

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇUBUK (ANKARA) PERLİTLERİNİN PETROLOJİSİ VE BÖLGE
VOLKANİZMASI İLE İLİŞKİSİ, İÇ ANADOLU, TÜRKİYE

Büşra ÇELİK

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2023

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇUBUK (ANKARA) PERLİTLERİNİN PETROLOJİSİ VE BÖLGE VOLKANİZMASI İLE İLİŞKİSİ, İÇ ANADOLU, TÜRKİYE

Büşra ÇELİK

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kıymet DENİZ YAĞCIOĞLU

İç Anadolu, Senozoyik dönem boyunca yoğun volkanik aktiviteye maruz kalarak volkanik ve piroklastik kayalar ile volkan camlarının meydana gelmesine neden olmuştur. Bu yoğun volkanik aktivitenin bir ürünü olan perlit hakkında daha önce çalışmalar yapılsa da kökeni ve yaşlandırması hakkında bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışma alanı, İç Anadolu Bölgesi'nde Ankara ilinin Çubuk ilçesinde yer alan Susuz Köyü, Kuyumcu Köyü ve Yukarıemirler Köyü civarını kapsamaktadır. İnceleme alanındaki temel birimleri Orta-Üst Triyas yaşlı metamorfik kayalar ile Jura yaşlı allohton kireçtaşları oluşturmaktadır. Metamorfik temel kayalar volkanikler ile kesilmektedir. İncelenen perlitler Mamak ve Bozdağ Formasyonları içerisinde gözlenmektedir. Yapılan bu çalışmada Çubuk civarındaki perlitlerin yayılımlarının belirlenmesi, mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özellikleri ile bünyesindeki suyun kökeni ve yaşının belirlenerek bölgedeki diğer volkanik kayalarla ilişkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma alanındaki perlitler KB-GD doğrultulu normal faylar boyunca yüzlek vermiş olup yayılımları yaklaşık D-B yönlüdür ve mikroskobik olarak holohiyalin dokuludur. Perlit içerisindeki hidratasyon suyunun kökeninin aydınlatılması amacıyla yapılan O-D kararlı izotopik çalışma sonucunda, perlitlerin $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri ‰16,8-17,3 (ortalama ‰17,08), δD miktarları -137,73 ile -126,23 (ortalama -133,30 ‰) ve ‰3,02-3,24 arasında H_2O (ortalama ağırlıkça ‰3,17) içeriği tespit edilmiştir. Ayrıca perlitlerin içerisindeki suyun meteorik suların hidratasyonu sonucu oluştuğu ve son dengeyi 50-20°C arasında kaybettiği anlaşılmıştır. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yaşlandırma verilerine göre, Çubuk civarı perlitlerinin 43.6 ± 0.0 Ma yaşında ve Lütesiyen (Orta Eosen)'de oluştuğu sonucuna varılmıştır. Buna göre, Çubuk perlitlerinin bölgedeki volkanik kayalarla eş yaşlı olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Kasım 2023, 116 sayfa

Anahtar Kelimeler: Andezit, Perlit, Galatya Volkanitleri, Çubuk, İç Anadolu, Türkiye.

