

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARMUTLU YARIMADASI DOĞUSUNDAKİ TEMEL
KAYAÇLARIN JEOLOJİSİ VE BAŞKALAŞIM KOŞULLARI

YUNUS EMRE EKİM

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ARMUTLU YARIMADASI DOĞUSUNDAKİ TEMEL
KAYAÇLARIN JEOLOJİSİ VE BAŞKALAŞIM KOŞULLARI**

YUNUS EMRE EKİM

Prof.Dr. Ömer Faruk ÇELİK
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Mutlu ÖZKAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi İsak YILMAZ
Jüri Üyesi, İstanbul-Cerrapaşa Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 06.05.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler Kocaeli Üniversitesi tarafından no'lu hızlı destek projesi kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Yunus Emre EKİM

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Yunus Emre EKİM

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Kuzeybatı Türkiye’de yer alan Armutlu Yarımadası doğusunda yüzeyleyen başkalaşım kayaçlarının oluşum koşullarını konu alan bu tez çalışmasında, kayaçların üst amfibolit fasiyesinde metamorfize olduğu tespit edilmiştir.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca desteğini ve bilgeliğini esirgemeyen, mesleki ve insani anlamda birçok konuşmamızın bulunduğu, bilime duyduğum ilgiyi pekiştiren, birebir çalışma fırsatı bulduğum ve çok şey öğrendiğim saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Ömer Faruk ÇELİK’e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımı yürütürken her zaman için tüm durumlarda hoş görüyle beni yönlendiren, tecrübelerini aktaran, bana her şeyden önce bir kardeş gibi davranan çok saygıdeğer ve sevgili hocam Dr. Öğr. Üyesi Mutlu ÖZKAN’a çok teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tezinde araştırılan kayaçların mineral kimyası analizlerini gerçekleştiren Prof. Dr. Gültekin TOPUZ ve Prof. Dr. Andera Marzoli’ye ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarımı gerçekleştirmek amacı ile kalacak yer ve araç imkânı sağlayan amcalarım Zeki EKİM ve Hüseyin EKİM’e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatı doğru şekilde yaşamam konusunda öğretileri ile maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Nevzat EKİM’e, annem Hatice EKİM’e çok teşekkür ederim ve bu süreçte çok sevgili kardeşim Elif Nur EKİM’e de ayrıca minnettarım. Ayrıca arazi çalışmalarımı yürütürken yanımda arkadaşım olarak destek sağlayan sevgili babam Nevzat EKİM’e ayrıca çok teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Mayıs-2024

Yunus Emre EKİM

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması	2
2.2. Çalışma Yöntemi	5
2.3. Önceki Çalışmalar.....	5
2.4. Bölgesel Jeoloji.....	11
3. GENEL JEOLojİ	15
3.1. Geyve Boğazı Metamorfitleleri	17
3.2. Vartankeltepe Ultramafik ve Mafik Kayaçları	26
3.3. Kocadağ Metamorfitleleri.....	26
3.4. Bakacak Formasyonu.....	26
3.5. Arslanbey Formasyonu	29
3.6. Alüvyon	29
4. MİNERALojİ VE PETROGRAFi	30
4.1. Granat-Amfibolit (DM-1)	30
4.2. Sillimanit-Granat-Biyotit Şist (M-31)	34
5. BAŞKALAŞIM KOŞULLARININ SINIRLANDIRILMASI	37
5.1. Granat-Amfibolit (DM-1)	39
5.2. Sillimanit-Granat-Biyotit Şist (M-31)	40
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	48
KAYNAKLAR.....	53
EKLER	62
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası (URL-1)	2
Şekil 2.2.	Çalışma alanının morfolojisini gösteren Dijital Yükseklik Modeli (DEM)	3
Şekil 2.3	Çalışma alanına ait genel görünüm; (a) Nuriosmaniye köyü ve (b) Sakarya Nehir tarafından kesilen Geyve Boğazının görünümü (c, d) Maksudiye köyü doğusunda yoğun bitki örtüsünün görünümü	4
Şekil 2.4.	Türkiye’deki tektonik birlikleri ve kenet kuşaklarını gösterir harita. (İAEK: İzmir-Ankara-Erzincan Kenedi, BFZ: Bornova Fliş Zonu).....	12
Şekil 2.5.	Armutlu Yarımadası’nın (a) Kuzey batı Türkiye’deki konumu (b) Armutlu Yarımadası doğusunda bulunan çalışma alanını da gösteren sadeleştirilmiş jeoloji haritası	12
Şekil 2.6.	Armutlu Yarımadası jeolojisi için farklı araştırmacılar tarafından oluşturulan genelleştirilmiş kolon kesitler	14
Şekil 3.1.	Çalışma alanının jeoloji haritası.....	16
Şekil 3.2.	Çalışma sahasına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Özkan 2013’ten değiştirilerek alınmıştır).....	17
Şekil 3.3.	Geyve Boğazı Metamorfitlerinin ekaylı yapısı gösteren D-B yönlü A-A’ hattı boyunca alınan jeolojik enine kesit. Kesit hattı Şekil 3.1’deki jeoloji haritası üzerinde gösterilmektedir.	18
Şekil 3.4.	Geyve Boğazı Metmorfitleri içerisinde izlenen (a) kaba taneli amfibol ve epidot minerallerinin belirgin olarak izlendiği epidot amfibolit (b) ince taneli epidot amfibolit görünümü.....	19
Şekil 3.5.	Geyve Boğazı Metamorfitleri içerisinde izlenen granat porfiroblastları, plajyoklaz ve kuvars minerallerinin belirgin şekilde kayacın içersindeki görünümü.....	19
Şekil 3.6.	Geyve boğazın civarında izlenen (a) ince ve (b) kaba taneli amfibolitlerin görünümü	20
Şekil 3.7.	Amfibolitlerde belirgin olarak izlenen mineral yönelimleri. Kuvars oluşumları lineasyona paralel olarak gelişmiştir. Kayacın (b) epidot ve (a) kuvars damarları tarafından kesildiği izlenmektedir.....	20
Şekil 3.8.	Maksuiye köyü KD’sunda metabazitlerde izlenen gaz boşlukları (a) gaz boşlukları içerisindeki mineral yönelimi belirgin metabazit görünümü (b) görece korunmuş gaz boşluklu metabazit görünümü.....	21
Şekil 3.9.	Çalışma sahasında izlenen amfibolit ve granitik gnaysların genel görünümleri. (a) sünek deformasyon gösteren granitik gnays görünümü (b, c, d) granitik gnays ve amfibolitlerin ardalanmalı görünümleri.....	21
Şekil 3.10.	(a, b, c, d, e) Geyve boğazı doğusunda farklı lokasyonlarda izlenen amfibolit ve granitik gnaysik kayaçların ardalanmalı görünümü. (d) amfbolit ve granitik gnaysik kayaçları kesen kuvars damarı (c) iki kayacın cm boyutunda geçişli olduğu izlenmektedir.....	22

Şekil 3.11.	(a, b) Amfibolitik kayaçları kesen kuvars damarları (c, e) kuvars damarları ve amfibolitlerin kıvrımlı yapısı ve budin yapısı (d) kuvars damarı üzerinde plajiyoklazların görünümü	23
Şekil 3.12.	Granitik gnays kayaçlarının amfibolitik dayk tarafından kesilme ilişkinin görünümü	23
Şekil 3.13.	Amfibolitik kayçaların meta-granitler içerisinde gösterdiği sünek deformasyon görünümü	24
Şekil 3.14.	Amfibolitik kayaçlar içerisinde sünek deformasyon sonucu gelişen kıvrımlı yapı.	25
Şekil 3.15.	Geyve Boğazı Metamorfitlelerinin ekaylı yapısı gösteren G-K yönlü B-B' hattı boyunca alınan jeolojik enine kesit. Kesit hattı Şekil 3.1'deki jeoloji haritası üzerinde gösterilmektedir	25
Şekil 3.16.	Görece kötü boylanmalı yer yer yuvarlakmış çakıltaşlarının görünümü	27
Şekil 3.17.	Bakacak formasyonuna ait sedimanter birimlerin görünümü (a) sarımsı renke masif yapıli K65B, 30GB konumlu tabakalı kumtaşları (b) gri boz renkte ince taneli K70D, 70GD konumlu tabakalı kumtaşı (c) kireçtaşı ve karbonat birimleri arasında amfibolitik kayaç blokları içeren birim (d) fosil kavkılı biyoklastik kireçtaşı görünümü	28
Şekil 3.18.	Maksudiye köyü civarında yüzlek veren olistostromal kireçtaşlarının görünümü	28
Şekil 4.1.	Granat-amfibolit örneğinde (a, c) doğal ve (b, d) polarize ışık altındaki görüntüleri. Granatlar yarı özşekilli, amfibol mineralleri ise doğal ışık altında yeşil renkleri ile belirgindir. Kısaltmalar: grt, granat; amf, amfibol; bio, biyotit.	31
Şekil 4.2.	Geyve Boğazı Metamorfitleri'nden derlenen granat-amfibolit (DM-1) örneğinin amfibollerinin kimyasal bileşimleri	32
Şekil 4.3.	Doğançay köyü civarında derlenen granat-amfibolit (DM-1) örneğine ait plajiyoklazlarının bileşimi. Kısaltmalar: Ab; Albit, An; Anortit, Or; Ortoklaz	33
Şekil 4.4.	Granat-amfibolit (DM-1) örneğinin granatlarının bileşimleri ve içeriği	33
Şekil 4.5.	Granat- amfibolit (DM-1) örneğinin (a) ak mikalarının bileşimi, (b) aynı örneğin Ca-Mg-Fe üçgen sınıflama diyagramındaki konumları. Kısaltmalar: Wo; vollastonit, En; Enstatit, Fs; Ferrosillit	34
Şekil 4.6.	Lepidoblastik dokulu sillimanit-granat-biyotitşist (M-31) örneğinin (a) doğal ve polarize (b) ışık altındaki görünümli. Kısaltmalar: grt; granat, bio; biyotit, qz; kuvars, sil; sillimanit	35
Şekil 4.7.	Sillimanit-biyotit şist (M-31) örneğine ait granatların bileşimsel değişimi	36
Şekil 4.8.	Sillimanit-biyotit şist (M-31) örneğine ait plajiyoklazların bileşimi. Kısaltmalar: An; anortit, Ab; albit, Or; ortoklaz	36
Şekil 5.1.	(a, b) Sillimanit-granat-biyotit şist örneğine ait mineral kimyası lokasyonları (c, e) lokasyon 2'ye ait sırasıyla pirop ve almandin bileşiminin değişimi (d, f) lokasyon 3'e ait sırasıyla pirop ve almandin bileşiminin değişimi	42

Şekil 5.2.	Sillimanit-granat-biyotit şist örneğinin 700 °C'deki kestirilen H ₂ O değerinin yalancı kesit üzerinde gösterimi (mor renkli kesikli çizgi 60 mole denk gelmektedir).....	44
Şekil 5.3.	Sillimanit-granat-biyotit şist örneğine ait %12 Fe ⁺³ mol hacme göre oluşturulan denge faz diyagramı. Diyagram üzerinde çakışan XAlm, XPrp, XGrs çizgilerinin kesiştiği alanlarda petrografik incelemerde izlenen mineral topluluğunun izlenmediği görülmektedir	45
Şekil 5.4.	Sillimanit-granat-biyotit şist (M-31) örneğinin %6 Fe ⁺³ molar hacme göre THERIAK-DOMİNO yazılımı ile hesaplanmış olan faz denge diyagramı. Eş bileşim eğrileri XAlmandin kırmızı, XPirop mavi, XGrossular yeşil kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Açık mavi renkli alan kayacın duraylı olduğu ve başkalaşım koşullarını (P-T) yansıttığı alandır.	46
Şekil 5.5.	Sillimanit-granat-biyotit şist (M-31) örneğinin %9 Fe ⁺³ molar hacme göre THERIAK-DOMİNO yazılımı ile hesaplanmış olan faz denge diyagramı. Eş bileşim eğrileri XAlmandin kırmızı, XPirop mavi, XGrossular yeşil kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Açık mavi renkli alan kayacın duraylı olduğu ve başkalaşım koşullarını (P-T) yansıttığı alandır.	47

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Sakarya ilinin 1951-2022 yılları arasında yağış ve sıcaklık istatistiklerini gösterir tablo	4
Tablo 5.1 Geyve Boğazı Metamorfizmaları'ndan derlenen granat amfibolit örneğinden geleneksel yöntemler ile elde edilen sıcaklık ve basınç değerlerini özetleyen tablo	40
Tablo 5.2 Geyve Boğazı Metamorfizmaları'ndan derlenen sillimanit-granat-biyotit şist örneğinden geleneksel yöntemler ile elde edilen sıcaklık ve basınç değerlerini özetleyen tablo	41
Tablo 5.3 Sillimanit-granat-biyotit şist örneğine ait lokasyon 2'de uygulanan mineral kimyası sonuçlarının geleneksel jeotermometre sonuçlarını gösterir tablo	43
Tablo 5.4 Sillimanit-granat-biyotit şist örneğine ait lokasyon 3'te uygulanan mineral kimyası sonuçlarının geleneksel jeotermometre sonuçlarını gösterir tablo	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ar	: Argon
Alm	: Almandin
Bio	: Biyotit
°C	: Santigrat
Fe	: Demir
Grs	: Grossular
Grt	: Granat
Kbar	: Kilobar
My	: Milyon yıl
Mg	: Magnezyum
Nd	: Neodimyum
Prp	: Pirope
P	: Basınç
Pb	: Kurşun
Sil	: Sillimanit
Sr	: Stronsiyum
Sr	: Stronsiyum
Sps	: Spessartin
Ti	: Titanyum
T	: Sıcaklık
U	: Uranyum
Qz	: Kuvars

Kısaltmalar

GASP	: Granat-alüminosilikat-plajiyooklaz
GBM	: Geyve Boğazı Metamorfitleri
HP	: High Pressure (Yüksek Basınç)
HT	: High Temperature (Yüksek Sıcaklık)
İAEK	: İzmir-Ankara-Erzincan Kenedi
LP	: Low Pressure (Düşük Basınç)
LT	: Low Temperature (Düşük Sıcaklık)
NTE	: Nadir Toprak Elementleri

ARMUTLU YARIMADASI DOĞUSUNDAKİ TEMEL KAYAÇLARIN JEOLJİSİ VE BAŞKALAŞIM KOŞULLARI

ÖZET

Türkiye'nin Kuzeybatısında yer alan Armutlu Yarımadası'nın temel niteliğini taşıyan metamorfik birimleri, ağırlıklı olarak amfibolitlerden ve daha az oranda ise mikaşist türü kayalardan ve Geç Proterozoyik-Erken Paleozoyik meta-granitlerden oluşmaktadır. Bu çalışmada Armutlu Yarımadası'nın doğu ucundaki Geyve boğazı civarında yer alan metamorfik temel kayaların mineralojik-petrografik özellikleri ve başkalaşım koşulları incelenmiştir.

Çalışma alanında bulunan metamorfik kayalar baskın olarak iyi gelişmiş foliasyonlu yapılara sahip bantlı ve masif yapılar sunan amfibolitik kayalardan oluşmaktadır. Amfibolitik kayalar ile sınırlı yüzlek alanlarında pelitik kökenli meta-sedimanter kayalar da yüzlek vermektedir. Amfibolitik kayalar mineral topluluklarına göre amfibolit, piroksen-amfibolit, granat-amfibolit, granat-biyotit-amfibolit olarak tanımlanmışlardır. Amfiboller çermakit, hornblend ve magnezyo-hornblend bileşimlerine sahiptirler. Plajyoklazlar ise andezin ve oligoklaz olarak temsil edilirler. Granatlar baskın olarak almandin bileşimindedir. İnceleme alanındaki metamorfik kayalardan granat-amfibolit ve sillimanit-granat-biyotit örnekleri bu metamorfik kayaların başkalaşım koşullarını sınırlandırmak için seçilip analiz edilmiştir. THERIAK-DOMINO faz denge yazılımı ve geleneksel jeotermobarometre yöntemi ile hesaplanan sonuçlara göre Armutlu Yarımadası doğusunda bulunan yüksek dereceli başkalaşım kayalarının 5.4 ± 0.4 kbar basınç ve $710 \pm 10^\circ\text{C}$ sıcaklık koşullarında başkalaşıma uğradığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Armutlu Yarımadası, Amfibolit, Basınç, Başkalaşım Kayacı, Sıcaklık.

GEOLOGY AND METAMORPHOLOGICAL CONDITIONS OF THE BASEMENT ROCKS EAST OF THE ARMUTLU PENINSULA

ABSTRACT

The basement metamorphic units of the Armutlu Peninsula in northwestern Turkey consist mainly of amphibolites and to a lesser extent of micaschist type rocks and Late Proterozoic-Early Paleozoic meta-granites. In this study, the mineralogical and petrographical properties and metamorphic conditions of the metamorphic basement rocks near the Geyve Gorge at the eastern end of the Armutlu Peninsula were investigated.

The metamorphic rocks in the study area are predominantly composed of amphibolitic rocks that present banded and massive structures with well-developed foliated structures. Meta-sedimentary rocks of pelitic origin are also exposed in limited areas with predominantly amphibolitic rocks. Amphibolitic rocks are defined as amphibolite, pyroxene-amphibolite, garnet-amphibolite, garnet-biotite-amphibolite, based on their mineral assemblages. The amphibolites are composed of chermakite, hornblende and magnesio-hornblende. The plagioclases that we analyzed are represented by andesine and oligoclase. Garnet minerals are predominantly almandine in composition. Garnet-amphibolite and sillimanite-garnet-biotite schist samples were selected and analyzed to delimit the metamorphic conditions of these metamorphic rocks. According to the results of THERIAK-DOMINO phase equilibrium software program and conventional geothermobarometer methods; it was determined that the high-grade metamorphic rocks in the east of Armutlu Peninsula were metamorphosed at 5.4 ± 0.4 kbar and $710 \pm 10^\circ\text{C}$.

Keywords: Armutlu Peninsula, Amphibolite, Pressure, Metamorphic Rock, Temperature.

1.GİRİŞ

Metamorfik kayaçlar orojenik kuşakların oluşum süreçlerinin anlaşılmasında önemli bir yere sahiptirler. Aynı zamanda metamorfik kayaçlarının başkalaşım koşullarının belirlenmesi bölgesel jeolojinin tarihçesinin aydınlatılmasına dair önemli veriler de sağlamaktadır. Türkiye farklı tektonik birliklerin bir arada olduğu farklı oluşum koşul ve zamanlarına sahip birçok metamorfik sahanın yüzlek verdiği bir coğrafyada yer almaktadır (ör. Okay ve Tüysüz, 1999). Örneğin, Batı Anadolu’da Menderes Masifi çekirdek kompleksi dünyadaki önemli metamorfik sahalardan birisidir (ör. Okay, 2001). Benzer şekilde Orta Anadolu’da, Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı, Üst Kretase yaşlı Barrov tipi bölgesel metamorfik kayaçların geniş yüzleklere sahip olduğu bir alandır (ör. Whitney et al., 2001; Çörtük ve diğ., 2023). Tavşanlı ve Afyon zonlarındaki metamorfik kayaçlar ise yitim zonu koşullarında başkalaşıma uğramış mavişist ve eklojit fasiyesi kayaçlarını bünyesinde barındıran metamorfik saha konumundadır (ör. Okay, 2002; Çelik ve diğ., 2023). Istranca ve Sünnice masifleri ise kuzeybatı Türkiye’de bölgesel ölçekteki metamorfik kayaçların yüzlek verdiği önemli yerlerdir (ör. Okay ve diğ., 2001; Bozkurt ve diğ., 2012). Yüksek lisans tez çalışma sahasının da içerisinde yer aldığı Armutlu yarımadası kuzeybatı Türkiye’deki önemli metamorfik sahalardan birini temsil etmektedir (ör. Robertson ve Ustaömer, 2004; Okay, 2008; Akbayram ve diğ., 2013; Özkan, 2013).

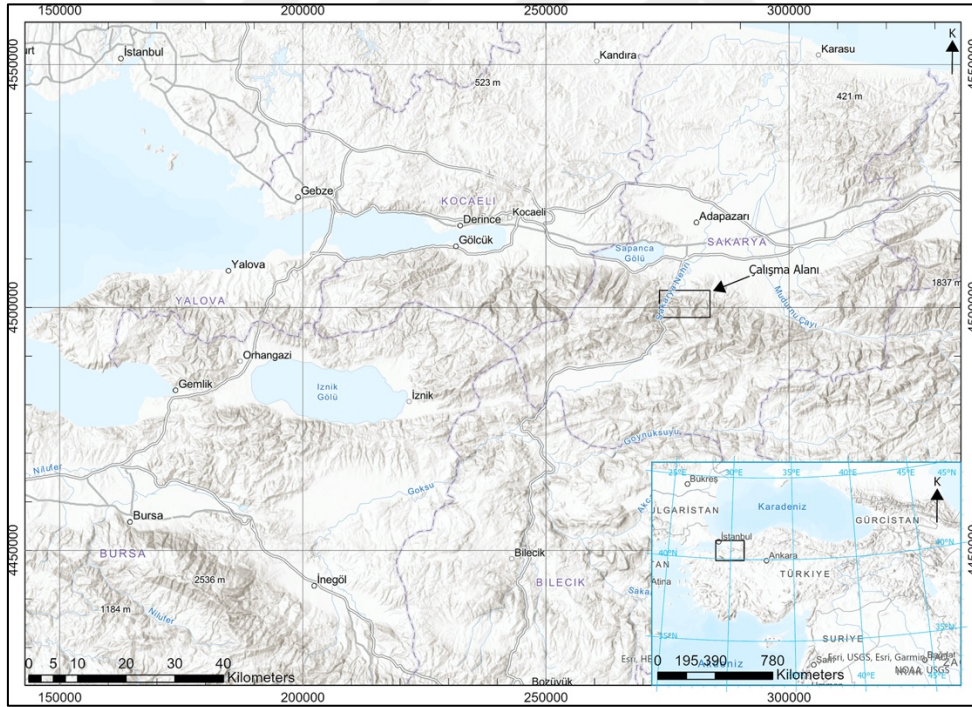
Armutlu yarımadasındaki metamorfik kayaçlar günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından ağırlıklı olarak temel saha gözlemleri, jeokronolojik ve sınırlı kökensel çalışmalar neticesinde incelenmiştir (ör: Akartuna, 1968; Atan ve Akartuna, 1981; Göncüoğlu ve diğ., 1992; Yılmaz ve diğ., 1995; Okay ve diğ., 2008; Akbayram ve diğ., 2013). Bunun yanı sıra, metamorfik kayaçların başkalaşım koşullarına dair çıkarımlar daha çok saha ve petrografik özelliklerine göre gerçekleştirilmiş olup metamorfik kayaçların kökenleri ve başkalaşım koşulları hakkındaki çalışmalar sınırlı kalmıştır (ör. Robertson ve Ustaömer, 2004; Çelik ve diğ., 2009; Şengün, 2022). Dolayısıyla, bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında Armutlu yarımadasının doğu ucundaki metamorfik kayaçların, kökensel özelliklerinin ve başkalaşım koşullarının belirlenmesi ve bu kayaçların bölgesel jeoloji içerisindeki benzer diğer metamorfik sahalar ile kıyaslanarak çalışma alanının jeolojik evriminin anlaşılmasına katkı sağlanması hedeflenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1.Çalışma Alanının Tanıtılması

Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan çalışma sahası Sakarya iline bağlı Geyve ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma sahası Geyve ilçesinin kuzeyinde olup Doğançay, Nuriosmaniye, Fındıksuyu ve Maksudiye köyleri çalışma sahasında başlıca yerleşim yerleridir. Bu yerleşim yerleri ve çalışma sahası 1/25000 ölçekli G24 c1-c2-c4-d2-d3 paftaları içerisinde yer almaktadır (Şekil 2.1).

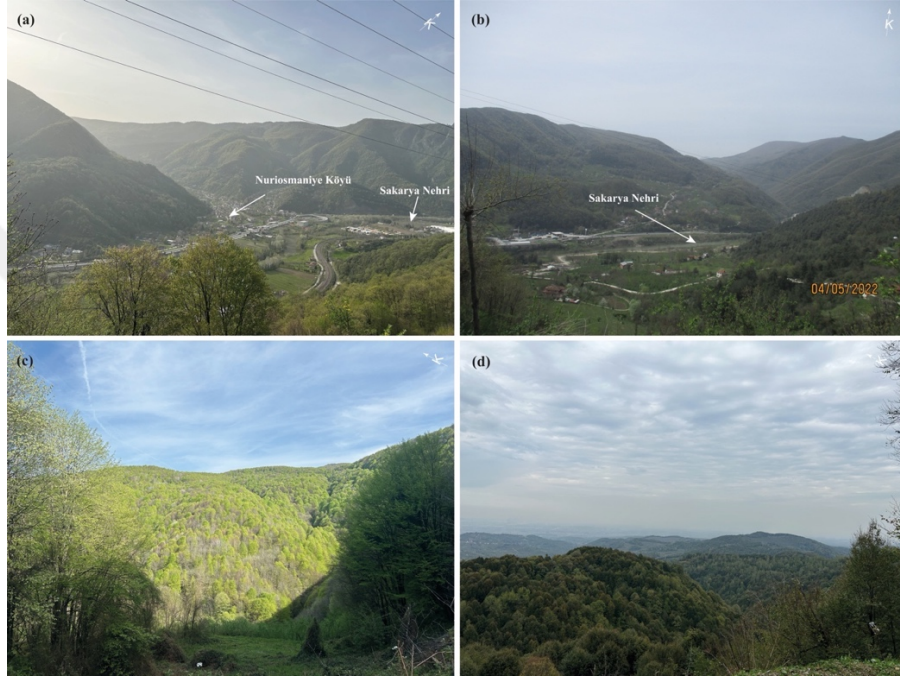
Çalışma sahasına ulaşım farklı şekillerde gerçekleştirilmektedir. Bunlardan ilki D-650 Sakarya-Bilecik karayolu ikincisi ise 1'inci bölge tren hatlarından olan Sakarya-Bilecik tren hattıdır. Bu tren hattı Geyve boğazından Sakarya Nehri'ni takip etmek suretiyle Eskişehir'e kadar devam etmektedir. Doğançay kasabasında bu tren hattına ait tren garı bulunmaktadır.



Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası (URL-1)

Çalışma sahasının içerisinde bulunduğu bölge jeomorfolojisine bakıldığında yüksek tepeler ve derin vadiler mevcuttur (Şekil 2.2., Şekil 2.3.). Başlıca yükseltiler; Kireçkuyu Tepe (1073 m), Çimenlik Tepe (794 m), Ihlamur Tepe (514 m), Sivri Tepe (877), Koca Tepe (891 m), Çimenlik Tepe (794 m) Vartankel Tepe (713 m) olarak sıralanmaktadır (Şekil 1.2.).

Çalışma sahasının güneyinde bulunan Geyve ilçesinin ekonomisi %70 oranında tarıma dayalı olarak ifade edilmektedir. Toplam tarım alanı yaklaşık 20.000 hektar olan ilçede 4.500 hektar sulu geri kalan kısımda ise kuru tarım yapılmaktadır. Bölgede tarım getirisi önemli ölçüde bağcılık ve meyve üretiminden sağlanmaktadır. Başlıca tarım ürünleri ise üzüm, elma, ayva, kiraz, soğan, kırmızı biber domates tütün ve kültür mantarıdır (URL-3).



Şekil 2.3 Çalışma alanına ait genel görünüm; (a) Nuriosmaniye köyü ve (b) Sakarya Nehir tarafından kesilen Geyve Boğazının görünümü (c, d) Maksudiye köyü doğusunda yoğun bitki örtüsünün görünümü

Tablo 2.1. Sakarya ilinin 1951-2022 yılları arasında yağış ve sıcaklık istatistiklerini gösterir tablo (URL-2).

SAKARYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1951 - 2022)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.1	6.8	8.7	12.9	17.4	21.4	23.4	23.4	19.8	15.6	11.7	8.3	14.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.9	11.2	13.8	19.0	23.6	27.6	29.4	29.5	26.4	21.4	16.9	12.0	20.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.0	3.4	4.6	8.1	12.3	15.9	18.0	18.1	14.5	11.1	7.6	5.1	10.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.5	3.2	4.0	5.3	6.6	8.1	8.9	8.5	6.9	4.7	3.5	2.5	5.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15.48	14.01	13.81	11.48	10.13	8.70	5.84	5.80	7.52	10.84	11.62	15.49	130.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	94.3	76.2	75.1	58.9	53.3	73.5	49.7	49.6	52.1	78.3	74.9	107.0	842.9
Ölçüm Periyodu (1951 - 2022)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	26.5	28.7	31.9	35.8	38.0	40.4	44.0	41.8	40.7	38.6	30.2	28.5	44.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-14.5	-13.5	-7.3	-2.4	2.0	6.1	8.7	7.8	5.4	-0.2	-6.6	-9.1	-14.5

2.2.Çalışma Yöntemi

Bu çalışmada, verilerin toplanması ve analiz edilmesi süreci üç ana bölüm altında incelenmiştir; (i) büro çalışmaları, (ii) arazi çalışmaları ve (iii) laboratuvar çalışmaları.

