

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KARAYAŞMAK (DEMİRÖZÜ-BAYBURT, KD TÜRKİYE) VE YAKIN
ÇEVRESİNİN HİDROTERMAL ALTERASYON MİNERALojİSİ VE
JEOKİMYASI AÇISINDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

MUSTAFA ATAMAN

Haziran 2026
GÜMÜŞHANE



T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KARAYAŞMAK (DEMİRÖZÜ-BAYBURT, KD TÜRKİYE) VE YAKIN
ÇEVRESİNİN HİDROTEMAL ALTERASYON MİNERALojİSİ VE
JEOKİMYASİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY
OF HYDROTHERMAL ALTERATION IN KARAYAŞMAK
(DEMİRÖZÜ-BAYBURT, NE TÜRKİYE) AND THE SURROUNDING
AREA**

YÜKSEK LİSANS

MUSTAFA ATAMAN

**Haziran 2026
GÜMÜŞHANE**



**GÜMÜŞHANE
ÜNİVERSİTESİ**

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

T.C.

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KARAYAŞMAK (DEMİRÖZÜ-BAYBURT, KD TÜRKİYE) VE YAKIN
ÇEVRESİNİN HİDROTEMAL ALTERASYON MİNERALojİSİ VE
JEOKİMYASI AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY
OF HYDROTHERMAL ALTERATION IN KARAYAŞMAK
(DEMİRÖZÜ-BAYBURT, NE TÜRKİYE) AND THE SURROUNDING
AREA**

YÜKSEK LİSANS

MUSTAFA ATAMAN

DANIŞMAN: DOÇ. DR. MEHMET ALİ GÜCER

Haziran 2026

GÜMÜŞHANE

KABUL VE ONAY

Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER danışmanlığında, **Mustafa ATAMAN** tarafından hazırlanan “**Karayaşmak (Demirözü-Bayburt, KD Türkiye) ve Yakın Çevresinin Hidrotermal Alterasyon Mineralojisi ve Jeokimyası Açısından İncelenmesi**” isimli bu çalışma, 24/06/2026 tarihinde yapılan lisansüstü tez savunma sınavı sonucunda **Oy Birliği** ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Dicle BAL AKKOCA (Başkan)

.....
Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER (Danışman)

.....
Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ (Üye)

Lisansüstü tez savunma sınavında başarılı bulunarak kabul edilen bu tezin ciltlenmiş hali, ... / / tarihli ve / sayılı Enstitü Yönetim Kurulu toplantısında görüşülmüş ve tez yazım kılavuzuna uygun bulunarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Duygu ÖZDEŞ

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Karayaşmak (Demirözü-Bayburt, KD Türkiye) ve Yakın Çevresinin Hidrotermal Alterasyon Mineralojisi ve Jeokimyası Açısından İncelenmesi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, danışmanımın sorumluluğunda hazırladığımı, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

24/06/2026

.....
Mustafa ATAMAN

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü Maden Etütleri Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülen, Doğu Karadeniz Metalik Maden Aramaları Projesi (Proje No: 2025-32-13-05(05-1)) kapsamında maddi olarak desteklenmiştir.

Tez çalışmamın planlanmasından tamamlanmasına kadar, yoğun çalışma temposuna rağmen bilgi, deneyim ve değerli katkılarıyla her aşamada yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatı bulduğum, çalışmamın şekillenmesinde çok büyük emeği olan değerli hocam Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ'ye ve savunma sınavının kıymetli üyesi Prof. Dr. Dicle BAL AKKOCA'ya minnettarım.

Bu çalışmanın yürütülmesi sürecinde desteklerini her daim gördüğüm MTA Doğu Karadeniz Metalik Maden Aramaları proje başkanı Jeoloji Mühendisi Semi HAMZAÇEBİ'ye, bilgi ve önerileriyle katkıda bulunan değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Samet SAKA ve Arş. Gör. Kadir SÜNNETCİ'ye, MTA Doğu Karadeniz proje kamp ekibinden Cengiz BOYSAN'a, Rıfat Cihan SEVİM'e, Meltem İkra CİNEL'e, Levent TOSUN'a, İlknur ŞEN'e ve Sema AKYÜREK'e şükranlarımı sunarım.

Sekiz yılı aşkın süredir birlikte çalışma fırsatı bulduğum, mesleki bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, destek ve dostluklarını her zaman hissettiren çalışma arkadaşlarım Sefa GÜZELDAL, Fatih AKSOY, Celaleddin BAYRAKTAR, Ömer AKGÜL ve Mehmet Ali GÜLTEPE'ye teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi destekleriyle bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan değerli aileme özellikle de eşim Canan AYAN ATAMAN'a ve hayatıma kattığı mutlulukla en büyük ilham kaynağım olan biricik kızım Bilge ATAMAN'a en içten sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Son olarak, üzerimde sonsuz emeği bulunan değerli annem Birsen Ataman'a minnet ve şükranlarımı sunar; bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan, desteğini ve sevgisini her zaman hissettiğim rahmetli babam Enver Ataman'ı saygı, özlem ve rahmetle anarım.

Mustafa ATAMAN
GÜMÜŞHANE – 2026

ÖZET

Bu çalışma Karayaşmak (Demirözü, Bayburt, KD Türkiye) ve yakın çevresinin değerli baz metal ve elementlerin aranmasına yönelik alterasyon mineralojisi ve kayaç jeokimyası verileri kullanılarak hidrotermal alterasyon ve kütle değişiminin hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışma alanında en yaşlı birim Pulur metamorfitlelidir. Temel kayaçları oluşturan ve Permo-Karbonifer öncesi yaşlı olarak kabul edilen bu litostratigrafik birim gnayslar, amfibolitler, şistler ve metakuarsitleri içerir. Bunların üzerine uyumsuzlukla Liyas yaşlı Hamurkesen Formasyonunun volkano-tortul serisi gelmektedir. Hamurkesen Formasyonu kumlu kireçtaşı, kumtaşı, kıltaşı, çamurtaşı, tuf, tüfit, aglomera, volkanik breş ardalanmasından oluşmaktadır. Formasyonu Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan örtmektedir. Kumtaşları grovak olarak, tüfler ise litik kristal tuf diye adlandırılmıştır. Tüfler orta-yüksek K'lu kalk-alkali özellikte olup SI, CIA ve AI değerleri hidrotermal alterasyonu desteklemekte ve orta derece ayrıışmıştır. Tüflerde serizitik ayrıışma, serizit-karbonat ayrıışma, klorit-karbonat ayrıışma ve kloritik-propilitik ayrıışma belirlenmiştir. Tüflerin kütle değişim hesaplamalarında $\Delta(\text{Zn}+\text{Cu}+\text{Pb})$ değerleri çok fazla değişmezken, $\Delta(\text{FeO}+\text{MgO})$ ve $\Delta(\text{K}_2\text{O}+\text{SiO}_2)$ değerlerinin genel olarak artması bunların farklı hidrotermal süreçlerle geliştiği ve hidrotermal sıvıların bu metallerce fakir olduğu anlaşılmıştır. Tüflerde *isocon analizine* göre genel olarak %37,06-41,62 kütle kaybı ve %20,14-48,56'lık bir kütle kazancı gerçekleşmiştir. Kütle artmasının sebebi Ca, Na, Fe, Mg ve Si elementlerinin artmasından kaynaklanmaktadır. Tüflerde hidrotermal alterasyon minerallerinin gelişiminde hidrotermal sıvılar önemli bir rol oynamıştır. Tüflerdeki hidrotermal alterasyon ürünlerinin muhtemelen epitermal evrede, asidik-hafif alkali ortam koşullarında, hidrotermal alterasyonu sonucu ve dolayısıyla farklı hidrotermal alterasyon koşulları geliştiği için farklı kütle değişimleri oluşmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alterasyon, Bayburt, Jeokimya, Karayaşmak, Kütle değişimi

ABSTRACT

This study aims to evaluate hydrothermal alteration and quantify mass changes in the Karayaşmak area (Demirözü, Bayburt, NE Türkiye) and its surroundings by utilizing alteration mineralogy and whole-rock geochemical data in order to assess the potential for valuable base metals and associated elements. The oldest unit exposed in the study area is represented by the Pulur Metamorphics. This lithostratigraphic unit, regarded as pre-Permo-Carboniferous in age and forming the basement rocks, consists of gneisses, amphibolites, schists, and metaquartzites. These rocks are unconformably overlain by the volcano-sedimentary succession of the Liassic Hamurkesen Formation, which comprises alternating sandstone, sandy limestone, mudstone, claystone, tuff, tuffite, agglomerate, and volcanic breccia. The entire sequence is covered by Quaternary alluvial deposits. Petrographic investigations indicate that the sandstones are classified as greywackes, whereas the tuffs are identified as lithic crystal tuffs. Geochemically, the tuffs display medium- to high-K calc-alkaline affinities. Their SI, CIA, and AI values support the presence of hydrothermal alteration and indicate moderate degrees of weathering. Several alteration assemblages were recognized within the tuffs, including sericitic, sericite-carbonate, chlorite-carbonate, and chloritic-propylitic alteration. Mass-balance calculations reveal that $\Delta(\text{Zn}+\text{Cu}+\text{Pb})$ values remain relatively constant, whereas $\Delta(\text{FeO}+\text{MgO})$ and $\Delta(\text{K}_2\text{O}+\text{SiO}_2)$ values generally increase. These results suggest that the alteration developed through different hydrothermal processes and that the hydrothermal fluids were relatively depleted in these base metals. Isocon analysis indicates overall mass losses ranging from 37.06% to 41.62% and mass gains between 20.14% and 48.56% in the altered tuffs. The observed mass increase is mainly attributed to the enrichment of Ca, Na, Fe, Mg, and Si. The development of hydrothermal alteration minerals within the tuffs was strongly controlled by hydrothermal fluids. The hydrothermal alteration products were most likely formed during an epithermal stage under acidic to slightly alkaline physicochemical conditions. Variations in hydrothermal alteration conditions resulted in different alteration assemblages and consequently led to distinct mass-change patterns.

Keywords: Alteration, Bayburt, Geochemistry, Karayaşmak, Mass change

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Amaç ve Kapsam	1
1.3. Çalışma Alanının Konumu ve Özellikleri.....	2
1.4. Bölgesel Jeoloji	3
1.5. Önceki Çalışmalar.....	6
2. MATERYAL VE YÖNTEM	9
2.1. Arazi Çalışmaları	9
2.2. Labarotuvan Çalışmaları.....	9
2.2.1. Bulgular.....	9
2.2.2. Tüm-kayaç Ana ve İz Element Analizleri.....	10
2.3. Büro Çalışmaları	10
3. BULGULAR.....	11
3.1. İnceleme Alanının Jeolojisi.....	11
3.2. Arazi İlişkileri ve Petrografi.....	15
3.2.1. Kumtaşı	15
3.2.2. Kireçtaşı	17
3.2.3. Tüf.....	18
3.3. Tüflerde Alterasyon Mineralojisi.....	19
3.4. Tüm-kayaç ve Alterasyon Jeokimyası	20
3.5. Tüflerde Kütle Değişimi	29
3.5.1. İzokon Yöntemine Göre Kütle Değişimin Hesaplanması.....	31
3.5.2. Göreceli (%) Kütle Değişimi	31

4. TARTIŞMA	36
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	39
KAYNAKÇA	41
ÖZGEÇMİŞ	53

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Çalışma alanında alterasyonlu sahadan alınan tüf ve kumtaşlarına ait tüm-kayaç ana oksit (%ağ.) ve iz element (ppm) analiz sonuçları	21
---	----

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Çalışma alanının konumu	2
Şekil 2.	Türkiye'nin tektonik birlikleri	4
Şekil 3.	Sakarya Zonu doğusunun Meso-Senozoyik örtü ve magmatik kayalarının genelleştirilmiş kolon kesiti.....	6
Şekil 4.	Çalışma alanına ait genelleştirilmiş dikme kesit	11
Şekil 5.	Çalışma alanının jeoloji ve numune haritası (MTA tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli haritalardan alınmıştır)	12
Şekil 6.	a) Pulur Metamorfikleri ve Hamurkesen Formasyonu arasındaki bindirmenin görünümü, b) Karayaşmak köyü doğusundaki metamorfikler	13
Şekil 7.	Hamurkesen Formasyon'una ait birimlerin Karayaşmak köyünün kuzey kesimindeki görünümü	14
Şekil 8.	a) ve b) Hidrotermal altere olmuş kumtaşlarının arazideki görünümleri. Kumtaşı örneğinin mikroskopta tek nikolde (c) ve çift nikoldeki (d) görüntüleri. Pl: Plajiyoklas, Kp: kayaç parçası	16
Şekil 9.	a) ve b) Kalın tabakalı kireçtaşlarının arazideki görünümü. c) ve d) Biyomikritin mikroskopta tek nikoldeki görünümleri.....	17
Şekil 10.	Hidrotermal altere olmuş tüflerin a-b) arazi ve c-d) mikroskop görünümü. Pl: Plajiyoklas, Kp: Kayaç parçası	19
Şekil 11.	Altere tüflerin mikroskop görünümleri. a) Serizit/illite dönüşmüş feldispatlar, b) Silisleşme, c) Karbonat ve klorit mineralleri ve d) Hematite dönüşmüş piritler. Ser: Serizit, Si: Silis, Ka: Karbonat minerali, Kl: Klorit, He: Hematit	20
Şekil 12.	a) Toplam alkali-silika (TAS) ve b) Nb/Y-Zr/TiO ₂ diyagramı	22
Şekil 13.	K ₂ O - SiO ₂ diyagramı	23
Şekil 14.	Kumtaşlarının a) log(Fe ₂ O ₃ */K ₂ O)'ya karşı log(SiO ₂ /Al ₂ O ₃) diyagramı. b) Na ₂ O/K ₂ O-SiO ₂ /Al ₂ O ₃ isimlendirme diyagramı	23
Şekil 15.	SiO ₂ 'ye karşı ana oksit değişim diyagramları	24
Şekil 16.	SiO ₂ 'ye karşı iz element değişim diyagramları	25
Şekil 17.	L _{AI} (MgO+Fe ₂ O _{3t})/(Na ₂ O+K ₂ O) değerlerine karşı ana oksit değişim diyagramları.....	26
Şekil 18.	L _{AI} ((MgO+Fe ₂ O _{3t})/(Na ₂ O+K ₂ O)) değerlerine karşı iz element değişim diyagramları.....	26

Şekil 19. a) $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}) - \text{K}_2\text{O}$ (A-CN-K) diyagramı. b) Çalışma alanından alınan 7 adet örneğin AI-CCPI diyagramındaki konumları. 1: Serizitik ayrışma, 2: Serizit- klorit $\pm$ pirit ayrışması, 3: Klorit $\pm$ serizit $\pm$ pirit $\pm$ ayrışması, 4: Klorit- karbonat ayrışması, 5: Serizit- karbonat ayrışması, 6: K-feldispat-serizit ayrışması.	28
Şekil 20. Karayaşmak kumtaşları ve tüflerinin kimyasal bozunma indeksleri arasındaki ilişkiler. a) PIA - CIA diyagramı. b) CIW-CIA diyagramı. PAAS= Post-Arkeen ortalama Avustralya Şeylleri (Post Archean average Australian Shales), UC: Üst Kabuk).....	29
Şekil 21. Tüflerde hidrotermal ayrışmaya bağlı olarak değişen bileşenlerin hesaplanan göreceli (%) kütle değişimlerinin birbirlerine göre dağılımları.....	32
Şekil 22. Tüflerin a) $(\text{FeO} + \text{MgO})$ 'e karşı $(\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2)$ ve b) $\Delta(\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2)$ 'e karşı $\Delta(\text{FeO} + \text{MgO})$ değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerdeki dağılımları	33
Şekil 23. Tüf örneklerinde net kütle değişim grafikleri.....	34
Şekil 24. Tüflerin a) Serizitleşme indeksine (SI) karşı $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ diyagramı ve b) $\text{CaO} - \text{AK}$ diyagramı	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ΔC_i^A	: Ayrışmış kayaçtaki göreceli (%) ve net (g / 100 g) kütle değişimini
ΔM^A	: Ayrışmamış Kayaca Göre Ayrışmış Kayaçta Oluşan Net Kütle (%) Değişimi
AK	: Ateşte Kayıp
CCPI	: Klorit-Karbonat-Pirit İndeksi
CIA	: Kimyasal Alterasyon İndeksi
CIW	: Kimyasal Yüzeysel Bozunma İndeksi
C_i^A	: i Elementinin Ayrışmış Kayaçtaki Konsantrasyonu
C_i^O	: i Elementinin Ayrışmamış Kayaçtaki Konsantrasyonu
C_i^S	: Ayrışmış Örneğin Konsantrasyonu
PIA	: Plajiyoklas Alterasyon İndeksi
TAS	: Toplam Alkali-Silis

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnceleme alanı Doğu Pontid orojenik dağ silsilesinin güney kesiminde yer alan, Bayburt ili Demirözü ilçesine bağlı Karayaşmak köyü ve yakın çevresini kapsamaktadır.

Magmatik çözelti ve gazların ya da yüzeyden türeyen çözeltilerin etkisi ile bazı kayaçların kimyasal bileşimlerinde, dolayısıyla mineralojik bileşimlerinde değişiklikler meydana gelebilmektedir. Bu şekilde ortaya çıkan değişikliklerin tümünü kapsayan süreç alterasyon olarak nitelendirilmektedir. Alterasyon başlıca madencilik, petrol ve doğalgaz keşfi, jeotermal enerji, jeoteknik ve mühendislik gibi süreçlerde oldukça etkin rol oynamaktadır. Ayrıca kayaçların ve madenlerin jeokimyasal gelişimlerinin anlaşılmasında da önemli rol oynamaktadır. Özellikle hidrotermal alterasyonlar, ekonomik mineral yataklarının keşfinde büyük önem taşır.

İnceleme alanının da içinde yer aldığı Sakarya Zonu, Alp-Himalaya orojenezinin etkisi ile oluşmuş olup farklı türde magmatik, metamorfik ve tortul kayaçları içermesi bakımından önemli bir alan konumundadır. Karayaşmak Köyü ve yakın çevresinde günümüze kadar genel jeoloji ve petrografi amaçlı çalışmalar yapılmış olup alterasyon-cevherleşme ilişkisi ile ilgili çalışma yapılmamıştır.

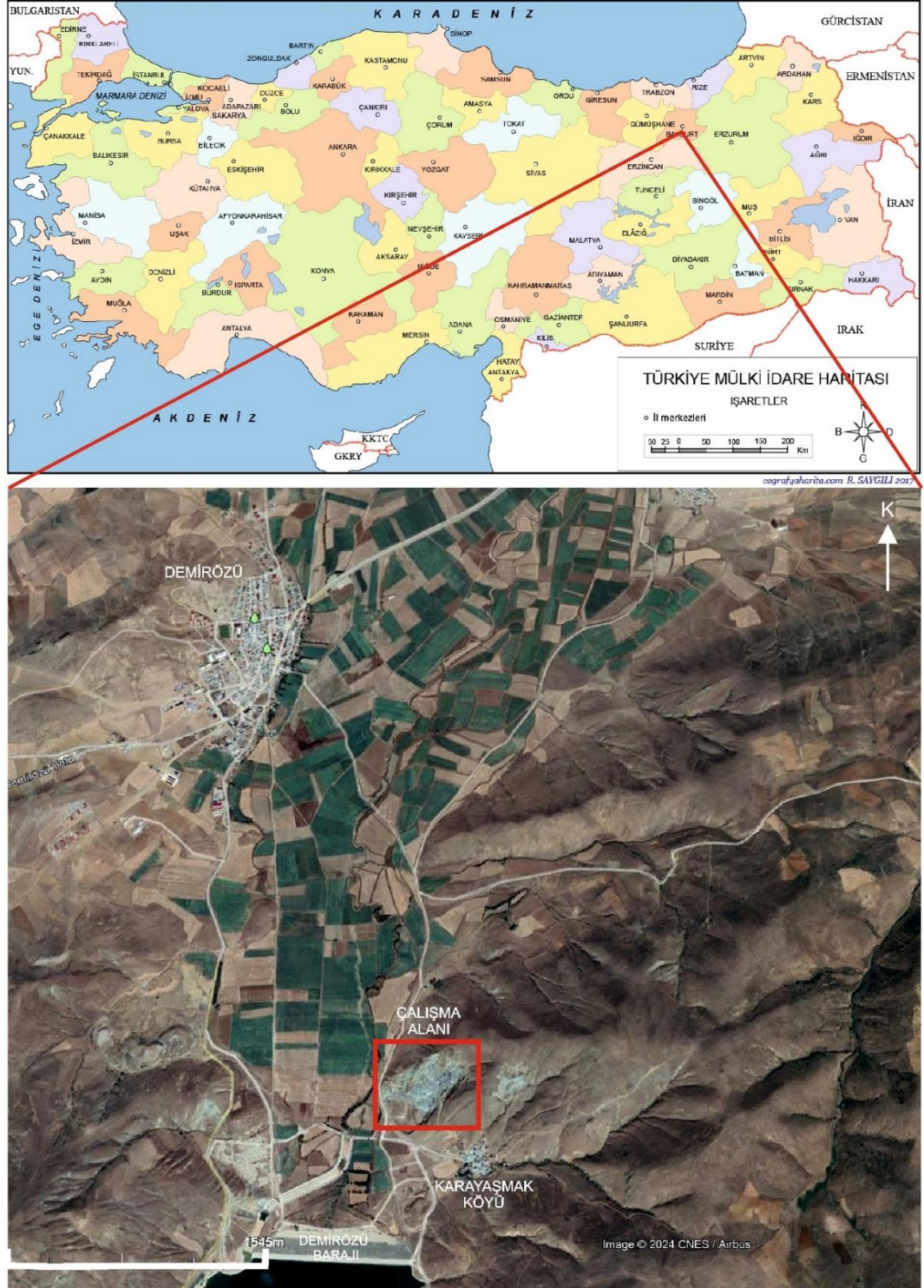
1.2. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, Doğu Pontidler'in güney zonunda, Karayaşmak (Demirözü, KD Bayburt) ve yakın çevresinde yüzeyleme veren Paleosen yaşlı Pulur Metamorfikleri ve bu birime uyumsuz olarak yerleşen Liyas yaşlı Hamurkesen Formasyonuna ait birimlerin yüzeyleme verdiği kısımlarda gözlenen alterasyonun kaynağının belirlenmesi ve çevre kayaçlarla olan ilişkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda arazi çalışmaları yapılarak kayaç ve kil numuneleri alınmış olup çalışma alanının ve yakın çevresinin 1/25000 ölçeğinde jeolojik haritası yapılmıştır.

Çalışma kapsamında, yapılan saha çalışmalarıyla sistematik örnek alımı yapılmış, jeolojik harita gözden geçirilmiş ve ince kesitler hazırlanmıştır. Alınan örneklerden alterasyonun belirlenmesine katkı sağlayacak en iyi örnekler seçilip tüm kayaç jeokimyası ve detay kil analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen mineralojik-petrografik ve jeokimyasal verilerle inceleme alanının alterasyon mineralojisinin ve alanda herhangi bir cevherleşme potansiyelinin olup olmadığının ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır.

1.3. Çalışma Alanının Konumu ve Özellikleri

İnceleme alanı Bayburt iline bağlı Demirözü ilçesinin kuş uçuşu olarak yaklaşık 3 km kadar güneydoğusunda, Karayaşmak Köyü'nün 500m kuzeybatısında bulunmaktadır (Şekil 1). İnceleme alanı Trabzon H43-c2 numaralı paftada yer almaktadır. İnceleme alanına asfalt yol ile ulaşım mümkündür.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu

İnceleme alanında topoğrafya genellikle engebeldir. İnceleme alanının kuzeyinde Goruk T.(1900m), kuzeydoğusunda Başut T.(2040m) bulunmaktadır. Bölgeyle karakterize olan Lori Deresinin kolları çalışma alanı içerisinde geçmektedir. Çalışma alanının güneyinde yer alan Demirözü Barajı Lori Deresi üzerinde bulunmaktadır. Bölgenin sulanma ihtiyacı bu barajdan sağlanmaktadır.

