

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KALECİK (GÜMÜŞHANE) TRAVERTENLERİNİN FİZİKO-MEKANİK  
ÖZELLİKLERİ VE EKONOMİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeo. Müh. Arzu ÖZDEMİR**

**ŞUBAT 2009  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KALECİK (GÜMÜŞHANE) TRAVERTENLERİNİN FİZİKO-MEKANİK**  
**ÖZELLİKLERİ VE EKONOMİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Jeo. Müh. Arzu ÖZDEMİR**

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16.01.2009**  
**Tezin Savunma Tarihi : 27.02.2009**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Bülent YALÇINALP**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mithat VICIL**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ALP**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2009**

## ÖNSÖZ

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

Tez danışmanı olarak çalışmanın tüm aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen, çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayarak karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Bülent YALÇINALP'e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasının her aşamasına bilgi, eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan Sayın Yrd. Doç. Arzu FIRAT ERSOY'a, Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY'a, Uzman Dr. İrfan TEMİZEL'e ve Arş. Gör. Melek KARSLI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen bölümümüz teknik elemanlarından Murat KAYIKÇI ve Erdoğan TİMURKAYNAK'a teşekkür ederim.

Bununla birlikte çalışmanın birçok aşamasında yardımlarını esirgemeyen Güvencem Mermer ve Madencilik Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına ve özellikle Trabzon Fabrika yöneticisi sayın Nazmiye Yazıcı'ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sırasında göstermiş olduğu maddi, manevi her türlü fedakarlığı için öncelikle abim Hakan'a, desteklerini benden esirgemeyen nişanlıma, anneme, babama ve kardeşlerime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Arzu ÖZDEMİR

Trabzon, 2009

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖNSÖZ .....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
TABLolar DİZİNİ.....	VII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Doğal Taşlar Hakkında Genel Bilgiler.....	3
1.2.1. Mermerlerin Sınıflandırılması .....	4
1.2.2. Traverten ve Tufa.....	5
1.3. Çalışmanın Amacı.....	6
1.4. Çalışmanın Alanının Genel Özellikleri.....	7
1.5. Bölgesel Jeoloji.....	9
1.6. Literatür Özeti.....	11
1.6.1. Genel Jeolojik Çalışmalar.....	11
1.6.2. Jeoteknik ve Hidrojeolojik Çalışmalar.....	12
1.7. Doğu Karadeniz Bölgesi Travertenleri.....	13
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. Genel Jeolojik, Stratigrafik ve Petrografik Çalışmalar.....	19
2.1.1. 1/25 000 Ölçekli Jeoloji Haritanın Hazırlanması.....	19
2.1.2. Mikroskopik tayinler.....	19
2.2. Kaya Mekaniği Laboratuvar Çalışmaları.....	19
2.2.1. Su İçeriği.....	20
2.2.2. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme.....	20
2.2.3. Görünür ve Gerçek Porozite.....	21
2.2.4. Özgül Ağırlık.....	22
2.2.5. Birim Hacim Ağırlık.....	23
2.2.6. Suda Dağılmaya Karşı Dayanım İndeksi.....	23

2.2.7.	Islanma-Kuruma.....	24
2.2.8.	Donma-Çözünme.....	24
2.2.9.	Nokta Yük Dayanımı.....	25
2.2.10.	Tek Eksenli Basınç Dayanımı.....	26
2.2.11.	Dolaylı Çekme Dayanımı.....	27
2.2.12.	Eğilme Dayanımı.....	27
2.2.13.	Yüzeysel Aşınma Dayanımı.....	28
3.	BULGULAR.....	29
3.1.	Çalışma Alanının Jeolojisi .....	29
3.1.1.	Berdiga Formasyonu.....	29
3.1.2.	Kermutdere Formasyonu.....	34
3.1.3.	Travertenler.....	37
3.1.3.1.	Travertenlerin Oluşum Koşulları ve Morfolojik Özellikleri.....	37
3.1.3.2.	Travertenlerin Mineralojik ve Petrografik Özellikleri.....	42
3.2.	Kalecik Travertenlerinin Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi.....	42
3.2.1.	Travertenlerin İşletilmesi.....	43
3.2.2.	Travertenlerinin Fiziksel Özellikleri.....	48
3.2.2.1.	Su İçeriği, Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme, Görünür ve Gerçek Porozite .....	49
3.2.2.2.	Özgül Ağırlık ve Birim Hacim Ağırlık .....	49
3.2.2.3.	Suda Dağılmaya Karşı Dayanım İndeksi.....	51
3.2.2.4.	Islanma-Kuruma ve Donma-Çözünme Deneyi .....	53
3.2.3.	Mekanik Özellikler.....	54
3.2.3.1.	Nokta Yük Dayanımı.....	54
3.2.3.2.	Tek Eksenli Basınç ve Dolaylı Çekme Dayanımı.....	55
3.2.3.3.	Eğilme Dayanımı.....	56
3.2.3.5.	Yüzeysel Aşınma Dayanımı (Böhme Aşınma Deneyi) .....	57
3.3.	Travertenlerinin ASTM ve TSE Standartlarına Göre Değerlendirilmesi... ..	58
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	62
5.	KAYNAKLAR.....	65
	ÖZGEÇMİŞ.....	69

## ÖZET

Bu çalışmada 2005 yılında işletmeye açılan Kalecik (Gümüşhane) travertenlerinin oluşum koşulları ve jeolojik özellikleri araştırılmış, traverten örneklerinin standartlara uygunluğunun belirlenmesi amacıyla laboratuvar deneyleri uygulanmıştır.

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayalar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları esas alınarak tanımlanmış yaşlıdan gence doğru; Malm-Dogger yaşlı Berdiga Formasyonu, Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu, Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlar ayırtlanmıştır.

Yağışla yeraltına süzülen suların karbonik asitçe zenginleşmesi, Berdiga kireçtaşlarını çözmesi ve bu çözeltilerin düşey faylara bağlı olarak yüzeye çıkmasıyla beraber bünyelerindeki karbondioksit gazını bırakarak ortama  $\text{CaCO}_3$  çökeltmesi sonucunda oluşan çalışma konusu travertenlerin kalınlığı yaklaşık 50 metre, yanal devamlılığı ise yaklaşık 250 metredir. Morfolojik olarak dom (koni) tipi travertenler grubuna giren bu travertenlerin rezervi yaklaşık 200 000 m<sup>3</sup> civarındadır.

Üretim açık işletme olarak, basamak yöntemiyle yapılmaktadır. İşletmeye yüzeyde birkaç metrelik bir zonun sıyrılması ile başlanmıştır. Sahada, üretim faaliyetleri sonucunda % 60 civarında blok traverten, % 40 civarında ise moloz ve pasa elde edilmektedir. Elde edilen blok boyutu genel olarak 1.5 m x 1 m x 2 m civarındadır.

Laboratuarda yapılacak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere traverten ocağından blok numuneler alınmıştır. Bu deneyler sonucunda, travertenlerin su içerikleri % 0.24, ağırlıkça su emme oranları % 1.15, porozite değerleri % 8,27, don sonrası ağırlık kaybı % 0.14, ıslınma-kuruma sonrası ağırlık kaybı % 0.24, birim hacim ağırlıkları 2.45 g/cm<sup>3</sup>, eğilme dirençleri 8.09 MPa ve çekme dayanımları 4.54 MPa olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte tek eksenli basınç dirençleri 52.85 MPa böhme aşınma dirençleri 65.45 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

Kalecik travertenleri, genel anlamda değerlendirildiğinde, gerek rezervleri, gerek fiziksel albenileri, porozite ve böhme aşınma direnci dışında gerekse bir çok özellik açısından standartlarda belirtilen değerlere uygun olmaları nedeniyle, Doğu Karadeniz doğal taş ekonomisine büyük katkıda bulunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Gümüşhane, Kalecik, Mermer, Traverten

## SUMMARY

### PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF KALECİK (GÜMÜŞHANE) TRAVERTINE AND ITS ECONOMICAL ASSESSMENT

In this study, formation condition and geological properties of Kalecik travertine, operated in 2006, were investigated and laboratory tests were conducted for determination of suitability considering to the natural stone standards.

The geological units are the Malm-Dogger aged Berdiga Formation, Late Cretaceous aged Kermutdere Formation, Quaternary travertine and alluvium in the studied area.

Kalecik travertine with 50 meters thickness and 250 meters in width was formed with carbonic acid-rich water percolated through rocks in limestone, the water dissolved the Berdiga limestones and becomes saturated with it. When the water resurfaced related with vertical faults, the sudden drop in pressure caused the water to release the carbon dioxide gas and the calcium carbonate then recrystallized. Widely outcropping terraced-mount type travertine was formed by saturated water resurfaced on the low slopes topographical surface. Considering to its morphological properties and formation condition, reserve of cone type Bahçecik travertine is about 200000 m<sup>3</sup>.

Production methods is open surface step in the area. In the operated area, % 60 of block travertine and % 40 of marble rubbles were produced. Obtained block size is about 1.5 m x 1 m x 2 m.

Block sample were collected to perform for laboratory tests. According to the results of the tests, average water content is % 0.24, average water absorption by weight is % 1.15, porosity is % 8.27, weight loss after freezing-thawing test is % 0.14, weight loss after wetting-drying test is % 0.24, unit weight is 2.45 g/cm<sup>3</sup>, bending strength is 8.09 MPa and tensile strength is 4.54 MPa. Thus uniaxial compressive strength is 52.85 MPa and böhme surface attrition is 65.45 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>.

Considering to the reserve, physical and other properties of travertines, this travertines plays a very important role on region economy due to they have suitable properties according to the certain standards

**Anahtar Kelimeler:** Gümüşhane, Kalecik, Marble, Travertine

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1. Alp-Himalaya Dağ Kuşağı ve ülkemizin bu kuşaktaki yeri.....	1
Şekil 1.2. Doğaltaş ihracatında Türkiye'nin dünya ülkeleri arasındaki yeri.....	2
Şekil 1.3. 1986-2005 yılları arası Türkiye doğal taş üretimi.....	3
Şekil 1.4. Doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması.....	6
Şekil 1.5. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	7
Şekil 1.6. Gümüşhane ili yıllık ortalama sıcaklık yağış grafikleri.....	8
Şekil 1.7. Doğu Karadeniz Bölümünün genelleştirilmiş jeoloji haritası.....	10
Şekil 1.8. Önemli mermer yataklarının bölgelere göre dağılımı.....	14
Şekil 1.9. Doğu Karadeniz Bölgesi traverten oluşumları ve bunların faylarla ilişkisi.....	15
Şekil 1.10. Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki travertenlerinin oluşum mekanizması .....	16
Şekil 1.11. Teras tipi travertenlerin arazideki görünümü.....	17
Şekil 1.12. Doğu Karadeniz Bölümü'ndeki önemli traverten ve onikslerin fiziko-mekanik özellikleri.....	18
Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası.....	30
Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresine ait dikme kesit.....	31
Şekil 3.3. Çalışma alanı ve çevresine ait enine kesit.....	32
Şekil 3.4. Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının arazi görünümü.....	33
Şekil 3.5. Arılı Mahallesi'ndeki Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının arazi görünümü.....	33
Şekil 3.6. Berdiga Formasyonu'na biyomikritik kireçtaşlarının mikroskobik görünümü .....	34
Şekil 3.7. Kermutdere Formasyonu ile Berdiga Formasyonu arasındaki faylı dokanak (a) ve Kermutdere Formasyonu'na ait kumtaşı, silttaşı ve kireçtaşları (b).....	35
Şekil 3.8. Kermutdere Formasyonu'na ait silttaşı (a) ve kumtaşının (b) mikroskobik görünümü .....	36
Şekil 3.9. Kalecik travertenlerinin işletilmeden önceki durumu .....	37
Şekil 3.10. Kalecik travertenini yüzeyinde oluşmuş kareler.....	38
Şekil 3.11. Morfolojik yapılarına göre travertenler.....	40
Şekil 3.12. Kalecik traverteninin oluşum modeli.....	41
Şekil 3.13. Kalecik traverteninin mikroskoptaki görünümü .....	42
Şekil 3.14. Kalecik traverten ocağının görünümü.....	44



Şekil 3.15.	Kalecik traverten ocağında üretilen bloklar.....	45
Şekil 3.16.	Kalecik traverten ocağında üretilen blokların istenilen boyuta getirilebilmesi için kesilmesi.....	45
Şekil 3.17.	Kalecik traverten ocağının blok kalitesini düşüren ve kalınlıkları yer yer 10 cm'ye varan zayıflık düzlemleri.....	46
Şekil 3.18.	Güvencem Mermer A.Ş'ye ait Trabzon'da bulunan mermer Fabrikası.....	46
Şekil 3.19.	Fabrikada travertenlerin kesim, dolgu ve cilalanma işlemi.....	47
Şekil 3.20.	Travertenlerin plaka haline getirilerek satışa sunulması.....	47
Şekil 3.21.	Bloklardan yönlü örnek alımı.....	48

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1.1. Dünya doğal taş üretiminde ilk 10 ülke.....	2
Tablo 1.2. Trabzon İli'ne ait meteorolojik veriler.....	8
Tablo 1.3. Bölgede işletilen traverten ve oniks yatakları.....	15
Tablo 3.1. Su akış yönüne paralel ve dik örneklerin nokta yük dayanım değerleri.....	48
Tablo 3.2. Su içeriği, ağırlıkça ve hacimce su emme ve porozite deneylerinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	50
Tablo 3.3. Özgül ağırlık deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	51
Tablo 3.4. Birim hacim ağırlık deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	52
Tablo 3.5. Travertenlerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri ve dağılma dayanım sınıflandırılması.....	52
Tablo 3.6. Travertenlere ait ıslanma kuruma deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları ile deney başlangıcı ve deney sonu boyuna dalga hızları ve tek eksenli basınç dirençleri.....	53
Tablo 3.7. Travertenlere ait donma çözülme deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları ile deney başlangıcı ve deney sonu boyuna dalga hızları ve tek eksenli basınç dirençleri.....	54
Tablo 3.8. Nokta yük dayanım indeksi deneyi sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	55
Tablo 3.9. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	56
Tablo 3.10. Eğilme dayanım indeksi deneyi sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	57
Tablo 3.11. Eğilme dayanım indeksi deneyi sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları.....	57
Tablo 3.12. Kalecik (Gümüşhane) travertenlerinin fiziksel (indeks) özellikleri....	58
Tablo 3.13. Kalecik (Gümüşhane) travertenlerinin mekanik özellikleri.....	58
Tablo 3.14. Sedimanter kökenli doğal taşlara ait Türk Standartları'nda istenilen değerler ve Kalecik travertenlerinin bu standartlar açısından uygunluğu.....	59
Tablo 3.15. ASTM Doğal Taş Standartlarında istenilen değerler ve Kalecik travertenlerinin bu standartlar açısından uygunluğu.....	60

## SEMBOLLER DİZİNİ

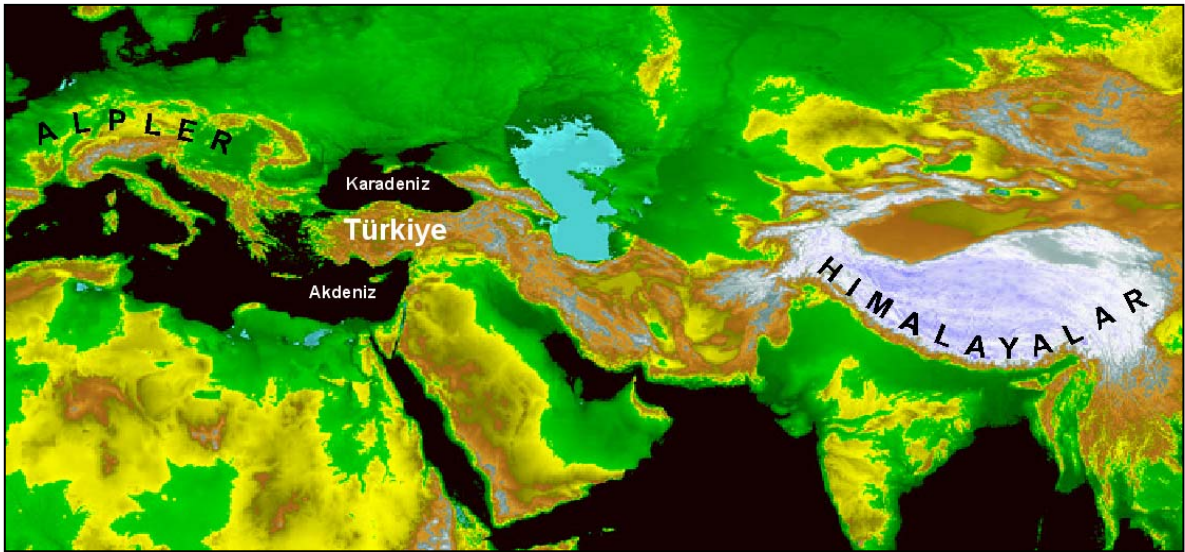
$A_w$	: ağırlıkça su emme
$D$	: örnek çapı
$D_e$	: çapsal deneylerde karotun çapı
$e$	: boşluk oranı
$g$	: yoğunluk
$H_w$	: hacimce su emme
$h$	: kalınlık
$I_s$	: düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi
$L$	: mesnet mesafesi
$n$	: porozite
$P$	: yenilme yükü
$V$	: hacim
$V_p$	: boyuna dalga hızı
$w$	: su içeriği
$W$	: ağırlık
$w_a$	: su dolu piknometre ağırlığı
$w_b$	: zemin ve su dolu piknometre ağırlığı
$W_d$	: kuru örnek ağırlığı
$W_s$	: katı tane ağırlığı
$W_w$	: gözeneklerdeki su ağırlığı
$\gamma$	: birim hacim ağırlık
$\sigma_c$	: tek eksenli basınç direnci
$\sigma_{cd}$	: $d$ çapında bir örneğin sıkışma dayanımı
$\sigma_t$	: dolaylı çekme dayanımı
$\sigma_{eğ}$	: eğilme dayanımı
$\gamma$	: birim hacim ağırlık
$\sigma_c$	: tek eksenli basınç direnci
$\sigma_{cd}$	: $d$ çapında bir örneğin sıkışma dayanımı
$\sigma_t$	: dolaylı çekme dayanımı
$\sigma_{eğ}$	: eğilme dayanımı

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Dünyadaki teknolojik gelişme, endüstrileşme ve buna bağlı olarak gün geçtikçe yükselen nüfus artışı ve toplumsal talepler, büyük boyutlara ulaşan çevre problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte, dünyadaki teknolojik ve bilimsel gelişmeye paralel olarak özellikle 80'li yıllardan itibaren kamu bilinci artmış, bu duyarlılık toplumsal çevre bilinciyle beraber, insanları daha sakin ve doğal ortamlarda yaşama arzusu ve özlemine yönlendirmiştir. Bu anlamda tüketiciler genel olarak yapay ürünleri kullanmak yerine doğal ürünlere doğru yönelmeye başlamışlardır. Bu durum özellikle mermer sektöründe, doğal taş üretim ve tüketimini de etkilemiştir. Ülkemizde ise son 10 yıl itibarıyla doğal taş sektörü hızla gelişmiş özellikle büyük şehirlerde ve turistik yörelerde, hem yapılarda hem de topluma açık ve kapalı alanlarda doğal taşlar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Çavuşoğlu vd., 2006).

Dünyanın en zengin doğal taş yatakları Alp-Himalaya kuşağında yer almaktadır (Şekil 1.1). Dünya doğal taş kaynaklarının 15.5 milyar m<sup>3</sup> (40.9 milyar ton) civarında olduğu tahmin edilmektedir Türkiye 5.1 milyar m<sup>3</sup> (13.9 milyar ton) doğal taş rezervi ile dünya üzerindeki toplam kaynağın % 33' üne sahiptir (Çavuşoğlu, 2006; Ersoy, 2008)

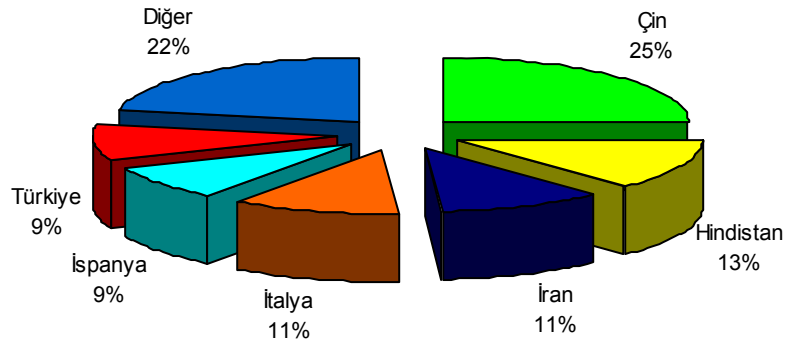


Şekil 1.1. Alp-Himalaya Dağ Kuşağı ve ülkemizin bu kuşaktaki yeri (Ersoy, 2008)

Ülkemizin görünür doğal taş rezervi yaklaşık 5,1 milyar m<sup>3</sup> olarak bilinmektedir ve ülkemiz bu rezervle dünyanın en büyük doğal taş rezervlerine sahip ülkeleri arasına girmektedir (Onargan vd., 2006). 2003 yılı itibariyle dünya doğal taş üretimi 85 milyon tona ulaşmıştır. Ülkemiz ise doğal taş üretiminde 6 milyon tonluk üretim payıyla dünya sıralamasında altıncı, ihracatta ise yedinci sırada yer almaktadır (Tablo 1.1 ve Şekil 1.2).

Tablo 1.1. Dünya doğal taş üretiminde ilk 10 ülke (milyon ton) (URL-1)

ÜLKELER	2001	2002	2003	2004	2005
Çin	16.8	18.0	18.6	20.6	22.0
Hindistan	10.2	10.5	11.2	12.5	12.5
İran	-	9.3	10.0	10.4	10.4
İtalya	10.7	10.1	10.8	10.9	10.2
İspanya	8.8	7.6	7.6	8.6	8.7
<b>Türkiye</b>	<b>2.6</b>	<b>3.2</b>	<b>6.2</b>	<b>7.7</b>	<b>8.3</b>
Brezilya	3.1	3.7	6.0	6.4	6.9
Portekiz	3.3	2.9	2.8	3.0	3.0
Mısır	1.3	1.5	2.0	2.2	2.5
Yunanistan	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1
Diğer	7.3	7.4	8.0	8.3	6.4



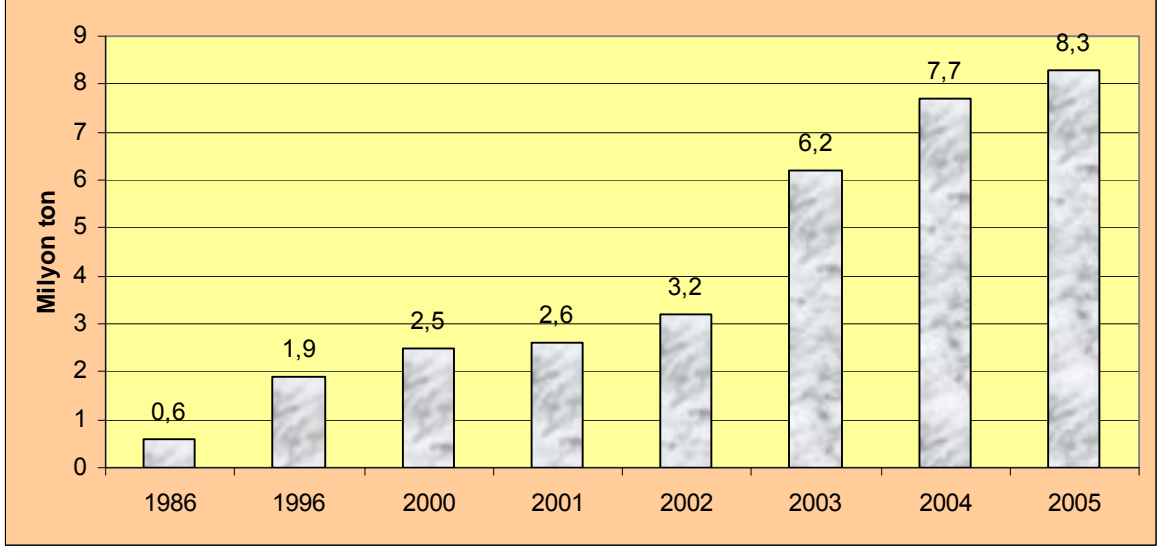
Şekil 1.2. Doğal taş ihracatında Türkiye'nin diğer dünya ülkeleri arasındaki yeri (URL-1)

Dünya mermer rezervlerinin % 33'üne sahip olan ülkemiz, dünya blok üretiminin % 9'unu, plaka üretiminin ise % 1.5'ini gerçekleştirmektedir. Kalite yönünden dünya mermerleri ile rekabet edebilecek özelliklere sahip olan mermerlerimiz, gelişen teknolojik yeniliklerin uygulamaya geç sokulması, mermerlerimizin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini belirlemede bilinçli olunmaması nedeniyle, ocaklarda üretim esnasında,

fabrikalarda kesim sırasında önemli ölçüde üretim kayıplarına uğramaktadır (Tonçer, 2005).