(i) Büro çalışmaları; bölgede daha önce yapılmış olan çalışmaların araştırılması ve derlenmesi. Mineral ve tüm kayaç jeokimyası analiz sonuçlarına göre minerallerin jeokimyasal oranlarının hesaplanması ve basınç sıcaklık koşullarının hesaplanması çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

(ii) Arazi çalışmaları; 2022-2024 yıllarında ağırlıklı olarak bahar aylarında yürütülen yürütülmüştür. Arazi çalışmalarında ölçümler Brunton marka pusula ile alınmış olup lokasyonların koordinatlandırılması ED50 Zone 36 koordinat referans sisteminde Garmin 64XS +- 3 m doğrulukla el GPS'i ile yapılmıştır. İnceleme alanında kayaçlardan alınan el örneklerinin mineral türleri İwamoto el tipi 20x büyüteç ile incelenerek belirlenmiştir.

(iii) Laboratuvar çalışmaları; Arazi çalışmaları sırasında kayaç numuneleri öncelikle mümkün olduğunca en az alterasyon gösteren ve göreceli olarak daha taze özellik sunan mostralardan derlenmiştir. Daha sonra ilgili kayaç numuneleri, Kocaeli Üniversitesi Jeoloji mühendisliği Örnek Hazırlama laboratuvarındaki taş kesme makinası ile kesilerek altere kısımları temizlenmiş ve ardından ince kesit yapımı için uygun hale getirilmiştir. Hazırlanan ince kesitler İstanbul Teknik Üniversitesi İnce kesit Yapım atölyesinde ince kesitler hazırlanmıştır. Kayaç örneklerine ait ince kesitlerin petrografik analizleri Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bünyesindeki görüntülü polarizan mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Kayaçların petrografik analizlerinin ardından, mineral kimyası ve tüm kayaç jeokimyası için uygun olan örneklerin mineral kimyası analizleri İstanbul Teknik Üniversitesi ve İtalya Padova Üniversitesi laboratuvarlarında yapılmıştır.

2.3. Önceki Çalışmalar

Çalışma sahası kuzeybatı Türkiye’de bulunan Armutlu yarımadasının doğusunda bulunan literatürde başlıca Pre-Kambriyen-Paleozoyik yaşlı oldukları ifade edilen metamorfik kayaçlar, Mesozoyik yaşlı ofiyolitik kayaçlar, Üst Kretase – Eosen yaşlı denizel çökeller ve volkanik kayaçlar ile Pliyosen yaşlı karasal çökel kayaç tür ve topluluklarının gözlenebildiği bir alan olup bu birimler için Pamukova metamorfikleri, Geyve Boğazı

Metamorfitleri, Vartankeltepe Ultramafit-Mafitleri, Kocadağ Metamorfitleri, Bakacak Formasyonu, Arslanbey Formasyonu gibi farklı araştırmacılar tarafından çeşitli adlandırmalar kullanılmıştır. Aşağıda yüksek lisans tez çalışma sahası ve yakın civarında farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen genel jeolojik, mineralojik, jeokimyasal ve jeokronolojik çalışmalara ait başlıca temel bulgu ve sonuçlar aktarılmıştır.

Akartuna (1968) tarafından Armutlu Yarımadası'nın genelini kapsayan ilk ayrıntılı genel jeoloji çalışması sunulmuştur. Bu çalışmada metamorfik kayaların tümü bir birim olarak düşünülmekte ve birbirleri ile yanal ve düşey geçişli olduğu ifade edilmektedir. Sakarya nehrinin batısında Şerefiye köyü güneyinde bulunan kayaları amfibol şist ve pegmatitler olarak tanımlamıştır.

Akartuna ve Atan (1981) bölgede yaptıkları çalışmada metamorfik temeli oluşturan şist ve gnaysların alt Devoniyen öncesi oluştuğunu ve bu temelin Devoniyen fosilleri içeren düşük dereceli metamorfik kayalar tarafından uyumsuz örtüldüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca bölgedeki tüm metamorfik kayaların Jura ve daha genç çökeller tarafından uyumsuz örtüldüğünü belirtmişlerdir.

Göncüoğlu ve diğ. (1992) Armutlu Yarımadası'nın Jeolojisi isimli çalışmalarında bölgede iki ayrı tektono-stratigrafik birim olduğunu bunların Pamukova Metamorfik Birimi (PM) ve İznik metamorfik (İM) birimi olarak ayırtlandığını belirtmişlerdir. Bu iki metamorfik birimin Üst Kretase yaşlı kireçtaşları ile uyumsuz olarak örtüldüğü ifade etmiştir. Nitekim bu metamorfik toplulukların Triyas sonrası farklı bir litoloji sunduğunu söyleyen yazarlar okyanusal ortam olarak bu iki metamorfik topluluğun birbirinden ayrıldığını ifade etmektedir. Yazarlar PM'nin temelini İstanbul Zonu'nun Prekambriyen temeli, İM'nin ise Prekambriyen karşılığının bulunmadığının ifade etmektedirler. İznik Metamorfitleri'nin Karakaya formasyonu ile deneştiği birimleri asidik magmatik kayalar olarak belirtmişlerdir. Pamukova Metamorfitleri ile İznik Metamorfitlerinin birbirini üzerlemediğini ifade eden yazarlar Pamukova Metamorfitlerinin İstanbul tipi, İznik Metamorfitlerinin ise Sakarya tipi olarak yan yana durduğunu ifade etmektedirler. Yazarlara göre Alt Kretase sonu- Üst Kretase başında İznik Metamorfitleri ile Pamukova Metamorfitleri birbiri ile bitmiştir. Yazarlar bu başkalaşım kayaları üzerine Senomaniyen-Turoniyen ve Alt Senoniyen yaşlı kırıntılı ve resifal çökellerin gelmesi ile Pontid İçi Okyanusunun tamamen kapandığını belirtmişlerdir.

Yılmaz ve diğ. (1995) Armutlu ve Almacık dağında gözlenen metamorfik birimleri kuzey kuşak masiflerin içerisine alan yazarlar Armutlu Yarımadası metamorfik birimlerini üç farklı tektonik birlikten oluştuğunu ifade etmektedirler. Yazarlar en altta Paleozoik'ten Üst Kretase'ye kadar birimleri içeren bir istifin olduğunu onun üzerine ise bu birimleri, üzerleyen düşük derece metamorfizma geçirmiş Paleozoyik yaşlı bir istiftten söz etmiştir. Bölgedeki meta-ofiyolit ile Üst Kretase birimlerinin Üst Kretase döneminde birlikte başkalaşıma uğradıklarını belirtmişlerdir. En altta bulunan Paleozoyik istif Sakarya kıtası istifinin yaş ve litoloji diziliminin benzerliğinden dolayı onun metamorfik eş değeri olarak yorumlanmıştır.

Yiğitbaş ve Elmas (2001) 'e göre Armutlu Ovacık zonunda bulunan iki tektonik kontak zonun gelişimi Batı Pontid Fayı'nı takip etmektedir. Erken Kretase'den itibaren bölgede genel bir genişleme rejiminin hâkim olduğunu söyleyen yazarlar Koniasiyen/Santoniyen'den Kampaniyen'e uzanan transpresyonel rejimin İstanbul Zonguldak zonu ile Sakarya zonunun kaynaşmasına neden olup birleşik tektonik zon içinde yeni bir havza oluşumunu belirtmişlerdir. Yazarlara göre bölgedeki farklı tektonik rejimler Batı Pontid Fayı'nın aktivesinden kaynaklanmaktadır. Armutlu ve Ovacık zonuna ait ofiyolitler, İstanbul Zonunun Pre-Ordovisyen yaşlı ofiyolitik çekirdeğine aittir. Yazarlar Armutlu ve Ovacık zonunun doğu kesimlerinde bulunan ofiyolitlerin, Batı Pontid Fayı boyunca sol yanal atımlı faylar ile Neo-Tetis ofiyolitlerinden taşındıklarını belirtmiştir. Yazarlar tarafından İstanbul Zonu ile Sakarya Zonu arasında okyanus (Pontid İçi Okyanusu) oluşumuna dair yeterli kanıt olmadığı dikkat çekilmiştir.

Robertson ve Ustaömer (2004) Armutlu Yarımadasındaki başkalaşım kayaçları yüksek dereceli Armutlu metamorfikleri, düşük dereceli İznik metamorfikleri olarak ikiye ayırılır. Bölgenin Erken Mesozoyik'te riftleşen ve Geç Kretase'de kapanmış olduğunu varsayan bir Pontid İçi okyanus havzası olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlara göre ofiyolitik melanaj içerisinde meta-bazalt bloklarından alınan jeokimyasal kanıtlara göre bu kayaçların yitimle ilişki oldukları önerilmektedir. Buna göre, Kuzey Neo-Tetis ile Sakarya mikrokıtası arasında bir Pontid İçi Okyanusunun oluştuğunu belirtmişlerdir.

Okay ve diğ. (2008) Armutlu yarımadasında amfibolitleri kesen meta-granitoidlerden aldığı örneklerden yaptığı U-Pb tarihlendirmesine göre kayaçların Geç Proterozoyik ve Ordovisyen yaşında olduğunu tayin etmiştir. Araştırmacılar Geç Proterozoik yaşlı

granitoidlerin, İstanbul Zonu temeli için bildirilen diğer yaş tayinleri ile benzer olduğunu belirtmiştir. Bu granitoidlerin Gondwana'nın kenarlarında yaygın izlenen Pan-Afrikan granitoid plütonizminin bir parçası olduğunu ve Ordovisyen tarihlendirmesi için ise Reyik okyanusunun açılması sırasında İstanbul Zonunun Gondwana'dan uzaklaşması sırasında oluşan magmatizma sonucu olduğunu ifade etmektedir. Araştırmacı bu çalışması ile Pontidlerde, Kadomiye bir temelin varlığının doğruladığını ifade etmektedir.

Çelik ve diğ. (2009) Armutlu yarımadasın doğu ve güneydoğu kesimlerindeki Geyve Boğazı, Pamukova civarında ve Armutlu Yarımadası'nın doğusundaki Almacık Dağ civarında yer alan metamorfik kayaçları çalışmışlardır. Araştırmacılar, bu bölgelerdeki başkalaşım kayaçlarının masif, ince taneli, kaba taneli, bantlı yapıda amfibolit ve gnayslardan oluştuğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu kayaçları elde ettikleri jeokimya sonuçlarına göre Ada Yayılı Toleiyitleri (IAT), Okyanus Ortası Sırt Bazaltları (MORB), Okyanus Adası Bazaltları (OIB) özelliklerinde olduğunu belirtmişlerdir. Nitekim kayaçlardan yapılan $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ izotop oranlarına göre bu kayaçların kökenlerinin bir kısmının kıtasal kabuk veya yitim zonu sedimanlarından etkilendikleri ifade edilmektedir. Kayaçların mineral bileşimine dayalı olarak başkalaşım esnasındaki sıcaklığı 600-720 °C, basıncın ise 5-6 kbar olduğunu belirten araştırmacılar başkalaşım kayaçların (başkalaşımın) soğuma yaşı olarak $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ tarihlendirmesi sonuçlarına göre 160 ve 220 My elde etmiştir.

Akbayram ve diğ. (2013) İstanbul-Sakarya zonları arasında Pontid İçi Kenedi boyunca başkalaşıma ve deformasyona uğramış birimlerle, Pontid İçi Okyanusu'nun yitiminden dolayı oluşmuş olan melanaj tipi birimleri ayırtlamışlardır. Araştırmacılar haritalama alanındaki Mesozoyik-Tersiyer yaşlı metamorfik olmayan çökellerin yaşlarının ve stratigrafinin iyi bilinmediğini belirterek çökellerden yaş ve paleontolojik veriler elde etmişlerdir. Araştırmacılar Sapanca Gölü güneyindeki çalışmada bölgede üç ana tektono-stratigrafik birim tanımlamıştır. Bunlar; Pamukova Kompleksi, Sapanca Kompleksi ve Maşukiye Grubudur. Pamukova Kompleksi; Temel niteliği taşıyan bu birim yaşlı amfibolit, meta-peridotit, meta-piroksenit ve gnaystan oluşmaktadır. İçerisinde epidot-amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirmiş olan amfibolitleri kesen Geç Proterozoyik, Kambriyen ve Ordovisyen yaşlı meta-granitler ve tektonik ardalanmalı

mermer, kalk-şist ve meta-kuvarsitler bulunmaktadır. Yazar gnays, meta-granit ve kalk-şistlerden yapılan Rb/Sr mika ve Sm/Nd granat tarihlendirmelerinin birimin başkalaşım yaşı olduğunu belirterek Üst Jura-Alt Kretase (158- 111 My) olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacı Pamukova Kompleksini İstanbul Zonu'nun Geç Proterozoyik-Ordovisyan yaşı temelinin Pontid İçi Kenedi boyunca tektonize olmuş ve kısmen yeniden metamorfizma geçirmiş parçaları olarak ifade etmektedir. Sapanca Kompleksi; Pamukova Kompleksini dik bir dokanakla üzerleyen bu birim, yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş bir eklenir prizma olarak belirtilmiştir. Araştırmacılara göre Sapanca Kompleksi meta-bazit, meta-çört, sleyt ve serpantinitten oluşmaktadır ve Alt Kretase (110 My)'de yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiştir. Maşukiye Grubu; Sleyt, fillat ve mermerden oluşan bu birim yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiştir. Birimde nadiren meta-bazit ara katkıları mevcuttur. Araştırmacılar meta-kumtaşlarından yaptığı Pb/Pb ve U/Pb tarihlendirmesi ile Maşukiye Grubunun çökme yaşını Permiyenden sonra ($138 \pm 1,5$ My) olduğunu belirtmişlerdir. Nitekim Maşukiye Grubunun metamorfizma öncesi durumunun tartışmalı olduğu bu çalışmada ifade edilmiştir. Maşukiye Grubunun meta-sedimanter birimlerinin Istranca Masifindeki Triyas yaşı örtü birimlerinin eşleniği olarak gören araştırmacılar Maşukiye Grubunun, Istranca Masifindeki metamorfizma yaşına (139 My) benzer nitelik taşıdığını belirtmişlerdir.

Özkan (2013) Armutlu Yarımadası doğusundaki çalışmasında Geyve Boğazı Metamorfitleri ve Vartankeltepe Ultramafit-Mafitleri arasında kalan tektonik zon boyunca birbirini takip eden karbonatça zengin daykların varlığından söz etmiştir. Araştırmacı yaptığı çalışmada karbonatça zengin daykların kökenlerinin Sr-Nd izotop oranlarına göre kıtasal kabuk kaynaklı olduğunu ve bu daykların $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ tarihlendirmesinin 145 My olduğunu belirtmiştir.

Özkan ve Çelik (2018) Armutlu Yarımadası doğusundaki ofiyolitik mafik-ultramafik kümülat kayaçlarında spinel grubu minerallerine ait pleonast mineralinin varlığına dikkat çekmişlerdir. Ayrıca, pleonast mineralini ofiyolitik kayaçların piroksen ve gabro tipi kayaçlarda magmatik katmanlanmaya paralel şekilde mikroskop altında zümrüt yeşili rengi ile ayırt edildiğini bildirmişlerdir.

Akbayram ve diğ. (2017) sundukları paleontolojik ve stratigrafik veriler ile kıta içi okyanusunun dalmasının Geç Kretase ve Erken Triyas döneminde halen devam ettiğini

belirtmektedirler. Pontid İçi Kenedi'nin batı ve orta kesimlerinde iki ardışık yığılma prizmasının olduğunu vurgulayan yazarlar. Bunların; (i) Biga yarım arasındaki Üst Kretase yaşlı mavişist-eklojit fasiyesli metamorfik prizma. (ii) Armutlu Yarımadası ile Almacık Dağ arasındaki Üst Jura-alt Kretase yaşlı yeşilşist-epidot amfibolit fasiyesli metamorfik prizma olarak ifade etmektedirler. Bununla birlikte Orta Pontidlerde Orta Jura-Üst Kretase yüksek basınç-düşük sıcaklık, düşük sıcaklık-düşük basınç dalma batma kompleksi geniş bir alanda yüzlek vermektedir. Araştırmacılara göre bu kompleks Orta Pontid Süper Kompleksini oluşturmaktadır.

Özkan ve diğ. (2021) Armutlu Yarımadası doğusunda yaptıkları çalışmada yüksek dereceli başkalaşım kayaçlarından amfibolitleri kesen ve 4 metreye kadar kalınlığa sahip olan karbonatit dayklarını tanımlamışlardır. Araştırmacılar karbonatitlerin jeokimyasal özelliklerine vurgu yaparak manto kökenli karbonatitlerden farklı olduğunu belirtmişlerdir. Nitekim manto kaynaklı karbonatitlere kıyasla oldukça düşük uyumsuz element (Ba, Th, Nb) ve toplam Nadir Toprak Elementi (NTE) açısından 11-91 ppm içeriğine sahiptirler. Karbonatitlerden yapılan Sr izotop çalışmasında $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ 0.70797-0.70924 değerleri ile düşük $\epsilon\text{Nd}_{\text{toplama}}$ (-8.08 ile -9.67 arasında) değerleri bir manto kaynağından ziyade karbonatitlerinden kıtasal kabuk kaynaklı olduğunu doğruladığını belirten yazarlar bu kayaçlardan elde ettikleri mikalardan $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yöntemi ile Geç Jura-Erken Kretase yaşı elde etmiştir. Araştırmacılar bu yaştan çalışma sahalarında izledikleri amfibolitik kayaçların başkalaşım yaşından daha genç olduğunu ve bu kayaçların petrografik, jeokimyasal ve arazi gözlemlerine göre kıtasal kabuktaki karbonatlı bir kaynak alanının anatektik ergimesi sonucu oluştuğunu ifade etmektedirler.

Şengün (2022) tarafından Armutlu Yarımadası'nda adasında Gemlik ve Pamukova kuzeyinde ve Geyve boğazı civarında yüzlek veren metamorfik kayaçlar Pamukova metamorfiklerine ait amfibolitik kayaçlardan tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element jeokimyası analizleri gerçekleştirilmiştir. Amfibolitlerin ilksel kayaçlarının bazalt ve bazaltik andezit bileşimde olduğunu ve toleyitik magmadan türediklerini ifade etmiştir. Bununla birlikte, amfibolitik kayaçların jeokimyasal karakterlerinin ada yayı ve boninitik özellikler sunduğu ve dolayısıyla, amfibolitlerin yitimle ilişkili ortam koşullarında oluştuğu rapor edilmiştir.

Okay (2023)'a göre Almacık Kompleksi temelde amfibolit, meta-ultramafit ve gnayslardan oluşan yüksek dereceli tektonik bir birliktir. Bu kayaçların içerisinde tektonik öncesi ve sonrası felsik damarlar sokulmuştur. Araştırmacı çalışmada elde ettiği iki meta-vebsterit kayaç örneğinden jeotermometre ve 11 adet kayaç örneğinden jeokronolojik çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmaya göre, Almacık Kompleksi'nin 750 ± 30 °C sıcaklık ve 8 ± 4 kbar basınç koşullarındaki üst amfibolit fasiyesinde başkalaşıma uğradıkları belirtilmiştir. U/Pb ve Ar/Ar tarihlendirmeleriyle bölgedeki metamorfik kayaç türlerinden Neoproterozoyik, Permian ve Jura dönemlerine ait yaş verileri elde edilmiştir. Bunlardan, Neoproterozoyik yaşlı U-Pb zirkon yaşları gnaysik amfibolitlerden elde edilmiş olup, bu yaş verileri oluşum yaşı olarak değerlendirilmiştir. Araştırmacı Almacık Kompleksi temelini İstanbul Zonu'nun temelini temsil eden Neoproterozoyik yaşlı amfibolit ve gnayslardan oluştuğunu belirtmektedir. Araştırmacı Permian ultramafit kayaçlarının Jura zamanında muhtemel bir magmatik yayın tabanında üst amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirdiğini ifade etmektedir.

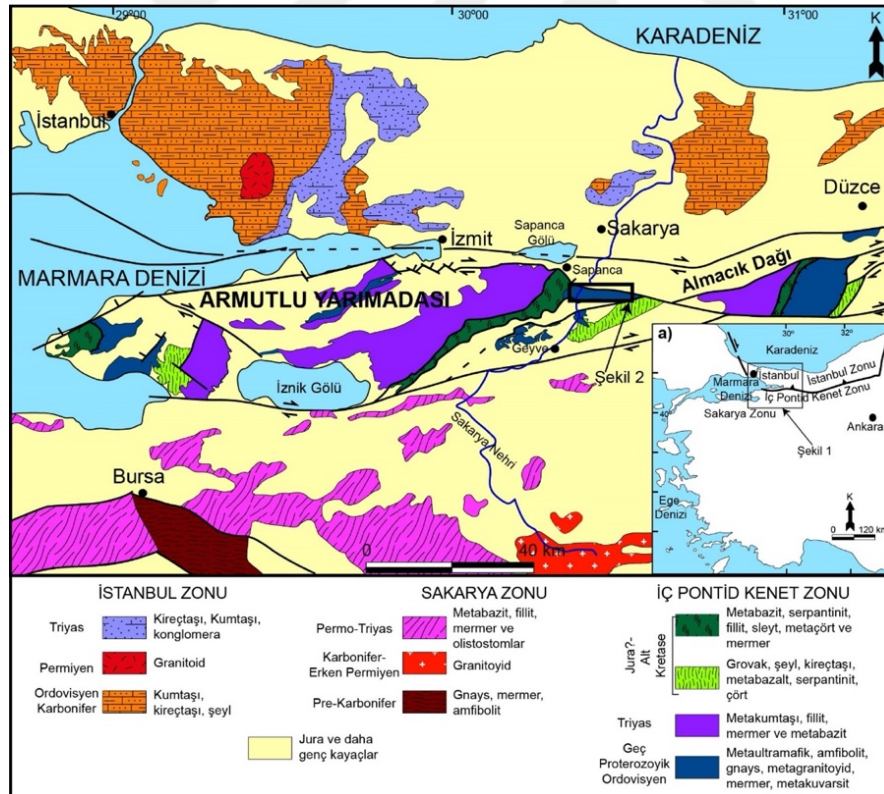
2.4. Bölgesel Jeoloji

Türkiye'nin şekillenmesi süreçlerinde ve dolayısıyla gelişen deformasyonlarda, pasif kıta kenarı olarak hesaba katılan Gondwana ve aktif kıta Kenarı olarak düşünülen Avrasya kıtalarının birbirine çarpıp kaynaşması esas unsur olarak değerlendirilmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999; Okay, 2008). Genel hatlarıyla Armutlu Yarımadası jeolojik olarak kuzeyde Pontidler ile güneyde Sakarya zonu arasında yer alan bir bölgedir (Şekil 2.4.). Pontidler, Anatolid-Torid bloğundan İzmir-Ankara-Erzincan Kenedi ile birbirinden tektono-stratigrafik olarak ayrılmaktadırlar (Okay ve Tüysüz, 1999).

Örneğin, Sakarya zonu Karbonifer döneminde yüksek sıcaklık ve orta/düşük basınç başkalaşım ve sokulum kayaçları (Okay., 1996; Topuz ve diğ., 2004, 2007) ile temsil edilmekte iken, İstanbul zonunda bu başkalaşım ve magmatizma süreçleri gözlenmemektedir ayrıca Istranca Masifi ve Sakarya Zonunda ise temel kayaçlar Karbonifer (Variskan) yaşında başkalaşım kayaçlarını içermektedir (Okay ve Satır, 2000; Okay ve diğ., 2001, 2008).



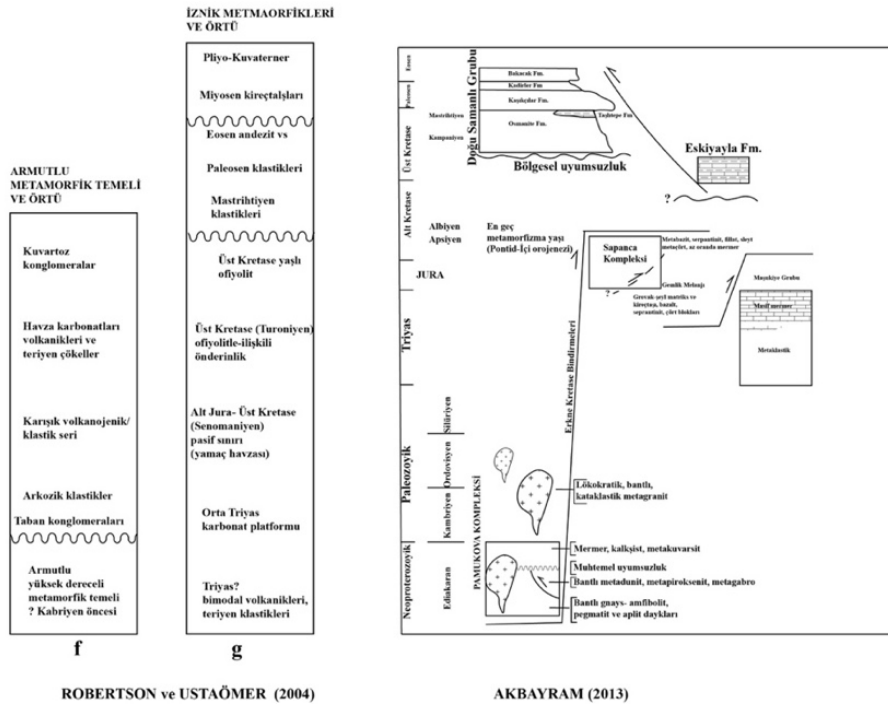
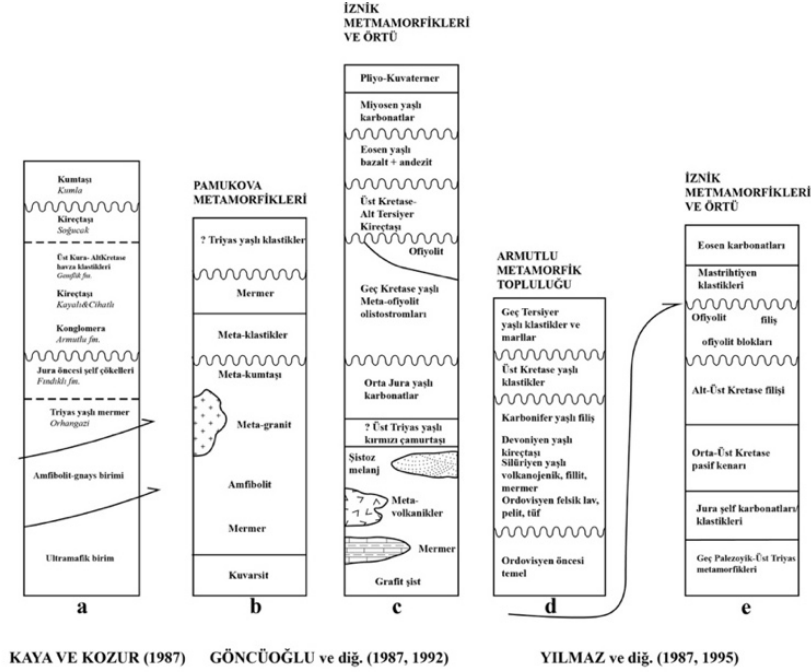
Şekil 2.4. Türkiye'deki tektonik birlikleri ve kenet kuşaklarını gösterir harita (Okay ve Tüysüz, 1999). (İAEK: İzmir-Ankara-Erzincan Kenedi, BFZ: Bornova Fliş Zonu)



Şekil 2.5. Armutlu Yarımadası'nın (a) Kuzey batı Türkiye'deki konumu (b) Armutlu Yarımadası doğusunda bulunan çalışma alanını da gösteren sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Aksay ve diğ., 2002; Türkecan ve Yurtsever, 2002; Okay ve diğ., 2008; Akbayram ve diğ., 20013)

İstanbul Zonu'nun temeli ise Geç Proterozoyik yaşı granitik ve metamorfik kayalardan oluşmuştur (Chen ve diğ., 2002; Ustaömer ve diğ., 2005) ve Karbonifer döneminden sonra deforme olarak deniz seviyesinin üzerine çıkmış olup bu dönemde (40-50 My) erozyona uğramıştır. Bu deformasyon Variskan deformasyonunun bir etkisi olarak belirtilmiştir (Okay ve diğ., 2011; Okay ve Topuz., 2017; Akdoğan ve diğ., 2021). Pontidler ile Sakarya zonu arasında bulunan sınır Pontid İçi Kenedi olarak adlandırılmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay, 2008; Akbayram ve diğ., 2013). Pontid İçi Kenedi, kuzeyde İstanbul Zonu güneyde ise Sakarya zonu ile sınırlamaktadır. Bu kenet bazı çalışmalarda Karbonifer yaşı Reyik Kenedi'nin devamı olarak nitelendirilmiştir (Okay ve Topuz., 2017; Akdoğan ve diğ., 2021). Kenet boyunca Karbonifer yaşı yüksek dereceli başkalaşım kayaları, ofiyolitler ve ofiyolitik melanjların olmaması Pontid İçi Kenedinin Variskan orojenezinden sonra yeniden açıldığı ve kapandığını şeklinde değerlendirilmiştir (Marroni ve diğ., 2020).