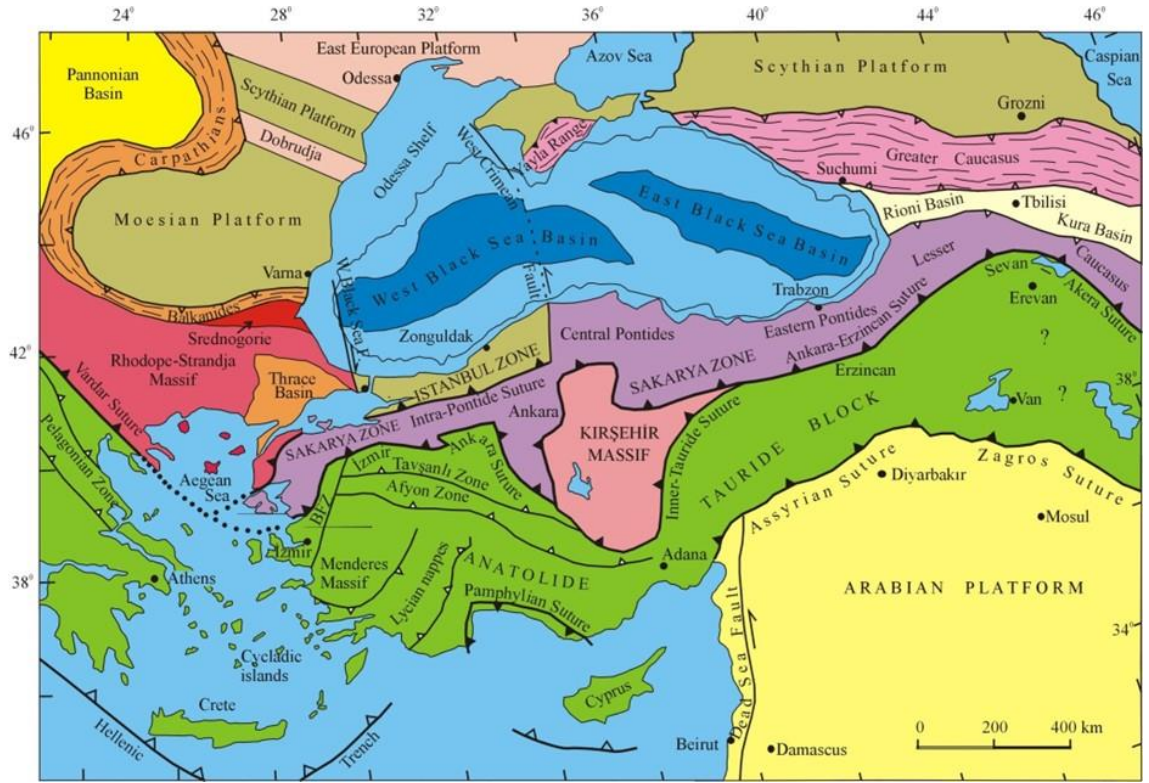
Çalışma alanının bulunduğu bölge ve yakın çevresi Doğu Karadeniz iklimi ile Doğu Anadolu iklimi arasında ve karasal özellikleri ağır basan bir geçiş iklimini temsil eder. Bu nedenle kışları soğuk ve yağışlı yazları sıcak ve kurak geçmektedir. Ancak gerek ortalama yükseltinin azlığı gerekse vadiler silsilesinin oluşturduğu “Mikroklima” sayesinde Doğu Anadolu’ya göre iklimi yumuşaktır. Yıllık ortalama sıcaklık 7.1o C en düşük sıcaklık -31.50 °C ve en yüksek sıcaklık 38.40 °C arasında değişmektedir. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 118.5 gündür. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün verilerine göre ortalama en yüksek sıcaklık 27.8°C ile Ağustos ayına aitken ortalama en düşük sıcaklık ise -10.4°C ile Ocak ayına aittir.

1.4. Bölgesel Jeoloji

Anadolu levhası, Alpin orojenik kuşağın önemli bir bölümünü oluşturmakta olup Pan-Afrikan, Variskan ve Kimmeriyen gibi eski orojenik evrelere ait kıtasal parçaların, Neotetis Okyanusu’nun farklı kollarının kapanması sırasında bir araya gelmesiyle şekillenmiştir (Okay, 2008; Göncüoğlu, 2010). Bu nedenle Anadolu’nun tektonik yapısı oldukça karmaşık bir karakter sunmakta ve Alpin tektonik birliklerinin temelinde, Kadomiyen, Variskan ve Kimmeriyen orojenlerine ait metamorfik masifler, magmatik kompleksler ve bunları örten örtü birimleri yer almaktadır.

Tetis okyanusuna ait farklı havzaların açılma ve kapanma süreçleri boyunca gelişen aktif ve pasif kıta kenarı çökelleri ile yay ve suture kuşaklarını içeren kıtasal parçalar, Geç Tersiyer’de birleşerek günümüzdeki Anadolu kara kütlelerini oluşturmuştur (Okay, 2008; Göncüoğlu, 2010) (Şekil 2).

Bu tektonik yapının önemli bileşenlerinden biri olan Sakarya Zonu’nun doğu kesimlerinde, farklı bileşimlerde gelişmiş volkanik ve plütonik kayalar ile çeşitli yaş ve litolojilere sahip sedimanter birimler yaygın olarak gözlenmektedir. Doğu Karadeniz Bölgesi’nin güney kesimlerinde sedimanter kayalar ile ardalanmalı volkanik istifler baskın durumdayken, kuzey kesimlerde magmatik faaliyetlerin etkisi daha belirgin olup magmatik kayalar geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Bununla birlikte bu magmatik istifler içerisinde tortul ara seviyeler de yer almaktadır.



Şekil 2. Türkiye'nin tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999'den değiştirilmiştir).

Sakarya Zonu'nun doğusunda kuzeye doğru gidildikçe kalk-alkalen karakterli volkanik kayalar, bunlarla ilişkili piroklastik ve epiklastik seviyeler ile granitik sokulumlar yaygınlaşmaktadır (Arslan vd., 1997; Sipahi, 2005, 2017; Sadıklar, 2014; Sipahi vd., 2014, Sipahi vd., 2023; Kaygusuz ve Şen, 2011; Boztuğ vd., 2006; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009, 2011; Aydın, 2014; Yücel vd., 2014; Sipahi vd., 2018). Buna karşılık güney kesimlerde daha çok alkali ve potasik karakterli kayalar toplulukları hakimdir (Bektaş ve Gedik, 1988; Alther vd., 2008; Eyüboğlu, 2010; Gülmez ve Genç, 2015). Ayrıca özellikle güney kesimlerde yoğunlaşan ve gabrodan granite kadar değişen bileşimlere sahip çok sayıda Paleozoyik yaşlı intrüzif kütle de tanımlanmıştır (Çoğulu, 1975; Topuz vd., 2004, 2010; Ustaömer ve Robertson, 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2012, 2016; Karşı vd., 2016; Kaygusuz, 2020; Gücer ve Sarı, 2021).

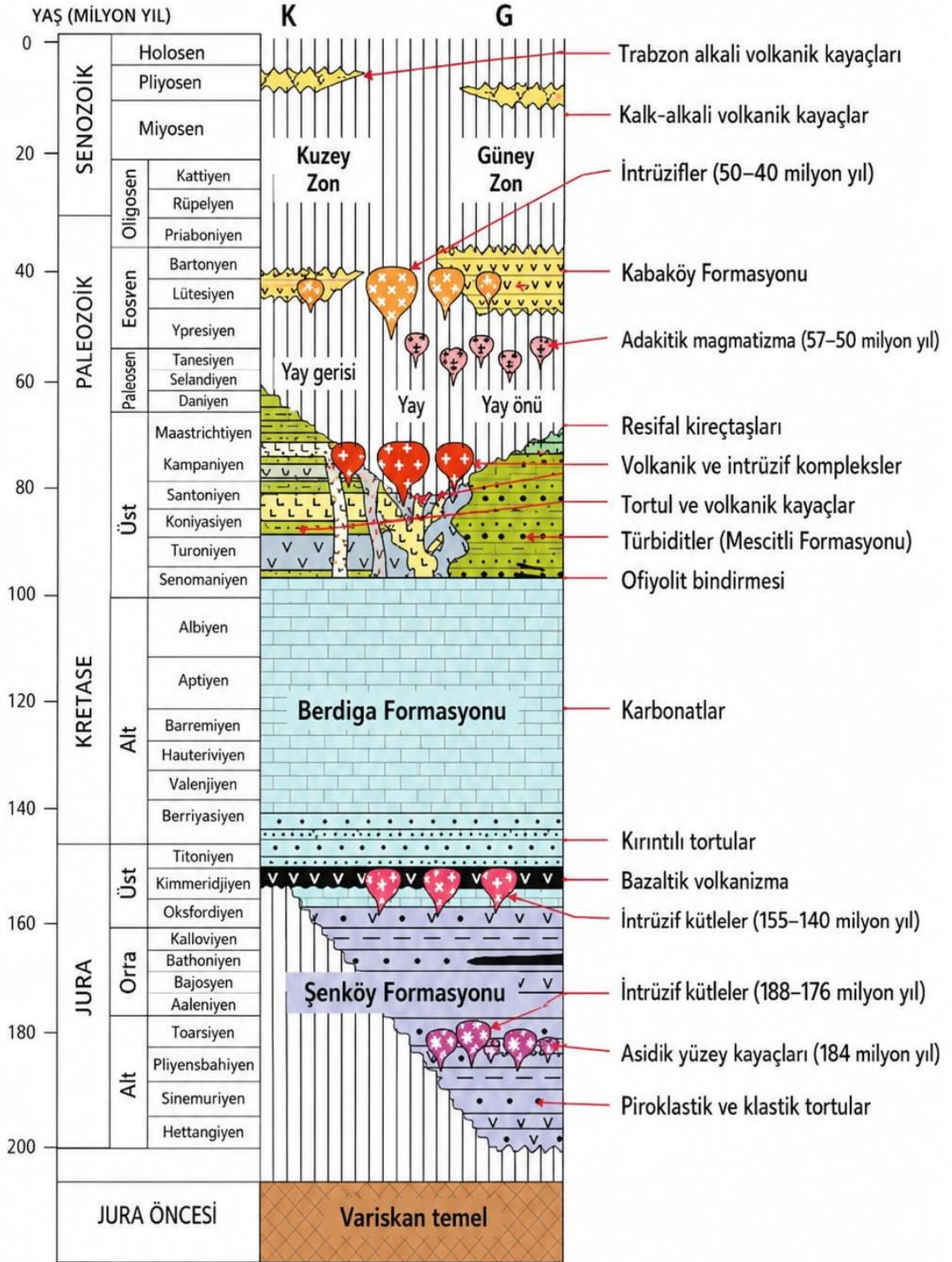
Çalışma alanının yer aldığı bölgede temel kayalar topluluklarını Karbonifer yaşlı Pulur Masifi ve Kurtoğlu Metamorfikleri oluşturmaktadır. Bu metamorfik temel daha sonra Permiyen-Karbonifer yaşlı granitik sokulumlar (Topuz vd., 2004, 2007, 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2016; Karşı vd., 2016; Dokuz vd., 2022), dasitik kayalar (Dokuz vd., 2017a) ve riolitler (Dokuz vd., 2017b) tarafından kesilmiştir. Sakarya Zonu'nun doğu bölümünde Karbonifer yaşlı kristalin temel yalnızca Bayburt-Demirözü yöresinde Geç Karbonifer-Erken Permiyen yaşlı denizel çökeller tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Okay ve Leven, 1996; Dokuz vd., 2023).

Erken-Orta Jura yaşlı kayalar çoğunlukla volkano-klastik ve sedimanter özelliktedir. Bu birimler Sakarya Zonu'nun kuzey kesimlerinde sınırlı alanlarda ve küçük mostralar halindedir (Boynukalın, 1990; Eyüboğlu vd., 2006; Şen, 2007). Ancak zonun güney kesimlerinde Erken-Orta Jura istifleri daha geniş alanlara yayılmış ve ağırlıklı olarak sedimanter karakterlidir (Dokuz, 2000; Kandemir, 2004; Dokuz ve Tanyolu, 2006). Variskan yaşlı temel üzerinde uyumsuz olarak bulunan bu istifler, rift ilişkili subalkalen volkano-sedimanter topluluklar şeklinde tanımlanmakta ve Erken Jura yaşlı piroklastikler ile kırıntılı ve karbonatlı sedimanter kayalardan oluşmaktadır (Robinson vd., 1995; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Şen, 2007; Kandemir ve Yılmaz, 2009). Bu süreçte bazaltik/andezitik volkanitler ile bunlara eşlik eden intrüzif kayalar yaygın gelişmiş (Dokuz vd., 2006; Eyüboğlu vd., 2016; Karşlı vd., 2016), asidik karakterli volkanik ve plütonik kayalar ise daha sınırlı bir dağılım göstermiştir (Dokuz ve Sünnetçi, 2019).

Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar Jura dönemindeki magmatizmanın tek evreli olmadığını, Erken ve Geç Jura olmak üzere iki ayrı magmatik evrede geliştiğini ortaya koymuştur (Dokuz vd., 2010; Ustaömer vd., 2013; Dokuz vd., 2017b). Erken Jura magmatizması yitim süreçleriyle ilişkili iken, Geç Jura magmatizmasının çarpışma sonrası gelişen slab breakoff (okyanusal levha kopması) mekanizmasının sonucu olduğu düşünülmektedir (Dokuz vd., 2010, 2017b; Karşlı vd., 2022).

Jura-Alt Kretase yaşlı platform karbonatları, söz konusu birimleri uyumlu olarak örter ve sığ denizel çökeltme koşullarını yansıtır. Bu istifler Sakarya Zonu'nun güneyinde çoğunlukla tortul karakterli, kuzeyinde ise volkanik kayaların baskın olduğu Üst Kretase birimleri tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür (Pelin, 1977; Taşlı, 1990; Kırmacı, 1992; Yılmaz, 2002). Özellikle Üst Kretase döneminde kuzey ve güney zonlar arasında belirgin farklılıklar izlenmektedir. Doğu Sakarya Zonu'nda toleyitik bileşimli volkanitlerden kalk-alkalen karakterli kayalara kadar geniş bir kayaç türü görülmektedir. Bu birimler ayrıca Orta Eosen yaşlı granitoid sokulumlar tarafından da kesilmektedir (Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz vd., 1997; Kaygusuz vd., 2013; Sipahi vd., 2017; Sipahi vd., 2020; Sipahi vd., 2022; Sipahi vd., 2023; Sipahi vd., 2025; Şekil 3).

Bölgedeki Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı örtü birimlerinin stratigrafik ilişkileri Şekil 3'te sunulmuştur. Mevcut tüm kayaç toplulukları Eosen yaşlı çökeller tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Taban seviyelerinde konglomera ile başlayan bu istif, yukarı doğru volkanik tüfler, Nummulites içeren kireçtaşları ve volkanik kayalarla devam etmektedir (Saydam Eker vd., 2016). Bölgenin en genç jeolojik birimlerini ise günümüzde de oluşumları devam eden Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozları oluşturmaktadır.



Şekil 3. Sakarya Zonu doğusunun Meso-Senozoyik örtü ve magmatik kayalarının genelleştirilmiş kolon kesiti (Dokuz vd., 2019)

1.5. Önceki Çalışmalar

Karayaşmak (Demirözü) ve yakın çevresini kapsayan araştırma alanı, Doğu Karadeniz Dağ Kuşağı'nın temel kayalarını barındırması ve farklı yaşlarda gelişmiş magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaç topluluklarını içermesi nedeniyle uzun yıllardır birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Bölgenin jeolojik özellikleri,

stratigrafisi, tektonik gelişimi ve magmatik evrimi üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir (Ketin 1951; Ağar 1977; Korkmaz ve Baki 1984; Akdeniz 1988; Tanyolu 1988; Habiboğlu 1989; Okay ve Şahintürk 1997; Topuz vd. 2004a, 2004b, 2023; Topuz ve Altherr, 2004c; Eyüboğlu vd., 2011a; Dokuz vd., 2011, 2017, 2023). Bölgeye ilişkin başlıca çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Ketin (1950), yörede gerçekleştirdiği araştırmada bölgenin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamış ve Geç Kretase yaşlı birimlerin ofiyolitik kayalar üzerine transgresif olarak geldiğini belirtmiştir. Araştırmacı, bu istifin tabanında yaklaşık 800 m kalınlığa ulaşan ve zengin mollusk faunası içeren seviyelerin bulunduğunu ifade etmiştir. Eosen yaşlı çökellerin filiş karakteri gösterdiğini vurgulayan Ketin (1950), alt kesimlerin yaklaşık 1600 m kalınlıktaki konglomera ve kilaşlarından, üst bölümlerin ise 350–400 m kalınlığındaki kilaşı, kumtaşı ve kireçtaşı ardalanmasından oluştuğunu belirtmiştir. Miyosen istiflerinin alt seviyelerinde denizel karbonatlar, üst seviyelerinde ise karasal ortam koşullarında çökelmiş kil, marn, jips, kilaşı ve gölsel kireçtaşlarının yer aldığını ortaya koymuştur.

Ketin (1951), Demirözü çevresinde yaklaşık 1500 m kalınlığa sahip Permo-Karbonifer yaşlı çökel istifini ilk kez tanımlamış ve bu birimlerin üzerine Liyas yaşlı çökellerin transgresif olarak geldiğini belirtmiştir. Araştırmacı ayrıca çalışma alanında yaklaşık 2000 m kalınlığa ulaşan Liyas yaşlı kayaların geniş alanlarda yüzeyletiğini ve bu istiflerin alt kesimlerinde 5–30 cm kalınlıklarında kömür damarlarının bulunduğunu ifade etmiştir.

Ağar (1977), yaklaşık 450 km² büyüklüğündeki bir alanın 1/25.000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritasını hazırlayarak Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı metamorfik, magmatik ve sedimanter kayaları ayırt etmiştir. Bölgedeki kıvrımlanma süreçlerinden sorumlu orojenik evreleri değerlendiren araştırmacı, Permo-Karbonifer yaşlı birimlerde bitki kalıntıları içeren seviyeler tanımlamış ve yörede ilk kez Triyas yaşlı bir istifin varlığını ileri sürmüştür. Üst Jura–Alt Kretase yaşlı karbonatlı ve kırıntılı çökellerin çökeltme ortamlarını inceleyen Ağar (1977), başlangıçta sığ ve değişken denizel koşullarda gelişen çökeltmenin zamanla daha derin deniz ortamlarına geçtiğini belirtmiştir. Araştırmacı ayrıca Tersiyer yaşlı kayaları Sırataşlar ve Kızılyar formasyonları olmak üzere iki ana birime ayırmıştır. Konglomera ile başlayıp Nummulites ve Echinodermata içeren kireçtaşlarıyla devam eden Sırataşlar Formasyonu'nun İpresiyen–Alt Lütisiyen yaşlı olduğunu ve sığ deniz koşullarında oluştuğunu ifade etmiştir. Tüf, kumlu tüf, aglomera ve tüflü arenitlerden oluşan Kızılyar

Formasyonu'nun ise bol miktarda Nummulites, Lamellibranchiata ve Gastropoda içerdiğini ve Üst Lütésiyan yaşlı sığ denizel bir ortamı temsil ettiğini belirtmiştir.

Pelin (1977), Berdiga (Alucra) Dağları'nda yürüttüğü çalışmalarda Geç Jura–Erken Kretase yaşlı karbonat ve kırıntılı kayaçları beş üyeden oluşan Berdiga Formasyonu adı altında toplamıştır. Araştırmacı ayrıca Üst Kretase istiflerini Kındıralık Dere, Elmalı Dere ve Tepeköy formasyonları olmak üzere üç ayrı birim halinde değerlendirmiştir. Bunlardan Kındıralık Dere Formasyonu kumlu kireçtaşlarıyla, Elmalı Dere Formasyonu kırmızı renkli kireçtaşlarıyla ve Tepeköy Formasyonu ise türbiditik çökel kayaçlarla temsil edilmektedir. Eosen yaşlı istifleri de ayrıntılı biçimde inceleyen Pelin (1977), tabanında ince konglomera seviyeleri bulunan nummulitli kireçtaşlarından oluşan Otlukbeli Formasyonu'nu en yaşlı Eosen birimi olarak tanımlamıştır. Bunun yanı sıra Fındıklıbel Formasyonu ile Ara Formasyonu'nun da bölgedeki önemli Eosen birimleri olduğunu belirtmiştir.

Korkmaz ve Baki (1984), inceleme alanındaki metamorfik kayaçları Pulur Masifi olarak adlandırmış ve bu birimlerin metaandezit, diyorit, gabro ve olivinli gabro gibi çeşitli magmatik kayaçlar tarafından kesildiğini ortaya koymuştur. Araştırmacılar, Pulur Masifi'nin güney kesimlerinde kalınlığı yer yer 130 m'ye ulaşan ve kömür mercekleri içeren bir taban konglomerası ile örtüldüğünü belirtmişlerdir. Bu birimi Aggi Formasyonu olarak adlandıran yazarlar, kömür seviyelerinden elde edilen palinolojik veriler doğrultusunda formasyonun yaşını Dogger olarak değerlendirmişlerdir. Ayrıca Ağar (1977) tarafından Triyas yaşlı kabul edilen Karakaya Formasyonu'nun Triyas yaşlı olmadığını, Permo-Karbonifer birimleriyle yanal geçişli olduğunu ve aynı stratigrafik bütünlük içerisinde değerlendirilmesi gerektiğini ileri sürmüşlerdir.

Akdeniz (1988), çalışma alanındaki metamorfikler ile bunların üzerine gelen Üst Karbonifer–Alt Permiyen yaşlı kayaçların allohton karakter taşıdığını belirtmiştir. Araştırmacı, Üst Kretase çökelleri ile serpantinitle Eosen tarafından örtülen bindirme dilimleri arasında sıkışmış konumda bulunmalarını dikkate alarak, dilimlenme ve güneye doğru taşınma süreçlerinin Üst Kretase sonu ile Eosen başlangıcı arasında gerçekleştiğini öne sürmüştür. Ayrıca Üst Karbonifer–Alt Permiyen yaşlı çökeller içerisinde metamorfik kayaç çakıllarının yanı sıra granitik ve volkanik kökenli çakılların bulunmasını, bölgede Üst Karbonifer öncesi bir metamorfizma evresinin ve bunu takip eden magmatik faaliyetlerin varlığına kanıt olarak değerlendirmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında araziden derlenen ve veri elde edebilmek amacıyla çeşitli yöntemlerin kullanıldığı kayaç numuneleri materyal olarak kullanılmıştır. Çalışmalar, sahada yapılmış önceki çalışmaların derlenmesi, harita yapımı, numune alımı, petrografik tayin amaçlı kesit yapımı, jeokimyasal analizler ve tez yazımı olmak üzere çeşitli aşamalarda gerçekleştirilmiş olup aşağıda detaylandırılmıştır.

2.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında, inceleme alanında yüzeyleme veren birimlerin tanınması, diğer kayaçlar ile aralarında olan dokanak ilişkilerinin belirlenmesi, yapısal unsurlar, stratigrafik ilişkiler ve alterasyon türlerinin tayini için amaca uygun olarak 37 adet kayaç numunesi alınmış olup her bir numune için fotoğraf çekilmiştir.

Yapılan çalışmalar ve incelemeler doğrultusunda Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Daire Başkanlığı tarafından hazırlanmış olan 1/25000 lik jeoloji haritaları revize edilerek ArcGIS v.10.5 programı yardımı ile sayısallaştırılmıştır.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.2.1. Bulgular

İnceleme alanından alınan kayaç numunelerinin mineralojik ve petrografik tanımlamalarının yapılabilmesi için, Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında amaca uygun olarak alınan 17 adet el numunesi için ince kesitler hazırlanmıştır.

Petrografik ve mineralojik çalışmalarda kayaçların oldukça taze, en az derecede alterasyondan etkilenmiş şekilde alınmasına dikkat edilmelidir. Alterasyon belirleme amaçlı çalışma yapılacaksa altere örnekler tercih edilebilir. İnce kesiti hazırlanan örnekler Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Leica DFC450 marka polarizan mikroskop aracılığıyla incelenerek yapısal ve dokusal özellikleri belirlenmiştir. Kayaçları oluşturan minerallerin birbirleriyle olan ilişkileri göz önünde bulundurularak herbir kesitten tek ve çapraz nikollerde fotoğraflama işlemi yapılmıştır.