Mermerlerin ocakta üretim planlarının yapılmasından önce kalitesinin ve özelliklerinin ocak içerisindeki dağılımının önceden bilinmesi çok önemlidir. Bu, hem o mermerin hangi bölgelerinin hangi amaçla nerelerde kullanılabileceğini ortaya koymakta hem de seçimli üretim yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, ekonomik bir üretim planının yapılması (hangi bloğun işletilebilir hangisinin işletilemez olduğunun belirlenmesi) mermerin fiziki ve mekanik özelliklerinin yatak içindeki dağılımının bilinmesine bağlıdır

Türkiye doğal taş sektöründe son 20 yıllık süreçteki hızlı gelişmesine rağmen (Şekil 1.3), günümüz koşullarında gelmiş olduğu nokta yeterli değildir ve gerek Avrupa gerekse Asya pazarında daha etkin rol oynayabilecek bir konumdadır. Bunun için mermer endüstrisinde yeni teknolojiler ve atılımlar kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu nedenle, ülkemiz gerek teknolojik alanda, gerekse üretim ve pazarlama stratejileri bakımından gelişmeyi hızlı bir şekilde sürdürmek durumundadır.



Şekil 1.3. 1986-2005 yılları arası Türkiye doğal taş üretimi (Ersoy, 2008)

## 1.2. Doğal Taşlar Hakkında Genel Bilgiler

Geçmişe dönüp bakıldığında insanoğlunun var oluşundan bu yana kullandığı en eski yapı malzemesi doğal taşlardır. Doğal taşlar, başta yapı malzemesi olmak üzere çeşitli

amaçlarda kullanılmış ve bunun sonucu olarak mermer sektörü önemli sanayi dallarından biri olmuştur. Günümüzde mermer sektörü, başta İtalya olmak üzere İspanya, Portekiz, Yunanistan, Brezilya, G. Afrika, Çin ve daha birçok ülkede ileri teknolojilerin kullanıldığı son derece önemli bir sektör durumundadır (Onargan vd., 2006).

Bilimsel açıdan mermer, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının sıcaklık ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak yeniden kristalleşmesi ile oluşan metamorfik bir kayadır (Atabey, 2002, Pedley, 1990). Mermerler içerisinde bulunan tali derecede bulunan minerallere göre değişik renklerde olabilmektedir. Endüstriyel anlamda ise, kesilip parlatılabilen her cins taş mermer olarak kabul edilmektedir. Taşın cinsi ve mineral bileşimi ne olursa olsun büyük ebatta blok elde edilebilme, kesilme ve cilalanma gibi özellikler göstermesi, o taşın mermer olarak kabul edilmesine kafi gelmektedir (Onargan, 2006, Köse, 2006). Bunlardan granit, diyabaz, andezit, dasit, siyenit, bazalt, gabro ve serpantinler gibi magmadan türeyen kayalar da mermer tanımının içine girmektedir.

### 1.2.1. Mermerlerin Sınıflandırılması

Doğal taşlar (endüstriyel anlamda mermerler), oluşum esnasındaki şartlara bağlı olarak farklı mineralojik, kimyasal ve yapısal özelliklere sahip olmaktadır. Buna bağlı olarak, mermerler aşağıdaki şekilde 4 ana grupta sınıflandırılmaktadır (Balgar, 1978, Folk ve Chafetz, 1984, Gua ve Riding, 1998).

A) Mineral tane boyutlarına göre;

a) İnce taneli mermer (1 mm)

b) Orta taneli mermer (1-5 mm)

c) İri taneli mermer (5 mm ile 1-2 cm)

B) Mineral bileşim ve oranlarına göre;

a) Mermer: % 95 kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) içerir. Masif yapıda ve taneli dokuya sahiptir. Kuvars ve mika gibi diğer mineralleri içerebilir.

b) Kalkşist: % 60-70 kalsit içerir. Şisti yapıda ve yönlü dokuya sahiptir. Klorit, epidot, mika ve lepidolit gibi diğer mineralleri içerebilir.

c) Spolen: % 80 kalsit içerir. Şisti yapıda ve yönlü dokuya sahiptir. Flaapit, tremotil, diyopsit, plajiyoklas ve gröna gibi diğer mineralleri içerebilir.

d) Mermer-Skarn: % 80-90 kalsit içerir. Masif yapıda ve taneli dokuya sahiptir. Epidot, diyopsit, gröna, olivin ve plajiyoklas gibi diğer mineralleri içerebilir.

C) Yapı ve dokularına göre;

a) Masif mermer: Kompakt görünümlü, ince veya iri taneli olabilir.

b) Laminal mermer: Renkli şeritli görünümde, ince taneli şeritler halinde farklı mineral içerirler.

c) Şisti mermer: Yapraklı yapıda ve önemli miktarda mika içermektedir.

d) Breşik mermer; Oluşumdan sonra gelişmiş kırıkların arasını ikincil mineraller doldurmuştur. Dolgular farklı renk ve mineral içerikli olabilirler.

D) Jeolojik oluşumlarına göre;

a) Magmatik kayalar (Granit, diyabaz, siyenit, bazalt vb.)

b) Metamorfik kayalar (Hakiki mermerler, vb.)

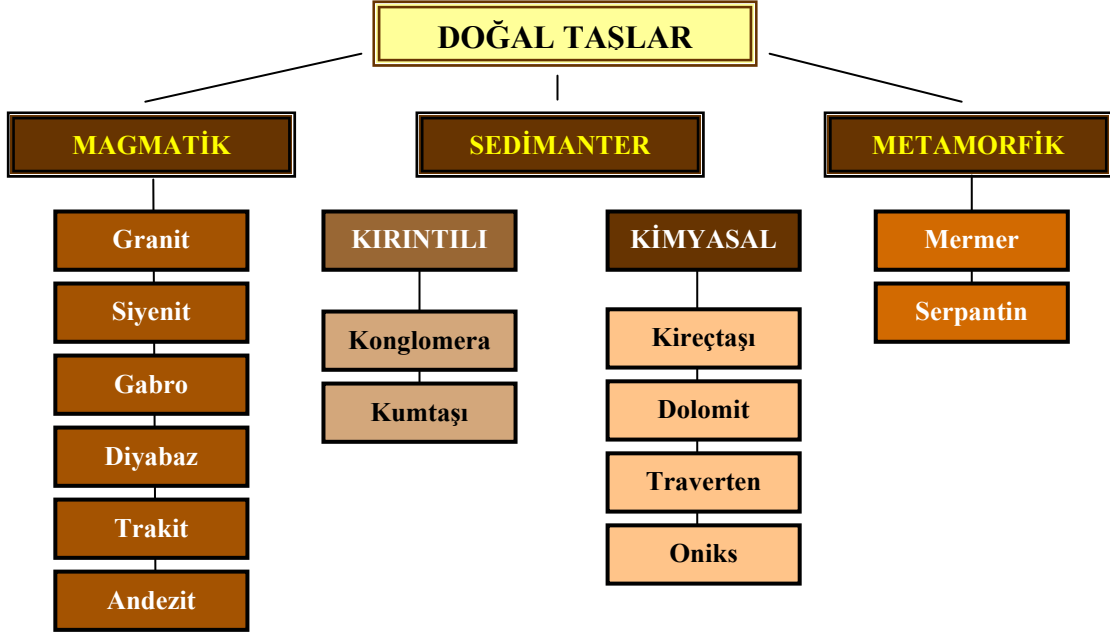
c) Sedimanter kayalar (Travertenler, tufalar, kireçtaşları, oniks mermerler vb.)

Doğal taşlar için birçok sınıflandırma sistemi geliştirilmiş olmakla birlikte oluşumlarına göre yapılan sınıflandırma daha yaygın kabul görmektedir. Zira oluşum koşullarına bağlı olarak fiziksel ve fiziko-mekanik dayanım özellikleri şekillenmektedir. Aynı sınıf içerisinde yer alan kayalar birbirine yakın değerlere sahip olmakta, farklı sınıflı kayalar ise birbirleri arasında daha kolay karşılaştırılabilmektedir. Şekil 1.4'te oluşumuna göre yapılan doğal taş sınıflandırılması görülmektedir.

### 1.2.2. Traverten ve Tufa

Travertenler ve tufalar, yağışla yeraltına süzülen ve karbonik asitçe zenginleşen suların karbonatlı kayaları çözmesi, bunu takiben kalsiyum karbonat veya kalsiyum bikarbonat içeriği artan suların bünyelerindeki karbondioksit gazını bırakarak ortama  $\text{CaCO}_3$  çökeltmesi sonucunda oluşan genellikle iri gözenekli, ince taneli ve bantlı yapılı kayalardır (Atabey, 2002). Tufa ile travertenleri birbirinden farklı kılan fiziksel ve dokusal özellikler bulunmaktadır. Tufa, gözenekli, süngerimsi, odunsu dokulu soğuk su karbonat birikimleri olarak tanımlanırken, traverten iyi taşlaşmış spari kalsit dokulu, diyajenetik eski kalkerli tufa çökeli olarak tanımlanabilir (Pedley, 1990). Tufalar, kalsitik tufa, kalk tufa, sinter kabuk, bitki tufası gibi adlarla bilinirler (Atabey, 2002).





Şekil 1.4. Doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması (TS 699, 1987)

### 1.3. Çalışmanın Amacı

Ülkemizde doğal taş sektörü 1980'li yıllarda gelişme süreci içerisine girmiş, ihracatta büyük atılımlar yapılarak 2003 yılında yaklaşık 500 milyon dolar ihracat gerçekleştirilmiştir. Türkiye doğal taş sektöründe son yıllardaki hızlı gelişmesine rağmen, günümüz koşullarında gelmiş olduğu nokta yeterli değildir ve yaklaşık 7 milyar m<sup>3</sup>'lük görünür doğal taş rezervi ile dünya pazarında daha etkin rol oynayabilecek bir konumdadır (Çetin, 2003). Doğu Karadeniz Bölgesi, jeolojik yapısı nedeniyle sınırlı sayıda mermer ve doğal taş çeşitliliğine sahiptir. Daha çok bölgenin güney kesimlerinde (Bayburt, Gümüşhane ve Şiran) önemli yatak ve rezervler mevcuttur. Bölgenin kuzey kesimlerinde ise daha küçük oluşumlar görülmektedir (Arslan vd., 2005; Alp vd., 2005, Çavuşoğlu vd., 2006). Bu çalışmada tüm bunlar dikkate alınarak, Gümüşhane ili Torul ilçesine bağlı Kalecik Köyü'nde bulunan ve halen işletilmekte olan travertenlerin oluşum koşulları ve kökeni incelenmiş, ekonomik anlamda değerlendirilmesine yönelik fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bununla birlikte belirlenen bu özelliklere göre bu travertenlerinin ülkemiz ve dünya piyasasındaki kalitesi vurgulanmak istenmiştir.

#### 1.4. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

İnceleme alanı Doğu Karadeniz Bölgesi, Gümüşhane İli, Torul ilçesine bağlı Kalecik Köyü ve çevresini içeren ve H42-b2 paftası içinde bulunan, yaklaşık 20 km<sup>2</sup>'lik alanı kaplamaktadır (Şekil 1.5). Zigana ve Giresun Dağları arasında kalan inceleme alanının kuzeyinde Torul, güneyinde Şiran ve doğusunda Gümüşhane bulunmaktadır.



Şekil 1.5. Çalışma alanının yer bulduru haritası

İnceleme alanında ulaşım, Trabzon-Gümüşhane devlet karayolunun 89. kilometresinden batıya doğru ayrılan Torul-Şiran karayolu ile sağlanmaktadır.

İnceleme alanında en önemli yerleşim yerleri Hasköy ve İnkılap Köyü'dür. Bölgeye en yakın ilçe 20 kilometre uzaklıktaki Torul, en yakın il ise yaklaşık 30 kilometre uzaklıktaki Gümüşhane'dir. Çalışma konusu travertenlerin bulunduğu bölgede birkaç haneden oluşan birleşik bir yerleşim şekli hakimdir.

Gümüşhane İli'nin başlıca engebelerini, Karadeniz kıyı dağlarından Harşit Vadisi ile ayrılan sıradağlar oluşturmaktadır. Gümüşhane Dağları olarak adlandırılan bu dağlar, çalışma sahasının doğu kesimlerine kadar uzanmaktadır. Oldukça engebeli bir

topografyada yüzeylenme veren Kalecik travertenleri ortalama 1220 metre yükseklikte bulunmaktadır.

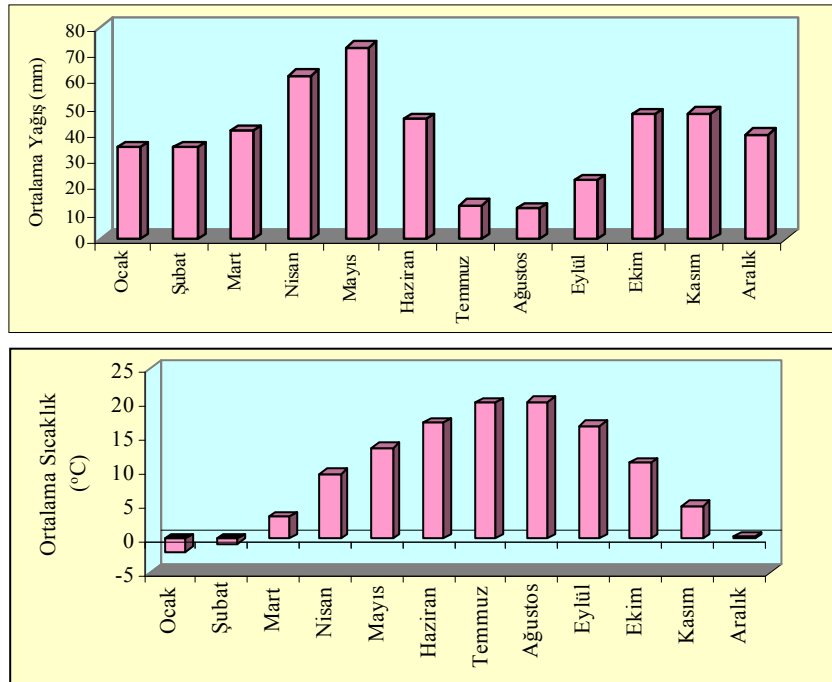
Gümüşhane İli'nin başlıca akarsuları Kelkit ve Harşit Çaylarıdır. İnceleme alanındaki Büyükdere ve Nivena Deresi, Harşit Çayının güney kesimindeki önemli kollarını oluşturur. Bunların dışında bulunan dereler, ana vadiye birçok yerde birleşen ve birkaç yüz metre uzunluğunu geçmeyen kuru dere niteliğindeki yan derelerdir.

Yöredeki en önemli yükseltiler, Sakaltutan Tepesi (1833 m) ve Tenha Tepesi (1727 m)' dir. İnceleme alanı bitki örtüsü bakımından fakirdir. Maki türü çalılıklar bölgenin genel bitki örtüsünü oluşturmaktadır. Akarsular boyunca köylüler tarafından ekilmiş meyve ağaçları, yüksek kesimlerde ise çam, meşe ve ardıç türü ağaçlar bulunmaktadır.

Çalışma alanında kışlar soğuk, yazlar sıcak ve kuraktır. Gümüşhane Meteoroloji Gözlem İstasyonundan alınan 30 yıllık sıcaklık ve yağış değerleri Tablo 1.2 ve Şekil 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1.2. Trabzon İli'ne ait meteorolojik veriler (DMİGM, 2005; 1975-2006 arası).

AYLAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
<b>Ortalama Sıcaklık (°C)</b>	-1.9	-0.8	3.3	9.5	13.4	17.0	20.0	20.1	16.5	11.2	4.8	0.3	9.5 (Ort)
<b>Ortalama Yağış (mm)</b>	34.5	34.6	40.7	61.8	72.3	45.1	12.9	11.5	22.5	47.2	42.7	39.5	465.3 (Yıllık)

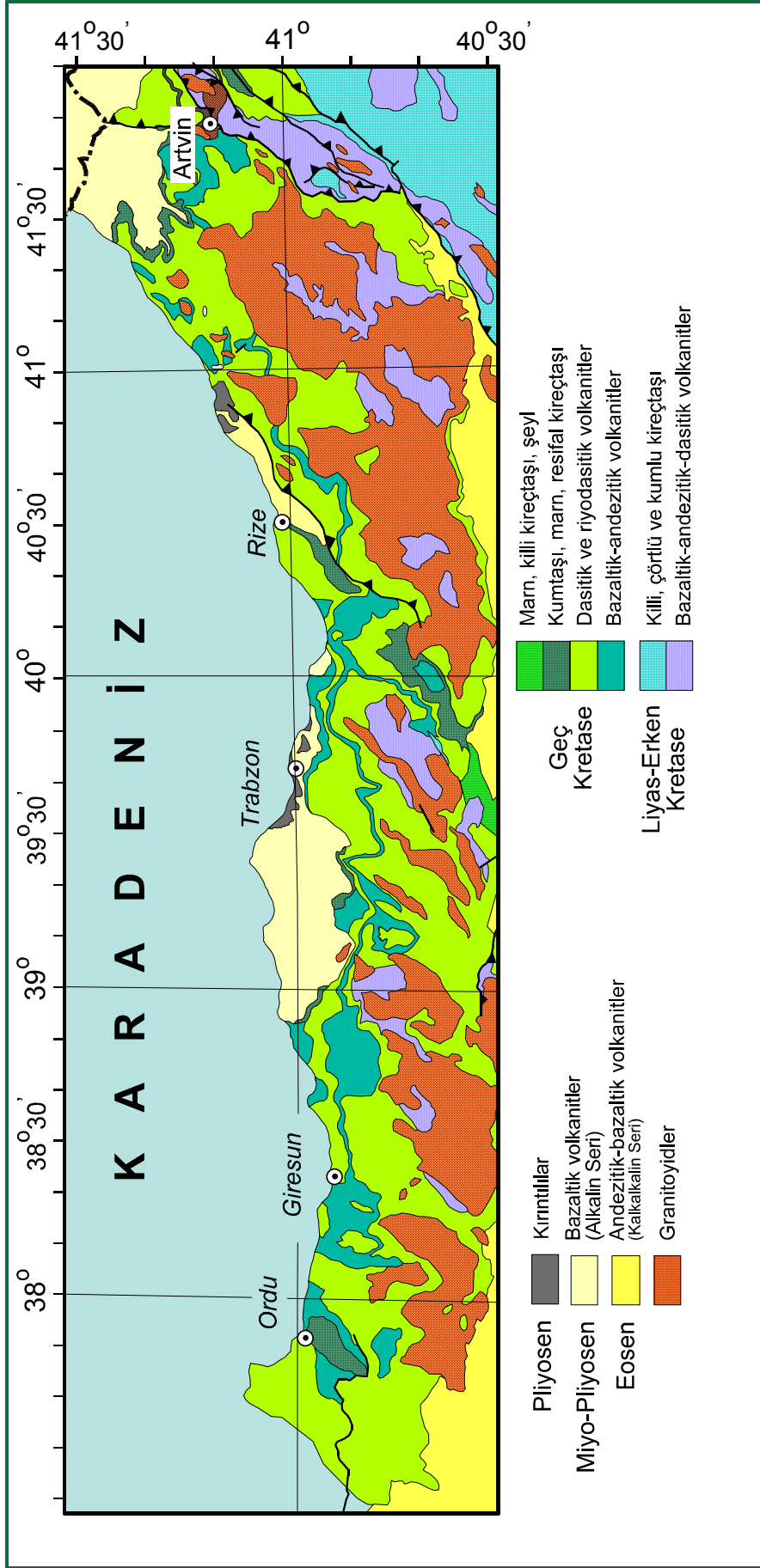


Şekil 1.6. Gümüşhane ili yıllık ortalama sıcaklık yağış grafikleri (2006)

### 1.5. Bölgesel Jeoloji

Türkiye'nin tektonik ve jeolojik birlikteliklerinden biri olan Doğu Pontidler, yapısal ve litolojik özellikler göz önünde bulundurularak Kuzey ve Güney Zon olarak tanımlanan iki ayrı bölgeye ayrılmıştır (Ketin 1966; Gedikoğlu vd., 1979; Bektaş vd., 1999). Kuzey Zon Üst Kretase ve Orta Miyosen volkanik ve piroklastik kayalarla karakteristik iken, Güney Zon ise Üst Kretase öncesi tortul birimler ile karakteristiktir.

Bölgede şist, gnays ve metabazaltlardan oluşan Paleozoyik yaşlı metamorfikler temel kayaları oluşturmaktadır (Ketin, 1951). Birim, Paleozoyik yaşlı granitler tarafından kesilmiştir (Yılmaz, 1972). Lias'ın volkaniklerle, Üst Jura-Alt Kretase'nin ise platform karbonatlarıyla karakterize olduğu bölgede, Üst Kretase dönemi farklı ortam koşullarında gelişmiş birimler ile belirgindir. Kuzey zonda magmatik aktiviteler yoğun olmakla birlikte kalın volkanik ve volkano-tortul istifler gelişmiştir. Güney Zon'da ise karbonatlı kayalar ve fliş karakterli tortul seriler çökelmiştir. Lias birimleri, Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşları tarafından uyumlu olarak üstlenmiştir (Ketin, 1951; Baykal, 1952; Açar, 1977). Birim Kuzey Zon'da daha masif yapıli killi, çörtlü ve kumlu kireçtaşları ile temsil edilirken, Güney Zon'da ise orta-kalın tabakalı çökellerle karakteristiktir. Doğu Pontidler'in Güney Zonu içinde yüzeylenen Üst Kretase flişlerinin kalınlığı 600-800 metre arasında değişmekte ve bu birim kuzey Zon'daki 5 formasyonun yanal karşılığı olarak kabul edilmektedir. Üst Kretase boyunca Doğu Pontidler'de gelişen volkanik aktivitenin etkisi dışında kalan ve derin deniz ortamında çökelmiş olan birim, Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir. Üst Kretase dönemi boyunca Doğu Pontid'lerin Kuzey zonu'nda gelişen volkanizma sonucu bazik (kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kireçtaşı arakatlı, bazalt, andezit) ve asidik bileşimli volkanik kayalar (riyodasit, dasit ve piroklastikleri) oluşmuştur. Kaçkar Dağları ve çevresinde yüzeylenme veren intrüzif kayalar, Güven (1993) tarafından Kaçkar Granitoidleri olarak tanımlanmıştır. Üst Kretase boyunca gelişimini sürdüren ve büyük ölçüde Paleosen sonunda yerleşimini tamamlayan granitoidler ile Eosen yaşlı birimler arasında bir aşınma düzlemi bulunmaktadır. Eosen döneminde yenilenen granitoid intrüzyonları ise Eosen yaşlı kayalarda kontakt etkiler yapmıştır.



