



**İSCEHİSAR (DOKIMEION) MENEKŞE
(PAVONAZZETTO) MERMERLERİNİN
PARMAK İZİ (FİNGERPRINT) VERİ
TABANININ ÇOKLU ANALİZ
YÖNTEMLERİYLE OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ziyad HÜSEYİNAĞA

Danışman

Doç. Dr. Metin BAĞCI

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2025

Bu tez çalışması 22.FENBİL.19 numaralı proje ile AKÜ-BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSCEHİSAR (DOKIMEION) MENEKŞE (PAVONAZZETTO)
MERMERLERİNİN PARMAK İZİ (FINGERPRINT) VERİ
TABANININ ÇOKLU ANALİZ YÖNTEMLERİYLE
OLUŞTURULMASI

Ziyad HÜSEYİNAGA

Danışman

Doç. Dr. Metin BAĞCI

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2025

TEZ ONAY SAYFASI

Ziyad HÜSEYİNAGA tarafından hazırlanan “İscehisar (Dokimeion) Menekşe (Pavonazzetto) mermerlerinin parmak izi (fingerprint) veri tabanının çoklu analiz yöntemleriyle oluşturulması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 23 / 06 / 2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Metin BAĞCI

Başkan : Prof. Dr. Şemsettin CARAN
Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Ahmet YILDIZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Metin BAĞCI
Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

23 / 06 / 2025

Ziyad HÜSEYİNAĞA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İSCEHİSAR (DOKIMEION) MENEKŞE (PAVONAZZETTO) MERMERLERİNİN PARMAK İZİ (FINGERPRINT) VERİ TABANININ ÇOKLU ANALİZ YÖNTEMLERİYLE OLUŞTURULMASI

Ziyad HÜSEYİNAĞA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Metin BAĞCI

Tez çalışmasında, Afyon menekşe mermerlerinin mineralojik petrografik, jeokimyasal ve ^{13}C ve ^{18}O izotop analizleri yardımıyla parmak izi veri tabanının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla Bu amaçla İscehisar (Afyonkarahisar)'dan temin edilen menekşe mermerleri dokusal özelliklerine göre 3 farklı gruba ayrılmıştır. Söz konusu gruplandırmada menekşe mermerlerin ticari isimlendirmeleri göz önünde bulundurulmuştur. Bunlar mor menekşe mermerler (AFV), Argento menekşe mermerler (ARG) ve sugar menekşe mermerler (SV) şeklindedir. Tez çalışmasında farklı dokusal özellikteki menekşe mermer türlerinin parmak izi veri tabanını oluşturacak mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özellikleri polarizan mikroskop, X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskop (SEM-EDX) ve ^{13}C ve ^{18}O izotop analizleri yardımıyla ortaya konmuştur.

Jeokimyasal çalışmalar kapsamında ise ana, iz ve nadir toprak element (NTE) analizleri yapılmıştır. Son olarak duraylı ^{13}C ve ^{18}O izotop analizleri tüm mermer örneklerini kapsayacak şekilde yapılmıştır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre yoğun damar yapıya sahip olan menekşe mermerlerinde özellikle biyotit ve Muskovit gibi mika grubu minerallerinin varlığı belirlenmiştir. Ayrıca bu minerallere ilave olarak Titan ve Mangan ve Demir gibi metalik minerallerin mermerlerdeki kılcal çatlakların iç kısımlarına girdikleri ve çatlaklı kısımların kenar zonlarında mor, sarımsı yeşil ve gri renkli

damarların oluştuğu gözlenmiştir. Tüm menekşe mermer çeşitlerinde kalsit ana mineral olmakla beraber özellikle AFV mermerlerinde Kalsit haricinde dolomit, Biyotit, Muskovit, kuvars ve opak mineraller gözlenmiştir. Argento menekşe ve Sugar menekşe mermer türlerinde ise kalsit ana bileşen olup az oranda biyotit ve Kuvars ve Opak mineral bulunmaktadır. jeokimyasal incelemelerde damar yoğunluğu faz olmayan Sugar ve Argento menekşe mermerlerinde CaO baskın bulunur. Diğer ana oksit içerikleri %1 geçememiştir. Buna karşılık yoğun damarlı olan Afyon menekşe mermerinde SiO₂, MgO, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ ana oksit içeriklerinde artış CaO oranında azalma gözlenmiştir. 13 C değerleri % + 2,30 ile % +2,72, 18 O değerleri ise % -2.70 ile % - 3.36 arasında değerim vermektedir. Bu izotop değerlerinin Mermerlerin köken belirlenmesi parmakizi (fingerprint) gibi çalışmalarda kullanılması çok önemli olacaktır.

2025, xii + 61 sayfa

Anahtar Kelimeler: Menekşe Mermeri, Mermer jeolojisi, Veri Tabanı, İscehisar, Afyonkarahisar

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

CREATION OF THE FINGERPRINT DATABASE OF İSCEHİSAR (DOKİMEİON) VİOLET (PAVONAZZETTO) MARBLES WITH MULTİPLE ANALYSİS METHODS

Ziyad HÜSEYİNAGA

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Metin BAĞCI

Within the scope of this thesis, it is aimed to create a fingerprint database with the help of mineralogical petrographic, geochemical and ^{13}C and ^{18}O isotope analyses of Afyon violet marbles. For this purpose, violet marbles obtained from İscehisar (Afyonkarahisar) were divided into 3 different groups according to their textural properties. The commercial names of violet marbles were taken into consideration in the grouping in question. These are purple violet marbles (AFV), Argento violet marbles (ARG) and sugar violet marbles (SV). In the thesis study, the mineralogical-petrographic and geochemical properties of violet marble types with different textural properties that will form the fingerprint database were revealed with the help of polarizing microscope, X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM-EDX) and ^{13}C and ^{18}O isotope analyses.

Within the scope of geochemical studies, main, trace and rare earth element (REE) analyses were performed. Finally, stable ^{13}C and ^{18}O isotope analyses were performed to cover all marble samples. According to the results of the study, the presence of mica group minerals such as biotite and muscovite was determined in violet marbles with dense vein structure. In addition to these minerals, it was observed that metallic minerals such as Titanium, Manganese and Iron entered the inner parts of the capillary cracks in the marbles and purple, yellowish green and gray colored veins were formed in the edge

zones of the cracked parts. Although calcite is the main mineral in all violet marble varieties, especially in AFV marbles, dolomite, biotite, muscovite, quartz and opaque minerals were observed in addition to calcite. In Argento and Sugar violet marble types, calcite is the main component and there are small amounts of biotite and quartz and opaque minerals. In geochemical studies, CaO is dominant in Sugar and Argento violet marbles, where vein density is not a phase. Other main oxide contents did not exceed 1%. On the other hand, in Afyon violet marble with dense veins, an increase in SiO₂, MgO, Al₂O₃ and Fe₂O₃ main oxide contents and a decrease in CaO ratio were observed. $\delta^{13}\text{C}$ values vary between +2.30‰ and +2.72‰, and $\delta^{18}\text{O}$ values vary between -2.70‰ and -3.36‰. It will be very important to use these isotope values in studies such as determining the origin of marbles and fingerprints.

2025, xii + 61 pages

Keywords: Violet Marble, Marble Geology, Database, İscehisar, Afyonkarahisar

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Doç. Dr. Metin BAĞCI'ya araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ahmet YILDIZ ve Araş. Gör Sami Serkan İŞOĞLU'na, tez savunma sınavı öncesi tezimi inceleyerek, katkı koyan Prof. Dr. Şemsettin CARAN'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Tez çalışmalarına finansal destek sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinatörlüğü yetkililerine teşekkür ederim.

Ayrıca arazi çalışmalarımızda numune temininde yardımlarını esirgemeyen Şenler Mermer San. Tic. Ltd. Şti.'ne yardımlarında dolayı teşekkür ederim. Son olarak, tez çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Bu tez çalışması 22.FENBİL.19 numaralı proje ile AKÜ-BAPK tarafından desteklenmiştir.

Ziyad HÜSEYİNAGA

Afyonkarahisar 2025

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Mermer Tanımı	4
2.2 Doğaltaşların Sınıflandırılması	5
2.2.1 Metamorfik Kökenli Doğaltaşlar	5
2.3 Doğaltaşların Kullanım Alanları.....	6
2.4 Türkiye Mermer Ekonomisi.....	6
2.5 Önceki Çalışmalar.....	8
3. MATERYAL VE METOD	10
3.1 Deney Numunelerinin Temini ve Hazırlanması	10
3.2 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler	12
3.2.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri	12
3.2.2 X-Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri.....	13
3.2.3 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri	13
3.3 Jeokimyasal Analizler.....	15
3.3.1 Ana, İz ve Nadir Toprak Element Analizleri	15
3.3.2 İzotop Analizleri.....	17
4. BULGULAR	18
4.1 İnceleme Alanı Jeolojisi.....	18
4.2 Parmak İzi Çalışma Sonuçları.....	25
4.2.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri	25
4.2.2 X Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri	33

4.2.3 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM/EDX) İncelemeleri.....	38
4.2.4 Jeokimyasal İncelemeler	43
4.2.4.1 Ana oksit, iz ve Nadir Toprak Element (NTE) Analiz İncelemeleri....	43
4.2.4.2 İzotop Analiz İncelemeleri	49
5. SONUÇLAR.....	52
6. KATKI BELİRTME.....	54
7. KAYNAKLAR.....	55



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Å	Angstorm
Cm	Santimetre
Km ²	Kilometrekare
Mm	Metre
M	Milimetre
µm	Mikron
δ	Delta
%	Yüzde
°C	Santigrat Derece
2	Kare
3	Küp

Kısaltmalar

AMG	Afyon Metasedimanter Grubu
ASTM	Amerika Deney ve Malzeme Cemiyeti
Ka	Kalsit
AFVB	Afyon Menekşe Matriks Beyaz
AFVD	Afyon Menekşe Damarlı
ARGB	Argento Menekşe Matriks Beyaz
ARGD	Argento Menekşe Damarlı
SV	Sugar Menekşe Matriks Beyaz
SD	Sugar Damarlı Menekşe
NTE	Nadir Toprak Elementleri
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
XRD	X - Işınları Difraksiyonu
Qz	Kuvars
Mk	Mika
Dol	Dolomit
M.Ö	Milattan Önce
C	Karbon
O	Oksijen
EPR	Elektron Paramanyetik Rezonans
KD	Kuzeydoğu
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
CNC	Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrol
TUAM	Teknoloji Uygulama Merkezi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası.....	3
Şekil 1.2 Afyon menekşe mermerlerinin üretildiği Şenler mermer ocağının Afyon menekşe ocağının genel görünümü.	3
Şekil 2.1 Doğaltaş (Mermer) Sınıflaması.....	5
Şekil 2.2 Türkiye 2017-2023 yılları arası Doğal Taş Üretim Değerleri (Ton).....	7
Şekil 2.3 Türkiye 2017-2023 yılları arası Doğal Taş İhracat-İthalat Değerleri (Milyar Dolar).....	7
Şekil 3.1 Deneyisel çalışmalarda kullanılan Afyon menekşe mermer türlerinin genel görünümleri a) Afyon menekşe (AFV) b) Argento menekşe (ARG) c) Sugar menekşe (SV) mermer türleri.	11
Şekil 3.2 a) Afyon menekşe mermer örneklerinin hazırlamasında karelaj ağların oluşturulması, b) Karelaj ağlara bölünmüş mermerlerin kesim işlemi.	11
Şekil 4.1 a)İnceleme alanın yerbulduru haritası b)İnceleme alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası.	19
Şekil 4.2 İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti.	20
Şekil 4.3 Şenler Mermer Ocak İşletmesinde üretimi yapılan Afyon menekşe mermer seviyeleri (a-b), Afyon menekşe antik ocağında gözlenen üretim seviyeleri, (d-f), Afyon menekşe mermer blokları (e-f), Afyon menekşe mermer seviyeleri.	21
Şekil 4.4 a) Şenler Mermer Ocağında mermer- şist dokanak ilişkisi, b)Şenler Mermer Ocak yakınında eski Roma döneminde işletilmiş antik ocak işletmesi, c) Şenler Mermer ocağında Menekşe mermer blok üzerinde gözlenen breş yapıları.....	22
Şekil 4.5 İnceleme alanında yüzlek veren bazaltların genel görünümü (Avşar Deresi kuzeydoğusu).....	25
Şekil 4.6 a-b)Afyon menekşe (AVB-1) matriks beyaz mermerinin, c-f), Afyon menekşe (AVD-1) damarlı mermer örneklerine ait polarizan mikroskop görünümleri, (ÇN x500 µm) (a-f), Ca: Kalsit, Qz: Kuvars, Op: Opak Mineral, Mu: Muskovit.....	27
Şekil 4.7 a-d) Afyon menekşe (AVB-2) matriks beyaz mermerinin, e-h), Afyon menekşe (AVD-2) damarlı mermer örneklerine ait polarizan mikroskop görünümleri, (ÇN x500 µm) (e-h), Ca: Kalsit, Qz: Kuvars, Op: Opak Mineral, Mu: Muskovit, ÇN: Çapraz Nikol, TN: Tek Nikol.	28
Şekil 4.8 a-f) Argento menekşe (ARG1-D) damarlı mermerinin, g-h), Argento menekşe (ARG1-B) matriks beyaz mermer örneklerine ait polarizan mikroskop görünümleri, (ÇN x500 µm) (e-h), Ca: Kalsit, Qz: Kuvars, Op: Opak Mineral, Mu: Muskovit, ÇN: Çapraz Nikol, TN: Tek Nikol.	29

Şekil 4.9 a-f) Argento menekşet (ARG2-B) matriks beyaz mermerlerin g-h), Argento menekşe (ARG2-D) damarlı mermer örneklerine ait polarizan mikroskop görüntüleri, (ÇN x500 µm) (e-h), Ca: Kalsit, Qz: Kuvars, Op: Opak Mineral, Mu: Muskovit, ÇN: Çapraz Nikol, TN: Tek Nikol.	30
Şekil 4.10 a-b) Sugar menekşe (SVB-1) menekşe matriks beyaz mermerinin c-f), Afyon Sugar menekşe damarlı (SVD-1) mermerlerine ait polarizan mikroskop görüntüleri, (ÇN x500 µm) (c-f), Ka: Kalsit, Q: Kuvars, Op: Opak Mineral, Mu: Muskovit, ÇN: Çapraz Nikol, TN: Tek Nikol.	31
Şekil 4.11 a-d) Sugar menekşe (SVB-2) matriks beyaz menekşe mermerinin ve e-h), Sugar menekşe damarlı (SVD-2) mermerlerine ait polarizan mikroskop görüntüleri, (ÇN x500 µm) (a-f), Ka: Kalsit, Q: Kuvars, Op: opak Mineral, Mu: Muskovit, ÇN: Çapraz Nikol, TN: Tek Nikol.	32
Şekil 4.12 Afyon menekşe mermerlerinin tane boyut dağılım boxplot grafiği.....	33
Şekil 4.13 a-b) Afyon menekşe matriks beyaz menekşe mermerlerin (AFVB-1), (AFVB-2) ve Argento menekşe matriks beyaz (ARGB-1) menekşe mermerlerine ait X ışınımı çekim grafiği.	34
Şekil 4.14 a-b) Afyon menekşe matriks beyaz menekşe mermerlerin (AFVD-1), (AFVD-2) ve Argento menekşe matriks beyaz (ARGD-1) menekşe mermerlerine ait X ışınımı çekim grafiği.	35
Şekil 4.15 a) Argento menekşe matriks beyaz menekşe mermerlerin (ARGB-2), b-c) Sugar menekşe matriks beyaz (SVB-1); (SVB-2) menekşe mermerlerine ait X ışınımı çekim grafiği.	36
Şekil 4.16 a) Argento menekşe damarlı menekşe mermerlerin (ARGD-2), b) Sugar menekşe damarlı (SVD-1), (SVD-2) menekşe mermerlerine ait X ışınımı çekim grafiği.....	37
Şekil 4.17 Afyon menekşe (AFVD-1) damarlı menekşe mermerlerinin SEM/EDX çekimleri.	39
Şekil 4.18 Afyon menekşe (AFVD-2) damarlı menekşe mermerlerinin SEM/EDX çekimleri.	40
Şekil 4.19 Argento menekşe (ARGD-1) damarlı menekşe mermerlerinin SEM/EDX çekimleri.	41
Şekil 4.20 Argento menekşe (ARGD-2) damarlı menekşe mermerlerinin SEM/EDX çekimleri.	42
Şekil 4.21 Sugar menekşe (SVD-1) damarlı menekşe mermerlerinin SEM/EDX çekimleri.	43
Şekil 4.22 Afyon menekşe mermerlerinin CaO' e karşı diğer ana oksit element içeriklerinin karşılaştırmasına ait ikili haker diyagramları.....	47
Şekil 4.23 a) Mermerlerinin Nadir Toprak Element (NTE)'ere ait chondrit normalize edilmiş diyagramları, b) Mermerlerin çoklu element içeriklerinin chondrit normalize edilmiş diyagramları (Sun and Mc Donough, 1989).	48
Şekil 4.24 İncelenen Afyon menekşe mermer örneklerine ait $\delta^{13}C$ ve $\delta^{18}O$ izotop değerlerinin grafiği.	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan menekşe mermer örnekleri ve özellikleri	10
Çizelge 4.1 Afyon menekşe matriks beyaz mermerlerinin ana oksit analiz sonuçları... 45	45
Çizelge 4.2 Afyon menekşe damarlı mermerlerinin ana oksit analiz sonuçları..... 46	46
Çizelge 4.3 Mermer örneklerine ait $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ İzotop Analiz Değerleri. 50	50
Çizelge 5.1 Menekşe mermerlerine ait parmak izi verileri. 53	53



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Nikon Marka Eclipse 2V100POL model mikroskop.....	12
Resim 3.2 XRD incelemelerde kullanılan Shimadzu XRD-6000 model X-ışını difraktometre cihazı.....	14
Resim 3.3 LEO 1430 VP model SEM cihazı.....	14
Resim 3.4 Rigaku marka Zsx Primus II model XRF cihazı.....	16
Resim 3.5 Perkin Elmer ICP-OES Optima 4300 DV ICP-OES cihazı.....	16
Resim 3.6 Delta Plus XP Marka Kütle Spektrometresi.	17

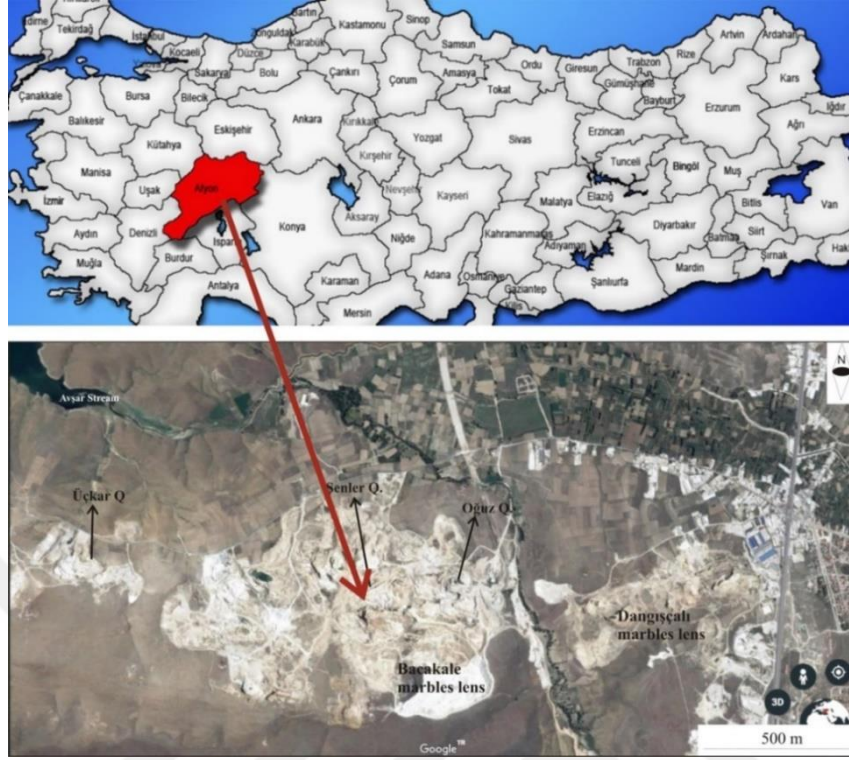


1. GİRİŞ

Afyon İscehisar yöresinde ilk mermer çıkartılması M.Ö. 900 yıllarında başladığı belirtilmektedir (Erguvanlı vd.1972). Antik dönemde Doğu Roma imparatorluğu döneminde İscehisar (Dokimenion) bölgesindeki mermer ocaklarında önemli miktarda mermer üretimi yapılmaktaydı. Üretilen mermerler heykel üretimi, sütun yapımı gibi alanlarda kullanılmıştır. Özellikle deniz yoluyla İtalya ve diğer Avrupa ülkelerine gönderilmiştir. İscehisar (Dokimenion) mermer ocaklarından Roma'ya mermer gönderildiğini belirtmiştir (Strabon,1993). Albustanlıoğlu, 2000 yılında Dokimeion antik mermer ocakları ve ihracat potansiyeli başlıklı yüksek lisans tezinde, antik dönemlerde mermer ocaklarında yapılan üretim çalışmaları hakkında detaylı bilgiler vermiştir. 1980'lerden günümüze mermerlerle ilgili çok sayıda köken araştırması yayınlanmış olup, bu çalışmalarda genel olarak kullanılan analitik yöntemler ve kapsamları kapsamlı olarak incelenmiştir. Mermerlerin kökenlerinin belirlenmesinde modern bilimsel yöntemler, çıplak gözle veya büyüteç kullanılarak yapılan basit incelemelerle geçmişteki geleneksel ampirik tanımlamanın yerini almıştır (Kokkorou-Alevras vd., 1995). Mermerlerin köken belirleme yöntemleri, yaygın olarak farklı mineralojik-petrografik, jeokimyasal ve fiziksel tekniklerin birlikte kullanılmasıyla yapılmaktadır. Karbonatların duraylı C ve O izotop analizi (Craig ve Craig 1972; Herz 1988), günümüzde eserlerin mermer originlerinin belirlenmesinde en yaygın kullanılan kaynak yöntemlerinden birisidir (Attanasio vd., 2006). d13C ve d18O verileri genellikle mermerlerin mineralojik petrografik özellikleriyle birleştirilir; polarizan mikroskobu ve X ışını difraktometrisi ile elde edilmiştir (Lapuente 1995; Lazzarini vd. 1995, 2002; Lazzarini ve Turi, 1999; Antonelli vd. 2002; Gorgoni vd. 2002; Luke vd. 2006). Özellikle beyaz mermerlerin köken belirlemelerinde etkili bir şekilde ayırt edici olduğu bilinen katodoluminesans (CL) analiz yöntemleri 'de sıklıkla kullanılmaktadır (Barbin vd. 1992, Herrmann ve Barbin, 1993; Barbin, 1999; Lapuente ve Blanc, 2002; Mentzos vd. 2002). Ayrıca bir diğer yöntemde Elektron paramagnetik rezonansı (EPR) spektrumlarında baskın olan pikler sayesinde antik anıtların ve eserlerin kökenlerini belirlemek için mermer ocaklarını karakterize etme amacıyla kullanılmaktadır (Maniatis and Mandi, 1992). 1/25000 ölçekli Afyon-K25-b4 paftasında yer alan çalışma alanı, Afyon iline bağlı İscehisar İlçesinin 1,5 km KD'sunda bulunan alanda 50 km²'lik bir alanda yayılım sunmaktadır (Şekil 1.1).

Çalışma alanındaki önemli olan yükseltiler, Dangışçalı Tepe (1149.5 m), Karatoprak Tepe (1247 m), Eretepe (1154 m), Mermer Tepe (1184 m), Avşar tepe (1154 m), ve Elmaburnu Tepe (1099,8 m)'dir. Bölgede yer alan Avşar Deresi çalışma alanını iki kısma ayırmıştır. Çalışma alanında başlıca yerleşim yeri olarak İscehisar İlçesi ve Bahçecik köyü bulunmaktadır. Çalışma alanı İscehisar mermer ocak sahasında yer alan Şenler mermer ocağında (Şekil 1.2) yapılmıştır. Afyon menekşe mermerleri renk, doku ve yapısal özelliklerine göre 3 grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar sırasıyla breşik yapısı belirgin mor renkli mermerler Afyon menekşe (AFV), Beyaz renkli breşlerin iri boyutlu olması ve sarımsı yeşil renkli ince damarlı mermerler Argento menekşe ve beyaz hare yapılarının büyüklüğü ve sarımsı gri renklerde gözlenen Sugar menekşe mermerleri olarak ayrılmıştır.