ABSTRACT

Master Thesis

PETROLOGY OF ÇUBUK (ANKARA) PERLITES AND THEIR RELATIONSHIP WITH REGIONAL VOLCANISM, CENTRAL ANATOLIA, TURKEY

Büşra ÇELİK

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kıymet DENİZ YAĞCIOĞLU

Central Anatolia was exposed to intense volcanic activity during the Cenozoic period, resulting in the formation of volcanic and pyroclastic rocks and volcanic glass. Although there have been previous studies on perlite, which is a product of this intense volcanic activity, there is no study on its origin and aging. The study area covers the surroundings of Susuz Village, Kuyumcu Village and Yukarıemirler Village, located in the Çubuk district of Ankara province in the Central Anatolia Region. The basement units in the study area consist of Middle-Upper Triassic aged metamorphic rocks and Jurassic aged allochthonous limestones. Metamorphic basement rocks are cut by volcanics. The examined perlites are observed within the Mamak and Bozdağ Formations. In this study, it was aimed to determine the distribution of perlite around Çubuk, to determine its mineralogical, petrographic and geochemical properties, the origin and age of the water in it, and to reveal its relationship with other volcanic rocks in the region. Perlites in the study area are exposed along NW-SE oriented normal faults, their distribution is approximately E-W and microscopically they have a holohyaline texture. As a result of the O-D stable isotopic study conducted to elucidate the origin of hydration water in perlite, $\delta^{18}\text{O}$ contents of perlites were 16.8-17.3‰ (average 17.08‰), δD amounts were -137.73 to -126.23‰ (average -133.30) and H_2O content between 3.02-3.24% (3.17% by weight on average) were determined. It has also been understood that the water in perlites was formed as a result of the hydration of meteoric waters and lost its final equilibrium between 50-20°C. According to $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating data, it is concluded that the perlites around Çubuk are 43.6 ± 0.0 Ma old and formed in the Lutetian (Middle Eocene). Accordingly, it was concluded that Çubuk perlites are contemporaneous with the volcanic rocks in the region.

November 2023, 116 pages

Key Words: Andesite, Perlite, Galatian Volcanics, Çubuk, Central Anatolia, Turkey.

TEŞEKKÜR

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’da 2023 yılında yapılmış olan yüksek lisans tezi kapsamında, tez konusunun belirlenmesinden tezin teslim edilmesine kadar her aşamada bilgi ve tecrübesiyle beni en iyi şekilde yönlendiren, benden bilimsel ve moral desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Kıymet DENİZ YAĞCIOĞLU’na sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarım sırasında engin tecrübeleriyle önüme ışık tutan, önerileri ile yönlendiren çok değerli hocam sayın Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU’na, çalışmalarımda fikir ve psikolojik desteğiyle her zaman yanımda olan Arş. Gör. Aslıhan KORKMAZ ERYILMAZ’a, laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Sernur GÖK’e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm bu çalışmalarımın neticesinde ortaya koymuş olduğum tezimin incelenmesinde kıymetli vakitlerini ayıran, bilgi, düşünce ve önerileriyle katkıda bulunan saygıdeğer jüri üyelerim Doç. Dr. Orkun ERSOY’a ve Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU’na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hem tez çalışmam kapsamında hem de tüm öğrencilik hayatım boyunca benden hiçbir fedakârlığı esirgemeyen canım aileme teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez çalışmamın laboratuvar çalışmaları boyunca tüm imkânlarından yararlanmamı sağlayan Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)’nin yönetici ve çalışanlarına sonsuz teşekkür ederim. Son olarak; ‘Çubuk (Ankara) Perlitlerinin Petrolojisi ve Bölge Volkanizması ile İlişkisi, İç Anadolu, Türkiye’ başlıklı, FYL-2022-2393 proje numaralı Yüksek Lisans Tez Projesini destekleyerek çalışmalarına maddi destek sağlayan Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Destekleme Koordinatörlüğü’ne teşekkür ederim.

Büşra ÇELİK
Ankara, Kasım 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	3
1.2 Materyal ve Yöntem.....	3
1.2.1 Literatür araştırmaları.....	3
1.2.2 Arazi çalışmaları	3
1.2.3 Laboratuvar çalışmaları.....	4
1.2.3.1 Mineralojik ve petrografik çalışmalar	4
1.2.3.2 Jeokimyasal analizler	5
1.2.3.3 İzotop jeokimyası analizleri	7
1.2.3.4 Jeokronolojik analizler	7
1.2.4 Büro çalışmaları	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	8
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ.....	13
4. MİNERALJİ VE PETROGRAFİ	24
4.1 Volkanik ve Piroklastik Kayalar	24
4.1.1 Silisleşmiş piroklastitler	24
4.1.2 Trakit-Trakiandezit	28
4.1.3 Trakibazalt	28
4.1.4 Bazaltik andezit	32
4.1.5 Volkanik fay breşi	35
4.2 Perlitler.....	35
5. JEOKİMYA.....	40
5.1 Volkanik Kayaların Jeokimyası	41