2.2.2. Tüm-kayaç Ana ve İz Element Analizleri

Çalışma alanından alınan jeokimya numunelerinin baz ve değerli metal analizleri Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojiler Dairesi Başkanlığı Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Seçilen örnekler ana, iz ve nadir toprak analizleri için MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı Jeokimya Laboratuvarı bünyesinde yaptırılmıştır. Ana elementler X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF), iz ve nadir toprak elementler ise İndüktif Eşleşmiş Plazma-Emisyon Spektrometresi (ICP-ES: Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry) ve İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS: Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) yöntemleriyle analiz edilmiştir.

Numuneler, yapısına göre, pres pelet veya eritiş olarak hazırlanmış olup pres pelet hazırlamak için numune, selüloz ile 15 dakika boyunca bilyeli değirmenlerde homojen hale gelinceye kadar öğütülmüş ve pres işlemi uygulanarak disk haline getirilmiştir. Eritiş hazırlamak için ise tam otomatik eritiş hazırlama cihazları kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin XRF cihazında, yapısına uygun programlarda ölçümleri alınmıştır. Analizler, Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) tarafından TS EN ISO/IEC 17025 Standardı'na göre akredite edilen analiz/test yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. İz elementlerin analizinde; üçlü asitte çözme işlemi için derişik per klorik asit (HClO_4)⁺ derişik hidroklorik asit (HCl)⁺ derişik nitrik asit (HNO_3)⁺te çözme, dörütlü asitte çözme işlemi için de derişik per klorik asit (HClO_4)⁺ derişik hidroklorik asit (HCl)⁺ derişik nitrik asit (HNO_3)⁺ derişik hidroflorik asit (HF)⁺te çözme yöntemleri kullanılmıştır. Kızdırma kaybını (ateş zaiyatını) belirlemek için öncelikle örneğin nemi uzaklaştırılmıştır. Bunun için önceden belirlenen miktarda örnek alınarak 105 °C'de 24 saat süreyle fırında kurutulmuş ve tartılarak ağırlığı belirlenmiştir. Kızdırma kaybı (ateş zaiyatı) 1050°C gravimetrik olarak yapılmıştır. Ana elementler yüzde (%) ağırlık, iz elementler ise ppm olarak ölçülmüştür. Toplam demir Fe_2O_3 cinsinden verilmiştir. Ana elementlerde dedeksiyon limiti %0.1 iken iz ve nadir toprak elementlerde 0.1 ppm'dir.

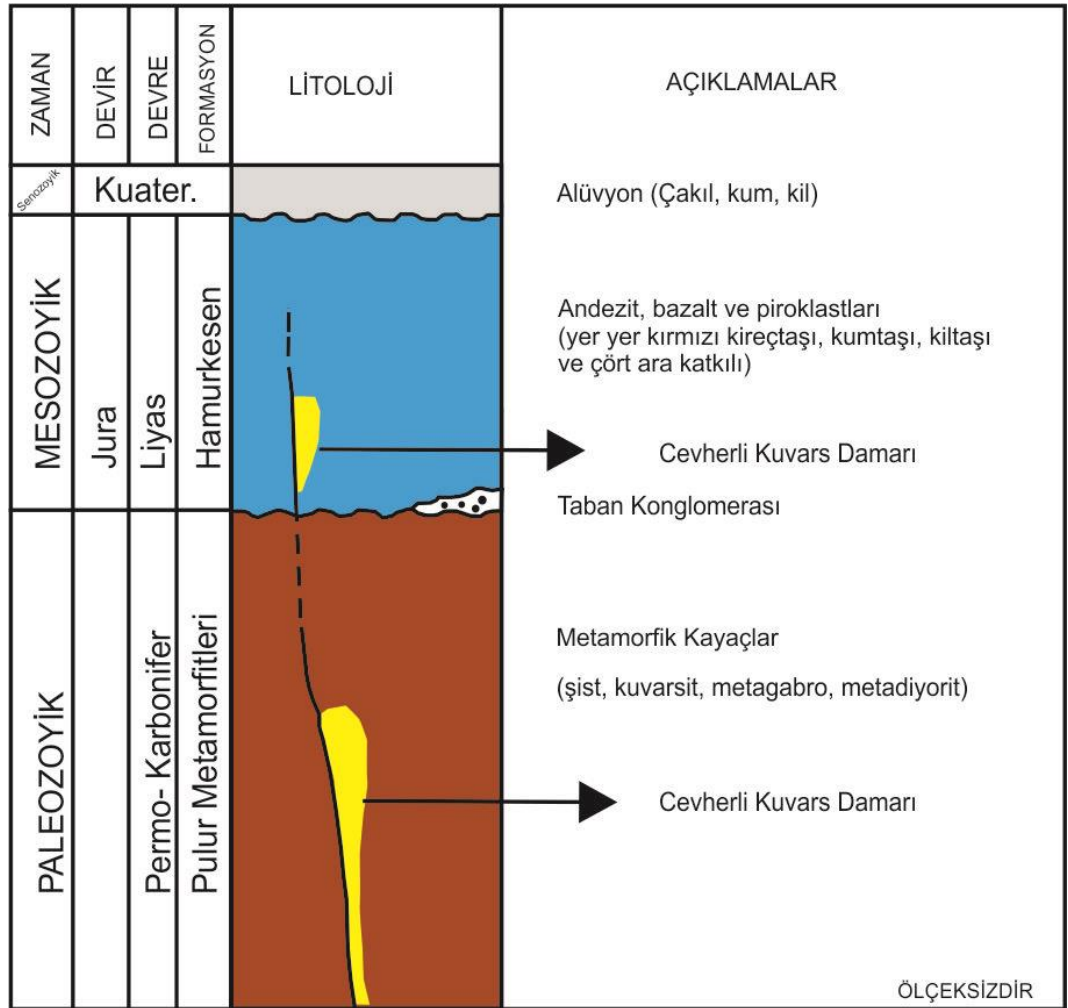
2.3. Büro Çalışmaları

Bu aşamada, elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması gerçekleştirilmiş, çeşitli hesaplamalar ve programlar yardımıyla tez kapsamındaki konular aydınlatılmaya çalışılmıştır. Tez ise Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsünün ilgili kurallarına göre yazılmıştır. Jeokimyasal yorumlar için diyagramlar GCDkit (version 6.2.0 2019; <http://www.gcdkit.org/>) ve CorelDRAW® 2019 yazılımları kullanılarak oluşturulmuştur.

3. BULGULAR

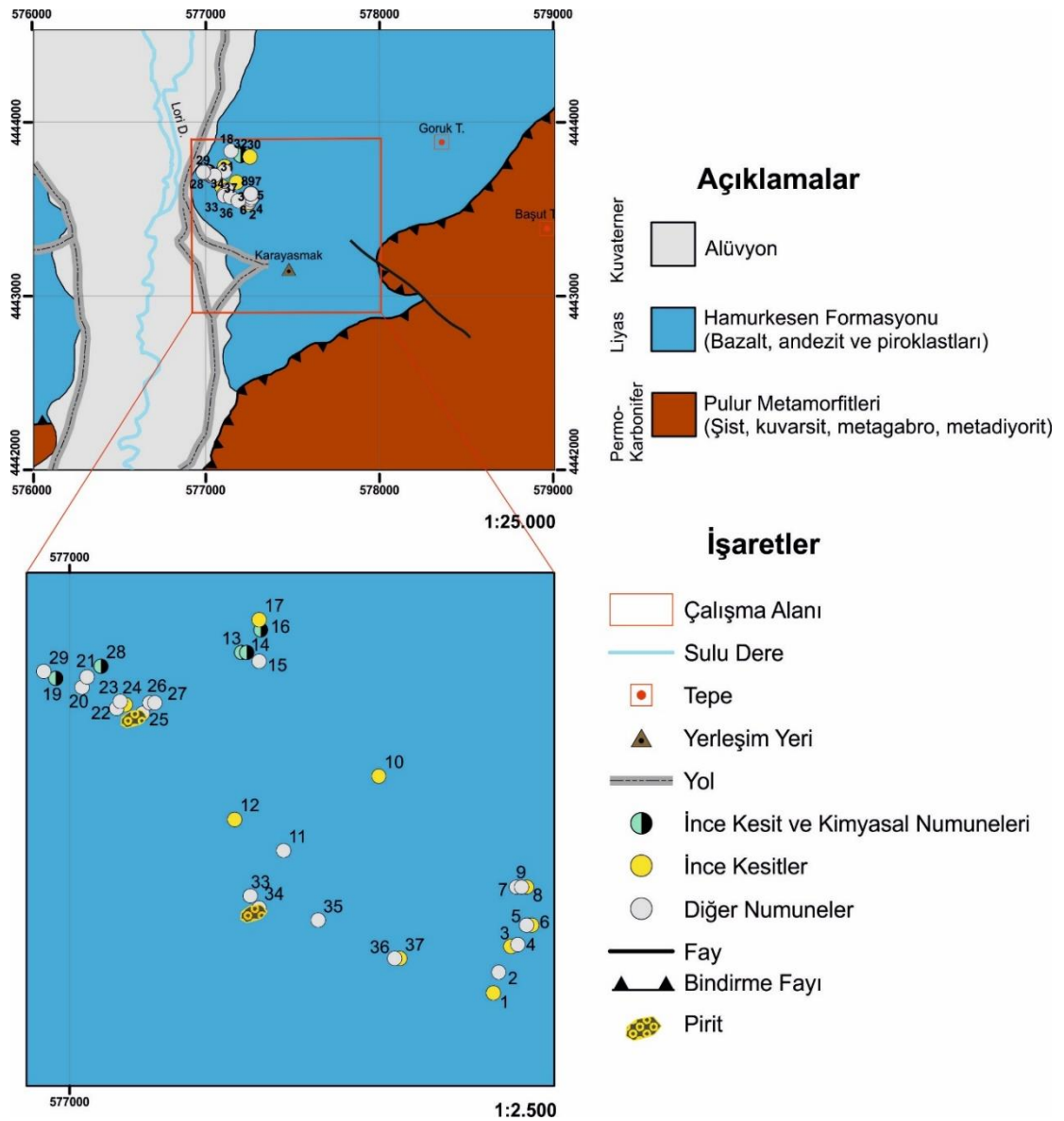
3.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

Çalışma alanında tabanda Permo-Karbonifer (Paleozoyik) yaşlı metamorfik kayalar yer almaktadır. Pulur Metamorfikleri olarak da adlandırılan bu birim başlıca mikaşist, gnays, metakuvarsit, metaandezit, amfibolit, metadiyorit, granit ve mermer türü kayalardan oluşmaktadır. Paleozoyik yaşlı temel kayaları üzerinde Liyas yaşlı bazalt, andezit ve piroklastlarından oluşan Liyas yaşlı Hamurkesen Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 4). Bölgede gözlenen metamorfik kayalar ile Hamurkesen formasyonu arasındaki uyumsuzluğun işareti olan konglomera seviyeleri yanal devamsızlıktan ötürü çalışma alanında izlenmemektedir. Hamurkesen formasyonu üzerinde güncel oluşuklar olarak alüvyonlar izlenmektedir.



Şekil 4. Çalışma alanına ait genelleştirilmiş dikme kesit (Güner vd., 2013'ten değiştirilerek)

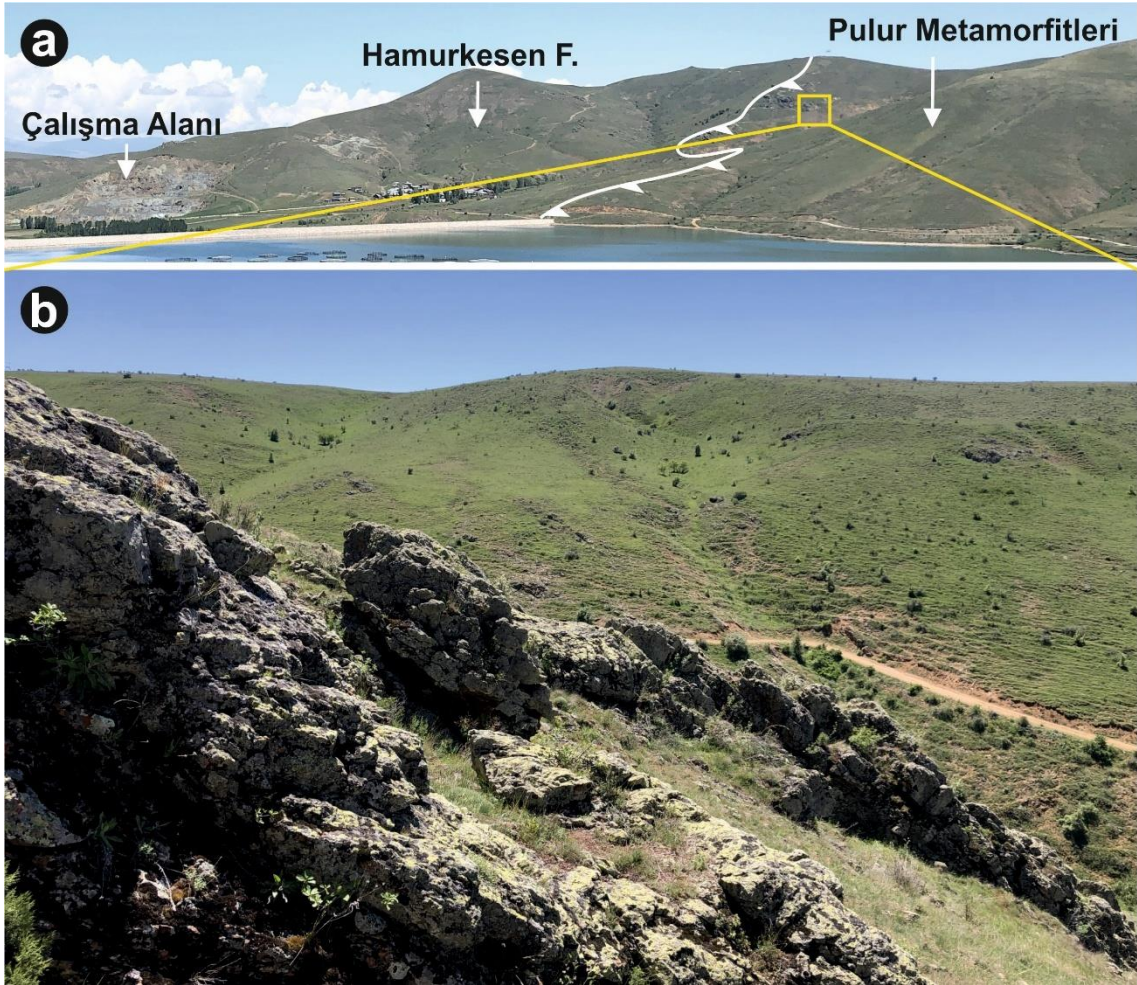
Pulur Masifi çalışma alanında KD-GB uzanımlı yüzeyleme sergilemektedir (Şekil 4). Masif, karmaşık bir litolojiye sahip olup ağırlıklı olarak gnays, migmatit, amfibolit, metabazik kayalar, şist, fillit, mermer, metaultramafik kayalar, metaçört ve metadasitlerden meydana gelmektedir. Önceki çalışmalarda (Topuz vd., 2003; 2004), bu birim Doğankavak ve Cenci olmak üzere iki farklı tektonik birim altında değerlendirmiştir. Birim içerisinde şistler yaygın olup belirgin şistozite sunarken, amfibolitler masif dokuları ve hornblend ağırlıklı mineralojileri ile ayırt edilmektedir. Pulur Masifi, çalışma alanının kuzeyinde Hamurkesen Formasyonu ile tektonik dokanıklıdır (Şekil 5). Stratigrafik ilişkiler ve Topuz vd. (2003 ve 2004) tarafından alınan radyometrik yaş verileri, masifin en az Karbonifer yaşı olduğunu ve Karbonifer-Permian dönemlerinde birden fazla metamorfik evre geçirdiğine işaret etmektedir.



Şekil 5. Çalışma alanının jeoloji ve numune haritası (MTA tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli haritalardan alınmıştır)

Çalışma alanında tabanda yer alan Paleozoyik yaşlı Pulur Metamorfitle, Liyas yaşlı Hamurkesen Formasyonu üzerine tektonik uyumsuzlukla (bindirme) gelmektedir (Şekil 6a). Pulur Metamorfitle sahada genellikle yeşilimsi, ayrışmanın yoğun olduğu bölgelerde ise sarımsı ve kahverengimsi renkte gözlenmektedir. Şistozite genellikle iyi gelişmiş olup sahada farklı yönlerde eğimler kazanmış oldukları izlenmektedir (Şekil 6b).

Çalışma alanında gnayslar genellikle Karayaşmak Köyü'nün güneyinde yayılım göstermekte ve grimsi kırık yüzeyleri ile dikkat çekmektedir. Çoğunlukla şistler arasında süreksiz yüzeylemeler halinde görülen, bantlı yapıya sahiptir. Arazide makro olarak granoblastik doku ve kuvars, muskovit, biyotit, granat, feldispat gibi mineraller ayırt edilebilmektedir. Birim içerisinde bir diğer yaygın kayaç grubunu oluşturan amfibolitler, yeşilimsi renkli, genellikle şistozite göstermeyen ve diğer kayaç gruplarıyla ardalanmalı olarak görülmektedir. Şistler ise en yaygın kayaç birimini oluşturmakta olup, makroskopik olarak amfibol ve kuvars mineralleri ayırt edilebilmektedir.



Şekil 6. a) Pulur Metamorfitle ve Hamurkesen Formasyonu arasındaki bindirmenin görünümü, b) Karayaşmak köyü doğusundaki metamorfitle

Pulur Masifi'nde gnays, şist ve amfibolitler kadar yaygın olmasa da metaultramafik, metaultramafit, metadasit, metaçört ve fillit birimleri yerel yüzeylemeler sunar. Metaultramafikler yeşilimsi gri renkleri, belirgin şistoziteleri ve parçalanmış görünümleriyle, metakuvarsitler açık renkli, masif ve aşınmaya dirençli yapılarıyla dikkat çeker. Metadasitler açık renkli, oksitlenmeye bağlı sarımsı tonlar ve eksfoliasyon yapılarıyla ayırt edilirken, metaçörtler küçük, düzensiz ve oldukça kırıklı bloklar halinde izlenir. Fillitler ise iyi gelişmiş yapraklanmaları, yoğun kırıklılıkları ve küçük ölçekli kıvrımlanmalarıyla karakteristiktir. Bu kayaçlar çalışma alanının temelini oluşturur ve masifin çok evreli bir metamorfik geçmişe sahip olduğunu yansıtır.

Bölgede (Doğu Pontidlerin güney kesiminde) Liyas yaşlı Hamurkesen Formasyonunun, Alt Sinemuriyen yaşlı kireçtaşları (Çaltepe Kireçtaşı) üzerine uyumlu olarak geldiği bilinmektedir (Ağar, 1977). Ancak çalışma alanında bu kireçtaşları gözlenmemekte olup bu birim metamorfik kayaçlar ile doğrudan tektonik dokanaklıdır. Volcano-tortul bir istif özelliği sunan Hamurkesen Formasyonu tabanda uyumsuz olarak yerleşmiş konglomera ve iri taneli kumtaşları ile başlar ve üste doğru daha ince taneli tortullara geçiş gösterir. İstif içerisinde kumtaşı, silttaşı, kiltası, marn ile birlikte tüf, tüfit, aglomera ve bazaltik–andezitik–dasitik volkanik kayaçlar ardalanmalıdır (Şekil 6) . Yer yer kırmızı renkli, bol fosilli kireçtaşı seviyeleri gözlenir. Formasyon, bölgedeki temel kayaçlar üzerine aşınma uyumsuzluğu ile oturur ve bazı kesimlerde tektonik dokanaklıdır. Mafik-ultramafik kayaçlarla temasında kontakt metamorfizma izlerinin olmaması, bu kayaçların formasyon çökelmeden önce yerleştiğini göstermektedir.

Alüvyonlar ise Lori deresi ve ona bağlı küçük dere yatakları boyunca topografyanın elverdiği kesimlerde gelişmiş olup çevredeki kayaçlardan türemiş, kil boyutundan blok boyutuna kadar değişen malzemeler içerir. Kuvaterner yaşlı bu çökeller günümüzde de oluşumlarını sürdürmektedir.



Şekil 7. Hamurkesen Formasyon'una ait birimlerin Karayaşmak köyünün kuzey kesimindeki görünümü

3.2. Arazi İlişkileri ve Petrografi

Çalışmanın amacına uygun olarak örnekleme yapılan alterasyonlu alanda yaygın olarak kumtaşı, kireçtaşı ve tuf türü kayalar yüzeyleme vermektedir. Bu nedenle bu kayalar üzerinde daha detaylı saha ve petrografik incelemeler gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Kumtaşı

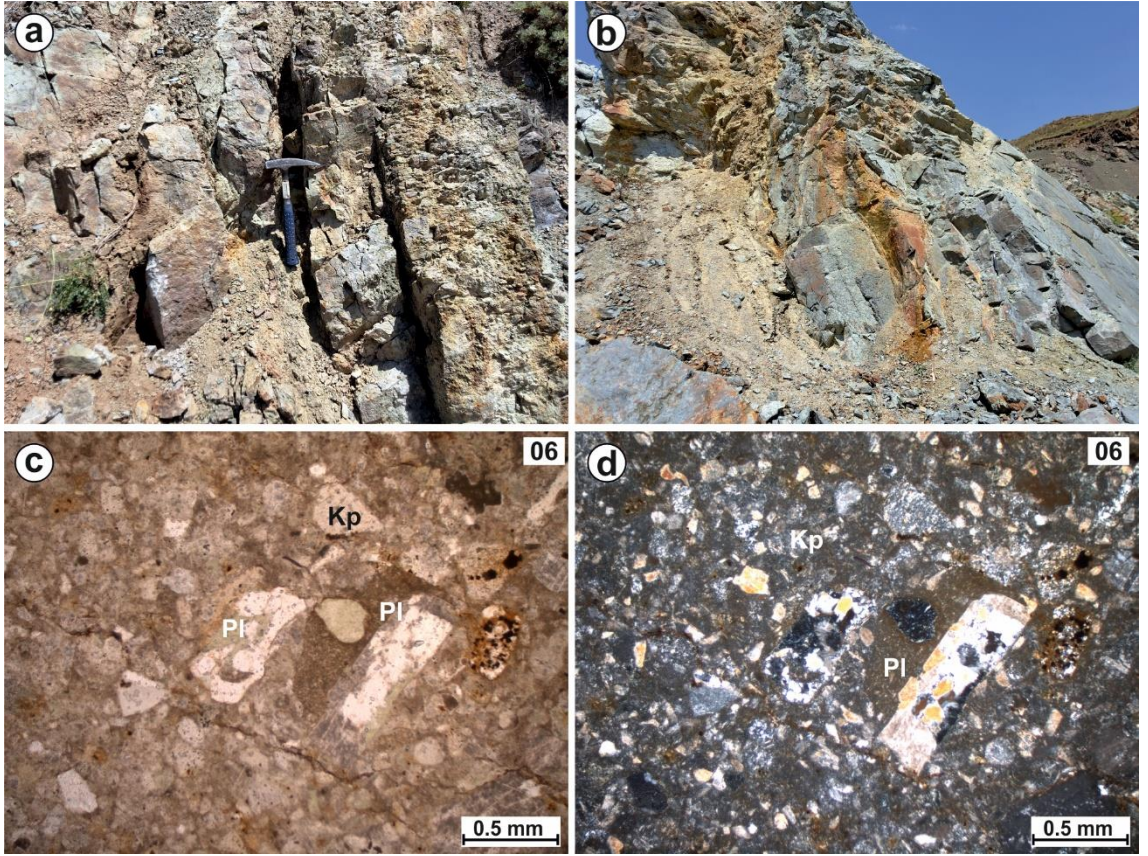
Hamurkesen Formasyonu'na ait kumtaşları, inceleme alanında iyi derecede yüzeylenmekte olup, arazide belirgin litolojik ve yapısal özellikler sunmaktadır (Şekil 8a-b). Söz konusu kumtaşları genellikle yoğun çatlaklı ve kırıklı bir yapı sergilemekte, bu kırık ve çatlak sistemleri yer yer kayaç bütünlüğünü bozacak ölçüde gelişmektedir. Çatlakların çoğunlukla düzensiz dağılım gösterdiği, bazı kesimlerde ise birbirine paralel ya da yarı paralel sistemler oluşturduğu gözlenmiştir. Bu durum, kayaların hem tektonik etkilerden hem de sonrasında gelişen ayrışma süreçlerinden etkilendiğini düşündürmektedir.