Farklı araştırmacıların Armutlu Yarımadası için oluşturdukları genelleştirilmiş kolon kesitler Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



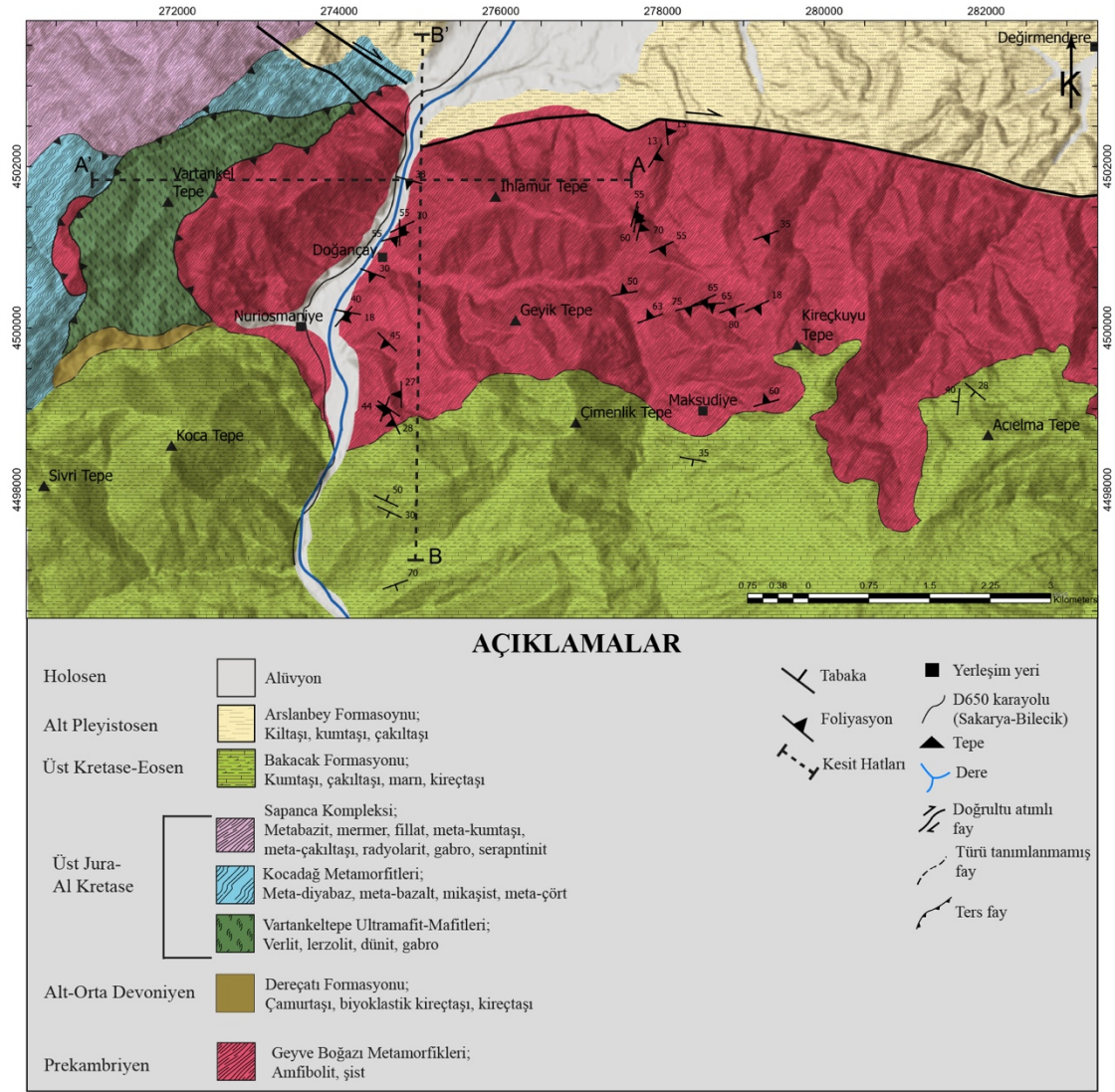
Şekil 2.6. Armutlu Yarımadası jeolojisi için farklı araştırmacılar tarafından oluşturulan genelleştirilmiş kolon kesitler (Robertson ve Ustaömer, 2004; Akbayram, 2011'den yeniden çizilmiştir)

3. GENEL JEOLoji

Çalışma alanında başlıca Üst Kretase öncesine ait metamorfik temel kayalar ile Üst Kretase ve daha genç yaşı çökel kayalar yer almaktadır. Bunlardan, Geyve Boğazı Metamorfikleri olarak adlandırılan (Özkan ve diğ., 2013) ve yüksek lisans tez çalışma konusunu oluşturan yüksek dereceli metamorfik kayalar çalışma alanındaki en yaşı metamorfik kayaç kütesini temsil etmektedir. Sapanca Kompleksi olarak adlandırılmış (Akbayram ve diğ., 2013; Özkan, 2013) olan Üst Kretase öncesine ait diğ. metamorfik kayaç kütesi ise çalışma alanının batısında bulunmaktadır. Çalışma alanındaki en yaşı çökel kayalar ise Üst Kretase – Orta Eosen (Göncüoğlu ve diğ., 1992) yaşı çökel kayalardan oluşmaktadır. Bölgedeki diğ. genç örtü çökelleri ise Pliyosen yaşı karasal çökel kayalarından oluşmaktadır. Aşağıda, bu metamorfik temel ve örtü kayalarının genel jeolojik özellikleri hem bu yüksek lisans tez çalışmasından elde edilen hem de literatürde sunulan verilere dayanılarak bilgiler sunulmuştur.

Geyve boğazı boyunca tipik yüzleklerini sunmakta olan yüksek dereceli metamorfik kayaların doğruya doğru devamlılık arz etmektedir (Şekil 3.1.). Diğ. bir metamorfik kütle ise Geyve boğazının batısında başlıca yeşilist fasiyesi koşullarında başkalaşıma uğramış metamorfik kayalardan oluşmaktadır. Burada, yüksek lisans tez çalışmasının ana konusunu oluşturan Geyve boğazı ve doğusunda yüzeylemeler sunan yüksek dereceli metamorfikler hakkında bilgiler sunulmuştur. İnceleme alanında farklı araştırmacılar tarafından diğ. isimlerle tanımlanan yüksek dereceli başkalaşıma uğramış bir temel kayacın yüzeylediği bilinmektedir (ör: Akartuna, 1968; Göncüoğlu ve diğ., 1992; Robertson ve Ustaömer, 2004; Akbayram ve diğ., 2012, Özkan ve diğ., 2013). Bu çalışmada, Özkan (2013) tarafından da önerilen Geyve Boğazı Metamorfikleri adlandırılması tercih edilmiştir.

Çalışma alanında bulunan tektono-stratigrafik birimler yaşıdan gence doğru sırasıyla Pre-Kambriyen yaşı Geyve Boğazı Metamorfikleri, Üst Jura Vartankeltepe Ultramafit-Mafitleri, Alt Kretase Kocadağ Metamorfikleri, Üst Kretase yaşı Bakacak Formasyonu, Alt Pleyistosen yaşı Arslanbey Formasyonu ile Holosen alüvyonudur (Şekil 3.2).

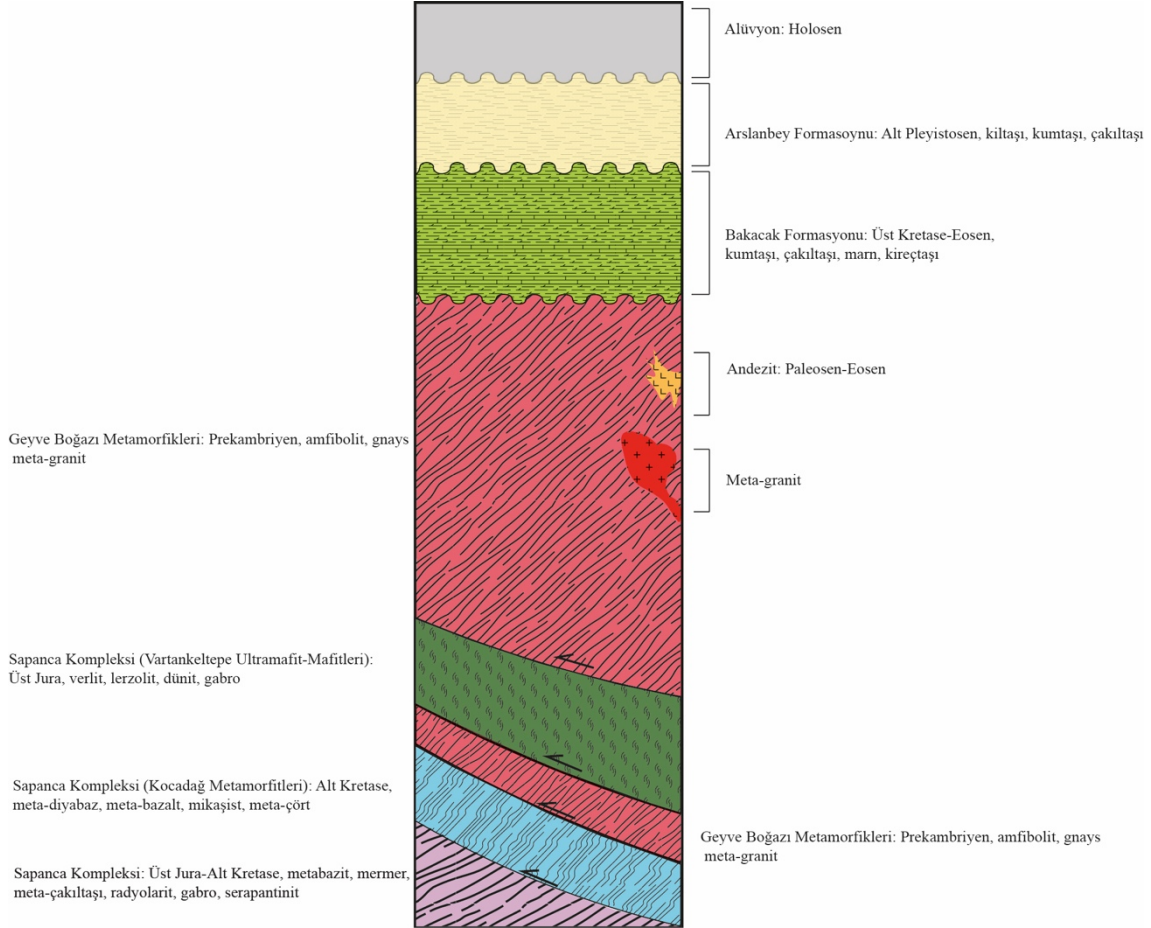


Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası (Timur ve Aksay, 2002 ve Özkan, 2013'ten değiştirilerek alınmıştır)

Çalışma alanın baskın olarak amfibolit türü metamorfik kayalarla temsil edilmektedir. Bunun yanı sıra daha az oranda meta-granitler, mermerler ve mikaşist türü kayalar da gözlenmektedir.

Saha gözlemlerinde, Geyve boğazı boyunca (ör. Doğançay, Nuriosmaniye köyü) yüzeyleyen amfibolitik kayaların doğudaki amfibolitik kayalara göre mineralojik ve dokusal özelliklerine göre bazı farklılıklar sunduğu izlenmiştir. Örneğin, Doğançay köyü civarındaki amfibolitik kayalar kaba taneli ve yer yer granatlı amfibolitlerden oluşmakta iken, doğudaki Maksudiye köyü civarında yüzeyleyen amfibolitlerin daha ince taneli

oldukları dikkat çekmektedir. Benzer şekilde, Geyve boğazı boyunca amfibolitik kayaçlar içerisinde kaba taneli meta-granit sokulumları gözlenmektedir. Dolayısıyla, saha gözlemlerine dayalı olarak doğuya doğru başkalaşım derecesinin yer yer azalma göstermiş olduğu ifade edilebilir.



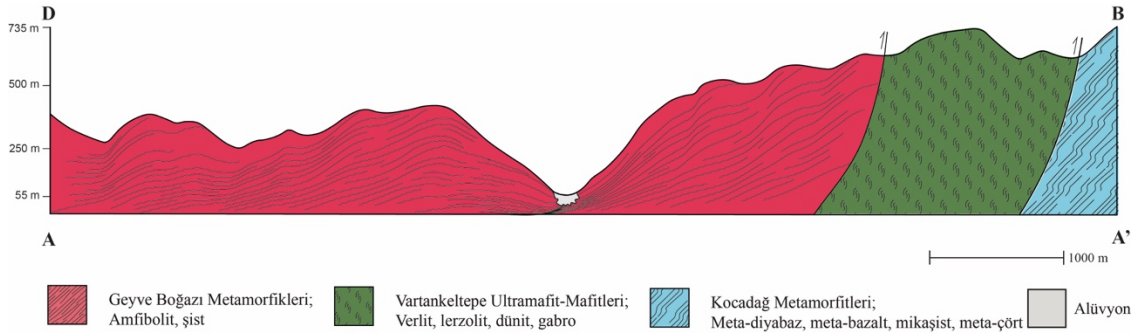
Şekil 3.2. Çalışma sahasına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Özkan 2013'ten değiştirilerek alınmıştır)

3.1. Geyve Boğazı Metamorfikleri

Armutlu Yarımadası doğusunda bulunan ve aynı zamanda yarımadadaki birimlerin temelini temsil eden yüksek dereceli başkalaşım kayaçları en iyi yüzleklerinden birini Geyve boğazında ve doğusunda göstermektedir (Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6). Bu kayaçların yaşları ile ilgili farklı araştırmacılar öneride bulunmuşlardır. Örneğin, Akartuna (1968) Permo Karbonifer öncesi, Akartuna ve Atan (1981) Devoniyen öncesi olduğunu diğer araştırmacılar (Göncüoğlu ve diğ., 1987, 1992; Robertson ve Ustaömer,

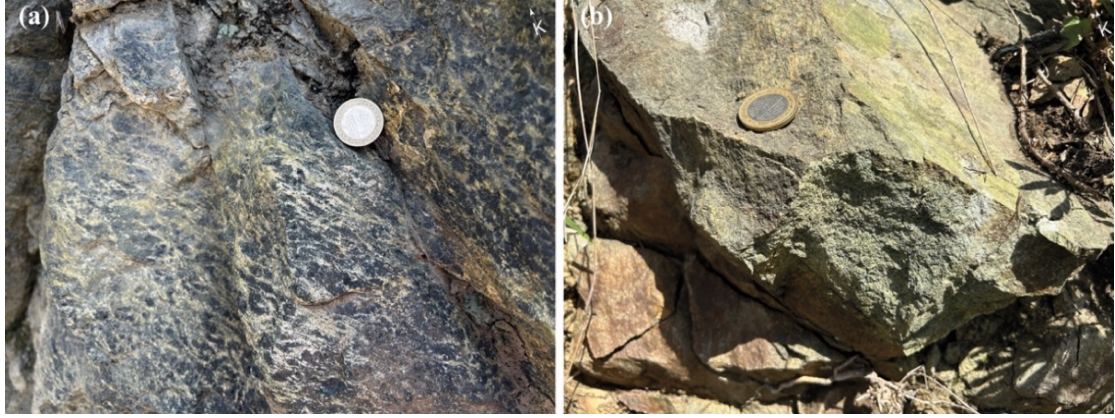
2004; Okay ve diğ., 2008; Akbayram ve diğ., 2012) ise bu kayaçların oluşum yaşının Prekambriyen'den önce olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışma alanındaki Geyve Boğazı metamorfikleri batıda Sapanca Kompleksi'ne ait ofiyolitik ve düşük dereceli metamorfik kayaçlarla tektonik olarak sınırlanmaktadır (Şekil 2.1). Geyve Boğazı metamorfikleri ile Sapanca Kompleksi arasındaki tektonik sınırın niteliği önceki çalışmalarda farklı olarak sunulmuştur. Örneğin, Akbayram ve diğ. (2013) tarafından Geyve Boğazı metamorfik kayaçlarının ofiyolitik kayaçlar (Vartankeltepe Ultramafit-Mafitleri) tarafından tektonik olarak üzerinde yer aldığı ifade edilmiştir. Özkan ve Çelik (2018) tarafından bu ilişkinin tam tersi önerilmiştir. Yılmaz ve diğ. (1995) tarafından ise ofiyolitik kayaçlar ile Geyve Boğazı metamorfik kayaçları bir bütünün parçası olarak yani Üst Kretase yaşlı meta-ofiyolit olarak değerlendirilmiş ve ofiyolitik kayaçların Geyve Boğazı metamorfik kayaçlarının tabanında yer aldığı belirtilmiştir. Bu çalışma yapılan gözlemlerde Geyve Boğazı metamorfik kayaçları ile ofiyolitik kayaçlar ayrı birimler olarak değerlendirilmiş ve kabaca doğuya eğimli yüksek açılı faylarla sınırlandıkları tespit edilmiştir (Şekil 3.3). Nitekim, benzer gözlemler çalışma alanındaki metamorfik kayaçların doğu devamlılığı olarak işaret edilen Almacık dağındaki oluşumlar için de rapor edilmektedir (ör. Okay, 2023).



Şekil 3.3. Geyve Boğazı Metamorfiklerinin ekaylı yapısı gösteren D-B yönlü A-A' hattı boyunca alınan jeolojik enine kesit. Kesit hattı Şekil 3.1'deki jeoloji haritası üzerinde gösterilmektedir.

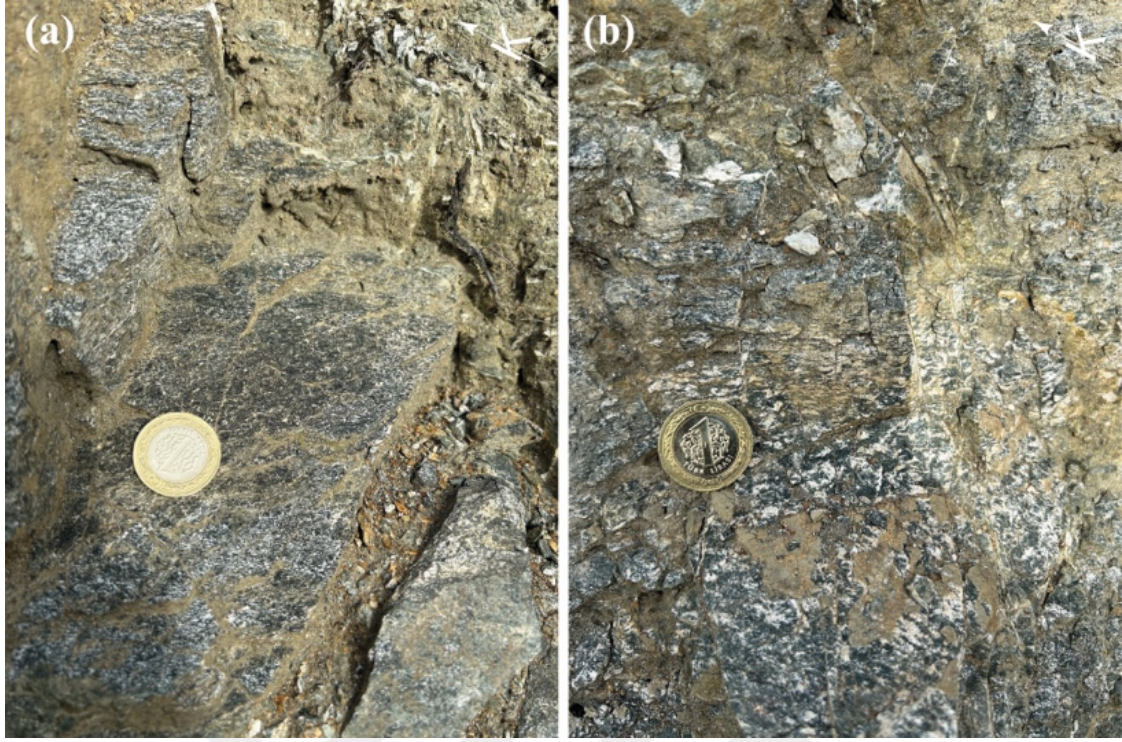
Doğuda ise Geyve Boğazı metamorfikleri geniş bir alanda yüzlek vermektedir. Bu kayaçlar kendi içerisinde yer yer granat-amfibolit, epidot-granat-amfibolit olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.4, Şekil 3.5). Bu kayaçlar genellikle ince taneli olup yer yer kaba tanelidirler ve bantlı yapı göstermektedirler (Şekil 3.6, Şekil 3.7).



Şekil 3.4. Geyve Boğazı Metamorfitleri içerisinde izlenen (a) kaba taneli amfibol ve epidot minerallerinin belirgin olarak izlendiği epidot amfibolit (b) ince taneli epidot amfibolit görünümü



Şekil 3.5. Geyve Boğazı Metamorfitleri içerisinde izlenen granat porfiroblastları, plajiyoklaz ve kuvars minerallerinin belirgin şekilde kayacın içerisindeki görünümü



Şekil 3.6. Geyve boğazın civarında izlenen (a) ince ve (b) kaba taneli amfibolitlerin görünümü

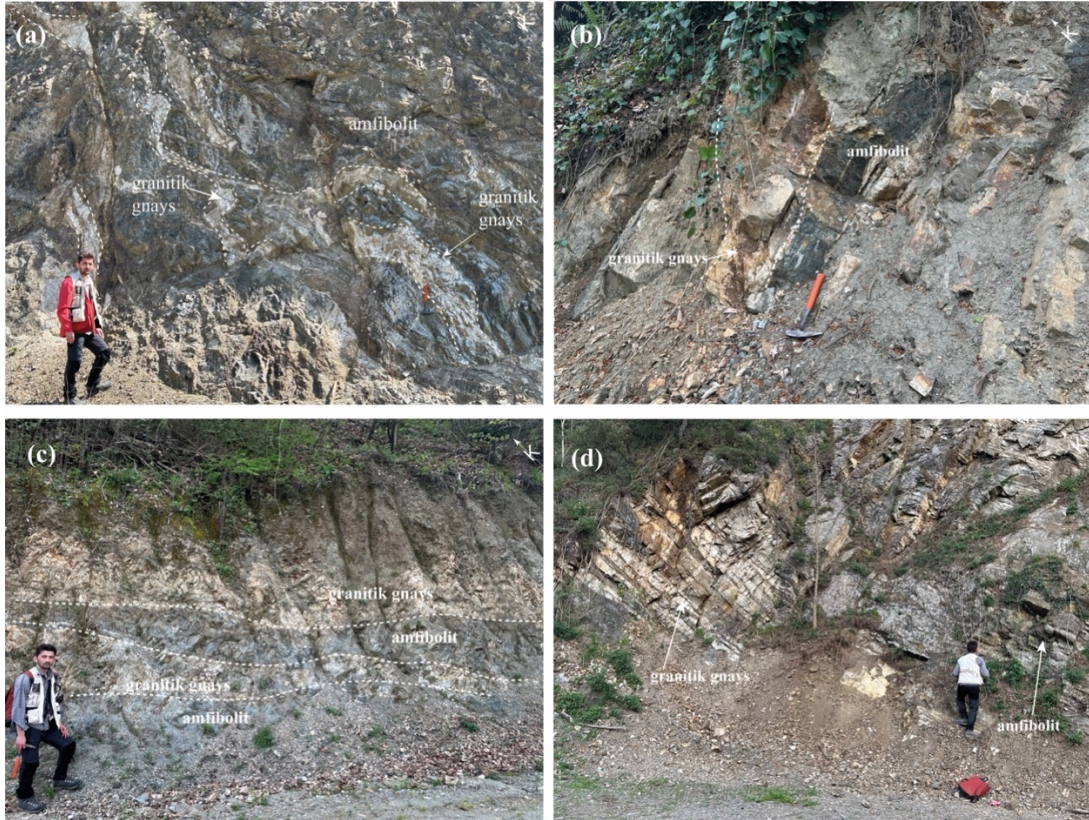


Şekil 3.7. Amfibolitlerde belirgin olarak izlenen mineral yönelimleri. Kuvars oluşumları lineasyona paralel olarak gelişmiştir. Kayacın (b) epidot ve (a) kuvars damarları tarafından kesildiği izlenmektedir.

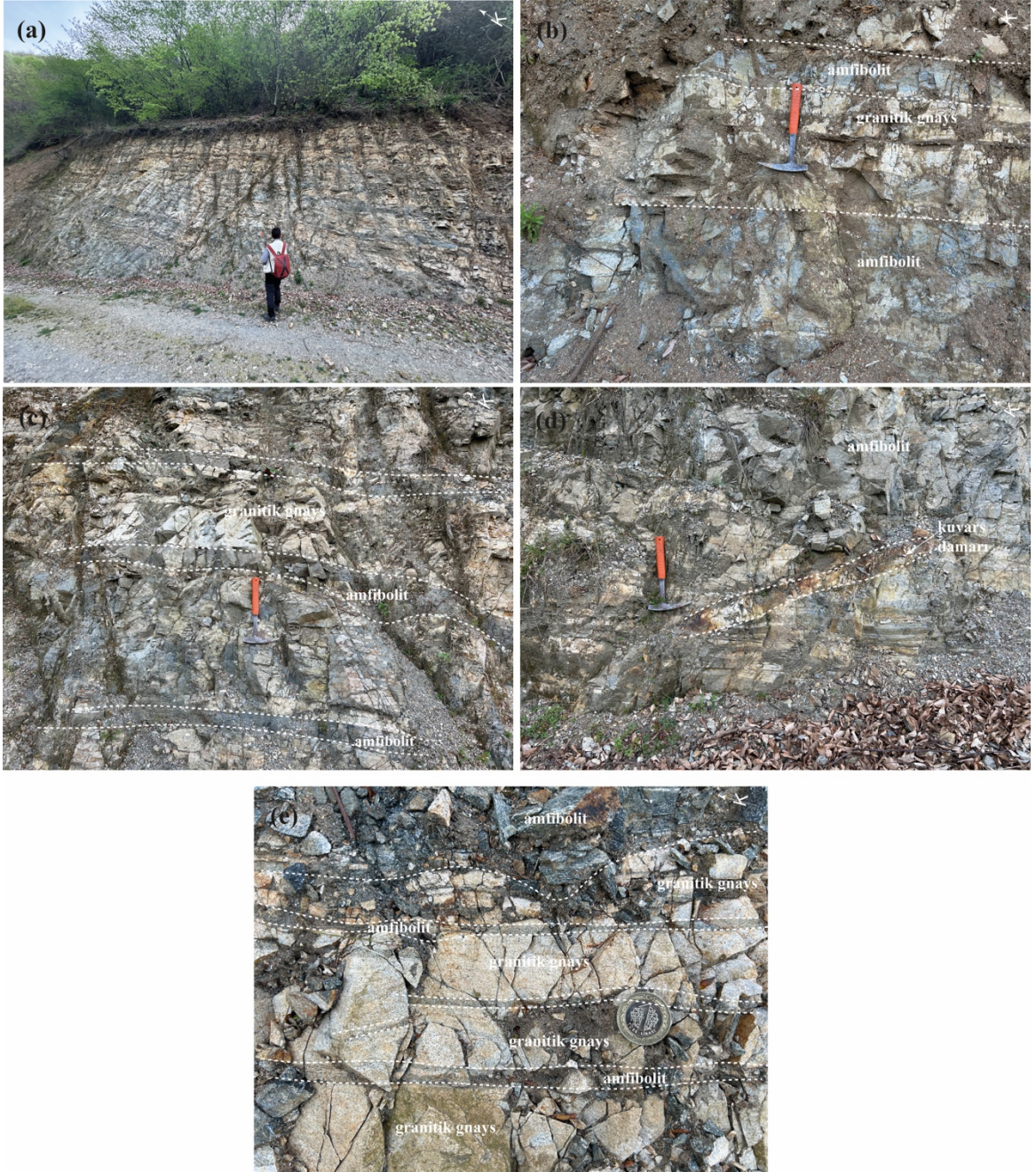
Maksudiye köyü doğusunda ise (~650 m) meta-bazalt türü kayaçlar izlenmektedir. Bu kayaçlarda gaz boşlukları görece korunmuş ve plajiyoklaz minerallerince doldurulmuş şekildedir (Şekil 3.8). Doğançay köyü doğusunda genellikle yaklaşık taban kotlarında ise grantik gnays ve amfibolitik kayaçlar bir arada bulunmaktadır (Şekil 3.9, Şekil 3.10).