Jeokimyasal (ana oksit, iz ve nadir toprak element NTE) analizlerinde antik anıtların ve eserlerin kökenlerini belirlemek için kullanılmaktadır (Cabral vd. 1992; Jongste vd. 1992; Oddone vd. 1999; Green vd. 2002; Bağcı,2020). Duraylı C ve O izotoplarının majör, iz ve nadir toprak element (NTE) analizleri ile birlikte kullanılan kimyasal analiz çalışmalarına Siegesmund vd. 2010 ve Unterwurzacher vd. 2005'te yaptıkları çalışmalarda bazı mermer eserlerin parmak izlerinin çıkarılmasına olanak sağladığı örnek olarak gösterilebilir. Son yıllarda karbon içerikli kayaçların Raman spektroskopisi ile farklı metamorfizma dereceleri nedeniyle dönüştürülmüş organik madde içeren kalsit ve dolomitik mermerlerin parmak izlerini çıkarmak için çok yararlı olduğu bilinmektedir (Šťastná vd. 2009). Petrografik görüntü analizleri, tane boyutunun (ortalama ve maksimum tane boyutu) belirlenmesi 'de farklı mermer türleri arasında ayırım yapmak için kullanılan güçlü bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Moens vd. 1992b; Ramseyer vd. 1992; Bağcı, 2020). Deneysel çalışmalar kapsamında, örneklerin ince kesitlerinin yapılması ve polarizan mikroskop altında incelenmesi, X- Işınları Difaktrometresi (XRD)yöntemi ile Taramalı elektron mikroskop (SEM) çalışmaları yapılarak mermerlerin mineralojik-petrografik inceleme çalışmaları tamamlanmıştır. Bulunan sonuçlar grafik ve diyagramlara dökülerek yorumlanmıştır. Son olarak çalışma kapsamında inceleme sonuçlarının değerlendirilmesi yapılarak, tartışılmış ve öneriler yapılmıştır. Son olarak çalışma kapsamında, inceleme sonuçlarının değerlendirilmesi yapılarak, tartışılmış ve önerilerde bulunulmuştur.



Şekil 1.1 Çalışma alanı yerbulduru haritası.



Şekil 1.2 Afyon menekşe mermerlerinin üretildiği Şenler mermer ocağının Afyon menekşe ocağının genel görünümü.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Mermer Tanımı

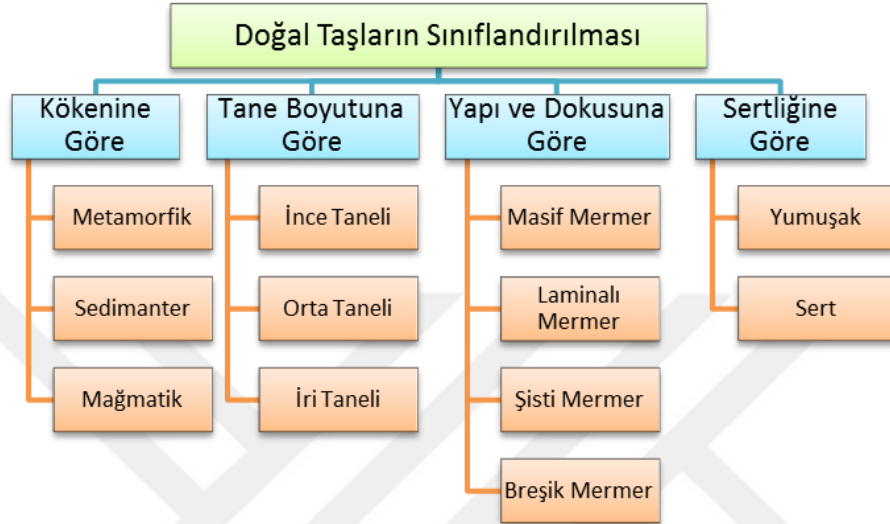
Mermerler saf karbonatlı kristalin kayalardır. Ocaktan ilk çıkarıldığında, fazla ilgi çekmeyen bu taşlar, değişik teknikler kullanılarak şekillendirilip işlendiğinde, yüksek albeniye sahip sanat eserlerine dönüşebilmektedir. Mermerler değişik tarihi dönemlerde arkeologlar, sanat tarihçileri, mimarlar ve restorasyoncuların oldukça ilgisini çekmiş, bu nedenle Bizans, Orta çağ ve Rönesans dönemine ait tarihi yapıtlarda oldukça fazla miktarda kullanılmıştır. Güzel renkli ve kendine has dokuya sahip mermerler, ülkemizde, özellikle Batı-Orta Anadolu Bölgesi'nde yaygın bir biçimde bulunmakta olup, bunlar içerisinde en önemlileri, Marmara Adası (Proconnesian), İskehisar (Dokimeion), Göktepe (Aphrodisian) ve Selçuk (Ephesian) bölgeleridir. Yunan, Roma Bizans ve daha sonraki dönemlerde bu bölgelerdeki ocaklardan çıkartılan mermerler çok geniş bir bölgede oldukça fazla miktarlarda kullanılmıştır.

Petrografik Tanım: Kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının sıcaklık ve basınç şartlarında metamorfizmaya maruz kalarak kristalleşen kayalara mermer denir. Mermerlerin içeriğinde kalsit dışında aksesuar mineral olarak tanımladığımız çok farklı mineral bulunabilmektedir. Bu minerallerden bazıları mermerlerin renk almasında doğrudan etki yapmaktadırlar. Özellikle metalik minerallerden mangan, demir titan bileşimindeki metalik mineraller mermerlerin çok farklı renklenmesine etki yapmaktadırlar.

Ticari Tanım: 312 sayılı maden kanuna göre ticari anlamda mermer; blok verebilen, cila alabilen kesilip parlatılabilen ve alım satımı yapılabilen her türlü kayalardır. Örneğin, granit, kumtaşı, kireçtaşı, traverten, andezit, bazalt, konglomera gibi kayalar bu tanım içinde mermer olarak tanımlanmaktadır (DPT, 2001). Ülkemiz Alp Himayala kuşağı içinde olduğundan bu kuşak üzerinde yer alan birçok ülkede özellikle Yugoslavya, İran, Pakistan ve Hindistan gibi ülkelerde geniş alan genellikle aynı yapıya sahip mermer yatakları bulunmaktadır (İnt. Kyn-1).

2.2 Doğaltaşların Sınıflandırılması

Doğal taşlar seçilen kısıtlara göre kökenlerine, tane boyutlarına, yapı ve dokularına, sertliklerine göre olmak üzere değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır (Kulaksız vd., 2012).



Şekil 2.1 Doğaltaş (Mermer) Sınıflaması (Kulaksız vd., 2012).

2.2.1 Metamorfik Kökenli Doğaltaşlar

Metamorfizmanın farklı dereceleri altında oluşan çok sayıda metamorfik kayaç çeşitli bulunmaktadır. Düşük, orta, yüksek ısı ve basınç şartları altında sırasıyla fillit, mermer, şist ve gnays gibi farklı metamorfik kayaçlar örnek verilebilir. Özellikle kristal yapısı belirgin gerçek mermerler genellikle 400 °C-500 °C lik sıcaklık altında ve 2kb -4kb basınç altında Yeşil şist fasiyesi olarak tanımlanan ortam koşulları altında oluşmaktadır. Bölgesel anlamda mermerler metamorfik masifler içinde geniş alanlarda şistlerin içinde mercer şeklinde oluşmaktadır. Batı Anadolu'da özellikle Menderes Masifi içerisinde Muğla, Uşak ve Afyonkarahisar bölgelerinde beyaz, gri ve koyu gri renkli mermer bulunmaktadır. Muğla bölgesinde Milas-Yatağan ve Kavaklıdere bölgelerinde Muğla beyaz, Muğla gri, Milas Leylak gibi isimlerle bilinen mermer çeşitleri bulunurken, Afyonkarahisar (İscehisar) bölgesinde Afyon beyaz, Afyon gri, Afyon kaplanpostu, Afyon menekşe mermer türlerinin üretimi yapılmaktadır. Uşak ili ve yakın çevresinde

Karahallı, Ulubey ve Sivaslı bölgelerinde Uşak beyazı ve gri ve yeşil renkli mermer üretilmektedir.

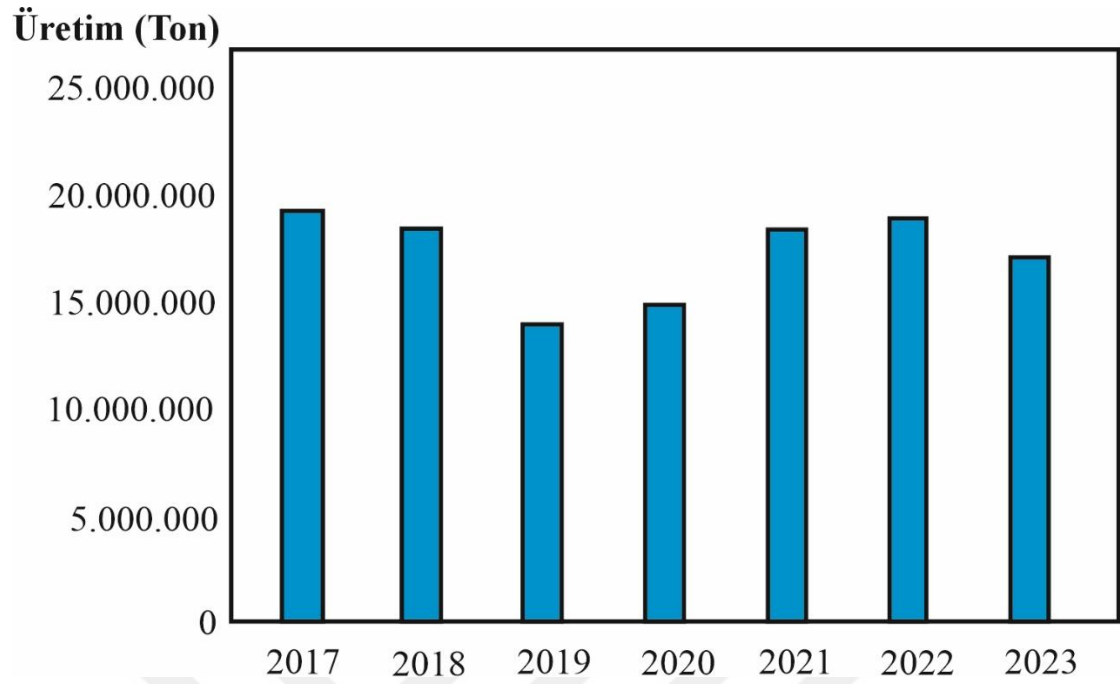
2.3 Doğaltaşların Kullanım Alanları

Doğal yapı taşları ve ebatlı mermerler genellikle inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Antik dönemlerde daha ziyade kutsal alanların yapımında kullanılması tercih edilmiştir. Özellikle kiliselerde, mabetlerde, tiyatro alanlarında kemer, köprü, sütun ve heykel yapımında kullanılmışlardır. Günümüzde genellikle zemin ve duvar kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Daha az oranda süs eşyası ve heykel yapımında tercih edilmektedir. Son yıllarda işleme teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle sulu kesim (Waterjet) ve CNC makinelerin kullanılması sayesinde mermerler dekoratif malzeme olarak işlenip kullanılmaktadır.

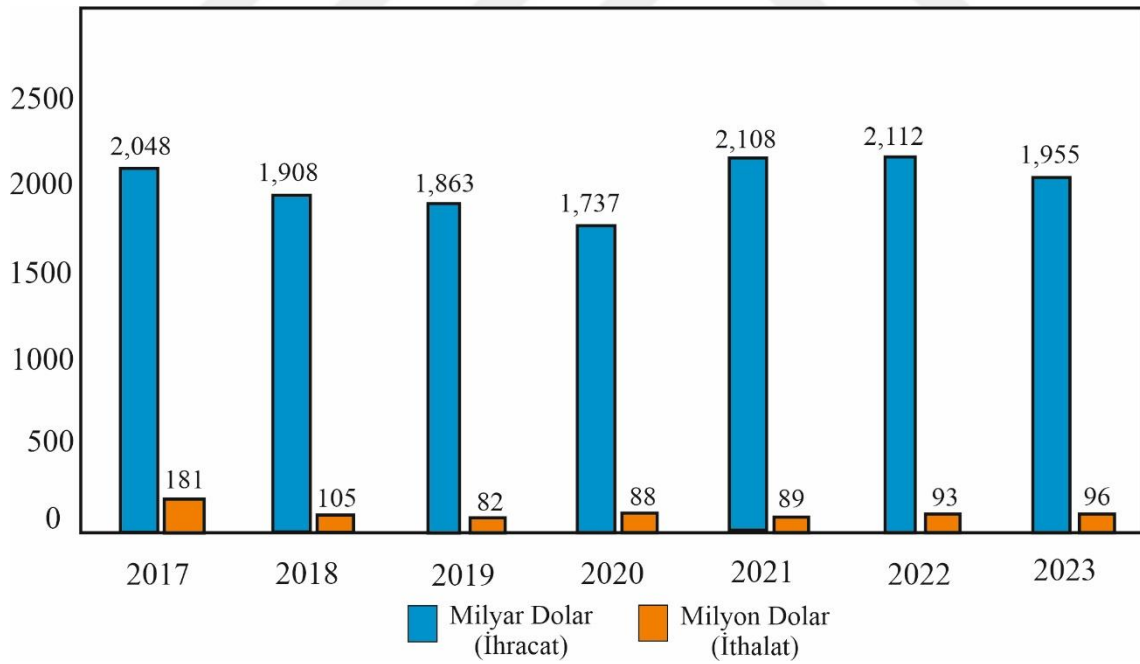
2.4 Türkiye Mermer Ekonomisi

Ülkemizde 2023 yılında 16,84 milyon ton doğal taş üretilmiş olup bunun %74,9'u mermer, %17,3'ü traverten, %2,1'si granit, %2,1'i bazalt, %1,7'i andezit, %1,1'si mozaik+kayrak vb. dekoratif taş, %0,4'ü ignimbirit, %0,1'i oniks, %0,04'ü yapıtaşları ve %0,02'si diyabazdır. Ülkemiz 2023 yılı doğal taş ihracat verileri incelendiğinde bir önceki yıla göre ihracatımız %7.43 azalırken, ithalatımız da %3,22 oranında artış göstermiştir. Bununla birlikte 2023 yılı doğal taş ihracatımız, toplam madencilik ihracatında %34 oranla ikinci sırada yer almaktadır (İnt Kyn-2) (Şekil 2.2; Şekil 2.3).

Dünya doğal taş ticareti potansiyelinin büyük bir kısmını oluşturan işlenmiş doğal taş ürünleri 2023 yılında doğal taş ihracatımızdan yaklaşık %46,3 pay alırken, blok ürünler ise %34,4 pay almıştır (İnt Kyn-2). 2023 yılında, doğal taş ihracatının yapıldığı ülkelerin başında 432,3 milyon dolarla Çin Halk Cumhuriyeti gelmektedir. Çin Halk Cumhuriyeti'ni sırasıyla 389 milyon USD ile ABD, 159,3 milyon USD ile Hindistan, 114,2 milyon USD ile Suudi Arabistan ve 104,2 milyon USD ile Irak izlemektedir.



Şekil 2.2 Türkiye 2017-2023 yılları arası Doğal Taş Üretim Değerleri (Ton) (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023).



Şekil 2.3 Türkiye 2017-2023 yılları arası Doğal Taş İhracat-İthalat Değerleri (Milyar Dolar) (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023).

2.5 Önceki Çalışmalar

Tolluoğlu vd. (1997), İscehisar mermeri hakkında yapmış oldukları Tübitak çalışması kapsamında bölgede yayılım sunan tüm kayaçları detaylı olarak incelemişlerdir. Özellikle İscehisar mermerleri ile ilgili olarak mermerleri alt, orta ve üst birim olmak üzere üç birime ayırmışlardır.

Kuşçu vd. (2001), Yaptıkları araştırmalarda mermer ocakları ve mermer fabrikaları modern teknolojiye maksimum seviyede yararlanmaları gerektikleri ve Mermerciliğin önünde büyük sorunlar yaradan mevzuatın acilen yeniden düzenlenmeye yapılmasının önemini vurgulamışlardır. Ocak ve fabrikaların bilimsel, tekniğe dayalı profesyonel ekipler tarafından oluşturulmalı, üniversite-sanayi iş birliği yapılmalıdır.

Kibici vd. (2001), Yaptıkları projelerde elde ettikleri sonuçlara göre Büyük Karabağ ve çevresinde yaklaşık 45km² lik bir alanda yayılım gösteren beyaz, gri, koyu gri renkli mermerlerin bulunduğunu belirlemişlerdir. Büyük Karabağ Mermerlerinin jeolojik özellikleri ve fiziko-mekanik özelliklerinin iyi derecede olması nedeniyle gelecekte Afyon - İscehisar mermerlerine alternatif olabilecek yeni bir mermer sahası olabileceğini belirtmişlerdir.

Kuşçu ve Bağcı (2003), Afyon-İscehisar bölgesinde açık ve kapalı olan yaklaşık 33 adet mermer ocak işletmesi faaliyet göstermekte olup bunların yıllık blok mermer üretimleri Türkiye blok mermer üretiminin % 12 'sini karşılamaktadır. Afyon bölgesinde toplam 202 adet mermer fabrikası faaliyet göstermekte olup, bunların yıllık plaka mermer üretim değerleri 11.525.080 m² 'dir. Bu değer Türkiye plaka mermer üretiminin % 19 'unu karşılamaktadır.

Yavuz (2001, 2003), Doktora çalışması kapsamında Menderes masifi mermerlerinin blok üretim kapasitesi etkileyen jeolojik parametreleri incelemiştir. Buna göre birincil ve ikincil jeolojik parametreler olmak üzere 2 grup altında değerlendirmiştir. Mermer ocaklarında gözlenen ve blok boyutlarını sınırlayan süreksizlik düzlemleri 1 grupta, kapalı-kılcal süreksizlik düzlemlerinin kayaç içerisinde renk, doku ve yapısında gözlenen değişiklikler

ve desen morfolojisini etkileyen dolomitik zonlar, kalsit-zımpara bant ve merceklerini 2 grupta değerlendirmiştir.

Candan ve etinkaplan (2005), Afyon Bölgesi'ndeki Alt Triyas yaşlı kuvars meta-konglomeralar ve filitlerde “Fe-Mg-karpolit – klorotoid – profillit” grubunun yaygın olarak ortaya çıkışı, bu birimlerin yaklaşık 35 km derinliğe gömüldüğünü ve mavişist altında HP / LT metamorfizma şartlarında oluştukları belirtmektedirler.

Bağcı (2020), İşcehisar mermer çeşitlerinin detaylı mineralojik petrografik ve jeokimyasal yönde çalışmalar yapmıştır. Bu alışma sonuçlarına göre İşcehisar mermerlerini kalsitik, geçiş ve dolomitik seviye mermerleri olarak 3 grupta incelemiştir.

3. MATERYAL VE METOT

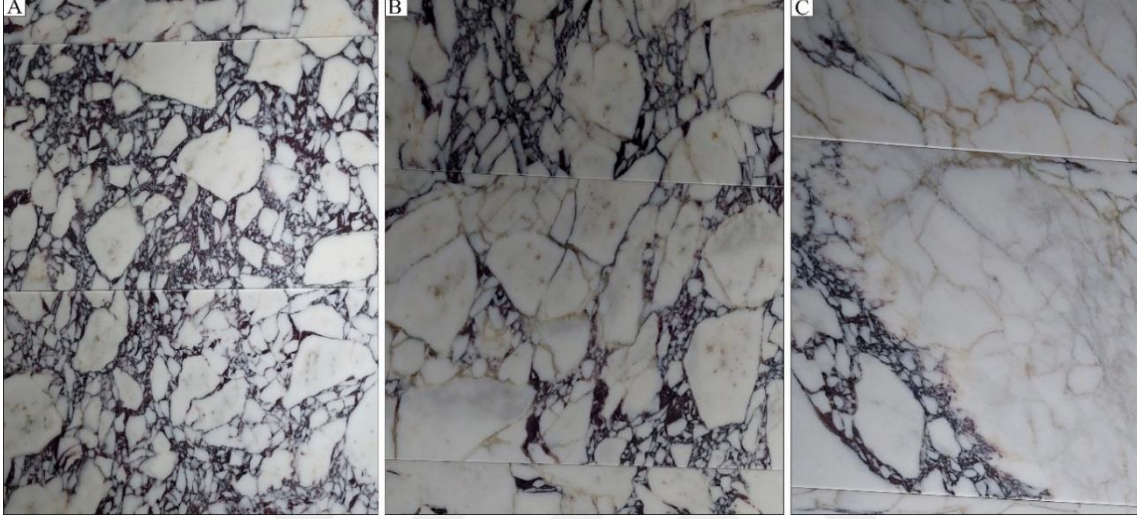
3.1 Deney Numunelerinin Temini ve Hazırlanması

İscehisar mermerleri gri, koyu gri, beyaz ve menekşe renklerinde orta- kalın tabakalı olan mermerler, stratigrafik olarak Afyon metamorfikleri içinde mercek şeklinde bulunmaktadır. İscehisar ilçe merkezinin yaklaşık 1,6 km güneyinde Avşar deresi ve Bahçeçik köy yolu üzerinde 5 km² 'lık bir alanda yayılım sunmaktadırlar. Çalışmanın ana konusunu oluşturan menekşe mermerleri İscehisar mermerlerinin üst birimleri içinde bulunmaktadır. Afyon Menekşe mermerlerinin jeolojik, mineralojik, petrografik özelliklerinin belirlenmesi için bölgede üretim yapan Şenler Mermer ocak işletmesindeki basamak ve ocak aynalarından farklı renk ve dokusal özellikler sunan türlerinden laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere toplam 12 adet örnek alınmıştır (Şekil 3.1). Plaka halinde alınan örnekler öncelikle karelaj ağlarına bölünerek, kare şeklinde parçalara ayrılmış, daha sonra bu parçalar renk ve dokusal özelliklerine göre alt gruplara bölünmüştür (Şekil 3.2). Örnekler çeneli kırıcıda kırılmıştır. Kırılan parçalardan elle ayıklama (tavuklama, triyaj) yapılarak, damarlı parçalar ile beyaz matriks içeren kısımların ayrılması sağlanmıştır (Çizelge 3.1).

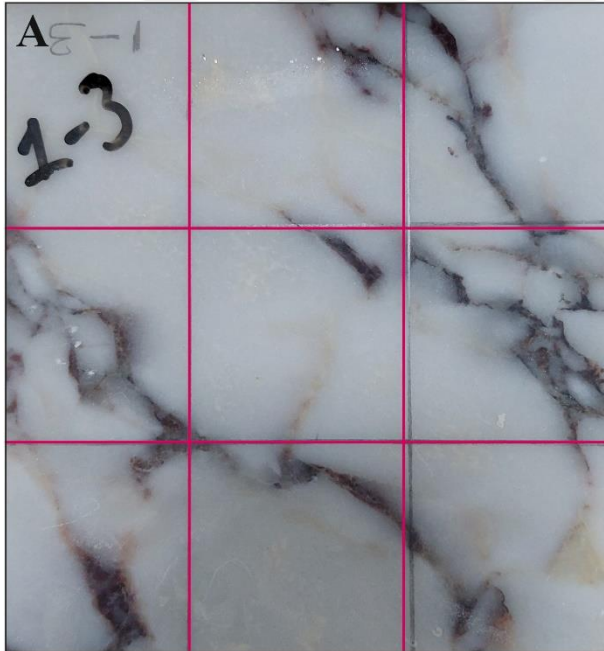
Çizelge 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan menekşe mermer örnekleri ve özellikleri.

No	Kodu	Numune Adı	Özellikleri
1	AFVB-1	Afyon menekşe matriks beyaz	
2	AFVB-2	Afyon menekşe matriks beyaz	İnce damarlı, mor renkli sık breşik
3	AFVD-1	Afyon menekşe damarlı	yapılı ve matriks beyaz
4	AFVD-2	Afyon menekşe damarlı	
5	ARGB-1	Argento menekşe matriks beyaz	Gri zemin üzerinde mor renkli İnce
6	ARGB-2	Argento menekşe matriks beyaz	damarlı, breşik yapılı ve breş
7	ARGD-1	Argento menekşe damarlı	yapılarının boyutları 1. gruba göre
8	ARGD-2	Argento menekşe damarlı	daha büyük
9	SVB-1	Sugar menekşe matriks beyaz	Sarı beyaz zemin üzerinde gri ve mor
10	SVB-2	Sugar menekşe matriks beyaz	renkli ince damarlı. Bu grup
11	SVD-1	Sugar menekşe damalı	mermerlerde gözlenen breşlerin
12	SVD-2	Sugar menekşe damarlı	boyutları diğer 2 gruba göre daha büyüktür

Bu şekilde farklı mermer örnekleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarında bulunan halkalı değirmende 3 dakika süre ile 10 – 40 mikron boyutuna getirilmiş ve tüm örnekler mineralojik ve jeokimyasal analizlerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan Afyon menekşe mermer türlerinin genel görünüşleri
a) Afyon menekşe (AFV) b) Argento menekşe (ARG) c) Sugar menekşe (SV) mermer türleri.