5.1.1 Çalışma alanındaki volkanik kayaların sınıflaması.....	44
5.1.2 Volkanik kayaların ana element jeokimyası	47
5.1.3 volkanik kayaların iz element Jeokimyası	50
5.2 Perlitlerin Jeokimyası	53
5.2.1 Çalışma alanındaki perlitlerin sınıflaması.....	55
5.2.2 Perlitlerin ana element jeokimyası	58
5.2.3 Perlitlerin iz element jeokimyası.....	60
5.3 Köken	62
6. İZOTOP JEOKİMYASI	66
7. YAŞLANDIRMA	69
8. TARTIŞMA	70
8.1 Volkanik Kayaların Karşılaştırılması	70
8.2 Perlitlerin Karşılaştırılması	78
8.3 Kökenlerin Karşılaştırılması.....	85
8.4 İzotop Jeokimyalarının Karşılaştırılması	89
8.5 Yaşlandırma Verilerinin Karşılaştırılması	90
9. SONUÇLAR	91
KAYNAKLAR	93
EKLER.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	116

SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
Ar	Argon
As	Arsenik
B	Batı
Ba	Baryum
Ca	Kalsiyum
Cl	Klor
cm	Santimetre
Co	Kobalt
Cu	Bakır
D	Doğu
D	Döteryum
g	Gram
G	Güney
Ga	Galyum
GB	Güneybatı
H	Hidrojen
Hf	Hafniyum
K	Kuzey
K	Potasyum
KD	Kuzeydoğu
km	Kilometre
kV	Kilovolt
La	Lantan
Ma	Milyon yıl
mA	Miliamper
mg	Miligram
mm	Milimetre
Na	Sodyum
Nb	Neobiyum
nm	Nanometre
O	Oksijen
Pb	Kurşun
Rb	Rubidyum
Sr	Stronsiyum
Th	Toryum
U	Uranyum
Y	İtriyum
Zn	Çinko

Kısaltmalar

AK	Ateşte Kayıp
Ar-Ar	Argon-Argon
Bt	Biyotit
Chl	Klorit
CIA	Kimyasal Alterasyon İndeksi
CIW	Kimyasal Ayrışma İndeksi
EAV	Doğu Anadolu Volkanikleri
GB	Güneybatı
GPS	Global Positioning System-Küresel Konum Belirleme Sistemi
GVP	Galatya Volkanik Provensi
HFS	High Field Strength Element (Kalıcılığı yüksek katyonlar)
İAEKZ	İzmir Ankara Erzincan Kenet Zonu
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
K-Ar	Potasyum-Argon
KB	Kuzeybatı
KM	Kırşehir Masifi
KRS	Konfokal Raman Spektroskopisi
LIL	Large Ion Lithophile (Geniş iyonlu litofil)
MAV	Orta Anadolu Volkanikleri
MIRF	Manitoba İzotop Araştırma Tesisi
MORB	Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları
My	Milyon yıl
mW	Megawatt
MWL	Maximum Water Level (Maksimum Su Seviyesi)
Opq	Opak Mineral
PED-XRF	Polarize Enerji Dispersif X Işınları Floresans Spektrometresi
PIA	Plajiyoklaz Ayrışma İndeksi
Pl	Plajiyoklaz
prx	Piroksen
PWI	Potansiyel Ayrışma İndeksi
R	Ruxton Oranı
V	Vogt Kalıntı İndeksi
VSMOV	Viyana Standart Ortalama Okyanus Suyu
WAV	Batı Anadolu volkanikleri
WIP	Parker Günlenme İndeksi
XRD	X-Işını Difraktometresi
XRF	X Işınları Floresans Spektrometresi
YEBİM	Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Çalışma alanının yer buldu haritası.....	1
Şekil 1.2	Çalışma alanının genel jeoloji haritası.....	2
Şekil 1.3	Jeokimyasal analizleri yapılan numunelerin işlem sıraları.....	6
Şekil 3.1	Türkiye'nin temel volkanik bölgeleri ve çalışma alanının konumu.....	13
Şekil 3.2	Çalışma alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit.....	15
Şekil 3.3	İnceleme alanında kuzeybatıya doğru bakış.....	17
Şekil 3.4	Yukarı Emirler köyü perlit ocağının yukarısında çekilmiş trakibazaltların a) arazi görüntüsü b) ölçekli el örneğinin görünümü...18	
Şekil 3.5	D-B yayılımlı fay aynasından alınan volkanik fay breşininin a) arazi görünümü b) el örneğinin ölçekli görünümü.....	18
Şekil 3.6	Trakit-trakiandezitli bölgeden kuzeybatıya bakış b) Trakit-trakiandezitlerin el örneğindeki görünümü.....	19
Şekil 3.7	Çalışma alanındaki perlitlerin ve volkanoklastik birimlerin sınırlarını gösteren jeoloji haritası.....	20
Şekil 3.8	Yukarı Emirler-Susuz köyleri civarındaki perlitlerin farklı lokasyonlardaki arazi görünümleri.....	21
Şekil 3.9	Bazaltik andezitlerin a) arazi b) ölçekli el örneğindeki görünümü.....	22
Şekil 3.10	Arazi çalışması boyunca rastlanan tüflerin a) arazi b,c) ölçekli el örneklerinin; ignimbiritlerin d) arazi, e,f) ölçekli el örneklerinin görünümü.....	23
Şekil 4.1	Çalışma alanında gözlenen silisleşmiş tüfün mikrofotografı (a: paralel nikol, b: çapraz nikol, pl: plajiyoklaz, bt: biyotit, opq: opak mineral, lt: litik).....	25
Şekil 4.2	Silisleşmiş tüf içerisindeki plajiyoklaz mineralindeki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması.....	26
Şekil 4.3	Çalışma alanında gözlenen ignimbiritin mikrofotografı (a: paralel nikol, b: çapraz nikol).....	26