Arazide kumtaşlarının yer yer altere olmuş bir görünüme sahip olduğu dikkat çekmektedir. Alterasyonlu zonlarda renk değişimleri yaygın olup, özellikle sarımsı-kahverengi ve yer yer grimsi tonlar hâkimdir. Bu renklenmeler, demir oksit/hidroksit minerallerinin varlığına işaret etmekte ve kayaların yüzeysel ayrışmaya açık olduğunu göstermektedir. Alterasyonun yoğunlaştığı kesimlerde kayalar daha kırıklı bir özellik kazanmış ve bu alanlarda ufalanmalar daha belirgin hale gelmiştir.

Kumtaşlarının petrografik özelliklerini ortaya koymak amacıyla hazırlanan ince kesitlerin mikroskobik incelemelerinde, kayalar başlıca feldispat (alkali feldispat ve plajiyoklas) ve kuvars (yer yer monokristalin ve polikristalin) gibi mineraller ile volkanik ve sedimanter kayaç parçaları (Kp) içermektedir (Şekil 8c-d). Bununla birlikte, yer yer opak mineraller ile ikincil hematitleşme ve serizitleşmeler gözlenmektedir. Bağlayıcı matriks ve çimento (kalsit ve silis) içermektedir.

Feldispatlar içerisinde plajiyoklasların baskın olduğu, genellikle özşekilsiz-yarı özşekilli kristaller halinde bulundukları ve yer yer kenarlarının aşınmış olduğu görülmektedir. Kuvars taneleri çoğunlukla anhedral-subhedral biçimde olup, ince tane boyutları sergilemektedir.

Alterasyondan dolayı ikizlenmeler çok belirgin değildir. Kuvars taneleri ise düşük dereceli dalgalı sönme göstermektedir. İnce kesitlerde ayrıca önemli miktarda kayaç parçaları (litik taneler) bulunmaktadır. Bunlar çoğunlukla köşeli-yarı köşeli biçimde gözlenmektedir. Volkanik kayaç parçalarının oranı baskın olmakla birlikte yer yer sedimanter kayaç parçaları görülür.



Şekil 8. a) ve b) Hidrotermal altere olmuş kumtaşlarının arazideki görünüşleri. Kumtaşı örneğinin mikroskopta tek nikolde (c) ve çift nikoldeki (d) görüntüleri. Pl: Plajiyoklas, Kp: kayaç parçası

Yaygın gözlenen volkanik kayaç parçaları kumtaşlarının kaynağında volkanik kayaçların önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Matriksi oluşturan ince taneli mineraller ve volkanik malzemeler ile iri taneli feldispat ve kayaç parçalarından dolayı kayaçta orta-kötü derecede bir boylanma görünümü sunmaktadır. Matriksi bol olan seviyelerde kumtaşlarının dokusal olgunluğunun düşük olduğu ve bu durumun hızlı çökelme koşullarına işaret ettiği düşünülmektedir.

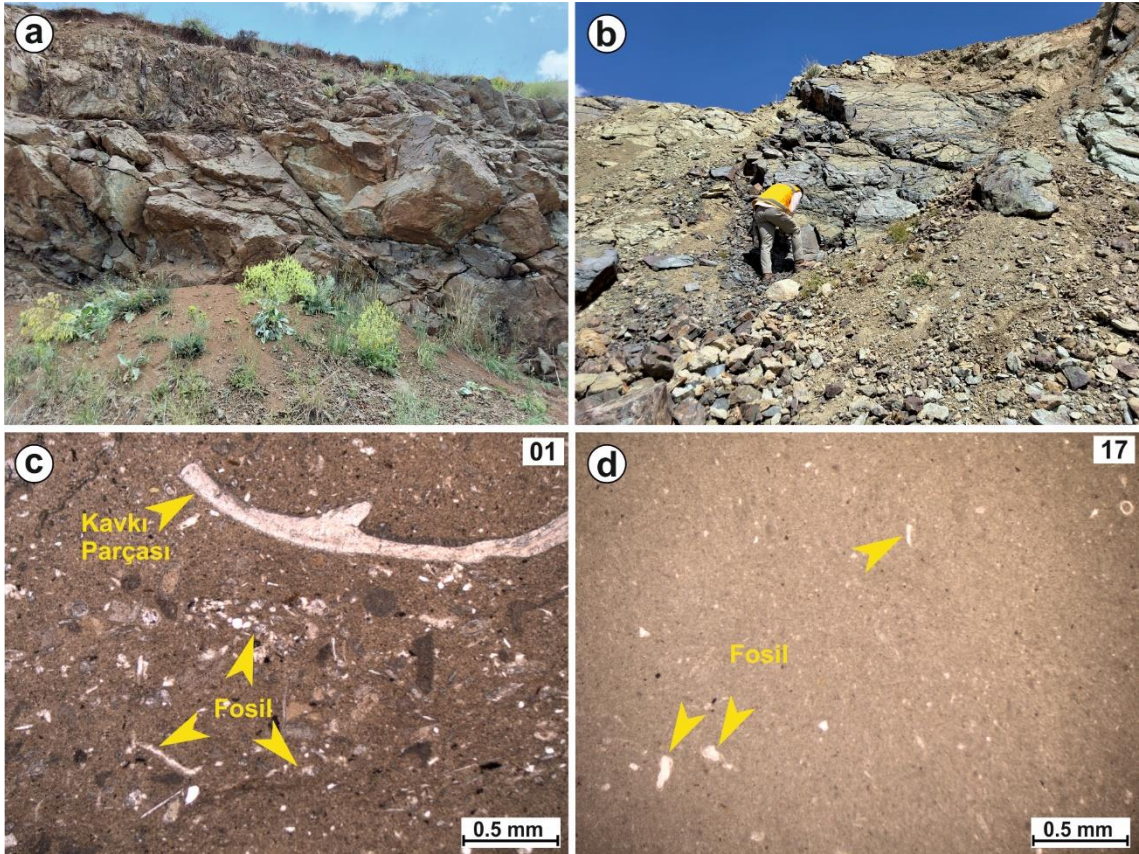
Petrografik incelemelerde kumtaşlarının ikincil alterasyon süreçlerinden önemli ölçüde etkilendiği de belirlenmiştir. Özellikle feldispat minerallerinde yaygın serizitleşme, yer yer ise opak mineraller ve tane sınırları boyunca gelişmiş hematitleşme gözlenmektedir. Hematitleşme, kayaçlara kırmızımsı-kahverengi renk kazandırmakta olup, arazide gözlenen renk değişimleriyle uyumludur. Bu alterasyon türleri, kayaçların diyajenez sonrası süreçlerde oksitleyici akışkanlarla etkileşime girdiğini göstermektedir.

3.2.2. Kireçtaşı

Kireçtaşları inceleme alanında yaygın olarak yüzeylenmekte olup, görünimleri hakımından kumtaşlarıyla benzerlik göstermektedir (Şekil 9a-b). Arazideki kayalar genellikle yoğun çatlaklı ve kırıklı bir yapıya sahip olup, bu kırık ve çatlak sistemleri yer yer kayaç bütünlüğünü bozacak derecede gelişmiştir.

Arazide kireçtaşları çoğunlukla bloklu ve masif görümlü olup, bazı kesimlerde kırıklı zonlar boyunca parçalanmış ve döküntülü yüzeyler oluşturmuştur (Şekil 9b). Yer yer gözlenen açık sarı, bej ve grimsi tonlardaki renk değişimleri, yüzeysel ayrışma ve ikincil süreçlerin etkisini yansıtmaktadır. Kırık ve çatlakların yoğun olduğu kesimlerde mekanik ayrışmanın daha baskın olduğu, bu alanlarda kayaçların daha kolay ufalandığı gözlenmiştir. Bu özellikler, kireçtaşlarının hem tektonik deformasyonlardan hem de sonrasında gelişen fizikokimyasal ayrışma süreçlerinden etkilendiğini göstermektedir.

Kireçtaşlarının petrografik özelliklerine bakıldığında genel olarak alt seviyelerinde daha iri taneli ve bol fosil içeriğine sahip olduğu, buna karşın birimin üst seviyelerine doğru gidildikçe tane boyutunun incelendiği ve fosil içeriğinin azaldığı belirlenmiştir (Şekil 9c-d). Dolayısıyla kireçtaşlarının tane ve fosil içeriklerinin değişkenlik gösterdiği ortaya konmuştur.



Şekil 9. a) ve b) Kalın tabakalı kireçtaşlarının arazideki görünümü. c) ve d) Biyomikritin mikroskopta tek nikoldeki görünümü

Birimin alt seviyelerinde yer alan kireçtaşlarının, bol fosil ve kavkı parçalarından oluşan organik bileşenlerin yanı sıra kalsit, kuvars ve feldispat minerallerini içeren, belirgin taneli bir dokuya sahip olduğu gözlenmektedir (Şekil 9c). Bu örneklerde fosil kalıntıları genellikle parçalanmış durumda olup, biyoklastlar matriks içerisinde düzensiz biçimde dağılmıştır. Kavkı parçaları çoğunlukla kalsitçe zengin olup, bazı fosil parçalarının iç yapılarının kalsit mineralleriyle doldurulduğu izlenmektedir (Şekil 9c). Kayaç bünyesinde kalsit tanelerinin yanı sıra silis (kuvars) tanelerinin de bulunması, sedimanter ortama karasal katkının eşlik ettiğini göstermektedir. Taneler genellikle özşekilsiz olup, tane boyutları değişkenlik sunmaktadır.

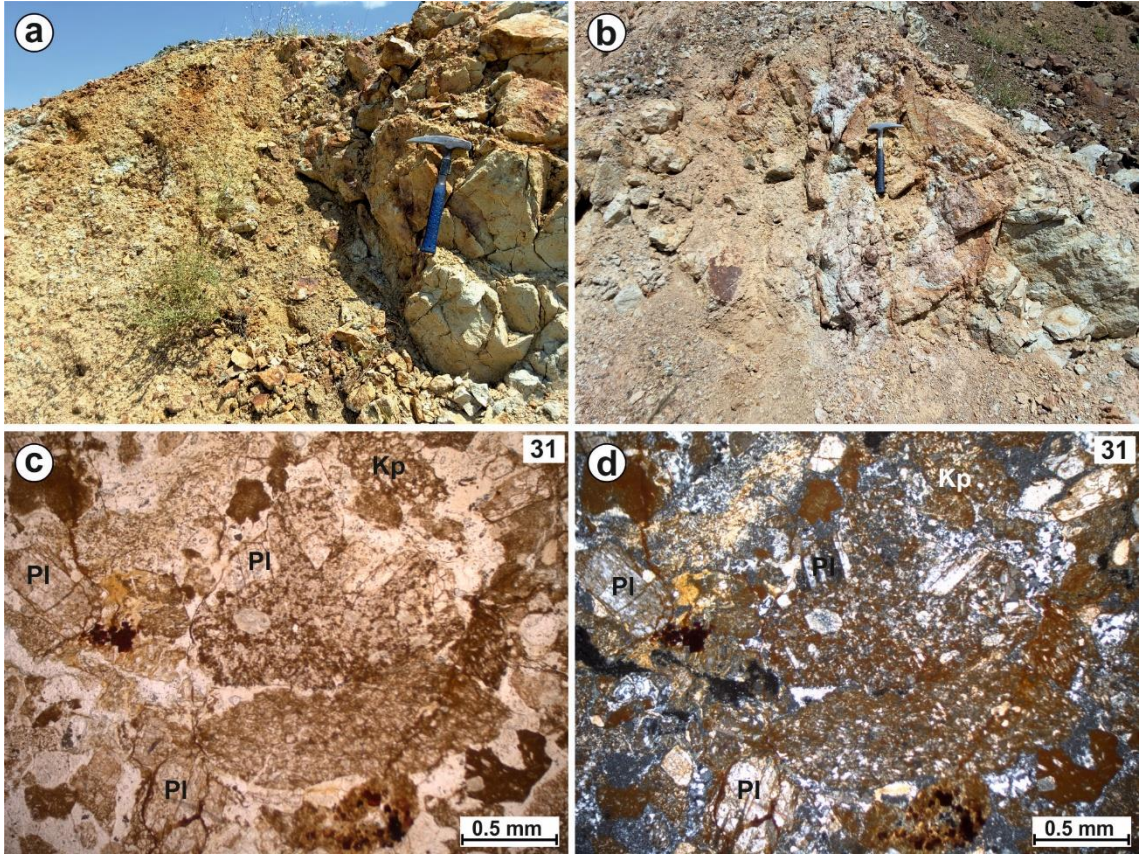
Fosil içeriğinin çok az olduğu veya bulunmadığı üst seviyelerde ise ince taneli ve homojen bir karbonat matriksinin baskın olduğu bir doku gözlenmektedir (Şekil 9d). Bu örneklerde mikritik matriks hâkim olup, biyoklast ya da belirgin tane içeriği oldukça sınırlıdır. İnce taneli doku, daha derin ve sakin çökelme koşullarını ve biyolojik faaliyetin sınırlı olduğu bir sedimanter ortamı işaret etmektedir. Fosilsiz ve mikritik dokulu bu seviyeler, Hamurkesen Formasyonu kireçtaşlarının içerisindeki fasiyes değişimlerinin varlığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, petrografik veriler Hamurkesen Formasyonu kireçtaşlarının hem fosilli (biyo) hem de fosilsiz–mikritik özellikler sunan farklı litolojik seviyelerden oluştuğunu göstermektedir. Bu çeşitlilik, çökelme ortamında zamanla değişen enerji koşullarına, biyolojik üretkenliğe ve sediman girdisine bağlı olarak gelişmiş olmakla birlikte, çalışma alanındaki kumtaşlarıyla benzer kırıklı ve çatlaklı yapı sunmaları, benzer tektonik süreçlerden etkilendiğini desteklemektedir.

3.2.3. Tüf

Hamurkesen Formasyonu içerisinde tüfler, nispeten daha az yüzeyleme sunmakta ve arazide belirgin litolojik özellikleri ile kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Genellikle açık sarımsı, bej ve yer yer grimsi-kahverengimsi tonlarda, gevşek–orta derecede pekleşmiş bir görünüme sahiptir (Şekil 10a-b). Çoğunlukla parçalanmış, düzensiz yüzeyli ve alterasyona uğramış bir karakterde ve döküntülü bir yapı sergilemektedir. Bu nedenle yer yer bloklu yapıda ve çoğunlukla ince taneli ve kırıntılı bir görünüm sunmaktadır. Bu tüf seviyelerinin, çevre birimlere göre daha kolay ayırt edilmesini sağlamaktadır.

Petrografik olarak kayaçların mineral ve kayaç parçalarında oluşan bir bileşime sahip olduğu belirlenmiş olup başlıca plajiyoklas, monokristalin ve polikristalin kuvars, alkali feldispat gibi kristallerin yanı sıra kayaç parçaları (çoğunlukla volkanik), ikincil serizitleşme ve hematitleşme görülmektedir (Şekil 10c-d). Plajiyoklaslar genellikle özşekilsiz - yarı özşekilli olup, yer yer kırıklı ve alterasyona uğramış görünümler

sergilemektedir. Kuvars taneleri ise çoğunlukla özşekilsiz olup, ince taneli ve hamur içerisinde dağınık olarak yer almaktadır. Tüfler genellikle yoğun olarak alterasyona uğramış olduklarından hematitleşme yaygın olarak gözlenmektedir (Şekil 10d).

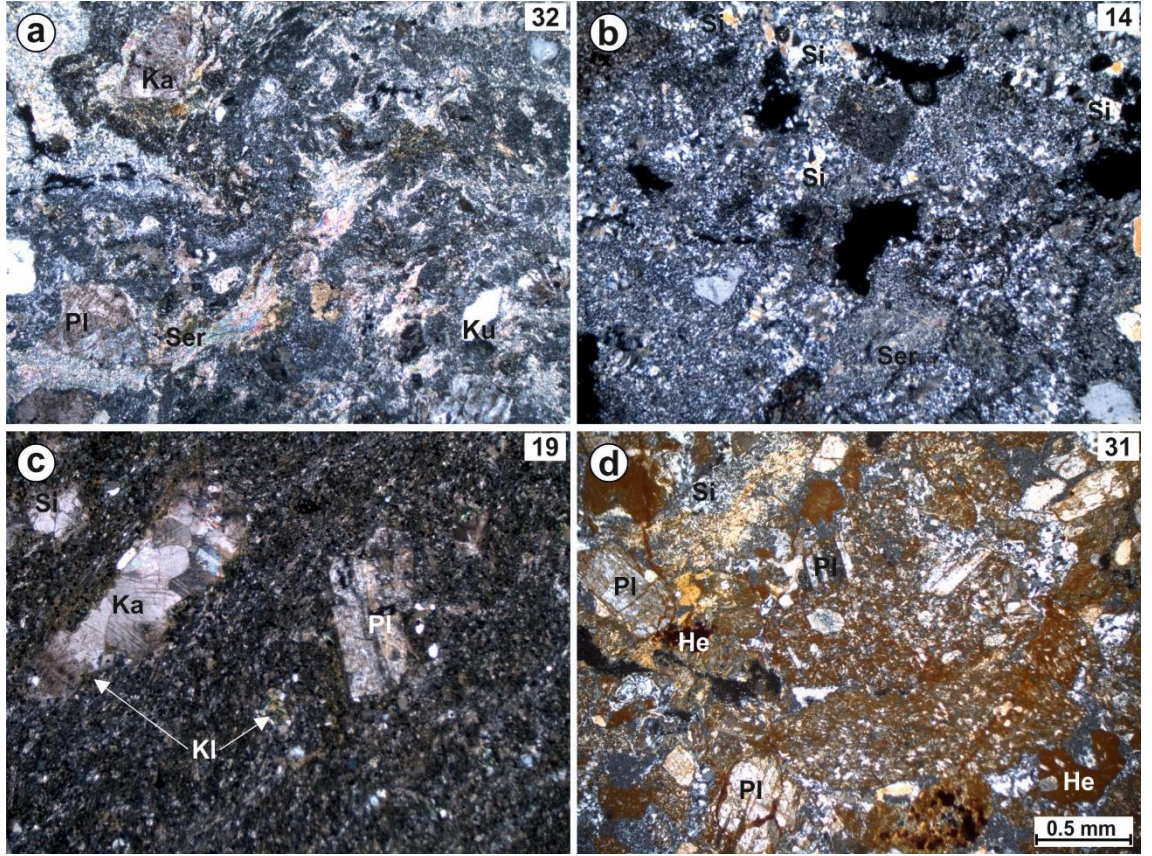


Şekil 10. Hidrotermal altere olmuş tüflerin a-b) arazi ve c-d) mikroskop görünümü. Pl: Plajiyoklas, Kp: Kayaç parçası

3.3. Tüflerde Alterasyon Mineralojisi

Çalışma alanındaki tüflerde hidrotermal ayrışması sonucu, serizitleşme/ilitleşme, silisleşme, karbonatlaşma, kloritleşme, piritleşme, hematitleşme ve limonitleşme türünde ayrışmalar gelişmiştir (Şekil 11). Bu ayrışma mineralleri tüflerin mikroskop ve tüm kayaç kimyası analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Serizit/illit, tüflerde belirlenen en yaygın ayrışma türü olup, feldispatların ayrışma ürünü olarak görülmektedir. Serizit/illit minerali bazı feldispatların yerini tamamen almıştır (Şekil 11a). Tüflerde bazı plajiyoklaslarda serizit/illit, silis ve karbonat oluşumları görülmektedir (Şekil 11b). Bu şekilde görülen plajiyoklastlar ‘filled feldspar’ olarak adlandırılmaktadır (Halbach vd., 2003; Sipahi, 2005). Tüflerin hamurunda da serizit/illit mineralleri yaygın olarak mevcut olup, ikincil kuvars (silis) ve hematit mineralleri de eşlik etmektedir. Serizit/illit birçok tuf örneğinde esas alterasyon ürününü oluşturmaktadır.



Şekil 11. Altered tuffs'ın mikroskop görünüşleri. a) Serizit/illite dönüşmüş feldispatlar, b) Silisleşme, c) Karbonat ve klorit mineralleri ve d) Hematite dönüşmüş piritler. Ser: Serizit, Si: Silis, Ka: Karbonat minerali, Kl: Klorit, He: Hematit

Genellikle kırık zonlarda görülen silisleşme serizit/illit minerallerinden sonra tüflerde görülen en yaygın alterasyon türünü oluşturur (Şekil 11b). Kırık zonlarından uzaklaştıkça silisleşme azalmakta ve bunlara serizit ve karbonat mineralleri eşlik etmektedir. Karbonatlaşma, tüflerdeki feldispatların ayrışması sonucu ve kırık zonlarında ikincil kuvars minerali ile birlikte bulunmaktadır (Şekil 11c). Genellikle ferro-magnezyen minerallerin ayrışma ürünü olarak çok az klorit görülür. Bazı feldispatların ikiz düzlemleri ve kırıkları boyunca da gözlenmektedir (Şekil 11c). Pirit tüflerin kırık zonların ve genelde yaklaşık 1 mm boyutunda gelişmiştir. Piritlerin ayrışma ürünü olarak tüflerde hematit ve limonit oluşumları görülmektedir (Şekil 11d).

3.4. Tüm-kayaç ve Alterasyon Jeokimyası

Çalışma kapsamında, Karayaşmak köyü ve yakın çevresinde yüzeyleme veren Liyas yaşlı kumtaşları ve tüflerin oluşum süreçlerini, ayrışma mineralojisini, tektonik ortamlarını ve ana kayaçlarla olan petrolojik ilişkilerini ortaya koyabilmek amacıyla tüm kayaç jeokimya analizleri gerçekleştirilmiştir. Kumtaşları ve tüflerden temsilen seçilen 7 adet örnekte ölçülen değerler Tablo 1’de verilmiştir.