Şekil 3.2 a) Afyon menekşe mermer örneklerinin hazırlamasında karelaj ağların oluşturulması, b) Karelaj ağlara bölünmüş mermerlerin kesim işlemi.

3.2 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

3.2.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

Polarizan mikroskop ile mineralojik ve petrografik özelliklerin incelenmesi öncesinde menekşe mermer numunelerden TS EN 12407 (2019) standardına uygun olarak ince kesitler hazırlanmıştır. Afyon menekşe mermer serilerinden alınmış örneklerden ince kesit yapılmak üzere 30x40x50 mm boyutlarında ve her seriden en az üç adet olacak şekilde Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan mini yan kesme makinası yardımıyla tüm örneklerden ince kesitler hazırlanmıştır. Tüm menekşe mermer örnekleri Nikon marka Eclipse 2V100POL model polarizan mikroskop altında petrografik incelemeleri yapılmıştır (Resim 3.1). Bu kapsamda ince kesit görüntüleri üzerinden minerallerin tanımlanması, tane boyut ölçümleri (minimum, maksimum ve ortalama tane boyutu ve mikro fotoğrafları alınmıştır.



Resim 3.1 Nikon Marka Eclipse 2V100POL model mikroskop

3.2.2 X-Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri

Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümüne ait çeneli kırıcıda örnekler kırıldıktan sonra tüm örnekler Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarında bulunan Halkalı değirmen yardımıyla öğütülerek 100 mikronluk elek altına geçen numunelerden deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri XRD analiz yöntemi ile mineralojik özelliklerinin incelenmesi için çalışma yapılan 3 farklı seriden oluşan Afyon menekşe mermer örneklerini temsil edecek şekilde her seriden 20 gr olmak üzere 3 adet öğütülmüş deney numuneleri hazırlanmıştır. XRD çalışmaları, A.K.Ü Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM)'nde Shimadzu XRD-6000 model X-ışını difraktometre cihazı (Ni filtreli, CuK α radyasyonlu) kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde 40 kV (voltaj) ve 30 mA (akım) difraksiyon değerleri seçilmiş ve numuneler 2°/dak.'da taranarak 2°-70° (2 α) goniometre kırınım açısı aralığında analiz edilmiştir (Resim 3.2).

3.2.3 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri

Mermer örneklerinin yapısal özellikleri ve boşluk oranları ile ilgili değişimlerin incelemeleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM+EDX) incelemeleri yapılmıştır. SEM çalışmalarında AKÜ Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkez (TUAM) Müdürlüğü'ndeki LEO1430 VP-1431 model taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. SEM cihazı W (Tungsten) filament ile çalışmaktadır. Cihaz üzerinde ikincil elektron (secondary electron), geri yansıyan elektron (backscattered electron) ve X ışınları (EDX-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) detektörü bulunmaktadır. Cihaz görüntü üzerinde nokta, çizgi, alan ve haritalama yöntemleri ile kalitatif ve semi-kantitatif olarak analizleri yapabilmektedir (Resim 3.3). Taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemelerinde örneklerin detaylı morfolojileri belirlenmiş ve belirlenen bu alanların görüntüleri çekilmiştir. Aynı şekilde belirlenen spektrum noktaları üzerinde ise hem nokta analizleri (EDX) hem de mineral tanımlamaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda sadece menekşe damarlı örnek serileri kullanılmıştır.



Resim 3.2 XRD incelemelerinde kullanılan Shimadzu XRD-6000 model X-ışını difraktometre cihazı.



Resim 3.3 LEO 1430 VP model SEM cihazı

3.3 Jeokimyasal Analizler

3.3.1 Ana, İz ve Nadir Toprak Element Analizleri

Jeokimyasal incelemeler için alınan mermer örnekleri öğütüldükten sonra yaklaşık 90 mikron boyutunda elekten geçirilip; analizlerin yapılabilmesi için, 50 gramı ayrılmıştır. Öğütülen örnekler Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz laboratuvarı (DAL) Rigaku marka XRF cihazı ile majör oksit analizleri yapılmıştır (Resim 3.4). Cihazın çalışma prensibi şu şekilde olmaktadır. Atom X ışınları gibi yüksek enerjili bir radyasyonla uyarılırsa, bu yüksek enerji girişi yakın yörüngelerdeki elektronları daha yüksek enerji düzeyine çıkarır. Uyarılan elektronlar ilk enerji düzeylerine döndüklerinde kazanmış oldukları fazla enerjiyi dalga boyu 0,1-50 Å olan X ışınları şeklinde geri verirler. Bu ikincil X ışınları yayımına floresans ışıma adı verilir. Elementlerin verdiği bu ışımların dalga boyu her element için farklı ve ayırtmandır. Diğer bir ifadeyle bu ışımlar o elementin parmak izi gibidir. Işımanın dalga boyunun saptanmasıyla elementin cinsi (nitel), saptanan bu ışının yoğunluğunun ölçülmesiyle element konsantrasyonu (nicel) belirlenmektedir.

İz ve nadir toprak element (NTE) analizleri için Ortadoğu Teknik Üniversitesi Laboratuvarında Perkin Elmer Optima marka 4300 DVOES model ICP OES cihazında yaptırılmıştır (Resim 3.5). Analizlerde yaklaşık 0,50 gram ağırlığındaki öğütülmüş örneklerden 3 ml lik HCL-HNO₃ –H₂O çözeltisinden hazırlanan karışım 95 °C de yaklaşık 1 saat işleme tabi tutulup 10 ml'ye tamamlanmakta ve en son olarak filtreleme yapılarak örnek işleme hazır hale getirilmektedir. Cihazın çalışma prensibi şu şekildedir. Endüktif Eşleşmiş Plazma (ICP), düşük derişimdeki elementlerin ölçüldüğü bir analitik tekniktir. Örnek, 6000°-10000°K sıcaklığındaki argon plazmaya gönderilir. Plazma içinde moleküler bağlar kırılır, atom ve iyonlar oluşur. Bu oluşan atom ve iyonlar plazma içinde uyarıldıktan sonra karakteristik dalga boylarında ışıyım yaparak tekrar eski enerji seviyelerine dönerler. Emisyon sinyalleri Echelle polikromatör ve S-CCD (yükten bağılaşımly aygıt) dizilim detektör sistemiyle ölçülmektedir. Gözlenebilme sınırları µg/L düzeyindedir.



Resim 3.4 Rigaku marka Zsx Primus II model XRF cihazı.



Resim 3.5 Perkin Elmer ICP-OES Optima 4300 DV ICP-OES cihazı.

3.3.2 İzotop Analizleri

Mermer numunelerinin izotop analizleri Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) MERLAB Laboratuvarlarında bulunan $\delta_{13}\text{C}$ ve $\delta_{18}\text{O}$ izotop oranı tayini deneyi Gas Bench-Continuous Flow Isotope Ratio Mass Spectrometry (*DeltaPlus XP Isotope Ratio Mass Spectrometer - ThermoFinnigan*) tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Resim 3.5). Mermer numuneleri, 0.2-0.6 mg arasında hassas terazide tartılıp numune haznelere yerleştirilmiştir. Her numune Ortho-Phosphoric acid - 99% (MERCK) (yaklaşık 0.1 ml) ile yaklaşık 70°C’de tutulan otomatik örnekleyici tablada bir süre (yaklaşık iki saat) tepkimeye bırakılmıştır. Bu tepkime sonucu açığa çıkan CO_2 gazı, Gas Bench ara birimi tarafından saflaştırıldıktan sonra kütle spektrometresine izotoplarına ayrılması için yollanmaktadır. CO_2 gazına ait iyon oranları *ISODAT software* tarafından ham izotopik oranlara dönüştürülmektedir. Analizlerde ana standart olarak “NBS19 Limestone (NIST)” ($\delta_{13}\text{C}$: 1.95 ‰ ve $\delta_{18}\text{O}$: -2.20 ‰) standardı numuneler ile birlikte her deney setinde analiz edilmiş ve cihaz tarafından belirlenen numunelere ait ham izotop oranların gerçek izotopik değerlere dönüştürülmesinde kullanılmıştır. Sonuçlar *permil – ‰* cinsinden VPDB’ ye (Vienna Pee Dee Belemnite) göre belirlenmektedir. $\delta_{13}\text{C}$ ve $\delta_{18}\text{O}$ izotop oranlarına ilişkin 1 σ hata payları 0.2 ‰’ i aşmamaktadır.



Resim 3.6 Delta Plus XP Marka Kütle Spektrometresi.

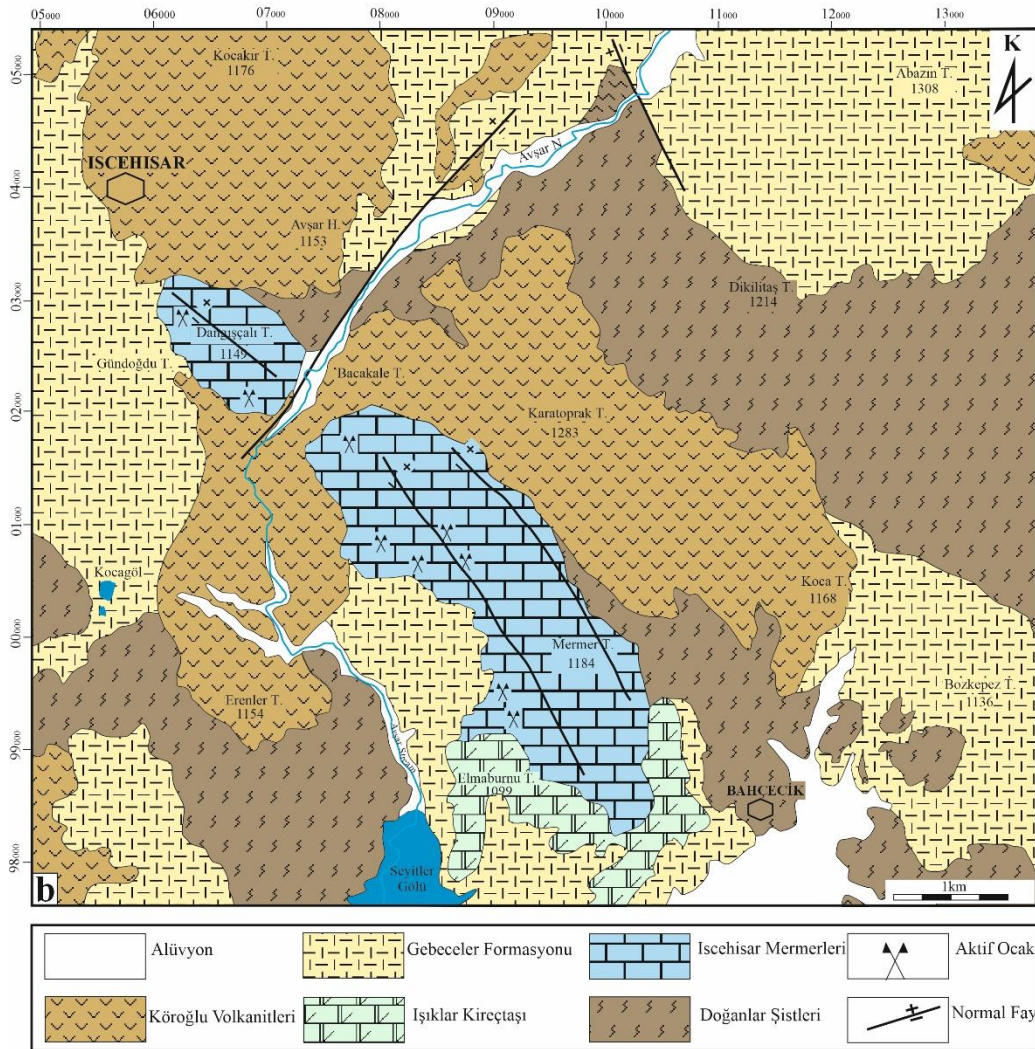
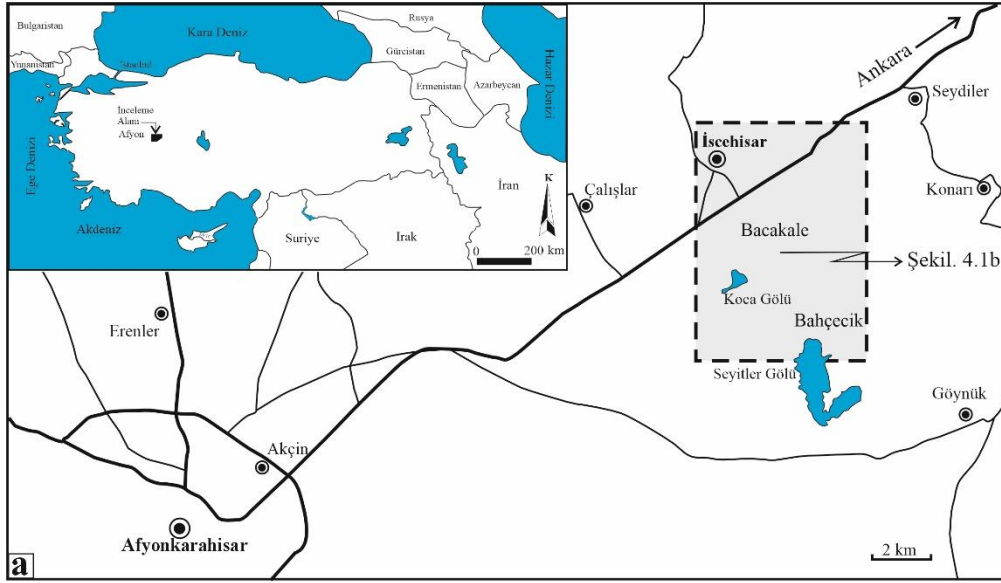
4. BULGULAR

4.1 İnceleme Alanı Jeolojisi

Çalışma alanında mostra veren Afyon mermerleri İscehisar İlçesinin 1km GD'sundan başlamakta ve Paleozoyik yaşlı mikaşist, fillit, kuvarsit gibi az metamorfizmaya uğramış yeşil şist fasiyesindeki kayalar içerisinde iki mercek şeklinde bulunmaktadır. Mermerler içinde farklı kalınlıklarda klorit-serizit şist mercekleri görülür. Bacakale olarak isimlendirilen büyük mercek, İscehisar-Bahçecik Köyü arasındaki büyük mercek 4,5 km²' lik, bir alanda yayılım göstermektedir. Dağıtıcı mercek ise küçük mercek 0.7 km²' lik alan kaplamaktadır. Kalınlıkları ise 50-250m arasında değişmektedir. Buradaki mermerlerin uzanımları KB-GD doğrultusunda, eğimler ise 30°- 0° ile KD' yadır. Bölgedeki mermerler değişik renk özelliği sunmaktadır. Bölgenin en yaşlı kayaları şist ve kuvarsit ve mermerlerden oluşan Afyon metamorfikleridir. Doğanlar şistleri, İscehisar mermerleri, Işıklar kireçtaşı, Seydiler tuf ve aglomerası, Köroğlu volkanitleri ve alüvyon bulunmaktadır.

Çalışma alanında en yaşlı Doğanlar şistleridir. İscehisar mermerleri iki mercek halinde Dağıtıcı ve Mermer Tepe bölgelerinde yüzlek verir. Işıklar Kireçtaşı birimi çalışma alanının güneyinde Elmacık tepe bölgesinde yüzlek vermektedir. Çalışma alanında yaygın olarak bulunan Gebeceler Formasyonu Neojen yaşlıdır (Metin vd., 1987; Erkan vd., 1996). Köroğlu volkanitlerinden bazalt türü volkanik kayalar Karatoprak, Koca, Erenler, Avşar, Şarap, Kocaçakır ve Büyükyokuş tepeleri ve İscehisar ilçe merkezi civarından yüzlek vermektedir. Alüvyon ise Kuvaterner yaşlı olup en genç birimdir (Şekil 4.1, Şekil 4.2).

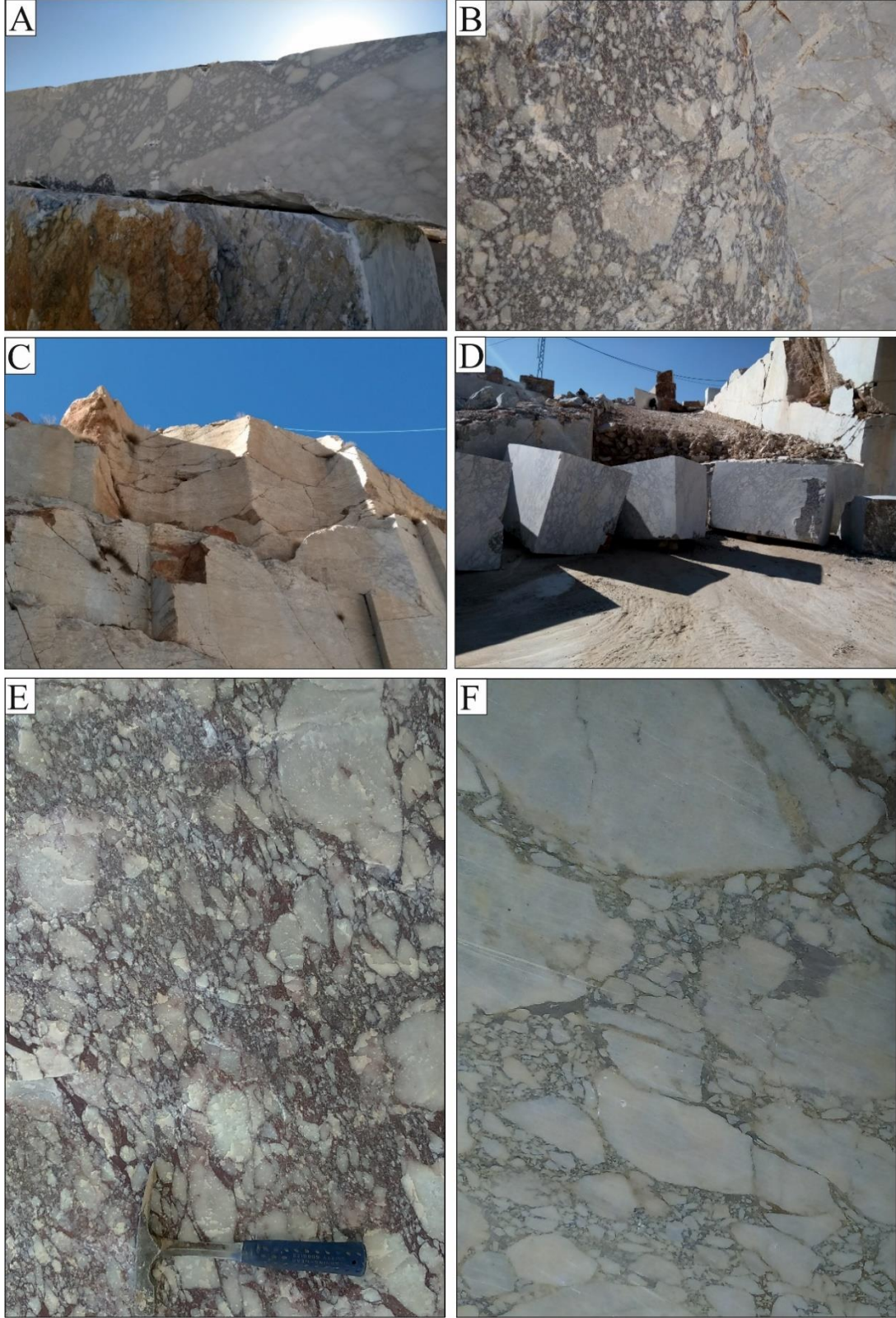
Doğanlar Şistleri: Afyon Metasedimanter Gurubu içinde temeli oluşturan litoloji topluluğudur. Killi, killi-kumlu, kumlu litolojilerin yanal ve düşey mineralojik geçiş gösterdiği metamorfik türevler alt kesiminde albit bakımından zengin muskovit / mika – şistlerle temsil edilmektedir (Erkan vd., 1996).



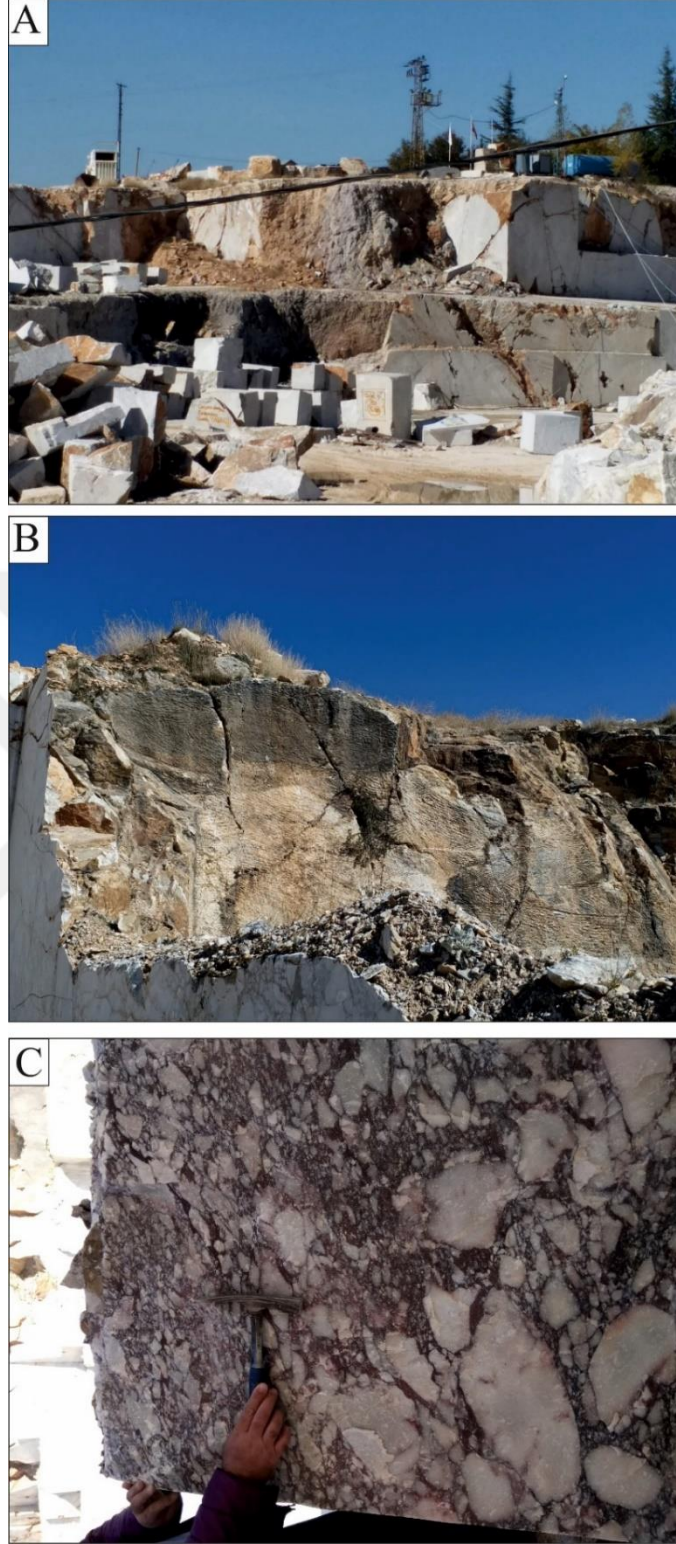
Şekil 4.1 a) İnceleme alanının yerbulduru haritası b) İnceleme alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası.

Sistem	Seri	Formasyon	kalınlık(m).	Litoloji	Açıklamalar
Kuvaterner					Alüvyon (Çakıl, Kum, silt) <i>Uyumsuzluk</i>
Neojen	Pliyosen	Köroğlu Volkanikleri	0-25		Sedimanlar çeşitli kuvars ve opal çakılları, kum, silt ve kilden oluşmaktadır. <i>Uyumsuzluk</i>
	Miyosen	Gebeceler Formasyonu	100		Volkanik tuf, aglomera, andezit ve bazaltlavlar. Tüfler koyu renkli, yassı, uzunlamasına,merceksi pomza parçalarıyla (Fiamme yapısı) <i>Uyumsuzluk</i>
		Işıklar Kireçtaşı	25		Konglomeralar ve kireçtaşları. Konglomeralar kaba mermer çakıllarından oluşur.Üst seviyelerde, kuvars çakılları mermer çakıllarıyla değiştirilir.
	Devoniyen		260		<i>Discordans</i> Farklı renk ve dokularda, kalın tabakalı, breş dokulu, klorit şist bantlı mermerlerin birçok türü vardır. Şeker, bal, kaplan postu, gri ve menekşe mermer gibi.
Paleozoyik		Kambriyen	Doğanlar Sist	650	Küçük merccekler şeklinde, şistosit düzlemleri arasında beyaz ve açık mor renkli kuvars bulunur. Klorit-muskovit-kuvars şistleri içerir. masif, sert kuvarsitler yeşil renktedir.