Şekil 4.4	Çalışma alanındaki ignimbiritler içerisindeki plajiyoklaz mineralindeki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması..27
Şekil 4.5	Holohiyalin dokulu trakit-trakiandezitteki kristalit ve mikrolitlerin a) paralel nikol b) çapraz nikol fotomikroğrafi.....28
Şekil 4.6	Akma dokusu gözlemlenen trakibazaltların mikrofotoğrafi (a: paralel nikol, b: çapraz nikol, prx: piroksen, chl: klorit)......29
Şekil 4.7	Trakibazaltların içerisinde bulunan piroksen mineralindeki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması.....30
Şekil 4.8	Trakibazaltların içerisindeki klorit mineralindeki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması.....31
Şekil 4.9	Trakibazaltların içerisindeki opak minerallerin Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması.....32
Şekil 4.10	Çalışma alanında gözlenen bazaltik andezitin mikrofotoğrafi (a: paralel nikol, b: çapraz nikol, pl: plajiyoklaz, bt: biyotit, opq: opak mineral, prk: piroksen)......33
Şekil 4.11	Bazaltik andezitlerin içerisindeki plajiyoklaz mineralindeki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması.....33
Şekil 4.12	Bazaltik andezitlerin içerisindeki piroksen mineralindeki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması,.....34
Şekil 4.13	Breşik doku gösteren volkanik fay breşinin a) paralel nikol b) çapraz nikol fotomikroğrafi.....35
Şekil 4.14	Çalışma alanından alınan perlit örneklerinin a,c,e,g) paralel nikol b,d,f,h) çapraz nikoldaki soğan zarı yapısının görüntüsü.....36
Şekil 4.15	Perlitlerini içerisinde bulunan silis dolgularındaki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması.....37