Şekil 3.8. Maksuiye köyü KD'sunda metabazitlerde izlenen gaz boşlukları (a) gaz boşlukları içerisindeki mineral yönelimi belirgin metabazit görünümü (b) görece korunmuş gaz boşluklu metabazit görünümü



Şekil 3.9. Çalışma sahasında izlenen amfibolit ve granitik gnaysların genel görünümleri. (a) sünek deformasyon gösteren granitik gnays görünümü (b, c, d) granitik gnays ve amfibolitlerin ardalanmalı görünümü.



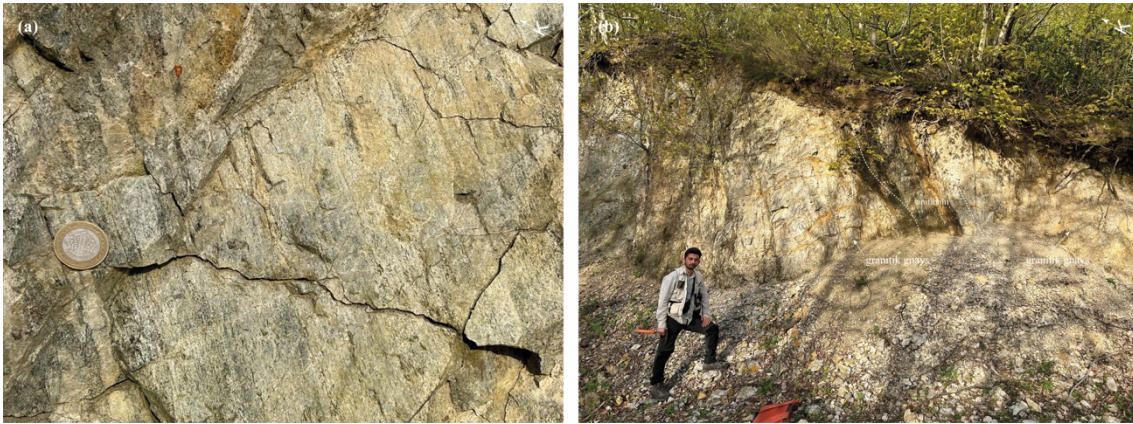
Şekil 3.10. (a, b, c, d, e) Geyve boğazı doğusunda farklı lokasyonlarda izlenen amfibolitik ve granitik gnaysik kayaçların ardalanmalı görünümü. (d) amfibolitik ve granitik gnaysik kayaçları kesen kuvars damarı (c) iki kayacın cm boyutunda geçişli olduğu izlenmektedir.

Maksudiye Doğançöy köyü yolu yakınında ise amfibolitik kayaçların kuvars damarları tarafından kesildiği gözlemlenmiştir. Bu damarlar üzerinde plajiyoklaz oluşumları tespit edilmiş olup kıvrımlı bir yapı sunmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. (a, b) Amfibolitik kayaçları kesen kuvarts damarları (c, e) kuvarts damarları ve amfibolitlerin kıvrımlı yapısı ve budin yapısı (d) kuvarts damarı üzerinde plajiyoklazların görünümü

Açık renkte içerisinde hornblend minerallerinin iğnemsî şekilde izlendiği granitik gnays kayaçların amfibolitik dayk tarafından kesildiği izlenmiştir (Şekil 3.12). Dayk merkezinde mineraller kaba taneli merkezden kenarlara doğru incelendiğinde ise ince taneli bir görünüm sunmaktadır.



Şekil 3.12. Granitik gnays kayaçlarının amfibolitik dayk tarafından kesilme ilişkisinin görünümü

Arazi çalışmalarında açık sarımsı renkte (alterasyon etkisinden dolayı) içerisinde kaba taneli kuvars minerallerinin ve K-feldspat minerallerinin izlendiği meta-granitlerin amfibolitik kayaçları keştiği ve amfibolitik kayaçlarının bu sokulum kayacı içerisinde yer yer sünek deformasyon yapıları gösterdiği tespit edilmiştir (şekil 3.13). Vadi tabanında yapılan gözlemlerde ise amfibolitik kayaçlarda deformasyon yapılarıda tespit edilmiştir (şekil 3.14).

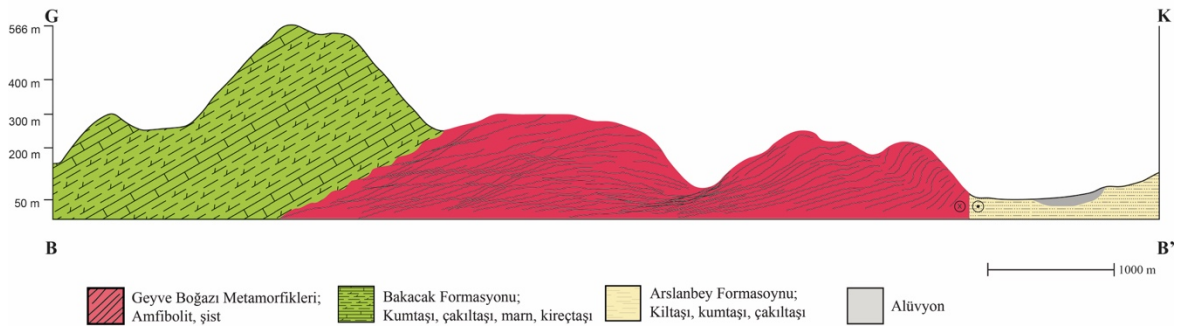


şekil 3.13. Amfibolitik kayaçların meta-granitler içerisinde gösterdiği sünek deformasyon görünümü



Şekil 3.14. Amfibolitik kayaçlar içerisinde sünek deformasyon sonucu gelişen kıvrımlı yapı.

Geyve Boğazı metamorfitlerinin kuzeyinde Neojen yaşlı karasal çökel kayaçlar (Arslanbey Formasyonu) yüzlek vermektedir. Her iki birim arasından sınırın Kuzey Anadolu Fay zonuna ait sağ yönlü doğrultu atımlı faylarla denetlendiği ve aralarında ilişkinin tektonik olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.15). Çalışma sahasının güneyide ise Üst Kretase-Pleyistosen yaşlı Bakacak formasyonuna ait kumtaşı, çakıltaşı, çamurtaşları ve blok olarak izlenen fosil katkılı kireçtaşları temel kayaçları uyumsuz olarak üzerlemektedir. Aynı gözlemler Göncüoğlu ve diğ. (1992) ve Yılmaz ve diğ. (1995) tarafından da rapor edilmiştir. Çalışma sahası sık orman ve bitki örtüsüyle kaplı olduğundan sınır ilişkileri keskin olarak belirli değildir.



Şekil 3.15. Geyve Boğazı Metamorfitlerinin ekaylı yapısı gösteren G-K yönlü B-B' hattı boyunca alınan jeolojik enine kesit. Kesit hattı Şekil 3.1'deki jeoloji haritası üzerinde gösterilmektedir

3.2.Vartankeltepe Ultramafik ve Mafik Kayaçları

İnceleme alanının kuzey batısında kalan Bozcu (1992) tarafından İkramiye Serpanititleri, Akbayram ve diğ. (2013) Küçükkol Tepe formasyonu ve Özkan (2013) tarafından Sapanca Kompleksi alt grubunda Vartankel Tepe Ultramafit-Mafitleri olarak adlandırılan meta-peridotit kayaçlar başlıca lerzolit, verlit, vebsterit, dünit ve gabro olarak tanımlanan mafik ve ultramafik kayaç türlerinden oluşmaktadır. Akbayram ve diğ. (2013) bu kayaç topluluğunu meta-piroksenit, meta-dünit ve meta-gabro olarak tanımlamıştır. Ultramafit-mafitlerde olivin, piroksen, spinel ve plajiyoklaz mineralleri kümülat kayaçlarında gözlenen bantlı doku sunmaktadırlar. Özkan ve Çelik (2018)'e göre bu kayaçlar ofiyolitik serinin ultramafik-kümülat dizisini temsil etmektedir. Vartankel Tepe ultramafik ve mafik kayaçları ile Geyve Boğazında yüzeyleyen yüksek dereceli metamorfik kayaçlar arasındaki dokanak ilişki tektoniktir (Yılmaz ve diğ., 1995; Akbayram ve diğ., 2013; Özkan 2013). Akbayram ve diğ. (2013) bu tektonik ilişkinin muhtemelen metamorfizma öncesi bir bindirme ile oluştuğunu belirtmiştir. Akbayram ve diğ. (2013)'e göre Vartankeltepe Ultramafit-Mafitleri Geyve Boğazı Metamorfitleri ile epidot-amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirmiştir.

3.3. Kocadağ Metamorfitleri

Çalışma alanının kuzeybatısında bulunan Kocadağ Metamorfitleri Bozcu (1992) tarafından meta-diyabaz, meta-lav birimi olarak tanımlanmıştır. Göncüoğlu (1992) ise Sapanca Kompleksine ait olan bu birimlerin metamorfik bir ofiyolitik olistostrom ve meta-vulkanikler olarak tanımlamıştır. Akbayram ve diğ. (2013)'ne göre bu birim Sapanca Kompleksinin beş tektonik diliminden biridir ve birim içerisindeki metabazit kayaçlar nefli yeşil renkte, yapraklanmalı olarak gözlenir. Bu kayaçlar başkalaşıma uğrarken ezilmiş fakat korunmuş yastık lavlar boşlukları ile belirgindirler. Özkan ve diğ. (2013)'de benzer olarak meta-bazit kayaçların bantlı yapı sunduğunu belirtmekle birlikte mikaşistlerin varlığını da rapor etmişlerdir.

3.4. Bakacak Formasyonu

Çalışma alanında ağırlıklı olarak sığ denizel çökel kayaçlarından oluşan ve bünyesinde mermer, kumtaşı, kireçtaşı gibi blok türlerini de barındıran istif Bakacak formasyonu olarak tanımlanmıştır (Göncüoğlu (1992). Aynı birim, Akbayram (2012) tarafından ise

Doğu Samanlı Grubu olarak tanımlanmıştır. Birime ait yüzlekler Geyve boğazı metamorfitlerinin güneyinde yer almakta olup, metamorfik kayalar üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. Çalışma alanını güneybatısında (Nuriosmaniye köyü güneyi) Bakacak formasyonu ile Geyve Boğazı Metamorfitleri arasındaki dokanak ilişkisi tektonik niteliktedir. Benzer gözlemler, Akbayram (2011) ve Özkan (2013) tarafından da ifade edilmiştir. Ancak, Maksudiye köyü civarında yapılan gözlemlerde temel birimi oluşturan amfibolitlerin Bakacak formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtüldüğü izlenmiştir. Ancak, yoğun orman örtüsü nedeniyle diğer alanlardaki sınır ilişkisinin niteliği açık değildir. Bu verilere dayalı olarak Üst Kretase sonrasında tektonik aktivitenin etkin olduğu ve uyumsuz dokanakların tektonizmadan etkilendiği yorumuna gidilmiştir.

Çalışma alanında Bakacak formasyonuna olarak adlandırılan (Göncüoğlu 1992) formasyonda görece kötü boylanmalı çakıltaşı (Şekil 3.16), sarımsı, boz renklerde masif yapıda masif kumtaşları izlenmiştir (Şekil 3.17a, Şekil 3.17b). Ayrıca farklı lokasyonlarda biyoklastik kireçtaşı (Şekil 3.17d) ve olistostromal (Şekil 3.18) kireçtaşlarına da rastlanmıştır. Daha güncel olduğu düşünülen karbonat kireçtaşı birimleri arasında ise amfibolitik kayalar bloklar şeklinde izlenmektedir (Şekil 3.17c).



Şekil 3.16. Görece kötü boylanmalı yer yer yuvarlakmış çakıltaşlarının görünümü



Şekil 3.17. Bakacak formasyonuna ait sedimanter birimlerin görünümü (a) sarımsı renke masif yapılı K65B, 30GB konumlu tabakalı kumtaşları (b) gri boz renkte ince taneli K70D,70GD konumlu tabakalı kumtaşı (c) kireçtaşı ve karbonat birimleri arasında amfibolitik kayaç blokları içeren birim (d) fosil kavkılı biyoklastik kireçtaşı görünümü



Şekil 3.18. Maksudiye köyü civarında yüzlek veren olistostromal kireçtaşlarının görünümü

3.5. Arslanbey Formasyonu

Çalışma alanının kuzeyinde Sapanca gölünün güneyinde izlenen Arslanbey formasyonu çakıltası, silttaşı, kiltası ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Bu formasyon Neojen öncesi çökelleri aşıl uyumsuzlukla örtmekte olup görünür kalınlığı 150 metredir (Emre ve diğ., 1998). Akbayram (2011) doktora tezinde istifin aşağıdan üste doğru çakıltası, kumtaşı, kiltası ve silttaşları ile ardalanmalı olduğunu belirtmiştir. Birimin çökelme yaşı ise Emre ve diğ. (1998) tarafından Alt Pleyistosen olarak belirtilmiştir.

3.6. Alüvyon

Geyve boğazında dere, akarsu ve nehirler vasıtası ile taşınan Holosen öncesi kayaçların çökeldiği ortamlar mevcuttur. Bu çökel kayaçlar genel itibari ile çakıl, kum, silt şeklindedir.

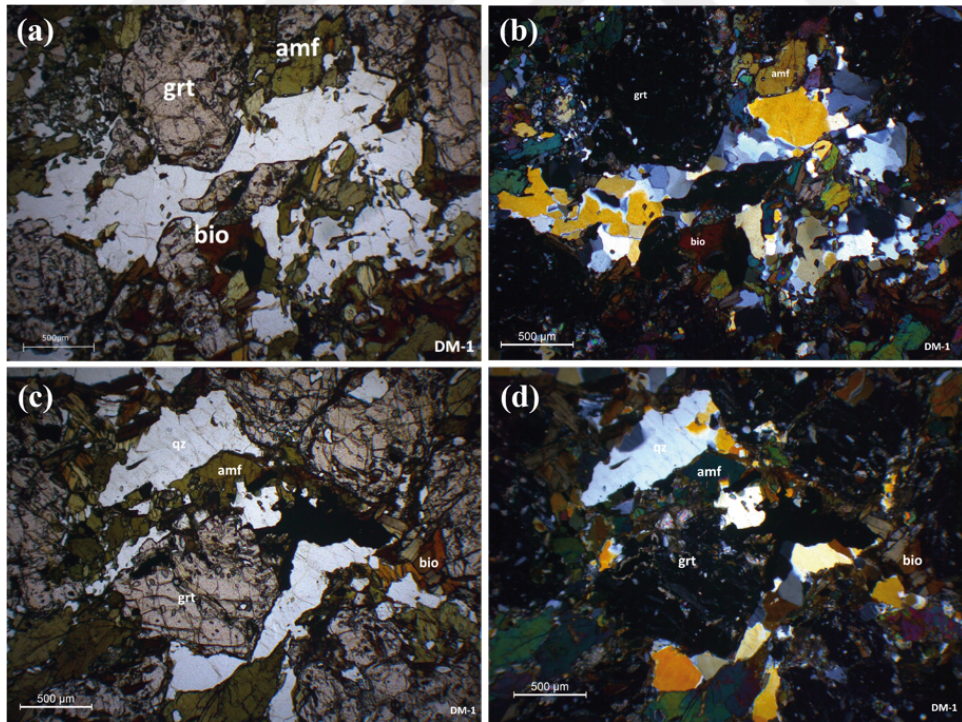
4. MİNERALOJİ VE PETROGRAFİ

Genel jeoloji bölümünde de değinildiği üzere, Geyve Boğazı Metamorfitlerine ait yüksek dereceli başkalaşım kayaçları daha çok Geyve boğazı boyunca yapılan saha çalışmalarında tespit edilmiştir. Metamorfik kayaçlar baskın olarak bazik kökenli kayaçlardan oluşmakta olup bunlar başlıca amfibolit, piroksen-amfibolit, granat-amfibolit, granat-biyotit-amfibolit gibi kayaç türleri ile temsil edilmektedir. Pelitik ve karbonatlı kökenli başkalaşım kayaçları ise amfibolitler içerisinde genelde sınırlı alanlarda gözlenmektedir. Karbonatlı kayaçlar genellikle masif yapılı mermerle temsil edilmekte iken pelitik kökenli kayaçlar granat ve sillimanit içeren mineral topluluğuna sahip şist ve gnaysik kayaçlardan oluşmaktadır. Bölgedeki bu metamorfik kayaçların mineralojik ve dokusal özellikleri önceki çalışmalarda sunulmuştur (ör. Çelik ve diğ. 2008; Özkan, 2013). Bu yüksek lisans tez çalışmasının ana konusu bölgedeki metamorfik kayaçların başkalaşım koşullarının sınırlandırılmasında basınç ve sıcaklık değerlerinin belirlenmesi için uygun mineral topluluğuna sahip olan iki adet örnek üzerinde ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Bu kayaçlardan ilki DM-1 numaralı granat-amfibolit örneğidir. Diğer örnek ise M-031 numaralı granat-sillimanit-biyotit-şist örneği olup, bu örneğe dair öncül mineralojik ve petrografik gözlemler Özkan (2013) tarafından sağlanmıştır. Aşağıda bu iki örneğe ait kapsamlı mineralojik ve dokusal özellikleriyle birlikte mineral kimyası analiz sonuçları da aktarılmıştır.

4.1. Granat-Amfibolit (DM-1)

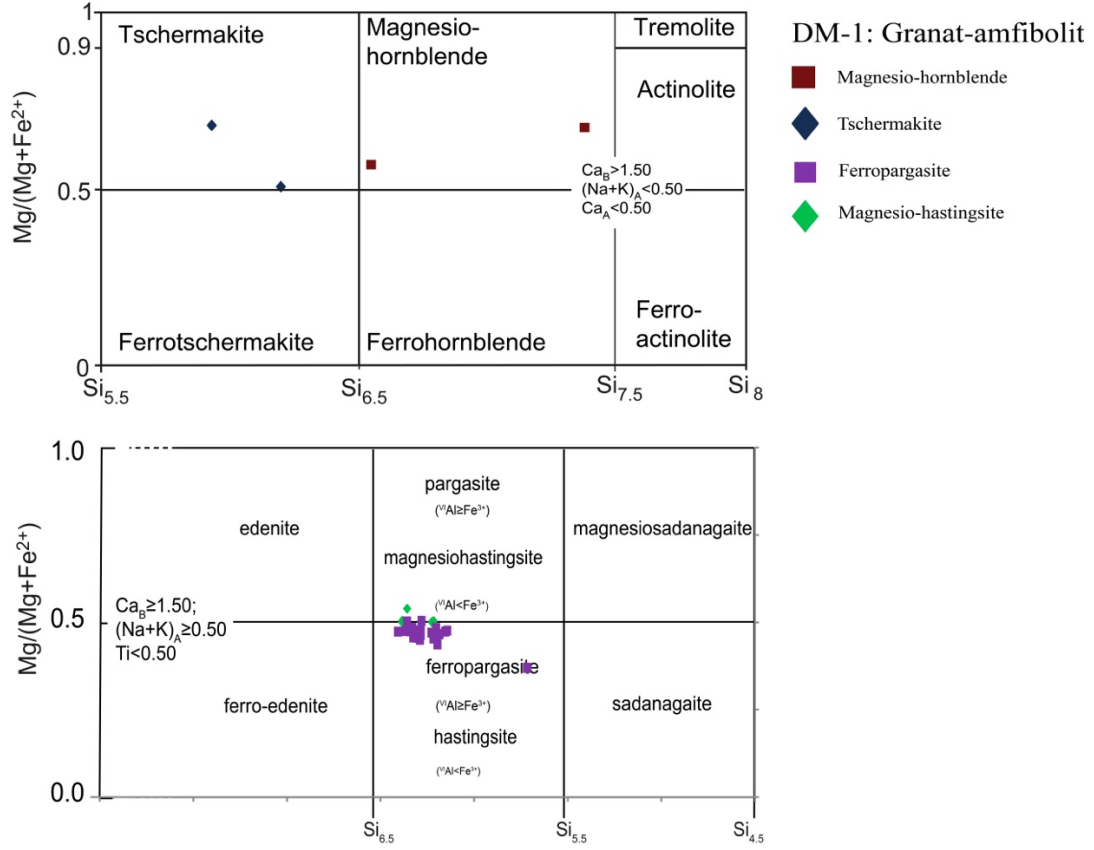
Granat-amfibolit örneğinde yapılan petrografik incelemelerde bu kayacın granonematoblastik dokuda olduğu ve kayacın granat (%40), amfibol (%30), kuvars (%15), biyotit (%5), klinopiroksen (%5), feldspat (%1) minerallerinden oluştuğu izlenmiştir. Ayrıca kayaçta aksesuar olarak ak mika (<%1), ilmenit (%1) ve titanit (%1) mineralleride gözlenmektedir. Granat mineralleri bu kayaç içerisinde hâkim mineral olarak izlenmekte olup 1-2 mm boyutlarında, çatlaklı yapıda ve yarı öz şekillidirler. Bu kayacın granat mineralleri mikroskop altında incelendiğinde doğal ışık altında şeffaf olarak, polarize ışık altında ise bilindiği üzere granat minerallerinin izotropik özelliğinden dolayı siyah görünümündedirler. Bu mineraller polarize ışık altında incelendiğinde içerisinde kuvars kapanımları ve üzerinde ise amfibol, biyotit ve titanit oluşumları izlenmiştir. Granat minerallerinin çeperlerinde genel olarak biyotit ve amfibol oluşumları

mevcuttur. Klinopiroksen mineralleri yüksek rölyef, eğik sönme açıları, dike yakın klivajlar ve polarize ışık altında mavi rengi ile belirgindir. Yarı özşekilli ve özşekilsiz olarak izlenen bu mineraller orta ve küçük boyutlu taneler olarak izlenmektedirler. Bu minerallerin üzerinde amfibol minerallerinin olduğu gözlenmiştir. Amfibol mineralleri ise doğal ışık altında yeşil renkleri ile belirgin öz şekilsiz olarak izlenmekte olup çift yönlü dilinimleri belirgin değildir. Bu minerallerin biyotit mineralleri ile granat minerallerinin çeperlerinde de olduğu izlenmiştir. Boyutları farklılıklar göstermekle beraber genellikle orta-ince tanelidirler. Tali oranda izlenen minerallerden, feldspat mineralleri önemli ölçüde alterasyona uğramış şekilde izlenmiştir. Plajiyoklaz mineralleri yarı öz şekilli ve prizmatik görünümündedir. Bu minerallerin polarize ışık altında polisentetik ikizlenme gösterdiği izlenmiştir. Ak mikalar ise hemen hemen altere K-feldspat mineralleri etrafında gözlenmektedir. Dolayısıyla bu burum gerileyen metamorfizmaya işaret ettiği düşünülmektedir. İlmenit mineralleri hemen hemen foliyasyona paralel olarak gelişmiş olup yer yer çeperlerinde oluşumları tespit edilmiştir (Şekil 4.1).



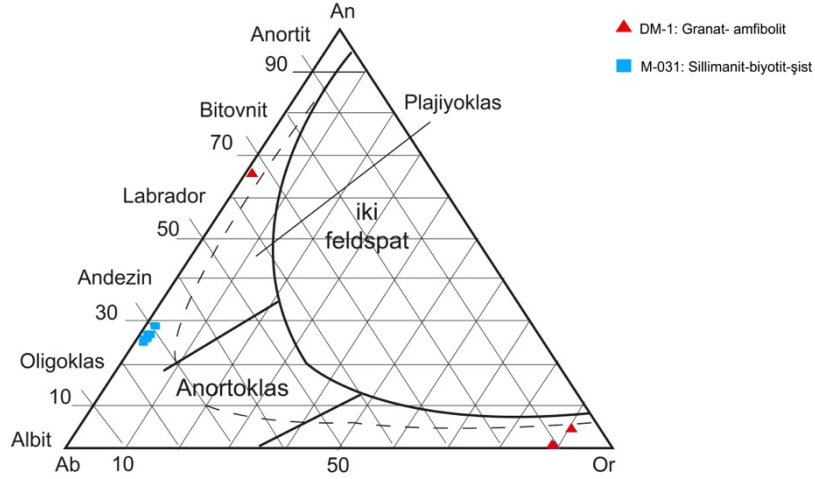
Şekil 4.1. Granat-amfibolit örneğinde (a, c) doğal ve (b, d) polarize ışık altındaki görüntüleri. Granatlar yarı özşekilli, amfibol mineralleri ise doğal ışık altında yeşil renkleri ile belirgindir. Kısaltmalar: grt, granat; amf, amfibol; bio, biyotit.

DM-1 numaralı granat-amfibolit örneğinin mineral kimyası analizlerinde amfibol minerallerinin kalsiyumlu amfibol türünde ve çermakit, magnezyo-hornblend, magnezyo-hastingsit, ferro-pargasit bileşimine sahip oldukları tespit edilmiştir. Kayaç içerisindeki amfibollerin X_{Mg} değerleri 0.70-0.85 arasında değişmektedir (Şekil 4.2).

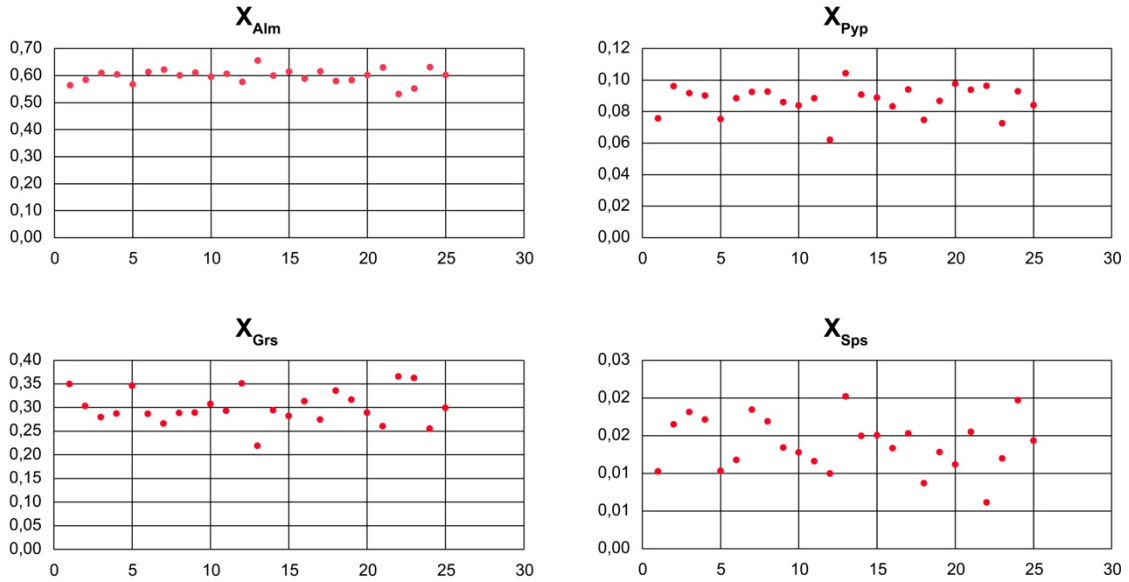


Şekil 4.2. Geyve Boğazı Metamorfikleri'nden derlenen granat-amfibolit (DM-1) örneğinin amfibollerinin kimyasal bileşimleri (Leake ve diğ., 1997'ye göre)

Aynı örnekteki plajiyoklaz mineralleri bitovnit ($X_{An}=0.65$) ve K-feldspat ($X_{Or}=0.82-0.90$) ile temsil edilmektedir (Şekil 4.3). Granat minerallerin $X_{Alm}=0.53-0.56$, $X_{Py}=0.06-0.10$, $X_{Grs}=0.37-0.22$ içeriklerine göre belirgin bir bileşim zonlanması sunmadığı anlaşılmaktadır (Şekil 4.4).

