540,49	9,69	328,6
8	799,76	812,95	502,33	13,19	310,62
9	850,77	864,32	534,52	13,55	329,8
10	840,06	852,45	527,80	12,39	324,65
11	849,03	860,48	533,69	11,45	326,79
12	857,76	866,41	539,40	8,65	327,01

No	Porozite (%)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)	Doygun B.H.A (gr/cm ³)	Boşluk Oranı (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)
1	3,53	2,45	2,48	3,66	1,43
2	3,16	2,51	2,54	3,26	1,25
3	3,37	2,48	2,51	3,49	1,35
4	3,37	2,49	2,52	2,43	0,95
5	3,00	2,39	2,42	3,09	1,25
6	4,18	2,43	2,47	4,36	1,71
7	2,82	2,50	2,53	2,90	1,12
8	3,84	2,33	2,37	3,99	1,64
9	3,95	2,48	2,51	4,11	1,59
10	3,61	2,44	2,48	3,74	1,47
11	3,33	2,47	2,50	3,45	1,34
12	2,52	2,50	2,52	2,58	1,00
Ort.	3,30	2,45	2,48	3,42	1,34
SS	0,47	0,05	0,04	0,59	0,24

Ort.: Ortalama

SS: Standart Sapma

T4 No'lu Ocak

No	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık (gr)	Su İçerisinde Ağırlık (gr)	Boşluk (cm ³)	Hacim (cm ³) (Arşimet)
1	855,67	868,45	537,84	12,78	330,61
2	860,11	869,39	541,02	9,28	328,37
3	835,45	848,15	525,02	12,7	323,13
4	857,92	869,78	539,62	13,86	330,16
5	862,76	871,20	542,47	8,44	328,73
6	833,10	844,83	523,73	11,73	321,1
7	857,15	868,27	538,80	11,12	329,47
8	841,22	853,80	528,61	12,58	325,19
9	863,53	875,56	542,72	12,03	332,84
10	828,12	840,25	520,77	12,13	319,48
11	846,55	861,54	531,60	14,99	329,94

No	Porozite (%)	Kuru B.H.A (gr/cm ³)	Doygun B.H.A (gr/cm ³)	Boşluk Oranı (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)
1	3,72	2,49	2,53	3,87	1,49
2	2,70	2,50	2,53	2,78	1,07
3	3,70	2,43	2,47	3,84	1,52
4	4,04	2,50	2,53	4,21	1,61
5	2,46	2,51	2,53	2,52	0,97
6	3,41	2,42	2,46	3,54	1,40
7	3,24	2,49	2,53	3,35	1,29
8	3,66	2,45	2,48	3,80	1,49
9	3,50	2,51	2,55	3,63	1,39
10	3,53	2,41	2,44	3,66	1,46
11	4,37	2,46	2,51	4,56	1,77
Ort.	3,48	2,47	2,50	3,61	1,40
SS	0,54	0,03	0,03	0,59	0,22

Ort.: Ortalama SS: Standart Sapma

EK 2 HANİ KİREÇTAŞLARI'NIN BÖHME AŞINMA DİRENCİNE KARŞI DAYANIMI

Başlangıç

Numune No	Yükseklik (cm)	Kenar 1 (cm)	Kenar 2 (cm)	Hacim (cm ³)
1	6,9	6,9	6,9	328,509
2	6,9	6,9	6,9	328,509
3	6,6	6,6	6,6	287,496

Böhme sonrası

No	Yükseklik	Kenar 1(cm)	Kenar 2(cm)	Hacim (cm ³)	Hacim kaybı (cm ³)	Ortalama hacim kaybı ± Standart sapma
1	6,6	6,9	6,9	314,226	14,283	13,878± 0,701
2	6,6	6,9	6,9	314,226	14,283	
3	6,3	6,6	6,6	274,428	13,068	

EK 3 HANİ KİREÇTAŞLARINA AİT SES İLETKENLİĞİ DEĞERLERİ

Suya Doygun, Yönlenmeye Paralel Ses iletkenliği

Numune No:	Uzunluk (cm)	Ses İletim Süresi (μs)	Hız (cm/μs)	Hız (km/sn)	ortalama± standart sapma(km/sn)
T1-11	6,87	13,30	0,52	5,17	5,59±0,23
T4-10	6,93	12,60	0,55	5,50	
T4-11	7,01	13,10	0,54	5,35	
T2-7	6,93	12,70	0,55	5,46	
T1-2	6,97	12,10	0,58	5,76	
T1-5	6,91	11,60	0,60	5,96	
T1-4	6,92	12,10	0,57	5,72	
T2-1	6,90	12,50	0,55	5,52	
T4-5	6,91	12,10	0,57	5,71	
T1-9	6,95	12,10	0,57	5,74	

Suya Doygun, Yönlenmeye Dik Ses İletkenliği

Numune No:	Uzunluk (cm)	Ses İletim Süresi (μs)	Hız (cm/μs)	Hız (km/sn)	ortalama± standart sapma (km/sn)
T1-11	6,96	12,60	0,55	5,52	5,78±0,26
T4-10	6,58	12,10	0,54	5,44	
T4-11	7,02	12,60	0,56	5,57	
T2-7	6,91	12,10	0,57	5,71	
T1-2	6,93	12,10	0,57	5,73	
T1-5	7,05	11,60	0,61	6,08	
T1-4	6,92	12,10	0,57	5,72	
T2-1	7,04	12,10	0,58	5,82	
T4-5	6,91	11,60	0,60	5,96	
T1-9	6,97	11,10	0,63	6,28	

Kuru, Yönlenebilir Paralel Ses İletkenliği

Numune No:	Uzunluk (cm)	Ses İletim Süresi (μs)	Hız (cm/μs)	Hız (km/sn)	ortalama± standart sapma (km/sn)
T1-11	6,87	13,10	0,52	5,24	5,33±0,38
T4-10	6,93	12,60	0,55	5,50	
T4-11	7,01	12,60	0,56	5,56	
T2-7	6,93	13,00	0,53	5,33	
T1-2	6,97	14,80	0,47	4,71	
T1-5	6,91	13,10	0,53	5,27	
T1-4	6,92	12,60	0,55	5,49	
T2-1	6,90	14,60	0,47	4,73	
T4-5	6,91	12,60	0,55	5,48	
T1-9	6,95	11,60	0,60	5,99	

Kuru, Yönlenebilir Dik Ses İletkenliği

Numune No:	Uzunluk (cm)	Ses İletim Süresi (μs)	Hız (cm/μs)	Hız (km/sn)	ortalama± standart sapma (km/sn)
T1-11	6,96	12,70	0,55	5,48	5,73±0,24
T4-10	6,58	12,60	0,52	5,22	
T4-11	7,02	12,10	0,58	5,80	
T2-7	6,91	12,10	0,57	5,71	
T1-2	6,93	12,10	0,57	5,72	
T1-5	7,05	11,60	0,61	6,07	
T1-4	6,92	12,10	0,57	5,71	
T2-1	7,04	12,10	0,58	5,81	
T4-5	6,91	11,60	0,60	5,95	
T1-9	6,97	12,10	0,58	5,76	