Şekil 1.7. Doğu Karadeniz Bölümü'nün genelştirilmiş jeoloji haritası (Güven, 1993)

Bölgede Senozoyik, genellikle kırıntılı çökellerle başlar ve üst bölümlere doğru volkano-tortul seviyeye geçiş gösterir (Güven, 1993). Geç Kretase yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ve aşıl uyumsuzlukla gelen birimler, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara katkılı andezit, bazalt ve bunların proklastitlerinin oluşturduğu volkano-tortul bir seridir. Birim, Pliyosen yaşlı olarak kabul edilen bir birim tarafından aşıl uyumsuzlukla üstlenmektedir (Güven, 1993).

## **1.6. Literatür Özeti**

### **1.6.1. Genel Jeolojik Çalışmalar**

Ketin (1948, 1950 ve 1951), Aşkale, Bayburt ve Gümüşhane bölgelerinin jeolojisini çalışarak, bölgenin 1/100000 ölçekli jeoloji haritasını yapmıştır. Çalışmalarda Liyas yaşlı kayaçların volkano-tortul karakterde olduğunu, Paleozoyik yaşlı metamorfik temel üzerinde uyumsuz olarak bulunduğunu belirlemiştir.

Baykal (1952), Kelkit-Şiran yörelerindeki incelemelerde, Paleozoyik yaşlı metamorfik ve granitik temel kayaçlarıyla, Jura-Kretase, Eosen ve Neojen yaşlı tortul kayaçların ayılım ve litolojik özelliklerini ortaya koymuştur.

Erguvanlı (1952), Trabzon- Gümüşhane arasının 1/10000 ölçekli jeoloji haritasını yaparak Pontitler'de Senoniyen ve Lütésiyen yaşında iki kompleksin varlığından söz etmiştir.

Erguvanlı (1953), Görele-Gümüşhane arasındaki bölgede yaptığı çalışmada, Liyas, Üst Jura ve Alt Kretase yaşlı birimleri ayırt etmiştir.

Gottinger (1962), Gümüşhane ve çevresinin stratigrafisini, Permiyen yaşlı metamorfikler ve granitler, Liyas yaşlı kireçtaşları, Üst Kretase yaşlı filişler ve Eosen yaşlı volkanikler olarak belirlemiştir.

Tokel (1974), Gümüşhane yöresinde stratigrafik çalışmalarda bulunmuştur. Ayrıca bölgede bulunan volkanik kayaçları petrokimyasal yönden incelemiş, Gümüşhane Granitoid'ini üç farklı fasiyese ayırmıştır.

Yılmaz (1974), Gümüşhane Granitoidi'nin yerleşimini ve birleşimini araştırmış, yaptığı petrografik incelemeler sonucunda, granitin dört farklı fasiyesten oluştuğunu ortaya koymuştur.

Özsayar ve diğerleri (1981), Doğu Pontitlerde yapmış oldukları çalışmada Üst Kretase'yi kuzey ve güney zon olarak ikiye ayırmış, güney sınırı Çorum-Amasya-Sivas-Erzurum, iki zon arasındaki sınırı Niksar-İspir-Ardanuç olarak belirlemişlerdir.

Eren (1983), Gümüşhane-Kale arasında kalan bölgeyi çalışarak, Doğu Pontid Güney Zonu'nda Liyas yaşlı birimler için ilk kez Zimonköy Formasyonu adını kullanmıştır.

Tokel (1983), Gümüşhane-Alucra-Şebinkarahisar-Gölköy yörelerinde yaptığı çalışmalarda, Eosen volkaniklerinin, ada yayı volkanizmasına ait olduklarını belirlemiştir.

Türk-Japon Ekibi (1985) inceleme alanını içine alan ve Harşit'ten Gümüşhane'ye kadar uzanan bölgenin, 1/25000 ölçekli jeolojik haritasını çıkararak bölgede maden yatakları ve jeokimya ağırlıklı çalışmalar yapmıştır.

Gülibrahimoğlu ve diğerleri (1985), Trabzon- Maçka güneyini içine alan bölgenin 1/25000 ölçekli jeolojik haritasını hazırlayarak, stratigrafi ve cevherleşmeler ile ilgili bilgiler vermişlerdir.

Güven (1993), 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi adlı çalışmasında, Doğu Pontidler'e ait 1/100000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve Doğu jeotektonik ünitesini litostratigrafik özellikler bakımından kuzey ve güney zon olmak üzere iki farklı zonda incelemiştir.

Gedik ve diğerleri (1996), Doğu Pontitler' in en yaşlı biriminin Permo-Karbonifer öncesi kabul edilen metamorfiklerin olduğunu, bu birimin Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane Granitoyidi tarafından kesildiğini ve Doğu Pontitler'deki Liyas havzalarının uzaklaşan bir transform fay sisteminin ürünü olduğunu belirlemişlerdir.

Bektaş ve Çapkınoğlu (1997), Doğu Pontitler'de yapmış oldukları çalışmada, Mesozoyik havzaların kinematığını ve tektoniğini açıklamışlardır.

Yılmaz (1997), Gümüşhane bölgesinde yaptığı çalışmada, Kretase yaşlı havza gelişiminde sedimantolojik kayıtlar adlı çalışmasında Kermutdere Formasyonunun riftleşme sonucu geliştiğini ortaya koymuştur.

### **1.6.2. Jeoteknik ve Hidrojeolojik Çalışmalar**

Travertenler ve tufaların oluşum koşulları, sınıflaması, kökenleri, jeomorfolojik, sedimantolojik ve ekonomik özellikleri daha önce birçok araştırmacı tarafından çeşitli yönleriyle ele alınarak incelenmişlerdir. (Bargar, 1978; Meredith, 1980; Folk ve Chafetz 1984; Love ve Chafetz, 1988; Gua ve Riding, 1998; Ayaz ve Atalay, 2001; Ersoy, 2001;

Atabey, 2002). Ancak kalsiyum karbonat bileşimli kayaçların jeoteknik özellikleri ve fiziko-mekanik özelliklerinin ilişkilendirilmesine yönelik çalışmalar son derece kısıtlıdır (Başarı vd., 2004; Alp vd., 2005; Singh vd., 2007).

Ürgüp ve diğerleri (1998), Türkiye'deki mermer sektörü ve sorunlarını bir bütün halinde ele almışlar, mermerlerin ekonomik anlamda değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yaparak mermer sektörünün sorunlarıyla ilgili çözüm önerilerinde bulunmuşlardır.

Tüdeş (2001), Gümüşhane İli'nin yerleşime uygunluğunu coğrafi bilgi sistemlerinin konumsal analiz tekniklerini kullanarak araştırmış, sonuç olarak 1/100000 ölçekli yerleşime uygunluk haritası oluşturmuştur.

Ersoy (2001), yaptığı çalışmalarda Gümüşhane İli, Torul ilçesine bağlı Kalecik Köyü'nde bulunan traverten oluşuklarının oluşum koşulları ve kökeni hakkında bilgiler vermiş, karstik su kaynaklarının fiziko-kimyasal özelliklerini belirlemiştir.

Ersoy ve diğerleri (2005), Kalecik'deki (Torul-Gümüşhane) karstik yapılar ve fay sistemleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucu karstik yapıların ve kaynakların KD-GB ve KB-GD doğrultulu faylarla ilişkili olduğunu belirlemişlerdir.

Alp ve diğerleri (2005), Gümüşhane ve Bayburt traverten ve oniks mermerlerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini araştırarak, bunların tabaka şeklinde kesilmelerinin ve cilalanmalarının uygunluğu kaya mekaniği deneyleriyle test edilmiştir.

Arslan ve diğerleri (2005), Gümüşhane ve Bayburt'ta bulunan traverten ve oniks mermerlerinin petrografik ve jeokimyasal özelliklerini ortaya koyarak, bu mermerlerin oluşum koşulları ve kökenleri hakkında çalışmalarda bulunmuşlardır.

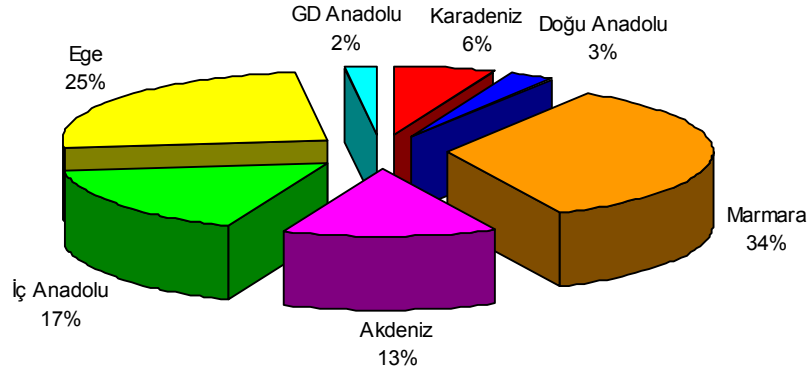
Çavuşoğlu ve diğerleri (2006), Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan doğal taşların ekonomik anlamda değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda bulunmuşlar ve maden ihracatında doğal taşların ülke ekonomisi için önemini vurgulamışlardır.

### **1.7. Doğu Karadeniz Bölgesi Travertenleri**

Alp-Himalaya kuşağındaki Akdeniz ülkelerinden biri olan ülkemizde çeşitli renk ve desenlerde mermer, kalker, traverten, oniks, konglomera, breş ve magmatik kökenli kayaçlar bulunmaktadır. Marmara ve Ege Bölgesi başta olmak üzere, ülkemizin her yerinde dünya pazarında beğeni kazanabilecek nitelikte doğal taş rezervleri mevcuttur.



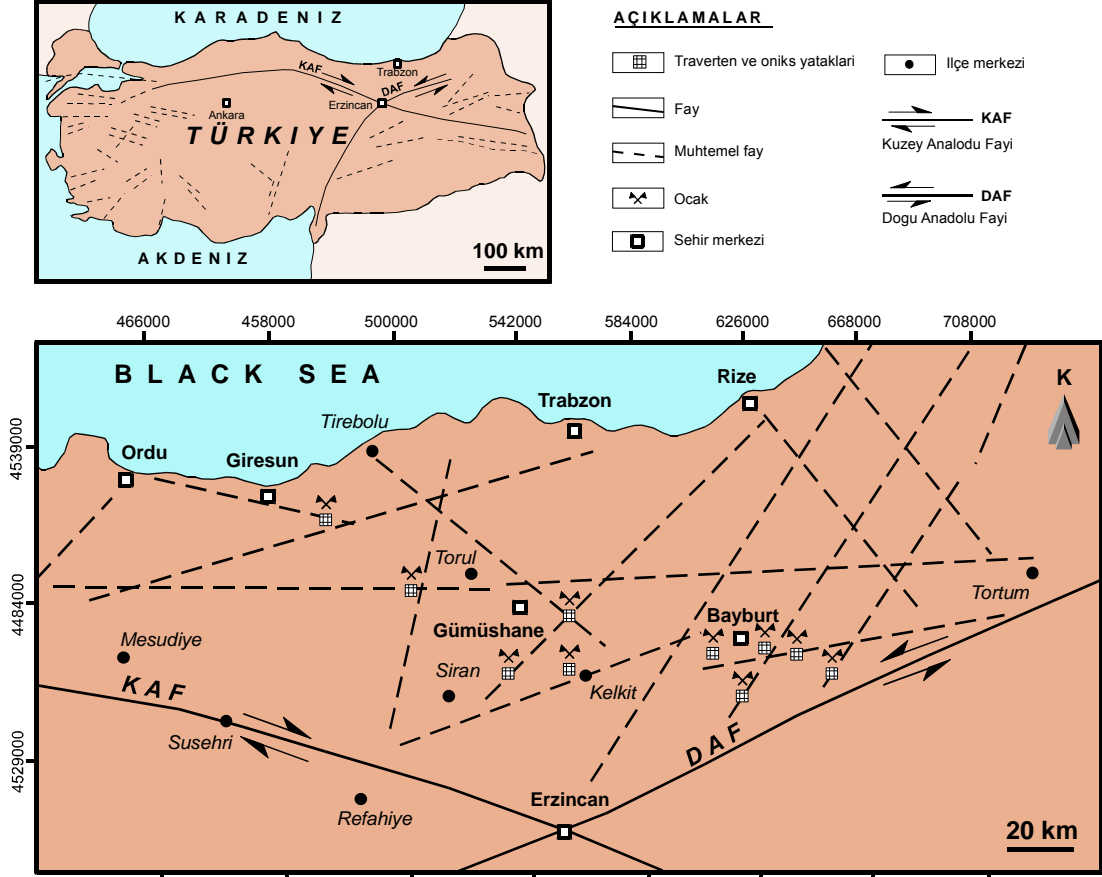
Karadeniz Bölgesi ise, özellikle Doğu Karadeniz Bölümü'nde bulunan rezervlerle ülkemizde doğal taş potansiyeli açısından 5. sırada yer almaktadır (Şekil 1.8)



Şekil 1.8. Önemli mermer yataklarının bölgelere göre dağılımı (Yılmaz, 2003; Safel, 2004)

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde başta granit olmak üzere önemli ölçüde doğal taş rezervleri bulunmaktadır. Bölgede son 10 yılda gözle görülebilir şekilde doğal taş üretimi artmış, bu rakam 2003 yılı itibariyle 450 bin ton seviyesine ulaşmıştır (Yılmaz, 2003). Bölgede ki doğal taş yataklarının çoğu magmatik kayalardan oluşmakta ve işletilmesi hem bölgedeki arazi yapısı hem de günümüz teknolojik şartlarında oldukça zor ve ekonomik olmamaktadır. Ancak mermer yataklarının ve diğer doğal yapıtaşlarının yeni teknolojik ilerlemeler sayesinde üretime geçirilmesi bölgeye çok ciddi bir kalkınma hızı katacaktır. Rezerv değerinin ciddi aramalarla artma ihtimali de her geçen gün önem arz etmektedir.

Doğu Karadeniz Bölümü'nde özellikle Bayburt, Gümüşhane ve Şiran çevresinde önemli traverten oluşumları bulunmaktadır. Travertenler genel olarak Kuzey Anadolu Fayına (KAF) dik yönde gelişmiş KD-GB yönlü ana kırık sistemleriyle ilişkilidir (Şekil 1.9). Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki toplam 9 adet traverten yatağının işletilebilir rezervi yaklaşık 1 milyon m<sup>3</sup>'dür. Tablo 1.3'te bölgedeki traverten-oniks ve mermer yatakları, bu yatakların rezervleri verilmektedir (Ersoy, 2008).



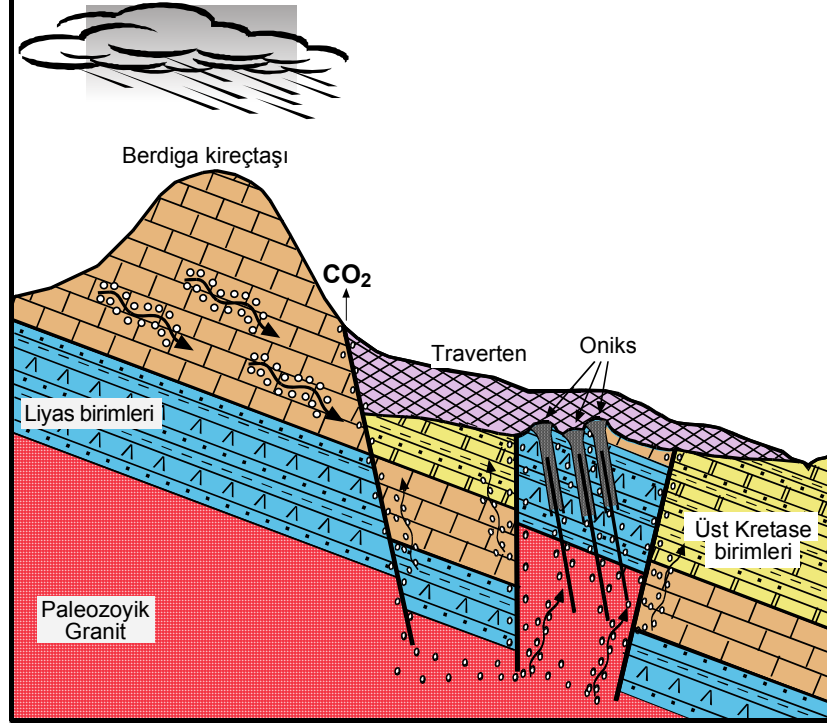
Şekil 1.9. Doğu Karadeniz Bölgesi traverten oluşumları ve bunların faylarla ilişkisi (Ersoy, 2008)

Tablo 1.3. Bölgede işletilen traverten ve oniks yatakları (Ersoy, 2008)

Şehir	İlçe ve Köy	Renk	Rezerv (m <sup>3</sup> )
Bayburt	Yaylapınar*	Beyaz	20 000
Bayburt	Yaylapınar	Medium light	100 000
Bayburt	Kırathı	Medium light	250 000
Bayburt	Masat	Kırmızımsı	100 000
Gümüşhane	Bahçecik	Medium light	400 000
Gümüşhane	Torul (Kalecik)	Light	100 000
Gümüşhane	Torul (Artabel)	Medium light	40 000
Giresun	Yağlıdere	Noce	30 000
<b>*oniks</b>			<b>1 040 000</b>

Doğu Karadeniz Bölgesi travertenleri, yağışla yeraltına süzülen suların karbonik asitçe zenginleşmesi, genel olarak Berdiga kireçtaşlarını çözmesi ve bu çözeltilerin düşey faylara bağlı olarak yüzeye çıkmasıyla beraber bünyelerindeki karbondioksit gazını bırakarak ortama CaCO<sub>3</sub> çökeltmesi sonucunda oluşmuşlardır. Bu süreç çerçevesinde

Berdiga Formasyonu'nda bulunan kireçtaşlarının çözünerek travertenleri oluşturması Şekil 1.10'daki blok diyagramla gösterilmiştir.

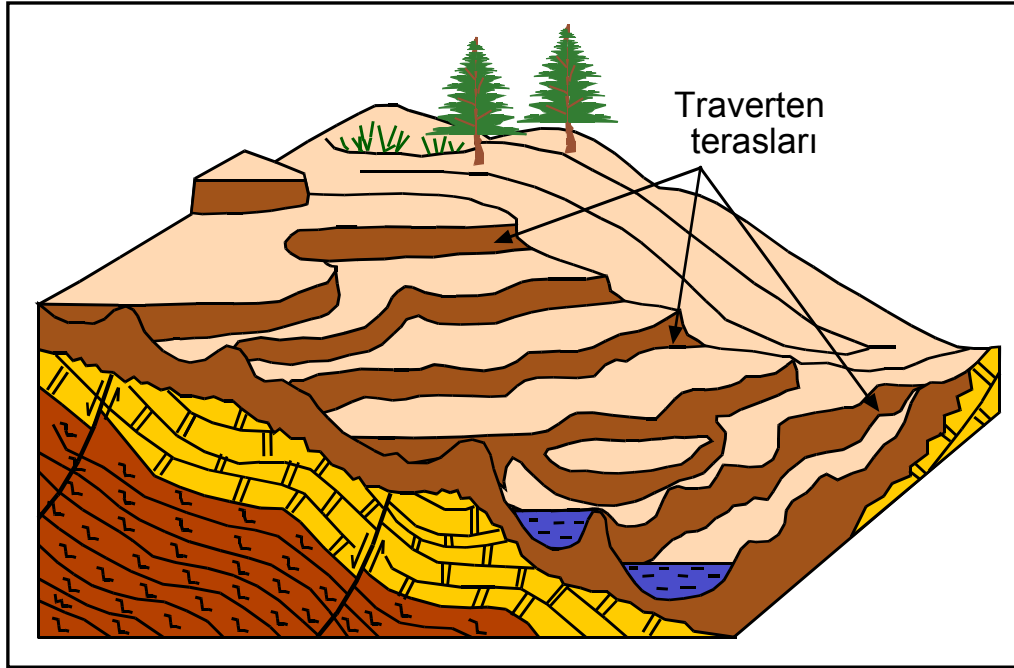


Şekil 1.10. Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki travertenlerinin oluşum mekanizması (Arslan vd., 2005)

Travertenlerde gözlenen morfolojik yapılar çeşitli şekilde tanımlanabilmektedir. Bir travertenin morfolojisi makro örneklerden, mikro örneklerden ve yatak şeklinden açıklanabilmektedir. El örneği boyutunda; oolitik-pizolitik, böbreğimsi ve bitki yapılı (Chafetz ve Meredith, 1983; Ayaz, 2002), dokusal olarak; yumrular, çubuklar, loblu kürecikler ve üzüm salkımı demetleri (Tekin vd., 1999) gibi özel morfolojik yapılar tanımlanmıştır. Yatak boyutundaki morfolojik yapılar ise ilk defa 1984 yılında Chafetz ve Folk tarafından sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamaya göre traverten yataklarında gözlenen morfolojik yapılar, teras (set) tipi travertenler, sırt (semer) tipi travertenler, dom (koni) tipi travertenler, tabaka tipi travertenler, damar tipi travertenler, fay önü travertenleri, kanal tipi travertenler ve mağara travertenleri (damlataşlar) şeklinde sekiz temel sınıfa ayrılırlar (Chafetz ve Folk, 1984). Doğu Karadeniz Bölgesi travertenleri ise genel olarak teras ve mağara tipi travertenler sınıfına girmektedir.

Teras tipi travertenler başlangıçta, az eğimli bir topoğrafya üzerinde akan suların, tabandaki çakıl veya blok birikintileri ile kaya çıkıntıları ya da akışa dik eksenli küçük tümseklerle karşılaşması sonucunda çökelen travertenlerdir (Şekil 1.11).