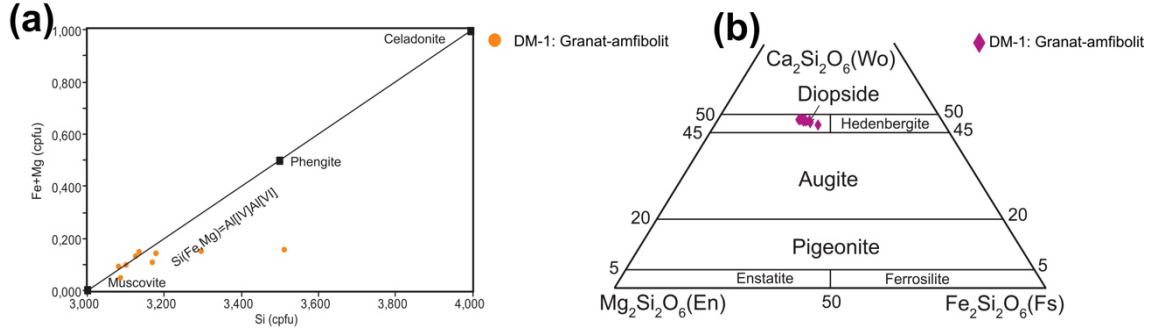


Şekil 4.3. Doğançay köyü civarında derlenen granat-amfibolit (DM-1) örneğine ait plajiyoklazlarının bileşimi. Kısaltmalar: Ab; Albit, An; Anortit, Or; Ortoklaz



Şekil 4.4. Granat-amfibolit (DM-1) örneğinin granatlarının bileşimleri ve içeriği

Granat amfibolit örneğinin piroksen ve mika içeriklerine bakıldığında piroksen minerallerinin $X_{Wo} = 0.47-0.48$, $X_{En} = 0.30-0.32$, $X_{Fs} = 0.19-0.22$ içerikleriyle diyopsit bileşiminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.5b). Kayaca ait biyotit minerallerinin Ti içerikleri 0.28-0.14, Fe+Mg içerikleri ise 2.40-2.99 arasında değişmektedir. Aynı örneğe ait ak mika mineralleri ise muskovitler ile temsil dilmekte olup Fe+Mg içerikleri 0.16-0.05 arasında değişmektedir (Şekil 4.5a).

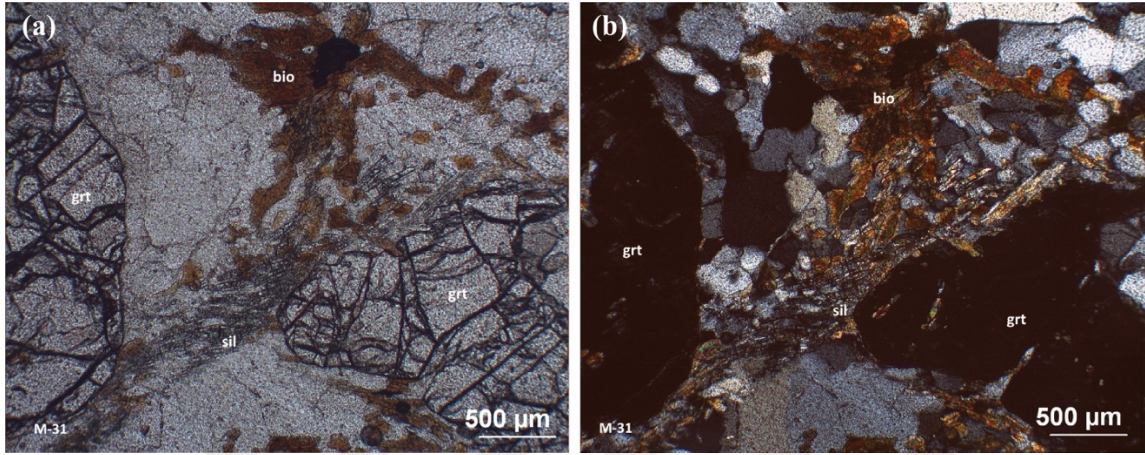


Şekil 4.5. Granat- amfibolit (DM-1) örneğinin (a) ak mikalarının bileşimi, (b) aynı örneğin Ca-Mg-Fe üçgen sınıflama diyagramındaki (Morimoto ve diğ., 1989) konumları. Kısaltmalar: Wo; vollastonit, En; Enstatit, Fs; Ferrosillit

4.2. Sillimanit-Granat-Biyotit Şist (M-31)

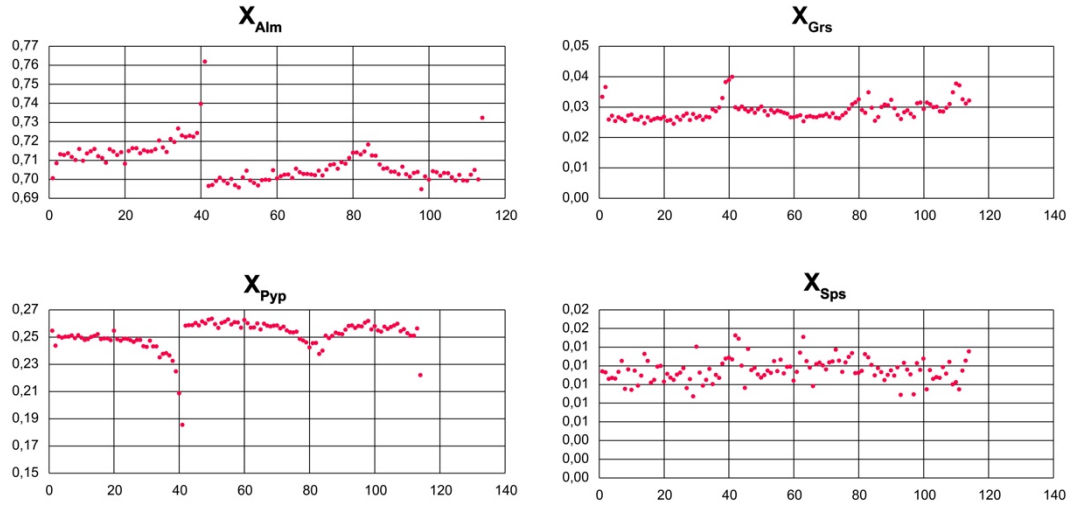
Sillimanit-granat-biyotit şist örneğinde genel olarak lepidoblastik doku yaygın olup bantlı yapıya sahiptir (Şekil 3.7). Kayaç kuvars (%45), granat (%25), biyotit (%15), plajiyoklaz (%5), sillimanit (% <5) ve opak (% <2) minerallerden oluşmaktadır. Ayrıca kayaçta aksesuar olarak rutil mineralleri ve biyotitlerden itibaren gelişmiş ikincil pumpelleyit mineralleri gözlenmektedir. Kayaçtaki baskın mineral türünü oluşturan kuvarsların çoğunlukla yönlenmeye paralel olarak geliştiği izlenmiş olup 0.1-0.5 mm arasında tane boyutlarına sahip olduğu ve öz şekilsiz olarak tipik dalgalı sönme özellikleri gösterdiği izlenmiştir. Granat mineralleri ise 1-1.5 mm boyutunda, yarı öz şekilli ve çatlaklı yapıdadır. Petrografik incelemeler sonucunda bazı granatların deformasyondan etkilenerek parçalanmış ve küçük tanelere ayrılmış olduğu tespit edilmiştir. Bu granat minerallerinin içerisinde kuvars ve plajiyoklaz minerallerinin kapanımları ile granatlar üzerinde biyotit oluşumları izlenmiştir. Bu mineral kapanımları öz şekilsiz olarak gelişmiş olup matriksteki yönlenmeye paralel değildir. Nitekim mineral kapanımlarının varlığından dolayı granatlarda poikiloblastik dokunun varlığından söz edilebilir. Her ne kadar granatlar iyi gelişmiş kartopu yapıları sunmasalarda granatların etrafını saran biyotit minerallerinin varlığı bu kayacın başkalaşımının sin-tektonik (tektonizma ile eş yaşlı) bir ortamda geliştiğini ve granat porfiroblastlarının çok düşük derecede bileşimsel zonlanma göstermesi minerallerin başkalaşım esnasında dengede olduğunu işaret etmektedir. Biyotit mineralleri ise yaprağımsı yarı öz şekilli ve öz şekilsiz olarak granat minerallerinin çeperlerinde granat minerallerini ornatması sonucu ve yer yer yönlenmeye paralel şekilde matriks içerisinde gelişmiştir. Plajiyoklaz mineralleri ise yarı özşekilli, yarı prizmatik ve köşeleri aşınmış şekildedirler. Çoğunlukla polisentetik ikizlenme

gösterirler. Yapılan mineral kimyası analizlerinde ise andezin-oligoklas türünde oldukları tespit edilmiştir. Sillimanit mineralleri ise yaklaşık olarak yönlemeye paralel olacak şekilde 0.5-1.5 mm boyutunda iğnemsî olarak izlenmiş olup bu mineralin varlığı kayacın yüksek sıcaklık başkalaşım koşullarına maruz kaldığını işaret etmektedir Rutil mineralleri mikroskop altında doğal ışıktaki kırmızı renkleri ile belirgin olup yönlenmeye paralel şekilde gelişmişler ayrıca bu minerallerin varlığı bu kayacın yüksek sıcaklık ve basınç altında başkalaşıma uğradığını işaret etmektedir (Şekil 4.6).

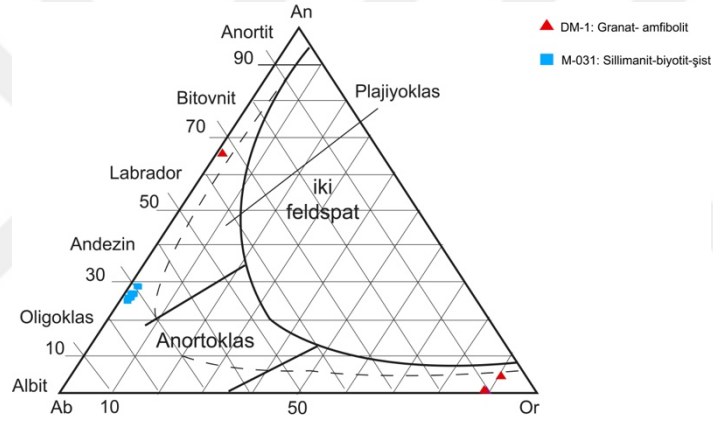


Şekil 4.6. Lepidoblastik dokulu sillimanit-granat-biyotitli (M-31) örneğinin (a) doğal ve polarize (b) ışık altındaki görünüşleri. Kısaltmalar: grt; granat, bio; biyotit, qz; kuvars, sil; sillimanit

Kayaca ait örneğin mineral kimyası analizlerinde granatların $X_{Alm} = 0.70-0.77$, $X_{Py} = 18-6$, $X_{Grs} = 2-4$ bileşiminde olduğu izlenmiş olup baskın granat minerali ise almandin ile temsil edilmektedir (Şekil 4.7). Plajiyoklaz mineralleri ise oligoklaz ile temsil edilmekte olup $X_{Ab} = 0.69-73$ içeriğine sahiptirler (Şekil 4.8) Biyotitlerin $X_{Mg\#}$ ve Ti (a.p.f.u) içerikleri ise sırasıyla 0.56-0.64 ile 0.18-0.26 arasında değişmektedir.



Şekil 4.7. Sillimanit-biyotit şist (M-31) örneğine ait granatların bileşimsel değişimi

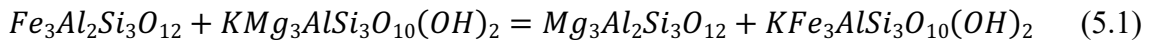


Şekil 4.8. Sillimanit-biyotit şist (M-31) örneğine ait plajiyoklazların bileşimi. Kısaltmalar: An; anortit, Ab; albit, Or; ortoklaz

5. BAŞKALAŞIM KOŞULLARININ SINIRLANDIRILMASI

Başkalaşım kayaçlarının oluşumunun basınç ve sıcaklık koşullarını belirlemek amacıyla ilk olarak 20'nci yüzyılın ortalarında ortaya çıkan ve daha sonra farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan jeotermobarometreler birden fazla yöntem ve termodinamik hesaplamalar ile yapılmaktadır (ör; Perchuk, 1970, Ferry ve Spear, 1978; Ellis ve Green, 1979). Bunlardan karşılıklı değişim jeotermobarometreleri ve sürekli ağ transfer jeobarometreleri bilinen iki farklı yöntemdir. Nitekim bu jeotermobarometrelerin uygulanmasında farklı mineral çiftleri ve toplulukları kullanılmaktadır. Örneğin, Fe-Mg karşılıklı yer değiştirme reaksiyonları için granat-biyotit, granat-klinopiroksen ve granat-orta piroksen mineral çiftleri en bilinenleridir. Bu mineral çiftleri arasında sıcaklığa bağlı genişleyen kristal kafesinde karşılıklı alışverişler olmaktadır. Nitekim Fe-Mg atomlarında bu mineral çiftlerinin kafes yapıları arasında yer değiştirmektedir. (ör. Ferry ve Spear., 1978; Bathacharyave diğ., 1992, Ellis ve Green, 1979). Sürekli ağ transfer jeobarotmetrelerinde ise granat-alüminosilikat-kuvars-plajiyoklaz (GASP), alüminosilikat-ilmenit-kuvars (GRAIL) ve granat rutil-ilmenit-plajiyoklaz-kuvars (GRIPS) sıklıkla kullanılan jeobarometrelerdir (ör: Koziol ve Newton, 1988; Koziol, 1989; Newton ve Haselton, 1981, Hodges ve Crowley, 1985).

Bu jeotermobarotmetrelerin değişik kayaç guruplarına ve mineraller içerisindeki bileşimlerine göre uygulanması gerektiği bilinmektedir. Bu amaçla farklı araştırmacılar tarafından bir dizi koşullar altındaki deneyler sonucunda mineral çiftlerinin denge durumuna ulaşılmış ve kullanımı ifade edilmiştir. Örneğin, Ferry ve Spear (1978) sentetik olarak laboratuvar ortamında ürettikleri Ca içermeyen ve 98:2 oranla karışım yaptıkları granat ve biyotit mineral çiftlerinden Fe-Mg iyonlarının karşılıklı yer değişimini kullanmışlardır ve bu çalışma kullandıkları denge reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



almandin *flogopit* *pirop* *annit*

Bu reaksiyonun denge sabiti:

$$K_D = \frac{(Mg/Fe)^{Grt}}{(Mg/Fe)^{Bt}} \quad (5.2)$$

Araştırmacılar bu deneyi 2.07 kbar sabit basınç ve 500-800 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirmişlerdir. Her deney basamağında granatların bileşimi $\text{Alm}_{90}\text{Prp}_{10}$ olarak sabit tutulmuştur. Bu deneyler sonucunda her bir sıcaklık durumunda (799, 749, 698, 651, 599, 550) elde ettikleri K_D değerlerini $1/T$ (°K) değerlerine grafik üzerinde iz düşürmüşlerdir. Bu ilişki ise Ferry ve Spear (1978) tarafından aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\ln KD = -2109/T(^{\circ}K) + 0.782 \quad (5.3)$$

Perchuk ve Lavrent'eva (1981) garnet-biyotit mineral çiftlerini kullanarak yine Fe-Mg karşılıklı yer değiştirmesine dayalı 550-1000 °C sıcaklık ve 5-7 kbar basınçta deneyler gerçekleştirmişlerdir. Perchuk ve Lavrent'eva (1981) bu deneylerinde bir arada bulunan katı çözeltilerin denge bileşenlerini tahmin etmek için bir yaklaşım geliştirmek ve jeotermometreyi doğal metapelitik başkalaşım kayaçlarına uygulamak istemişlerdir. Bhattacharya ve diğ. (1992) ise granat ve biyotit arasındaki Fe-Mg karşılıklı yer değiştirmesinin Ferry ve Spear (1978) ile Perchuk ve Lavrenteva (1981) mevcut deneysel verilerin sonuçlarının birbirinden farklı olduğunu belirterek mineraller arasındaki Fe-Mg değişiminin altında yatan varsayımı, termokimyasal veriler altında yeniden incelemiş ve pirop-almandin katı çözeltisi için Ganguly ve Saxena, (1984) ile Hackler ve Wood, (1989)'un karışım parametrelerini kullanarak 550-950 °C aralığında flogopit-annit mineral çiftinin ideal olmadığını belirtmiştir. Bhattacharya ve diğ., (1992) Ganguly ve Saxena, (1984) ve Hackler ve Wood (1989)'ün biyotit-granat arasındaki Fe-Mg fraksiyonu için jeotermometrik ifadeyi tekrar formülize ederek yeni bir jeotermometre geliştirmiştir. Bu formülizasyon ise Mg-Ca ile Fe-Ca granat katı çözeltilerindeki güncellenmiş aktivite-bileşim ilişkisine dayanmaktadır.

Graham ve Powell (1984) granat-hornblend mineral çiftlerinin Fe-Mg karşılık değişiminin geniş kimyaya sahip amfiboller, düşük oksijen aktivitesi ve Mn bakımından fakir granatlar için yaklaşık 850°C'nin altında ideal olduğunu belirtmiştir. Bu jeotermometre hacim değişimi küçük olduğundan önemsiz bir basınç bağımlığına sahiptir. Jeotermometre reaksiyonu olarak ise $\text{ferro-pargasit} + \text{pirop} = \text{pargasit} + \text{almandin}$ kullanılmıştır. Perchuk (1985) ise amfibol-plajiyoklaz termometresini (Perchuk, 1966) amfibol-granat mineral çiftlerini kullanarak tekrar kalibre etmiştir. Böylece 500 °C

üzerinde Fe-Mg iyonlarının karşılıklı değişiminin dağılımının ideal olduğunu ifade etmektedir. Perchuk (1985) jeotermometrenin uygulanabilirliği için amfibol minerallerinin geniş bir aralıkta bileşim sunduğunu, granat içerisinde Ca bileşiminin 0.212'den çok az farklı olduğunu ve Mn'ca fakir olduğunu dikkate almıştır.

Ellis ve Green (1979) yaptığı çalışmada granat-klinopiroksen mineral çiftlerinden yaptığı çalışmada 24-30 kbar ve 750-1300 °C sıcaklık aralığında bir jeotermometre kalibre etmiştir. Bu jeotermometre Ca etkisini düzeltmeyen diğer termometrelere göre kıyasla sıcaklığın hesaplamasında daha tutarlı olduğunu ifade etmekten Powell (1985) Ellis ve Green (1979)'un jeotermometresinin potansiyel olarak en kullanışlı jeotermometre olduğunu vurgulamaktadır. Fakat, Ellis ve Green (1979)'in tüm deneysel verilerin sistematik bir uyumunun olmadığını belirterek jeotermometreyi tekrar kalibre etmiştir.

Koziol ve Newton (1988) sürekli ağ transferi yöntemini plajiyoklaz-granat-alüminasilikat-kuvars içeren yüksek pelitik şistlere uygulanabilen bir jeobarometre kalibre etmiştir. Bu jeobarometrede kullanılan 900-1250°C sıcaklık ve 19-28 kbar basınç aralığında anortit = granat + alüminasilikat + kuvars denge reaksiyonu kullanılmıştır.

Geyve boğazında yüzlek veren kırıntılı ve bazik kökenli yüksek dereceli başkalaşım kayaçlarının basınç (P) ve sıcaklık (T) koşullarının sınırlandırılması amacıyla geleneksel jeotermobarometrik yöntemler ve THERIAK-DOMİNO yazılımı ile faz denge diyagramları oluşturulmuştur. Aşağıdaki bölümde kayaçların jeotermometre ve jeobarometre sonuçları gösterilmektedir.

5.1. Granat-Amfibolit (DM-1)

Geyve Boğazı Metamorfikleri'nden derlenen granat-amfibolit örneğine granat-amfibol ve granat-klinopiroksen çiftleri, sillimanit-granat-biyotit şist örneğine ise granat-biyotit mineral çiftlerinin Fe-Mg karşılıklı yer değiştirmesine dayalı jeotermometreleri ile amfibol ve biyotit mineralleri içerisindeki Ti içeriğine dayalı jeotermometre uygulanmıştır. Ayrıca jeotermobarometre yöntemleri seçilirken amfibol minerallerinin bileşimlerinin çeşitliliği, granat bileşimindeki Mn içeriği dikkate alınmıştır. Bunun sebebi ise olası kapanma sıcaklığı sorunudur. Bu durum belirli bir mineralin oluşum sıcaklığı ve basınç aralığından farklı bir sıcaklık ve basınçta oluşarak kristal kafeslerinin kapanması durumu olarak açıklanmaktadır (Graham ve Powell, 1984). Dolayısıyla granat

minerallerindeki mangan içeriği bu mineralin Fe bileşimli olanına göre daha erken sıcaklıkta oluşmaktadır.

Granat-amfibol mineral çiftlerinin Fe-Mg karşılıklı yer değiştirmesine dayalı yapılan jeotermometre hesaplamaları Graham ve Powell (1984)'a göre 589-693 °C (ort: 641°C, hata payı: ± 27), Perchuk (1985)'a göre 503-561°C (ort: 553°C, hata payı: ± 16) ve Powell (1895)'a göre ise 567-678 °C (ort: 622 °C, hata payı: ± 29) değerler vermiştir. Ellis ve Green (1979) ve Powell (1985) tarafından granat-klinopiroksen mineral çiftlerinin Fe-Mg karşılıklı yer değiştirmesine dayalı kalibre edilen jeotermometresinden ise 4.5-7 kbar basınç aralığında sırasıyla 548-724°C (ort:659°C, hata payı: ± 27), 528-707°C (ort: 641°C, hata payı: ± 28) arasında sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Ayrıca Liao ve diğ., (2021)'e göre Amfibollerin içerisindeki Ti içeriğine göre yapılan jeotermometre sonuçları ise 695-801°C (ort:749°C, hata payı; ± 28) arasında sıcaklık değerleri vermiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.1'de özet olarak gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Geyve Boğazı Metamorfitleri'nden derlenen granat amfibolit örneğinden geleneksel yöntemler ile elde edilen sıcaklık ve basınç değerlerini özetleyen tablo

Örnek	Bölge	Basınç(kbar)	Sıcaklık (°C)	Termobarometre	Referans
DM-1	Geyve Boğazı		641 $\pm$ 50	Granat-amfibol	Graham & Powell (1984)
			533 $\pm$ 50		Perchuk (1985)
			622 $\pm$ 50		Powell (1985)
		3-9	671 $\pm$ 39	Granat-klinopiroksen	Ellis & Green (1979)
			653 $\pm$ 40		Powell (1985)
			700 $\pm$ 50	Amfibol-Ti	Liao ve diğ., (2021)

5.2.Sillimanit-Granat-Biyotit Şist (M-31)

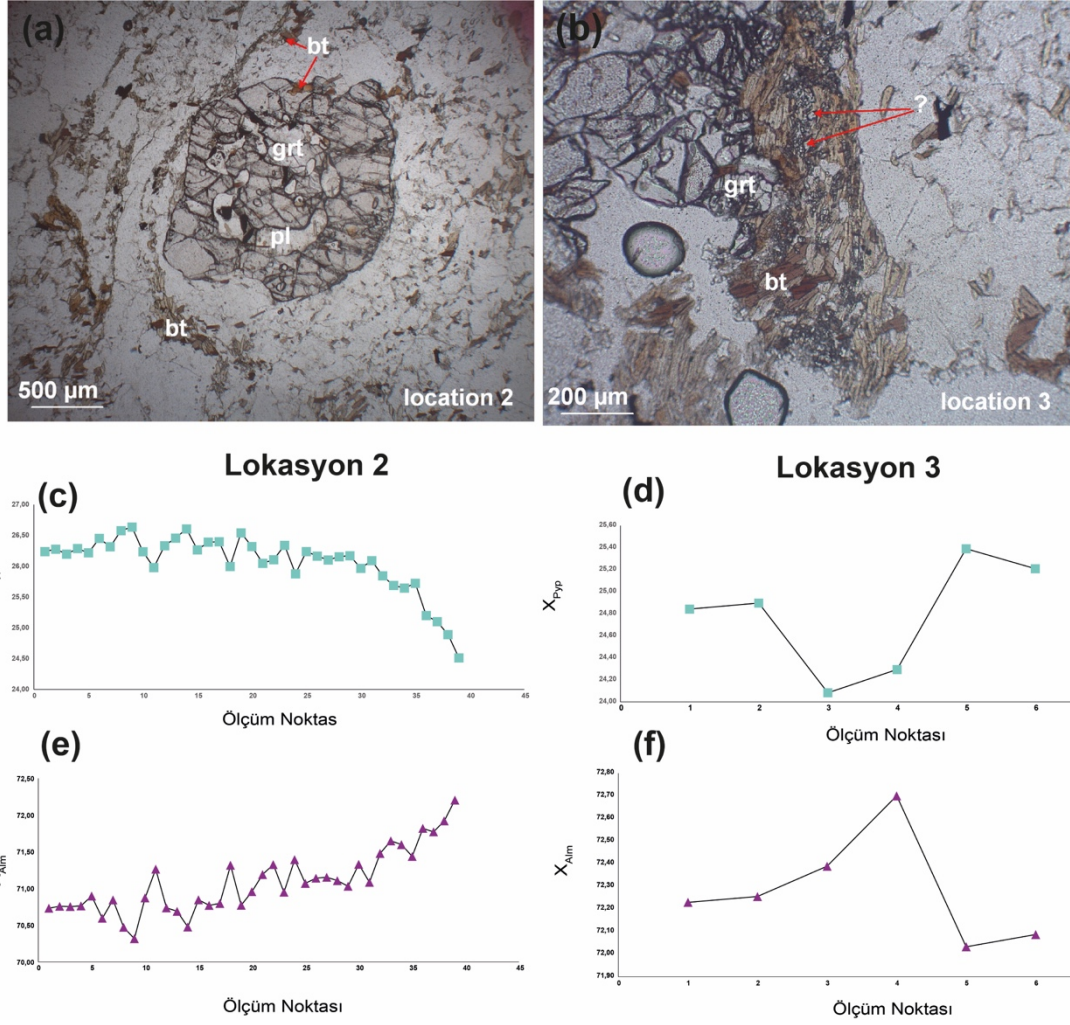
Granat-amfibolit örneği ile aynı çalışma alanından derlenen Sillimanit-granat-biyotit şist örneğinin granat-biyotit mineral çiftlerinden Fe-Mg karşılıklı yer değiştirmesine dayalı jeotermometre sonuçları Ferry ve Spear (1978)'a göre 629-763°C (ort: 698°C, hata payı: ± 70), Perchuk ve Lavrent'eva (1981)'e göre 627-695 °C (ort: 662°C, hata payı: ± 25), Batthacharya ve diğ., (1992) 574-639°C (ort: 609°C, hata payı: ± 25) sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Ayrıca biyotit minerallerinin Ti içeriğine göre Henry ve diğ., (2005) tarafından kalibre edilen jeotermometreye göre ise 729-762°C (ort:752°C, hata payı: ± 9) sıcaklık arasında değeri vermiştir. Kayacın petrografik ve mineral kimyası analizlerinde granat-plajiyoklaz-alüminosilikat minerallerinin varlığı kayaca jeobarometre yöntemi

uygulama imkânı sunmuştur. Granat-alüminosilikat- Plajiyoklaz (GASP) jeobarometresi sonuçları Hodges ve Crowley (1985)'e göre 5 ± 1 (hata payı: ± 0.5) kbar, Koziol ve Newton (1988)'e göre 6 ± 1 (hata payı: ± 0.5) kbar, Koziol (1989)'a göre 5 ± 1 (hata payı: ± 0.5) kbar basınç değerleri elde edilmiştir. Elde edilen genel sonuçlar Tablo 5.2'de özet olarak gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Geyve Boğazı Metamorfitleri'nden derlenen sillimanit-granat-biyotit şist örneğinden geleneksel yöntemler ile elde edilen sıcaklık ve basınç değerlerini özetleyen tablo

Örnek	Bölge	Basınç(kbar)	Sıcaklık (°C)	Termobarometre	Referans
M31	Geyve Boğazı	3-9	700 $\pm$ 39	Granat-biyotit	Ferry & Spear (1978)
			646 $\pm$ 20		Perchuk & Lavrent'eva (1983)
			652 $\pm$ 17		Bathacharya ve diğ. (1992)
			752 $\pm$ 8	Biyotit-Ti	Henry ve diğ., (2005)
		5 $\pm$ 1		Granat-plajiyoklaz-alüminosilikat-kuvars	Hodges & Crowley (1985)
		6 $\pm$ 1			Koziol & Newton (1988)
		5 $\pm$ 1			Koziol (1989)

Bu örneğe uygulanan mineral kimyası lokasyonlarından olan lokasyon 2 ve lokasyon 3'te yapılan mineral kimyası analiz sonuçları ayrıca değerlendirilmiş ve bu lokasyonlardaki granatların bileşimlerinin değişimi incelenmiştir. Buna göre; Her iki lokasyondaki granatların merkezden çepere doğru uygulanan ölçüm yöntemine göre X_{Alm} ve X_{Prp} bileşimlerinde düşük miktarda değişim tespit edilmiştir. Bu değişim granatların başkalaşım derecesinin arttıkça kristal kafeslerinin parçalanmasına dolayısıyla Mg^{+2} iyonunun biyotitleri oluşturması için serbest kalmasını işaret etmektedir. Nitekim granatların çeperlerinde biyotit oluşumları mevcuttur (Şekil 5.1a, Şekil 5.1b).