Şekil 4.2 İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti.



Şekil 4.3 Şenler Mermer Ocak İşletmesinde üretimi yapılan Afyon menekşe mermer seviyeleri (a-b), Afyon menekşe antik ocağında gözlenen üretim seviyeleri, (d-f), Afyon menekşe mermer blokları (e-f), Afyon menekşe mermer seviyeleri.



Şekil 4.4 a) Şenler Mermer Ocağında mermer- şist dokanak ilişkisi, b)Şenler Mermer Ocak yakınında eski Roma döneminde işletilmiş antik ocak işletmesi, c) Şenler Mermer ocağında Menekşe mermer blok üzerinde gözlenen breş yapıları.

İscehisar Mermeri: Genel olarak beyaz, sarı, gri, menekşe vb. renk tonlarında gözlenen mermerler kaba-orta foliasyon düzlemlerine sahiptir. Masif ve homojen bir yapıya sahip oldukları için yoğun bir şekilde kırıklı ve çatlaklı yapılar gelişmiştir. İscehisar Mermerlerinde alttan üstte üç farklı litolojik birim ayırtlanmıştır (Şekil 4.3). Alt seviyede koyu ve açık gri renk tonunda gözlenir. Orta seviyede ince taneli beyaz, sarımsı beyaz renk tonu sergiler. Üst seviyelerde ise mor, menekşe renklere sahip mermer örnekleri yer alır (Erkan vd., 1996). Şenler mermer ocağında yaygın olarak gözlenen Afyon menekşe renkli mermerler, mor, yeşil, sarı ve menekşe renklerinin hakim olduğu renkler görülmektedir. Menekşe renkli mermerlerde koyu renkli seviyelerde mika mineralleri yoğunken, açık renkli seviyelerde kalsit oldukça belirgindir. Bu mermerlerde breşik doku yaygın olarak görülmektedir (Şekil 4.4). İscehisar bölgesinde üretimi yapılan mermer türleri sırasıyla kaplanpostu, gri, beyaz ve menekşe olarak bilinen mermer çeşitleri yer almaktadır. Bu yapılan tez çalışmasının konusunu menekşe renkli mermerler oluşturmaktadır. Menekşe renkli mermerler tüm mermer istifinin en üst birimini oluşturmaktadır. Menekşe renkli mermerlerde renk mor, yeşil, sarı ve kırmızı gibi oldukça fazla renk skalası gösteren mermerlerde breşik yapı ve çok ince damarlı olan kesimleri mevcuttur. Antik dönemlerde menekşe mermerleri oldukça değerli bir mermer türü olarak görülmüştür. Yapılan arazi çalışmalarında menekşe renkli mermerler genellikle mor, soluk yeşil ve yeşilimsi sarı renk tonlarında gözlenmektedir.

Yapılan detaylı arazi ve laboratuvar çalışmalarında menekşe mermerleri 3 gruba ayrılmıştır. i) Mor renkli sık breşik yapı gösterenler 1.grup olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1a). ii) İnce damarlı, breşik yapı ve breş yapılarının boyutları 1. gruba göre daha büyük görülen mermerlerde gri zemin üzerinde mor renkli damarlar gözlenen bu çeşidi 2. grup olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1b). iii) son olarak 3. grup olarak mermerler ise sarı beyaz zemin üzerinde gri ve mor renkli ince damarlar gözlenmektedir. Bu grup mermerlerde gözlenen breşlerin boyutları diğer 2 gruba göre daha büyüktür (Şekil 3.1c). i) Afyon menekşe (AFV), ii) Argento menekşe (ARG) ve iii) Sugar menekşe (SV) isimleri verilmiştir. Şenler Mermer işletmesi tarafından bu isimler ticari isim olarak kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında bu adlandırmalar aynı şekilde kullanılmıştır.

Işıklar Kireçtaşı: Yaklaşık 10 derecelik eğimli orta kalınlıkta tabakalanma göstermektedir. Gri, beyaz renklere sahiptir. Makro fosil içeriği fazladır. Tipik olarak *Valvulina* sp., *Cornubla* sp. Fosilleri Orta-Üst Jura yaşını vermektedir. Litolojik özellikleri ve faunaya göre, birimin şelf ortamında çökelindiği söylenebilir (Erkan vd., 1996).

Gebeceler Formasyonu: Birim çoğunlukla tüf ve aglomeradan oluşmaktadır. Aydar ve ark. (1998) birim içinde gözlemledikleri işlenmiş tüfler nedeni ile birimin iki evrede oluştuğunu belirterek, birimi Alt Seydiler tüf, aglomerası ve Üst Seydiler tüf, aglomerası şeklinde incelemişlerdir. Birim genellikle pekişmemiş veya zayıf pekişmiş olarak izlenmesine rağmen, pekişmiş bölümler kaldera çevresini oluşturan Alt Seydiler tüf, aglomerası üst seviyelerinde gözlemlenmektedir. Alt Seydiler tüf, aglomerası soğuma sütunları iyi gelişmiştir. Alt Seydiler tüf, aglomerası pekişmemiş kesimleri beyaz ve gri renklerde izlenirken, pekişmiş bölümler ise sarı ve kırmızımsı tonlarda görülmektedir. Vitrik tüfler içinde volkanik camlar yoğun olarak gözlenmekte olup, bunlar pümis ve volkan camı kıymıkları şeklindedir. Birim içinde az miktarda gözlenen kristaller kuvars, polisentetik ikizlenme ve zonlanma gösteren feldispat ve kloritleşmiş biyotit şeklindedir (Şahin ve Ünlügenç, 2014).

Köroğlu Volkanitleri: Başlıca alkali bazalt, bazalt, trakit ve andezitlerden oluşan birim adını Köroğlu Tepesinden almaktadır. Köroğlu volkanitleri içinde izlenen bazaltlar siyah, koyu gri renkli, Fe'ce zengin kesimlerinde kızılımsı rengiyle ayırt edilmektedir. Birim sağlam-dayanımlı olup, gaz boşlukları içermektedir (Şahin ve Ünlügenç, 2014). Çalışma alanında Köroğlu Volkanitleri içerisinde siyah, koyu gri renkli bazaltlara rastlanılmıştır (Şekil 4. 5).

Alüvyon: Çalışma alanında Güneyinde yaygın olarak gözlenen alüvyon birim en genç birim olup Avşar Deresi yatağında ayrıca bölgede bulunan Avşar, İscehisar, Ortaklar dereleri ve diğer derelerin toplandığı kısımlarda yaygın olarak gözlenmektedir. Bu dereler Şeyitler Barajını beslemektedir.



Şekil 4.5 İnceleme alanında yüzlek veren bazaltların genel görünümü (Avşar Deresi kuzeydoğusu).

4.2 Parmak İzi Çalışma Sonuçları

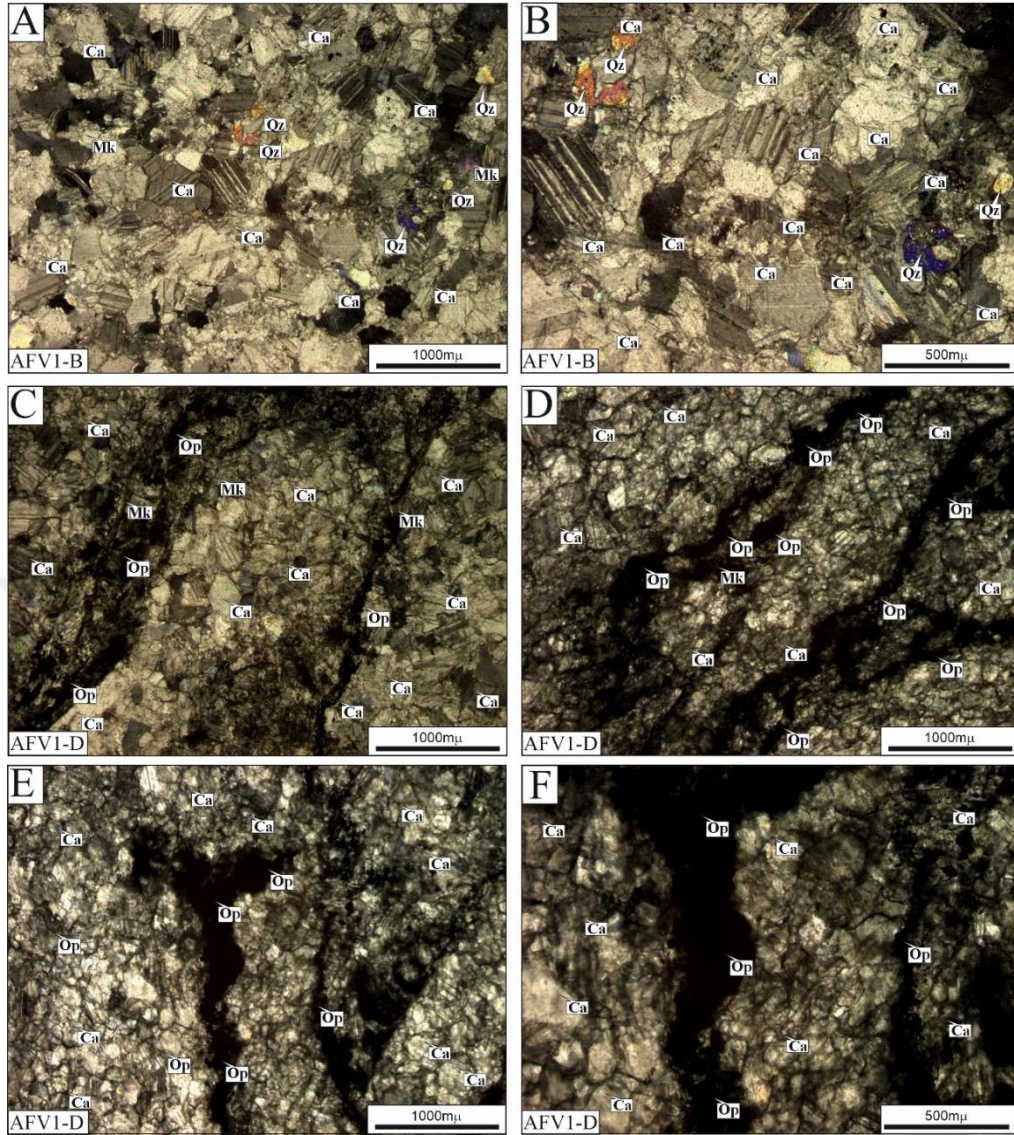
4.2.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

Yapılan laboratuvar çalışmalarında toplam 12 adet menekşe mermer örneği kullanılmıştır. Menekşe renkli mermerlerde gözlenen breş yapıları değişkenlik göstermekte olup breşlerin büyüklükleri 3 ile 35 cm arasında değişim göstermektedir. Tüm menekşe renkli mermer örneklerinin ana bileşenini kalsit minerali oluşturmaktadır. Kalsit mineralinin dışında daha az oranda dolomit, kuvars ve farklı mika grubu mineraller oluşturmaktadır. Özellikle damar yapısının fazla gözlendiği menekşe mermerlerinde mika minerallerinin varlığı artmaktadır. Kalsit kristallerinde polisentetik ikizlenme çok fazla görülmektedir. Kalsit tanelerinde ayrışma izleri çok az oranda görülmektedir (Şekil 4.6a, 6b).

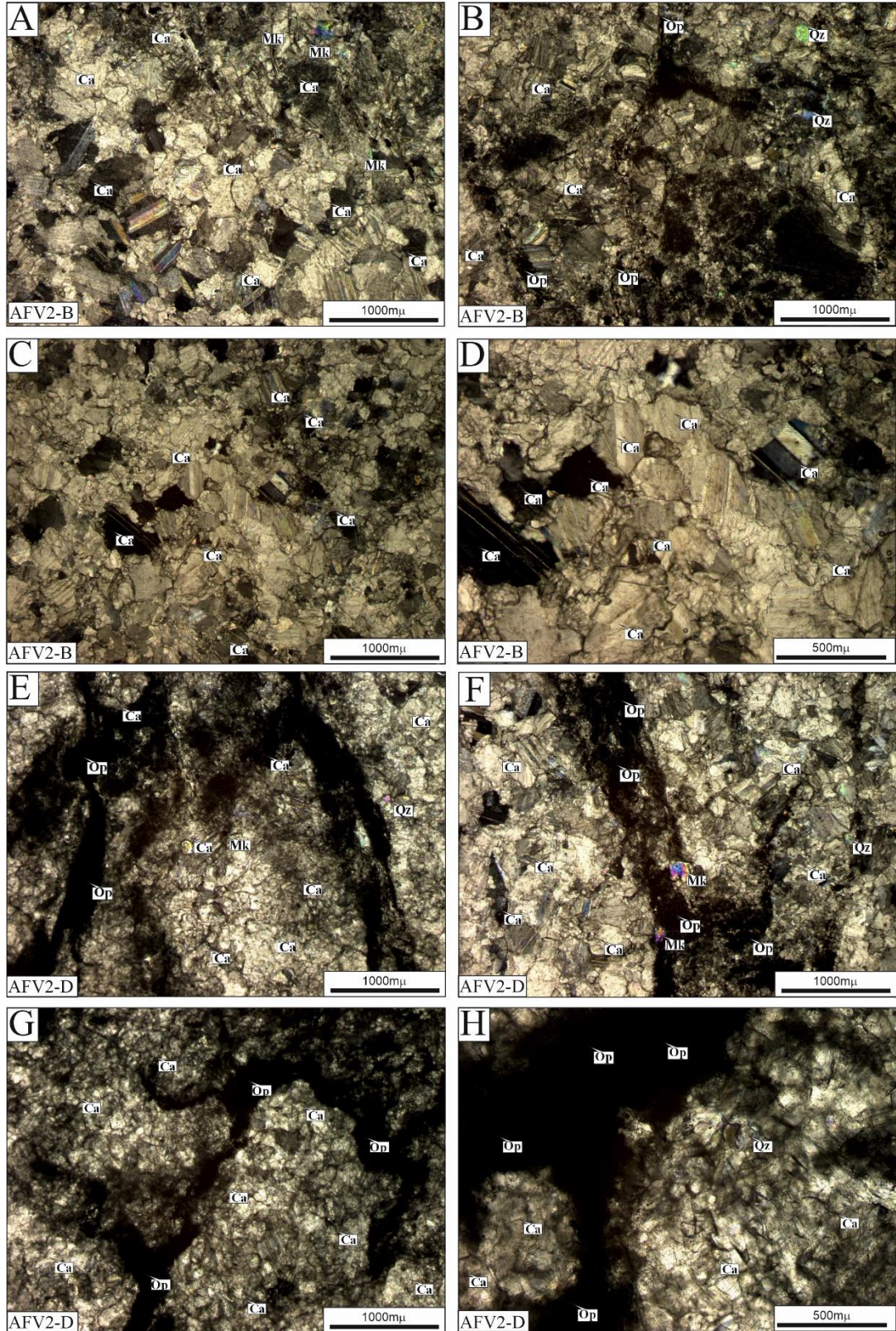
Afyon Menekşe (AFV): Afyon menekşe (AFV) mermerleri mor renkli sık breşik yapıya sahiptir. Afyon menekşe mermerleri kendi içinde 2 ayrı seleksiyona ayrılmıştır. Bunlar sırasıyla matriks beyaz renk hakim olan ve mor damar yapısı belirgin (AFVD) menekşe mermerleridir. Afyon menekşe matriks beyaz renkli mermerlerde (AFVB) kalsit minerali hakimdir (Şekil 4.6 a,b; Şekil 4.7 a,b). Daha az oranda mermerlerde kuvars ve mika mineralleri belirlenmiştir. Ayrıca mermerlerin bazı kesimlerinde çok ince çatlakların içi kısımlarına opak minerallerin yerleştiği gözlenmiştir. Afyon menekşe ince damarlı (AFVD) ve breşik yapı belirgin olan bu mermerlerde kalsit ana mineraldir. Bunun dışında mermerlerde gözlenen mikro çatlaklara opak mineral yerleşmiştir (Şekil 4.6 c-f; Şekil 4.7 e-h).

Argento Menekşe (ARG): İnce damarlı, breşik yapı ve breş yapılarının boyutları Afyon menekşe (AFV) çeşidine göre daha büyük gözlenen mermerlerde gri renkli matriks içerisinde mor renkli damarlar daha belirgindir. Argento menekşe mermer türünde matriks beyaz renkli olup, breşik kısımların boyutları değişkenlik göstermektedir. Breş boyutları Afyon menekşe türüne göre daha büyüktür. Argento menekşe mermerlerinde matriks beyaz renk yoğun olan (ARGB) türlerinde ana bileşen kalsit mineralidir (Şekil 4.8 g-h; Şekil 4.9 a-b). Argento damarlı türlerinde ise ince damarlar ve breşik yapı belirgindir. ARGD mermerlerin ince kesit incelemelerinde ana bileşen kalsit olmakla beraber kılcal damarlar içerisinde opak mineral, biyotit + muskovit mineralleri ve az oranda kuvars minerali belirlenmiştir (Şekil 4.8 a-f; şekil 4.9 c-h).

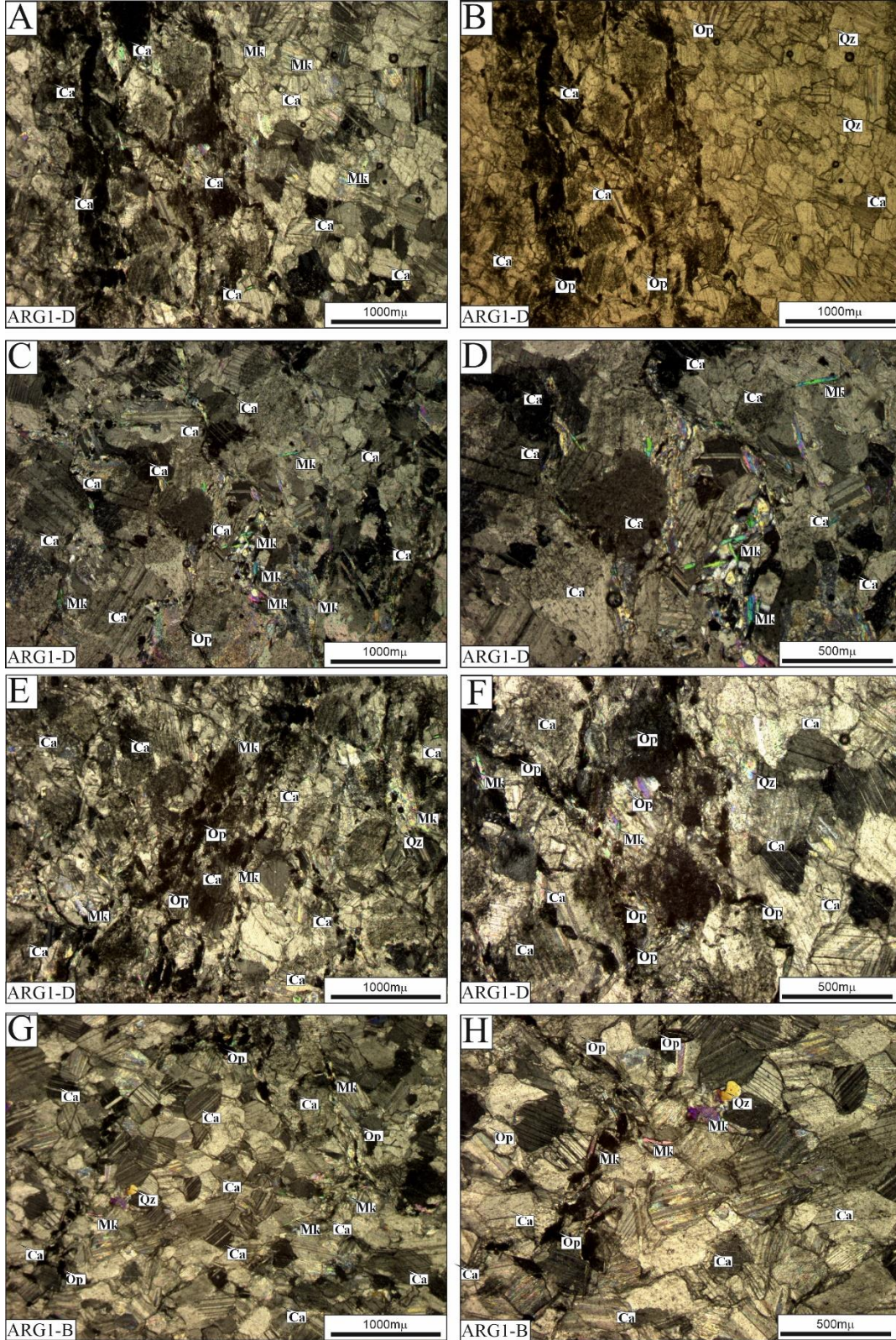
Sugar Menekşe (SV): Sarı beyaz renkli matriks içerisinde gri ve mor renkli ince damarlar gözlenmektedir. Bu mermerlerde gözlenen breşlerin boyutları diğer 2 gruba göre daha büyüktür. Beyaz renkli (SVB) iri boyutlu breşik tanelerin ana bileşenini kalsit mineralleri oluşturmaktadır (Şekil 4. 10a-b; Şekil 4.11 a-d). Beyaz renkli breşik tanelerin kenar kısımlarında sarı, mor renkli ince damarlar belirgindir. Bu kesimlerde genellikle mika ve opak mineraller hakimdir (Şekil 4.10 c-f; Şekil 4.11 e-h).



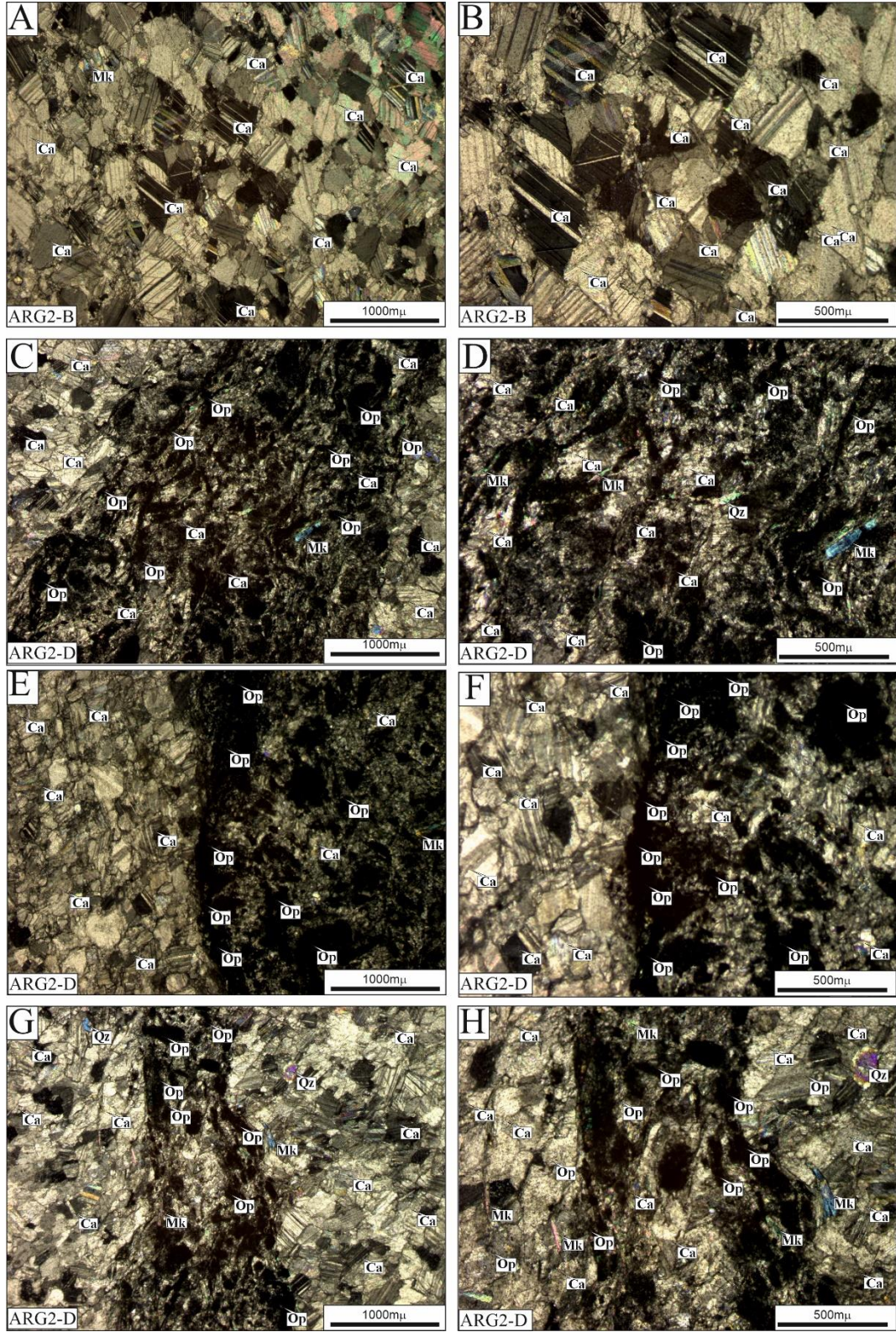
Şekil 4.6 a-b) Afyon menekşe (AVB-1) matris beyaz mermerinin, c-f), Afyon menekşe (AVD-1) damarlı mermer örneklerine ait polarizan mikroskop görüntüleri, (ÇN x500 µm) (a-f), Ca: Kalsit, Qz: Kuvars, Op: Opak Mineral, Mu: Muskovit.