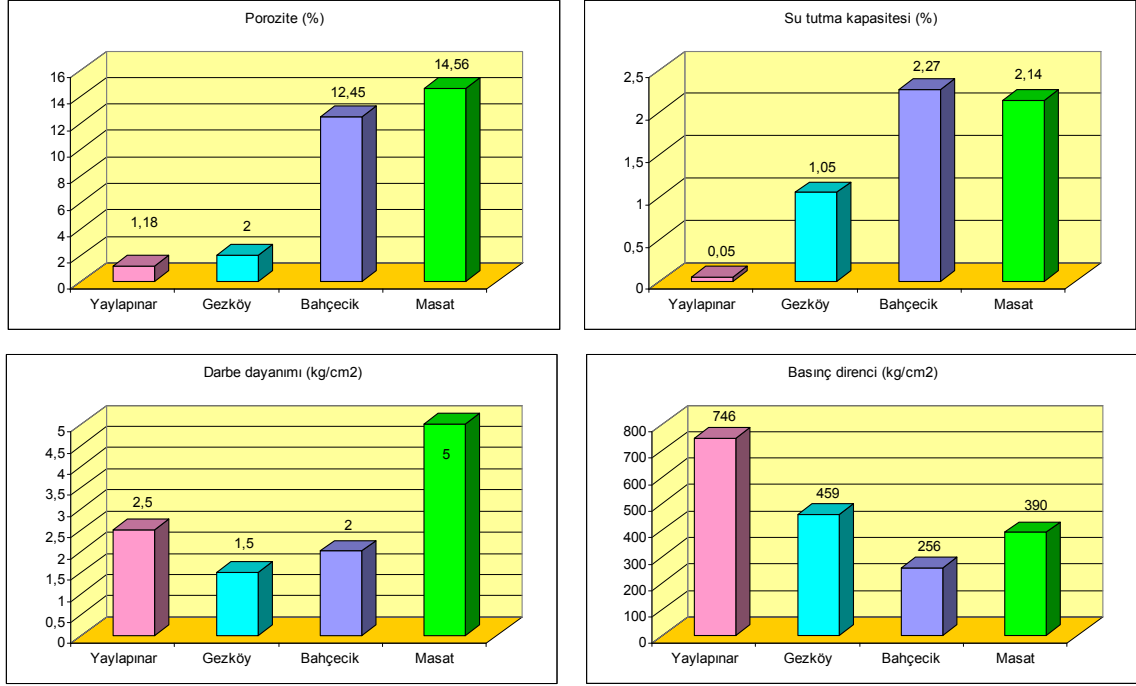
Yeraltı sularının karbonat, karbonatlı veya sülfatlı kayaları çözüp, bunları çoğunlukla mağara tavanlarından aşağı doğru akarken çökeltmeyle oluşturdukları özel şekilli oluşumlar olan Mağara travertenleri, sulardaki karbondioksit basıncının ( $P_{CO_2}$ ) mağaralarda azalması sonucu gelişirler (Ayaz, 2002). Kırık ve çatlaklar boyunca sızan kalsiyum bikarbonatlı sulardan oluşan damlataşlar, aldıkları özel şekillere göre; sarkıt, dikit, sütun, duvar damlataşı, perde bayrak damlataşı, göğüslük ve sayvan, aykırı şekilli oluşumlar, mağara kalkanları mağara çiçeği, mağara iğnesi, mağara incisi, mağara taşı ve mağara tüfü gibi isimler almaktadır.



Şekil 1.11. Teras tipi travertenlerin arazideki görünümü (Ayaz, 2002)

Doğu Karadeniz Bölümü'ndeki en önemli traverten ocakları, Bayburt'ta bulunan Yaylapınar, Gezköy oniks ve Masat traverten ocakları ile Gümüşhane'de bulunan Bahçecik traverten ocağıdır. Şekil 1.12'de bu ocaklara ait travertenlerin fiziko-mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Şekillerden yararlanarak bu ocaklardaki traverten ve onikslerin tek eksenli basınç dirençlerinin  $250-750 \text{ kg/cm}^3$  arasında, porozite değerinin % 1-15 ve su tutma kapasitesinin % 0.05-2.27 arasında değiştiği görülmektedir. Bu

değerlerden yola çıkarak Doğu Karadeniz traverten ve onikslerinin oluşum koşullarının aynı olmasına karşın farklı fiziko-mekanik özellikler gösterdiği sonucuna varılabilir (Alp vd., 2005).



Şekil 1.12. Doğu Karadeniz Bölümü'ndeki önemli traverten ve onikslerin fiziko-mekanik özellikleri (Alp vd., 2005)

## **2.YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Genel Jeolojik, Stratigrafik ve Petrografik Çalışmalar**

#### **2.1.1. 1/25 000 Ölçekli Jeoloji Haritanın Hazırlanması**

Çalışma alanı Doğu Karadeniz Bölgesi, Gümüşhane İli, Torul ilçesine bağlı Kalecik Köyü ve çevresini içeren ve H42-b2 paftası içinde bulunan, yaklaşık 20 km<sup>2</sup>'lik alanı kaplamaktadır. Kalecik (Torul, Gümüşhane) travertenlerinin oluşum koşulları ve fiziko-mekanik özelliklerini konu alan çalışmanın ilk aşamasında genel, farklı stratigrafik özelliğe sahip litolojik birimler ve bu birimlerin birbirleriyle yaptığı dokanaklar (formasyon sınırı) belirlenerek, çalışma alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır.

#### **2.1.2. Mikroskobik tayinler**

Kayaçların mineralojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesi ve kayaç adlamalarının yapılması amacıyla Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında yaptırılan ince kesitler, James Swift (Model MP3500MBL) marka polarize mikroskopta incelenmiştir.

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

### **2.2. Kaya Mekanikliği Laboratuvar Çalışmaları**

Laboratuarda yapılacak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere traverten ocağından blok numuneler alınmıştır. Bu numunelerin alımı sırasında örneklerin sahayı tam olarak temsil etmesine dikkat edilmiştir. Saha çalışmaları sırasında travertenlerden alınan blok örnekler kullanılarak silindirik deney örnekleri (karot) hazırlanmıştır. Deneyler ISRM (1981 ve 1985), ASTM (1992a ve b; 1994), CANMET (1997a ve b) ve TSE (1975, 1987 ve 1990) standartları göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Bu çalışmada, su içeriği, yoğunluk, birim hacim ağırlık, porozite tayini, ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi, nokta yükü dayanım indeksi deneyi ve schmith sertlik çekici deneyi, tek eksenli sıkışma dayanımı, indirek çekme deneyi, sonik hız deneyi, donma-çözünme deneyi, ıslanma-kuruma deneyi ve asite karşı dayanım deneyi gibi fiziko-mekanik deneyler yukarıda belirtilen standartlara uygun şekilde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

### 2.2.1. Su İçeriği

Bu deney, kayaç örneklerinin içerdiği suyun ağırlığının belirlenerek, fırında kurutulmuş örneklerin ağırlığının yüzde olarak ifade edilmesi amacıyla yapılır. Su içeriği tayini için ISRM (1981) ve CANMET (1977a)'da belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Örnek kapları ve kapakları temizlenip kurutulduktan sonra tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir (A). Her biri en az 50 gr olan örneği temsil eden düzensiz şekilli numuneler metal kaplara konarak kapakları kapatılıp nemli örnek + kap + kapak ağırlığı hassas terazide tartılarak belirlenmiştir (B). Kapların kapağı çıkarılarak örnekler fırına konulmuş 105<sup>0</sup> C'de 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan örneklerle kapakları tekrar kapatılarak desikatörde 30 dakika bekletilmiş ve ardından kuru örnek + kap + kapak ağırlığı belirlenmiştir (C).

$$\text{Su içeriği (\%): } w = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad (1)$$

$$\text{Gözeneklerdeki suyun ağırlığı (g): } W_w = B - C \quad (2)$$

$$\text{Katı tane ağırlığı(g): } W_s = C - A \quad (3)$$

### 2.2.2. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme

Bu deney, düzenli bir geometriye sahip kayaç örneklerinin, ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının tayini amacıyla yapılır. Yöntem şişebilen ve ıslanma-kuruma süreci sonrasında kolaylıkla dağılabilen kayaçlar için uygun

değildir. Yapılan bu deney için, RILEM (1980) VE TSE (1978) tarafından önerilen koşullar esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan karot kayaç örneklerinin kullanılması halinde bunların boyları ve çapları birbirine dik iki ayrı yönde, prizmatik örneklerde ise her üç kenar kompasla ölçülür ve örneklerin hacimleri hesaplanır. Hacimleri hesaplanan örnekler, saf suda en az 12 saat bekletilir. 12 saat sonunda örnekler saf sudan çıkarılarak, suya doymun yüzeyleri kurutularak ıslak ağırlıkları hassas terazide tartılarak örneğin doymun ağırlığı bulunur. Doymun ağırlığı bulunmuş örnekler,  $105^{\circ}C$  'ye ayarlanmış fırına yerleştirilerek en az 12, tercihen 24 saat kurumaya bırakılır. Fırından çıkan örneklerin kuru ağırlıkları hassas terazide belirlenir.

$$\text{Ağırlıkça su emme (\%), } A_w = \frac{W_s - W_d}{W_d} * 100 \quad (4)$$

$$\text{Hacimce su emme(\%), } H_w = \frac{W_s - W_d}{V} * 100 \quad (5)$$

Burada,  $W_s$  : örneklerin suya doymun ağırlığı,  $W_d$  : fırında kurutulan örneklerin ağırlığıdır.

### 2.2.3. Görünür ve Gerçek Porozite

Deney düzenli bir geometriye sahip kayaç örneklerinin gözenekliliğinin tayini amacıyla kullanılır. Deney ISRM (1981)'nin önerdiği hususlar dikkate alınarak yapılmıştır. İncelenen kayaç türünü temsil edilecek en az 3 adet silindirik örneğin çapları ve boyları kompas yöntemiyle ölçülerek bu değerlerin ortalaması alınır. Her birinin ağırlığı en az 50 g olan veya çapları içerdikleri en büyük tane boyunun en az 10 katı büyüklüğündeki örnekler seçilmelidir.

Örnek  $105^{\circ}C$  'e ayarlanmış fırında en az 12 saat kurutulur ve havadan nem almadan soğuması için 30 dakika süreyle desikatörde tutulduktan sonra tartılarak kuru ağırlığı belirlenir. Örnek su dolu bir beherin içinde 48 saat bekletilir veya en az 1 saat süreyle 800 Pa'dan düşük bir vakum altında suya doymun hale getirilerek kurulanıp hassas terazide tartılır ve doymun ağırlığı belirlenir. Bu aşamada gözeneklere giren suyun bıharlaşmasına



engel olmak için mümkün olduğunca hızlı tamamlanmalı ve bu işlen sırasında örneklerden parçacıkların kırılıp kaybolmamasına özen gösterilmelidir.

$$\text{Boşlukların hacmi (cm}^3\text{)}, V_p = \frac{W_s - W_d}{g_w} \quad (6)$$

$$\text{Gözeneklilik (porozite)(\%)}, n = \frac{V_p}{V} * 100 \quad (7)$$

$$\text{Boşluk oranı}, e = \frac{n}{100 - n} \quad (8)$$

Burada,  $W_d$  : örneğin kuru ağırlığı,  $W_s$  : Örneğin doymuş ağırlığı,  $g_w$  = Suyun yoğunluğudur.

#### 2.2.4. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlığı belirlenmek istenen örnekler  $105^\circ\text{C}$ 'de 48 saat kurutulduktan sonra plastik tokmakla ezilerek ufalanmış ve ISRM (1981) standartlarına göre deneye uygun hale getirilmiştir. Ardından örneklerden yarılama metoduyla 8-10 gr alınarak piknometreye konulmuş ve örneğin üzerini örtecek kadar saf su ilave edilmiştir. Vakum desikatörüne konulan örnek ve su karışımı malzemenin havası alınmış ardından piknometre içine hava kabarcığı oluşmayacak ve piknometreyi tam dolduracak şekilde saf su ilave edilmiştir. Tekrar vakumlama işlemi yapıldıktan sonra piknometre üzerindeki su partikülleri kurulanmıştır. Deney sırasında piknometre, piknometre+örnek, piknometre+su ve piknometre+örnek+su ayrı ayrı tartılmış ve özgül ağırlık değerleri aşağıdaki formül yardımıyla bulunmuştur.

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{wn}{wn + (wa - wb)} \quad (9)$$

Burada,  $wn$ : fırında kurutulmuş numune ağırlığı,  $wa$ : suyla dolu piknometre ağırlığı ve  $wb$ : zemin ve su dolu piknometre ağırlığıdır.

### 2.2.5. Birim Hacim Ağırlık

Bu deney, düzenli bir geometriye sahip karot veya prizmatik kayaç örneklerinin birim hacim ağırlığının tayini amacıyla yapılır. Deney için ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

Düzgün bir geometrik şekle sahip biçimde hazırlanmış en az 3 deney örneğinin çapı ve boyu 0.1 duyarlılıkta ölçülür ve her bir değer için bu değerlerin ortalaması alınır. Çap ve boyları hesaplanan örneklerin hacimleri hesaplanır. Örneklerin doğal ağırlıkları hassa terazide tartılarak belirlenir.

Belirlenen örnek ağırlığı ve hacmi kullanılarak yoğunluğu aşağıdaki formül ile bulunur:

$$\text{Yoğunluk ( g/ cm}^3\text{)}, \quad g = \frac{W}{V} \quad (10)$$

$$\text{Birim hacim ağırlık (Kn/m}^3\text{)}, \quad \gamma = 9.81 * g \quad (11)$$

### 2.2.6. Suda Dağılmaya Karşı Dayanım İndeksi

Bu deneyde amaç, kayaç örneğinin standart iki çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, parçalanmaya ve zayıflamaya karşı gösterdiği duraylılığın belirlenmesidir. Deney sırasında ISRM (1981)'nin önerdiği yol esas alınmıştır.

Her biri 40-60 g olan, toplam 450-550 g kadar örneği temsil eden yaklaşık 10 adet parça seçilir. Seçilen bu örneklerin köşelerinin birbirine çarparak mekanik parçalanmaya neden olmaması için köşelerinin mümkün olduğunca küresele yakın olması istenir.

Hazırlanan örnekler öncelikle 105<sup>0</sup>C'lik sabit sıcaklıkta 6 saat, tercihen 12 saat kurumaya bırakılır. Kuruma sonunda örneklerin kuru ağırlıkları tartılarak bulunur. Kuru ağırlıkları bulunan örnekler soğutulduktan sonra tambura konularak deneye başlanır. Tambur, şeffaf hazne içine yerleştirilir ve hazne üzerinde işaretli kırmızı çizgiye kadar sıcaklığı 20<sup>0</sup>C olan su ile doldurulur. Deneye hazır hale gelen tambur 20 devir yapacak şekilde 10 dakika süre ile döndürülür. 10 dakika sonunda tambur haznedan alınarak örnekler tekrar çok hassas olarak fırına yerleştirilerek 105<sup>0</sup>C' de 12 saat süreyle yeniden kurumaya bırakılır. Kuruma sonunda örneklerin tekrar kuru ağırlıkları tartılarak madde

kaybına bakılır. Yapılan işlemler 4 çevrim olacak şekilde yinelenerek tamburda kalan malzemenin ağırlığının deneyin başlangıcındaki malzeme ağırlığına oranı hesaplanır.

### 2.2.7. Islanma-Kuruma

Bu deney, ıslanma-kuruma çevrimi koşullarında, aşınmaya karşı kayaçların duraylılığının belirlenmesi amacıyla yapılan bir deneydir. Deneyin yapılmasıyla ilgili olarak, ASTM (1992a) standartlarında verilen yöntem esas alınmıştır.

Hazırlanan silindirik örnekler  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'deki fırına yerleştirilir ve en az 12 saat kurutulduktan sonra, fırından çıkarılarak soğuma için desikatörde 30 dakika bekletilir. Desikatörden alınan örnekler hassas terazide tartılarak ağırları belirlenir. Ağırlıkları belirlenen örnekler saf su ile dolu behere konarak, saf su içinde en az 12 saat bekletilir. Beher içerisindeki su seviyesi örneklerin üst seviyesini geçecek şekildedir. Beherden çıkarılan örnekler  $60-70^{\circ}\text{C}$ 'de en az 6 saat kurumaya bırakılır. 6 saat sonra örnekler tekrar saf su dolu beherin içine konur. Her ıslanma-kuruma bir çevrime eşittir. Örnekler 80 kez ıslanma-kuruma çevrimine tabi tutulduktan sonra,  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 'deki fırına yerleştirilir ve en az 12 saat kurutulduktan sonra fırından çıkarılarak, soğuma için desikatörde 30 dakika bekletilir. Desikatörden alınan örneklerin ağırlıkları hassas terazide belirlenir. Belirlenen sonuçlarla aşağıdaki formül yardımıyla ıslanma-kuruma hesaplamaları yapılır.

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = \frac{A - B}{A} * 100 \quad (12)$$

Burada, A: örneğin deney öncesi kuru ağırlığı, B: örneğin deney sonrası kuru ağırlığıdır.

### 2.2.8. Donma-Çözünme

Bu deney donma-çözünme çevrimi koşullarında, aşınmaya karşı kayaçların duraylılığının belirlenmesi amacıyla yapılan bir deneydir. Deneyin yapılmasında yararlanılan yöntem olarak ASTM (1992b) kullanılmıştır.

Örnekler silindirik olarak hazırlanmış olup boy ve çapları hassas olarak ölçülür. Daha sonra örnekler  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 'deki fırına yerleştirilir ve en az 4 saat kurutulduktan sonra fırından çıkarılarak desikatörde 30 dakika soğuma için bekletilir ve hassas terazide ağırlığı ölçülür. Ağırlıkları belirlenen örnekler saf su içerisinde en az 12 saat bekletilerek örnek en az % 50 doygunluğa sahip olana kadar bekletilir. Deneye hazır hale gelen hazne ısı  $-18^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanarak en az 12 saat donmaya tabi tutulur ve daha sonra ısı  $+32^{\circ}\text{C}$ 'ye artırılır.  $+32^{\circ}\text{C}$ 'de örnekler en az 8 saat süreyle en fazla 12 saat çözülmeye bırakılır. Belirlenen sonuçlarla aşağıdaki formül yardımıyla donma-çözünme hesaplamaları yapılmıştır.

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = \frac{A - B}{A} * 100 \quad (13)$$

Burada, A: örneğin deney öncesi kuru ağırlığı, B: örneğin deney sonrası kuru ağırlığıdır.

### 2.3.9. Nokta Yük Dayanımı

Bu deney, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta-yükü dayanım indeksinin tayini amacıyla yapılır. Nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde sıkça kullanılan bir parametredir.

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

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

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

### 2.3.10. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında ve tasarımlarda yaygın biçimde kullanılan tek eksenli sıkışma dayanımının tahmini amacıyla yapılır. Bu çalışmada, kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenirken, ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır. Deneyde kullanılacak örnek sayısı pratik gereksinimlere bağlı olmakla birlikte, ISRM (1981) tarafından her kayaç türünden en az 5 örneğin deneye tabi tutulması önerilmektedir.

Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_c$ ) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = F/A \quad (15)$$

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

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

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{cd}}{(50/D)^{0.18}} \quad (16)$$

Burada,  $\sigma_c$ : 50 mm çapında bir karot için eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı,  $\sigma_{cd}$ :  $D$  çapında bir örneğin sıkışma dayanımı,  $D$ : örnek çapıdır.

### 2.2.11. Dolaylı Çekme Dayanımı

Bu deney disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla yapılır. Bu yöntemle, doğrudan çekme deneyine göre, genellikle biraz daha yüksek çekilme dayanımları elde

edilmektedir. Deneylerde ISRM (1981) ve CANMET (1977a)'in önerdiği yöntemler esas alınmıştır.

Çapı en az NX (54 mm) ve kalınlığı yarı çapıyla hemen hemen aynı olan, sağlam ve çatlaksız silindirik örnekler hazırlanır. Örneklerin alt ve üst yüzeylerinin birbirine paralel olmalıdır. Deneyde kullanılacak örnek sayısı pratik olarak her kayaç biriminden 10 adet olması şeklinde belirlenmiştir. Örneğin çapı ve kalınlığı birbirlerine dik iki ayrı yönde kompasla ölçülerek bu değerlerin ortalaması alınır. Örnek, yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak şekilde yerleştirilir. Örnek, yenilme 15-30 saniye arasında gerçekleşecek şekilde sabit bir hızla yüklenir. Önerilen yükleme hızı 200 N/ s'dir. Örneğin yenildiği andaki yük (F), yükleme ünitesinin göstergesinden okunur. Aynı işlemler diğer örnekler için de benzer şekilde uygulanır. Dolaylı çekme dayanım indeksi sonuçları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\sigma_t = \frac{0.636 * F}{Dt} \quad (17)$$

Burada, F: örneğin yenilmesi anında uygulanan yük (kN) , D: örnek çapı (mm), t: örnek boyu (mm)'dir.

### 2.2.12. Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı, standart boyutlardaki plaka mermerlerin belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdiği dirençtir. Mermerlerin kullanımı genellikle belirli boyut ve kalınlıklarda plaka şeklinde olduğundan eğilme direnci son derece önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır.

Eğilme dayanımının belirlenebilmesi için, mermer bloklarından 50 mm/ 100 mm/ 200 mm boyutlarında numunelerden en az 5 adet hazırlanmalıdır. Deney numuneleri deney düzeneğinde plaka şeklinde, numuneler arası mesafe 180 mm olacak şekilde deney presi tablaları arasına, yaklaşık 5 kg kuvvetlik yük verilerek mesnetlerin tam yerleşmesi sağlanır. Daha sonra yük artışı dakikada 450 kg'ı geçmeyecek şekilde arttırılarak, kırılma anındaki yük değeri kaydedilir ve yükleme yüzeyi ile plaka kalınlığı çizgisinin olduğu noktada ölçülür. Bulunan deney sonuçları aşağıda verilen eşitlikte yerine konularak eğilme dayanımı değeri hesaplanır.

$$\sigma_{eğ} = 3PL/2Dh^2 \quad (18)$$

Burada;  $\sigma_{eğ}$  eğilme dayanımı ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), P kırılma yükü (kg), L deney numunesinin mesnetler arası mesafesi (cm), D deney numunesinin eni (cm) ve h deney numunesinin kalınlığıdır (cm).

### 2.2.13. Yüzeysel Aşınma Dayanımı (Böhme Aşınma Deneyi)

Aşınma dayanımı, mermerlerin yüzeyinde aşındırıcı maddeler ile oluşturulan aşınmaya karşı gösterdiği dirençtir. Mermerlerin aşınma dayanımlarının belirlenmesi için TS 699' a uygun olarak 71 mm ebadında küp numuneler hazırlanmaktadır. Bu numuneler önce  $105^\circ \text{C}$ ' de kurutularak tartılır ve tartım sonuçları kaydedilir. Daha sonra numuneler Böhme yüzey aşındırma cihazında yüzey aşındırma deneyine tabi tutulur.

Deneyde kullanılan Böhme yüzey aşındırma cihazı 30 dev/dak. hızla dönmesi ayarlanabilen 750 mm çapında bir aşındırma diskiye sahiptir. Her yirmi iki devir sonunda disk otomatik olarak durmaktadır. Numuneyi tutacak ve 350 kg'lık yük yükleyecek düzenek mevcuttur. Deneyde 20 gr zımpara tozu sürtünme şeridi üzerine serpilir ve çelik manivela aracılığı ile 30 kg'lık yük uygulanarak deney örneğinin sürtünme şeridine  $0.6 \text{ kg} / \text{cm}^2$  lik bir basınç ile bastırılması sağlandıktan sonra disk döndürülür. 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerinden zımpara tozu ve numune artıkları temizlenir. Yeniden zımpara tozu konulur ve düşey eksen etrafında  $90^\circ$  çevrilir. Her örnek için 22 devirlik 20 aşınma periyodu yani 440 devir uygulanır. İşlem sonunda temizlenen örnek kalınlık ölçümlerine hazırdır.

Deneydeki hacim kaybı, deney sonrası hacimden deney başlangıcındaki hacmin farkı şeklinde ifade edilir.