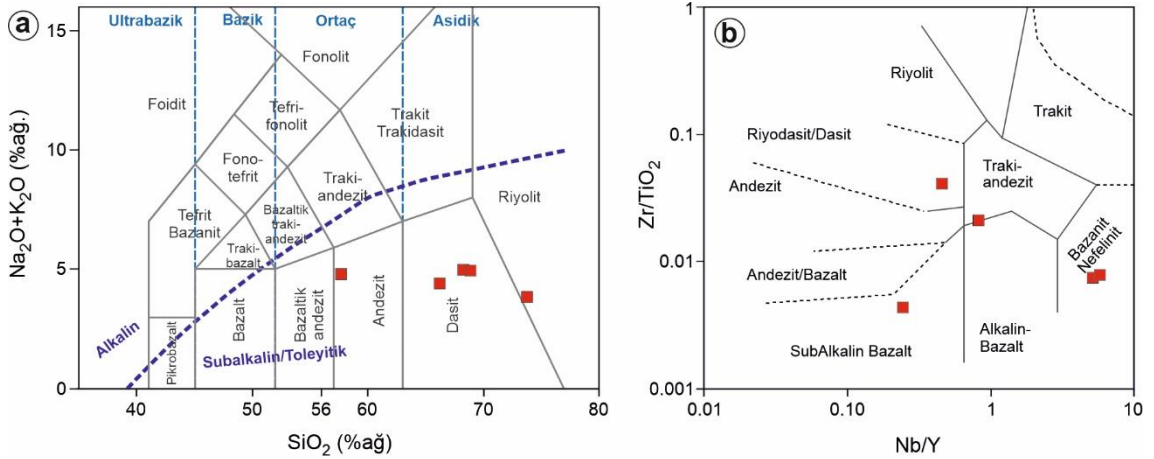
Tablo 1. Çalışma alanında alterasyonlu sahadan alınan tüf ve kumtaşlarına ait tüm-kayaç ana oksit (%ağ.) ve iz element (ppm) analiz sonuçları

Örnek No	13	14	16	19	32	28	31
Kayaç türü	tüf	tüf	tüf	tüf	tüf	kumtaşı	kumtaşı
SiO ₂	65,5	71,2	63,1	53,9	65,3	63,2	60,1
TiO ₂	0,8	0,6	0,4	0,7	0,2	0,9	0,6
Al ₂ O ₃	20,5	16,5	19,5	18,2	15,7	20,9	18,5
Fe ₂ O ₃	3,2	3,7	3,6	8,5	3,8	3,1	8,5
MnO	a.l.a.	a.l.a.	0,1	0,1	0,1	a.l.a.	0,1
MgO	1	0,8	2,5	3,9	2,2	1,1	2
CaO	0,4	0,3	2,2	4,2	3,1	0,9	0,6
Na ₂ O	0,3	0,3	0,5	3,2	1,8	0,2	1,8
K ₂ O	4,5	3,4	3,7	1,3	2,9	4,6	2,9
P ₂ O ₅	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1
A.K.	3,3	2,85	4,35	5,55	4,45	4,15	4,5
Toplam	99,6	99,8	100,1	99,9	99,7	99,2	99,7
Be	0,9	1	1,3	0,6	1,1	1	0,9
Sc	4,3	3,1	3,8	12,5	3,9	4,4	6,5
V	115,6	115,3	48,4	77,2	21,8	165,4	115,2
Cr	63,6	107	42,3	17,2	67,8	64,4	48,9
Co	6,4	4,7	5	10,1	2,5	2	9,4
Ni	9,2	8,9	9	3,7	6,7	6,4	10,2
Cu	16,8	10,8	0,9	23,6	1,7	10	26,1
Ga	11,8	11,9	13,2	16,1	13,2	15,7	13,5
Rb	85,6	62,5	77,5	30,8	56,3	94,7	57,8
Sr	35,7	20,9	25,7	49,6	14,7	37,9	18,2
Y	2,3	1,9	6,5	24,2	7,2	1,9	5,5
Zr	59,1	47,2	83,7	30,4	81	71,3	49,9
Nb	11,9	11	5,3	5,9	3,3	16,7	10,2
Cs	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Ba	1344,5	923	312,2	135,6	305,6	1427,2	236,2
La	6,9	4,2	7,1	8,7	6,4	6,5	4,2
Ce	14,6	9,3	16,1	21,5	13,3	13,4	10
Pr	1,8	1,2	2,1	3	1,8	1,5	1,2
Nd	7,6	5,2	9	13,5	8,3	6,2	6
Sm	2,5	1,2	2,3	3,8	2,3	2,2	1,7
Eu	0,8	0,3	0,5	1	0,6	1	0,4
Gd	1,2	1	2,3	4,7	2,3	1,1	1,7
Tb	0,1	0,1	0,3	0,8	0,3	0,1	0,2
Dy	0,8	0,4	1,4	4,4	1,5	0,6	1,2
Ho	0,1	0,1	0,2	0,9	0,3	0,1	0,3
Er	0,2	0,2	0,7	2,4	0,8	0,2	0,6
Tm	a.l.a.	a.l.a.	0,1	0,3	0,1	a.l.a.	0,1
Yb	0,2	0,1	0,5	2,3	0,6	0,2	0,5
Lu	a.l.a.	a.l.a.	0,1	0,3	0,1	a.l.a.	0,1
Hf	a.l.a.	a.l.a.	a.l.a.	a.l.a.	a.l.a.	a.l.a.	a.l.a.
Ta	0,8	0,7	0,4	0,4	0,2	1,1	0,7
Tl	0,1	0,1	a.l.a.	a.l.a.	a.l.a.	0,1	0,1
Pb	8,1	16,6	a.l.a.	a.l.a.	0,6	12,5	207,9
Th	0,5	0,4	0,5	0,2	0,2	0,5	0,4
U	0,3	0,3	a.l.a.	a.l.a.	a.l.a.	0,2	0,1
As	61,9	141,4	a.l.a.	a.l.a.	0,9	61,9	17,1
Mo	5,5	9,2	2,4	1,1	3,9	6,9	2,8
Sb	3,5	6,7	1,8	2,9	1,9	4,5	2,7
LAI	0,9	1,2	1,5	2,8	1,3	0,9	2,2
CIA	77,09	77,76	68,84	55,99	57,22	75,06	72,01
AI	89	88	70	41	51	84	67
PIA	58,77	60,42	54,70	51,66	45,78	57,18	59,79
CCPI	47	55	59	73	56	47	69
CIW	94,38	94,08	80,17	58,52	64,62	91,40	82,03
Mol Al/Na	29,63	23,85	16,91	2,47	3,78	45,32	4,46

a.l.a.: Analiz limitinin altında

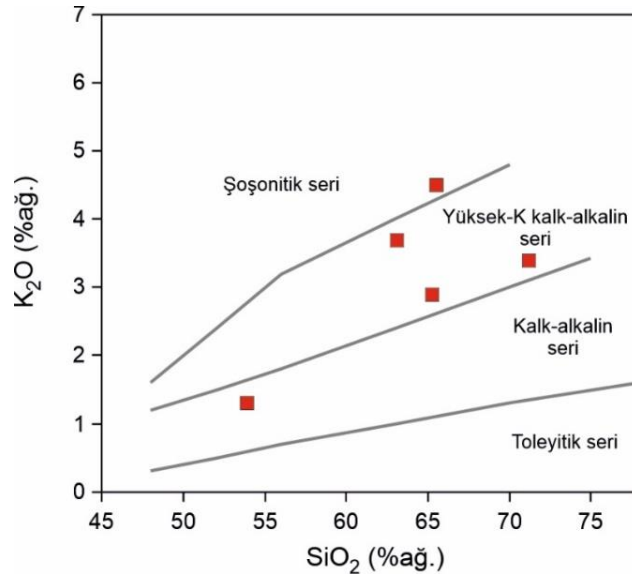
Kumtaşlarının ateşte kayıp (AK) değerleri %4,15-%4,5, tüflerin AK değerleri ise %2,85-%5,55 arasında değişmektedir. SiO₂ içerikleri kumtaşlarında dar (%60,1-63,2), tüflerde ise geniş (%53,9-%71,2) bir değişim aralığı sergiler. Al₂O₃ ve Fe₂O₃* değerleri kumtaşlarında sırasıyla %18,5-20,09 ve %3,1-8,5 arasında değişirken tüflerde %15,07-20,05 ve %3,2-8,5 arasındadır. CaO ve Na₂O içerikleri kumtaşlarında nispeten düşük olup sırasıyla %0,6-0,9 ve %0,2-1,8 iken tüflerde %0,3-4,2 ve %0,3-3,2 aralığındadır.

Gerek toplam alkali-silis (TAS) diyagramı ve gerekse ayrışma süreçlerinde daha duraylı olan Zr, Nb, Y ve Ti gibi elementlerin dikkate alınarak yapıldığı kimyasal sınıflamada kayaçların türleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. TAS diyagramı, tüflerin büyük ölçüde dasitik bileşime sahip olduğunu, ancak bileşimlerinin andezitten dasite kadar uzanan bir aralıkta değiştiğini göstermektedir (Şekil 12a). Diğer yandan alterasyona karşı daha duraylı elementlere göre yapılan sınıflamada ise yine örneklerin bazalttan riyolite kadar değişen dağınık ve farklı kayaç türlerinde olduğu görülmektedir (Şekil 12b). Bu durum tüfleri oluşturan kayaçların farklı bileşimlerden türediğini göstermekte olup, petrografik analizle birlikte litik kristal tuf olarak adlandırılmıştır.

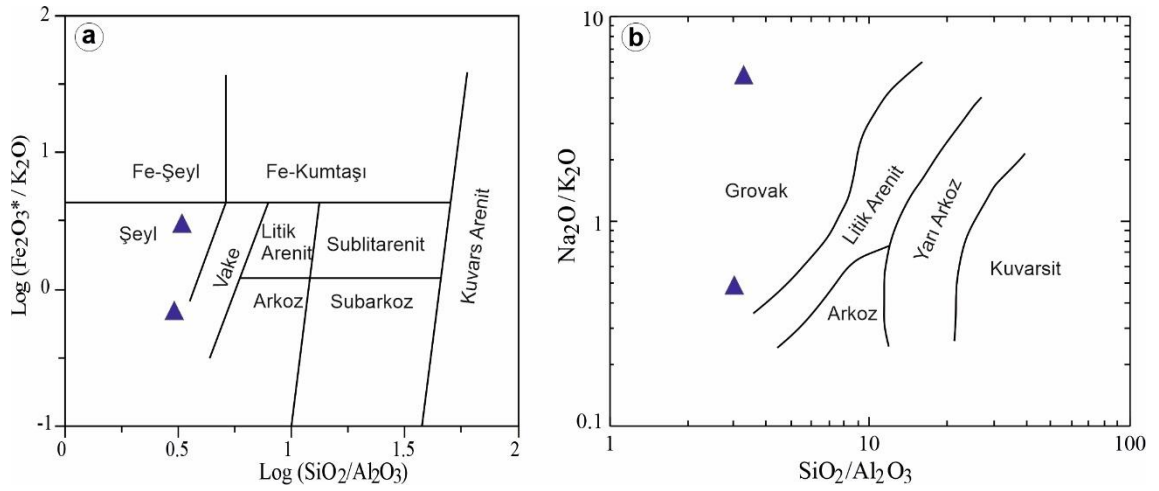


Şekil 12. a) Toplam alkali-silika (TAS) (Le Bas vd., 1986) ve b) Nb/Y-Zr/TiO₂ diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977). Alkalın-subalkalin ayırım eğrisi: Irvine ve Baragar (1971).

İncelenen tüflerin K₂O içerikleri %1,3-4,5, SiO₂ içerikleri %53,9-71,2 arasında değişmekte ve genel olarak orta-yüksek K'lu kalk-alkalin afiniteye sahiptir, K₂O ve Na₂O değerleri çoğunlukla sodik kısmen ise potasik bir afiniteye göstermektedir (Şekil 13). Ana oksitlerden SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃* ve K₂O dikkate alınarak oluşturulan ve tüm kırıntılı kayaçların sınıflandırıldığı log(SiO₂/Al₂O₃)'e karşı log(Fe₂O₃*/K₂O) diyagramında (Heron, 1988) örnekler şeyl alanında yer almaktadır (Şekil 14a). Bununla beraber, sadece kumtaşlarının sınıflandırıldığı K₂O/Na₂O-SiO₂/Al₂O₃ diyagramında (Şekil 14b) ise grovak (psammit) bileşimi yansıtmaktadır (Pettijohn vd., 1987; Creaser vd., 1997).

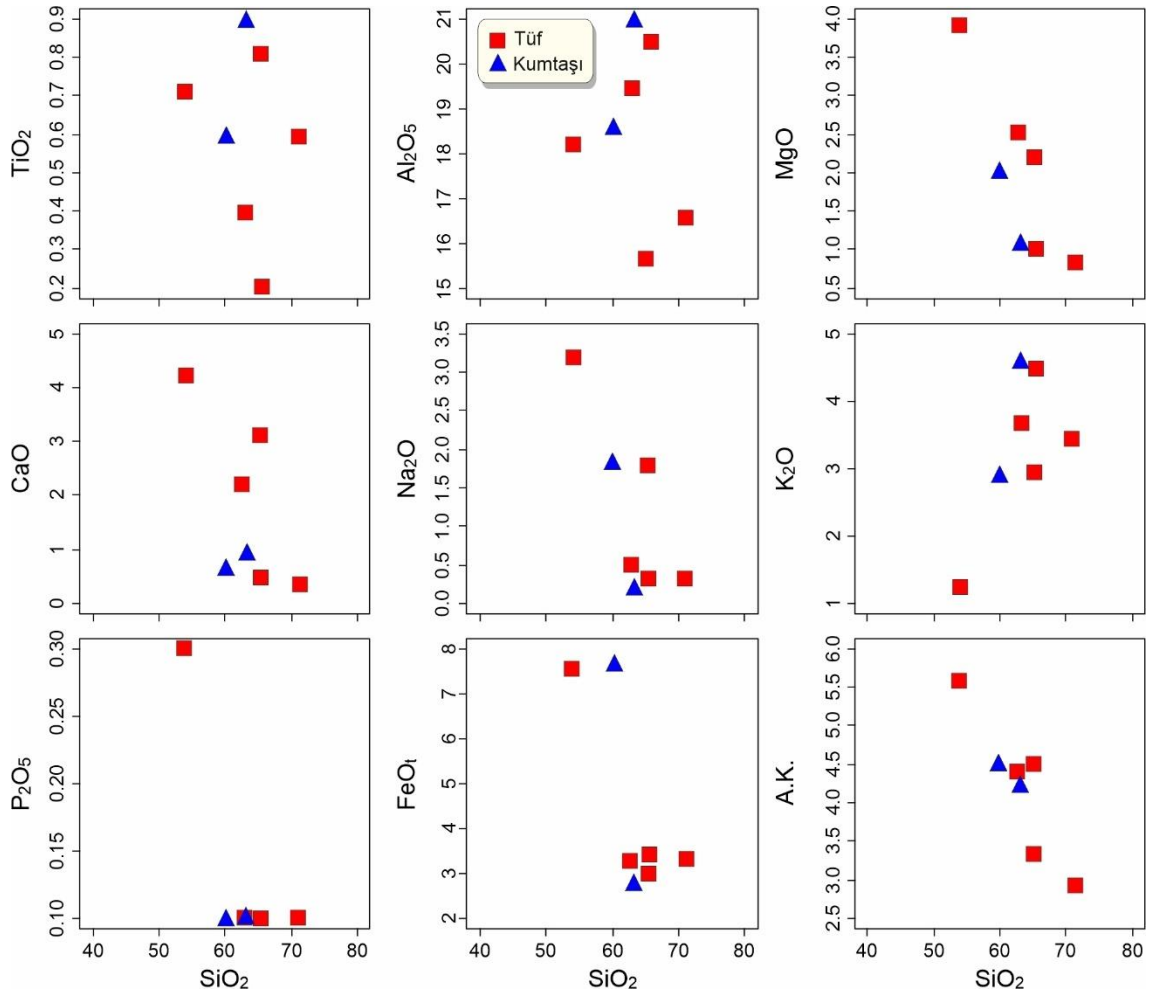


Şekil 13. K₂O - SiO₂ (Peccerillo ve Taylor, 1976) diyagramı



Şekil 14. Kumtaşlarının a) $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{K}_2\text{O})$ 'ya karşı $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ diyagramı (Heron, 1988). b) $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ - $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ isimlendirme diyagramı (Pettijohn vd., 1972)

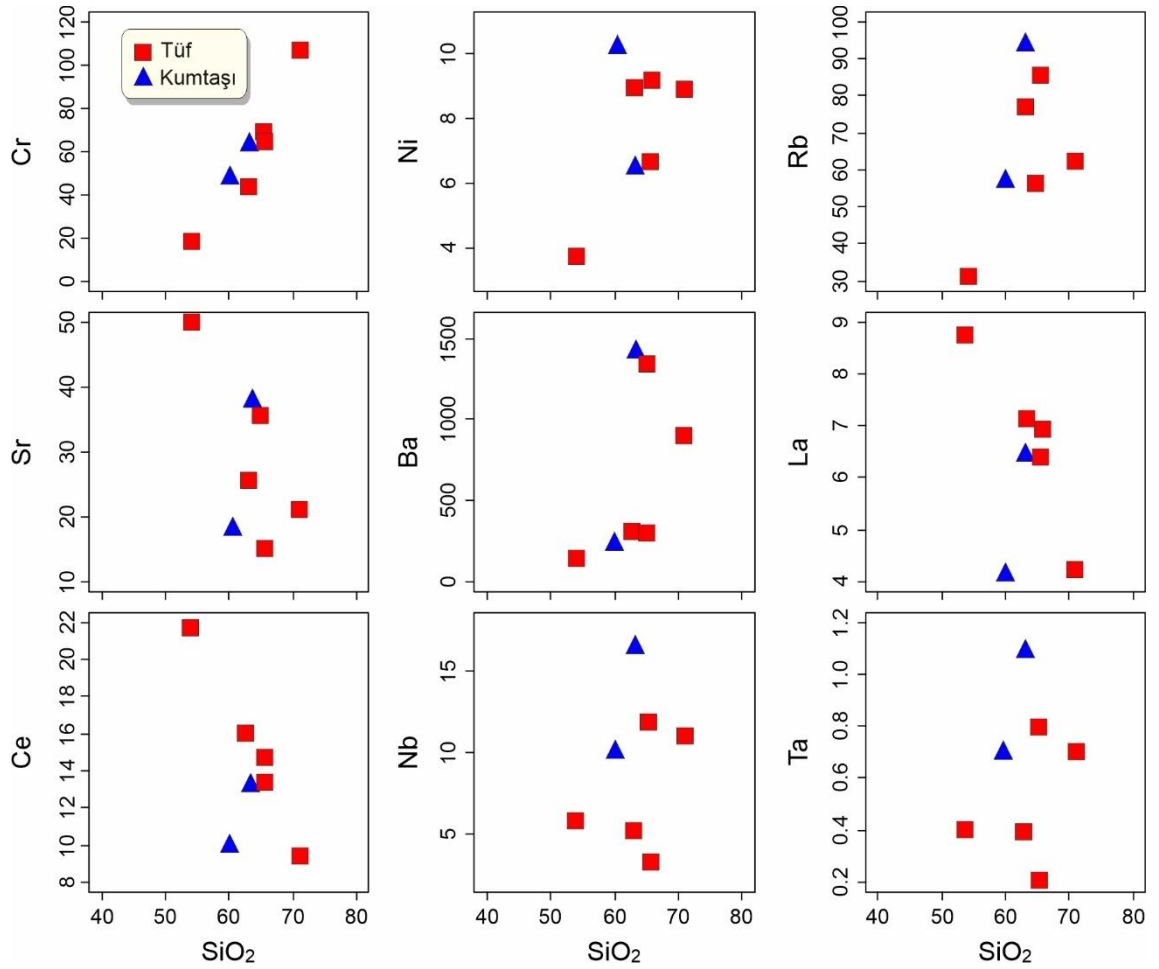
Tüflerde, SiO₂'ye karşı ana oksit değişim diyagramlarında elementlerin nispeten düzenli dağılım sergiledikleri gözlenir (Şekil 15). Kumtaşlarında TiO₂ zayıf pozitif bir yönseme gösterirken tüflerde zayıf negatif dağılım görülmektedir. Benzer şekilde Al₂O₃ içerikleri de tüflerde zayıf pozitif, kumtaşlarında ise zayıf negatif dağılım sergilemektedir. MgO içerikleri kumtaşları ve tüflerde negatif dağılım göstermektedir. Kumtaşları CaO içerikleri bakımından ise zayıf pozitif yönseme gösterirken tüflerde ise zayıf negatif bir dağılım göze çarpmaktadır. Tüfler ve kumtaşları Na₂O içerikleri bakımından negatif yönseme göstermektedir. Buna karşılık K₂O içerikleri her iki kayaç grubu için de pozitif yönseme sergilemektedir. P₂O₅ için örnekler düzensiz dağılım sergiler. FeO içerikleri kumtaşları ve tüflerde negatif dağılım göstermektedir. Tüfler ve kumtaşları AK içerikleri bakımından negatif dağılım sergilemektedir.



Şekil 15. SiO₂'ye karşı ana oksit değişim diyagramları

Kumtaşları ve tüflerde Cr pozitif yönseme göstermektedir. Ni içerikleri kumtaşlarında negatif dağılım gösterirken tüflerde pozitif dağılım göstermektedir. Rb içerikleri bakımından kumtaşları ve tüfler pozitif yönseme göstermektedir. Buna karşılık Sr içerikleri kumtaşlarında pozitif dağılım gösterirken tüflerde ise negatif dağılım göstermektedir. Ba içerikleri kumtaşları ve tüflerde pozitif yönlenme göstermektedir. La içerikleri kumtaşlarında pozitif yönlenme gösterirken tüflerde negatif dağılım gösterir. Aynı şekilde Ce içeriklerinde de kumtaşları pozitif dağılım gösterirken tüfler negatif dağılım gösterir. Nb ve Ta içerikleri birbirlerine benzer şekilde kumtaşlarında pozitif yönseme gösterirken tüfler de düzensiz dağılım gösterir (Şekil 16).

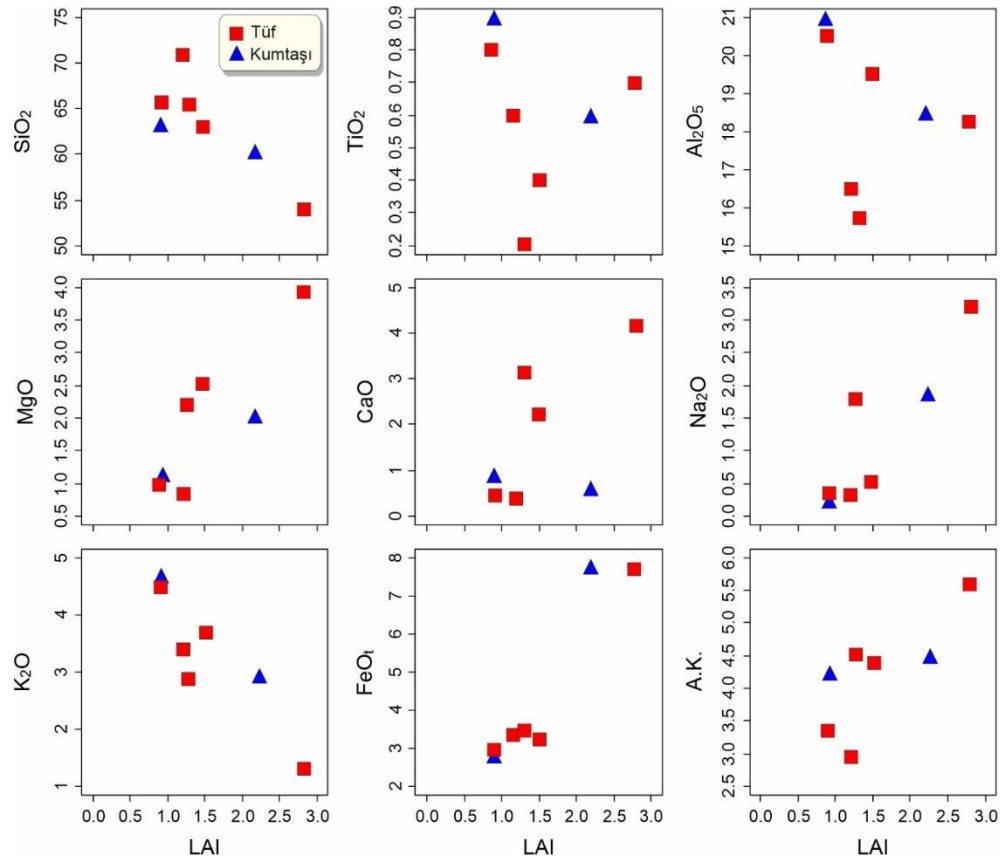
$L_{Al} (MgO + Fe_2O_3) / (Na_2O + K_2O)$; Lentz, 1996, 1999) değerlerine göre SiO₂ içerikleri kumtaşları ve tüflerde negatif dağılım gösterir. Benzer şekilde TiO₂ içerikleri kumtaşlarında ve tüflerde negatif yönseme göstermektedir. Al₂O₃ içerikleri kumtaşları ve tüflerde negatif yönseme gösterir. Kumtaşları ve tüfler MgO içerikleri bakımından pozitif dağılım gösterir. Benzer şekilde Na₂O içerikleri kumtaşları ve tüflerde pozitif yönseme gösterir.



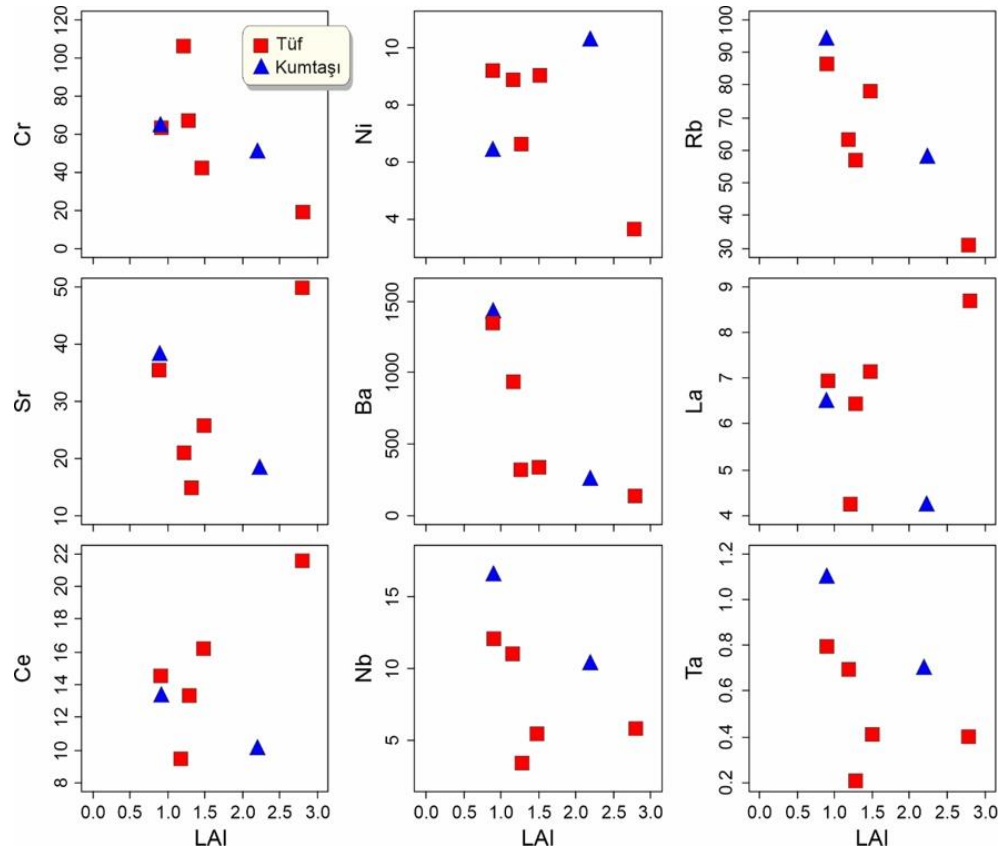
Şekil 16. SiO₂'ye karşı iz element değişim diyagramları

Ancak K₂O içerikleri kumtaşları ve tüflerde negatif dağılım gösterir. FeO kumtaşları ve tüfler için pozitif dağılım gösterir. AK içerikleri bakımından tüfler pozitif yönseme göstermektedir (Şekil 17).