Şekil 5.1. (a, b) Sillimanit-granat-biyotit şist örneğine ait mineral kimyası lokasyonları (c, e) lokasyon 2'ye ait sırasıyla pirop ve almandin bileşiminin değişimi (d, f) lokasyon 3'e ait sırasıyla pirop ve almandin bileşiminin değişimi

Sillimanit granat biyotit şist örneğinin genel jeotermometre çalışmalarının yanında lokasyon 2 ve lokasyon 3'te de geleneksel jeotermometre hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalar granat-biyotit mineral çiftlerindeki Fe-Mg değiş tokuşuna ve biyotitler içerisindeki Ti içeriğine göre hesaplanmış olup jeotermometre sonuçları lokasyon 2'de 696 ± 68 °C (Ferry & Spear, 1978), 644 ± 35 °C (Perchuk & Lavrent'eva, 1983), 665 ± 33 °C (Battacharya ve diğ., 1992) sıcaklık değerleri vermiştir. Lokasyon 3'te ise 680 ± 16 °C (Ferry & Spear, 1978), 637 ± 10 °C (Perchuk & Lavrent'eva, 1983), 642 ± 4 °C (Battacharya ve diğ., 1992) sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Her iki lokasyondaki Henry ve diğ. (2005)'e göre biyotitler içerisindeki Ti içeriğine bağlı yapılan jeotermometre sonuçları ise sırasıyla 747 ± 16 °C ve 747 ± 3 °C sıcaklık değerleri vermiştir. Jeotermometre

sonuçlarını Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’te gösterilmiştir. Bu lokasyonlar özelinde hesaplanan jeotermometre sonuçları ile örneğe ait genel jeotermometre sonuçları uyumlu olarak izlenmiştir.

Tablo 5.3. Sillimanit-granat-biyotit şist örneğine ait lokasyon 2’de uygulanan mineral kimyası sonuçlarının geleneksel jeotermometre sonuçlarını gösterir tablo

Örnek	Bölge	Basınç(kbar)	Sıcaklık (°C)	Termobarometre	Referans
M-031-Lokasyon 2	Geyve Boğazı	3-9	696±68	Granat-biyotit	Ferry & Spear (1978)
			644±35		Perchuk & Lavrent'eva (1983)
			665±33		Bathacharya ve diğ. (1992)
			747±16	Biyotit-Ti	Henry ve diğ., (2005)

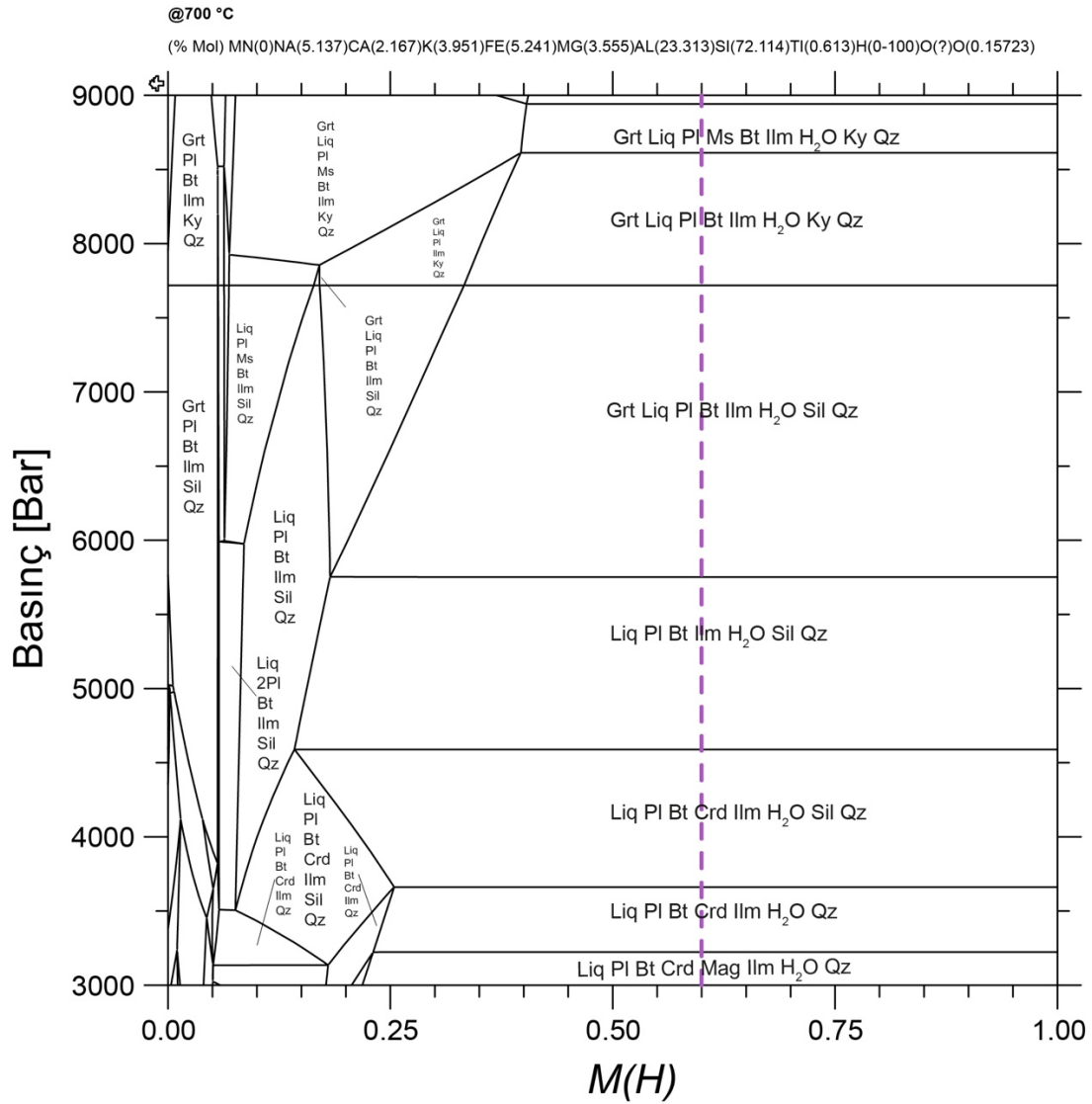
Tablo 5.4. Sillimanit-granat-biyotit şist örneğine ait lokasyon 3’te uygulanan mineral kimyası sonuçlarının geleneksel jeotermometre sonuçlarını gösterir tablo

Örnek	Bölge	Basınç(kbar)	Sıcaklık (°C)	Termobarometre	Referans
M-031-Lokasyon 3	Geyve Boğazı	3-9	680±16	Granat-biyotit	Ferry & Spear (1978)
			637±10		Perchuk & Lavrent'eva (1983)
			642±4		Bathacharya ve diğ. (1992)
			747±3	Biyotit-Ti	Henry ve diğ., (2005)

Sillimanit-granat- biyotit şist örneğinin P-T koşulları incelemek amacı ile TERIAK-DOMINO (de Capitani ve Brown, 1987; de Capitani ve Petrakasis, 2010) yazılımı faz denge diyagramları oluşturulmuştur. THERIAK-DOMINO yazılımı başkalaşım kayaçlarının olduğu basınç ve sıcaklığın hesaplanması amacı ile geleneksel jeotermobarometre yöntemlerinden farklı olarak Gibbs serbest enerji minimizasyon algoritmasını kullanmaktadır. Bu algoritma termodinamik yasaları kullanarak sistemin kimyasal dengesinin ve reaksiyonların hesaplanmasına olanak tanımaktadır. Nitekim sistemdeki her bileşenin Gibbs serbest enerjisini hesaplayan algoritma her bileşenin aktivite katsayılarını dikkate alarak Gibbs serbest enerjilerini toplar ve serbest enerjiyi minimize etmeye çalışır. Dolayısıyla bir sistemin belirli koşullar altında hangi bileşenlerin hangi fazlarda bulunacağını ve kimyasal reaksiyonları hesaplamaktadır. Bu tez çalışmasında sillimanit-granat-biyotit şist örneğine ait P-T koşullarının belirlenmesi amacı ile P-T diyagramlarının oluşturulması için tüm kayaç bileşim değerleri normalize edilmiş olup diyagramın üst kısmında yer almaktadır (%6, %9, %12 Fe⁺³ molar hacme göre ana oksit değerleri). Faz diyagramı oluşturmak amacı ile NCKFMASHTO (Na₂O-CaO-K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O-TiO₂-O) sistemi kullanılmıştır. Mineral kimyası analizlerinde X_{Spessartin} bileşiminin çok düşük olmasından dolayı denge diyagramı oluşturulurken MnO ihmal edilmiştir. Faz denge diyagramlarını oluştururken Holland ve

Powell (2011)'in termodinamik hesaplamaları içeren veri seti (ds62) kullanılmıştır (bu veri seti THERIAK DOMINO programına DougTinkham tarafından uyarlanmıştır).

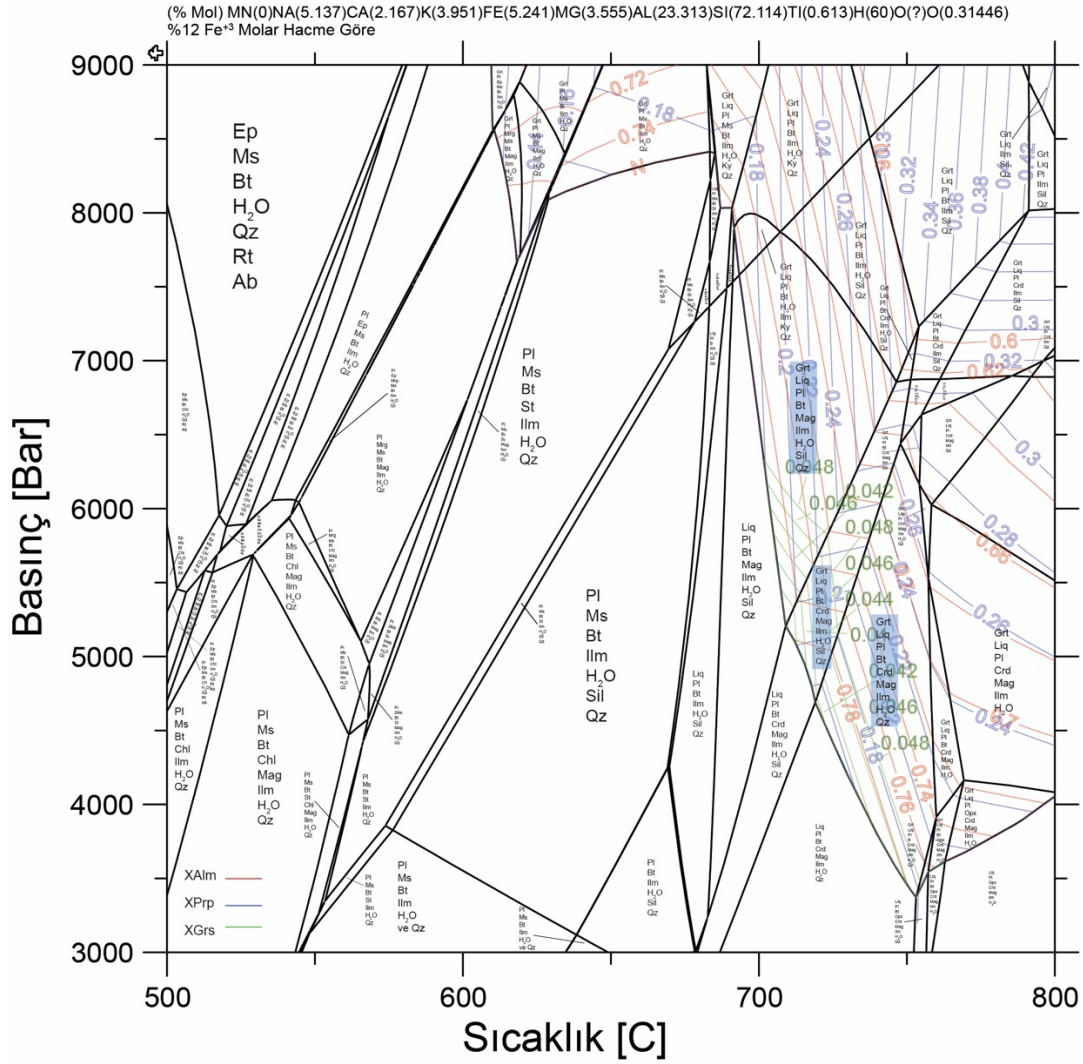
Kayac içerisindeki H₂O doygunluğunu belirlemek amacı ile DOMINO programında binary diagram oluşturulmuştur. Buna göre 700°C'de 60 mol suyun yeterli olacağı izlenmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Sillimanit-granat-biyotit şist örneğinin 700 °C'deki kestirilen H₂O değerinin yalancı kesit üzerinde gösterimi (mor renkli kesikli çizgi 60 mole denk gelmektedir). Mineral kısaltmaları Whitnet ve Evans (2010)'a göre.

Oksijen miktarı ise DOMINO yazılımında faz diyagramları oluşturularak belirlenmiştir. Faz diyagramları %6, %9 ve %12 Fe⁺³ molar oranı için ayrı hesaplanmıştır. Buna göre %12 Fe⁺³ faz diyagramında petrografik kesitlerde izlenen mineral topluluğu granat

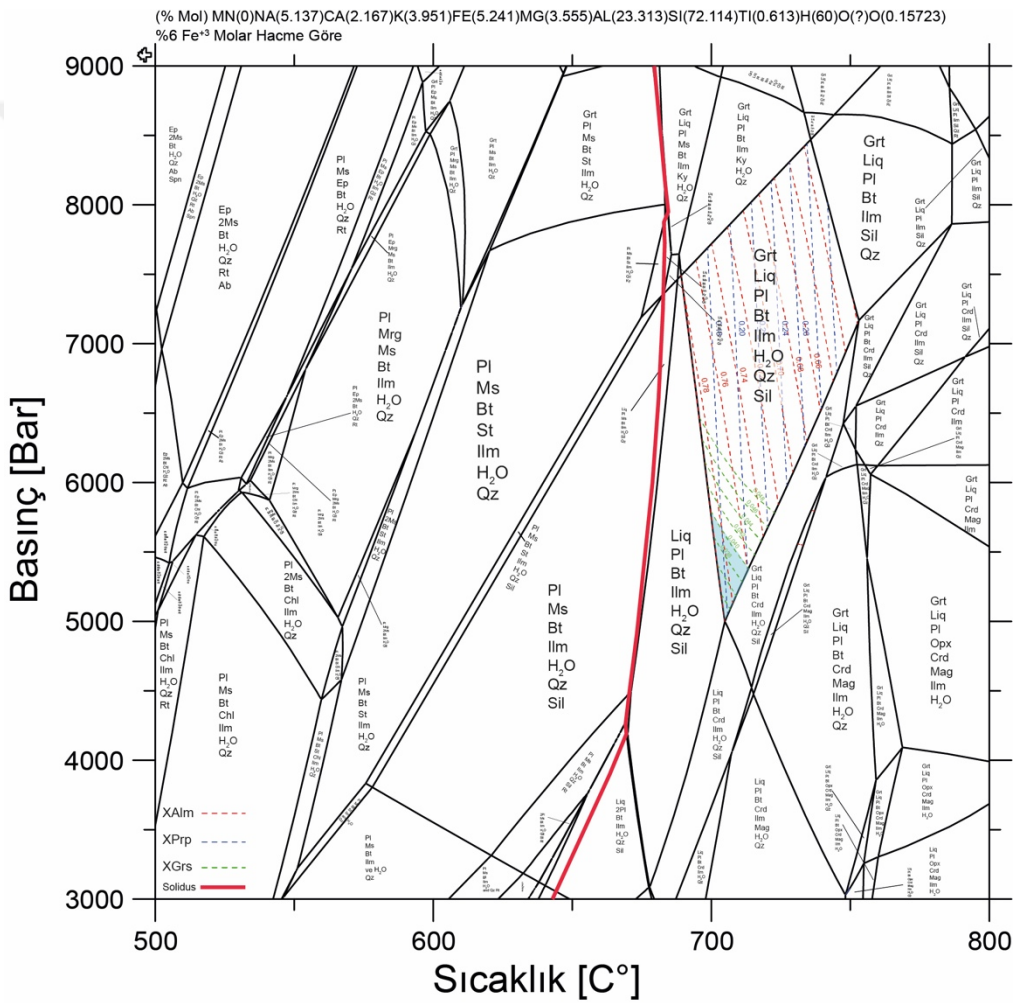
mineral uç üyelerinin (almandin, pirop, grossular) izopletlerini karşılamadığından Oksijen miktarı 0.3'ten küçük değer olarak belirlenmiştir (Şekil 5.3).



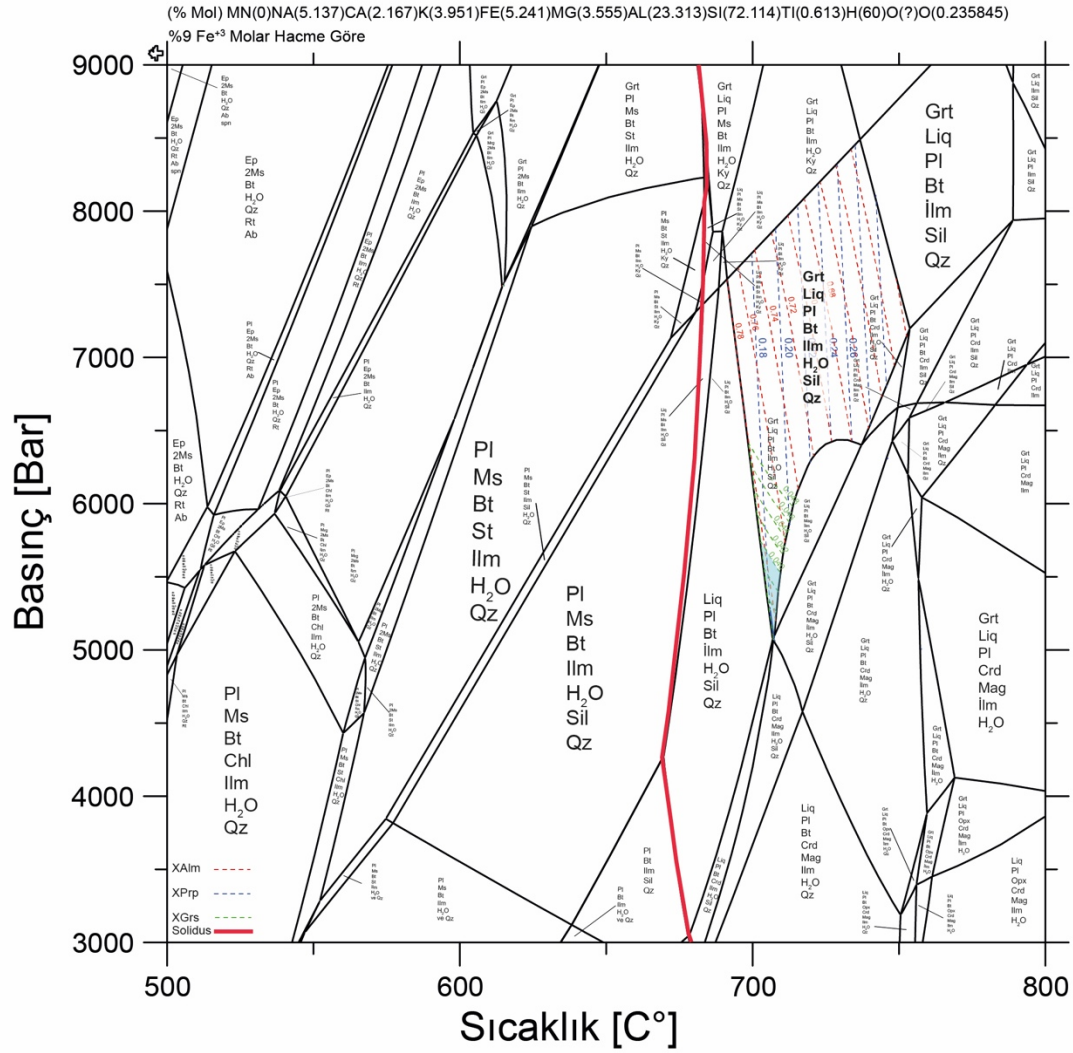
Şekil 5.3. Sillimanit-granat-biyotit şist örneğine ait %12 Fe+3 mol hacme göre oluşturulan denge faz diyagramı. Diyagram üzerinde çakışan XAlm, XPrp, XGrs çizgilerinin kesiştiği alanlarda petrografik incelemelerde izlenen mineral topluluğunun izlenmediği görülmektedir. Minerallerin kısaltmaları Whitney ve Evans (2010)'a göre.

Sillimanit-granat-biyotit şist örneğinin mineral topluluğunun olduğu denge durumunu izlemek amacıyla %6 ve %9 Fe+3 molar hacmine göre faz denge diyagramları 500-800°C sıcaklık ve 3-9 kbar basınç aralığında oluşturulmuştur. Bu denge diyagramları oluşturulurken belirlenen M(H) ve M(O) değerleri dikkate alınmıştır. Kayaçtaki denge durumunu sınırlandırmak amacı ile kayaçta bulunan granat mineralinin uç üyeleri X_{sps}

ihmal edilmesinden dolayı yeniden hesaplanmış olan X_{alm} (0.70-0.077), X_{prp} (0.18-0.026) X_{Grs} (0.020-0.040) normalize bileşim değerleri kullanılmıştır. Buna göre %6 Fe+3 molar hacme göre oluşturulan diyagramda kayacın 700-717°C (hata payı: $\pm 4^\circ\text{C}$) sıcaklık ve 5-5.7 kbar basınç aralığında (Şekil 4.4), %9 Fe+3 molar hacme göre oluşturulan diyagramda ise 704-710 (hata payı: $\pm 4^\circ\text{C}$) sıcaklık ve 5-5.7 kbar basınç aralığında değerler elde edilmiştir. (Şekil 5.5). Her iki diyagramda mineral denge topluluğu ise granat-plajiyoklaz-biyotit-ilmenit-sillimanit-kuars ve ergiyik olarak izlenmektedir (Şekil 5.4, Şekil 5.5).



Şekil 5.4. Sillimanit-granat-biyotit şist (M-31) örneğinin %6 Fe+3 molar hacme göre THERIAK-DOMINO yazılımı ile hesaplanmış olan faz denge diyagramı. Eş bileşim eğrileri X_{Alm} ’in kırmızı, X_{Prp} mavi, X_{Grs} yeşil kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Açık mavi renkli alan kayacın duraylı olduğu ve başkalaşım koşullarını (P-T) yansıttığı alandır. Minerallerin kısaltmaları Whitney ve Evans (2010)’a göre.



Şekil 5.5. Sillimanit-granat-biyotit şist (M-31) örneğinin %9 Fe³⁺ molar hacme göre THERIAK-DOMINO yazılımı ile hesaplanmış olan faz denge diyagramı. Eş bileşim eğrileri XAlmandin kırmızı, XPrp mavi, XGrossular yeşil kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Açık mavi renkli alan kayacın duraylı olduğu ve başkalaşım koşullarını (P-T) yansıttığı alandır. Minerallerin kısaltmaları Whitney ve Evans (2010)'a göre.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Geyve boğazından derlenen yüksek dereceli başkalaşım kayalarında petrografik, mineralojik, jeokimya ve jeotermobarometre çalışmaları yapılmıştır. Buna göre;

Granat-amfibolit örneği granonematoblastik dokuda olup içerisinde granat+ kuvars+ amfibol+ plajiyoklaz± titanit ± apatit ve opak minerallerden oluştuğu tespit edilmiştir. Aynı örneğin granatlarının bileşimi almandin, feldspatlar ise ortoklaz ile temsil edilmektedir. Örnekte bulunan amfibol kalsiyum içerikli olup çermakit, magnezyo-hornblend, magnezyo-hastingsit, ferro-pargasit, klinopiroksen minerallerinin ise diyopsit türünde olduğu tespit edilmiştir.

Sillimanit-granat-biyotit şist örneği ise lepidoblastik dokuda olup içerisinde granat + sillimanit + biyotit + kuvars +plajiyoklaz ve opak mineraller tespit edilmiştir. Bu örnekte granatlar yarı öz şekilli olup baskın bileşimi almandin, plajiyoklazlar ise oligoklaz ile temsil edilmektedir.

Bu kayaların granat kristoblastlarında bileşimsel zonlanma gözlenmemektedir. Bu gözlem mineral topluluğunun başkalaşım esnasında dengede olduğunu işaret etmektedir.

Granat amfibolit örneğinin granatları içerisinde izlenen kuvars ve biyotit kapanımları bu kayacın ilerleyici başkalaşım koşullarında olduğunu, sillimanit-granat-biyotit şist örneğinin ise içerisinde tali oranda pumpelleyit minerallerinin bulunması sebebi ile kayaların gerileyen başkalaşım koşullarına maruz kaldığını işaret etmektedir.

Granat-amfibolit ve sillimanit-granat-biyotit şist örneklerinin mineral kimyası analizlerine göre farklı araştırmacılar tarafından kalibre edilen geleneksel jeotermobarometre hesaplamaları yapılmıştır. Bu örnekten yapılan granat amfibolit örneğinin granat-klinopiroksen Fe-Mg karşılık yer değiştirmesine göre 3-9 kbar basınç arasında $671\pm 39^{\circ}\text{C}$ (Ellis ve Green, 1979) ile $653\pm 50^{\circ}\text{C}$ (Powell, 1995) sıcaklık, granat-amfibol mineral çiftlerinin Fe-Mg karşılıklı yer değiştirmesine göre ise $641\pm 50^{\circ}\text{C}$ (Graham ve Powell, 1984), $533\pm 50^{\circ}\text{C}$ (Perchuk, 1985) ve $622\pm 50^{\circ}\text{C}$ (Powell, 1985) sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Aynı örneğin amfibollerinin titanyum içeriğine göre yapılan jeotermometre sonucu ise $700\pm 50^{\circ}\text{C}$ (Liao ve diğ., 2021) değeri vermiştir.

Sillimanit-granat-biyotit şist örneğinin genel olarak yapılan granat-biyotit mineral çiftlerinin Fe-Mg karşılıklı yer değiştirmesine dayalı jeotermometre sonuçları ise 3-9 kbar basınç aralığında $700\pm 39^{\circ}\text{C}$ (Ferry ve Spear, 1978), $646\pm 20^{\circ}\text{C}$ (Perchuk ve Lavrent'eva, 1983) ve $652\pm 17^{\circ}\text{C}$ (Bathacharya ve diğ., 1992) sıcaklık değerleri vermiştir. Aynı kayaca ait biyotit minerallerinin Ti içeriğine göre uygulanan jeotermometre sonuçlarından ise $752\pm 8^{\circ}\text{C}$ (Henry ve diğ., 2005) sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Ayrıca bu kayaca granat-alüminosilikat-plajiyoklaz-kuvars (GASP) jeobarometresi uygulanmış olup farklı araştırmacıların kalibrasyon sonuçlarına göre kayacın 5 ± 1 (Hodges ve Crowley, 1985), 6 ± 1 (Koziol ve Newton, 1988) ve 5 ± 1 (Koziol, 1989) kbar basınç değerleri izlenmiştir.

Sillimanit-granat-biyotit şist örneğinin mineral kimyası analizleri alanlarından olan lokasyon 2 ve lokasyon 3 üzerinde ayrıca granat-biyotit mineral çiftlerinin Fe-Mg iyon değiş tokuşuna dayalı jeotermometre çalışmaları yapılmıştır. Buna göre; lokasyon 2'de $696\pm 68^{\circ}\text{C}$, $644\pm 33^{\circ}\text{C}$, $665\pm 33^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Aynı lokasyonda bulunan biyotitlerin Ti içeriğine göre yapılan jeotermometre sonuçları ise $747\pm 16^{\circ}\text{C}$ değeri vermiştir. Lokasyon 3'te yapılan jeotermometre hesaplamalarında ise $680\pm 16^{\circ}\text{C}$, $637\pm 10^{\circ}\text{C}$, $642\pm 4^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Bu lokasyondaki biyotit minerallerinin Ti içeriğine göre yapılan jeotermometre sonuçları ise $747\pm 3^{\circ}\text{C}$ değer vermiştir. Bu kayaca ait lokasyonlar özelinde yapılan jeotermometre sonuçları kayacın genel jeotermometre sonuçları ile uyumlu olarak izlenmiştir.