### **3. BULGULAR**

#### **3.1. Çalışma Alanının Jeolojisi**

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayalar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda inceleme alanında yaşlıdan gence doğru aşağıdaki birimler ayırt edilmiştir.

- Malm-Dogger yaşlı Berdiga Formasyonu (masif kireçtaşı)
- Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu (silttaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve tuf),
- Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlar.

Şekil 3.1’de çalışma alanı çevresinin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası, Şekil 3.2’de dikme kesiti ve Şekil 3.3’te enine kesiti görülmektedir.

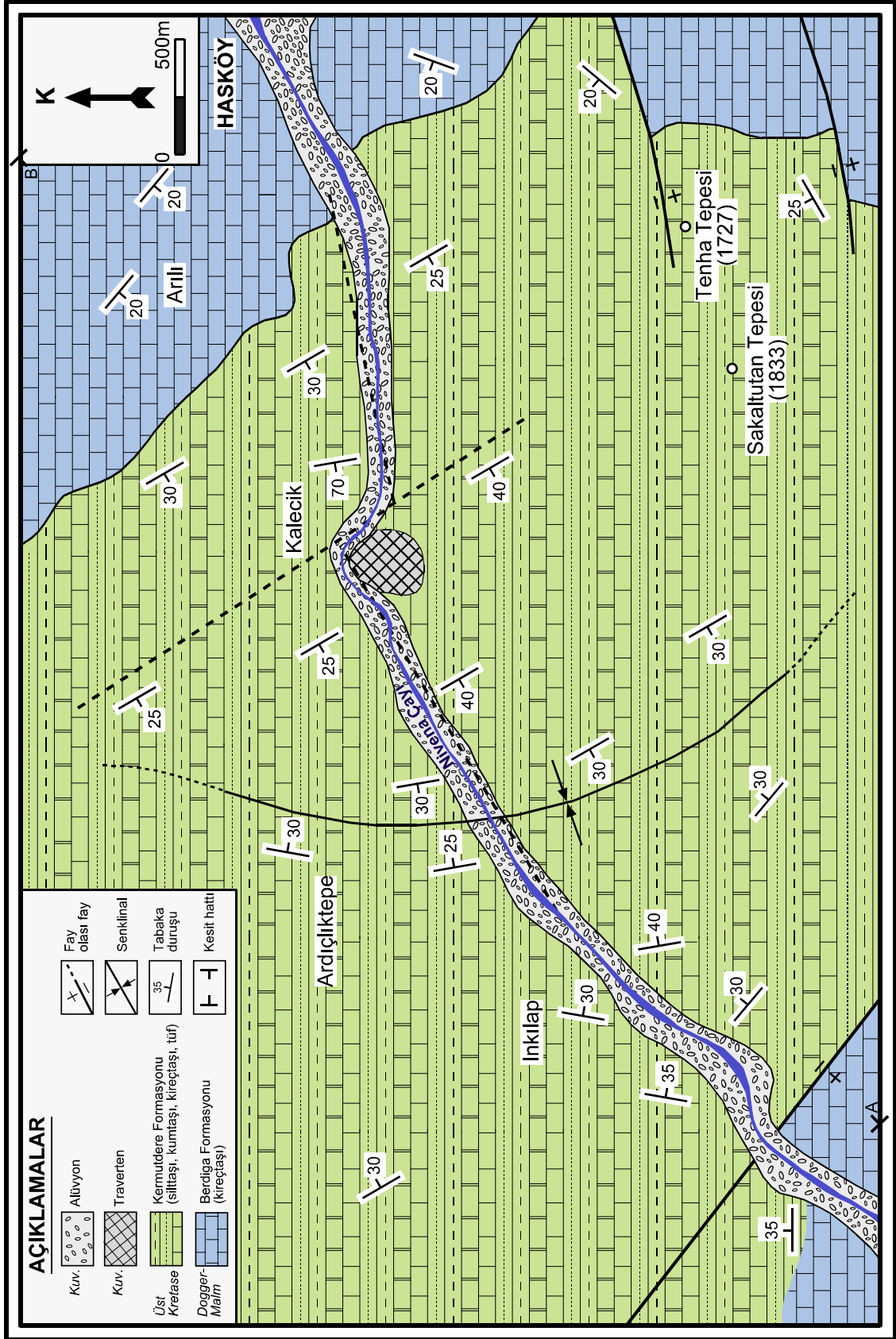
##### **3.1.1. Berdiga Formasyonu**

Birim ilk kez, litostratigrafi adlama kurallarına uygun olarak Pelin (1977) tarafından Alucra (Giresun) yöresinde yayılım gösteren masif kireçtaşları için Berdiga Formasyonu adı ile tanımlanmıştır. Berdiga Formasyonu tek tip litolojiden oluştuğu için, Taslı tarafından 1984 yılında Berdiga Kireçtaşı olarak da isimlendirilmiştir.

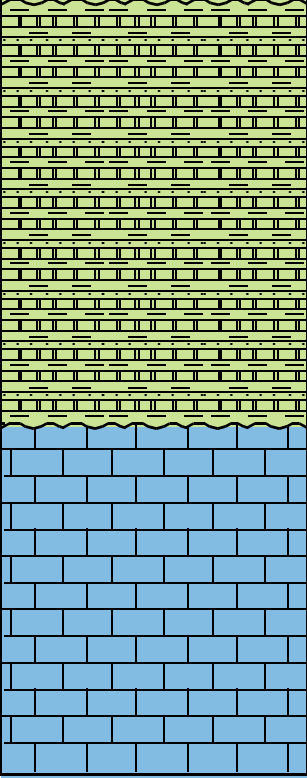

Çalışma alanında Hasköy çevresinde geniş yayılımlar gösteren masif kireçtaşları, Berdiga Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özellikler gösterdiği için aynı isimle adlandırılmıştır (Şekil 3.4).

Çoğunlukla gri, grimsi beyaz renklere olan birim, çok çatlaklı ve tabakasız bir yapı göstermektedir. Çalışma alanını doğu kesimlerinde yüzeyleyen birim, dolomitik kireçtaşı ve kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Sarp kayalıklar şeklinde gözlenmesi ile çevre kayalardan kolayca ayırt edilebilmektedir. Önceki çalışmalarda, birimin yaşı Dogger- Malm olarak verilmiştir (Pelin, 1977).



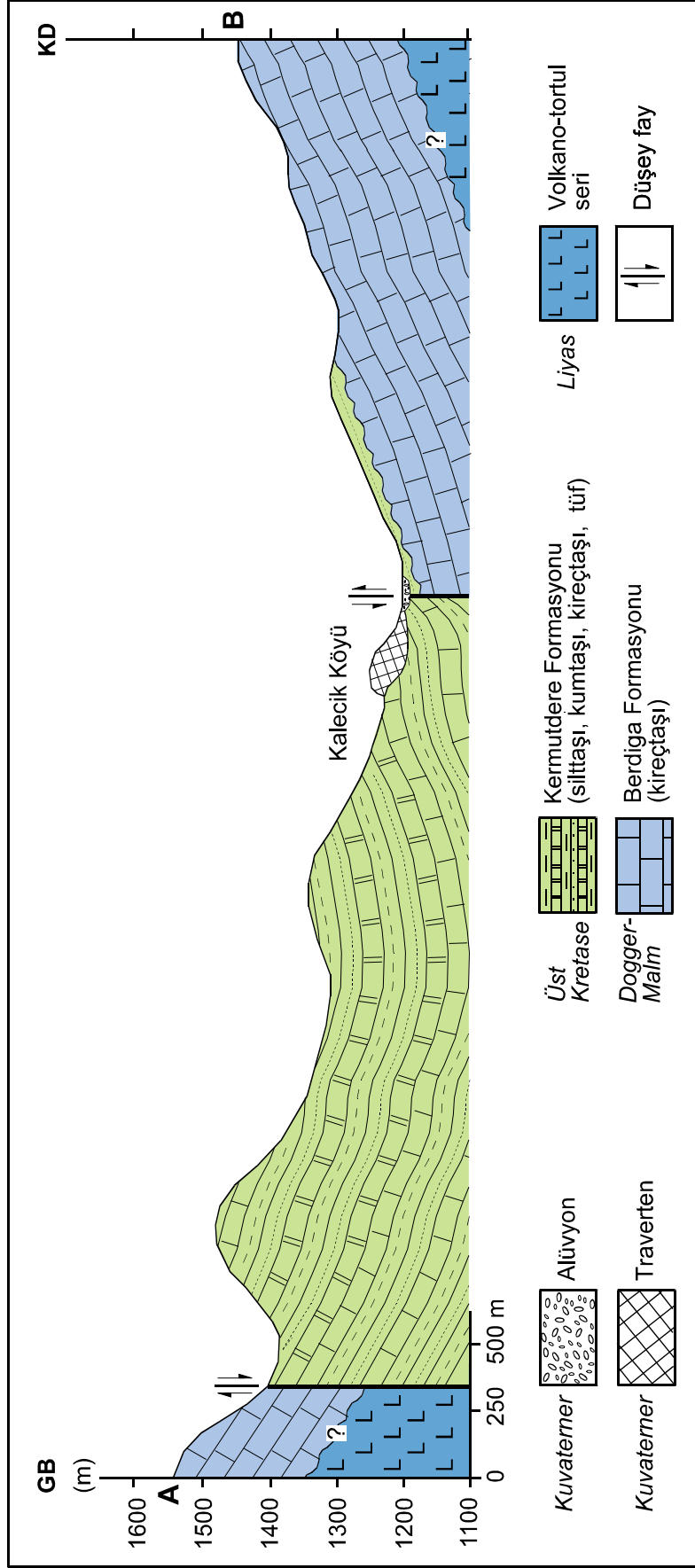


Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası

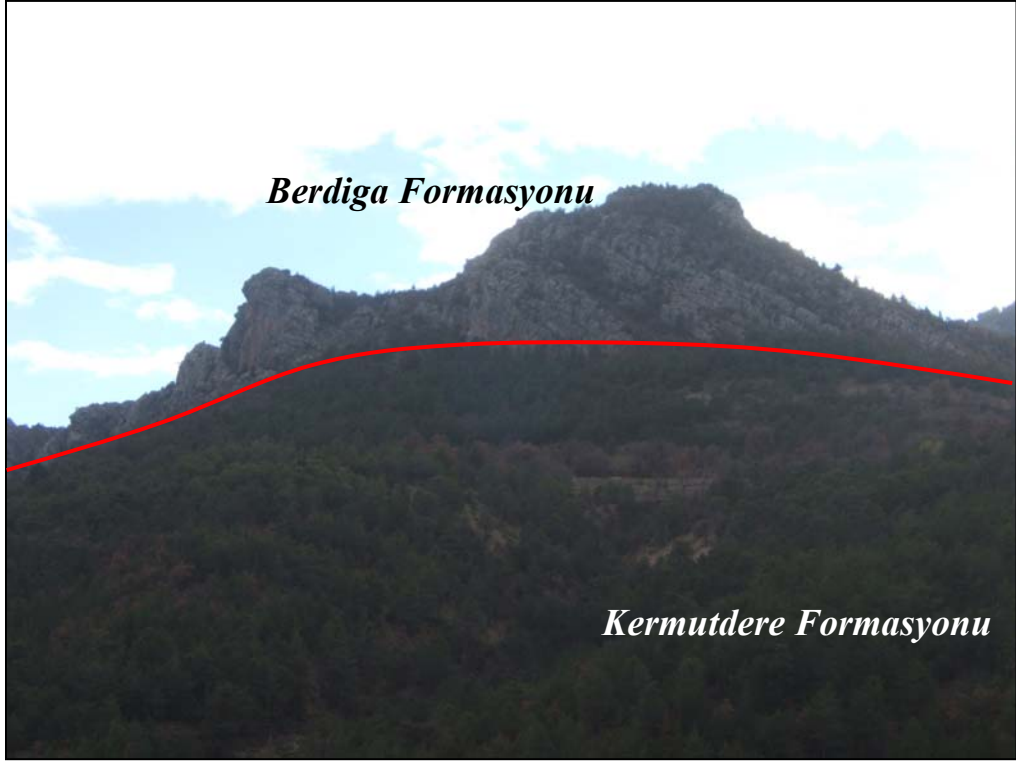
ZAMAN	DEVİR	DEVRE	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
M E S O Z O Y İ K	KRETASE	ÜST KRETASE	KERMUTDERE	500-550		Silttaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve tuf
SENZOZOYİK	KUVATERNER					Alüvyon

Ölçeksiz

Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresine ait dikme kesit



Şekil 3.3. Çalışma alanı ve çevresine ait enine kesit



Şekil 3.4. Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının arazi görünümü (Tenha Tepesi)

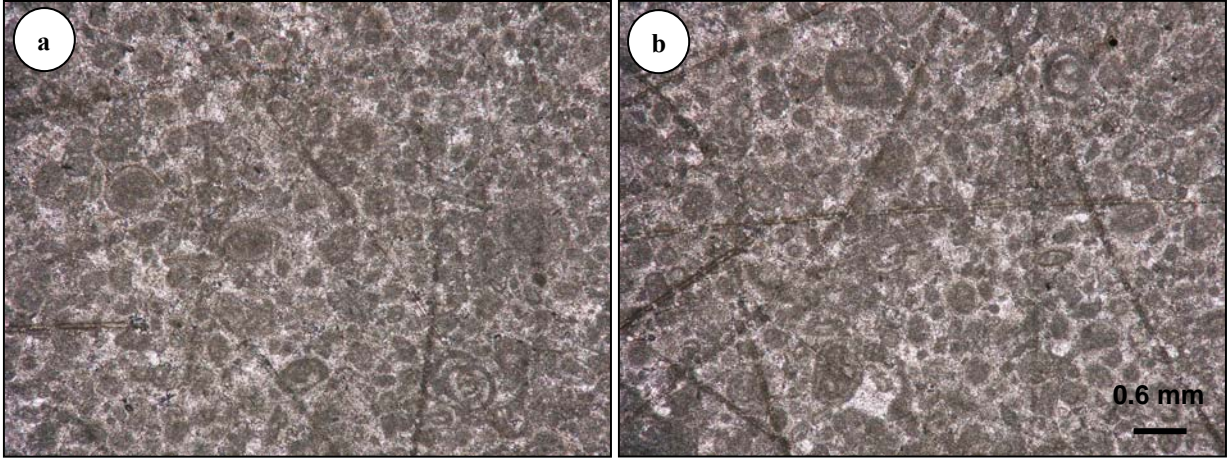


Şekil 3.5. Arılı Mahallesi'ndeki Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının arazi görünümü

Mikroskobik incelemelerde, sparit çimentolu kireçtaşlarının, biyoklast ve intraklastlardan oluştuğu belirlenmiştir. Pelesipod ve alg parçaları, ekinit plakaları ve bentik foraminiferlerden (miliolidae s.p., valvulina s.p.) oluşan biyoklastlar, kayaç içerisinde % 15 oranında olup, genellikle parçalı halde bulunmaktadır. Kayaç içerisinde % 25 oranında bulunan intraklastlar ise keskin köşeli ve oval tanelidir (Şekil 3.6).

Düşük enerjili sığ deniz ortamında oluşmuş olan kireçtaşları, Folk'a (1962) göre biyointrasparitik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır.

Birimin kalınlığı, jeolojik harita ve arazi bulgularından 150 metre olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Berdiga Formasyonu'na biyomikritik kireçtaşlarının mikroskobik görünümü

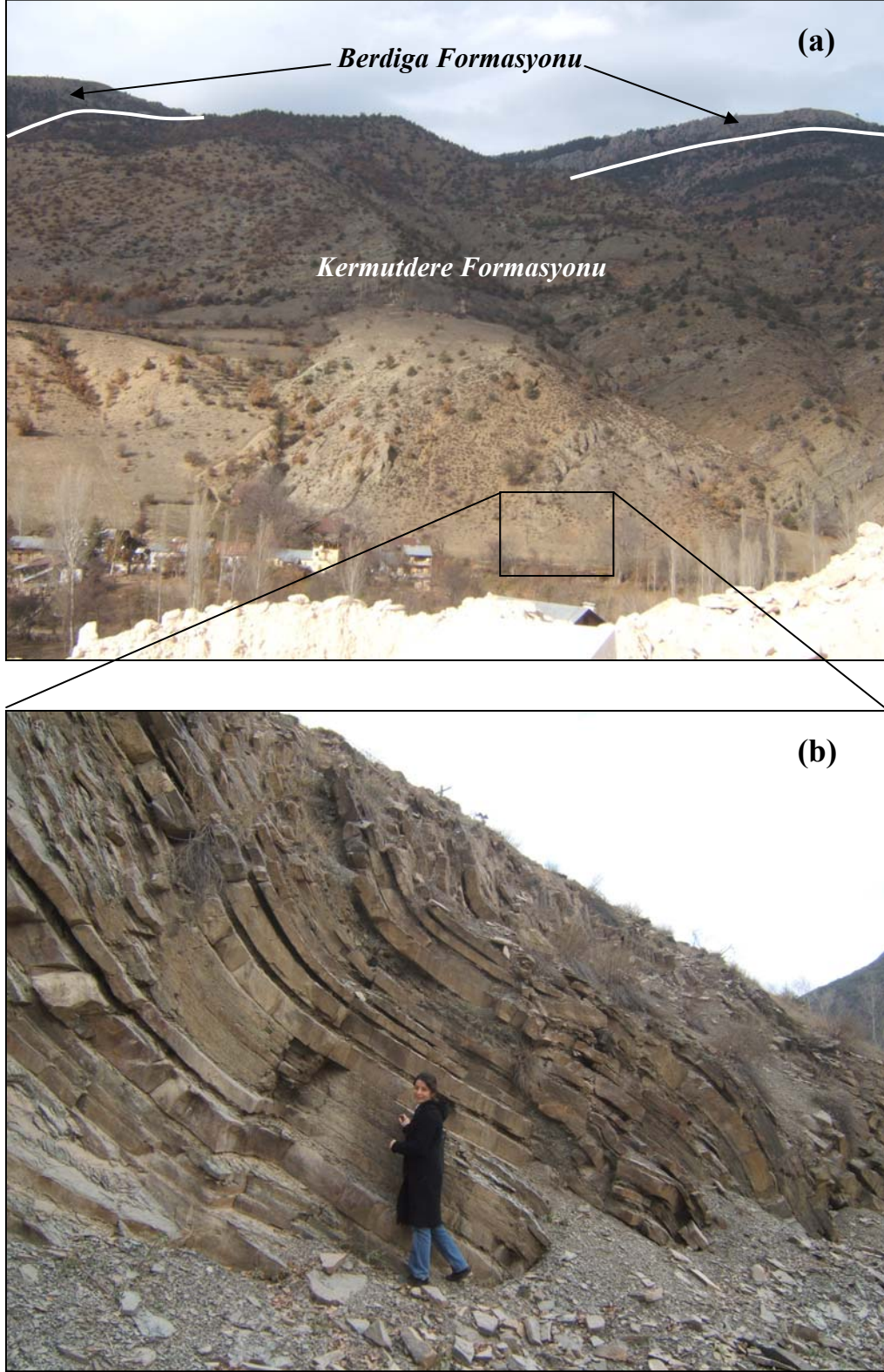
### 3.1.2. Kermutdere Formasyonu

Birim ilk kez, litostratigrafi adlama kurallarına uygun olarak Tokel (1972) tarafından Kermutdere Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanında Kalecik, İnkılap ve Ardıçlıktepe çevresinde geniş yayılımlar gösteren ve silttaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve tüflerden oluşan birim, Kermutdere Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özellikler gösterdiği için aynı isimle adlandırılmıştır.

Filiş özelliği taşıyan birim, tabandan tavana doğru, kumtaşı, kumlu kireçtaşı, silttaşı, siltli kireçtaşı ve tüflerden oluşmaktadır (Şekil 3.7).

Birimin en alt kesiminde kumtaşları ve kumlu kireçtaşları bulunmaktadır. Çoğunlukla kırılğan bir yapı gösteren ve koyu gri, gri renkli kayaçların kalınlığı 5-40 cm arasında değişmektedir. Birimin üst kesimlerine doğru kumtaşları ve kireçtaşları yerini daha açık renkli silttaşları ve siltli kireçtaşlarına bırakmaktadır.





Şekil 3.7. Kermutdere Formasyonu ile Berdiga Formasyonu arasındaki faylı dokanak (a) ve Kermutdere Formasyonu'na ait kumtaşı, silttaşı ve kireçtaşları (b)

Kalınlıkları yer yer 25 cm' ye varan açık gri, bej renkli siltli kireçtaşları ile yaklaşık 1-5 cm kalınlığındaki silttaşları ardışıklı olarak bulunmaktadır. Bu kayaçlar, formasyonun taban kesiminde bulunan kayaçlara nazaran daha kırılğan özelliğindedir. Bunların üzerine tüfler ara seviyeler halinde gelmektedir.

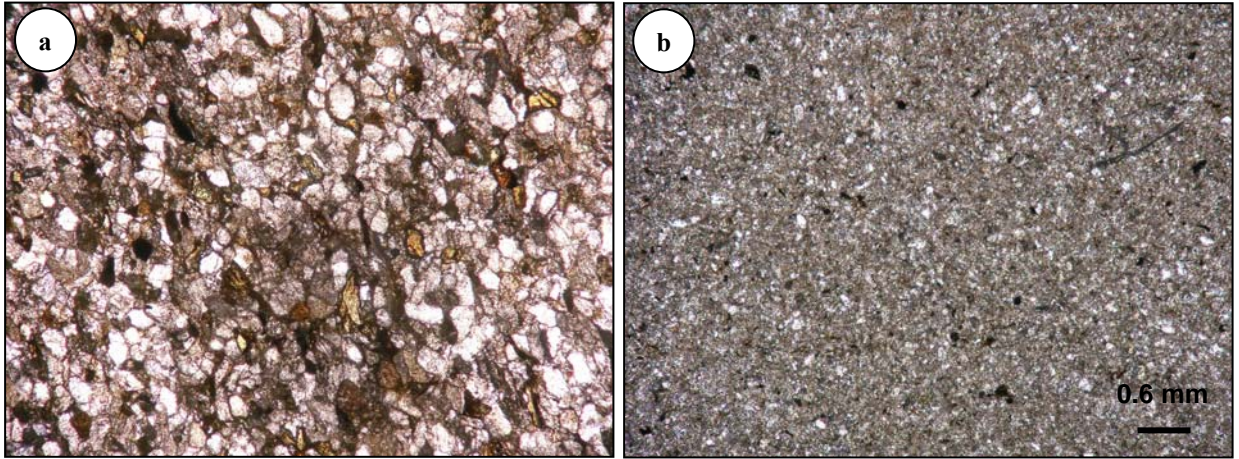
Makroskobik örneklerde kireçtaşları gri renkleri ve mat görünüşleriyle, kumaşları, koyu gri renkleri ve kireçtaşlarına nazaran daha pürüzlü yüzeyleriyle, silttaşları ise daha açık renkleri, aşırı kırılğan ve yumuşak yapılarıyla tanınabilmektedir.

Mikroskobik olarak incelendiğinde, % 25 oranında biyokastlardan oluşan kırmızı kireçtaşlarında, biyoklastları pelajik foraminiferler (*globotruncana s.p.*) ve radyolarya oluşturmaktadır. Çimentosu mikrit olan düşük enerjili, derin deniz ortamında oluşan kireçtaşları, Folk'a (1962) göre kırmızı biyomikritik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.8).