$L_{AI} = (MgO + Fe_2O_3) / (Na_2O + K_2O)$ değerlerine göre Cr içerikleri kumtaşları ve tüflerde negatif yönseme gösterir. Ni içerikleri kumtaşlarında pozitif dağılım gösterirken tüflerde negatif dağılım gösterir. Buna karşın Rb içerikleri kumtaşları ve tüflerde negatif yönseme gösterir. Sr içerikleri kumtaşlarında negatif dağılım gösterirken düzensiz dağılım gösterir. Kumtaşları ve tüfler Ba içerikleri bakımından negatif yönseme gösterir. Kumtaşları La içerikleri bakımından negatif yönseme gösterirken tüflerde nispeten pozitif değişim gösterir. Benzer şekilde Ce içerikleri kumtaşlarında negatif yönseme gösterirken tüflerde pozitif yönseme gösterir. Nb içerikleri kumtaşlarında negatif dağılım gösterirken tüflerde düzensiz dağılım gösterir. Buna karşın kumtaşları ve tüflerde Ta içerikleri negatif dağılım göstermektedir (Şekil 18).



Şekil 17. L_{AI} $(MgO+Fe_2O_{3t})/(Na_2O+K_2O)$ değerlerine karşı ana oksit değişim diyagramları



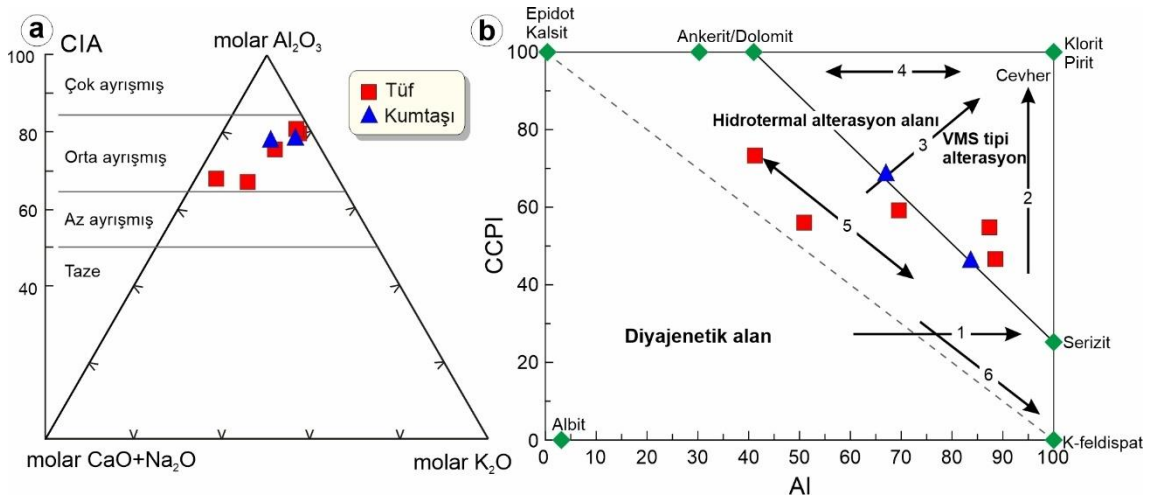
Şekil 18. L_{AI} $((MgO+Fe_2O_{3t})/(Na_2O+K_2O))$ değerlerine karşı iz element değişim diyagramları

Kumtaşlarını meydana getiren sedimanlar, çökelme havzasına gelmeden önce ve çökelme sonrası kimyasal ayrışmaya maruz kalabilmektedir. Havzaya taşınan kırıntılı sedimanların alkali ve toprak alkali içeriği kaynak alandaki kayaçların alterasyon derecesine bağlı olarak büyük oranda değişmektedir (Nesbitt vd., 1980; Schau ve Henderson, 1983; Reimer, 1985). Yüzeysel bozunma ve alterasyon, kırıntılı sedimanter kayaçların petrokimyalarını önemli ölçüde etkileyen sedimanter süreçlerin başında gelmektedir. Feldspat gibi kararsız minerallerde kimyasal ayrışma süreçlerinde Ca^{+2} , K^{+} ve Na^{+} kaybı yaşanarak bu elementler feldispatların bünyesinden ayrılır ve yüzey koşullarında daha kararlı minerallere dönüşümüne yol açar. Bu nedenle de ayrışma ürünlerinde alkalilere karşı alümina oranı tipik olarak artar (Nesbitt ve Young, 1982; Fedo vd., 1995). Dolayısıyla, ana element bileşimindeki değişimler genellikle Al_2O_3 - $(CaO+Na_2O)$ - K_2O jeokimyasal sisteminde değerlendirilmektedir (Nesbitt ve Young, 1984). Kırıntılı sedimanter kayaçların ayrışma derecesi en çok kabul gören ayrışma indeksinden biri olan kimyasal alterasyon indeksi ($CIA = \text{molar } [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^{*} + Na_2O + K_2O)] \times 100$) (Nesbitt ve Young, 1982; 1984) ile belirlenmektedir. CIA, çoğunlukla hareketsiz davranan Al_2O_3 'e karşı genellikle hareketli olan Ca^{+2} , K^{+} ve Na^{+} katyonları ile temsil edilmekte olup bu katyonlar oksit olarak verilmiştir. Eşitlikteki CaO^{*} kırıntılı sedimanter kayaçlarda sadece silikat minerallerinden ileri gelen CaO miktarını temsil etmektedir (Fedo vd., 1995). CIA değerleri, ikincil alüminyumlu kil minerallerinin, feldispat gibi birincil silikat minerallerine oranlarının bir ölçüsünü verir (Nesbitt ve Young, 1982; 1984). Kumtaşlarının CIA değerleri 72,01 ile 75,06 arasında değişmektedir. Tüflerin CIA değerleri 55,99 ile 77,76 arasında değişmektedir. Bu değerlere göre hem kumtaşları hem tüfler jeokimyasal olarak orta ayrışmış özellik sergilemektedir (Şekil 19a). Kayaç örneklerinin alterasyon türünü ve derecesini belirlemek amacıyla klorit-karbonat-pirit indeks ($CCPI = 100 \times (MgO + ^tFe_2O_3) / (MgO + ^tFe_2O_3 + Na_2O + K_2O)$) (Large vd., 2001) hesaplamaları yapılmıştır. Major element oksitlerine dayalı oranlamada tüfler için alınan değerler 47 ile 73 arasında değişmekte olup kumtaşları için alınan değerler ise 47 ve 69 dur. Kumtaşları numuneleri genel olarak volkanizma eşlikli masif sülfid (VMS) cevherleşme tipi alterasyon alanı içerisinde ve orta-yüksek CCPI ve orta Ishikawa ayrışma indeksi ($AI = (100 \times ((MgO + K_2O) / (MgO + K_2O + CaO + Na_2O)))$) (Ishikawa vd., 1976) değerleri arasında konumlanmıştır (Şekil 19b). Bu durum kumtaşlarının Mg-Fe zenginleşmesiyle ilişkili kloritik-propilitik alterasyonun etkili olduğunu ve bu birimlerin hidrotermal akışkanlardan önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir.

Kumtaşlarının konumu VMS tipi hidrotermal sistemlerle ilişkili alterasyon zonlarına yakınlığına işaret etmektedir.

Tüf numuneleri ise daha geniş bir dağılım sunmakta olup, bir kısmı diyajenetik alan ile hidrotermal alterasyon alanı arasında, bir kısmı da doğrudan hidrotermal alanı içerisinde yer almaktadır. Bu dağılım tüflerin hem diyajenetik süreçlerden hem de daha sonra gelişen hidrotermal alterasyonlardan etkilendiğini göstermektedir. Özellikle AI ve CCPI değerlerindeki artı, tüflerde serizitleşme, kloritleşme ve yer yer karbonatlaşma süreçlerinin etkili olduğunu göstermektedir.

Genel olarak çalışma alanındaki kayaçların tek tip bir alterasyondan değil, diyajenetik alterasyona kadar uzanan çok evreli bir jeokimyasal değişim geçirdiğini göstermektedir.



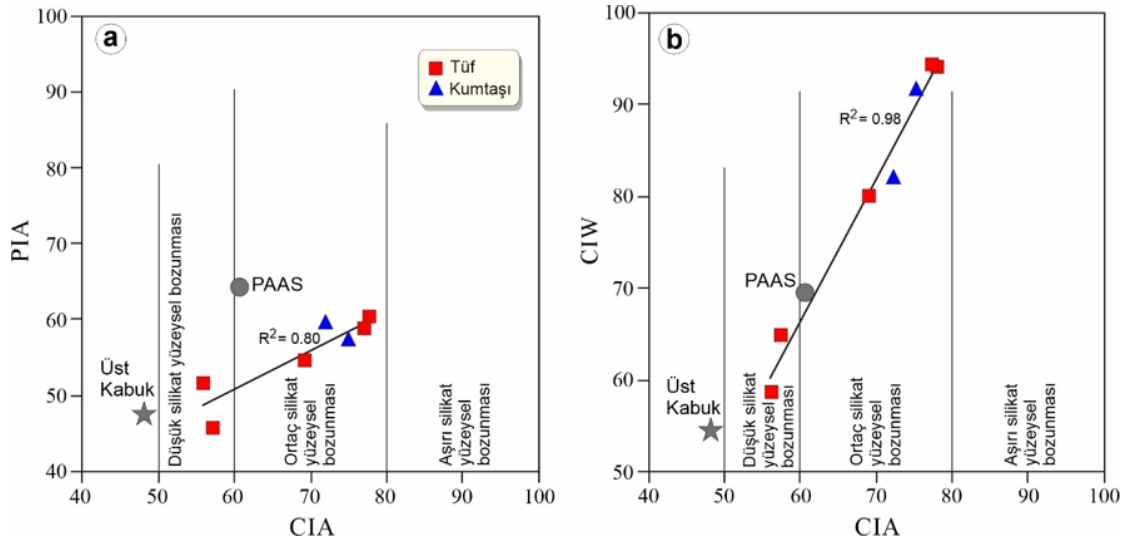
Şekil 19. a) Al_2O_3 - $(CaO^* + Na_2O)$ - K_2O (A-CN-K) diyagramı (Nesbitt ve Young, 1984). b) Çalışma alanından alınan 7 adet örneğin AI-CCPI diyagramındaki konumları. 1: Serizitik ayrışma, 2: Serizit- klorit ± pirit ayrışması, 3: Klorit ± serizit ± pirit ± ayrışması, 4: Klorit- karbonat ayrışması, 5: Serizit- karbonat ayrışması, 6: K-feldispat- serizit ayrışması (Large vd, (2001)'den alınmıştır).

Sedimanların ve kırıntılı sedimanter kayaçların silikat ayrışma derecesini ortaya koymak amacıyla kullanılan ve Fedo vd. (1995) tarafından önerilen bir diğer alterasyon indeksi ise plajiyoklas alterasyon indeksi ($PIA = \frac{\text{molar } [(Al_2O_3 - K_2O)]}{\text{molar } [Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O - K_2O]} \times 100$)'dir. Bu indeks plajiyoklasların sedimanlardaki bozunma yönelimlerini ortaya koymak için kullanılmaktadır. Ana oksitlerin moleküler oranları kullanılarak hesaplanana bu indeks aşağıdaki şekilde formülize edilir:

Eşitlikteki CaO^* kırıntılı sedimanter kayaçlarda sadece silikat minerallerinden gelen CaO miktarını temsil etmektedir (Fedo vd., 1995). Kumtaşlarının PIA değerleri 57,18-59,79 (ortalama 58,48) arasında değişmektedir (Tablo 1). Harnois (1988) tarafından kayaçlar için kimyasal yüzeysel bozunma indeksi ($CIW = \text{molar}$

$[Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO^*+Na_2O)] \times 100$ önerilmiştir. Moleküler oranlar kullanılarak hesaplanan CIW indeksinde, CIA ve PIA'dan farklı olarak K_2O ana oksiti kullanılmaz. Dolayısıyla bu ayrışma indeksi, K-metasomatizmasının etkisini ortadan kaldırmaktadır (Fedo vd., 1995).

Karayaşmak kumtaşlarının CIW değerleri 58,52-94,38 (ortalama 80,74) arasında değişmektedir. Bu değerler diğer ayrışma indeksleri ile karşılaştırıldığında, örneklerin kimyasal yüzeysel bozunmaya nispeten daha fazla maruz kaldıkları söylenebilir (Tablo 1). Kumtaşı ve tuf örneklerinin CIA, PIA ve CIW bozunma ilişkileri incelendiğinde örneklerin düşük ve ortaç derecede yüzeysel bozunma (düşük ve ortaç silikat yüzeysel bozunması) geçirdikleri görülmektedir (Şekil 20). PIA-CIA ($R^2=0.80$; Şekil 20a) ve CIW-CIA ($R^2=0.98$; Şekil 20b) ilişkileri ise kuvvetli pozitif korelasyon göstermektedir.



Şekil 20. Karayaşmak kumtaşları ve tüflerinin kimyasal bozunma indeksleri arasındaki ilişkiler. a) PIA (Fedo vd., 1995) - CIA (Nesbitt ve Young, 1982) diyagramı. b) CIW (Harnois, 1988)-CIA (Nesbitt ve Young, 1982) diyagramı. PAAS= Post-Arkeen ortalama Avustralya Şeylleri (Post Archean average Australian Shales), UC: Üst Kabuk)

3.5. Tüflerde Kütle Değişimi

Hidrotermal ayrışma ile birlikte kayaçların bünyesinde bulunan elementlerin oranında artma ya da azalma meydana gelmektedir. Kayaçlarda görülen kimyasal ve kütsel değişimleri anlamak için, çeşitli araştırmacılar (Gresens, 1967; Huston ve Cozens, 1984; Grant, 1986; MacLean ve Kranidiotis, 1987; MacLean, 1993; Barret ve MacLean, 1994) tarafından farklı yöntemler geliştirilmiştir.

Çalışma alanındaki tüflerde gözlenen hidrotermal ayrışmanın sebep olduğu kütsel ve kimyasal değişimi araştırmak amacıyla “İzokon Yöntemi” kütle değişim hesabı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Tüflere uygulanan “İzokon

Yöntemi” Gant (1976) tarafından bulunmuş ve Huston’un (1993) tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir.

Huston’un (1993) geliştirmiş olduğu İzokon Yöntemi’nde öncelikle ayrıışmış ve ayrıışmamış kayaçlarda, hareketsiz elementler (Nb, Y, Zr, Ti ve Al gibi) belirlenmektedir. Hareketsiz elementlerin belirlenmesinde elementler arası korelasyon katsayısından yararlanılmakta olup, bu elementler arasında en yüksek korelasyonu gösterenler arasında hareketsiz element belirlenmektedir. Sonrasında kayaçlarda ayrıışmadan en çok etkilenen elementleri merkeze yakın, az etkilenen elementleri de merkezden uzak ve hareketsiz elementleri de bu elementlerin aralarına dağıtarak sıralama yapılır. Bu sıralamada en hareketsiz olan element en sona yerleştirilir. Oluşturulan sıralamaya istinaden elementlerin her birine merkezden (orjin) itibaren ayrı ayrı olacak şekilde bir tam sayı verilerek ölçeklendirme yapılır. Ayrıışmış örnekteki her bir elementin konsantrasyonu C_i^A , az ayrıışmış örnekteki her bir element konsantrasyonu C_i^O ile ifade edilmekte olup, ölçeklendirilmiş olan ayrıışmış örneğin konsantrasyonu (C_i^S)

$$C_i^S = n_i \times C_i^A / C_i^O \quad (1)$$

formülü yardımıyla hesaplanır. Sonrasında ölçeklendirilmiş ayrıışmamış (veya az ayrıışmış) olan örneklerin bileşenleri x eksenine ve ayrıışmış olan örneklerin bileşenleri ise y eksenine yerleştirilerek grafik çizilir. En hareketsiz elementle merkezi (orjini) birleştiren doğru, izokon doğrusu olarak olarak isimlendirilir ve bu doğrunun eğimi ($m=C^A/C^O$) bulunur. İzokon doğrusunun üst kısmında bulunan örneklere ait elementlerin içeriklerinde artma, alt kısmında kalan numunelerin ise azalma gösterdiği kabul edilir. Hidrotermal ayrıışma esnasında artış ya da azalma göstermeyen örnekler ise doğrunun üst kısmında yer alır. İzokon doğrusunun eğimi (m) ayrıışma sonucunda kayaçta meydana gelen kütle değişiminin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Ayrıışmamış (veya az ayrıışmış) kayaca göre ayrıışmış olan kayaçta kütle değişimi söz konusu değilse $m = 1$ olacaktır. Kayaçta meydana gelen kütle artışı hareketli olan elementlerin konsantrasyonunu düşüreceği için $m < 1$ olacaktır. Buna göre ayrıışmamış (veya az ayrıışmış) kayaca göre her ayrıışmış kayacın göreceli kütle değişimi (%),

$$\Delta C_i^A (\%) = 100 \times [C_i^A / (m \times C_i^O) - 1] \quad (2)$$

formülünden hesaplanır. (2) nolu formülde m izokonun eğimi (C^A / C^O)’dir. 100 g’a göre net kütle değişimi ise

$$\Delta C_i^A (\text{g} / 100 \text{ g}) = [\Delta C_i^A (\%) / 100] \times [C_i^A (\text{g} / 100 \text{ g})] \quad (3)$$

formülü ile hesaplanır.

Ayrışmamış (veya az ayrışmış) kayaca göre oluşan net kütle değişimi (ΔM^A) ise,

$$\Delta M^A (\%) = 100 (1 / m - 1) \quad (4)$$

formülü ile hesaplanır (Huston, 1993).

C_i^A : i elementinin ayrışmış kayaçtaki konsantrasyonu,

C_i^O : i elementinin ayrışmamış (veya az ayrışmış) kayaçtaki konsantrasyonu,

ΔC_i^A : Ayrışmamış (veya az ayrışmış) kayaca göre ayrışmış kayaçtaki göreceli (%) ve net (g / 100 g) kütle değişimini belirtmektedir.

ΔM^A : Ayrışmamış (veya az ayrışmış) kayaca göre ayrışmış kayaçta oluşan net kütle (%) değişimi

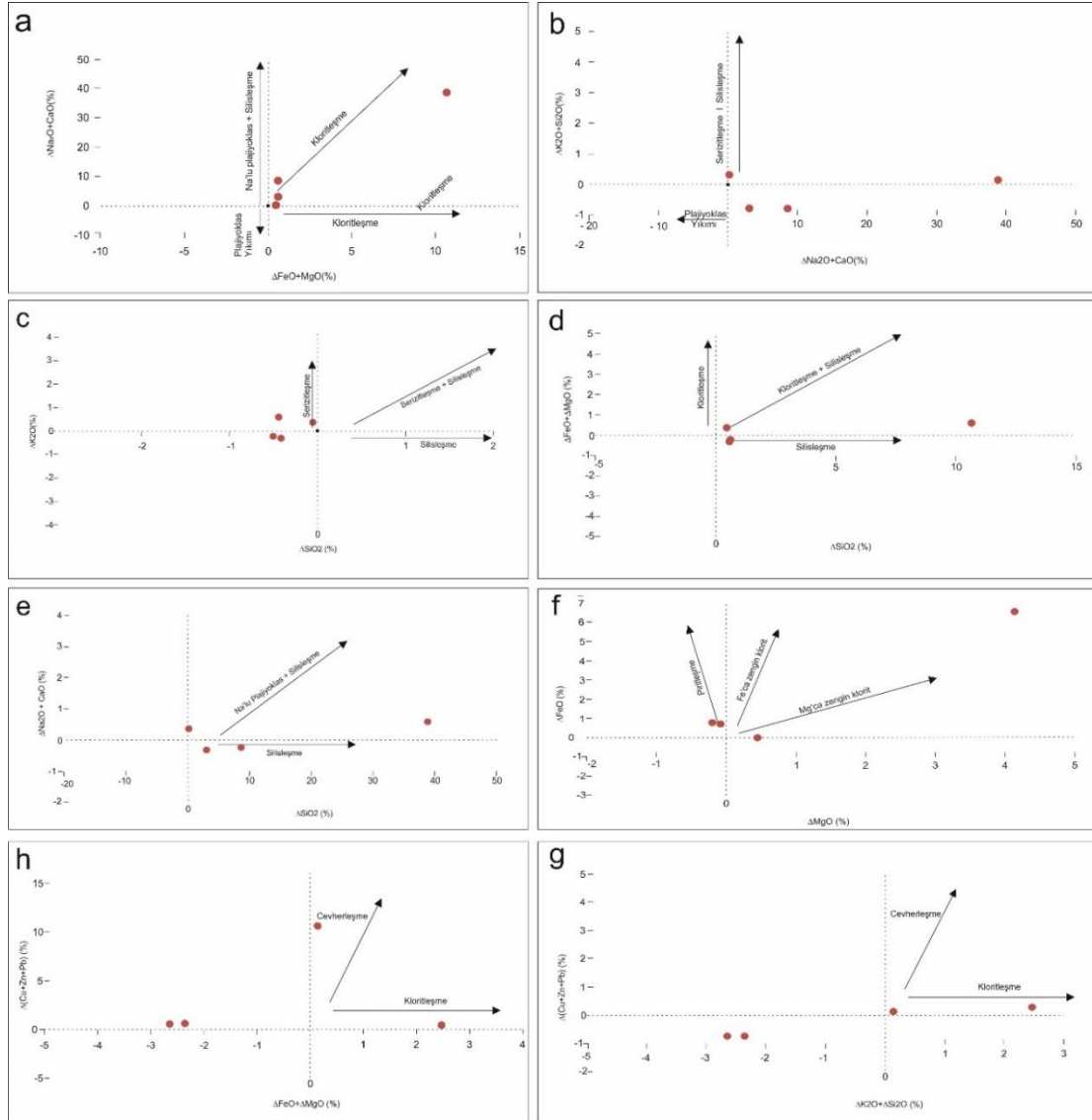
3.5.1. İzokon Yöntemine Göre Kütle Değişimin Hesaplanması

Tüflerdeki tüm elementlerin korelasyon matrisi hesabına göre Zr en yüksek ve en iyi korelasyon değerlerini göstermekte olup en hareketsiz element olarak belirlenmiştir (Ek Tablo 1 korelasyon matris tablosu). Tüflerde kütle değişim hesapları Zr elementine göre yapılmış ve Ek Tablo 2’de verilmiştir. İnceleme sahasındaki tüflerden alınan örnekler arasında en az ayrışmış örnek (13K) seçilerek tüm kayaçların izokon diyagramları oluşturularak izokon doğrularının eğimleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak izokonun eğimi ($m = CA / CO$) tüflerde 0,51 – 1,42 arasında değiştiği bulunmuştur (Ek Tablo 2).