Şekil 4.16	Perlitin soğan zarı yapısından seçilen noktanın Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması.....	38
Şekil 4.17	Altere örneklerin XRD Difraktogramı.....	39
Şekil 5.1	Yukarıemirler civarındaki volkanik kayaların a) CIA, b) CIW, c) PIA, d) PWI, e) WIP, f) V, g) AK ve h) R alterasyon indekslerine bağlı olarak oluşturulan diyagramlar.....	43
Şekil 5.2	ACNK diyagramında çalışma bölgesinden alınan volkanik kayaların konumları ve CIA'ya göre sınıflandırılması.....	44
Şekil 5.3	Tez zahasındaki volkanik kayaların toplam alkali silika değişim diyagramı.....	45
Şekil 5.4	Çubuk ilçesi Yukarı Emirler-Susuz köyü civarındaki volkanik kayaların sınıflama diyagramı.....	46
Şekil 5.5	Çalışma alanından toplanan volkanik kayaların A/NK-A/CNK diyagramı.....	47
Şekil 5.6	Trakit-trakiandezit, trakibazalt, bazaltik andezit ve perlit kayalarının minimum ve maksimum değerleri (a)SiO ₂ , (b)Al ₂ O ₃ , (c)Fe ₂ O ₃ , (d)MgO, (e)CaO, (f)Na ₂ O, (g)K ₂ O, (h)SO ₃ , (i)Cl.....	48
Şekil 5.7	Trakit-trakiandezit, trakibazalt ve bazaltik andezit kayalarının SiO ₂ 'ye karşı ana oksit Harker Diyagramları (a)Al ₂ O ₃ , (b)MgO, (c)CaO, (d)Na ₂ O, (e)K ₂ O, (f)TiO ₂ , (g)MnO, (h)P ₂ O ₅ , (i)Fe ₂ O ₃	49
Şekil 5.8	Trakit-trakiandezit, trakibazalt, bazaltik andezit ve perlit kayalarının iz element minimum ve maksimum değerleri (a)As, (b)Ba, (c)Co, (d)Cu, (e)Ga, (f)Hf, (g)La, (h)Nb, (i)Pb, (j)Rb, (k)Sr, (l)Th, (m)U, (n)Y, (o)Zn.....	51
Şekil 5.9	Trakit-trakiandezit, trakibazalt ve bazaltik andezit kayalarının iz element Harker Diyagramları (a)SiO ₂ -La, (b)SiO ₂ -Rb, (c)SiO ₂ -Sr, (d)SiO ₂ -Th, (e)SiO ₂ -Zr, (f)SiO ₂ -Nb, (g)SiO ₂ -Hf, (h)SiO ₂ -Y.....	52
Şekil 5.10	Yukarı Emirler köyü civarından alınan perlit örneklerinin a) CIA, b) CIW, c) PIA, d) PWI, e) WIP, f) V, g) AK ve h) R alterasyon indekslerine bağlı olarak oluşturulan diyagramlar.....	54
Şekil 5.11	ACNK diyagramında çalışma bölgesinden alınan perlitlerin konumları ve CIA'ya göre sınıflandırılması.....	55
Şekil 5.12	Tez zahasındaki perlitlerin toplam alkali-silika değişim diyagramı.....	56

Şekil 5.13	AFM (Na ₂ O+K ₂ O–FeO–MgO) diyagramı.....	57
Şekil 5.14	Tez sahasından alınan perlitlerin A/NK-A/CNK diyagramı.....	58
Şekil 5.15	Perlit kayalarının SiO ₂ 'ye karşı ana oksit Harker Diyagramları (a)Al ₂ O ₃ , (b)MgO, (c)CaO, (d)Na ₂ O, (e)K ₂ O, (f)TiO ₂ , (g)MnO, (h)P ₂ O ₅ , (i)Fe ₂ O ₃	59
Şekil 5.16	Perlitlerin SiO ₂ 'ye karşı iz element Harker Diyagramları (a)La, (b)Rb, (c)Sr, (d)Th, (e)Zr, (f)Nb, (g)Hf, (h)Y	61
Şekil 5.17	Çubuk civarı volkanik kayaların ORG'e göre normalize edilmiş iz elementlerinin örümcek diyagramlarındaki dağılımı.....	62
Şekil 5.18	Çubuk civarı volkanik kayaların alt kabuğa göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramı.....	63
Şekil 5.19	Çubuk civarı volkanik kayaların alt kabuğa göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramı.....	64
Şekil 5.20	Çubuk civarı volkanik kayaların MORB'a göre normalize edilmiş örümcek diyagramı.....	65
Şekil 6.1	Çubuk perlitlerine ait H ₂ O–δD diyagramı.....	67
Şekil 6.2	Çubuk perlitlerine ait toplam su içeriği ve δD VSMOV karşılaştırılması.....	67
Şekil 6.3	Çubuk perlitlerinin δ ¹⁸ O ve δD diyagramı.....	68
Şekil 7.1	Çubuk civarı perlitlerinin ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar yaşlandırmasına ait plato diyagramı.....	69
Şekil 8.1	Çalışma alanındaki volkanik kayalar ile o bölgede yapılmış incelemeler sonucu alınan volkanik kaya örneklerinin alterasyon indekslerinin karşılaştırılması a) CIA, b) CIW, c) PIA, d) PWI, e) WIP, f) V, g) AK ve h) R.....	72
Şekil 8.2	ACNK diyagramında çalışma bölgesinden alınan volkanik kayalar ile literatürden alınan verilerin konumları ve CIA'ya göre sınıflandırılması.....	73
Şekil 8.3	Çalışma alanındaki volkanik kayalar ile GVP'ye ait örneklerin toplam alkali–silika değişim diyagramı.....	74
Şekil 8.4	Çubuk ilçesi Yukarı Emirler-Susuz köyü civarındaki tüm volkanik kayaların sınıflama diyagramı.....	75