Koyu gri, gri renkli kireçtaşları mikroskobik olarak incelendiğinde, mikritik bir çimento içerisinde, pelajik foraminiferler (*globotruncana s.p.*), radyolarya ve az oranda bentik foraminiferlerin olduğu (*valvolina s.p.*) belirlenmiştir. Düşük enerjili derin deniz ortamında oluşan kireçtaşları, Folk'a (1962) göre biyomikritik kireçtaşı olarak adlanmıştır.

Birimin kalınlığı 500-550 metre arasında değişmektedir.

Berdiga Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen birimin yaşı Üst Kretase olarak belirlenmiştir. (Tokel, 1972 ).



Şekil 3.8. Kermutdere Formasyonu'na ait silttaşı (a) ve kumtaşının (b) mikroskobik görünümü



### 3.1.4. Travertenler

İnceleme alanı ve çevresinde gerek oluşumunu tamamlamış gerekse oluşumu devam eden travertenlere rastlanmıştır. İşletilmekte olan ve Kalecik Köyü'nde yüzeyleme veren çalışma konusu travertenlerin kalınlığı yaklaşık 50 metre, yanal devamlılığı ise yaklaşık 250 metredir. Şekil 3.9'da Kalecik travertenlerinin işletilmeden önceki durumu görülmektedir.



Şekil 3.9. Kalecik travertenlerinin işletilmeden önceki durumu (2001 yılında)

#### 3.1.4.1. Travertenlerin Oluşum Koşulları ve Morfolojik Özellikleri

Kalecik traverteni yağışla yeraltına süzülen suların karbonik asitçe zenginleşmesi, Berdiga kireçtaşlarını çözmesi ve bu çözeltilerin düşey faylara bağlı olarak yüzeye çıkmasıyla beraber bünyelerindeki karbondioksit gazını bırakarak ortama  $\text{CaCO}_3$  çökeltmesi sonucunda oluşmuşlardır.

Genel olarak beyazımsı gri renklere ve sert bir yapıda olan bu travertenler yüzeye yakın yerlerde boşluklu, tabana doğru ise boşluksuz bir yapı göstermektedir. Yüzeysel aşınma ve karbonatlı kayaçların çözünmesine bağlı olarak travertenlerin üzerinde kareler gelişmiştir. Genellikle az eğimli yamaçlarda üzerinde gözlenen karelerin uzunlukları yaklaşık 70-80 cm, derinlikleri ise 1-2 mm arasında değişmektedir (Şekil 3.10).





Şekil 3.10. Kalecik traverteni yüzeyinde oluşmuş kareler

Bir traverten işletmesinde üretime geçebilmek için travertenin yeterli miktarda ve kalitede olması gerekmektedir. Kaliteden kasıt travertenin rengi, deseni, sertliği, sağlamlığı ve homojenliğidir. Mermerler geniş bir renk aralığı göstermektedirler. Saf mermer parlak beyaz renktedir. Gri ve siyah renk grafit ve diğer karbonlu bileşiklerden, yeşil renk klorit ve diğer silikat minerallerinden, pembe ve kırmızı renkler hematit ve mangan bileşiklerinden, sarı ve krem tonları limonitten ileri gelmektedir. Mermerlerin rengi bütün yatakta monoton ve aynı tonda dağılmış olabileceği gibi benekli veya damarlı halde de olabilmektedir. Kullanım alanlarına göre desenli veya tekdüze renkli mermerlerde tercih edilmektedir. Özellikle simetrik görünümlü desenler oluşturan, düzenli, ince damarlı ve boyuna kesilmiş ağaç gövdesine benzeyen mermerler daha pahalıdır. Renkteki homojenlik aranılan önemli bir özelliktir (Tonçer,2005).

Travertenlerde gözlenen morfolojik yapılar çeşitli şekilde tanımlanabilmektedir. Bir travertenin morfolojisi makro örneklerden, mikro örneklerden ve yatak şeklinden açıklanabilir. El örneği boyutunda; oolitik-pizolitik, böbreğimsi ve bitki yapılı (Chafetz ve Meredith, 1983; Tekin vd.;Ayaz, 2002), dokusal olarak; yumrular, çubuklar, loblu kürecikler ve üzüm salkımı demetleri (Tekin vd., 1999) gibi özel morfolojik yapıları tanımlanmıştır. Yatak boyutundaki morfolojik yapılar ise ilk defa 1984 yılında Chafetz ve folk tarafından

sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamaya göre traverten yatakları; sırt (semer) tipi travertenler, teras (set) tipi travertenler, dom (koni) tipi travertenler, tabaka tipi travertenler, damar tipi travertenler, fay önü tipi travertenler, kanal tipi travertenler ve mağara travertenleri (damlataşlar) olmak üzere 8'e ayrılmıştır (Şekil 3.11).

Teras tipi travertenler, genellikle az eğimli yüzeylerden çıkan kalsiyum bikarbonatlı suların, eğim aşağı akarken teras veya setler şeklinde çökmesi sonucu oluşan yapılardır.

Sırt (Semer) tipi travertenler, çatlaklardan çıkan kalsiyum bikarbonatlı suların, iki yana doğru akarken sırt veya semer şeklinde çöktüğü travertenlerdir.

Tabaka tipi travertenler, yatay veya yataya yakın yüzeylerde, genellikle yüksek debiyle çıkan kalsiyum bikarbonatlı suların, geniş alanlara yayılıp yatak olarak çöktüğü travertenlerdir. Bu travertenlerde, su çıkışlarının bulunduğu kesimler genellikle hafif bir sırt yapısı gösterirken, kenarlara doğru olan kesimler ise tamamen yataydır. Bu travertenler içerisinde, yer yer düşük düşük debili sular tarafından oluşturulan, çapı 30-120 cm arasında değişen ve kazan yapısı gösteren oluşumlar da gelişebilmektedir.

Damar tipi travertenler, açılma çatlakları arasında yükselen kalsiyum bikarbonatlı sular tarafından, albatr yapısı şeklinde dikey olarak çökmeleri ve zamanla çevre kayalarının aşınması sonucu yüzeye çıkmaları sonucu oluşan travertenlerdir.

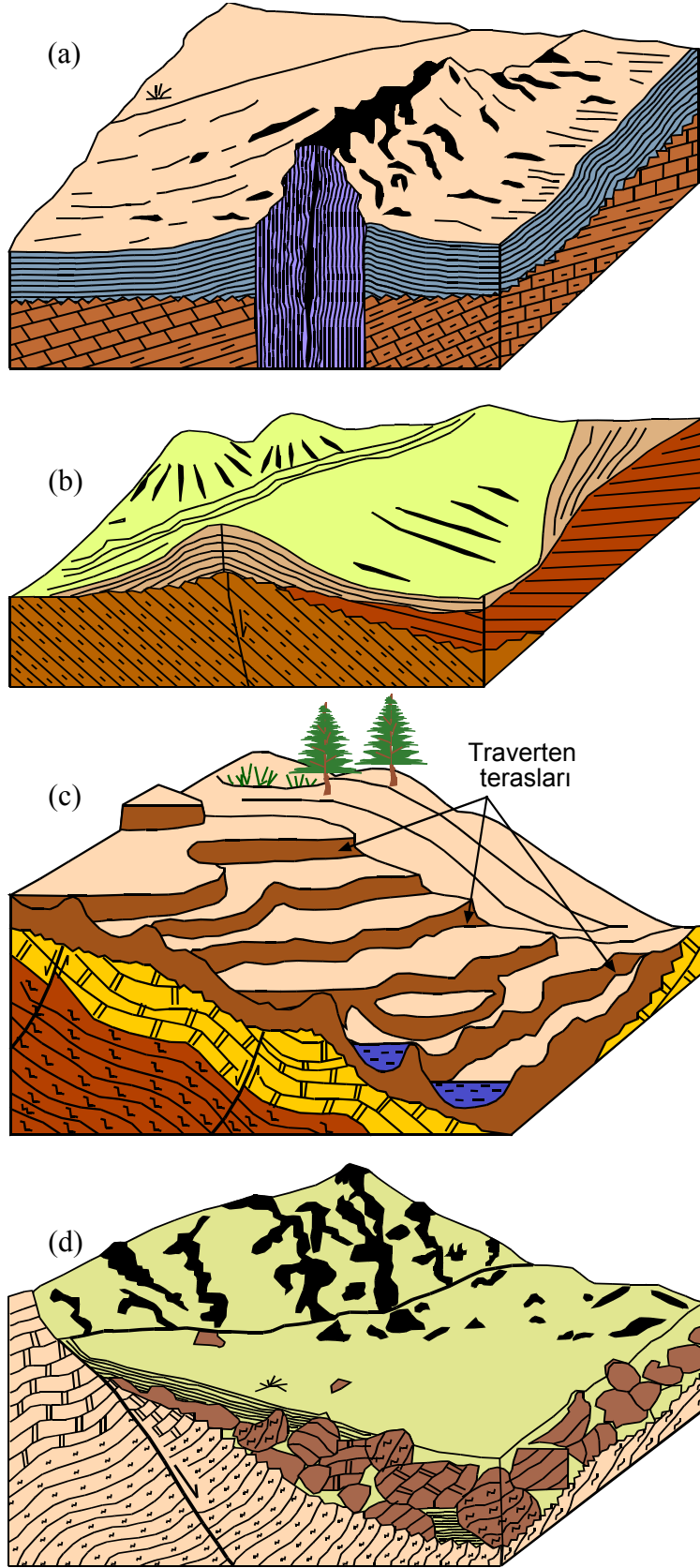
Fay önü tipi travertenleri, aktif fay zonlarında, düşen bloklar üzerinde gelişen masif, kaba bantlanmalı ve fay breşi içerikli travertenlerdir. Bu travertenlerin bantlanma kalınlıkları, eğime ve suyun akış miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir.

Kanal tipi travertenler, yapay veya doğal olarak oluşmuş kanallar içinde akan kalsiyum bikarbonatlı suların; ince, uzun ve yüksek yapılar şeklinde çöktüğü travertenlerdir.

Mağara travertenleri, yeraltı sularının karbonat, karbonatlı veya sülfatlı kayaları çözüp, bunları çoğunlukla mağara tavanlarından aşağı doğru akarken çökelmeyle oluşturdukları özel şekilli oluşumlardır.

Dom (Koni) tipi travertenler ise, yatay veya çevreye göre hafif tümsek yüzeylerden çıkan kalsiyum bikarbonatlı suların, çepçevre yayılarak akmasıyla oluşan travertenlerdir. Dom tipi travertenlerde çökelmenin ilerleyen evrelerinde, morfolojik yapının durumuna veya çevredeki diğer kaynaklardan çökelen traverten depolarına bağlı olarak, dom yapıları birleşip kaybolabilmektedir. Bunun dışında dom tipi travertenler, çökelmeyi besleyen su çıkışlarının kesilmesi veya sonradan gelişen kırıklarla farklı kesimlere kayması sonucu aşınarak şekil değişikliğine uğrayabilmektedir.

Kalecik travertenleri morfolojik olarak ise dom (koni) tipi travertenler grubuna girmektedir. Şekil 3.12'de bu travertenlerin oluşum modeli verilmiştir.



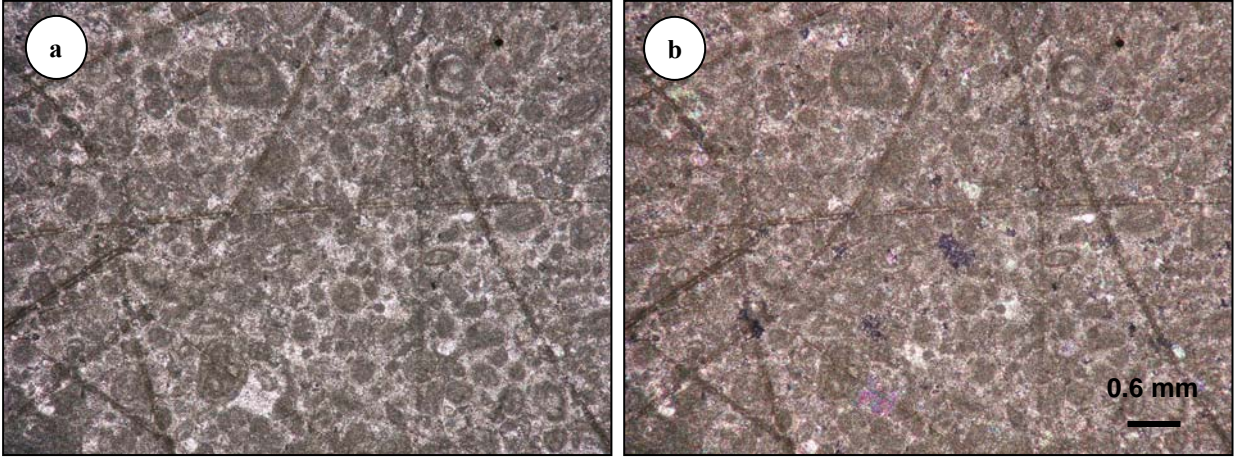
Şekil 3.11. Morfolojik yapılarına göre travertenler (a: damar ve tabaka tip, b: sırt tip, c: teras tip, d: fay önü tipi) (Ayaz, 2002)





### 3.1.4.2. Travertenlerin Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Petrografik incelemeler sonucunda, kayacın büyük çoğunluğunun kalsit kristallerinden oluştuğu ve buna az oranda aragonitin eşlik ettiği görülmüştür. Kuvars ve kil mineralleri ise çok az miktarda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra yer yer fosil veya bitki izlerine de rastlanılmıştır. Kalsitler tek nikolde röliyef pleokroizması ve dilinimleriyle tipiktir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Kalecik traverteninin mikroskoptaki görünümü (a: tek, b: çapraz nikol)

### 3.2. Kalecik Travertenlerinin Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde özellikle Bayburt, Gümüşhane ve Şiran çevresinde önemli doğal taş rezervleri bulunmaktadır. Bölgede son 10 yılda gözle görülebilir şekilde doğal taş üretimi artmış, bu rakam 2003 yılı itibariyle 450 bin ton seviyesine ulaşmıştır. Bölgede traverten, oniks ve mermer rezervi 1 milyon m<sup>3</sup>'ten, granitik bileşimli doğal taş rezervi ise 1.5 milyon m<sup>3</sup>'ten fazladır. Tüf bileşimli doğal taş rezervi yaklaşık 800 bin m<sup>3</sup>, kayraktaşı rezervi yaklaşık 250 bin m<sup>3</sup> civarındadır.

Çalışma konusunu oluşturan Kalecik travertenini 2005 yılında işletilmeye başlanmıştır. Yaklaşık 200,000 m<sup>3</sup> rezerve sahip travertenler, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin en büyük yataklarından biridir.

### 3.2.1. Travertenlerin İşletilmesi

Çalışma alanı ve çevresinde gerek oluşumu tamamlamış gerekse halen oluşmakta olan bir çok traverten yatağı mevcuttur. Travertenlerin en iyi yüzlek verdiği bölge olan Kalecik Köyü mevkiinde Güvencem Mermer Ltd. Şti.'ye ait işletmeye açılmış ocak bulunmaktadır (Şekil 3.14).

Üretim açık işletme olarak, basamak yöntemiyle yapılmaktadır. İşletmeye yüzeyde birkaç metrelik bir zonun sıyrılması ile başlanmıştır. Üzeri açılan mermer tabakaları havalı sondaj makinesi ile önce dik delik ve ardından alt delikler delinmektedir. Bu deliklerden elmaslı tel geçirilerek, elmaslı tel, tel makinesi vasıtasıyla döndürülmekte (Şekil 3.15a ve b; Şekil 3.16), bu esnada telin aşırı ısınmaması için elmas tele su vermek sureti ile kayanın kesimi sağlanmaktadır.

Kesimden sonra hidrolik krikolar ve ekskavatör vasıtasıyla mermer bloğu ocak içerisine devrilmekte ve daha sonra sayalanarak istenen ebatlara kesilen blok mermerler stok sahasına nakledilmektedir (Şekil 3.15b ve c).

Ocak aynasının yüksekliği değişmekle birlikte genel olarak 5-7 metre arasındadır. Üretimle birlikte çıkan pasa boş alanlara dökülmektedir.

Traverten işletme sahasında 5-12 kişilik personel çalışmakla birlikte, 1 ekskavatör, 2 dağ kesim ve 1 adet sondaj makinesi bulunmaktadır. Ocakta kış aylarında zor hava koşullarında zaman zaman üretim dursa da yılın her mevsiminde blok üretimi devam etmektedir.

Genel olarak travertenin yatay konumu nedeniyle büyük boyutlarda çatlaklara rastlanmamıştır. Bununla birlikte yer yer blok kalitesini düşüren zayıflık düzlemleri (sitolit) mevcuttur. Bunların kalınlıkları yere yer 10 cm'ye kadar ulaşmaktadır (Şekil 3.17).

Sahada, üretim faaliyetleri sonucunda % 60 civarında blok (traverten) % 40 civarında ise moloz ve pasa elde edilmektedir. Elde edilen blok boyutu genel olarak 1.5 m x 1 m x 2 m civarındadır. Sahadan üretilen bloklar (traverten) işletme tarafından Trabzon'da bulunan mermer fabrikasına getirilmektedir (Şekil 3.18).



Şekil 3.14. Kalecik traverten ocağının batı yönünden görünümü





Şekil 3.15. Kalecik traverten ocağında üretilen bloklar



Şekil 3.16. Kalecik traverten ocağında üretilen blokların istenilen boyuta getirilebilmesi için kesilmesi





Şekil 3.17. Kalecik traverten ocağının blok kalitesini düşüren ve kalınlıkları yer yer 10 cm'ye varan zayıflık düzlemleri



Şekil 3.18. Trabzon'da bulunan mermer fabrikası

Mermer fabrikasının getirilen travertenler blok halinde satıldıkları gibi dolgulu ve dolgunsuz olarak plaka haline getirildikten sonra da satışa sunulmaktadır (Şekil 3.19 ve 3.20) Sahadan üretilmekte olan travertenin bilinen ve aranan mermer oluşu nedeniyle piyasada oldukça kolay alıcı bulunabilmektedir. Blok metreküp fiyatı yaklaşık 250 dolarken, plaka metrekare fiyatı 20-40 dolar arasında değişmektedir.



Şekil 3.19. Fabrikada travertenlerin kesim, dolgu ve cila işlemi

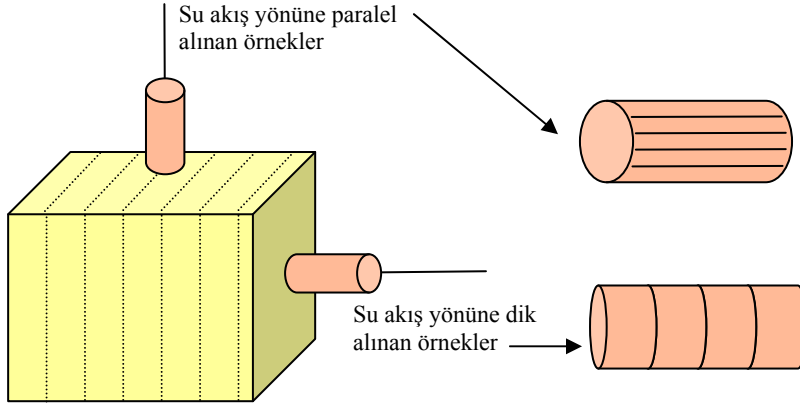


Şekil 3.20. Travertenlerin plaka haline getirilerek satışı sunulması

### 3.2.2 Travertenlerinin Fiziksel Özellikleri

Laboratuarda yapılacak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere traverten ocağından blok numuneler alınmıştır. Bu numunelerin alımı sırasında örneklerin sahayı tam olarak temsil etmesine dikkat edilmiştir.

Travertenlerden karot alımı esnasında, travertenlerin homojenlik özelliğini etkileyen su akış yönü dikkate alınmış ve iki farklı yönde karot elde edilmiştir (Şekil 3.21). Su akış yönünün kayaç örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkisinin olup olmadığını anlayabilmek için su akış yönüne paralel ve dik örneklerin nokta yük dayanımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.21. Bloklardan yönlü örnek alımı (ISRM, 1981)

Tablo 3.1 Su akış yönüne paralel ve dik örneklerin nokta yük dayanım değerleri

Nokta yük dayanım direnci (MPa)	
Su akış yönüne paralel (a)	Su akış yönüne dik (b)
Ortalama: 2.46 (11 örnek)	Ortalama: 2.50 (11 örnek)
b / a (homojenlik oranı) = 1.02	

Homojenlik oranı değeri 1’e çok yakın olduğu için (Holtz ve Kovacs, 1981) traverten örneklerinin homojen olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle su akış yönüne dik ve paralel örnekler bütün olarak değerlendirilmiştir.

### 3.2.2.1. Su İçeriği, Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme, Görünür ve Gerçek Porozite

Su içeriği ve porozite tayini için ISRM (1981) ve CANMET (1977a)'da belirtilen hususlar dikkate alınarak, su emme deneyleri ise RILEM (1980) tarafından önerilen koşullar esas alınmıştır.

Yapılan deneyler sonucu travertenlerin su içeriği değerleri maksimum % 0.408, minimum % 0.118 ve ortalama % 0.238 olarak belirlenmiştir. Kayaçların basıncı direnci su içeriğinin artmasıyla azalmaktadır.

Deneyler sonucunda ağırlıkça su emme değerleri maksimum % 2.641, minimum % 0.810 ve ortalama % 1.148'dir. Hacimce su emme değerleri ise maksimum % 5.910, minimum % 1.825 ve ortalama ise % 2.783 olarak bulunmuştur.

Gerçek porozite verilerine göre; maksimum porozite 16.04, minimum porozite 5.156 ortalama porozite ise 8.270 olarak belirlenmiştir. Travertenlerde gözlenen bu değişik değerler travertenlerin boşluklu yapı bakımından homojen olmadığını göstermektedir. Derinlerde düşük poroziteli olan bu travertenler yüzeye yaklaştıa çeşitli sebeplerden dolayı boşluklu bir yapı kazanabilmektedir. Bu nedenler derinlerde yüksek olan basıncın yüzeye doğru azalması, kayaçların bünyelerinde bulunan gazları yüzeye yakın yerlerde havaya bırakabilmesi olarak yorumlanabilir.

Deneylerin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir.

### 3.2.2.2. Özgül Ağırlık ve Birim Hacim Ağırlık

Özgül ağırlık ve birim hacim ağırlık kayacın içerdiği mineral yapısına ve içeriğine bağlıdır. Deneylerde ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

Doğal yapı taşlarının özgül ağırlıkları 2.55'den az olmamalıdır. Buna göre çalışma alanı travertenleri 2.67 özgül ağırlık değerleri ile doğal yapı taşı özelliği göstermektedir.

Özgül ağırlık deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.3'de ve birim hacim ağırlık deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.4'te verilmiştir.

Kuru birim hacim ağırlık maksimum 2.52 gr/cm<sup>3</sup>, minimum 2.24 gr/cm<sup>3</sup>, ortalama 2.44 gr/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, doğgun birim hacim ağırlık ise maksimum 2.54 gr/cm<sup>3</sup>, minimum 2.30 gr/cm<sup>3</sup> ve ortalama 2.47 gr/cm<sup>3</sup>'dir.