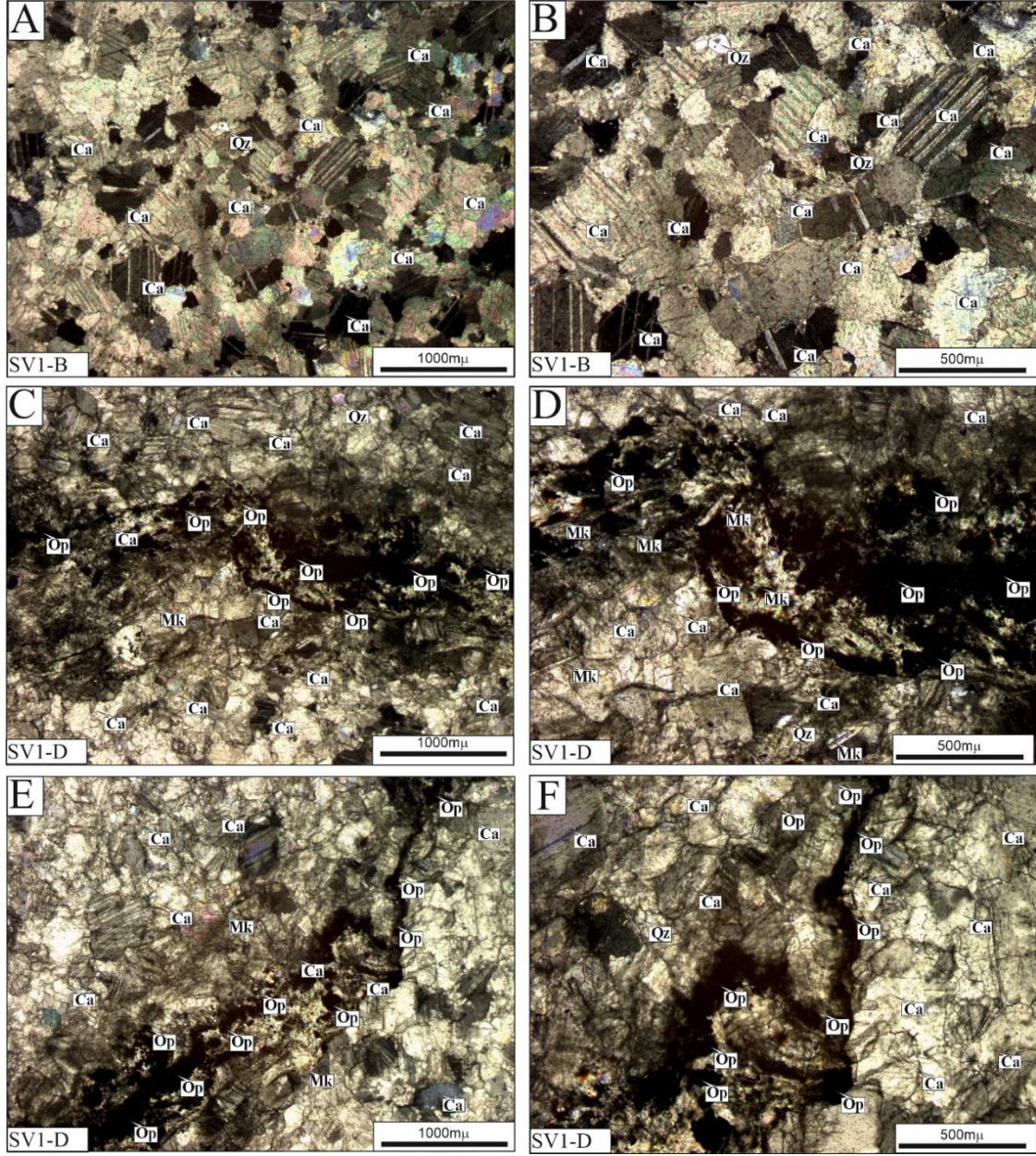
Şekil 4.7 a-d) Afyon menekşe (AVB-2) matriks beyaz mermerinin, e-h), Afyon menekşe (AVD-2) damarlı mermer örneklerine ait polarizan mikroskop görüntüleri, (ÇN x500 µm) (e-h), Ca: Kalsit, Qz: Kuvars, Op: Opak Mineral, Mu: Muskovit, ÇN: Çapraz Nikol, TN: Tek Nikol.



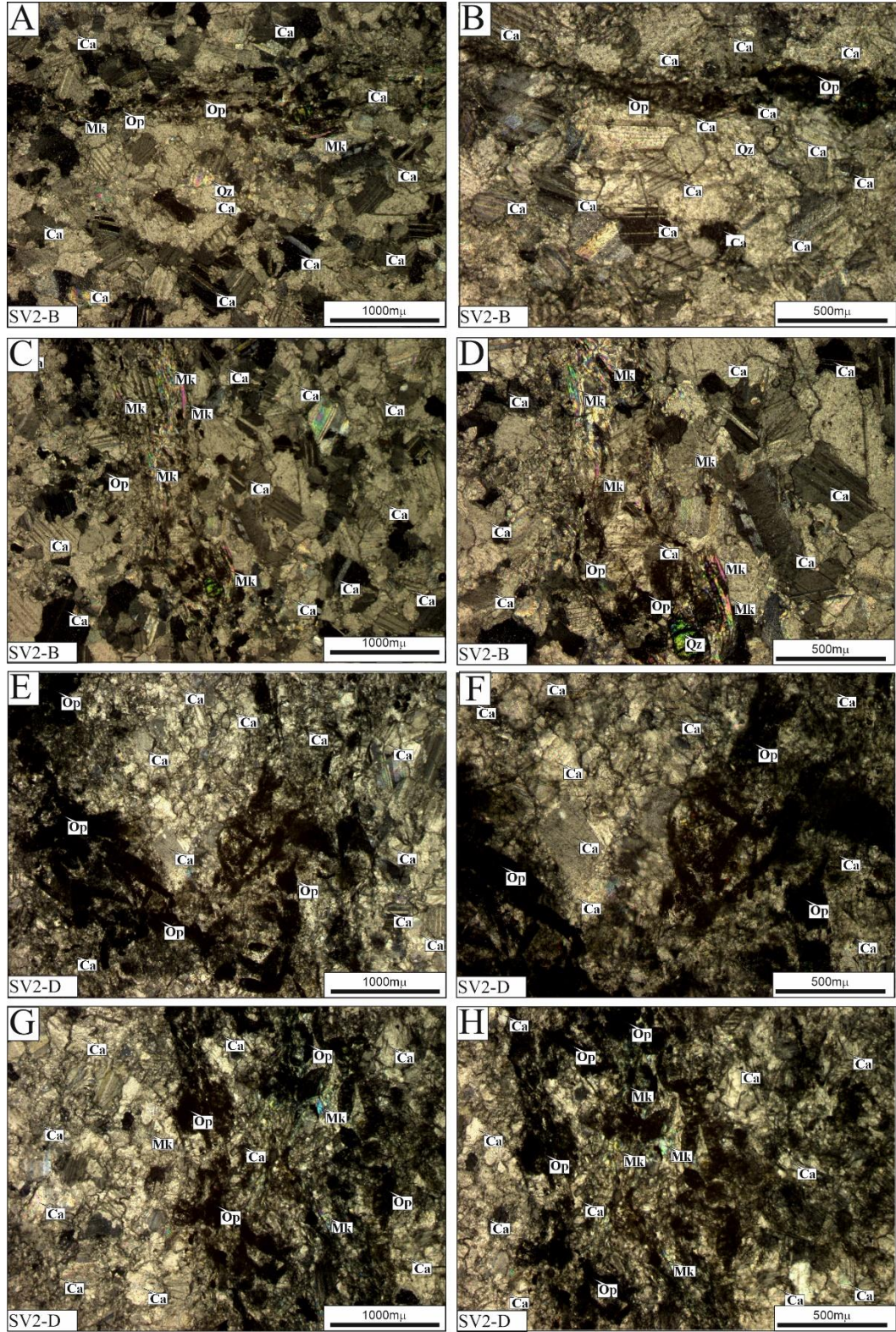
Şekil 4.8 a-f) Argento menekşe (ARG1-D) damarlı mermerinin, g-h), Argento menekşe (ARG1-B) matriks beyaz mermer örneklerine ait polarizan mikroskop görüntüleri, (ÇN x500 µm) (e-h), Ca: Kalsit, Qz: Kuvars, Op: Opak Mineral, Mu: Muskovit, ÇN: Çapraz Nikol, TN: Tek Nikol.



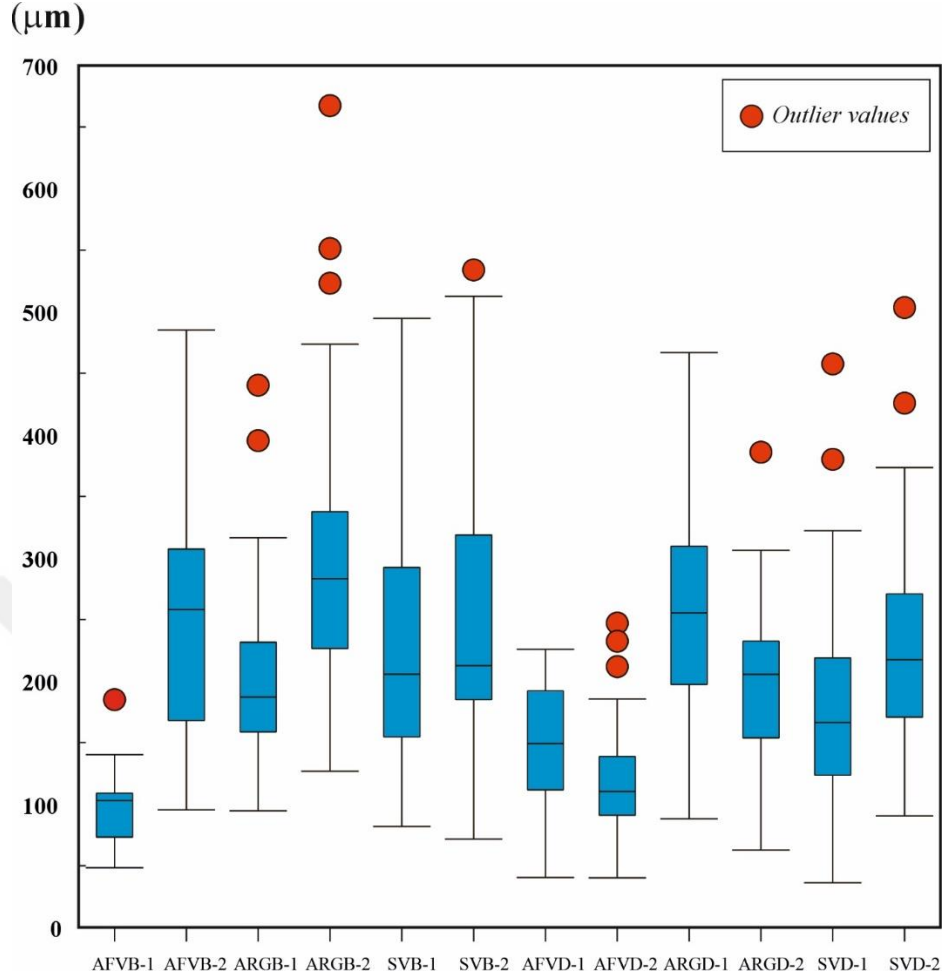
Şekil 4.9 a-f) Argento menekşet (ARG2-B) matriks beyaz mermerlerin g-h), Argento menekşe (ARG2-D) damarlı mermer örneklerine ait polarizan mikroskop görüntüleri, (ÇN x500 µm) (e-h), Ca: Kalsit, Qz: Kuvars, Op: Opak Mineral, Mu: Muskovit, ÇN: Çapraz Nikol, TN: Tek Nikol.



Şekil 4.10 a-b) Sugar menekşe (SVB-1) menekşe matriks beyaz mermerinin c-f), Afyon Sugar menekşe damarlı (SVD-1) mermerlerine ait polarizan mikroskop görüntüleri, (ÇN x500 µm) (c-f), Ka: Kalsit, Q: Kuvars, Op: Opak Mineral, Mu: Muskovit, ÇN: Çapraz Nikol, TN: Tek Nikol.



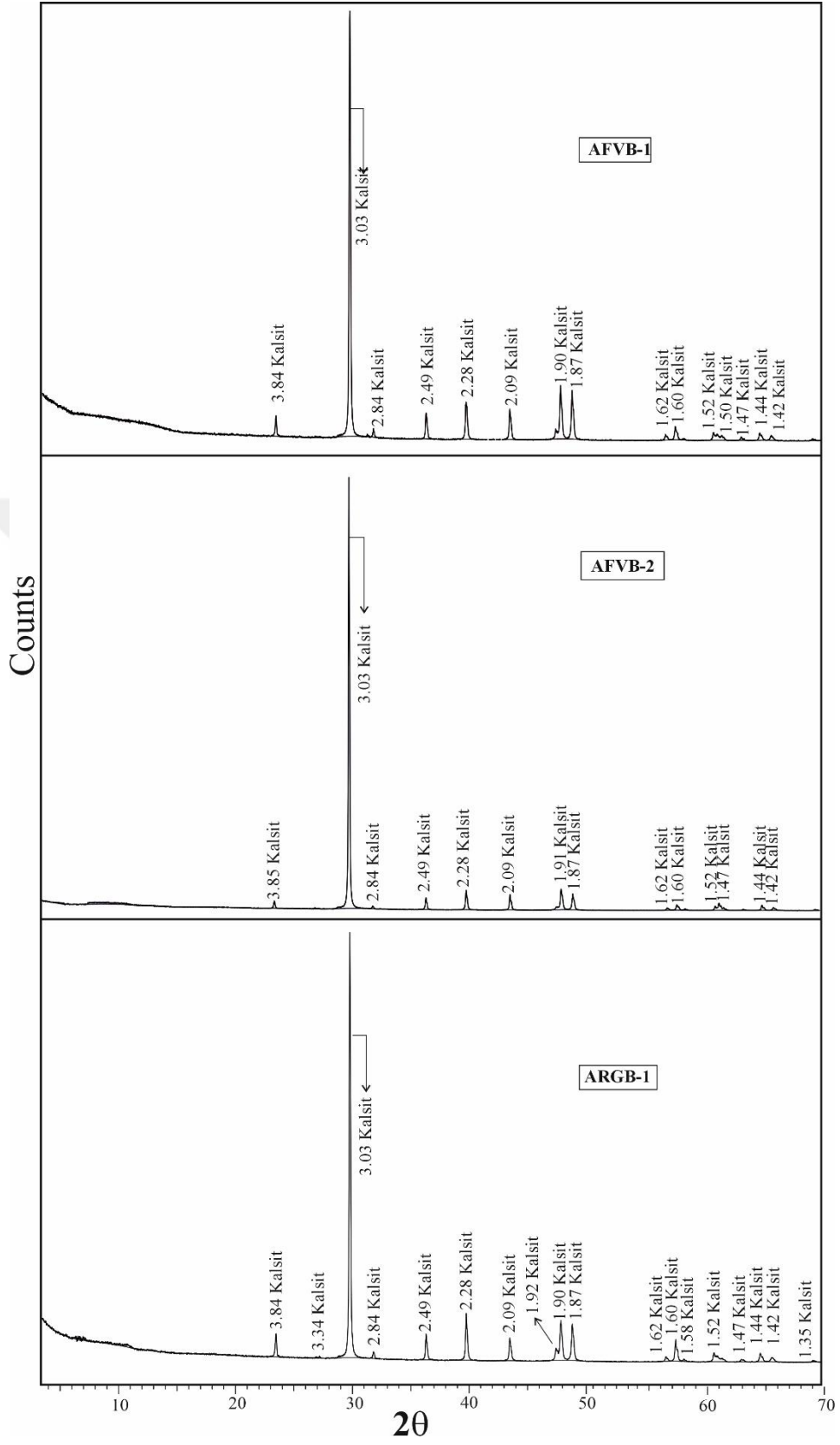
Şekil 4.11 a-d) Sugar menekşe (SVB-2) matrisi beyaz menekşe mermerinin ve e-h), Sugar menekşe damarlı (SVD-2) mermerlerine ait polarizan mikroskop görüntüleri, (ÇN x500 µm) (a-f), Ka: Kalsit, Q: Kuvars, Op: opak Mineral, Mu: Muskovit, ÇN: Çapraz Nikol, TN: Tek Nikol.



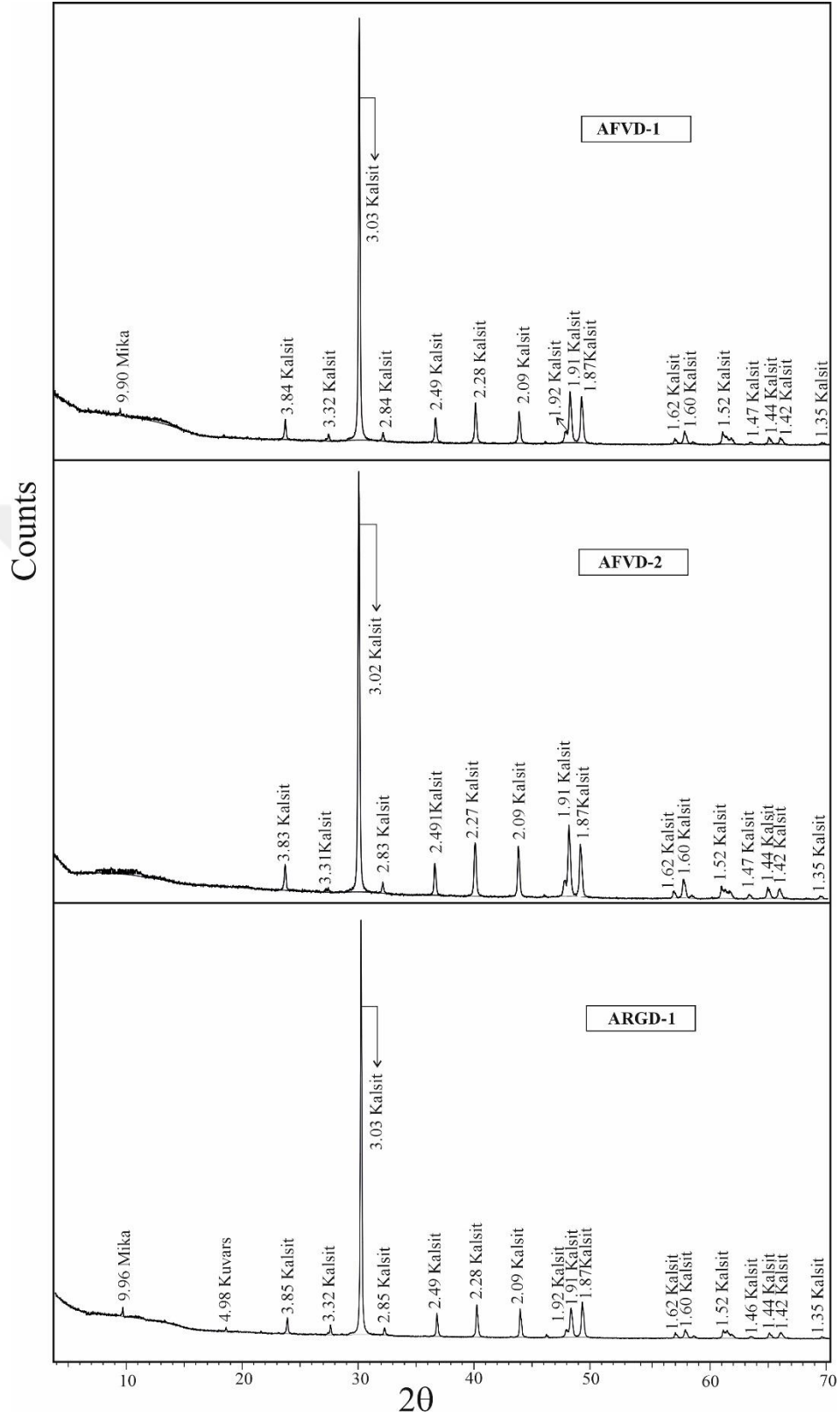
Şekil 4.12 Afyon menekşe mermerlerinin tane boyut dağılımı boxplot grafiği.

4.2.2 X Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri

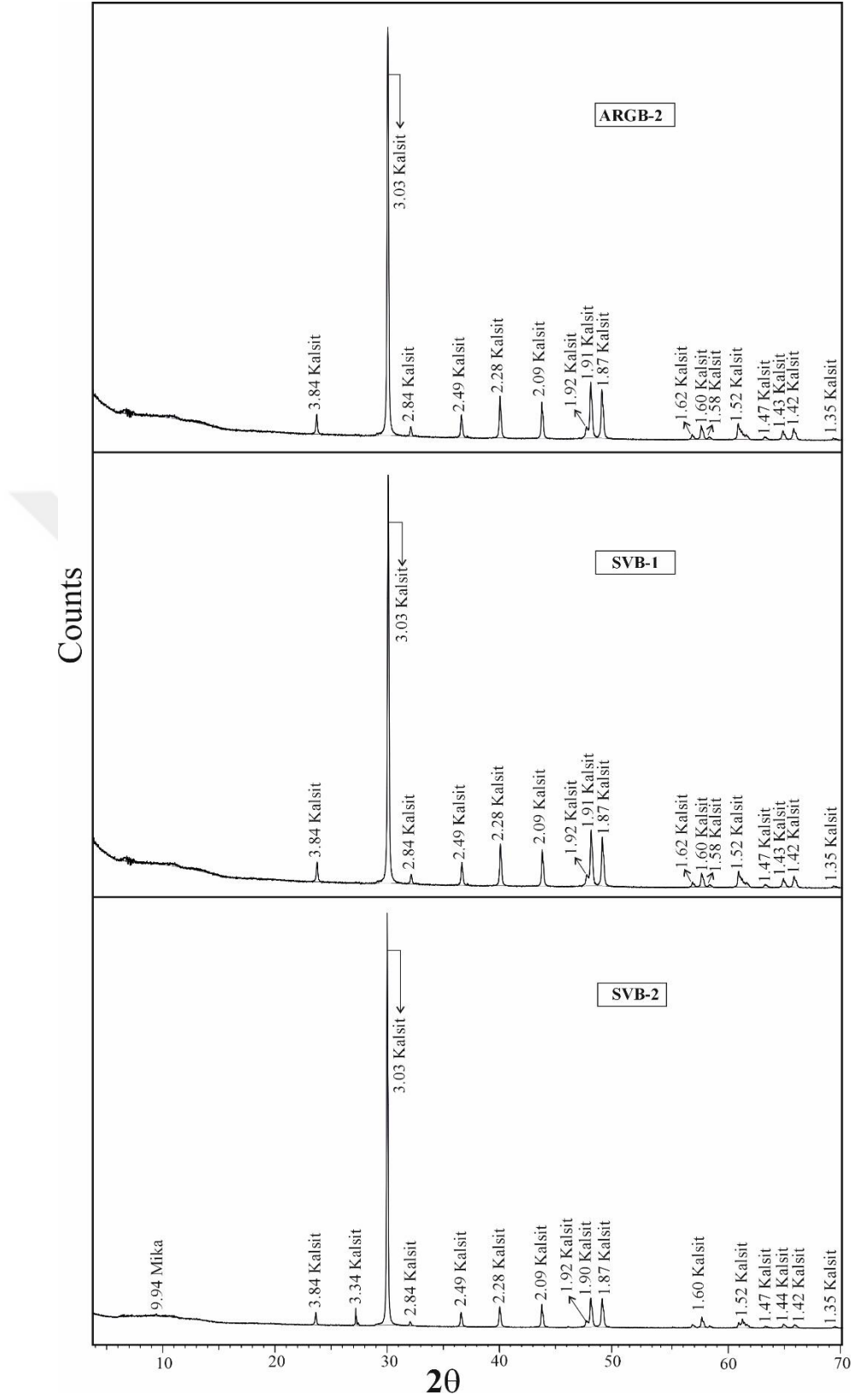
Tüm mermer örneklerinde yapılan XRD analizi için, mermerlerin farklı dokusal özellik gösteren bölümlerini temsil edecek şekilde örnekler seçilerek, Shimadzu marka XRD–6000 model cihazda 2θ (theta) değerleri $2-70^\circ$ aralığında XRD çekimleri yapılmıştır. Menekşe renkli mermerlerde kalsit mineralinden başka muskovit, kuvars ve opak mineraller belirlenmiştir. Özellikle Menekşe renkli mermerlerde opak mineral ve muskovit minerallerinin bulunma oranı yüksek bulunmuştur (Şekil 4. 13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16).