Elde edilen bu geleneksel jeotermometre ve jeobarometre sonuçları farklı araştırmacıların kalibrasyonlarında farklılıklar göstermektedir. Bunun birkaç farklı nedeni olabilmektedir. Örneğin, Ferry ve Spear (1978) jeotermometresi araştırmacıların laboratuvar ortamında ürettikleri sentetik granat ve biyotit bileşimlerine dayanmaktadır. Kalibrasyonların farklı veri setleri ve farklı matematiksel ifadeleri aynı mineral kimyası bileşimlerine göre fakat farklı kalibrasyonlar kullanılmaları nedeni ile farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Kohn ve Spear (1991)'in kayaçlardaki mineral topluluklarına uygulanan jeotermobarometre belirsizliklerini değerlendirdikleri makalesinde farklı sonuç elde ettikleri 4 farklı jeobarometre uygulamasında barometre hatalarının sebebini açıklamışlardır. Buna göre; volümetrik ölçüm hataları (± 25 - ± 100 Mpa), termometre kalibrasyonlardaki matematiksel ve termodinamik hesaplama hataları (± 25 - ± 100 Mpa), doğal minerallerin

bileşimsel heterojenliği (± 1.5 - ± 5 Mpa) ve elektron mikroprob analizlerindeki tutarsızlık (cihaz kalibrasyonu) (± 0.5 - ± 1.8 Mpa) gibi bir dizi doğru sonuca etki edecek hatalar belirtmişlerdir. Bu durumda olasılıkla geleneksel jeotermobarometre yöntemlerinin örnek üzerinde birden farklı araştırmacının kalibrasyonlarının kullanılmasının hataları elimine edeceğini ve sadece analitik belirsizlikler ile ilgili durumun ortaya çıkabileceğini belirtmişlerdir. Nitekim sonuçların birbirleri ile olan korelasyonu yapıldığında, korelasyon katsayıları uyumlulukları veya uyumsuzluklarından bahsedilebilir. Bundan dolayı geleneksel yöntemler birden fazla araştırmacının kalibrasyonları kullanılarak uygulanmıştır.

Sillimanit-granat-biyotit şist örneğinden elde edilen tüm kayaç jeokimyası normalize edilerek THERIAK-DOMINO programında denge faz diyagramları oluşturulmuştur. Denge faz diyagramlarını oluşturmak amacı ile kayacın suya doygun olduğu H₂O yüzde mol olarak DOMINO programı yardımıyla binary diyagramlar oluşturularak belirlenmiş olup denge faz diyagramları için 60 mol olarak kestirilmiştir. Yalancı kesitler üzerinde oksijen miktarını belirlemek amacı ile %6, %9 ve %12 Fe⁺³ molar hacme göre faz diyagramları oluşturularak granat minerali uç üyelerinin izoplethlerinin çakıştığı alanlar belirlenmiştir. Buna göre %12 Fe⁺³ molar hacimle oluşturulan faz denge diyagramında petrografik incelemelerde izlenen mineral topluluğu izoplethlerin çakıştığı alanda farklı mineral topluluğu sunmaktadır. Bu durumda diyagramın oluşturulmasında hesaplanan oksijen miktarından daha düşük değerler kullanılacağı tespit edilmiştir. Nitekim kayaca ait basınç sıcaklık koşullarını belirlemek amacı ile %6 ve %9'luk diyagramlar kullanılmıştır. Diyagramlardan elde edilen sonuçlara göre (P-T) sırasıyla 700-717°C (hata payı: $\pm 4^\circ\text{C}$) sıcaklık ve 5-5.7 kbar basınç ve 704-710 (hata payı: $\pm 4^\circ\text{C}$) sıcaklık ve 5-5.7 kbar basınç değerleri elde edilmiştir.

Sillimanit-granat-biyotit şist örneğinin geleneksel jeotermobarometre ve THERIAK-DOMINO yazılı ile hesaplanan sıcaklık ve basınç değerleri incelendiğinde her iki yöntem arasında tutarlılık tespit edilmiştir. Bu durumda Geyve Boğazında yüzeyleyen yüksek dereceli başkalaşım kayalarının oluşum koşulları bu çalışma ile sınırlandırılmıştır.

Bilindiği üzere başkalaşım kayalarının oluşumu sıcaklık ve basınç gibi etkenler köken kayacın yapısını değiştirmesi ile oluşmaktadır. Bu tez çalışmasının konusu olan geyve

boğazında yüzlek veren yüksek dereli başkalaşım koşullarının belirlenmiştir. Buna göre litostatik basınç formülü elde edilen basınç değerine göre düzenlenirse ($P=\rho \cdot g \cdot h$, P: Basınç, ρ : Yoğunluk, g: Yerçekimi ivmesi, h: derinlik) bu başkalaşım kayaçlarının oluştuğu derinlik hesaplanabilmektedir. Buna göre; THERIAK-DOMINO yazılımı ile oluşturulan yalancı kesitlerden elde edilen (%6 ve %9 Fe⁺³ molar hacimle oluşturulan) basınç koşulları belirtilen formüle uygulanırsa kayaca ait başkalaşıma etken olan litostatik basıncın yaklaşık olarak 17-19.4 km derinlikte oluşmuş olacağı ifade edilebilir (ortalama yoğunluk 3 olarak alınmıştır).

Çelik (2009) mineral bileşimlerine dayalı yaptığı jeotermobarometre çalışmasında Pamukova, Geyve Boğazı ve Almacık dağında izlenen amfibolitik kayaçların başkalaşım esansındaki koşullarının 600-720°C sıcaklık ve 5-6 kbar aralığında olduğunu ifade etmiştir. Buna göre; bu çalışmada mineral bileşimlerine göre yapılan geleneksel jeotermobarometre sonuçları ve diyagramlardan elde edilen basınç sıcaklık değerleri Çelik (2009)'in hesaplamaları ile görece tutarlıdır.

Geyve boğazında yüzlek veren yüksek dereceli başkalaşım kayaçları Almacık dağda yüzlek veren başkalaşım kayaçları ile benzerlik sunmaktadır. Nitekim Almacık Dağda yüzlek veren bu kayaçlar amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirmiştir (Bozkurt,13a). Okay (2023) Almacık Kompleksi'nden aldığı metavebsterit olarak tanımladığı kayaçlardan ortopiroksen-klinopiroksen (Brey ve Köhler (1990) kalibrasyonu kullanarak) mineral çiftlerinin Fe-Mg yer değiştirmesine dayalı jeotermometre uygulamıştır. Buna göre Almacık Kompleksinin 750±30° sıcaklıkta ve 8±4 kbar basınçta başkalaşıma uğradığı ifade edilmiştir. Araştırmacı tarafından yapılan çalışma, bu tezin konusu olan kayaçlardan elde edilen basınç sıcaklık koşulları ile karşılaştırıldığında elde edilen bulgular ile uyuşmadığı anlaşılmıştır. Okay (2023)'ın ifade ettiği basınç koşullarında Almacık Dağ'da yüzlek veren başkalaşım kayaçları yeryüzünden daha derinde bir konumda bulunmaktadır (yaklaşık 27 km). Okay (2023) elde ettiği bu P-T koşullarının Geme karmaşığındaki sonuçlar ile benzer olduğunu belirtmiştir. Nitekim araştırmacı tarafından Geme karmaşığındaki gnays ve amfibolitlerden granat-biyotit termometresi ve THERMOCALC yazılımı ile hesapladığı pik metamorfizma koşullarını 4±1 kbar basınç, 720±40° C sıcaklık belirlemiştir (Okay 2013). Almacık dağında hesaplanan bu basınç değeri ile Geme kompleksinde hesaplanan değer arasında tutarsızlıklar mevcuttur.

Okay (2023) Almacık Kompleksindeki yüksek sıcaklık metamorfizmasını yaklaşık olarak 160 My olarak belirtmiştir. Benzer yaş verileri metamorfizmanın soğuma yaşı olarak Çelik ve diğ. (2009) tarafından ifade edilmiştir. Bu veriler ışığında Geyve Boğazı Metamorfitlerinin Almacık Kompleksindeki yüksek dereceli başkalaşım kayaçları ile deneştirildiğinde bölgesel bir metamorfizmadan söz edilebilir.

Çalışma sahasının güneyinde daha önce Akbayram (2011) tarafından rapor edilen basınç sıcaklık koşulları, Alüminosilikat minerallerinin bulunmaması sebebi ile 4-11 kbar basınç ve 470°C-610°C sıcaklık değerleri önerilmiş olup bu kayaçların epidot-amfibolit fasiyesinde başkalaşıma uğradıkları ifade edilmektedir. Buna göre bu çalışmada hesaplanan jeobarotmetre ve faz diyagramlarına göre önerilen basınç aralığı geniş bir aralık olarak kalmaktadır. Nitekim hesaplamalarda kullanılan metapelitik kökenli başkalaşım kayacı olan sillimanit-granat-biyotit şist örneğinde bir alüminosilikat minerali olan sillimanit ilk defa bu çalışmada tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abdülselemoğlu, Ş. (1959). *Almacıkdağı ile Mudurnu ve Göynük Civarının Jeolojisi* (1. Basım). İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Akartuna M. (1968). *Armutlu Yarımadasının Jeolojisi* (1. Basım). İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Akartuna M., Atan O. R. (1981). Gevye- İkraniye- Fındıksuyu (Sakarya) Dolayının Jeolojisi. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, (1), 25-47.
- Akbayram, K., Okay, A. I., Satır, M. (2013). Early Cretaceous Closure of the Intra-Pontide Ocean in Western Pontides (Northwestern Turkey). *Journal of Geodynamics*, (65), 38-55.
- Akbayram, K., Şengör, A.M.C., Özcan, E. (2017). The Evolution of the Intra-Pontide Suture: Implications of the Discovery of Late Cretaceous–Early Tertiary Mélanges. *Geological Society Of America*, 525.
- Akdoğan, R., Hu, X., Okay, A.I., Topuz, G. (2020). Provenance of the Paleozoic-Mesozoic Siliciclastic Rocks of the Istanbul Zone: Constraints on the Location of the Rheic Suture in Turkey. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 5706.
- Akdoğan, R., Hu, X., Okay, A.I., Topuz, G., Xue, W. (2021). Provenance of the Paleozoic to Mesozoic Siliciclastic Rocks of the Istanbul Zone Constrains the Timing of the Rheic Ocean Closure in the Eastern Mediterranean Region. *Tectonics*, 40 (12).
- Bhattacharya A., Mohanty L., Maji A., Sen S. K., Raith M. (1992). Non-Ideal Mixing in the Phlogopite-Anorthite Binary: Constraints from Experimental Data on Mg– Fe Partitioning and a Reformulation of the Biotite-Garnet Geothermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 111 (1), 87-93.
- Bozcu M. (1992). Gevye (Adapazarı ili) Sapanca Dolayının Jeolojik ve Petrolojik İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 25174.
- Bozkurt E., Winchester J. A., Yiğitbas E., Ottley C. J. (2008). Proterozoic Ophiolites and Mafic-Ultramafic Complexes Marginal to the Istanbul Block: an Exotic Zone of Avalonian Affinity in NW Turkey. *Tectonophysics*, (461), 240-251.
- Bozkurt, E., Winchester, J.A., Satır, M., Crowley, Q.G. (2012). Triassic Collision Between the Sakarya and Istanbul Zones, and Remarks on the Existence of Intra-Pontide Ocean in NW Turkey. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 14368.
- Bozkurt, E., Winchester, J.A., Satır, M., Crowley, O.G., Ottley, C.J. (2013). The Almacık Mafic-Ultramafic Complex: Exhumed Sakarya Subcrustal Mantle Adjacent to the Istanbul Zone, NW Turkey. *Geological Magazine*, 150 (2), 254-282.

- Çelik Ö. F., Gürer Ö. F., Aldanmaz E., Köprübaşı N., Öz İ. (2008). Geyve Meta-Ofiyolitinin Kökeni ve Türkiye Ofiyolitleri İçindeki Yeri. *Bilimsel Araştırma Projesi Raporu, Kocaeli Üniversitesi, Rapor No: 2005/13*, 1-45.
- Çelik Ö. F., Gürer Ö. F., Aldanmaz E., Spell T., Öz İ. (2009). Armutlu Yarımadası ve Almacık Dağı Amfibolitik Kayaçları İçin İzotop ve Jeokimyasal Sınırlamalar. 62. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*.
- Çelik, Ö.F., Çörtük, R.M., Özkan, M., Davies, J.H., Marzoli, A., Sherlock, S.C., Perrot, M.G. (2023). New Evidence for the Presence of the Inner Tauride Ocean: Lithological, Geochronological and PT Correlations with the Tavşanlı and Afyon Zones of Central Anatolia (Türkiye). *Lithos*, 462, 107409.
- Chen F., Siebel W., Satır M., Terzioğlu N., Saka K. (2002). Geochronology of the Karadere Basement (NW Turkey) and Implications for the Geological Evolution of the Istanbul Zone. *International Journal of Earth Sciences*, (91), 469-481.
- Çörtük, R.M., Çelik, Ö.F., Özkan, M., Marzoli, A., Halton, A., Sherlock, S. (2023). Late Cretaceous–Paleogene Tectonothermal Evolution of the Akdağ Massif in the Central Anatolian Crystalline Complex (Northern Kayseri, Central Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, (255), 105775.
- Daly R. A. (1933). *Igneous Rocks and the Depths of the Earth*, (2. Basım). Mc Graw- Hill Book Company, New York.
- de Capitani C., Brown T.H. (1987). The Computation of Chemical Equilibrium in Complex Systems Sontaining Non-Ideal Solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51 (10), 2639–2652.
- de Capitani C., Petrakakis K. (2010). The Computation of Equilibrium Assemblage Diagrams with Theriak/Domino Software. *American Mineralogist*, 95 (7), 1006–1016.
- Deer W. A., Howie R. A., Zussman, J. (1992). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, (2. Basım). Mineralogical Society of Great Britain and Ireland: Prentice Hall.
- Ellis, D. J.; Green, D. H. (1979). An Experimental Study of the Effect of Ca Upon Garnet-Clinopyroxene Fe-Mg Exchange Equilibria. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 71 (1), 13-22.
- Elmas A., Yiğitbaş E. (2001). Ophiolite Emplacement by Strike-Slip Tectonics Between the Pontide Zone and the Sakarya Zone in Northwestern Anatolia, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, (90), 257-269.
- Elmas A., Yiğitbaş E. (2005). Comment on Tectonic Evolution of the Intra- Pontide Suture Zone in the Armutlu Peninsula, NW TurkeyTT by Robertson and Ustaömer. *Tectonophysics*, (405), 213-221.

- Elmas A., Yılmaz İ., Yiğitbaş E., Ullrich T. (2011). A Late Jurassic-Early Cretaceous Metamorphic Core Complex, Strandja Massif, NW Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, (100), 1251-1263.
- Elmas, A. (2012). Basement Types of the Thrace Basin and a New Approach to the Pre-Eocene Tectonic Evolution of the Northeastern Aegean and Northwestern Anatolia: a Review of Data and Concepts. *International Journal of Earth Sciences*, (101), 1895-1911.
- Emre Ö., Erkal T., Tchapylyga A., Kazancı N., Keçer M., Ünay E. (1998). Neogene-Quaternary Evolution of the Eastern Marmara Region, Northwest Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, (120), 61-79.
- Erendil M., Göncüoğlu M. C., Tekeli O., Aksay A., Kuşçu İ., Ürgün B. M., Tunay G., Temren A. (1991). Armutlu Yarımadasının Jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama: Ankara*, Rapor No: 45529, 1-51.
- URL-1: Esri Web Sitesi, www.esri.com, Erişim Tarihi: 21 Ocak 2024.
- Ferry J.M., Spear, F. S. (1978). Experimental Calibration of the Partitioning of Fe and Mg Between Biotite and Garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 66 (2), 113-117.
- Ganguly, J., Saxena, S., K. (1984). Mixing Properties of Aluminosilicate Garnets: Constraints from Natural and Experimental Data, and Applications to Geothermobarometry. *American Mineralogist*, 69 (1-2), 88-97.
- URL-3: Gevye Esnaf ve Sanatkarlar Odası Başkanlığı Web Sitesi, www.gesob.org, Erişim Tarihi: 21 Ocak 2024.
- Göncüoğlu M. C., Erendil M., Tekeli O., Ürgün B. M., Aksay A., Kuşçu İ. (1986). Armutlu Yarımadasının Doğu Kesiminin Jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama: Ankara*, Rapor No: 7786.
- Göncüoğlu M. C., Erendil M., Tekeli O., Aksay A., Kuşçu İ., Ürgün B. M. (1987). Geology of the Armutlu Peninsula. *Excursion Guidebook for the IGCP*, Project No: 5.
- Göncüoğlu M. C., Erendil M. (1990). Armutlu Yarımadasının Geç Kretase Öncesi Tektonik Birimleri. *Türkiye 8. Petrol Kongresi*, Ankara, Türkiye, 16-20 Nisan 1990.
- Göncüoğlu, M. C., Erendil, M., Tekeli, O., Aksay, A., Kuşçu, İ., Ürgün, B.M. (1992). Introduction to the Geology of Armutlu Peninsula. *ISGB-92, Guide Book. Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey Publication*, Ankara, 26-35.
- Görür N., Monod O., Okay A. I., Şengör A. M. C., Tüysüz O., Yiğitbaş E., Sakıncı M., Akkök R. (1997). Palaeogeographic and Tectonic Position of the Carboniferous

Rocks of the Western Pontides (Turkey) in the Frame of the Variscan Belt. *Bulletin de la Société Géologique de France*, (168), 197-205.

- Graham, C., M., Powell, R. (1984). A Garnet–Hornblende Geothermometer: Calibration, Testing, and Application to the Pelona Schist, Southern California. *Journal of Metamorphic Geology*, 2 (1), 13-31.
- Guest N.J. (1954). The Volcanic Activity of Oldoinyo Lengai 1954. *Rec. Geol. Surv. Tanganyika*, (4), 56-59.
- Gülmez F. (2009). Almacık Dağı Eosen Volkanizmasının Petrografik ve Petrolojik Olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 252071.
- Hackler, R.T., Wood, B.J. (1989). Experimental Determination of Fe and Mg Exchange Between Garnet and Olivine and Estimation of Fe-Mg Mixing Properties in Garnet. *American Mineralogist*, 74 (9-10), 994-999.
- Hodges, K.V., Crowley, P.T. (1985). Error Estimation and Empirical Geothermobarometry for Pelitic Systems. *American Mineralogist*, 70 (7-8), 702-709.
- Holland, T.J.B., Powell, R.T.J.B. (1998). An Internally Consistent Thermodynamic Data Set for Phases of Petrological Interest. *Journal of Metamorphic Geology*, 16 (3), 309– 343.
- Holland, T., Powell, R. (2003). Activity-Composition Relations for Phases in Petrological Calculations; an Asymmetric Multicomponent Formulation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, (145), 492-501.
- Holland, T.J.B., Powell, R. (2011). An Improved and Extended Internally Consistent Thermodynamic Dataset for Phases of Petrological Interest, Involving a New Equation of State for Solids. *Journal of Metamorphic Geology*, 29 (3), 333-383.
- Johannsen, A. (1938). *A Descriptive Petrography of the Igneous Rocks* (4. Basım). Chicago: University of Chicago Press.
- Karbuz, İ. (2011). Sakarya Nehri ve Doğançay Deresi Arasındaki Sahanın Bitki Örtüsü. *Master's Thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Kaya, O. (1977). Gemlik-Orhangazi Alanının Paleozoik Temel Yapısına Yaklaşım. *Yerbilimleri*, (3), 115-128.
- Kaya, O., Kozur, H. (1987). A New and Different Jurassic to Early Cretaceous Sedimentary Assemblage in Northwestern Turkey (Gemlik, Bursa): Implications for the Pre- Jurassic to Early Cretaceous Tectonic Evolution. *Yerbilimleri*, (14), 253-268.

- Koziol, A.M., Newton, R.C. (1988). Redetermination of the Anorthite Breakdown Reaction and Improvement of the Plagioclase-Garnet-Al₂SiO₅-Quartz Geobarometer. *American Mineralogist*, 73 (3-4), 216-223.
- Koziol, A.M., Newton, R.C. (1989). Grossular Activity-Composition Relationships in Ternary Garnets Determined by Reversed Displaced-Equilibrium Experiments. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 103 (4), 423-433.
- Lavrent'eva, I.V., Perchuk, L.L. (1981). Cordierite–Garnet Thermometer. In: *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 3 (259), 697-700.
- Lavrent'eva, I.V., Perchuk, L.L. (1981). Phase Correspondence in the System Biotite–Garnet: Experimental Data. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, (260), 731-734.
- Leake B. E. (1978). Nomenclature of Amphiboles. *American Mineralogist*, 63 (11-12), 1023- 1052.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Youzhi, G. (1997). Nomenclature of Amphiboles; Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Mineralogical Magazine*, 61 (405), 295-310.
- Marakushev, A.A., Perchuk, L.L., Rast, N., Newall, G. (1966). Physico-Chemical Analysis of Paragenesis of Minerals: A Review. *Geological Journal*, 5 (1), 67-94.
- Marroni, M., Göncüoğlu, M.C., Frassi, C., Sayıt, K., Pandolfi, L. (2020). The Intra-Pontide Ophiolites in Northern Turkey Revisited: From Birth to Death of a Neotethyan Oceanic Domain. *Geoscience Frontiers*, (11), 129-149.
- URL-2:Meteoroloji Genel Müdürlüğü Web Sitesi, <https://www.mgm.gov.tr>, Erişim Tarihi: 21 Ocak 2024.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Aoki, K., Gottardi, G. (1988). Nomenclature of the Pyroxenes. *American Mineralogist*, (73), 1123-1133.
- Newton, R.C., Haselton, H.T. (1981). Thermodynamics of the Garnet—Plagioclase—Al₂SiO₅—Quartz Geobarometer. *Thermodynamics of Minerals and Melts*, 131-147. New York, NY: Springer New York.
- Oberhänsli, R. Prouteau, A., Candan, O., Bousquet, R. (2015). Metamorphic Belts of Anatolia. In: *EGU General Assembly Conference Abstracts.*, 15553.
- Okay, A.I., Şengör, A.M.C., Görür, N. (1994). Kinematic History of the Opening the Black Sea and Its Effect on the Surrounding Regions. *Geology*, 22 (3), 267-270.
- Okay, A.I. (1996). Paleo and Neo-Tethyan Events in Northwest Turkey: Geological and Geochronological Constraints. *Tectonics of Asia*, 420-441.

- Okay, A.I., Tüysüz, O. (1999). Tethyan Sutures of Northern Turkey. *Geological Society of London, Special Publications*, (156), 475–515.
- Okay, A.I., Satır, M. (2000). Coeval Plutonism and Metamorphism in a Latest Oligocene Metamorphic Core Complex in Northwest Turkey. *Geological Magazine*, 137 (5), 495-516.
- Okay, A.I., Satır, M., Tüysüz, O., Akyüz, S., Chen, F. (2001). The Tectonics of the Strandja Massif: Variscan and Mid-Mesozoic Deformation and Metamorphism in the Northern Aegean. *International Journal of Earth Sciences*, (90), 217-233.
- Okay, A.I., Monod, O., Monie, P. (2002). Triassic Blueschists and Eclogites from Northwest Turkey: Vestiges of the Paleo-Tethyan Subduction. *Lithos*, 64 (3-4), 155-178.
- Okay, A.I., Göncüoğlu, M.C. (2004). Karakaya Complex: A Review of Data and Concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13 (2), 77-95.
- Okay, A.I., Satır, M., Siebel, W. (2006). Pre-Alpide Orogenic Events in the Eastern Mediterranean Region, European Lithosphere Dynamics. *Memoir of the Geological Society London*, (32), 389- 405.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., Satır, M., Özkan-Altınır, S., Altınır, D., Sherlock, S., Eren, R.H. (2006). Cretaceous and Triassic Subduction-Accretion, HP/LT Metamorphism and Continental Growth in the Central Pontides, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 118 (9-10), 1247-1269.
- Okay, A.I. (2008). Geology of Turkey: a Synopsis. *Anschnitt*, (21), 19-42.
- Okay, A.I., Bozkurt, E., Satır, M., Yiğitbaş, E., Crowley, Q.G., Shang, C.K. (2008). Defining the Southern Margin of Avalonia in the Pontides: Geochronological Data from the Late Proterozoic and Ordovician Granitoids from NW Turkey. *Tectonophysics*, 461 (1-4), 252-264.
- Okay, N., Zack, T., Okay, A.I., Barth, M. (2011). Sinistral Transport Along the Trans-European Suture Zone: Detrital Zircon–Rutile Geochronology and Sandstone Petrography from the Carboniferous Flysch of the Pontides. *Geological Magazine*, 148 (3), 380-403.
- Okay, A.I., Sunal, G., Tüysüz, O., Sherlock, S., Keskin, M., Kylander-Clark, A.R.C. (2014). Low-Pressure–High-Temperature Metamorphism During Extension in a Jurassic Magmatic Arc, Central Pontides, Turkey. *Journal of Metamorphic Geology*, 32 (1), 49-69.
- Okay, A.I., Topuz, G. (2017). Variscan Orogeny in the Black Sea Region. *International Journal of Earth Sciences*, (106), 569-592.

- Önder, F., Göncüoğlu, M.C. (1989). Armutlu Yarımadasında (Batı Pontidler) Üst Triyas Konodontları. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, (109), 147-152.
- Özkan, M., Çelik, Ö.F., Marzoli, A., Çörtük, R.M., Billor, M.Z. (2021). The Origin of Carbonatites from the Eastern Armutlu Peninsula (NW Turkey). *Journal of the Geological Society*, 178 (6), 171.
- Passaglia, E., Gottardi, G. (1973). Crystal Chemistry and Nomenclature of Pumpellyites and Julgoldites. *Canadian Mineralogis*, 12 (3), 219-223.
- Perchuk, L.L. (1970). Equilibrium of Biotite with Garnet in Metamorphic Rocks. *Geochemistry International*, (7), 157-179.
- Perchuk, L.L., Aranovich, L.Y., Podlesskii, K.K., Lavrant'eva, I., Gerasimov, V.Y., Fed'Kin, V.V., Berdnikov, N.V. (1985). Precambrian Granulites of the Aldan Shield, Eastern Siberia, USSR. *Journal of metamorphic Geology*, 3 (3), 265-310.
- Powell, R. (1985). Regression Diagnostics and Robust Regression in Geothermometer/Geobarometer Calibration: the Garnet-Clinopyroxene Geothermometer Revisited. *Journal of metamorphic Geology*, 3 (3), 231-243.
- Robertson, A.H.F., Ustaömer, T. (2004). Tectonic Evolution of the Intra-Pontide Suture Zone in the Armutlu Peninsula, NW Turkey. *Tectonophysics*, 381 (1-4), 175-209.
- Searle, M.P., Cox, J. (2002). Subduction Zone Metamorphism During Formation and Emplacement of the Semail Ophiolite in the Oman Mountains. *Geological Magazine*, 139 (3), 241-255.
- Sengun, F. (2022). Geochemistry and Tectonic Setting of Amphibolites in the Pamukova Metamorphics from the Armutlu Peninsula, NW Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 15 (7), 605.
- Spear, F.S. (1995). Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature Time Paths; Bull. *Mineralogical Society of America*, Washington, (2), 96-97.
- Şahin, S.Y., Güngör, Y., Aysal, N., Öngen, S. (2009). Istranca ve İstanbul Zonları (KB Türkiye) İçerisinde Yüzeyleyen Granitoidlerin Jeokimyası ve SHRIMP Zirkon U-Pb Yaşlandırması. MTA Ankara: 62. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, (62), 598-599.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. (1981). Tethyan Evolution of Turkey: A plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*, 75 (3-4), 181-241.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. (1985). Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study. Editors: Biddle K., Christie-Blick N., Strike-slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation. (1.Basım). *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, U.S.A.*, 227-264.