Tablo 3.2. Su içeriği, ağırlıkça ve hacimce su emme ve porozite deneylerinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	Boy L (mm)	Çap D (mm)	Hacim V (cm <sup>3</sup> )	Örnek Ağırlığı w (g)	Doygun Ağırlık w <sub>d</sub> (g)	Kuru Ağırlık w <sub>k</sub> (g)	Su İçeriği w=(w-w <sub>k</sub> )/w <sub>k</sub> (%)	Ağırlıkça Su Emme Oranı w=(w <sub>d</sub> -w <sub>k</sub> )/w <sub>k</sub> (%)	Hacimce Su Emme Oranı w=(w <sub>d</sub> -w <sub>k</sub> )/V (%)	Gerçek Porozite [V-(w <sub>k</sub> /Özgül ağırlık)]/V (%)
1	125.7	50	246.81	614.79	618,90	612,50	0,374	1,045	2,593	6,706
2	125.9	50	247.20	599.63	607,34	597,62	0,336	1,626	3,932	9,150
3	125.7	50	246.81	608.22	612,95	606,74	0,244	1,024	2,516	7,703
4	125.6	50	246.61	621.85	625,75	620,22	0,263	0,892	2,242	5,558
5	122.5	50	240.52	609.08	612,01	607,09	0,328	0,810	2,046	5,156
6	124.6	50	244.65	607.08	612,23	605,80	0,211	1,061	2,628	7,063
7	124.5	50	244.45	592.86	599,60	591,33	0,259	1,399	3,383	9,165
8	126.0	50	247.40	612.91	616,85	611,54	0,224	0,868	2,146	7,213
9	122.6	50	240.72	583.20	586,52	581,61	0,273	0,844	2,040	9,261
10	126.1	50	248.77	593.66	599,24	592,03	0,275	1,218	2,898	10,62
11	124.5	50	244.45	600.20	607,29	598,61	0,266	1,450	3,551	8,041
12	125.0	50	254.43	611.47	615,57	609,80	0,274	0,946	2,268	9,989
13	126.8	50	248.97	616.12	620,67	615,10	0,166	0,906	2,237	7,316
14	125.6	50	246.61	613.95	618,37	612,71	0,202	0,924	2,295	6,758
15	123.8	50	243.08	600.11	605,41	598,38	0,289	1,175	2,892	7,536
16	125.3	50	246.02	598.86	603,44	597,47	0,233	0,999	2,427	8,832
17	126.2	50	247.79	612.54	615,57	610,05	0,408	0,905	2,228	7,415
18	124.5	50	244.45	608.60	611,55	607,09	0,249	0,735	1,825	6,754
19	126.8	50	248.97	621.76	626,00	620,03	0,279	0,963	2,398	6,467
20	126.4	50	248.18	614.28	619,42	613,33	0,155	0,993	2,454	7,298
21	129.7	50	254.66	631.44	637,95	630,45	0,157	1,190	2,945	7,133
22	126.3	50	247.98	595.31	601,22	594,52	0,133	1,127	2,702	10,09
23	134.1	50	263.30	652.37	658,63	651,41	0,147	1,108	2,742	7,203
24	140.8	50	276.46	619.78	635,11	618,77	0,163	2,641	5,910	16,04
25	132.5	50	260.16	596.99	608,84	595,65	0,225	2,214	5,070	14,06
26	126.3	50	247.98	615.24	620,16	614,17	0,174	0,975	2,416	7,078
27	124.8	50	244.84	603.40	608,45	602,69	0,118	0,956	2,353	7,698
<b>Ortalama değer</b>							<b>0.238</b>	<b>1.148</b>	<b>2.783</b>	<b>8.270</b>

Tablo 3.3. Özgül ağırlık deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	Piknometre Ağırlığı (gr)	Piknometre ve Örnek Ağırlığı (gr)	Piknometre, Su ve Örnek Ağırlığı (gr)	Piknometre ve Su Ağırlığı (gr)	Sonuç	Ortalama
1	48.42	73.59	164.01	148.23	2.68	2,68
	48.64	73.82	165.09	149.34	2.67	
	48.53	73.69	163.89	148.13	2.68	
2	48.42	73.57	163.98	148.23	2.68	2,67
	48.64	73.79	165.07	149.34	2.67	
	48.53	73.70	163.89	148.13	2.67	
3	48.42	73.57	163.92	148.23	2.66	2,66
	48.64	73.84	165.07	149.34	2.66	
	48.53	73.68	163.86	148.13	2.67	
4	48.42	73.59	164.00	148.23	2.68	2,68
	48.64	73.81	165.13	149.34	2.68	
	48.53	73.71	163.95	148.13	2.69	
5	48.42	73.60	163.98	148.23	2.67	2,68
	48.64	73.70	165.08	149.34	2.69	
	48.53	73.73	163.90	148.13	2.67	
6	48.42	73.52	163.92	148.23	2.67	2,67
	48.64	73.79	165.03	149.34	2.66	
	48.53	73.68	163.86	148.13	2.67	
7	48.42	73.59	163.95	148.23	2.66	2,66
	48.64	73.76	165.02	149.34	2.66	
	48.53	73.69	163.87	148.13	2.67	
8	48.42	71.60	162.76	148.23	2.68	2,68
	48.64	73.79	165.06	149.34	2.67	
	48.53	73.73	163.93	148.13	2.68	
9	48.42	73.62	163.99	148.23	2.67	2,67
	48.64	73.85	165.08	149.34	2.66	
	48.53	73.68	163.85	148.13	2.67	
10	48.42	73.56	163.93	148.23	2.66	2,66
	48.64	73.80	165.02	149.34	2.65	
	48.53	73.73	163.87	148.13	2.66	
<i>Ortalama Değer</i>						<b>2,67</b>

### 3.2.2.3. Suda Dağılmaya Karşı Dayanım İndeksi

Bu deneyde amaç, kayaç örneğinin standart iki çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, parçalanmaya ve zayıflamaya karşı gösterdiği duraylılığın belirlenmesidir. Deney sırasında ISRM (1981)'nin önerdiği yol esas alınmıştır.

Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.5'te verilmiştir.

Suda dağılım dayanımı sınıflamasına göre traverten örneklerinin yüksek sınıfta olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.4. Birim hacim ağırlık deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	Boy L (mm)	Çap D (mm)	Hacim V (cm <sup>3</sup> )	Örnek Ağırlığı w (g)	Doygun Ağırlık w <sub>d</sub> (g)	Kuru Ağırlık w <sub>k</sub> (g)	Kuru Birim Hacim Ağırlık $\gamma = w_k/V$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Doygun Birim Hacim Ağırlık $\gamma = w_d/V$ (gr/cm <sup>3</sup> )
1	125.7	50	246.81	614.79	618.90	612.50	2.48	2,51
2	125.9	50	247.20	599.63	607.34	597.62	2.42	2,46
3	125.7	50	246.81	608.22	612.95	606.74	2.46	2,48
4	125.6	50	246.61	621.85	625.75	620.22	2.51	2,54
5	122.5	50	240.52	609.08	612.01	607.09	2.52	2,54
6	124.6	50	244.65	607.08	612.23	605.80	2.48	2,50
7	124.5	50	244.45	592.86	599.60	591.33	2.42	2,45
8	126.0	50	247.40	612.91	616.85	611.54	2.47	2,49
9	122.6	50	240.72	583.20	586.52	581.61	2.42	2,44
10	126.1	50	248.77	593.66	599.24	592.03	2.38	2,41
11	124.5	50	244.45	600.20	607.29	598.61	2.45	2,48
12	125.0	50	254.43	611.47	615.57	609.80	2.40	2,42
13	126.8	50	248.97	616.12	620.67	615.10	2.47	2,49
14	125.6	50	246.61	613.95	618.37	612.71	2.48	2,51
15	123.8	50	243.08	600.11	605.41	598.38	2.46	2,49
16	125.3	50	246.02	598.86	603.44	597.47	2.43	2,45
17	126.2	50	247.79	612.54	615.57	610.05	2.46	2,48
18	124.5	50	244.45	608.60	611.55	607.09	2.48	2,50
19	126.8	50	248.97	621.76	626.00	620.03	2.49	2,51
20	126.4	50	248.18	614.28	619.42	613.33	2.47	2,50
21	129.7	50	254.66	631.44	637.95	630.45	2.48	2,51
22	126.3	50	247.98	595.31	601.22	594.52	2.40	2,42
23	134.1	50	263.30	652.37	658.63	651.41	2.47	2,50
24	140.8	50	276.46	619.78	635.11	618.77	2.24	2,30
25	132.5	50	260.16	596.99	608.84	595.65	2.29	2,34
26	126.3	50	247.98	615.24	620.16	614.17	2.48	2,50
27	124.8	50	244.84	603.40	608.45	602.69	2.46	2,49
<b>Ortalama Değer</b>							<b>2.44</b>	<b>2.47</b>

Tablo 3.5. Travertenlerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri ve dağılma dayanım sınıflandırılması

<b>SUDA DAĞILMAYA KARŞI DURAYLILIK İNDEKSİ DENEYİ</b>								
Örnek No	Örnek Ağırlığı A (g)	Kalan Örnek Ağırlığı (gr)				I <sub>d4</sub> E/A (%)	Kayaç Tanımı	Suda Dağılma Dayanımı Sınıflaması (Gamble, 1971)
		1. Çevrim B (g)	2. Çevrim C (g)	3. Çevrim D (g)	4. Çevrim E (g)			
1	499.57	492.20	489.25	487.82	485.05	97.09	Traverten	Yüksek
2	531.09	524.69	522.32	520.17	518.47	97.62	Traverten	Yüksek
3	488.65	484.68	483.01	481.83	480.29	98.29	Traverten	Yüksek

I<sub>d4</sub>: Dördüncü çevrim suda dağılmaya karşı dayanım indeksi



### 3.2.2.4. Islanma-Kuruma ve Donma-Çözünme Deneyi

Islanma-kuruma çevrimi koşullarında, aşınmaya karşı kayaçların duraylılığının belirlenmesi amacıyla yapılan deneyde, ASTM (1992a) standartlarında verilen yöntem esas alınmış, donma-çözünme çevrimi koşullarında, aşınmaya karşı kayaçların duraylılığının belirlenmesi amacıyla yapılan deneyde ise ASTM (1992b) standartları kullanılmıştır.

Islanma kuruma deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.6'da verilmiştir. Donma çözünme deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.6. Travertenlere ait ıslanma kuruma deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	En D (cm)	Boy L (cm)	Deney Öncesi Kuru Ağırlık (gr)	Deney Sonu Kuru Ağırlık (gr)	Islanma-Kuruma Sonrası Ağırlık Kaybı (gr)	Islanma-Kuruma Sonrası Ağırlık Kaybı (%)
1	5	11.34	553,22	552,70	0.52	0,09
2	5	11.21	545,46	544,77	0.69	0,13
3	5	12.47	591,59	590,47	1.12	0,19
4	5	11.94	538,56	538,12	0.44	0,08
5	5	12.15	574,65	573,41	1.24	0,22
6	5	12.08	581,29	576,25	5.04	0,87
7	5	11.07	545,05	544,59	0.46	0,08
8	5	11.65	563,38	562,51	0.87	0,15
9	5	10.44	492,78	489,98	2.8	0,57
10	5	12.25	508,43	507,60	0.83	0,16
11	5	11.94	586,79	586,14	0.65	0,11
12	5	11.13	432,73	431,84	0.89	0,21
<b>Islanma-Kuruma Deneyi Sonrası Ağırlık Kaybı (%)</b>						<b>0.24</b>
<b>Deney Öncesi Ortalama Boyuna Dalga Hızı (kuru/doygun):</b>					<b>4118/5147 m/sn</b>	
<b>Deney Sonrası Ortalama Boyuna Dalga Hızı (kuru/doygun):</b>					<b>4100/5128 m/sn</b>	
<b>Deney Öncesi Ortalama Tek Eksenli Basınç Direnci:</b>					<b>52.85 Mpa</b>	
<b>Deney Sonrası Ortalama Tek Eksenli Basınç Direnci:</b>					<b>34.18 Mpa</b>	

Islanma kuruma deneyi öncesi ortalama boyuna dalga hızı kuru örneklerde 4118 m/sn iken bu değer doygun örneklerde 5147 m/sn'dir. Deney sonrası ise ortalama boyuna dalga hızı kuru örneklerde 4100 m/sn iken doygun örneklerde 5128'dir. Bununla birlikte deney öncesi ve sonrasında tek eksenli basınç dirençlerindeki yaklaşık % 25'lere varan düşüş, örneklerin basınç dayanımlarının tahmininde boyuna dalga hızının tek bir parametre olarak alınmasının doğru olmayacağı sonucunu göstermektedir.



Tablo 3.7. Travertenlere ait donma çözülme deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları ile deney başlangıcı ve deney sonu boyuna dalga hızları ve tek eksenli basınç dirençleri

Örnek No	En D (cm)	Boy L (cm)	Deney Öncesi Kuru Ağırlık (gr)	Deney Sonu Kuru Ağırlık (gr)	Donma-Çözülme Sonrası Ağırlık Kaybı (gr)	Donma-Çözülme Sonrası Ağırlık Kaybı (%)
1	5	12,96	625.11	623.47	1.64	0.26
2	5	12,61	604.10	603.47	0.63	0.10
3	5	12,73	610.47	609.68	0.79	0.13
4	5	12,11	581.76	581.03	0.73	0.13
5	5	12,94	582.78	582.14	0.64	0.11
6	5	12,29	587.01	586.30	0.71	0.12
<b>Donma-Çözülme Deneyi Sonrası Ağırlık Kaybı (%)</b>						<b>0.14</b>
<b>Deney Öncesi Ortalama Boyuna Dalga Hızı (kuru; doygun):</b>					<b>4231/5490 m/sn</b>	
<b>Deney Sonrası Ortalama Boyuna Dalga Hızı (kuru/doygun):</b>					<b>3961/5077 m/sn</b>	
<b>Deney Öncesi Ortalama Tek Eksenli Basınç Direnci:</b>					<b>52.85 Mpa</b>	
<b>Deney Sonrası Ortalama Tek Eksenli Basınç Direnci:</b>					<b>-</b>	

Donma-çözünme deney öncesi ortalama boyuna dalga hızı kuru örneklerde 4231 m/sn iken bu değer doygun örneklerde 5490 m/sn'dir. Deney sonrası ise ortalama boyuna dalga hızı kuru örneklerde 3961 m/sn iken doygun örneklerde 5077'dir. Bununla birlikte deney öncesi ve sonrasında boyuna dalga hızlarındaki düşüş, örneklerin üzerinde donma çözünme sürecindeki bozunma etkisini göstermektedir.

### 3.2.3. Mekanik Özellikler

#### 3.2.3.1. Nokta Yük Dayanımı

Bu deney, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta-yükü dayanım indeksinin tayini amacıyla yapılır. Nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde sıkça kullanılan bir parametredir.

Nokta yük dayanımı deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Nokta yük dayanım indeksi deneyi sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	Karot Çapı D (mm)	Yenilme Yükü P (kg/cm <sup>2</sup> )	Nokta Yükü Dayanımı I <sub>s</sub> (Mpa)	Örnek No	Karot Çapı D (mm)	Yenilme Yükü P (kg/cm <sup>2</sup> )	Nokta Yükü Dayanımı I <sub>s</sub> (Mpa)
1	50	70	2,75	28	50	75	2,94
2	50	83	3,26	29	50	50	1,96
3	50	45	1,77	30	50	50	1,96
4	50	60	2,35	31	50	42	1,65
5	50	41	1,61	32	50	75	2,94
6	50	60	2,35	33	50	52	2,04
7	50	48	1,88	34	50	74	2,90
8	50	69	2,71	35	50	39	1,53
9	50	81	3,18	36	50	67	2,63
10	50	49	1,92	37	50	50	1,96
11	50	71	2,79	38	50	65	2,55
12	50	60	2,35	39	50	53	2,08
13	50	72	2,83	40	50	82	3,22
14	50	57	2,24	41	50	36	1,41
15	50	68	2,67	42	50	67	2,63
16	50	69	2,71	43	50	65	2,55
17	50	68	2,67	44	50	47	1,84
18	50	67	2,63	45	50	35	1,37
19	50	64	2,51	46	50	37	1,45
20	50	73	2,86	47	50	40	1,57
21	50	47	1,84	48	50	52	2,04
22	50	93	3,65	49	50	48	1,88
23	50	50	1,96	50	50	55	2,16
24	50	120	4,71	51	50	76	2,98
25	50	62	2,43	52	50	57	2,24
26	50	67	2,63	53	50	52	2,04
27	50	67	2,63	54	50	54	2,12
<i>Ortalama Değer</i>							<b>2.38</b>

### 3.2.3.2. Tek Eksenli Basınç ve Dolaylı Çekme Dayanımı

Bu deneyler, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında ve tasarımlarda yaygın biçimde kullanılan tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımının tahmini amacıyla yapılır. Deneylerde ISRM (1981) ve CANMET (1977a)'in önerdiği yöntemler esas alınmıştır.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.9'da, dolaylı çekme deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.9. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	Boy L (mm)	Çap D (mm)	Kesit Alanı A (m <sup>2</sup> )	Yenilme Yüğü F (kN)	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı $\sigma_3 = (F/A) \times 10^{-3}$ (MPa)
1	125.7	50	0.0019625	102	52,041
2	125.9	50	0.0019625	90	45,918
3	125.7	50	0.0019625	121	61,735
4	125.6	50	0.0019625	111	56,633
5	122.5	50	0.0019625	127	64,796
6	124.6	50	0.0019625	127	64,796
7	124.5	50	0.0019625	90	45,918
8	126.0	50	0.0019625	96	48,980
9	122.6	50	0.0019625	104	53,061
10	126.1	50	0.0019625	89	45,408
11	124.5	50	0.0019625	101	51,531
12	125.0	50	0.0019625	120	61,224
13	126.8	50	0.0019625	112	57,143
14	125.6	50	0.0019625	102	52,041
15	123.8	50	0.0019625	95	48,469
16	125.3	50	0.0019625	90	45,918
17	126.2	50	0.0019625	106	54,082
18	124.5	50	0.0019625	126	64,286
19	126.8	50	0.0019625	110	56,122
20	126.4	50	0.0019625	109	55,612
21	129.7	50	0.0019625	113	57,653
22	126.3	50	0.0019625	110	56,122
23	134.1	50	0.0019625	123	62,755
24	140.8	50	0.0019625	66	33,673
25	132.5	50	0.0019625	66	33,673
26	126.3	50	0.0019625	87	44,388
27	124.8	50	0.0019625	104	53,061
<b>Ortalama Değer</b>					<b>52.853</b>

### 3.2.3.3. Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı, standart boyutlardaki plaka mermerlerin belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdiği dirençtir. Mermerlerin kullanımı genellikle belirli boyut ve kalınlıklarda plaka şeklinde olduğundan eğilme direnci son derece önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır.

Eğilme dayanımı deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Eğilme dayanım indeksi deneyi sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	En D (cm)	Boy L (cm)	Kalınlık h (cm)	Mesnet Mesafesi L (cm)	Kırılma Yüğü P (kg)	Eğilme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Eğilme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)
1	10.114	20.115	5.067	18	1049.265	109.10	10,70
2	10.12	20.147	5.103	18	1081.061	110.76	10,86
3	10.097	19.975	5.208	18	476.9385	47.02	4,61
4	10.162	20.114	5.27	18	1144.652	109.51	10,74
5	10.147	20.138	5.075	18	1112.857	114.97	11,27
6	10.088	20.053	5.145	18	731.3057	73.94	7,25
7	10.14	20.024	5.156	18	794.8975	79.62	7,81
8	10.059	19.943	5.88	18	317.959	24.68	2,42
9	10.193	20.193	5.24	18	1112.857	107.36	10,53
10	10.063	19.96	5.14	18	476.9385	48.44	4,75
<b>Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)</b>							<b>8.09</b>

### 3.2.3.4. Yüzeysel Aşınma Dayanımı (Böhme Aşınma Deneyi)

Aşınma dayanımı, mermerlerin yüzeyinde aşındırıcı maddeler ile oluşturulan aşınmaya karşı gösterdiği dirençtir. Mermerlerin aşınma dayanımlarının belirlenmesi için TS 699' a uygun olarak 71 mm ebadında küp numuneler hazırlanmaktadır. Bu numuneler önce 105 °C' de kurutularak tartılır ve tartım sonuçları kaydedilir. Daha sonra numuneler Böhme yüzey aşındırma cihazında yüzey aşındırma deneyine tabi tutulur.

Tablo 3.11. Eğilme dayanım indeksi deneyi sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları

Örnek No	En D (cm)	Boy L (cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	İlk Hacim V <sub>i</sub> (cm <sup>3</sup> )	Son Hacim V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )	Böhme Yüzeysel Aşınma Direnci (cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> )
1	7.178	7,095	50,92791	361,8	285,49	74,919
2	7.054	7,203	50,80996	374,67	278,69	94,449
3	7.19	7,176	51,59544	348,15	280,31	65,742
4	7.263	7,302	53,03443	373,43	322,9	47,638
5	7.148	7,155	51,14394	356,66	311,15	44,492
<b>Ortalama Böhme Yüzeysel Aşınma Direnci (cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>)</b>						<b>65.449</b>

### 3.3. Travertenlerinin ASTM ve TSE Standartlarına Göre Değerlendirilmesi

Doğal taşların kullanım yerlerini belirlemede ve kullanım yerine uygun olup olmadıklarını saptamada standartlar etkin rol oynar. Standartlara uygun olan doğal taşlar ticari olarak alınıp satılabilirken, standart dışı olan doğa taşları ise piyasadan çıkartılmakta veya yaygın kullanım olanağı bulamamaktadır. Zira standartlara uygun kayalar kullanım yerlerinde uzun ömürlü olarak kalmakta, renk, desen, fiziksel ve mekanik etkilere karşı dayanıklı olmakta ve daha az bakım onarım maliyeti oluşmaktadır. Standartlara uyan kayaların alım-satımında üstünlük doğmakta, pazar payının sürekliliği sağlanmakta, görünüm benzerliklerine rağmen düşük kalitedeki diğer kayalarla gereksiz rekabet önlenmektedir. Bu yolla daha kaliteli ve dayanımı yüksek olan doğal taşlar renk, desen gibi benzerliklerinden dolayı standart dışı olan doğal taşlardan ayrılmaktadır.

. Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'de Türkiye'deki doğal taşlar için ASTM kaynaklı olan ilgili standartlara uyarlayarak mevcut düzenlemeleri getirmiştir. Ancak, TSE ile ASTM standartlarının beklentileri aynı grup kayalar için birbirine uymamakta ve farklılıklar göstermektedir.

Tablo 3.12 ve 3.13'te Kalecik (Gümüşhane) travertenlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri özetlenmiştir.

Tablo 3.12. Kalecik (Gümüşhane) travertenlerinin fiziksel (indeks) özellikleri

	Özgül Ağırlık	Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Doygun Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Su İçeriği (%)	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)	Hacimce Su Emme Oranı (%)	Gerçek Porozite (%)
En düşük	2.66	2.240	2.300	0.118	0.735	1.825	5.156
En yüksek	2.68	2.520	2.540	0.408	2.641	5.910	16.040
Ortalama	2.67	2.443	2.471	0.238	1.148	2.783	8.270
Standart sapma	0.0088	0.062	0.055	0.072	0.416	0.903	2.327

Tablo 3.13. Kalecik (Gümüşhane) travertenlerinin mekanik özellikleri

	Nokta Yükü Dayanımı (Mpa)	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Böhme Yüzeysel Aşınma Direnci (cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> )	Eğilme Dayanımı (MPa)	Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi (%)
En düşük	1.37	33.673	5.619	44.492	2.420	97.09
En yüksek	4.71	64.796	3.504	94.449	11.270	98.29
Ortalama	2.38	52.853	4.535	65.448	8.094	97,67
Standart sapma	0.62	8.306	0.696	20.538	3.228	0.60

Türkiye’de üretilen doğal taşların iç ve dış piyasada oldukça rağbet görmesi nedeniyle, bu çalışmada Kalecik travertenlerinin ekonomik anlamda uygunluğu araştırılırken TSE ve ASTM standartları ayrı ayrı incelenmiş ve sonuçlar Tablo 3.14 ve 3.15’te verilmiştir.