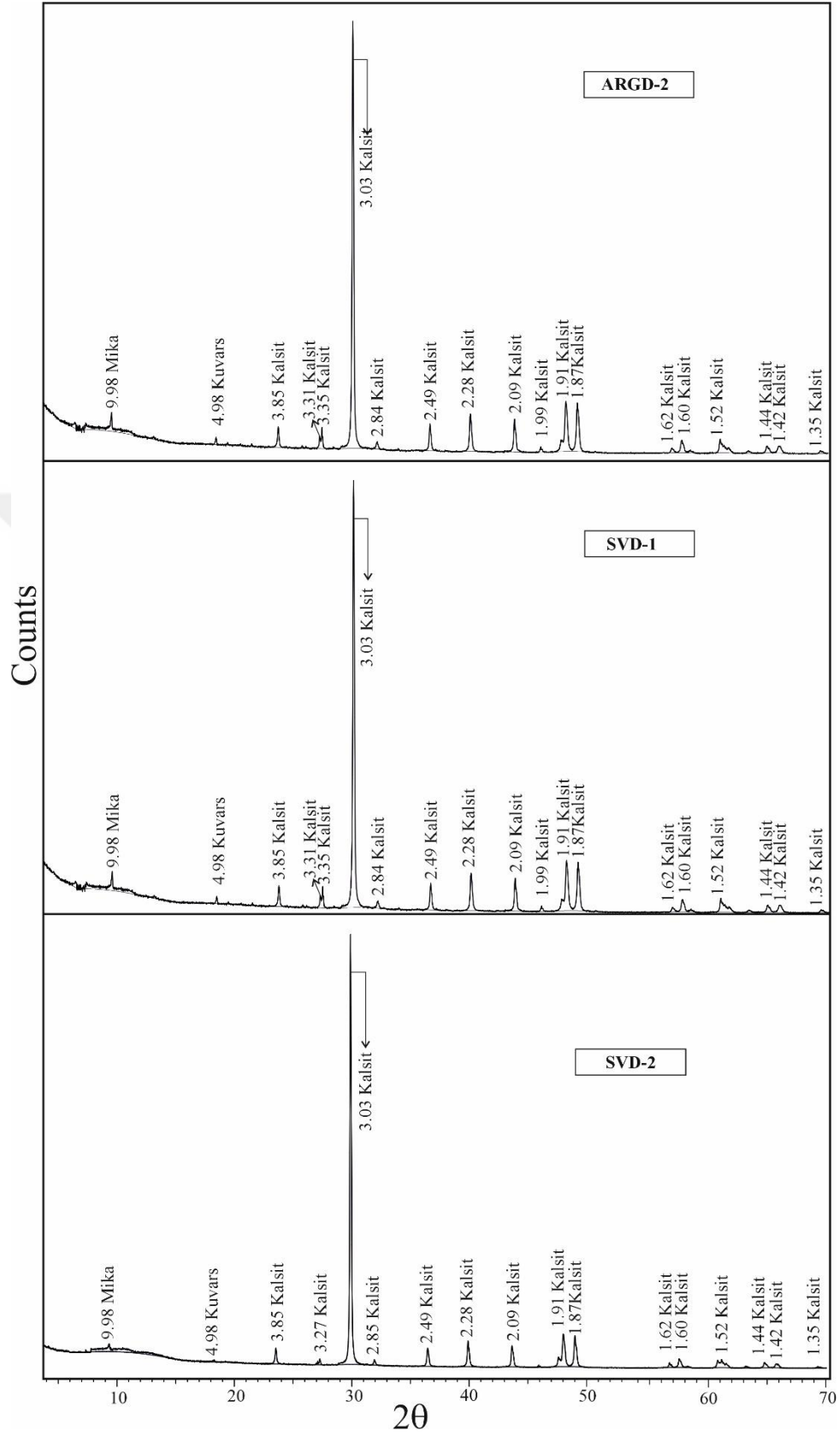
Şekil 4.13 a-b) Afyon menekşe matriks beyaz menekşe mermerlerin (AFVB-1), (AFVB-2) ve Argento menekşe matriks beyaz (ARGB-1) menekşe mermerlerine ait X ışınımı çekim grafiği.



Şekil 4.14 a-b) Afyon menekşe matriks beyaz menekşe mermerlerin (AFVD-1), (AFVD-2) ve Argento menekşe matriks beyaz (ARGD-1) menekşe mermerlerine ait X ışınımı çekim grafiği.



Şekil 4.15 a) Argento menekşe matriks beyaz menekşe mermerlerin (ARGB-2), b-c) Sugar menekşe matriks beyaz (SVB-1); (SVB-2) menekşe mermerlerine ait X ışınımı çekim grafiği.



Şekil 4.16 a) Argento menekşe damarlı menekşe mermerlerin (ARGD-2), b) Sığar menekşe damarlı (SVD-1), (SVD-2) menekşe mermerlerine ait X ışınımı çekim grafiği.

4.2.3 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM/EDX) İncelemeleri

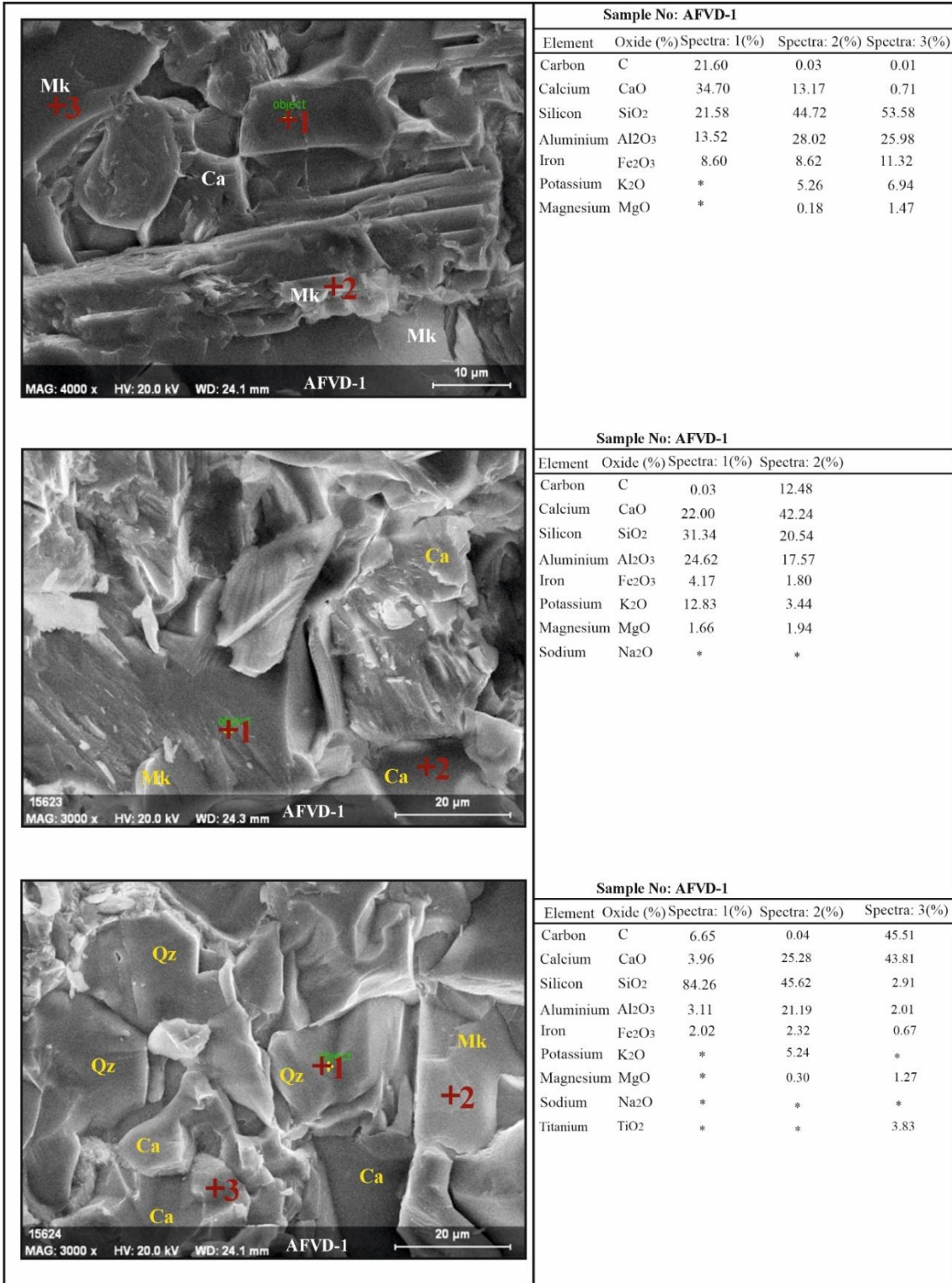
Afyon menekşe AFVD-1, AFVD-2 örnekleri üzerinde yapılan SEM/EDX incelemelerine ait sonuçlar Şekil 4.17, verilmiştir. Yapılan EDX çekimlerinde SiO_2 değerleri %22-%53 arasında değişim gösterdiği görülmüştür. Al_2O_3 değerleri ise %13-%25 arasında değişmektedir. Daha az oranda Fe_2O_3 ve K_2O varlığı belirlenmiştir. 1 nolu noktada CaO değeri %35 iken 3 nolu noktada ise CaO değeri %0.71 olarak belirlenmiştir.

Bu verilere göre 3 nolu nokta kuvars minerali olarak değerlendirilmiştir. 1 ve 2 nolu noktaların ise mika minerali olarak belirlenmiştir. Yapılan EDX sonuçlarının bize bu mikaların Muskovit ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$) minerali olabileceğini göstermektedir. AFVD-2 nolu örnekte Fe_2O_3 %33 'e kadar çıkmıştır. MgO değeri ise %15 belirlenmiştir. Bu değerlere göre mineral $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ biyotit olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.18).

Argento damarlı (ARGD) mermer örneklerinin SEM/EDX inceleme sonuçları Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir. Buna göre Şekil 19'da 1. Noktada hesaplanan ana oksit dağılımlarına göre Al_2O_3 değerleri ise %33, MgO değeri %25 olarak belirlenmiştir.

Bu dağılama göre noktanın mika grubu minerallerinden Biyotit minerali olduğu kabul edilmiştir. Diğer 2 ve 3. nokta verilerine bakıldığında bu kısımların kalsit minerali olduğu belirlenmiştir. EDX incelemelerinde Argento damarlı (ARGD) mermerlerinde %10'a yakın Fe_2O_3 içeriği ile az oranda %1.40 TiO_2 ve %3.5 P_2O_5 varlığı belirlenmiştir.

Sugar menekşe damarlı menekşe (SVD-1) mermer örneklerine ait SEM/EDX sonuçları Şekil 4.21'de verilmiştir. Sonuçlara göre, Sugar menekşe (SV) mermerlerinde genellikle kalsit mineralinin varlığı belirlenmiştir. Kalsit içerikleri her iki örnekte de %70 değerinde belirlenmiştir.



Şekil 4.17 Afyon menekşe (AFVD-1) damarlı menekşe mermerlerinin SEM/EDX çekimleri.

15632
MAG: 10000 x HV: 20.0 kV WD: 22.6 mm AFVD-2 5 µm

Sample No: AFVD-2				
Element	Oxide (%)	Spectra: 1	Spectra: 2	Spectra: 3
Carbon	CO ₂	42.03	25.45	39.46
Calcium	CaO	38.15	27.02	36.49
Silicon	SiO ₂	*	*	2.35
Aluminium	Al ₂ O ₃	*	*	0.72
Iron	Fe ₂ O ₃	4.28	33.10	1.16
Potassium	K ₂ O	*	*	6.94
Magnesium	MgO	15.54	13.64	*
Titanium	TiO ₂	*	0.80	*
Manganese	MnO	*	*	1.68

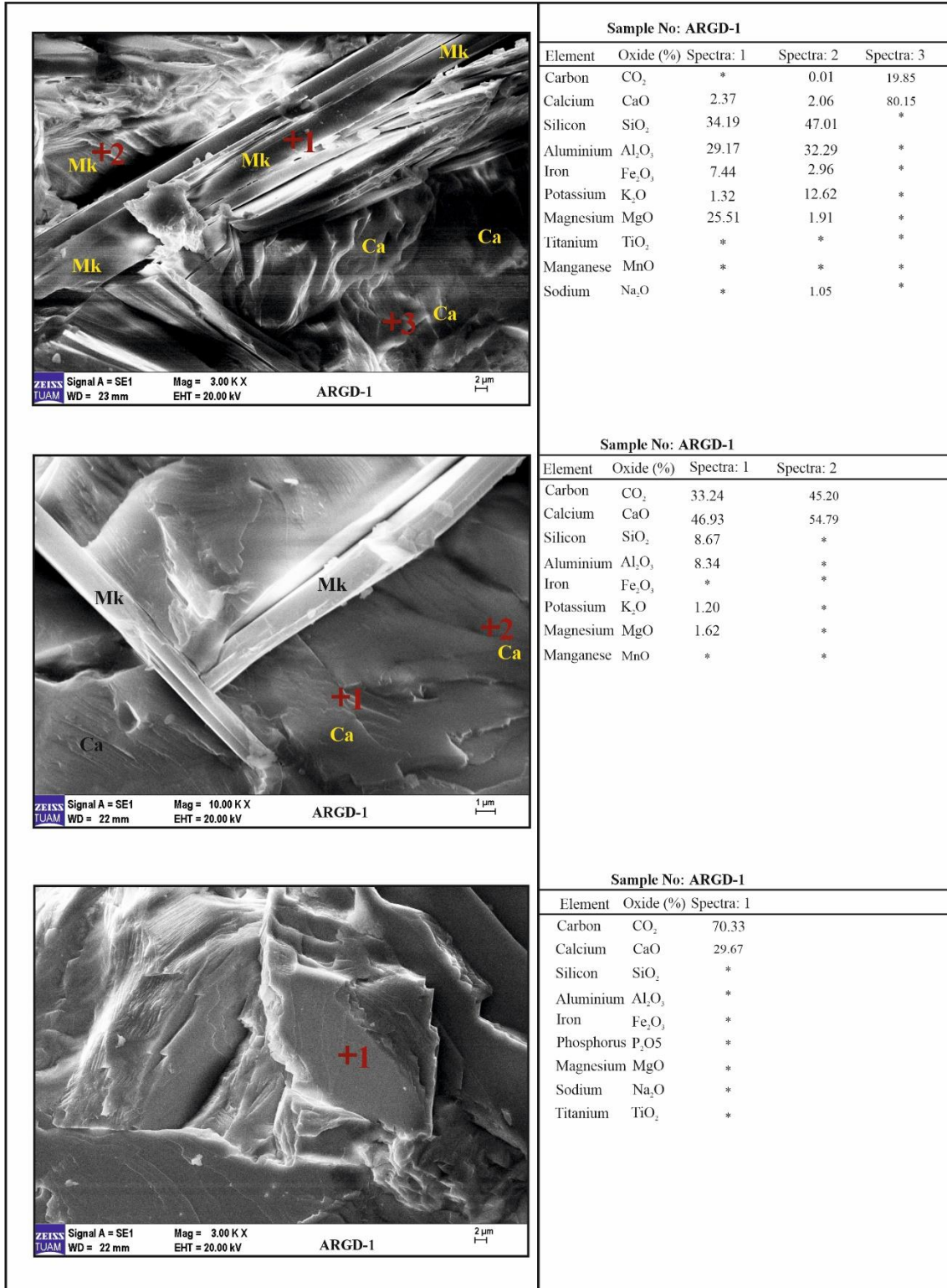
15631
MAG: 3000 x HV: 20.0 kV WD: 22.6 mm AFVD-2 20 µm

Sample No: AFVD-2				
Element	Oxide (%)	Spectra: 1	Spectra: 2	Spectra: 3
Carbon	CO ₂	0.46	44.26	38.07
Calcium	CaO	49.44	53.65	42.21
Silicon	SiO ₂	2.57	*	*
Aluminium	Al ₂ O ₃	0.01	*	*
Iron	Fe ₂ O ₃	37.12	*	1.13
Potassium	K ₂ O	8.80	*	*
Magnesium	MgO	1.61	2.10	17.19
Manganese	MnO	*	*	1.39

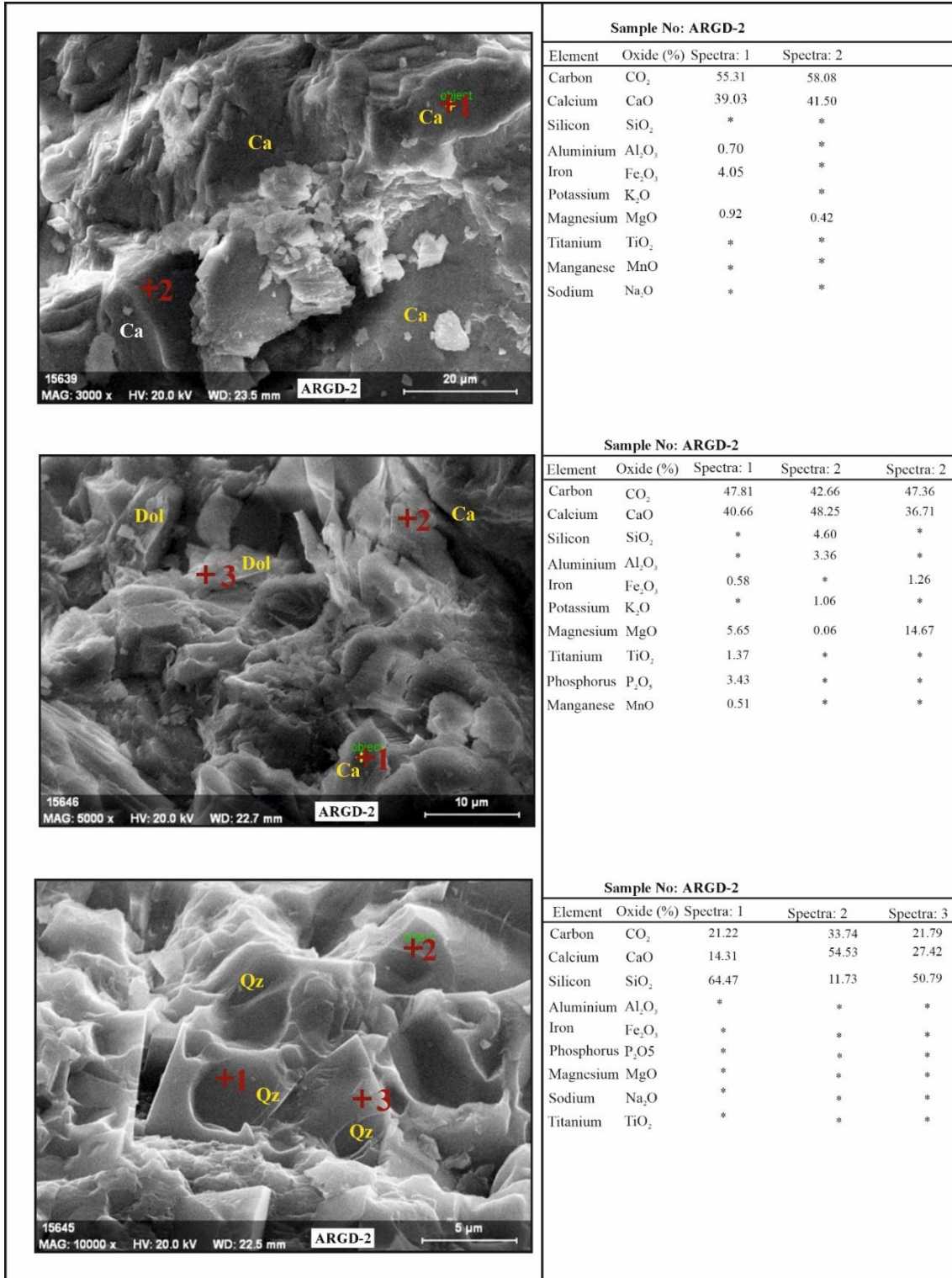
15633
MAG: 30000 x HV: 20.0 kV WD: 22.6 mm AFVD-2 2 µm

Sample No: AFVD-2				
Element	Oxide (%)	Spectra: 1		
Carbon	CO ₂	39.78		
Calcium	CaO	39.33		
Silicon	SiO ₂	*		
Aluminium	Al ₂ O ₃	*		
Iron	Fe ₂ O ₃	2.47		
Phosphorus	P ₂ O ₅	2.55		
Magnesium	MgO	15.87		
Sodium	Na ₂ O	*		
Titanium	TiO ₂	*		

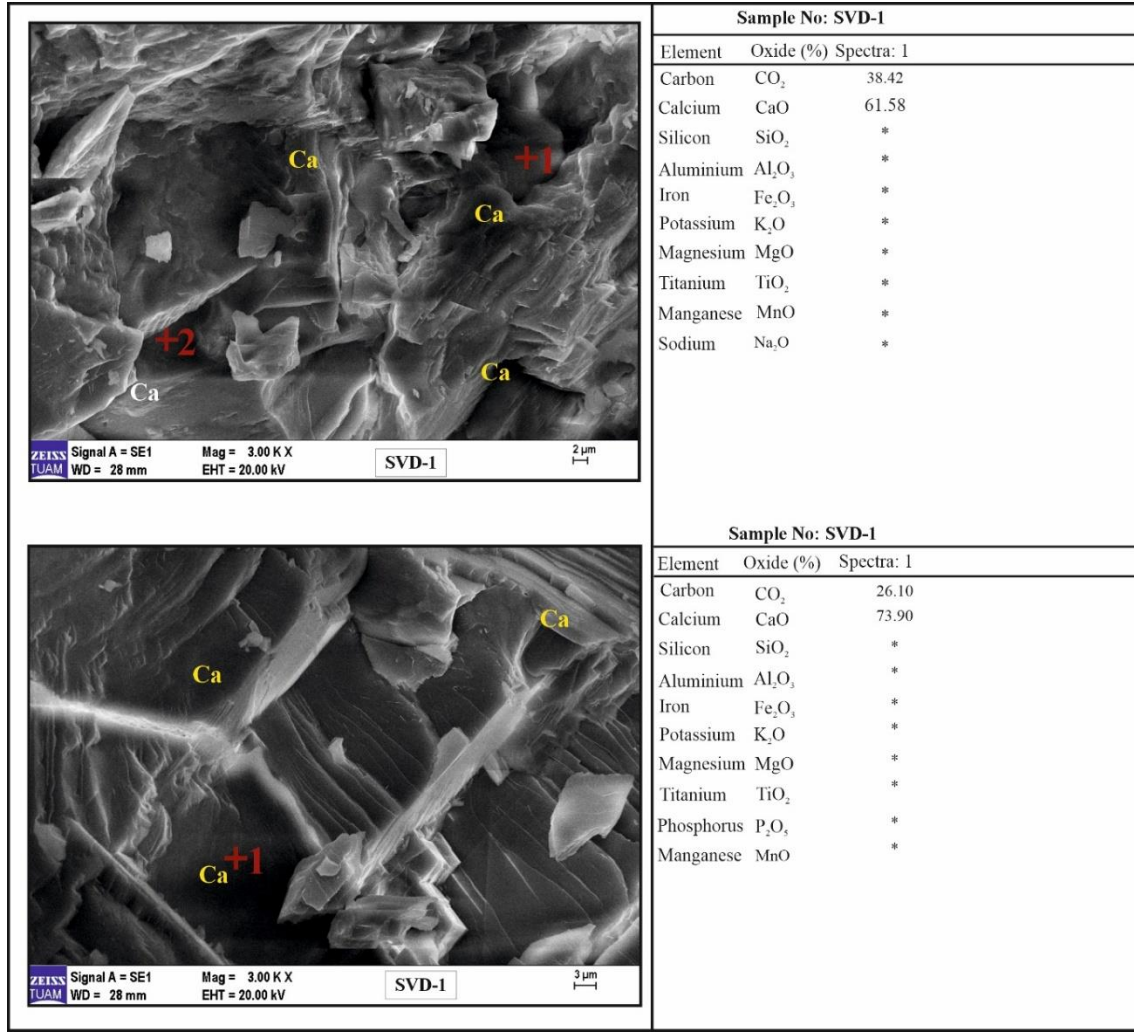
Şekil 4.18 Afyon menekşe (AFVD-2) damarlı menekşe mermerlerinin SEM/EDX çekimleri.