- Tilton, G.R., Bell, K. (1987). Sr-Nd-Pb Isotope Relationships in Late Archean Carbonatites and Alkaline Complexes: Applications to the Geochemical Evolution of Archean Mantle. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58 (15), 3145-3154.
- Tolstikhin, I.N., Kramers, J.D., Hofmann, A.W. (2006). A Chemical Earth Model with Whole Mantle Convection: the Importance of a Core-Mantle Boundary Layer (D") and Its Early Formation. *Chemical Geology*, 226 (3-4), 79-99.
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Werner, O., Schwartz, W.H. (2004). Aluminous Granulites from the Pulur Complex, NE Turkey: a Case of Partial Melting, Efficient Melt Extraction and Crystallisation. *Lithos*, 72 (3-4), 183-207.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwartz, W.H., Dokuz, A., Meyer, H.P. (2007). Variscan Amphibolites-Facies Rocks from the Kurtoğlu Metamorphic Complex (Gümüşhane Area, Eastern Pontides, Turkey). *International Journal of Earth Sciences*, (96), 861-873.
- Ustaömer, T., Robertson, A.H.F. (2005). Reply to Discussion Contribution by A. Elmas and E. Yiğitbaş on "Tectonic Evolution of the Intra-Pontide Suture Zone in the Armutlu Peninsula, NW Turkey" by AHF Robertson and T. Ustaömer [Tectonophysics 381 (2004) 175–209]. *Tectonophysics*, 405 (1-4), 223-231.
- Whitney, D.L., Dilek, Y. (2001). Core Complex Development in Central Anatolia. *Geology*, 25 (11), 102-126.
- Whitney, D. L., Dilek, Y. (2001). Metamorphic and Tectonic Evolution of the Hırkadağ Block, Central Anatolian Crystalline Complex. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 10 (1), 1-15.
- Whitney, D.L., Evans, B.W. (2010). Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. *American mineralogist*, 95 (1), 185–187.
- Yılmaz, Y., Gözübol, A.M., Tüysüz, O. (1981). Geology of an Area in and Around the Northern Anatolian Transform Fault Zone Between Bolu and Akyazı, Editors: Işıkkara, A.M., Vogel, A. Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction, *Earthquake Prediction*, (1. Basım). Vieweg, Braunschweig, Germany, 45-66.
- Yılmaz, Y., Genç, C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M., Yılmaz, K. (1995). Geological Evolution of the Late Mesozoic Continental Margin of Northwestern Anatolia. *Tectonophysics*, 243 (1-2), 155-171.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, S.C., Şengör, A.M.C. (1997). Geology and Tectonic Evolution of the Pontides. Editor: Robinson A. G. Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, (1. Basım). *American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, U.S.A.*, 183-226.
- Yılmaz, A., Yılmaz, H. (2004). Geology and Structural Evolution of the Tokat Massif (Eastern Pontides, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13 (2), 231-246.

- Yiğitbaş E., Elmas, A., Yılmaz, Y. (1999). Pre-Cenozoic Tectono-Stratigraphic Components of the Western Pontides and Their Geological Evolution. *Geological Journal*, 34 (1-2), 55-74.
- Yiğitbaş, E., Kerrich, R., Yılmaz, Y., Elmas, A., Xie, Q. (2004). Characteristics and Geochemistry of Precambrian Ophiolites and Related Volcanics from the Istanbul-Zonguldak Unit, Northwestern Anatolia, Turkey: Following the Missing Chain of the Precambrian South European Suture Zone to the East. *Precambrian Research*, 132 (1-2), 179-206.
- Yiğitbaş, E., Winchester, J.A., Ottley, C.J. (2008). The Geochemistry and Setting of the Demirci Paragneisses of the Sünnice Massif, NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17 (3), 421-431.





EK A

Tablo A.1 Granat-amfibolit örneğine (DM-1) ait amfibollerin mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	40,94	41,59	41,62	41,58	37,46	41,98
TiO₂	1,37	1,46	1,18	1,28	0,48	1,59
Al₂O₃	13,48	12,92	13,70	13,49	18,51	12,63
FeO	19,18	18,33	17,94	18,54	20,86	18,23
MnO	0,03	0,09	0,02	0,02	0,04	0,05
MgO	8,04	8,13	8,20	8,05	5,39	8,29
CaO	11,16	11,80	11,61	11,70	11,61	11,55
Na₂O	1,00	1,04	1,18	1,13	1,05	1,05
K₂O	1,73	1,76	1,80	1,89	2,34	1,78
Cr₂O₃	0,01	0,06	0,05	0,06	0,04	0,05
Toplam	96,93	97,18	97,29	97,74	97,78	97,20
Si	6,19	6,32	6,30	6,28	5,72	6,36
Al^{IV}	1,81	1,68	1,70	1,72	2,28	1,64
Al^{VI}	0,60	0,64	0,74	0,69	1,04	0,62
Ti	0,16	0,17	0,13	0,15	0,05	0,18
Cr	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Fe³⁺	0,65	0,20	0,24	0,24	0,56	0,24
Fe²⁺	1,78	2,13	2,03	2,10	2,10	2,07
Mn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Mg	1,81	1,84	1,85	1,81	1,23	1,87
Ca	1,81	1,92	1,88	1,89	1,90	1,88
Na	0,29	0,31	0,35	0,33	0,31	0,31
K	0,33	0,34	0,35	0,36	0,46	0,34
OH*	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Toplam	17,43	17,57	17,57	17,59	17,66	17,53
(Ca+Na) (B)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na (B)	0,19	0,08	0,12	0,11	0,10	0,12
(Na+K) (A)	0,43	0,57	0,57	0,59	0,66	0,53
Mg/(Mg+Fe²⁺)	0,51	0,46	0,48	0,46	0,37	0,48
Fe³⁺/(Fe³⁺+Al^{VI})	0,52	0,24	0,24	0,26	0,35	0,28

Tablo A.1. (Devam) Granat-amfibolit örneğine ait amfibollerin mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	41,74	40,94	40,77	42,51	38,75	40,66
TiO₂	1,49	1,09	1,04	1,35	0,82	1,24
Al₂O₃	12,78	14,46	14,86	12,78	13,75	14,31
FeO	18,87	18,70	18,32	18,06	21,11	18,68
MnO	0,00	0,08	0,00	0,02	0,03	0,04
MgO	8,08	7,72	7,46	8,40	7,89	7,90
CaO	11,84	11,62	11,82	11,76	9,49	11,71
Na₂O	1,06	1,08	1,15	1,06	0,76	1,11
K₂O	1,84	1,84	1,90	1,69	1,52	1,86
Cr₂O₃	0,05	0,04	0,04	0,03	0,00	0,00
Toplam	97,75	97,58	97,35	97,66	94,13	97,50
Si	6,32	6,18	6,20	6,41	5,93	6,15
Al^{IV}	1,68	1,82	1,80	1,59	2,07	1,85
Al^{VI}	0,61	0,76	0,86	0,68	0,40	0,71
Ti	0,17	0,12	0,12	0,15	0,09	0,14
Cr	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe³⁺	0,21	0,37	0,15	0,17	1,85	0,37
Fe²⁺	2,18	1,99	2,18	2,10	0,85	1,99
Mn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	1,82	1,74	1,69	1,89	1,80	1,78
Ca	1,92	1,88	1,92	1,90	1,55	1,90
Na	0,31	0,32	0,34	0,31	0,23	0,33
K	0,36	0,35	0,37	0,32	0,30	0,36
OH*	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Toplam	17,59	17,55	17,63	17,53	17,08	17,58
(Ca+Na) (B)	2,00	2,00	2,00	2,00	1,78	2,00
Na (B)	0,08	0,12	0,08	0,10	0,23	0,10
(Na+K) (A)	0,59	0,55	0,63	0,53	0,30	0,58
Mg/(Mg+Fe²⁺)	0,46	0,47	0,44	0,47	0,68	0,47
Fe³⁺/(Fe³⁺+Al^{VI})	0,26	0,33	0,15	0,20	0,82	0,35

Tablo A.1. (Devam) Granat-amfibolit örneğine ait amfibollerin mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	40,18	41,78	41,49	42,50	40,94	41,53
TiO₂	1,44	1,50	1,46	1,36	1,21	0,99
Al₂O₃	14,18	12,87	13,27	12,16	14,62	13,87
FeO	18,21	18,15	18,59	18,68	17,81	17,92
MnO	0,00	0,05	0,03	0,00	0,04	0,04
MgO	7,91	8,29	7,90	8,74	7,78	8,21
CaO	11,52	11,64	11,69	11,62	11,84	11,89
Na₂O	1,06	1,08	1,01	1,06	1,09	1,05
K₂O	2,04	1,78	1,89	1,67	1,87	1,81
Cr₂O₃	0,04	0,02	0,05	0,04	0,00	0,05
Toplam	96,58	97,15	97,37	97,82	97,20	97,36
Si	6,14	6,34	6,30	6,39	6,22	6,28
Al^{IV}	1,86	1,66	1,70	1,61	1,78	1,72
Al^{VI}	0,70	0,64	0,68	0,54	0,83	0,76
Ti	0,17	0,17	0,17	0,15	0,14	0,11
Cr	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Fe³⁺	0,34	0,22	0,22	0,39	0,14	0,22
Fe²⁺	1,99	2,08	2,14	1,95	2,12	2,05
Mn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Mg	1,80	1,87	1,79	1,96	1,76	1,85
Ca	1,89	1,89	1,90	1,87	1,93	1,93
Na	0,31	0,32	0,30	0,31	0,32	0,31
K	0,40	0,35	0,37	0,32	0,36	0,35
OH*	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Toplam	17,60	17,56	17,56	17,50	17,61	17,58
(Ca+Na) (B)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na (B)	0,11	0,11	0,10	0,13	0,07	0,07
(Na+K) (A)	0,60	0,56	0,56	0,50	0,61	0,58
Mg/(Mg+Fe²⁺)	0,48	0,47	0,46	0,50	0,45	0,47
Fe³⁺/(Fe³⁺+Al^{VI})	0,33	0,26	0,24	0,42	0,14	0,22

Tablo A.1. (Devam) Granat-amfibolit örneğine ait amfibollerin mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	40,98	41,99	41,27	41,73	41,04	44,22
TiO₂	1,45	1,42	1,43	1,09	1,42	0,99
Al₂O₃	14,12	12,13	13,25	12,66	14,01	11,27
FeO	16,84	17,40	18,57	18,04	17,08	17,64
MnO	0,01	0,02	0,07	0,04	0,00	0,09
MgO	8,56	9,32	7,88	8,53	8,66	9,84
CaO	11,66	11,54	11,79	11,49	11,71	11,67
Na₂O	1,10	1,18	1,11	1,07	1,17	1,36
K₂O	1,85	1,53	1,86	1,63	1,85	0,52
Cr₂O₃	0,01	0,07	0,03	0,01	0,01	0,06
Toplam	96,59	96,58	97,24	96,29	96,96	97,66
Si	6,23	6,36	6,29	6,36	6,22	6,55
Al^{IV}	1,77	1,64	1,71	1,64	1,78	1,45
Al^{VI}	0,75	0,52	0,67	0,63	0,72	0,51
Ti	0,17	0,16	0,16	0,13	0,16	0,11
Cr	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Fe³⁺	0,21	0,41	0,18	0,37	0,24	0,52
Fe²⁺	1,93	1,80	2,19	1,93	1,92	1,66
Mn	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
Mg	1,94	2,10	1,79	1,94	1,96	2,17
Ca	1,90	1,87	1,92	1,88	1,90	1,85
Na	0,32	0,35	0,33	0,32	0,34	0,39
K	0,36	0,30	0,36	0,32	0,36	0,10
OH*	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Toplam	17,58	17,51	17,61	17,51	17,60	17,34
(Ca+Na) (B)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na (B)	0,10	0,13	0,08	0,12	0,10	0,15
(Na+K) (A)	0,58	0,51	0,61	0,51	0,60	0,34
Mg/(Mg+Fe²⁺)	0,50	0,54	0,45	0,50	0,50	0,57
Fe³⁺/(Fe³⁺+Al^{VI})	0,22	0,44	0,21	0,37	0,25	0,50

Tablo A.2. Granat-amfibolit örneğine ait piroksenlerin mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	51,48	51,40	52,14	51,75	52,14	51,81
TiO₂	0,09	0,12	0,09	0,07	0,08	0,11
Al₂O₃	1,05	1,00	1,04	1,05	0,95	1,03
Cr₂O₃	0,05	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00
FeO	11,65	13,01	11,85	12,32	12,07	11,54
MnO	0,03	0,06	0,06	0,14	0,10	0,10
MgO	11,22	10,40	11,27	10,92	11,08	11,42
CaO	23,13	22,62	23,33	23,04	23,09	23,23
Na₂O	0,28	0,27	0,31	0,23	0,27	0,28
K₂O	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Toplam	98,99	98,87	100,15	99,53	99,78	99,51
Si	1,97	1,98	1,97	1,97	1,98	1,97
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe³⁺	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03
Fe²⁺	0,34	0,41	0,34	0,38	0,37	0,34
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,64	0,60	0,63	0,62	0,63	0,65
Ca	0,95	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95
Na	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe₂O₃	1,10	0,31	1,03	0,61	0,39	1,10
FeO	10,66	12,73	10,91	11,77	11,71	10,55
Totale	99,10	98,90	100,25	99,59	99,82	99,62
Wo	47,84	47,38	47,80	47,73	47,70	47,77
En	32,29	30,31	32,12	31,49	31,85	32,67
Fs	18,81	21,27	18,94	19,92	19,46	18,53
Acm	1,06	1,04	1,15	0,85	1,00	1,02
N° Mg	63,19	58,77	62,90	61,25	62,08	63,81
e-	64,81	65,37	64,84	65,09	64,94	64,73
Cariche	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Fe³⁺/Fe_{Top}	8,51	2,12	7,85	4,45	2,94	8,60

Tablo A.2. (Devam) Granat-amfibolit örneğine ait piroksenlerin mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	50,46	51,16	51,42	51,86
TiO₂	0,21	0,17	0,08	0,11
Al₂O₃	1,30	1,38	0,92	1,06
Cr₂O₃	0,01	0,00	0,04	0,02
FeO	14,33	13,18	12,43	13,02
MnO	0,04	0,08	0,12	0,06
MgO	9,86	10,46	11,21	10,55
CaO	21,89	22,42	23,23	22,86
Na₂O	0,24	0,20	0,19	0,28
K₂O	0,01	0,00	0,00	0,02
Toplam	98,35	99,04	99,64	99,85
Si	1,96	1,97	1,96	1,98
Ti	0,01	0,00	0,00	0,00
Al	0,06	0,06	0,04	0,05
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe³⁺	0,02	0,01	0,05	0,01
Fe²⁺	0,45	0,42	0,34	0,40
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,57	0,60	0,64	0,60
Ca	0,91	0,92	0,95	0,93
Na	0,02	0,01	0,01	0,02
K	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe₂O₃	0,66	0,24	1,82	0,46
FeO	13,73	12,96	10,79	12,60
Totale	98,41	99,07	99,82	99,89
Wo	46,35	47,09	47,52	47,42
En	29,05	30,55	31,92	30,45
Fs	23,68	21,60	19,84	21,08
Acm	0,92	0,76	0,72	1,05
N° Mg	55,09	58,59	61,67	59,09
e-	65,88	65,39	65,15	65,33
Cariche	12,00	12,00	12,00	12,00
Fe³⁺/Fe_{Top}	4,13	1,65	13,19	3,20

Tablo A.3. Granat-amfibolit örneğine ait biyotitlerin mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	35,56	35,22	35,67	35,41	31,94	34,79
TiO₂	4,60	3,46	4,11	4,12	2,36	3,83
Al₂O₃	15,76	15,63	15,81	16,25	16,67	16,07
Cr₂O₃	0,00	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01
FeO	20,68	21,84	20,82	21,20	24,43	21,25
MnO	0,00	0,04	0,04	0,03	0,06	0,02
MgO	9,41	10,07	9,49	9,66	11,43	9,69
CaO	0,12	0,00	0,00	0,03	0,21	0,01
Na₂O	0,08	0,10	0,07	0,05	0,07	0,11
K₂O	8,94	9,18	9,50	9,14	5,18	9,23
Toplam	95,14	95,58	95,56	95,90	92,36	95,01
Si	2,73	2,72	2,74	2,71	2,55	2,69
Ti	0,27	0,20	0,24	0,24	0,14	0,22
Al	1,43	1,42	1,43	1,46	1,57	1,47
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	1,33	1,41	1,34	1,36	1,63	1,38
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	1,08	1,16	1,09	1,10	1,36	1,12
Ca	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Na	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
K	0,88	0,90	0,93	0,89	0,53	0,91
Toplam	7,73	7,83	7,78	7,77	7,80	7,81
Mg#	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Al^{IV}	1,27	1,28	1,26	1,29	1,45	1,31
Al^{VI}	0,16	0,14	0,17	0,17	0,11	0,16
Fe+Mg	2,41	2,57	2,42	2,46	2,99	2,50

Tablo A.3. (Devam) Granat-amfibolit örneğine ait biyotitlerin mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	35,62	35,31	34,31	34,16	35,25	35,32
TiO₂	3,92	3,98	3,62	3,77	3,80	3,89
Al₂O₃	15,84	15,81	15,98	15,65	15,64	15,43
Cr₂O₃	0,01	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00
FeO	20,86	21,14	22,78	21,93	21,53	20,86
MnO	0,00	0,05	0,00	0,00	0,08	0,00
MgO	9,54	9,71	10,07	9,46	9,29	9,70
CaO	0,05	0,07	0,04	0,11	0,04	0,06
Na₂O	0,12	0,14	0,08	0,15	0,10	0,10
K₂O	9,60	8,98	8,26	8,50	9,11	9,23
Toplam	95,57	95,18	95,16	93,74	94,83	94,58
Si	2,74	2,72	2,66	2,69	2,74	2,74
Ti	0,23	0,23	0,21	0,22	0,22	0,23
Al	1,43	1,44	1,46	1,45	1,43	1,41
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	1,34	1,36	1,48	1,44	1,40	1,35
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	1,09	1,12	1,16	1,11	1,07	1,12
Ca	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Na	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
K	0,94	0,88	0,82	0,85	0,90	0,91
Toplam	7,80	7,78	7,81	7,80	7,79	7,79
Mg#	0,45	0,45	0,44	0,43	0,43	0,45
Al^{IV}	1,26	1,28	1,34	1,31	1,26	1,26
Al^{VI}	0,17	0,16	0,12	0,14	0,17	0,15
Fe+Mg	2,43	2,48	2,64	2,55	2,47	2,48

Tablo A.3. (Devam) Granat-amfibolit örneğine ait biyotitlerin mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	34,82	35,03	35,50	35,09
TiO₂	4,75	3,67	4,14	3,95
Al₂O₃	15,93	15,65	16,04	15,69
Cr₂O₃	0,04	0,00	0,00	0,00
FeO	20,92	21,38	20,26	22,03
MnO	0,00	0,04	0,02	0,06
MgO	9,03	10,10	9,80	9,81
CaO	0,03	0,12	0,02	0,06
Na₂O	0,13	0,10	0,07	0,07
K₂O	9,22	8,65	9,47	8,85
Toplam	94,87	94,75	95,31	95,61
Si	2,70	2,71	2,73	2,70
Ti	0,28	0,21	0,24	0,23
Al	1,45	1,43	1,45	1,43
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	1,36	1,39	1,30	1,42
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	1,04	1,17	1,12	1,13
Ca	0,00	0,01	0,00	0,01
Na	0,02	0,02	0,01	0,01
K	0,91	0,86	0,93	0,87
Toplam	7,76	7,79	7,78	7,79
Mg#	0,43	0,46	0,46	0,44
Al^{IV}	1,30	1,29	1,27	1,30
Al^{VI}	0,15	0,14	0,18	0,13
Fe+Mg	2,40	2,55	2,42	2,55

Tablo A.4. Granat-amfibolit örneğine ait ak mikaların mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	49,14	48,80	47,66	50,29	47,86	48,18
TiO₂	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,03
Al₂O₃	35,83	36,05	35,54	32,83	37,03	38,62
Cr₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
FeO	1,39	0,90	2,20	2,05	1,67	0,72
MnO	0,04	0,05	0,00	0,06	0,05	0,06
MgO	0,72	0,62	0,29	0,40	0,09	0,12
CaO	0,12	0,08	0,04	0,12	0,07	0,19
Na₂O	0,04	0,07	0,19	0,08	0,09	0,05
K₂O	9,47	9,70	10,38	10,45	10,77	9,33
Toplam	96,73	96,27	96,31	96,28	97,64	97,33
Si	3,18	3,17	3,13	3,30	3,10	3,09
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	2,73	2,76	2,75	2,54	2,83	2,92
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,08	0,05	0,12	0,11	0,09	0,04
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,07	0,06	0,03	0,04	0,01	0,01
Ca	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Na	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
K	0,78	0,80	0,87	0,87	0,89	0,76
Toplam	6,85	6,86	6,94	6,88	6,94	6,84
Mg#	0,48	0,55	0,19	0,26	0,09	0,23
Al^{IV}	0,82	0,83	0,87	0,70	0,90	0,91
Al^{VI}	1,91	1,93	1,89	1,83	1,93	2,00
Fe+Mg	0,14	0,11	0,15	0,15	0,10	0,05

Tablo A.4. (Devam) Granat-amfibolit örneğine ait ak mikaların mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	55,19	47,48	46,49
TiO₂	0,04	0,02	0,00
Al₂O₃	29,52	36,01	36,78
Cr₂O₃	0,00	0,00	0,00
FeO	1,73	2,17	0,89
MnO	0,00	0,05	0,09
MgO	0,69	0,14	0,45
CaO	0,07	0,11	0,07
Na₂O	0,16	0,16	0,08
K₂O	11,80	9,63	9,97
Toplam	99,21	95,77	94,81
Si	3,51	3,13	3,08
Ti	0,00	0,00	0,00
Al	2,21	2,79	2,87
Cr	0,00	0,00	0,00
Fe	0,09	0,12	0,05
Mn	0,00	0,00	0,00
Mg	0,07	0,01	0,04
Ca	0,00	0,01	0,00
Na	0,02	0,02	0,01
K	0,96	0,81	0,84
Toplam	6,87	6,89	6,91
Mg#	0,42	0,10	0,47
Al^{IV}	0,49	0,87	0,92
Al^{VI}	1,73	1,92	1,95
Fe+Mg	0,16	0,13	0,09

Tablo A.5. (Devam) Granat-amfibolit örneğine ait granatların temsili mineral kimyası analizleri

	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1	DM-1
SiO₂	37,77	37,53	37,62	37,04	37,48	37,23
TiO₂	0,04	0,03	0,03	0,02	0,17	0,01
Al₂O₃	21,61	21,28	21,51	21,67	21,69	21,70
Cr₂O₃	0,04	0,00	0,00	0,04	0,02	0,01
FeO	25,95	27,34	28,34	30,26	24,63	26,82
MnO	0,47	0,76	0,83	0,92	0,28	0,40
MgO	1,95	2,53	2,39	2,70	2,51	1,94
CaO	12,58	11,09	10,15	7,91	13,24	12,13
Na₂O	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
K₂O	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01
Toplam	100,40	100,56	100,92	100,57	100,02	100,24
Si	2,98	2,97	2,97	2,94	2,95	2,95
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Al	2,01	1,98	2,00	2,03	2,01	2,03
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	1,71	1,81	1,87	2,01	1,62	1,78
Mn	0,03	0,05	0,06	0,06	0,02	0,03
Mg	0,23	0,30	0,28	0,32	0,29	0,23
Ca	1,06	0,94	0,86	0,67	1,12	1,03
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	8,02	8,04	8,04	8,04	8,03	8,04
X_{Alm}	0,56	0,58	0,61	0,66	0,53	0,58
X_{Pyp}	0,08	0,10	0,09	0,10	0,10	0,07
X_{Grs}	0,35	0,30	0,28	0,22	0,37	0,34
X_{Sps}	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01

EK B

Tablo B.1. Sillimanit-granat-biyotit şist (M-31) örneğine ait granatların temsili mineral kimyası analizleri

	M-31	M-31	M-31	M-31	M-31
SiO₂	37,32	37,41	37,41	37,29	37,16
TiO₂	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Al₂O₃	21,61	21,76	21,87	21,51	21,67
Cr₂O₃	0,08	0,10	0,06	0,06	0,03
FeO	31,97	32,42	32,31	32,72	32,76
MnO	0,69	0,68	0,55	0,58	0,55
MgO	6,65	6,75	6,71	6,11	6,14
CaO	1,07	1,06	1,09	1,25	1,06
Na₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
K₂O	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00
Toplam	99,41	100,20	100,01	99,55	99,38
Si	2,96	2,95	2,95	2,96	2,96
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	2,02	2,02	2,03	2,01	2,03
Cr	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Fe	2,12	2,14	2,13	2,17	2,18
Mn	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
Mg	0,79	0,79	0,79	0,72	0,73
Ca	0,09	0,09	0,09	0,11	0,09
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	8,03	8,04	8,03	8,03	8,03
X_{Alm}	0,70	0,70	0,70	0,71	0,72
X_{Pyp}	0,26	0,26	0,26	0,24	0,24
X_{Grs}	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
X_{Sps}	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
X_{Mg}	0,27	0,27	0,27	0,25	0,25

Tablo B.1. (Devam) Sillimanit-granat-biyotit şist (M-31) örneğine ait granatların temsili mineral kimyası analizleri

	M-31	M-31	M-31
SiO₂	37,22	37,29	0,00
TiO₂	0,00	0,02	0,01
Al₂O₃	21,70	21,82	62,75
Cr₂O₃	0,00	0,02	35,87
FeO	33,08	32,83	0,00
MnO	0,50	0,54	0,01
MgO	6,54	6,44	0,01
CaO	0,92	0,96	0,00
Na₂O	0,00	0,00	0,00
K₂O	0,00	0,02	0,30
Toplam	99,97	99,93	98,96
Si	2,95	2,95	0,00
Ti	0,00	0,00	0,00
Al	2,02	2,03	5,77
Cr	0,00	0,00	2,21
Fe	2,19	2,17	0,00
Mn	0,03	0,04	0,00
Mg	0,77	0,76	0,00
Ca	0,08	0,08	0,00
Na	0,00	0,00	0,00
K	0,00	0,00	0,03
Toplam	8,04	8,03	8,02
X_{Alm}	0,71	0,71	0,03
X_{Pyp}	0,25	0,25	0,54
X_{Grs}	0,03	0,03	0,14
X_{Sps}	0,01	0,01	0,30
X_{Mg}	0,26	0,26	0,95

Tablo B.2. Sillimanit-granat-biyotit şist (M-31) örneğine ait plajiyoklazların temsili mineral kimyası analizleri

	M-31	M-31	M-31	M-31	M-31	M-31	M-31
SiO₂	60,51	60,19	60,37	61,15	60,60	60,98	60,69
TiO₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
Al₂O₃	24,43	24,38	23,94	23,63	23,61	23,93	23,73
Cr₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00
FeO	0,19	0,17	0,16	0,01	0,00	0,02	0,00
MnO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
CaO	5,89	6,03	5,37	5,12	5,16	5,12	5,25
Na₂O	7,89	7,97	8,11	8,34	8,20	8,27	8,32
K₂O	0,32	0,27	0,32	0,28	0,25	0,26	0,24
Toplam	99,24	99,03	98,27	98,55	97,86	98,64	98,31
Si	2,71	2,70	2,73	2,75	2,75	2,74	2,74
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	1,29	1,29	1,27	1,25	1,26	1,27	1,26
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,28	0,29	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25
Na	0,69	0,69	0,71	0,73	0,72	0,72	0,73
K	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Toplam	4,99	5,00	5,00	4,99	4,99	4,99	5,00
Ab	0,69	0,69	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73
An	0,29	0,29	0,26	0,25	0,25	0,25	0,26
Or	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01

Tablo B.2. Sillimanit-granat-biyotit şist (M-31) örneğine ait biyotitlerin temsili mineral kimyası analizleri

	M-31	M-31	M-31	M-31	M-31	M-31
SiO₂	35,63	35,90	36,04	36,10	36,37	36,96
TiO₂	4,23	4,33	4,18	4,54	4,47	3,23
Al₂O₃	17,89	18,00	18,21	17,92	18,19	18,62
Cr₂O₃	0,06	0,01	0,11	0,14	0,13	0,14
FeO	14,75	14,53	14,37	15,16	15,04	12,98
MnO	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,00
MgO	12,35	12,31	11,86	11,56	11,72	13,10
CaO	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00
Na₂O	0,05	0,07	0,07	0,06	0,04	0,00
K₂O	9,59	9,48	9,72	9,69	9,80	9,54
Toplam	94,60	94,66	94,60	95,24	95,76	94,57
Si	2,68	2,69	2,70	2,70	2,70	2,74
Ti	0,24	0,24	0,24	0,26	0,25	0,18
Al	1,59	1,59	1,61	1,58	1,59	1,63
Cr	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe	0,93	0,91	0,90	0,95	0,93	0,81
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	1,38	1,38	1,33	1,29	1,30	1,45
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
K	0,92	0,91	0,93	0,92	0,93	0,90
Toplam	7,75	7,73	7,72	7,72	7,72	7,71
Mg#	0,60	0,60	0,60	0,58	0,58	0,64
Al^{IV}	1,32	1,31	1,30	1,30	1,30	1,26
Al^{VI}	0,26	0,28	0,31	0,28	0,29	0,37

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Ekim, Y.E., Çelik, Ö. F., Özkan, Topuz, G., Marzoli, A., (2022). Armutlu Yarımadası Doğusundaki Temel Kayaçların Başkalaşım Koşulları. *74. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 11-15 Nisan 2022.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta okul ve liseyi Zonguldak'ta tamamladı. 2014 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Jeoloji mühendisliği bölümünden 2018 yılında mezun oldu. Maden arama jeolojisi üzerine özel sektörde Jeoloji çalışmalarına devam etmektedir.