3.5.2. Göreceli (%) Kütle Değişimi

Tüflerde göreceli kütle değişim hesaplarına (2 nolu formül) (Ek Tablo 1) göre bazı elementlerde meydana gelen göreceli (%) değişimler ve birbirleri aralarındaki ilişkileri irdelenmiştir (Şekil 21). Buna göre, tüflerde SiO_2 ’nin artışı silisleşmeye, K_2O ’un az miktarda artışı ise serizitleşmeye (illitleşmeye) neden olmuştur (Şekil 21a, d ve e). $\Delta(K_2O + SiO_2)$ ’ye karşı $\Delta(Na_2O + CaO)$ diyagramı incelendiğinde genel bir ifadeyle $\Delta(K_2O + SiO_2)$ değerlerinde çok fazla artış olmamasına karşın $\Delta(Na_2O + CaO)$ değerlerinde pozitif yöne doğru bir eğilim görülmektedir. Serizitleşme ve silisleşmenin egemen olmadığı, Na ve Ca bakımından, özellikle bir örnekte (Örn. No: 19), zengin bir hidrotermal alterasyonu temsil etmektedir (Şekil 20b). Tüflerde, silisleşme görülmektedir (Şekil 21e). Grafikte

$\Delta(\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$ 'ce görülen kısmi zenginleşme söz konusu kayaçların karbonat mineralleri içermesinden kaynaklanmaktadır.

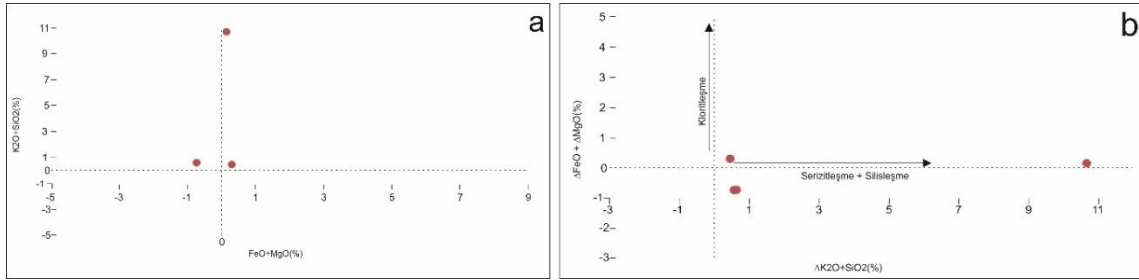


Şekil 21. Tüflerde hidrotermal ayrışmaya bağlı olarak değişen bileşenlerin hesaplanan göreceli (%) kütle değişimlerinin birbirlerine göre dağılımları

Tüysüz (1999), Sipahi (2005), Sipahi ve Sadıklar (2010), Akyürek ve Sipahi (2014) ve Sipahi vd. (2020)'nin yaptıkları çalışmalarda kayaçların silisleşme ve serizitleşme dereceleri arttıkça cevherleşmeye yaklaşıldığı önerilmiştir. Bu sebeple grafiklerde görülen tüf örneklerinin çoğu serizitleşmiştir.

Tüflerde $\Delta(\text{FeO})$ 'e karşı oluşturulan değişim diyagramlarında yüksek Fe+Mg değerleri gözlenmiştir (Şekil 21a). Tüflerde $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ ile $(\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2)$ arasındaki ilişki incelendiğinde, bir örnek hariç yaklaşık negatif yönde olduğu görülmektedir (Şekil 22a). Bu duruma istinaden, elementlerin farklı hidrotermal sıvılarla getirilmiş olabileceğini söyleyebiliriz. Eğer aynı sıvıdan kaynaklanmış olsalardı bu elementlerin

birbirleri ile pozitif korelasyon göstermeleri gerekirdi. Ancak burada durum tam tersidir. Ayrıca kütle değişim hesabıyla bulunan $\Delta(\text{FeO}+\text{MgO})$ ve $\Delta(\text{K}_2\text{O}+\text{SiO}_2)$ 'un birbirleri ile olan ilişkisine bakıldığında, farklı yönsemeler sundukları gözlenmektedir (Şekil 22b). Dolayısıyla $\Delta(\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2)$ değişimi artarken, $\Delta(\text{FeO}+\text{MgO})$ değişimi azalmaktadır. Tüflerde $\Delta(\text{FeO})$ 'e karşı oluşturulan göreceli değişim diyagramlarında kısmen de olsa Fe + Mg değerlerinde artış gözlenmiştir (Şekil 21a,d,f,h). Fe ile Mg değerlerine bakıldığında yönsemelerin farklı olduğu gözlenmektedir. Bu yönsemelere göre Fe kloritlerin bünyesinde bulunmaktadır. Tüflerin içerdiği Pb, Cu, Zn değişimlerinin silisleşme, kloritleşme ve serizitleşme ile olan ilişkisine bakıldığında genel olarak farklı davranmaktadırlar (Şekil 21g ve h). Kayaçlardaki $\Delta(\text{Zn}+\text{Cu}+\text{Pb})$ değerleri çok fazla değişmezken, $\Delta(\text{FeO}+\text{MgO})$ ve $\Delta(\text{K}_2\text{O}+\text{SiO}_2)$ değerleri genel olarak artmaktadır. Bu durum bunların farklı hidrotermal olaylarla geliştiğini göstermektedir.



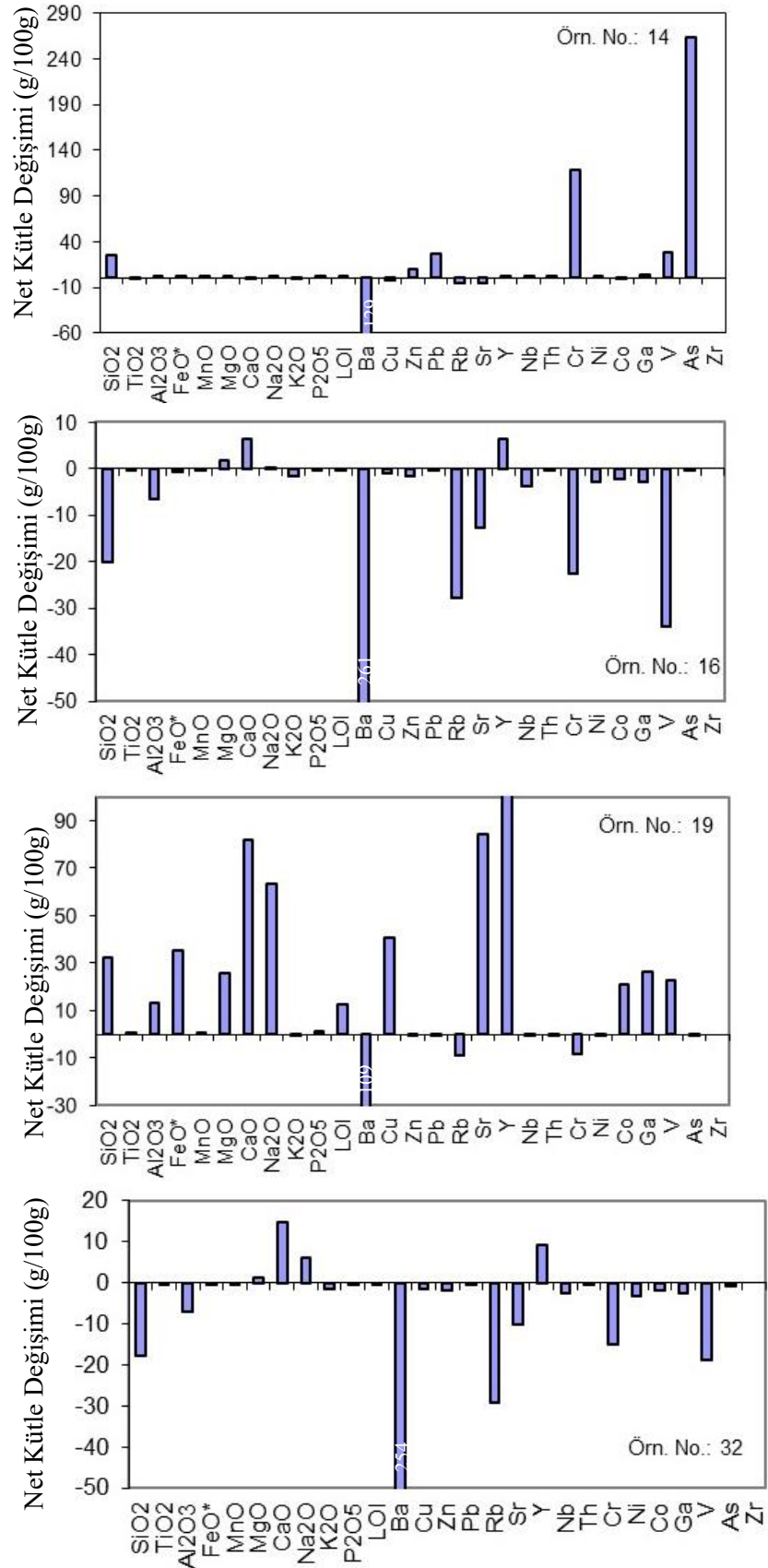
Şekil 22. Tüflerin a) $(\text{FeO} + \text{MgO})$ 'e karşı $(\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2)$ ve b) $\Delta(\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2)$ 'e karşı $\Delta(\text{FeO} + \text{MgO})$ değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerdeki dağılımları

Tüflerde yapılan hesaplamalar sonucu kütle artışı ve kaybı meydana gelmiştir (Ek Tablo 2). Tüf örneklerinin izokonun eğimi ($m = C^A / C^O$) kullanılarak hesaplanan kütle değişimine göre altere tüflerde %37,06-41,62 kütle kabına karşılık %20,14-48,56'lık bir kütle kazancı meydana gelmiştir.

3.5.3. Net (g/100g) kütle değişimi

Kayaçlarda 100 g'a göre net kütle değişimi hesaplamaları (3) nolu formüle göre yapılmıştır (Ek Tablo 2). Buna göre az alterasyona uğramış kayaca oranla alterasyona uğramış kayaca göre genel olarak tüflerde Ca (-0,02)- (81,79) (g/100g) arasında, Na 0,08-63,35 (g/100g) arasında, Fe (-0,74)- (35,51) (g/100g) arasında, Si (-17,70)- (32,51) (g/100g) arasında, Mg 0,00-25,75 (g/100g), Al (-6,92)- (13,28) (g/100g) ve K (-1,55)- (-0,18) (g/100g) arasında değişmektedir. Tüflerde net kütle değişim hesabına göre, iz elementlerden Ba ((-261,01)- (-109,01) (ppm/100g)) ve Rb ((-29,28)- (-5,36) (ppm/100g)) tüm örneklerde azalırken, Y (0,07-470,81 (ppm/100g)) tüm örneklerde

artma göstermektedir. Tüflerden alınan örneklerin bazılarında Cu, Zn, Pb, Sr, Nb, Th, Cr, Ni, Co, Ga, V ve As artma ve bazılarında azalma hesaplanmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. Tüf örneklerinde net kütle değişim grafikleri.

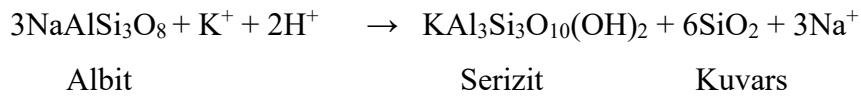
Fe ve Mg'de az da olsa değişiklik olmasının sebebi bu elementlerin hidrotermal sıvılardan kayaç bünyesine ilavesi olarak düşünölmektedir. Bazı elementlerin ise hidrotermal alterasyon esnasında çok az değişmesinin sebebi o elementlerin daha çok kayaç bünyesinde olması veya hidrotermal sıvılarda o elementlerin az olmasından kaynaklanabilir. Minerallerin bünyesinde bulunan elementler hidrotermal alterasyon sonucu serizit/illit, ikincil kuvars, karbonat mineralleri ve klorit gibi yeni minerallerin oluşmasına sebep olabileceği gibi tüflerin bileşiminde önemli bir element değişikliği (azalma ya da artma) meydana getirmeyebilir. Böylece de kütlede herhangi bir değişim olmayabilir. Kütle artışına ve azalmasına katkısı olan elementler Ca, Na, Fe, Si, Mg, Al ve K'dır. Dolayısıyla tüflerde serizitleşme/ilitleşme, silisleşme, karbonatlaşma, kloritleşme, piritleşme, hematitleşme ve limonitleşme olayları önemli değişimleri oluşturmuştur. Tüf örneklerinde farklı hidrotermal alterasyon koşulları geliştiği için farklı kütle değişimleri hesaplanmıştır.

Kütle değişim hesaplaması yapılan (4) nolu formöle göre altere tüflerde bir örnek hariç net % 27,04-29,39 (ortalama 28,22) kütle azalması ve %25,21-94,41 (ortalama 59,81) kütle artması meydana gelmiştir.

Tüflerdeki kütle artmasının sebebini genel olarak Ca (ort. 40,8 g/100g), Na (ort. 31,7g/100g), Si (ort. 29,2/100g), Fe (ort. 18,5g/100g), Mg (ort. 12,8g/100g), ve Al (ort. 6,7g/100g) elementlerinin artmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Hidrotermal alterasyona uğramış tüfte serizit/illit, silis, karbonat minerali ve az miktarda klorit, hematit olduğu sahada ve petrografik olarak da tespit edilmiştir. İlaveten bazı tüflerde kütle azalmasına sebep olan elementlerin ise Si (18,9g/100g) ve Al (ort. 6,6g/100g) olduğu ve bunların tüflerden kısmen yıkanarak uzaklaştığı anlaşılmıştır

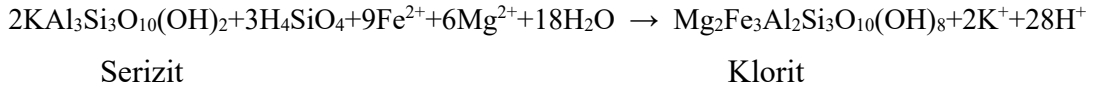
4. TARTIŞMA

Tüflerdeki en yaygın hidrotermal alterasyonlar serizitleşme/illitleşme, silisleşme, karbonatlaşma, kloritleşme, piritleşme, hematitleşme ve limonitleşmedir. Serizit (illit) mineralinin oluşumu plajiyoklas minerallerinin hidrotermal alterasyonu ile meydana gelmektedir. Tüflerin serizitleşme indeksi ($SI = K_2O / (K_2O + Na_2O)$; Myers ve MacLean, 1983) 0,28-0,93 arasında değişmekte olup SI artarken CaO azalmaktadır. Tüf örnekleri SI'ya karşı ($K_2O + Na_2O$) grafiğinde hidrotermal alterasyon alanında bulunmaktadır (Şekil 23a). Serizitleşme (illitleşme) süreci alkali değişimi ile hidrotermal sıvılardan K_2O ilâvesi veya K'un kayalarda bulunan K'lu minerallerden (biyotit ve K-feldispat) kaynaklanması sonucu gerçekleşmektedir (Barrett vd., 1993). Serizit (İllit), pH'ın 7-8 olduğu şartlarda, hidrotermal alterasyon veya yüzeysel ayrışmayla oluşabilmektedir (Large vd., 2001). Tüf örneklerine ait ana ve iz elementlerin göreceli (%) değişimleri değerlendirildiğinde, K_2O 'un artışı serizit (illit), SiO_2 'nin artışı silis, Na+Ca artması da plajiyoklazların alterasyonu ve karbonat minerali oluşumunu işaret etmektedir (Şekil 20-21). Tüflerde plajiyoklazların hidrotermal alterasyonu ile $\Delta(Na_2O + CaO)$ artışı ve silisleşme-karbonatlaşma olayı gerçekleşmektedir (Şekil 20a-b). Dolayısıyla tüflerde plajiyoklazların hidrotermal alterasyonuna bağlı olarak $CaO + Na_2O$ artması ve kütle artması; K_2O 'un ortamda kalmasına bağlı olarak da serizitleşme meydana gelmektedir. Plajiyoklastlarda hidrotermal alterasyon esnasında serizit oluşum reaksiyonu aşağıda verilmiştir (Date vd., 1983; Eastoe vd., 1987; Large vd., 2001; Sipahi ve Sadıklar, 2010).



Tüflerde $\Delta(K_2O + SiO_2)$ (serizit+silisleşme) ve $\Delta(Fe_2O_3 + MgO)$ (Kloritleşme) arasındaki ilişkiye bakıldığında farklı dağılımlar sundukları görülmektedir (Şekil 21b). $\Delta(K_2O + SiO_2)$ değişimi artarken $\Delta(Fe_2O_3 + MgO)$ değişimi hemen hemen sabit kalmaktadır. $\Delta(K_2O + SiO_2)$ artarken, $\Delta(Fe_2O_3 + MgO)$ çok az değişmesi, bu elementlerin farklı hidrotermal alterasyon koşullarında oluştuğunu ifade etmektedir. Hidrotermal alterasyon minerallerinin oluşumunda benzer koşullar etkili olsaydı bu elementler birlikte hareket etmesi gerekirdi. Bu durum burada geçerli değildir. Tüflerde Fe/Mg oranının (1,44- 4,62) yüksek olması plajiyoklazların önce serizitleştiğini sonra kloritin oluştuğunu ifade edebilir (Barrett ve MacLean, 1994). Dolayısıyla tüflerde silis, serizit/illitin yanı

sıra kloritin de görölmesi önemli hidrotermal değişimlerdir. Tüflerde plajiyoklasın alterasyonu sonucu serizit oluştuktan sonra ortamda yeterince Fe ve Mg varsa kloritlerin oluşum reaksiyonu (Large vd., 2001) aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

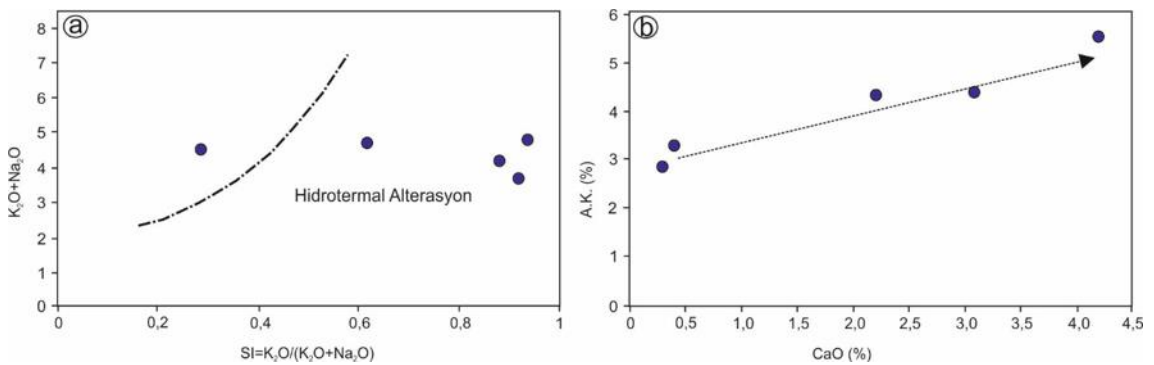


Yukarıdaki reaksiyona göre serizit oluşumundan sonra klorit oluştuğu için tüflerde serizit (illit) ve kloritin birlikte görölmesinin sebebi kolayca anlaşılabilmektedir (Large, 1992; Lentz, 1999; Schardt ve diğ., 2001; Sipahi, 2005; Sipahi ve Sadıklar, 2010). Ayrıca kütle değişim hesabıyla belirlenen $\Delta(\text{K}_2\text{O}+\text{SiO}_2)$ ve $\Delta(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ arasındaki ilişki farklı hidrotermal olayları desteklemektedir.

Tüflerde karbonat mineralleri oluşurken kayaçların su içerikleri artmaktadır (Sipahi, 2005). Bu durum, CaO ile AK (ateşte kayıp) arasındaki değişim bir diyagrama aktarıldığında, karbonat mineralleri içeren tüf örneklerin göstermiş oldukları pozitif ilişki daha iyi görölmektedir (Şekil 23b). Dolayısıyla, kayaçların H₂O içeriğinin belli bir değere erişmesinden sonra kayaçta CO₂ görölür (Sipahi, 2005; Sipahi ve Sadıklar, 2010; Akyürek ve Sipahi, 2014). Bazı kayaçların CO₂ içeriği, dolayısıyla karbonat minerali içerikleri artarken, su içerikleri de artmaktadır. Bu süreç, aşağıda verilen kalsit reaksiyonu ile açıklanabilir.



Kalsit



Şekil 24. Tüflerin a) Serizitleşme indeksine (SI) karşı K₂O+Na₂O diyagramı (MacLean ve Hoy, 1991) ve b) CaO-AK diyagramı (Sipahi, 2005)

Çalışma alanında tüflerde genelde kırıklar boyunca ve çok az saçınımlar şeklinde görölen piritlerin hidrotermal alterasyon sonucu hematit ve limonite dönüşmeleri farklı hidrotermal süreçleri destekler niteliktedir.

Tüm veriler ışığında tüflerdeki hidrotermal alterasyon minerallerinin oluşumunda kırıklar boyunca hareket eden hidrotermal sıvıların önemli rol oynadığı ve tüflerdeki hidrotermal alterasyon ürünlerinin muhtemelen epitermal evrede, asidik-hafif alkali ortam şartlarında tüflerdeki minerallerin hidrotermal alterasyonu sonucu oluştuğu düşünülmektedir (Sipahi, 2005). Dolayısıyla tüflerde farklı hidrotermal alterasyon koşulları geliştiği için farklı kütle değişimleri görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karayaşmak (Demirözü, Bayburt) civarındaki kayaçların özellikle tüflerin hidrotermal alterasyonun mineralojik, kimyasal ve kütle değişimi yönleriyle araştırılmasını konu alan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Çalışma alanının tabanında Permo-Karbonifer (Paleozoyik) yaşlı metamorfik kayaçlar yer almakta olup Pulur metamorfikleri olarak bilinmektedir. Bu birimin üzerine Liyas yaşlı volkano-tortul seriden oluşan Hamurkesen formasyonu uyumsuz olarak bulunmaktadır. Hamurkesen formasyonu üzerinde ise güncel oluşuklar olan alüvyonlar mevcuttur. Çalışma alanında alterasyonlar yaygın olarak kumtaşı, kireçtaşı ve tuf türü kayaçlarda görülmektedir. Hamurkesen Formasyonun tortul birimi olan kumtaşı; feldispat (alkali feldispat ve plajiyoklas), kuvars (yer yer monokristalin ve polikristalin), volkanik ve tortul kayaç parçaları, yer yer opak mineraller ile alterasyon ürünleri olarak hematit ve serizitten oluşmaktadır. Matriks ve çimento (kalsit ve silis) kumtaşının bağlayıcısını oluşturmaktadır. Hamurkesen Formasyonun kireçtaşları, bol fosil ve kavkı parçaları yanı sıra kalsit, kuvars ve feldispat minerallerinden oluşmakta olup biyomikrit olarak adlandırılmıştır. Tüfler ise başlıca plajiyoklas, kuvars (monokristalin ve polikristalin), feldispat (plajiyoklas ve alkali feldispat) gibi minerallerin yanı sıra volkanik kayaç parçaları, serizit ve hematitten ibarettir. Plajiyoklaslar genellikle kırıklı ve alteredir. Kuvars çoğunlukla özşekilsizdir.

2. Tüflerin hidrotermal alterasyon sonucu, serizit/illit, silis, karbonat mineralleri, klorit, pirit, hematit ve limonit türünde alterasyon mineralleri oluşmuştur.

3. Çalışma alanındaki kumtaşları grovak, tüfler ise andezit-dasit bileşiminde olup litik kristal tuf olarak adlandırılmıştır. Tüfler orta-yüksek K'lu kalk-alkali özelliğe sahiptir. Tüfler SI, CIA ve AI değerleri hidrotermal alterasyonu desteklemekte olup orta derece ayrıışmış özelliği sunmaktadır. Bu ayrıışma indeksleri başlıca serizitik ayrıışma, serizit-karbonat ayrıışması ve klorit-karbonat ayrıışmasını önermekte ve saha ve petrografi verileri ile örtüşmektedir. Ayrıca Mg-Fe artışıyla ilişkili kloritik-propilitik alterasyonun etkili olduğu belirlenmiştir.

4. Tuf örneklerinin kütle değişim hesaplamalarına göre Pb, Cu, Zn değişimlerinin silisleşme, kloritleşme ve serizitleşme ile genel olarak farklı davrandığı; $\Delta(\text{Zn} + \text{Cu} + \text{Pb})$ değerleri çok fazla değişmezken, $\Delta(\text{FeO} + \text{MgO})$ ve $\Delta(\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2)$ değerleri genel olarak artması bunların farklı hidrotermal olaylarla geliştiğine ve sıvıların bu metallerce fakir olduğuna dikkat çekmektedir.