Şekil 4.19 Argento menekşe (ARGD-1) damarlı menekşe mermerlerinin SEM/EDX çekimleri.



Şekil 4.20 Argento menekşe (ARGD-2) damarlı menekşe mermerlerinin SEM/EDX çekimleri.



Şekil 4.21 Sugar menekşe (SVD-1) damarlı menekşe mermerlerinin SEM/EDX çekimleri.

4.2.4 Jeokimyasal İncelemeler

4.2.4.1 Ana oksit, iz ve Nadir Toprak Element (NTE) Analiz İncelemeleri

Afyon menekşe mermer örneklerinin tümüne ait ana oksit, iz element ve nadir toprak element (NTE) sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Mermer örneklerine ait sonuçlar beyaz renkli breşik örnekler ve damar yapısı belirgin breşik olan örnekler şeklinde 2 grup altına çizelgede verilmiştir. Beyaz renkli örneklerde genellikle CaO değerlerinin %54.87-%55.27 arasında değiştiği, bunun dışında kalan diğer ana oksit değerlerinin %1 ‘i geçemediği görülmüştür. CaO e karşı diğer ana oksitlerin korelasyon

sonuçlarına ait grafikler Şekil 4.22’de verilmiştir. Bu karşılaştırmaya göre CaO değerlerinin artmasına karşı diğer SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO ve K₂O içeriklerinin azaldığı görülmüştür. İz element sonuçlarına göre Sr (ppm) değerinin 138ppm ile 183 ppm değeri ile en yüksek içeriği sahip iz element olmuştur. Afyon menekşe mermerlerin iz element analizleri incelendiğinde sadece Sr elementinde zenginleşme diğer elementlerde azalma olduğu belirlenmiştir. Mermerlerin Sronsiyum (Sr) konsantrasyonu ve izotop bileşimleri önemlidir. Bu yüzden karbonat protoliti stronsiyum ilişkisi uygulanan işlemlerin etkisine, sonrasında diyajenez, dolomitleşme ve metamorfizma süreçlerine bağlı olmaktadır.

Sr kaybı kireçtaşlarında aragonitin kalsite dönüşümü sırasında gerçekleşmektedir (Akkök, 1981). Bunun nedenleri sedimenter kökenli karbonatlı kayaçların Sr konsantrasyonları genellikle düşük olmaktadır (Jarvis vd, 1975; Parekh vd, 1977; Shaw ve Wasserburg, 1985). Nadir toprak element (NTE) sonuçları incelendiğinde Ce (ppm), Nd (ppm) ve Tb (ppm) değerlerinde azalma gözlenirken Pr (ppm), Er (ppm) ve Lu (ppm) değerlerinde zenginleşme olduğu görülmektedir (Şekil 4.23a). Afyon menekşe damarlı mermer örneklerinde en yüksek değer %51.73-%53.84 CaO olduğu görülmektedir. Damarlı menekşe örneklerinde CaO değerleri beyaz renkli olan çeşitlerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Diğer ana oksit içeriklerinin SiO₂ %1.26-3.48, Al₂O₃ %0.92-1.95 ve MgO ise %0.61-%0.84 şeklinde değişmektedir. Damarlı menekşe mermer örneklerinin iz element içeriklerinin dağılımına bakıldığında, en yüksek değere sahip olan Sr 130 ppm-157 ppm, Ni 10 ppm-60 ppm, Zn 10 ppm-26 ppm Zr 22 ppm- 34 ppm ve Ba 1 ppm ile 77 ppm arasında değişim göstermektedir. Çoklu element içeriklerinin değişim grafiği incelendiğinde Şekil 4.23 b’de damarlı menekşe örneklerinde U (ppm), Sr (ppm), Zr (ppm) ve Y (ppm) değerlerinde zenginleşme olurken, La (ppm), Ce (ppm), Nd (ppm) ve Dy (ppm) değerlerinde azalma olduğu gözlenmektedir. Tüm örneklerin REE dağılımlarına bakıldığında elementlerin zenginleşme derecelerinde LREE den HREE doğru bir azalma olduğu görülmektedir. Beyaz renk hakim olan menekşe mermerlerin Nadir Toprak Element (REE) değerlerinin düşük olmasına rağmen damarlı menekşe mermerlerinin REE değerleri daha yüksektir. (Şekil 4. 23b).

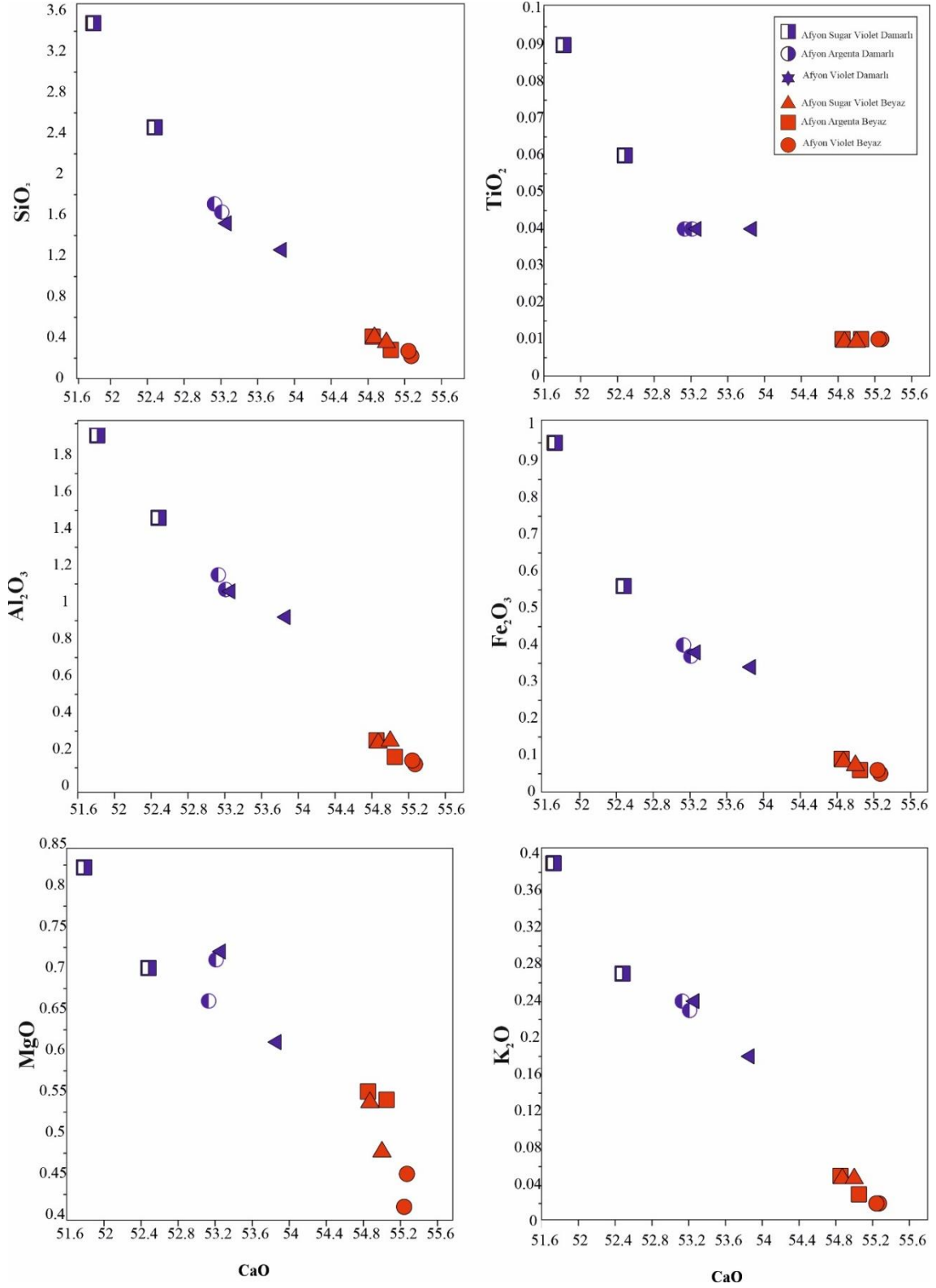
Çizelge 4.1 Afyon menekşe matriks beyaz mermerlerinin ana oksit analiz sonuçları.

	AFVB-1	AFVB-2	ARGB-1	ARGB-2	SVB-1	SVB-2
SiO ₂	0.22	0.27	0.41	0.28	0.43	0.38
TiO ₂	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	0.12	0.14	0.25	0.16	0.25	0.26
Fe ₂ O ₃	0.05	0.06	0.09	0.06	0.09	0.08
MnO	0.02	0.03	0.06	0.05	0.04	0.03
MgO	0.45	0.41	0.55	0.54	0.54	0.48
CaO	55.27	55.24	54.85	55.05	54.87	55.00
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O	0.02	0.02	0.05	0.03	0.05	0.05
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
A.Z.	43.82	43.79	43.67	43.75	43.70	43.69
Toplam	100.00	99.99	99.97	99.96	100.00	100.00
V	1	1	1	5	4	1
Ni	1	3	2	6	4	2
Cu	13	7	10	8	6	7
Zn	7	7	11	9	8	9
Ga	1	1	1	1	1	1
As	10	11	10	12	13	14
Rb	1	1	1	1	1	1
Sr	171	157	182	183	148	138
Y	3	2	5	4	2	3
Zr	16	17	18	18	17	17
Nb	1	1	1	2	2	1
Mo	2	1	2	2	3	2
Ba	1	1	1	1	1	1
Li	0.45	0.24	0.33	0.20	0.31	0.18
U	7.578	0.119	0.104	0.509	0.099	6.685
Th	0.25	0.28	0.48	0.42	0.29	0.35
La	0.05	0.03	0.051	0.001	0.031	0.026
Ce	0.181	0.006	0.34	0.441	0.104	0.149
Pr	0.24	0.158	0.188	0.212	0.244	0.335
Nd	0.51	0.017	0.043	0.026	0.072	0.625
Sm	0.17	0.221	0.121	0.115	0.199	0.081
Eu	0.074	0.076	0.08	0.058	0.069	0.078
Gd	0.017	0.05	0.042	0.069	0.034	0.06
Dy	0.086	0.001	0.004	0.006	0.016	0.006
Ho	0.003	0.019	0.004	0.001	0.032	0.008
Tm	0.001	0.01	0.026	0.013	0	0.024
Yb	0.053	0.052	0.053	0.053	0.052	0.053
Lu	0.038	0.04	0.043	0.034	0.034	0.046
ΣNTE	1.42	0.68	1.00	1.03	0.89	1.49

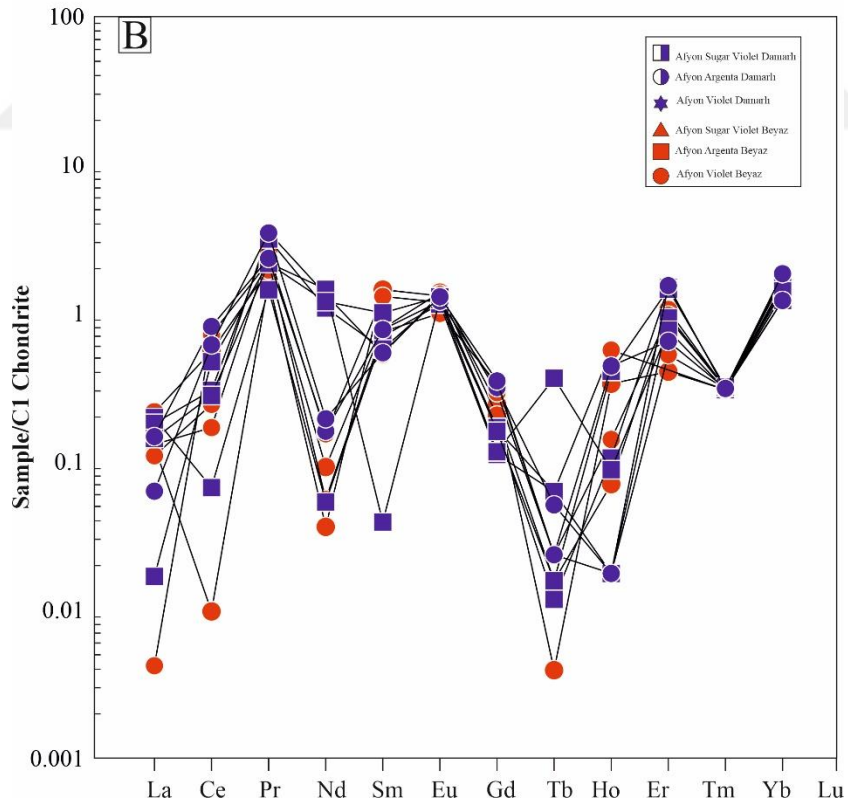
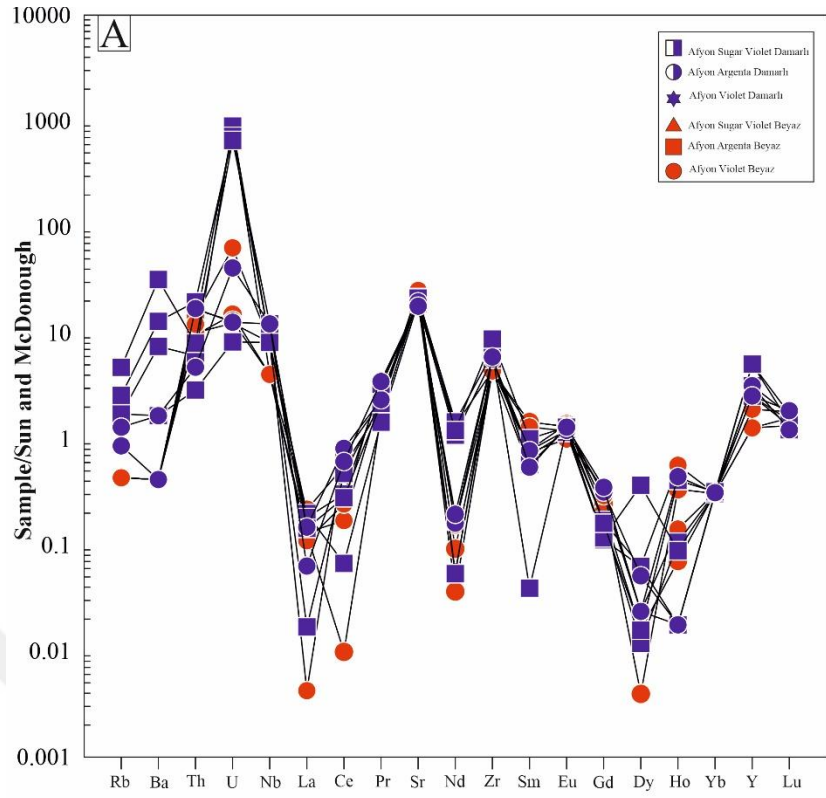
AFVB: Afyon Menekşe Beyaz, AFVD: Afyon Menekşe Damarlı, ARGB: Argento Menekşe Beyaz, ARGD: Argento menekşe Damarlı, SVB: Sugar menekşe beyaz, SVD: Sugar Menekşe Damarlı.

Çizelge 4.2 Afyon menekşe damarlı mermerlerinin ana oksit analiz sonuçları.

	AFVD-1	AFVD-2	ARGD-1	ARGD-2	SVD-1	SVD-2
SiO ₂	1.63	1.71	2.46	3.48	1.52	1.26
TiO ₂	0.04	0.04	0.06	0.09	0.04	0.04
Al ₂ O ₃	1.07	1.15	1.46	1.95	1.06	0.92
Fe ₂ O ₃	0.37	0.40	0.56	0.95	0.38	0.34
MnO	0.06	0.06	0.10	0.13	0.07	0.04
MgO	0.71	0.66	0.70	0.84	0.72	0.61
CaO	53.21	53.13	52.48	51.73	53.24	53.84
Na ₂ O	0.06	0.05	0.07	0.07	0.05	0.07
K ₂ O	0.23	0.24	0.27	0.39	0.24	0.18
P ₂ O ₅	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
A.Z.	42.53	42.49	41.76	40.29	42.63	42.62
Toplam	99.94	99.95	99.95	99.95	99.97	99.95
V	10	9	5	10	8	8
Ni	13	10	27	60	10	14
Cu	4	4	6	7	7	7
Zn	13	11	20	26	10	12
Ga	2	1	3	4	2	3
As	13	15	16	14	15	14
Rb	4	4	6	11	3	2
Sr	142	138	157	155	143	130
Y	5	4	8	8	5	4
Zr	22	22	25	34	22	23
Nb	2	2	2	3	3	3
Mo	2	1	2	2	3	2
Ba	4	18	31	77	4	1
Li	0.19	0.28	0.20	0.39	0.20	0.36
U	0.066	7.179	5.734	5.251	0.33	0.10
Th	0.08	0.18	0.57	0.23	0.14	0.49
La	0.047	0.043	0.004	0.034	0.035	0.015
Ce	0.041	0.185	0.289	0.171	0.499	0.375
Pr	0.137	0.301	0.208	0.206	0.223	0.331
Nd	0.025	0.508	0.678	0.561	0.075	0.091
Sm	0.107	0.088	0.006	0.154	0.119	0.083
Eu	0.067	0.073	0.072	0.075	0.07	0.075
Gd	0.023	0.035	0.024	0.033	0.065	0.072
Dy	0.016	0.003	0.093	0.004	0.013	0.006
Ho	0.001	0.006	0.005	0.023	0.001	0.025
Tm	0.023	0.037	0.019	0.036	0.038	0.016
Yb	0.053	0.053	0.052	0.054	0.052	0.053
Lu	0.031	0.038	0.044	0.036	0.031	0.047
ΣNTE	0.57	1.37	1.49	1.39	1.22	1.19



Şekil 4.22 Afyon menekşe mermerlerinin CaO' e karşı diğer ana oksit element içeriklerinin karşılaştırmasına ait ikili haker diyagramları.



ekil 4.23 a) Mermerlerinin Nadir Toprak Element (NTE)'ere ait chondrit normalize edilmiş diyagramları, b) Mermerlerin çoklu element içeriklerinin chondrit normalize edilmiş diyagramları (Sun and Mc Donough, 1989).

4.2.4.2 İzotop Analiz İncelemeleri

Genel olarak, karbonat türündeki mermerde metamorfik değişimlerinde kimyasal süreçlerde etkili olmaktadır. Karbonat kayaçları farklı türdeki sıvılarla reaksiyona girmektedirler. Bu durumdaki çözeltilerin sıvıları genellikle karbonatın oksijen izotopik özelliklerini değiştirir. Karbon dioksit içeren çözeltilerde karbonatların karbon izotop özelliklerine daha az oranda etki yapmaktadır. Craigh ve Craigh 1972'de mermerlerin karbon ve oksijen izotopları hakkındaki ilk arkeometrik çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmalarda 10 adet Yunanistan'a ait mermerinin sadece duraylı izotop oranlarını kullanarak beş farklı kaynak ayırımı yapmıştır. Bununla birlikte, izotopik kümelerin toplanması genellikle bu yaklaşımı sınırlamakta ve bu sebeple genellikle birkaç ölçüt ve yöntemin birlikte kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Mermerlerin karbon ve oksijen izotopik analiz çalışmaları kapsamında, jeolojik ve mineralojik-petrografik sonuçlarının kullanılması analizlerin yorumlanmasında etli yapacaktır. Herz 1992'de Akdeniz mermerinin kararlı izotopları hakkında kapsamlı bir veri bankası oluşturmuştur. Metamorfik farklılaşmalar sırasında, karbon izotopları ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ oranı) daha az hassas tepki vermektedir. Bununla birlikte, mermerdeki oksijenin izotopları ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ oranı), metamorfizma sırasındaki sıcaklık ve yukarıda belirtildiği gibi, oksijen izotopları ile karbonat kayaçları ve çözeltiler arasındaki etkileşimler tarafından büyük ölçüde belirlenir.

İlksel $\delta^{13}\text{C}$ değerleri diyajenez ve metamorfik alterasyon tarafından etkilenmezler. Bu sayede karbonatların deniz suyundaki ortalama ilksel karbon izotop bileşimleri vardır. Metamorfizma genellikle kireçtaşlarının ilksel karbon izotop bileşimlerine etkili değildir. Yine 'de metamorfik olaylar ile ilerleyen izotopik modifikasyonlar süresince silikat minerallerinin bulunması genellikle karbonat azalması şeklinde olmaktadır (Kaufman ve Knoll, 1995). Bu genellikle yersel olaylarda, sınırlı yitim zonlarında veya metamorfik kontakt alanlarda tanımlanabilirler. Bu yüzden karbon izotop bileşimlerinin mermerlerde genellikle köken Kayacın bileşiminin bilinmesinde etkili olmaktadır.

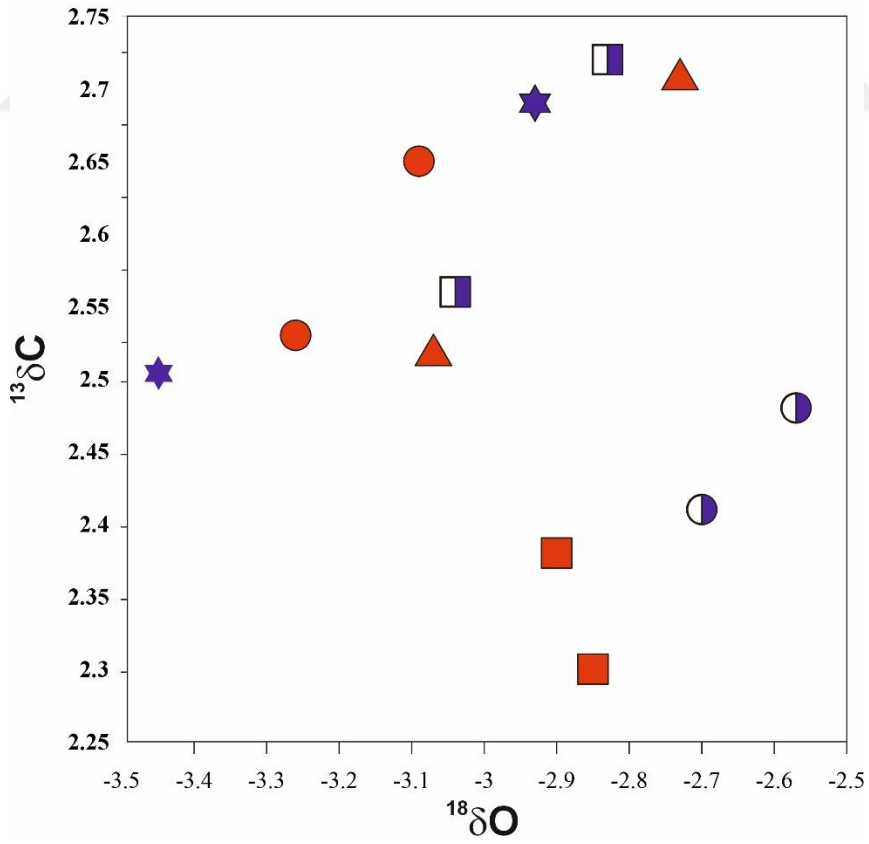
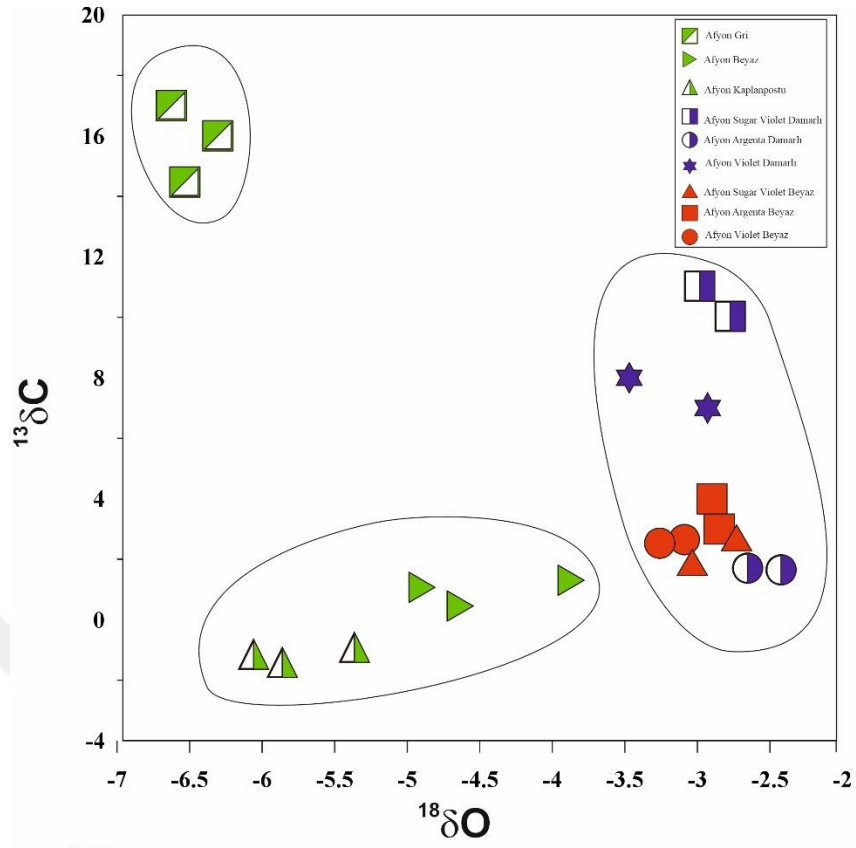
Petrografik olarak tanımlanan tüm mermerlerin karbon ve oksijen izotop analiz değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 4. 24 'de standart bir dağılım grafiği diyagramında

gösterilmiştir. İncelenen numuneler önemli miktarda oksijen izotop oranları göstermiş ve karbon izotop oranlarındaki değişimlerinin daha sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Menekşe renkli mermerlerde $\delta^{13}\text{C}$ değerlerini % + 2,30 ile % +2,72 arasında değişirken $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise % -2.70 ile % - 3.36 arasında değişim göstermektedir.