Travertenler, doğal yapı taşı (taşınma ve kaplama) taşı olarak değerlendirildiklerinde Türk Standartları’na göre ağırlıkça su emme oranlarının % 3’den büyük, porozite değerlerinin % 2’den, don sonrası ağırlık kaybının % 5’ten, birim hacim ağırlıklarının ise 2.3 g/cm<sup>3</sup>’ten küçük olması gerekirken, eğilme direncinin 2.94 MPa’dan ve çekme dayanımının 3 MPa’dan büyük olması gerekmektedir. Bununla birlikte tek eksenli basınç direncinin taşıma için 47.98 MPa’dan, kaplama için 29.98 MPa’dan büyük olması, böhme aşınma direncinin ise taşıma için 15 MPa’dan, kaplama için ise 25 MPa’dan küçük olması gerekmektedir.

Tüm bu veriler göz önünde bulundurularak Kalecik travertenlerinin taşıma ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliği araştırıldığında, bunların porozite ve böhme aşınma direnci değerleri dışında Türk Standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.14. Sedimanter kökenli doğal taşlara ait Türk Standartları’nda istenilen değerler ve Kalecik travertenlerinin bu standartlar açısından uygunluğu

Fiziko-Mekanik Özellikler	Sınır Değerler	Sınıflandırma	TS Standartları	Kalecik Traverteni
Ağırlıkça Su Emme (Maksimum, %)	0.6	I	TS 11443	<b>1.15</b>
	4.0	II	TS 11137	
	<b>3.0</b>	<b>III</b>	TS 11143	
	0.5	IV	TS 11144	
Birim Hacim Ağırlık (Minimum, g/cm <sup>3</sup> )	2.60	I	TS 11443	<b>2.44 – 2.47</b>
	2.16	II	TS 11137	
	<b>2.30</b>	<b>III</b>	TS 11143	
	2.85	IV	TS 11144	
Tek Eksenli Basınç Direnci (Minimum, MPa) (Taşıma/Kaplama)	49.0/29.4	I	TS 11443	<b>52.85</b>
	49.0/29.4	II	TS 11137	
	<b>47.98/29.98</b>	<b>III</b>	TS 11143	
	49.0/29.4	IV	TS 11144	
Eğilme Direnci (Minimum, Mpa)	2.94	I	TS 11443	<b>8.09</b>
	2.94	II	TS 11137	
	<b>2.94</b>	<b>III</b>	TS 11143	
	3.92	IV	TS 11144	
Böhme Yüzeysel Aşınma Direnci (Maksimum, cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> ) (Taşıma/Kaplama)		I	TS 11443	<b>65.45</b>
	<b>15/25</b>	II	TS 11137	
		<b>III</b>	TS 11143	
		IV	TS 11144	
Porozite (Maksimum, %)	<b>2</b>	I, II, <b>III</b> ve IV	TS N1469	<b>8.27</b>
Don Sonrası Ağırlık Kaybı (Maksimum, %)	<b>5</b>	I, II, <b>III</b> ve IV	TS 1910 TS 2513	<b>0.14</b>
Çekme Dayanımı (Minimum, MPa)	<b>3</b>	I, II, <b>III</b> ve IV	TS N1467	<b>4.54</b>

I: Oniks, II: Kireçtaşı, **III: Traverten**, IV: Dolomit

ASTM standartlarına göre travertenlerin ağırlıkça su emme miktarlarının % 0.2'den küçük olması istenirken, birim hacim ağırlıklarının 2.31'g/cm<sup>3</sup>'ten büyük olması istenmektedir. Bunların yanında, tek eksenli basınç direncinin 52 MPA'dan, eğilme direncinin 7 MPA'dan büyük ve böhme aşınma direncinin ise 10 MPA'dan küçük olması standartlarda belirtilmiştir.

ASTM doğal taş standartlarına göre Kalecik travertenlerine ait deney sonuçları incelendiğinde bu travertenlerin birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç ve eğilme direnci değerlerinin standartlara uygun olduğu, buna rağmen ağırlıkça su emme ve böhme aşınma direncinin ise standartlara uygun olmadığı gözlenmiştir.

Tablo 3.15. ASTM Doğal Taş Standartlarında istenilen değerler (ASTM C 97 ,1996; ASTM C 170,1990; ASTM C 99,1987; ASTM C 241, 1990) ve Kalecik travertenlerinin bu standartlar açısından uygunluğu

Fiziko-Mekanik Özellikler	Sınır Değerler	Sınıflandırma	ASTM Test Metodu	Kalecik Traverteni
Ağırlıkça Su Emme (Maksimum, %)	<b>0.2</b>	I, II, III ve <b>IV</b>	C97	<b>1.15</b>
Birim Hacim Ağırlık (Minimum, g/cm <sup>3</sup> )	2.595 2.800 2.690 <b>2.305</b>	I II III <b>IV</b>	C97	<b>2.44 – 2.47</b>
Tek Eksenli Basınç Direnci (MPa) (Minimum)	<b>52</b>	I, II, III ve <b>IV</b>	C170	<b>52.85</b>
Eğilme Direnci (Mpa) (Minimum)	<b>7</b>	I, II, III ve <b>IV</b>	C880	<b>8.09</b>
Böhme Yüzeysel Aşınma Direnci (cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> ) (Maksimum)	<b>10</b>	I, II, III ve <b>IV</b>	C241	<b>65.45</b>

I: Kireçtaşı-mermer, II: Dolomit, III: Serpantin, **IV: Traverten**

ASTM ve TSE'deki bazı değerlerin farklı olması, ASTM standartlarının kayaçları oluşum koşulu ve köken tanımaksızın gruplandırarak o grubun sahip olabileceği yaklaşık değerleri önerirken, TSE'de ise kayaçların oluşum koşullarından faydalanılarak bulunan sonuçlar kayaçların gerçekçi değerlerini yansıtmamasından kaynaklanmaktadır. Kayaçların oluşumları ve petrografik özellikleri incelenecek olursa, oluşumları farklı olan kayaçların porozite ve buna bağlı olarak ağırlıkça su emme oranlarının değişeceği kesindir ve bu da ASTM Standartları'nın bazı kriterler için gerçeğe yakın olmadığını göstermektedir.

TSE'de doğal taşlar oluşumlarına göre değerlendirilerek daha sağlıklı bir yaklaşım getirilirken ASTM'de ise gruplandırmalara ve genellemelere gidilmiştir. TSE mevcut doğal taşların mevcut değerlerini gerçekçi yansıtırken ASTM'de ise istenen değerler o gruba ait yüksek değerlere karşılık gelmekte bir kayaç sınıfından oldukça üstünde bir değer

beklenilmektedir. Özellikle ASTM’de mermer grubu içerisinde yer alan travertenler için istenilen değerler gerçekten çok yüksek değerler olup bunun karşılanabilirliği oldukça zordur. Zira travertenler oluşumları dikkate alındığında tabakalı, boşluklu ve çatlaklı bir kayaç türü olup, göreceli olarak yumuşaktır. Bununla birlikte travertenler, mermer ve serpantin gibi kayaçlardan gerek oluşum kökeni gerekse litolojik özellikler açısından farklılık göstermektedir. Farklı oluşum grubundaki bu kayaçlardan aynı standart değerlerin ASTM’ye göre beklenilmesi pek gerçekçi değildir. Ancak, ABD’nin oldukça büyük bir doğal taş ithalatçısı ülke olduğu dikkate alındığında ise yapılarının uzun ömürlü olabilmesi için ülke dışından gelen doğal taşların standart değerlerinin yüksek olmasını istediği düşünülebilir (Büyüksağış ve Gürcan, 2005).



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemiz, maden potansiyeli açısından doğal taşlar alt grubu içerisinde önemli ölçüde mermer rezervine sahiptir ve yaklaşık olarak dünya doğal taş rezervlerinin % 33'ü ülkemizde bulunmaktadır.

Karadeniz Bölgesi ise, özellikle Doğu Karadeniz Bölümü'nde bulunan rezervlerle ülkemizde doğal taş potansiyeli açısından 5. sırada yer almaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde başta granit olmak üzere önemli ölçüde doğal taş rezervleri bulunmaktadır. Bölgede son 10 yılda gözle görülebilir şekilde doğal taş üretimi artmış, bu rakam 2003 yılı itibariyle 450 milyon ton seviyesine ulaşmıştır (Yılmaz, 2003). Bölgede ki doğal taş yataklarının çoğu magmatik kayalardan oluşmakta ve işletilmesi hem bölgedeki arazi yapısı hem de günümüz teknolojik şartlarında oldukça zor ve ekonomik olmamaktadır.

Bu çalışmada 2005 yılında işletmeye açılan ve Kalecik (Gümüşhane) travertenleri jeolojik ve jeoteknik açıdan incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayalar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda inceleme alanında yaşlıdan gence doğru aşağıdaki birimler ayırt edilmiştir.

- Malm-Dogger yaşlı Berdiga Formasyonu (masif kireçtaşı)
- Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu (silttaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve tuf),
- Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlar.

2. İnceleme alanı ve çevresinde gerek oluşumunu tamamlamış gerekse oluşumu devam eden travertenlere rastlanmıştır. İşletilmekte olan ve Kalecik Köyü'nde yüzeylenme veren çalışma konusu travertenlerin kalınlığı yaklaşık 50 metre, yanal devamlılığı ise yaklaşık 250 metre olup, bu travertenlerin rezervi yaklaşık 200 000 m<sup>3</sup> civarındadır.

3. Kalecik traverteni yağışla yeraltına süzülen suların karbonik asitçe zenginleşmesi, Berdiga kireçtaşlarını çözmesi ve bu çözeltilerin düşey faylara bağlı olarak yüzeye çıkmasıyla beraber bünyelerindeki karbondioksit gazını bırakarak ortama CaCO<sub>3</sub> çökeltmesi sonucunda oluşmuşlardır. Genel olarak beyazımsı gri renklerde ve sert bir yapıda olan bu travertenler yüzeye yakın yerlerde boşluklu, tabana doğru ise boşluksuz bir yapı göstermektedir. Yüzeysel aşınma ve karbonatlı kayaların çözünmesine bağlı olarak

travertenlerin üzerinde karenler gelişmiştir. Genellikle az eğimli yamaçlarda üzerinde gözlenen karenlerin uzunlukları yaklaşık 70-80 cm, derinlikleri ise 1-2 mm arasında değişmektedir.

4. Kalecik travertenleri morfolojik olarak dom (koni) tipi travertenler grubuna girmektedir. Bu tip travertenler, yatay veya çevreye göre hafif tümsek yüzeylerden çıkan kalsiyum bikarbonatlı suların, çepçevre yayılarak akmasıyla oluşan travertenlerdir. Dom tipi travertenlerde çökelmenin ilerleyen evrelerinde, morfolojik yapının durumuna veya çevredeki diğer kaynaklardan çökelen traverten depolarına bağlı olarak, dom yapıları birleşip kaybolabilmektedir. Bunun dışında dom tipi travertenler, çökelmeyi besleyen su çıkışlarının kesilmesi veya sonradan gelişen kırıklarla farklı kesimlere kayması sonucu aşınarak şekil değişikliğine uğrayabilmektedir.

5. Mikroskobik incelemeler sonucunda, kayacın büyük çoğunluğunun kalsit kristallerinden oluştuğu ve buna az oranda aragonitin eşlik ettiği görülmüştür. Kuvars ve kil mineralleri ise çok az miktarda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra yer yer fosil veya bitki izlerine de rastlanılmıştır. Kalsitler tek nikolde röliyef pleokroizması ve dilinimleriyle tipiktir.

6. Travertenlerin en iyi yüzlek verdiği bölge olan Kalecik Köyü mevkiinde açılmış ocakta işletme yapılmaktadır. Üretim açık işletme olarak, basamak yöntemiyle yapılmaktadır. İşletmeye yüzeyde birkaç metrelik bir zonanın sıyrılması ile başlanmıştır. Üzeri açılan mermer tabakaları havalı sondaj makinesi ile önce dik delik ve ardından alt delikler delinmektedir. Bu deliklerden elmaslı tel geçirilerek, elmaslı tel, tel makinesi vasıtasıyla döndürülmekte, bu esnada telin aşırı ısınmaması için elmas tele su vermek sureti ile kayanın kesimi sağlanmaktadır. Kesimden sonra hidrolik krikolar ve ekskavatör vasıtasıyla mermer bloğu ocak içerisine devrilmekte ve daha sonra sayılanarak istenen ebatlara kesilen blok mermerler stok sahasına nakledilmektedir. Ocak aynasının yüksekliği değişmekle birlikte genel olarak 5-7 metre arasındadır. Üretimle birlikte çıkan pasa boş alanlara dökülmektedir.

7. Sahada, üretim faaliyetleri sonucunda % 60 civarında blok (traverten) % 40 civarında ise moloz ve pasa elde edilmektedir. Elde edilen blok boyutu genel olarak 1.5 m x 1 m x 2 m civarındadır. Sahadan üretilen bloklar (traverten) işletme tarafından Trabzon'da bulunan mermer fabrikasına getirilmektedir. Mermer fabrikasın getirilen travertenler blok halinde satıldıkları gibi plaka ve fayans haline getirildikten sonra da

satışa sunulmaktadır. Sahadan üretilmekte olan travertenin bilinen ve aranan mermer oluşu nedeniyle piyasada oldukça kolay alıcı bulunabilmektedir.

**8.** Laboratuarda yapılacak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere traverten ocağından blok numuneler alınmıştır. Bu numunelerin alımı sırasında örneklerin sahayı tam olarak temsil etmesine dikkat edilmiştir. Saha çalışmaları sırasında travertenlerden alınan blok örnekler kullanılarak silindirik deney örnekleri (karot) hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde ASTM ve Türk Standartlarında belirtilen deneyler yapılmış ve travertenlerin fiziksel ve dayanım özellikleri belirlenmiştir.

**9.** Bu deneyler sonucunda, travertenlerin su içerikleri % 0.24, ağırlıkça su emme oranları % 1.15, porozite değerleri % 8,27, don sonrası ağırlık kaybı % 0.14, ısınma-kuruma sonrası ağırlık kaybı % 0.24, birim hacim ağırlıkları  $2.45 \text{ g/cm}^3$ , eğilme dirençleri 8.09 MPa ve çekme dayanımları 4.54 MPa olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte tek eksenli basınç dirençleri 52.85 MPa böhme aşınma dirençleri  $65.45 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$  olarak belirlenmiştir.

**10.** Tüm bu veriler göz önünde bulundurularak Kalecik travertenlerinin taşıma ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliği araştırıldığında, bunların porozite ve böhme aşınma direnci değerleri dışında Türk Standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir. ASTM doğal taş standartlarına göre Kalecik travertenlerine ait deney sonuçları incelendiğinde bu travertenlerin birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç ve eğilme direnci değerlerinin standartlara uygun olduğu, buna rağmen ağırlıkça su emme ve böhme aşınma direncinin ise standartlara uygun olmadığı gözlenmiştir.

**11.** Kalecik travertenleri, genel anlamda değerlendirildiğinde, gerek rezervleri, gerek fiziksel albenileri, gerekse bir çok özellikleri açısından standartlarda belirtilen değerlere uygun olmaları nedeniyle, Doğu Karadeniz doğal taş ekonomisine büyük katkıda bulunmaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

- Ağar, C., 1977. Demirözü ve Köse Bölgesinin Jeolojisi: KTÜ Doktora tezi, 125 s
- Alp, İ., Yılmaz, A.O., Arslan, M., Kolaylı, H. e Er, M., 2005. Physical and Mechanical Properties of Gümüşhane and Bayburt (Turkey) Travertine and Onix Marble, Proceeding of 1st International Symposium on Travertine, Denizli, 224-230.
- Arslan, Arslan, M., Kolayli, H., Temizel, İ., Çiftçi, E., Alp, İ., Yılmaz, A.O., Er, M. 2005. Petrography, geochemistry and formation conditions of Gümüşhane and Bayburt area travertine and onyx deposits, NE Turkey, Proceeding of 1st International Symposium on Travertine, Denizli, Turkey, 171-176.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1981. Standard test method for capillary-moisture relationships for coarse and medium textured soils by porous plate apparatus, ASTM Standards.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1985. Soil and Rock, Building Stones, Section 4, 409-423.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1992a. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Wetting and Drying Conditions (ASTM D5313-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil and Rock, ASTM Publication, 189-190.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1992b. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Freezing and Thawing Conditions (ASTM D5312-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil and Rock, ASTM Publication, 1344-1346.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1994. Annual Book of ASTM Standarts-Construction, Soil and Rock, ASTM Publication, Vol. 04.08, 978 pp.
- Atabey, E., 2002. Çatlak Sırt Tipi Laminallı Traverten-Tufa Çökellerinin Oluşumu, Mikroskobik Özellikleri Ve Diyajenezi, Kırşehir İç Anadolu, MTA Dergisi, 123-124. 59-65.
- Ayaz, 2002. Travertenlerde gözlenen morfolojik yapılar ve tabiat varlığı olarak önemleri, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri C.19, S.2, 123-134.
- Ayaz, M.E. ve Atalay, Z., 2001. Sivas Tersiyer havzasında gelişen endüstriyel hammaddelerin dağılımları ve genel özellikleri. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 1, 21-39.
- Bargar, K.E., 1978. Geology and thermal history of Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park. Bulletin of the U.S. Geological Survey, 1444, 1-55.

- Başarır, H., Kumral, M. ve Özsan, A., 2004. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımının basit deney yöntemleriyle tahmini, VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, 65-71.
- Baykal, A., F., 1952. Recherches Geologique Dans la Region de Kelkit-Şiran (NE de Anatolie), İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, Seri B, 289-304.
- CANMET, 1997a. Laboratory Classification Tests. In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-25, 31.
- CANMET, 1997b. Laboratory Classification Tests, In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-26, 74.
- Chafetz, H. S. and Folk, R. L., 1984. Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents. Jour. Sedimentary Petrology, 54, 1, 289 – 316.
- Çavuşoğlu, İ., Yılmaz, A.O., Varlık, R., Özkan, İ. ve Çebi, M. 2006. Doğal Taşın Önemi ve Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Mevcut Durum, Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Trabzon, 67-76,
- Çetin, T., 2003. Türkiye Mermer Potansiyeli, Üretimi Ve İhracatı, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23, 3, 243-256.
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM), 2005. Ortalama Ekstrem Sıcaklık ve Yağış Değerleri Bülteni, Ankara.
- Gattinger, T.E., 1962, 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Trabzon paftası, MTA, Ankara,
- Gedik, İ., Kırmacı, Z., Çapkınoğlu, Ş., Özer, E. ve Eren, M., 1996, Doğu pontidlerin Jeolojik Gelişimi. K.T.Ü., Jeoloji Müh. Böl. 30. Yıl Dönümü, Trabzon, 654-667,
- Guo, L. ve Riding, R., 1998. Hat-springs travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy. Sedimentology, 45, 163-180.
- Gamble, J.C., 1971. Durability-Plasticity Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks, PhD Thesis, University of Illinois
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Yayınları, Ankara.
- Güven, I.H., 1998. 1/100000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 58, Trabzon C29 ve D29 Paftaları, MTA Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara, 12 s.

- Eren, M., 1983, Gümüşhane- Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ersoy, H., 2001, Kalecik (Torul-Gümüşhane) Mineralli Sularının Hidrolojisi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ersoy, H., Dilek, R., Gültekin, F. and Fırat Ersoy, A., 2005. Relationship Between Karstic Structures and Fault Systems in Kalecik (Torul-Gümüşhane), Proceeding of 1st International Symposium on Travertine, Denizli, Turkey, 116-121.
- Ersoy, H., 2008, Doğal Yapı Taşları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ders Notları, 55 s.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 pp.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 22, 53-60.
- Ketin, I., 1951. Über die Geologie der Gegend Von Bayburt in Wordost Antatolin, Rev. Fac. Sci. Univ. İstanbul, B 16, 113-122.
- Love, K.M. ve Chafetz, H.S., 1988. Diagenesis of laminated travertine crusts, Arbuckle Mountains, Oklahoma. Journal of Sedimentary Petrology, 58, 441-445.
- Meredith, J.C., 1980. Diagenesis of Holocene-Pleistocene (?) travertine deposits, Fritz Creak, Clark County and Fall Creek, Bonneville County Idaho. Univ. Houston, Master's Thesis, 263.
- NACS (North American Commission on Stratigraphy), 1983. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67, 5, 841-875
- Özsayar, T.; Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981. Doğu Pontidlerde Kretase: KTÜ Yerbilimleri Derg., 1, 2, 65-114.
- Pedley, H. M., 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas: Sedimentary Geology., 68, 143-154.
- Pelin, S., 1977. Alucra(Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi, K.T.Ü. Yer Bilimleri Der., No: 13,38-42, Trabzon.
- RILEM, 1980. Recommended Tests to Measure The Deterioration of Stone and to Assess The Effectiveness of Treatment Methods. Commission 25-PEM, Material and Structures, Vol. 13,175-253.
- Tekin, E., Ayyıldız, T., Turan, C. ve Öner A., 1999. Bakteriyal kökenli güncel pizoyid oluşumları. Electron Microscopy, 14. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi Özel Kitabı/Abstract Book (Uluslararası Katılımlı), Bursa.

- T.S.E. 1994. Oniks Mermeri Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan, 11443TSE, Ankara
- T.S.E. 1993. Kireçtaşı Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan, 11137 TSE, Ankara
- T.S.E. 1993. Traverten Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan, 11143 TSE, Ankara
- T.S.E. 1994, Dolomit Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan, 11444 TSE, Ankara
- T.S.E. 1975. Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini. UDK 622.02, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E. 1987. Tabii Yapıtaşlarının Muayene ve Deney Metotları. TS 699, UDK 6912, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E. 1990. Kaya Mekaniği Deneyleri İçin Karot Numunelerinin Hazırlanması, Boyut ve Şekil Toleranslarının Tespiti. TS 8614, UDK 622.02.624.121, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tokel, S., 1974. Stratigraphical Anol Volcanic History of the Gümüşhane Area, NE. Turkey.
- Tüdeş, Ş., 2001, Gümüşhane Kenti ve Yakın Çevresinin Yerleşime Uygunluk Açısından Araştırılması, Doktora Tezi, KTU Fen Bilimleri Üniversitesi, Trabzon
- URL-1. <http://www.immcarrara.com/stat/english-version>, 01.12.2006
- Yılmaz, Y., 1972. Petrology and Structure of Gümüşhane Granite and Surrounding Rocks, NE Anatolia, PhD Thesis, University of London
- Yılmaz, Y., 1974, Gümüşhane Granitinin Yerleşmesi, Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi, TJK Yayını, Ankara, 485-490

## **ÖZGEÇMİŞ**

03.05.1983 tarihinde Ordu'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ordu'da tamamlayarak 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 2001-2002 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü hazırlık programını tamamladı. 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başlayan Özdemir iyi derecede İngilizce bilmektedir.