5. Hidrotermal alterasyonun bir sonucu olarak Karayaşmak tüflerinde uygulanan *isocon analizine* göre genel olarak %37,06-41,62 kütle kaybına karşılık %20,14-48,56'lık bir kütle kazancı gerçekleşmiştir. Tüflerdeki kütle artmasının sebebi Ca, Na, Fe, Mg ve Si elementlerinin artışından kaynaklanmakta olup serizit/illit, silis, karbonat minerali ve az miktarda klorit, hematit minerallerinin ortamda bulunması da desteklemektedir.

6. Çalışma alanındaki tüflerin hidrotermal alterasyon minerallerinin oluşumunda hidrotermal sıvıların önemli rol oynadığı ve tüflerdeki hidrotermal alterasyon ürünlerinin muhtemelen epitermal evrede, asidik-hafif alkali ortam şartlarında minerallerin hidrotermal alterasyonu sonucu oluştuğu ve dolayısıyla tüflerde farklı hidrotermal alterasyon koşulları geliştiği için farklı kütle değişimleri görülmektedir.

7. Çalışma alanındaki maden sahalarında, ayrıntılı ayrışma mineraloji, kimyasal incelemeler, sıvı kapanım ve duraylı izotop çalışmaları yapılması halinde, bu alanda belirlenen oluşum şartları ile tüflerde belirlenen şartlar arasındaki benzerlik ve farklılıklar ortaya konularak ayrışma süreçleri ve oluşum şartları daha iyi belirlenebilir.

KAYNAKÇA

- Ağar, Ü. (1977). *Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi*. [Yayımlanmamış Doktora tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Akdeniz, N. (1988). Permian and Carboniferous of Demirözü and their significance in the regional structure. *Geological Bulletin of Turkey*, 3, 71–80.
- Akyürek, S. ve Sipahi, F. (2014). Kibletepe (Trabzon, KD Türkiye) Volkanojenik Masif Zn-Cu Cevherleşmesinin Mineralojisi ve Hidrotermal Alterasyonu. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 16-35.
- Altherr, R., Topuz, G., Siebel, W., Şen, C., Meyer, H.P. ve Satır, M. (2008). Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic characteristics of Paleocene plagioclucitites from the Eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos*, 105, 149-161.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H. (1997). Geochemistry and petrogenesis of the eastern Pontide volcanic rocks, Northeast Turkey. *Chemie der Erde*, 57, 157-187.
- Aydin, F. (2014). Geochronology, geochemistry and petrogenesis of the Maçka subvolcanic intrusions: Implications for the late Cretaceous magmatic and geodynamic evolution of the Eastern Part of the Sakarya Zone, Northeastern Turkey. *International Geology Review*, 56(10), 1246-1275.
- Barrett, T. J., ve MacLean, W. H. (1994). Mass changes in hydrothermal alteration zones associated with VMS deposits of the Noranda area. *Exploration and Mining Geology*, 3(2), 131-160.
- Barrett, T. J., Cattalani, S., ve MacLean, W. H. (1993). Volcanic lithogeochemistry and alteration at the Delbridge massive sulfide deposit, Noranda, Quebec. *Journal of Geochemical Exploration*, 48(2), 135-173.
- Bektaş, O. ve Gedik, İ. (1988). A new formation with leucitebearing shoshonitic volcanism in the Kop area (Everekhanları Formation) and its relationship with the evolution of the eastern Pontide arc, NE, Turkey. *Geological Society of Turkey Bulletin*, 31, 11-19.

- Boynukalın, S. (1990). *Dereli (Giresun) Baraj Yeri ve Göl Alanının Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Kayaçlarının Jeomekanik Özellikleri*. [Yayımlanmamış Doktora tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Boztuğ, D., Harlavan, Y., Can, İ., Ramazan, S., Şahin, S. Y., ve Altunkaynak, Ş. (2006). *Kuzeybatı Anadolu'da Neo-Tetis çarpışma zonu boyunca litosferik dilim kopmasından türemiş Ilıca, Çataldağ (Balıkesir) ve Kozak (İzmir) granitoidlerinin jeokimyası ve K-Ar soğuma yaşları*. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı https://www.jmo.org.tr/etkinlikler/kurultay/etkinlik_metin.php?etkinlikkod=7&metin_kod=464&sayfa=12s.
- Creaser, R. A., Erdmer, P., Stevens, R. A., ve Grant, S. L. (1997). Tectonic affinity of Nisutlin and Anvil assemblage strata from the Teslin tectonic zone, northern Canadian Cordillera: Constraints from neodymium isotope and geochemical evidence. *Tectonics*, 16(1), 107-121.
- Çoğulu, E. (1975). *Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrolojik ve Jeokronometrik Etüdü*. [Doçentlik tezi, İstanbul Üniversitesi].
- Date, J., Watanabe, Y., ve Saeki, Y. (1983). Zonal alteration around the Fukazawa Kuroko deposits, Akita prefecture, northern Japan.
- Dokuz, A. (2000). *Yusufeli Yöresinin Jeolojisi, Jeotektoniği, Magmatik-Metamorfik Kayaçların Jeokimyası ve Petrojenezi*. [Yayımlanmamış Doktora tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Dokuz, A. (2011). A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides: The Köse composite Pluton. *Gondwana Research*, 19, 926-944.
- Dokuz, A. ve Tanyolu, E. (2006). Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of lower Jurassic and Upper Cretaceous clastic rocks from the Eastern Pontides, Yusufeli (Arvin), NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15, 181-209.
- Dokuz, A., ve Sünnetçi, K. (2019). Jurassic acidic magmatism in a back-arc setting, eastern Sakarya Zone, Turkey: Geochemical constraints and an evolutionary model. *Lithos*, 332, 312-327.

- Dokuz, A., Alcicek, M. C., Tuncdemir, V., Kandemir, R., ve Aydınçakır, E. (2023). Post-Variscan autochthonous cover in the eastern Sakarya Zone, Turkey: Evolution of the late Carboniferous back-arc ocean to the Triassic Karakaya Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences*, 249, 105621.
- Dokuz, A., Aydınçakır, E., Kandemir, R., Karşlı, O., Siebel, W., Derman, A.S., ve Turan, M. (2017a). Late Jurassic Magmatism and Stratigraphy in the Eastern Sakarya Zone, Turkey: Evidence for the Slab Breakoff of Paleotethyan Oceanic Lithosphere. *The Journal of Geology*, 125, 1-31.
- Dokuz, A., Gücer, M. A., Karşlı, O., ve Yi, K. (2022). From Cadomian back-arc basin to Rheic Ocean closure: the geochronological records of the Kurtoğlu Massif, eastern Sakarya Zone, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 111(4), 1333-1355.
- Dokuz, A., Külekçi, E., Aydınçakır, E., Kandemir, R., Cihat Alçiçek, M., Pecha, M.E. ve Sünnetçi, K. (2017b). Cordierite-bearing strongly peraluminous Cebre Rhyolite from the eastern Sakarya Zone, NE Turkey: Constraints on the Variscan Orogeny. *Lithos*, 278-281, 285-302.
- Dokuz, A., Tanyolu, E. ve Genç, S. (2006). A Mantle- and A Lower Crust-Derived Bimodal Suite in the Yusufeli (Artvin) Area, NE Turkey: Trace Element and REE Evidence For Subduction-Related Rift Origin of Early Jurassic Demirkent Intrusive Complex. *International Journal of Earth Sciences*, 95, 370–394.
- Eastoe, C. J., Solomon, M., ve Walshe, J. L. (1987). District-scale alteration associated with massive sulfide deposits in the Mount Read Volcanics, western Tasmania. *Economic Geology*, 82(5), 1239-1258.
- Eyuboglu, Y., Santosh, M., Dudas, F. O., Chung, S. L., ve Akaryalı, E. (2011a). Migrating magmatism in a continental arc: geodynamics of the Eastern Mediterranean revisited. *Journal of Geodynamics*, 52(1), 2-15.
- Eyüboğlu, Y. (2010). Late Cretaceous high-K volcanism in the eastern Pontide orogenic belt, and its implications for the geodynamic evolution of NE Turkey. *International Geology Review*, 52, 142-186.

- Eyüboğlu, Y., 2006. *Doğu Pontid Magmatik Yayı'nda (KD Türkiye) Alaska-tip mafik-ultramafiklerin tanımı ve jeotektonik önemi*. [Yayımlanmamış Doktora tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F. Y., Santosh, M., Zhu D-C., Yi K., Chatterjee N., Jeong Y-J., Akaryalı, E., ve Liu Z. (2016). Cenozoic forearc gabbros from the northern zone of the Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey: Implications for slab window magmatism and convergent margin tectonics. *Gondwana Research*, 33, 160–189
- Fedo, C. M., Wayne Nesbitt, H., ve Young, G. M. (1995). Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 23(10), 921-924.
- Göncüoğlu, M. C. (2010). Türkiye Jeolojisine Giriş: Alpin ve Alpin Öncesi Tektonik Birliklerin Jeodinamik Evrimi. MTA Genel Müdürlüğü Monografi Serisi No: 5, Ankara.
- Grant, J. A. (1986). The isocon diagram; a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Economic geology*, 81(8), 1976-1982.
- Gresens, R. L. (1967). Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical geology*, 2, 47-65.
- Gücer, M. A. ve Sarı, E. (2021). Karbonifer Pamuktaş Plütünü'nün Petroğrafisi, Jeokimyası ve Petrolojik Özellikleri, Bayburt (KD Türkiye). *Yerbilimleri*, 42(1), 85-120.
- Gülmez, F. ve Genç, S. C. (2015). Amasya civarı Geç Kretase yaşlı ultrapotasik volkaniklerinde farklılaşma süreçleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 151, 153–172.
- Habiboğlu, Y., (1989), Doğu Pontid güney zonundaki (Bayburt – Demirözü) metamorfitoftiyolit birlikteliğinin jeolojik anlamı. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Halbach, P., Pracejus, B. ve Karg, M., (2003). BANDAMIN-I project (Unpub.).
- Harnois, L. (1988). The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sedimentary geology*, 55(3), 319-322.

- Heron, D., van Dissen, R., ve Sawa, M. (1998). Late Quaternary movement on the Ohariu Fault, Tongue Point to MacKays Crossing, North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 41(4), 419-439.
- Huston, D. L., ve Cozens, G. J. (1994). The geochemistry and alteration of the White Devil porphyry: implications to intrusion timing. *Mineralium Deposita*, 29(3), 275-287.
- Huston, D. L., Bolger, C., ve Cozens, G. (1993). A comparison of mineral deposits at the Gecko and White Devil deposits; implications for ore genesis in the Tennant Creek District, Northern Territory, Australia. *Economic Geology*, 88(5), 1198-1225.
- Irvine, T. N. ve Baragar, W. R. A. (1971). A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Ishikawa, Y., Sawaguchi, T., Iwaya, S. ve Horiuchi, M., (1976). Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on modes of volcanism of underlying dacite and alteration haloes. *Mining Geology*, 26, 105-117.
- Kandemir, R. (2004). *Gümüşhane ve Yakın Yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları*. [Yayımlanmamış Doktora tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Kandemir, R. ve Yılmaz, C. (2009). Lithostratigraphy, facies, and deposition environment of the lower Jurassic Ammonitico Rosso type sediments (ARTS) in the Gümüşhane area, NE Turkey: Implications for the opening of the northern branch of the Neo-Tethys Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, 586-598.
- Karlı, O., Dokuz, A. ve Kandemir, R. (2016). Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian Magmatism in the Eastern Pontides, the Camlik and Casurluk plutons: Insights from geochemistry, whole-rock Sr-Nd and in situ zircon Lu-Hf isotopes, and U-Pb geochronology. *Lithos*, 266, 98-114.
- Karsli, O., Şengün, F., Dokuz, A., Aydın, F., Kandemir, R., Kristoffersen, M., ... ve Duygu, L. (2022). Early Cambrian S-type granites in the Sakarya Zone, NE Turkey: A record for transition from subduction to post-collisional extension deduced from UPb zircon age and NdHf isotopes. *Lithos*, 428, 106809.

- Kaygusuz, A. (2020). Geochronological age relationships of Carboniferous Plutons in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 9(1), 1299-1307.
- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E. (2009). Mineralogy, Whole-Rock and Sr–Nd isotope geochemistry of mafic microgranular enclaves in Cretaceous Dağbaşı Granitoids, Eastern Pontides, NE Turkey: Evidence of magma mixing, mingling and chemical equilibration. *Chemie der Erde*, 69, 247-277.
- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E. (2011). U–Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr–Nd isotopic compositions of Cretaceous plutons in the eastern Pontides (NE Turkey): The Dağbaşı pluton. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, 188, 3, 211-233.
- Kaygusuz, A. ve Şen, C. (2011). Calc-alkaline I-Type plutons in the Eastern Pontides, NE Turkey: U–Pb zircon ages, geochemical and Sr–Nd isotopic compositions. *Chemie der Erde*, 71, 59-75.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F. ve İlbeyli, N. (2012). Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review*, 54 (15), 1776-1800.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F. ve Temizel, İ. (2016). U–Pb zircon chronology and petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution. *Gondwana Research*, 39, 327–346.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B. ve Aydınçakır, E. (2013). Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the Eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. *Geoscience Frontiers*, 4, 423-438.
- Ketin, İ., (1951). Bayburt Bölgesinin Jeolojisi. İ.Ü., Fen Fakültesi Mecmuası, Cilt no:16, İstanbul.
- Kırmacı, Z. (1992). *Alucra-Gümüşhane-Bayburt yörelerindeki (Doğu Pontid Güney Zonu) Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Berdiga Kireçtaşı'nın sedimentolojik incelemesi*. [Yayımlanmamış Doktora tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.

- Korkmaz, S., ve Baki, Z., 1984, Demirözü (Bayburt) güneyinin stratigrafisi, TJK Bülteni, 5, 107-115.
- Large, R. R. (1992). Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits; features, styles, and genetic models. *Economic geology*, 87(3), 471-510.
- Large, R. R., Allen, R. L., Blake, M. D. ve Herrmann, W. (2001). Hydrothermal Alteration and Volatile Element Halos for the Rosebery K Lens Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit, Western Tasmania. *Economic Geology*, 96, 1055-1072.
- Lentz, D. R. (1999). Petrology, geochemistry, and oxygen isotope interpretation of felsic volcanic and related rocks hosting the Brunswick 6 and 12 massive sulfide deposits (Brunswick Belt), Bathurst Mining Camp, New Brunswick, Canada. *Economic Geology*, 94(1), 57-86.
- Lentz, D. R., ve Goodfellow, W. D. (1996). Intense silicification of footwall sedimentary rocks in the stockwork alteration zone beneath the Brunswick No. 12 massive sulphide deposit, Bathurst, New Brunswick. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 33(2), 284-302.
- Leven, e. j., ve Okay, a. ı. (1996). Foraminifera from the exotic Permo-Carboniferous limestone blocks in the Karakaya complex, northwestern Turkey. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 102(2).
- MacLean, W. H., ve Barrett, T. J. (1993). Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of geochemical exploration*, 48(2), 109-133.
- MacLean, W. H., ve Hoy, L. D. (1991). Geochemistry of hydrothermally altered rocks at the Horne mine, Noranda, Quebec. *Economic Geology*, 86(3), 506-528.
- MacLean, W. H., ve Kranidiotis, P. (1987). Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration; Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*, 82(4), 951-962.
- Münker, C., Wörner, G., Yagodzhinski, G. ve Churikova, T. (2004). Behaviour of high field strength elements in subduction zones: constraints from Kamchatka-Aleutian arc lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, 224, 3-4, 275-293.
- Meyers, R. E., ve MacLean, W. H. (1983). The geology of the New Inco copper deposit, Noranda district, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(8), 1291-1304.

- Nesbitt, B. E., ve Kelly, W. C. (1980). Metamorphic zonation of sulfides, oxides, and graphite in and around the orebodies at Ducktown, Tennessee. *Economic geology*, 75(7), 1010-1021.
- Nesbitt, H. W. ve Young, G. M. (1982). Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites. *Nature*, 199, 715-717.
- Nesbitt, H. W., ve Young, G. M. (1984). Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et cosmochimica acta*, 48(7), 1523-1534.
- Okay, A. İ. (2008). Geology of Turkey: A Synopsis. *Anschnitt*, 21, 19-42.
- Okay, A. İ. ve Şahintürk, Ö. (1997). *Geology of the Eastern Pontides*. A. G. Robinson (Der.), Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region içinde (ss. 291-311). Boulder, Tulsa: AAPG Bulletin.
- Peccherillo, A. ve Taylor, S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58, 63-81.
- Pelin, S. (1977). *Alucra (Giresun) Güneydogu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelenmesi*, KTÜ Yayınları, 87, 103s, Trabzon.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., ve Siever, R. (1972). Petrographic classification and glossary. In *Sand and sandstone* (pp. 149-174). New York, NY: Springer US.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., ve Siever, R. (1987). Petrography of common sands and sandstones. In *Sand and sandstone* (pp. 139-213). New York, NY: Springer New York.
- Reimer, T. O., Condie, K. C., Schneider, G., ve Georgi, A. (1985). Petrography and geochemistry of granitoid and metamorphic pebbles from the early Archaean Moodies Group, Barberton Mountainland/South Africa. *Precambrian Research*, 29(4), 383-404.
- Robinson, A. G., Banks, C. J., Rutherford, M. M. ve Hirst, J. P. P. (1995). Stratigraphic and structural development of the Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Geological Society of London*, 152, 861-872.

- Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ. ve Sipahi, F. (2016). Organic geochemistry and element distribution in coals formed in Eocene lagoon facies from the Eastern Black Sea Region, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25, 467-489.
- Schardt, C., Cooke, D. R., Gemmell, J. B., ve Large, R. R. (2001). Geochemical modeling of the zoned footwall alteration pipe, Hellyer volcanic-hosted massive sulfide deposit, Western Tasmania, Australia. *Economic Geology*, 96(5), 1037-1054.
- Schau, M., ve Henderson, J. B. (1983). Archean chemical weathering at three localities on the Canadian Shield. *Precambrian Research*, 20(2-4), 189-224.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, M.B., 2010. Zigana (Gümüşhane, KD-Türkiye) Volkanitlerinin Alterasyon Mineralojisi ve Kütle Değişimi (The Alteration Mineralogy and Mass Change of the Zigana (Gumushane) Volcanics of NE Turkey). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 53(2-3), 97-128.
- Sipahi, F., 2005. *Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) volkanitlerindeki hidrotermal ayrışmaların mineraloji ve jeokimyası (mineralogy and Geochemistry of Hydrothermal Alterations in Zigana Mountain (Torul-Gümüşhane) volcanics)*. [Yayımlanmamış Doktora tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Sipahi, F., Akpınar, İ., Gücer, M. A., Kaygusuz, A., Vural, A., ve Saydam Eker, Ç. (2025). Origin and tectonic setting of the carbonate-hosted Kopuz Fe skarn Deposit Sakarya Zone NE Türkiye. *Journal of Asian Earth Sciences*, 294(106769), 1–17.
- Sipahi, F., Akpınar, İ., Saydam Eker, Ç., Kaygusuz, A., Vural, A., ve Yılmaz, M. (2017). Formation of the Eğrikar Gümüşhane Fe Cu skarn type mineralization in NE Turkey U Pb zircon age lithogeochemistry mineral chemistry fluid inclusion and O-H-C-S isotopic compositions. *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 32–52.
- Sipahi, F., Gücer, M. A., Dokuz, A., YI, K., Kaygusuz, A., Akaryalı, E., ... ve Doruk, C. (2023). The Sr Nd Pb and Hf isotopes and crystallization conditions of the middle Eocene Dağdibi Pluton in the eastern Sakarya Zone Turkey. *Cambridge University Press (CUP)*, 160(6), 1193–1210.

- Sipahi, F., Gücer, M. A., ve Sadıklar, M. B. (2020). Nature of clays in Late Cretaceous dacitic rocks in the eastern Sakarya Zone NE Turkey A geochemical and isotopic approach. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(6), 831–852.
- Sipahi, F., Kaygusuz, A., Saydam Eker, Ç., Vural, A. ve Akpınar, İ. (2018). Late Cretaceous arc igneous activity: the Eğrikar Monzogranite example. *International Geology Review*, 60(3), 382-400.
- Sipahi, F., Sadıklar, M. B., Yaman Çelik, S. N., ve Karaçam, V. (2014). Geochemistry of dacitic volcanics in the Eastern Pontides NE Turkey . *Geochemistry International*, 52(4), 296–315.
- Sipahi, F., Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ., Gücer, M. A., Vural, A., Kaygusuz, A., ve Aydurmuş, T. (2022). Eocene magmatism and associated Fe-Cu mineralization in northeastern Turkey a case study of the Karadağ skarn. *International Geology Review*, 64(11), 1530–1555.
- Şen, C. (2007). Jurassic Volcanism in the Eastern Pontides: Is it Rift Related or Subduction Related?. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 523-539.
- Tanyolu, E., 1988. Pulur Masifi (Bayburt) doğu kesiminin jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 108.
- Taşlı, K. (1990). *Gümüşhane-Bayburt yörelerindeki Üst Jura-Alt Kretase yaşlı karbonat istiflerinin stratigrafisi ve mikropaleontolojik incelemesi*. [Yayımlanmamış Doktora tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Topuz, G., Altherr, R., Candan, O., Wang, J. M., Okay, A. I., Wu, F. Y., ... ve Satır, M. (2023). Carboniferous mafic-ultramafic intrusions in the Eastern Pontides (Pulur Complex): Implications for the source of coeval voluminous granites. *Lithos*, 436, 106946.
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Werner, O., ve Schwartz, W.H. (2004a). Aluminous granulites from the Pulur Complex, NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallisation, *Lithos* 72, 183-207.
- Topuz, G., Altherr, R., Satır, M., ve Schwartz, W.H. (2004b). Low-grade metamorphic rocks from the Pulur Complex, NE Turkey: implications for the pre-Liassic evolution of the Eastern Pontides. *International Journal of Earth Sciences* 93, 72-91

- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W. H., Dokuz, A. ve Meyer, H. P. (2007). Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex. Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 96, 861-873.
- Topuz, G., Altherr, R., Wolfgang, S., Schwarz, W. H., Zack, T., Hasanözbek, A., Mathias, B., Satır, M. ve Şen, C. (2010). Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey). *Lithos*, 116, 92-110.
- Topuz, G., Göçmengil, G., Rolland, Y., Çelik, Ö. F., Zack, T., ve Schmitt, A. K. (2013). Jurassic accretionary complex and ophiolite from northeast Turkey: No evidence for the Cimmerian continental ribbon. *Geology*, 41(2), 255-258.
- Tüysüz, O. (1999). Geology of the Cretaceous sedimentary basins of the Western Pontides. *Geological Journal*, 34(1-2), 75-93.
- Ustaömer, T. ve Robertson, H. F. A. (2010). Late Paleozoic-Early Cenozoic development of the Eastern Pontides (Artvin area), Turkey: stages of closure of Tethys along the southern margin of Eurasia. *Geological Society, London, Special Publications*, 340, 281-327.
- Ustaömer, T., Robertson, A.H.F., Ustaömer, P.A., Gerdes, A., ve Peytcheva, I. (2013). Constraints on Variscan and Cimmerian magmatism and metamorphism in the Pontides (Yusufeli–Artvin area), NE Turkey from U–Pb dating and granite 69 geochemistry: In: Robertson, A.H.F., Parlak, O., Ünlügenç, U.C., (eds.), Geological Development of Anatolia and the Easternmost Mediterranean Region. *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 372, 49–74.
- Winchester, J. A. ve Floyd, P. A. (1977). Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343.
- Yılmaz, C. (2002). Gümüşhane-Bayburt yöresindeki mesozoyik havzalarının tektono-sedimentolojik kayıtları ve kontrol etkenleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 45(1), 141-165.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genc, Ş. C. ve Şengör, A. M. C. (1997). *Geology and tectonics of the Pontides*. A. G. Robinson (Der.), Regional and petroleum

geology of the Black Sea and surrounding region içinde (ss. 183-226), Boulder, Tulsa: AAPG Memoirs.

Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ. ve Abdioğlu Yazar, E. (2014). Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary volcanics in the northern part of the Eastern Pontides northeast Turkey implications for pre eruptive crystallization conditions and magma chamber processes. *Mineralogy and Petrology*, 108, 3, 439-467.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa ATAMAN

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik
Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetler ve :
Yayınlar

İş Deneyimi

Stajlar :

Projeler :

Çalıştığı Kurumlar :

Tarih : 24.06.2026