Çizelge 4.3 Mermer örneklerine ait $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ İzotop Analiz Değerleri.

No	Numune Adı	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ vs VPDB	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ vs VPDB
1	AFVB-1	2.65	-3.09
2	AFVB-2	2.53	-3.26
3	ARGB-1	2.30	-2.85
4	ARGB-2	2.38	-2.90
5	SVB-1	2.52	-3.07
6	SVB-2	2.71	-2.73
7	AFVD-1	2.69	-2.93
8	AFVD-2	2.51	-3.47
9	ARGD-1	2.48	-2.57
10	ARGD-2	2.41	-2.70
11	SVD-1	2.72	-2.83
12	SVD-2	2.56	-3.04
13	KP	-1.14	-6.06
14	KP	-1.41	-5.86
15	KP	-0.91	-5.36
16	GR	-1.03	-6.31
17	GR	-1.24	-6.62
18	GR	2.12	-2.50
19	BY	0.45	-4.64
20	BY	1.07	-4.90
21	BY	1.30	-3.87

AFVB: Afyon Menekşe Beyaz, AFVD: Afyon Menekşe Damarlı, ARGB: Argento Menekşe Beyaz, ARGD: Argento menekşe Damarlı, SVB: Sugar menekşe beyaz, SVD: Sugar Menekşe Damarlı.



Şekil 4.24 İncelenen Afyon menekşe mermer örneklerine ait $\delta^{13}C$ ve $\delta^{18}O$ izotop değerlerinin grafiği.

5. SONUÇLAR

Bölgenin en yaşlı kayaçları şist, kuvarsit ve mermerlerden oluşan Afyon Metamorfikleridir. Paleozoyik yaşlı Afyon Metamorfikleri tabanda muskovit şist-kalkışist-klorit şist gibi farklı şistlerden oluşan birim bulunur. Şistlerin üzerine Çalışmanın ana konusunu oluşturan İscehisar Mermerleri yer almaktadır. Mermerler tabanda Kaplanpostu, Gri renkli mermer çeşitleri bulunurken üste doğru Bal, Menekşe ve Beyaz renkli mermerler şeklinde sıralanmaktadır. Menekşe mermerlerinde yer yer ince damar olan kesimler görülmektedir. Bu damarlar mermerlere farklı desen ve görünüm kazandırmaktadır. Renk mor, yeşil, sarı gibi oldukça fazla renk skalası görülebilmektedir. breşik yapı mermerlerde çok belirgin olup bunun haricinde beyaz renkli hare olark tanımlanan iri breş yapılarıda gözlenmiştir. Mermer örneklerinin ince kesitlerinde kalsit ana mineraldir. Daha az oranda dolomit, kuvars ve mika gibi farklı mineral çeşitleri içermektedir. Özellikler ince damarların bulunduğu kesimlerde opak minerallerin yoğunlaştığı gözlenmiştir.

Sem incelmeleri yapılan menekşe matriks beyaz örneklerinde kalsit tanelerinde ayrışma izlerine rastlanılmamıştır. Buna karşılık damarlı olan menekşe mermerlerinde ise az oranda ayrışma izleri görülmüştür. Bu durumun mermerlerin bileşimlerinde yer alan silikat içerikli mineraller ayrışmaya neden olduğu ve bu silikat kökenli minerallerin karbonat mineralleri dokanak sınırları boyunca ayrışmaya etki yaptığı gözlemlenmiştir. Çizelge 5.1’de çalışma kapsamında kullanılan menekşe mermer örneklerine ait veriler verilmiştir. Her mermer türüne ait mineralojik, jeokimyaal ve izotopik veriler bulunmaktadır. Çizelge 5.1’deki verilere göre matriks beyaz olan menekşe mermer türleri ile damarlı menekşe türleri arasında oldukça belirgin farklar ortaya çıkmıştır. Özellikle damarlı menekşe mermerlerinde renk verici Al_2O_3 , TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 gibi ana oksitlerde, Ni, Cu, Zn ve Sr gibi iz elementlerde ve $\delta^{13}C$ $\delta^{18}O$ izotop değerlerinin değişkenlik gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 5.1 Menekşe mermerlerine ait parmak izi verileri.

Mermer türü	Mineralojik-Petrografik Özellikler			Jeokimyasal Özellikler			
	Polarizan Mikroskop	XRD	SEM	Ana Element (%)	İz Element	Nadir Toprak	İzotop (‰)
Afyon menekşe matriks beyaz	Eas mineral kalsit, polisentetik ikizlenme göstermekte	Kalsit	CaO	CaO:55.24±55.27 SiO ₂ :0.22-0.27 Al ₂ O ₃ :0.12-0.14 Fe ₂ O ₃ :0.05-0.06 MgO:0.41-0.45	Ni:1-3 Cu:13-7 Zn:7 Sr:157-171	Nd:0.017-0.51 Sm:0.17-0.22 Y:2-3 ΣNTE:0.7-1.4	13C: 2.53;2.65 18O:-3.09;-3.26
Argento menekşe matriks beyaz	Kalsit hakim az oranda kuvars, kalsit polisentetik ikizlenme göstermekte	Kalsit±Dolomit	CaO	CaO:54.85±55.05 SiO ₂ :0.28-0.41 Al ₂ O ₃ :0.16-0.25 Fe ₂ O ₃ :0.06-0.09 MgO:0.54-0.55	Ni:2-6 Cu:8-10 Zn:9-11 Sr:182-183	Nd:0.026-0.043 Sm:0.115-0.121 Y:4-5 ΣNTE:1.0	13C:2.30;2.38 18O:-2.85;-2.90
Sugar menekşe matriks beyaz	Kalsit hakim az oranda kuvars, kalsit polisentetik ikizlenme göstermekte	Kalsit±Dolomit	CaO	CaO:54.87±55.00 SiO ₂ :0.38-0.43 Al ₂ O ₃ :0.25-0.26 Fe ₂ O ₃ :0.08-0.09 MgO:0.48-0.54	Ni:2-4 Cu:6-7 Zn:8-9 Sr:138-148	Nd:0.072-0.625 Sm:0.081-0.199 Y:2-3 ΣNTE:0.9-1.5	13C:2.52;2.71 18O:-2.73;-3.07
Afyon menekşe damarlı	kalsit+kuvars+opak mineral+muskovit, ince damarlı, breş boyutları küçük	Kalsit±Dolomit±Kuars±Muskovit±Opak Mineral	CaO±SiO ₂ ±Al ₂ O ₃ ±Karbon Fe ₂ O ₃ ±MgO±K ₂ O±TiO ₂	CaO:53.13±53.21 SiO ₂ :1.71-1.63 Al ₂ O ₃ :1.07-1.15 Fe ₂ O ₃ :0.37-0.40 MgO:0.66-0.71	Ni:10-13 Cu:4 Zn:11-13 Sr:138-142	Nd:0.025-0.508 Sm:0.088-0.107 Y:4-5 ΣNTE: 0.6-1.4	13C:2.51;2.69 18O:-2.93;-3.47
Argento menekşe damarlı	ince-orta kalın damarlı, breş boyutları küçük-orta büyüklükte	Kalsit±Dolomit±Kuars±Muskovit±Opak Mineral	CaO±SiO ₂ ±Al ₂ O ₃ ±Karbon Fe ₂ O ₃ ±MgO±K ₂ O±TiO ₂ ±MnO	CaO:51.73±52.48 SiO ₂ :2.46-3.48 Al ₂ O ₃ :0.56-0.95 Fe ₂ O ₃ :0.56-0.95 MgO:0.70-0.84	Ni:27-60 Cu:6-7 Zn:20-26 Sr:155-157	Nd:0.561-0.678 Sm:0.006-0.154 Y:8-8 ΣNTE:1.4-1.5	13C:2.41;2.48 18O:-2.57;-2.70
Sugar menekşe damarlı	ince-orta kalın damarlı, breş boyutları orta-iri büyüklükte	Kalsit±Dolomit±Kuars±Muskovit±Opak Mineral	CaO±Karbon	CaO:53.24±53.84 SiO ₂ :1.26-1.52 Al ₂ O ₃ :0.92-1.06 Fe ₂ O ₃ :0.34-0.38 MgO:0.61-0.72	Ni:10-14 Cu:7 Zn:10-12 Sr:130-143 Zr:22-23	Nd:0.075-0.091 Sm:0.083-0.119 Y:4-5 ΣNTE:1.2	13C:2.56;2.72 18O:-2.83;-3.04

Mermer provenslerinin tanımlanmasında birtakım zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden mermerlerin birbirine benzeyen fiziksel ve kimyasal parametreleri yüzünden zorluk çekilmektedir. Mermerlerin karakteristik özelliklerini ortaya koymada 3 teknikten yararlanılmaktadır. Bunlar, petrografi, Kathodoluminessans (CL) ve C ve O izotop analizleridir $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri göre inceleme alanındaki mermerler sıg deniz suyu sedimanları görölmektedir. Düşük ^{18}O meteorik sıvıların etkilemesi sonucunda bölge mermerlerinin ^{18}O değerleri de düşük olmaktadır. Metamorfizma süresince sıvı ve minerallerin metamorfik reaksiyonları süresi sonucunda bölge mermerlerinin ^{18}O değerleri düşmektedir.

İncelenen numuneler önemli miktarda oksijen izotop oranları göstermiş ve karbon izotop oranlarındaki değişimlerinin daha sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Karbon izotop oranlarındaki değişimlerinin daha sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Menekşe renkli mermerlerde $\delta^{13}\text{C}$ değerlerini % + 2,30 ile % +2,72 arasında değişirken $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise % -2.70 ile % - 3.36 arasında değişim göstermektedir.

6. KATKI BELİRTME

Bu çalışma AKÜ BAP Koordinatörlüğünün 22. FEN. BİL.19 numaralı AKÜ BAP projesi tarafından desteklenmiştir. Ayrıca çalışma süresince bize kendi mermer ocak işletmelerinde gerekli çalışma imkanı veren tüm mermer işletmelerine teşekkür ederim.

7. KAYNAKLAR

- Akkök R, 1981, Menderes Massifinin gnayslarında ve şistlerinde metamorfizma koşulları, Alaşehir, Manisa, Türkiye Jeoloji Bülteni 24: 11-20, Ankara.
- Albustanlıoğlu T, 2000, Dokimeion Antik Mermer Ocağı ve İhracat Potansiyeli, Yüksek Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Klasik Arkeoloji Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 95 s. Yayınlanmamış, Ankara.
- Antonelli F, Lazzarini L, Rasplus L, Turi B, 2002, Petrographic and geochemical characterization of cipollino mandolato marble from the French central Pyrenees. In: Herrmann J, Herz N, Newman R (eds) ASMOSIA V. Interdisciplinary studies on ancient stone. Archetype Publications, London, pp 77–90.
- Attanasio D, Brilli M, Ogle N, 2006, The isotopic signature of classical marbles. L'erma di Bretschneider, Rome.
- Bağcı M 2020, Mineralogical, petrographic, and geochemical characterization of colored İsehisar marbles (Afyonkarahisar, W-Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences 29 (6): 946-975. <https://doi.org/10.3906/yer-2001-20>.
- Barbin V, 1999, An unidentified but probably identical origin of several white marble artefacts from the Walters art gallery (Baltimore, USA): evidence from petrographic, cathodoluminescence and stable isotope studies. In: Schvoerer M (ed) ASMOSIA IV. Arche'omate'riaux: Marbres et autres roches. CRPAA-Presses Universitaires de Bordeaux, Bordeaux, pp 39–43.
- Barbin V, Ramseyer K, Decrouez D, Burns SJ, Chamay J, Maier JL, 1992, Cathodoluminescence of white marbles: an overview. Archaeometry 34:175–183
- Cabral JMP, Vieira MCR, Carreira PM, Figueiredo MO, Pena TP, Tavares A, 1992, Preliminary study on the isotopic and chemical characterization of marbles from Alto Alentejo (Portugal). In: Waelkens M, Herz N, Moens L (eds) ASMOSIA II. Ancient stones: quarrying, trade and provenance. Acta Archaeologica Lovaniensia, Monographiae 4. Leuven University Press, Leuven, pp 191–198.

- Candan O ve Çetinkaplan M, 2005, Bayat İscehisar (Afyon) Çevresindeki Mesozoik Yaşlı Kayaların Alpin Yüksek Basınç/Düşük Sıcaklık Metamorfizması ve Batı Anadolu'daki Tektonik Ünitelerin Evrimiyle Olan İlişkisi. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Projesi No:101Y022.
- Craigh H and Craigh V, 1972, Greek marbles: determination of provenance by isotopic analysis. Science 176,401-403.
- DPT 2001, Devlet Planlama Teşkilatı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001, Ankara.
- Erguvanlı K, Yüzer E, Güleç K. ve Zambak G. 1972, "Türkiye Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri ve Mermerlerin Sınıflandırılmaları Hakkında Düşünceler", Türkiye Jeoloji Bülteni, Sayı: 15/2, s. 131-153, Ankara.
- Erkan Y, Bayhan H, Tolluoğlu AÜ, Aydar E, 1996, Afyon Yöresi Metamorfik ve Volkanik Kayaçların Jeolojik, Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Türkiye Bilimsel ve teknik Araştırma Kurumu, Ankara.
- Gorgoni C, Lazzarini L, Pallante P, Turi B, 2002, An updated and detailed mineropetrographic and C-O stable isotopic reference database for the main Mediterranean marbles used in antiquity. In: Herrmann J, Herz N, Newman R (eds) ASMOSIA V Interdisciplinary studies on ancient stone. Archetype Publications, London, pp 115–131.
- Green WA, Young SMM, van der Merwe NJ, Herrmann JJ, 2002, Source tracing marble: trace element analysis with inductively coupled plasma-mass spectrometry. In: Herrmann J, Herz N, Newman R (eds) ASMOSIA V. Interdisciplinary studies on ancient stone. Archetype Publications, London, pp 132–142.
- Herrmann JJ, Barbin V, 1993, The exportation of marble from the Aliki quarries on Thasos: cathodoluminescence of samples from Turkey and Italy. American J. Archaeology 97:91–103.
- Herz N, 1988, The Oxygen and Carbon Isotopic Data Base For Classical Marble, N. Herz And M. Waelkens (Eds.), Classical Marble: Geochemistry, Technology, Trade, 305-314. 1988 By Kluwer Academic Publishers.

- Herz N, 1992, Provenance determination of neolithic to calassicalMediterranean marbles by stable isotopes. *Archaeometry* 34, 185-194.
- Jarvis JC, Wildeman TR, Banks NG, 1975. Rare earths in the Leadville limestone and its marble derivates, *Chem, Geol*, 16, 27–37.
- Jongste PFB, Jansen JB, Moens L, De Paepe P, Waelkens M, 1992, The use of marble in Latium between 70 and 150 A.D. ICPAES for determination of the provenance of white marbles. In: Waelkens M, Herz N, Moens L (eds) *ASMOSIA II. Ancient stones: quarrying, trade and provenance. Acta Archaeologica Lovaniensia, Monographiae* 4. Leuven University Press, Leuven, pp 263–267.
- Kaufman AJ, and Andrew Knoll H, 1995, Neoproterozoic variations in the C-isotopic composition of seawater: stratigraphic and biogeochemical implications, *Precambrian Research*, 73, 1–4, 27-49.
- Kibici Y, Yıldız A, Bağcı M, 2001, “Afyon Kuzeyinin Jeolojisi ve Mermer Potansiyelinin Araştırılması”, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem'2001) Bildiriler Kitabı*, Afyon, 73-84.
- Kokkorou-Alevras G, Mandi V, Grimanis AP, Maniatis Y, 1995, The traditional archaeological characterisation of marble sculpture and the results of modern scientific techniques. In: Maniatis Y, Herz N, Basiakos Y (eds) *ASMOSIA III. The study of marble and other stones used in antiquity. Archetype Publications*, London, pp 95–102.
- Kulaksız S, Özçelik Y, Bayram F, Engin İC, 2012, *Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği Ve İşleme Teknolojileri*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.
- Kuşçu M, Bağcı M, Yıldız A, 2001, “Afyon Mermer Endüstrisi ve Türkiye Mermer Sektöründeki Konumu”, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem'2001) Bildiriler Kitabı*, Afyon, 361-368.
- Kuşçu M, Bağcı M, 2003, *Afyon Mermer Sektörü ve Türkiye Mermer Sektöründeki Yerin Araştırılması*, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM -2003)*, S: (127-139),AFYON.

- Lapuente, MP, 1995, Mineralogical, petrographical and geochemical characterization of white marbles from Hispania. In: Maniatis, Y., Herz, N., Basiakos, Y. (Eds.), *The Study of Marble and Other Stones Used in Antiquity*. Archetype, London, pp. 151-160.
- Lapuente P, Blanc P, 2002, Marbles from Hispania: scientific approach based on cathodoluminescence. In: Herrmann J, Herz N, Newman R (eds) *ASMOSIA V. Interdisciplinary studies on ancient stone*. Archetype Publications, London, pp 143–151.
- Lazzarini L, Masi U, Tucci P, 1995, Petrographic and geochemical features of the Carystian marble, ‘Cipollino verde’, from the ancient quarries of Southern Euboea (Greece). In: Maniatis Y, Herz N, Basiakos Y (eds) *ASMOSIA III. The study of marble and other stones used in antiquity*. Archetype Publications, London, pp 161–169.
- Lazzarini L, Turi B, 1999, Characterisation and differentiation of the Skyros marbles (Greece) and the Medici’s breccias (Italy). In: Schvoerer M (ed) *ASMOSIA IV. Arche’omate’riaux: Marbres et autres roches*. CRPAA-Presses Universitaires de Bordeaux, Bordeaux, pp 117–123.
- Lazzarini L, Ponti G, Martinez MP, Rockwell P, Turi B, 2002, Historical, technical, petrographic and isotopic features of Aphrodisian marble. In: Herrmann J, Herz N, Newman R (eds) *ASMOSIA V. Interdisciplinary studies on ancient stone*. Archetype Publications, London, pp 163–168.
- Luke C, Tykot RH, Scott RW, 2006, Petrographic and stable isotope analyses of late classic Ulu’a marble vases and potential sources. *Archaeometry* 48:13–29.
- Mentzos A, Barbin V, Herrmann JJ, 2002, Cathodoluminescence and isotopic analysis of Roman and Early Byzantine architectural decoration in the Rotunda Museum, Thessaloniki. In: Herrmann J, Herz N, Newman R (eds) *ASMOSIA V. Interdisciplinary studies on ancient stone*. Archetype Publications, London, pp 316–327.
- Metin S, Genç Ş, Bulut V, 1987, Afyon ve Dolayının Jeolojisi, M.T.A. Rapor No:8103, (Yayınlanmamış), Ankara.

- Moens L, De Paepe P, Waelkens M, 1992b, Multidisciplinary research and cooperation: keys to a successful provenance determination of white marble. In: Waelkens M, Herz N, Moens L (eds) ASMOSIA II. Ancient stones: quarrying, trade and provenance. *Acta Archaeologica Lovaniensia, Monographiae* 4. Leuven University Press, Leuven, pp 247–252.
- Maniatis Y, Mandi V, 1992, Electron paramagnetic resonance signals and effects in marble induced by working, *Journal of Applied Physics*, 71(10), 4859–67.
- Oddone M, Meloni S, Genova N, Maccabruni C, Pearce M, 1999, The provenance of the white marble from the Torre Civica excavations (Pavia-Italy). In: Schvoerer M (ed) ASMOSIA IV. *Arche'omate'riaux: Marbres et autres roches*. CRPAA-Presses Universitaires de Bordeaux, Bordeaux, pp 141–146.
- Parekh PP, Moller P, Dulski P, Baush WM, 1977, Distribution of trace elements between carbonate and non-carbonate phases of limestone. *Earth Planet. Sci. Lett.* 34, 39–50.
- Ramseyer K, Decrouez D, Barbin V, Burns SJ, Moens L, De Paepe P, Roos P, Chamay J, Maier JL, 1992, Provenance investigation of marble artifacts now in the collection of the Museum of Art and History in Geneva. In: Waelkens M, Herz N, Moens L (eds) ASMOSIA II. Ancient stones: quarrying, trade and provenance. *Acta Archaeologica Lovaniensia, Monographiae* 4. Leuven University Press, Leuven, pp 287–296.
- Shaw HF, Wasserburg GJ, 1985, Sm–Nd in marine carbonates and phosphates, implications for Nd isotopes in seawater and crustal ages, *Geochim, Cosmochim, Acta* 49, 503–518.
- Siegesmund S, Kracke T, Ruedrich J, Schwarzburg R, 2010, Jewish cemetery in Hamburg Altona (Germany): State of marble deterioration and provenance. *Eng Geol* 115:200–208.
- Strabon, 1993, *Antik Anadolu Coğrafyası*, Prof. Dr. Adnan Pekman (Çev) (*Geographika XII-XIII-XIV*), İstanbul.

- Stastna A, Prikryl R, Jehlicka J, 2009, Methodology of analytical study for provenance determination of calcitic, calcite-dolomitic and impure marbles from historic quarries in the Czech Republic. *J Cult Herit* 10 (1):82–93.
- Şahin Ş, Ünlügenç UC, 2014, Bayat-Bolvadin (Afyonkarahisar) Arasındaki Bölgenin Stratigrafisi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (1), 173-191.
- Sun SS, McDonough WF, 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A. D. Saunders and M.J. Norry (eds). *Magmatism in Ocean Basins*. Geological Society Special Publication, 42: 313–345
- Tolluoğlu, AÜ, Erkan Y, Sümer EÖ, Boyacı MN, Yavaş F, 1997, Afyon Metasedimanter Grubunun Mesozoyik Öncesi Metamorfik Evrimi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 40, Sayı 1, 1-17.
- TS EN 12407, Türk Standardı, 2008, Doğal Taşlar - Deney Metotları – Petrografik İnceleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Unterwurzacher M, Polleres J, Mirwald P, 2005, Provenance study of marble artefacts from the Roman burial area of Faschendorf (Carinthia, Austria). *Archaeometry* 47:265–273.
- Yavuz AB, 2001, Muğla Yöresi Mermerler Ocaklarında Blok Mermer Üretimini Etkileyen Jeolojik Parametreler, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yavuz AB, 2003. Mermer Ocaklarında Blok Mermer Üretimini Etkileyen Jeolojik Parametreler, Mermer Meslek içi Eğitim Semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No: 74, s.52-64, 13-19 Ocak, Ankara.

İnternet kaynakları:

- 1-<http://www.migem.gov.tr/mevzuat/kanunlar.html/> istatistikler, 14.05.2025.
- 2- <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabikaynaklar-dogaltaslar>, 14.05.2025.