Şekil 8.5	Çalışma alanına ait volkanik kayaların literatür sonuçlarıyla karşılaştırılması A/NK-A/CNK diyagramı.....	76
Şekil 8.6	Trakit-trakiandezit, trakibazalt, bazaltik andezit ve GVP'ye ait volkanik kayalarının SiO_2 'ye karşı ana oksit Harker Diyagramları (a) Al_2O_3 , (b) MgO , (c) CaO , (d) Na_2O , (e) K_2O , (f) TiO_2 , (g) MnO , (h) P_2O_5 , (i) Fe_2O_3	77
Şekil 8.7	Çalışma alanındaki perlitler ile Türkiye'nin farklı noktalarından alınan volkan camlarının alterasyon indekslerinin karşılaştırılması a) CIA, b) CIW, c) PIA, d) PWI, e) WIP, f) V, g) AK ve h) R.....	79
Şekil 8.8	ACNK diyagramında çalışma bölgesinden alınan perlitik kayalar ile literatürden alınan verilerin konumları ve CIA'ya göre sınıflandırılması.....	80
Şekil 8.9	Çalışma alanındaki perlitler ile diğer volkan camlarının toplam alkali-silika değişim diyagramı.....	81
Şekil 8.10	Çalışma alanındaki perlitler ile literatür sonuçlarının A/NK-A/CNK diyagramında karşılaştırılması.....	82
Şekil 8.11	Çubuk perlitleri ile Balıkesir, Erzincan, İzmir (Cumaovası), Van (Süphan) perlitleri, Çubuk riyolitleri ve Nevşehir (Acıgöl) obsidiyeninin SiO_2 'ye karşı ana element örümcek diyagramları (a) Al_2O_3 , (b) MgO , (c) CaO , (d) Na_2O , (e) K_2O , (f) TiO_2 , (g) MnO , (h) P_2O_5 , (i) Fe_2O_3	84
Şekil 8.12	Çubuk perlitleri, Nevşehir (Acıgöl) obsidyeni ve Balıkesir, Erzincan, İzmir (Cumaovası) ve Van perlitlerinin üçgen diyagramları (a) $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{LOI}$ üçgen diyagramı, b) $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{LOI}$ diyagramı, c) Vindal-Solano vd. 2020 $\text{Zr/Rb}-\text{Sr/Y}-\text{Nb}/10$ diyagramı, d) $\text{Mn}/10-\text{Sr}-\text{Vindal-Solano}$ ve diğerlerinin Y üçgen diyagramı. 2020, e) Vindal-Solano vd. 2020'nin $\text{Fe}^{*2}-\text{Y}^{*1000}$, Nb^{*1000} , Zr^{*100} , Rb^{*100} , $\text{Sr}^{*500}-\text{Mn}^{*50}$ üçgen diyagramları.....	85
Şekil 8.13	Çubuk civarı volkanik kayaların ORG'e göre normalize edilmiş iz elementlerinin örümcek diyagramlarındaki dağılımı.....	86
Şekil 8.14	Çubuk civarı volkanik kayaların ve riyolit örneğinin alt kabuğa göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramı.....	87
Şekil 8.15	Çubuk civarı volkanik kayaların ve riyolit örneğinin üst kabuğa göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramı.....	88
Şekil 8.16	Çubuk civarı volkanik kayaların MORB'a göre normalize edilmiş örümcek diyagramı.....	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

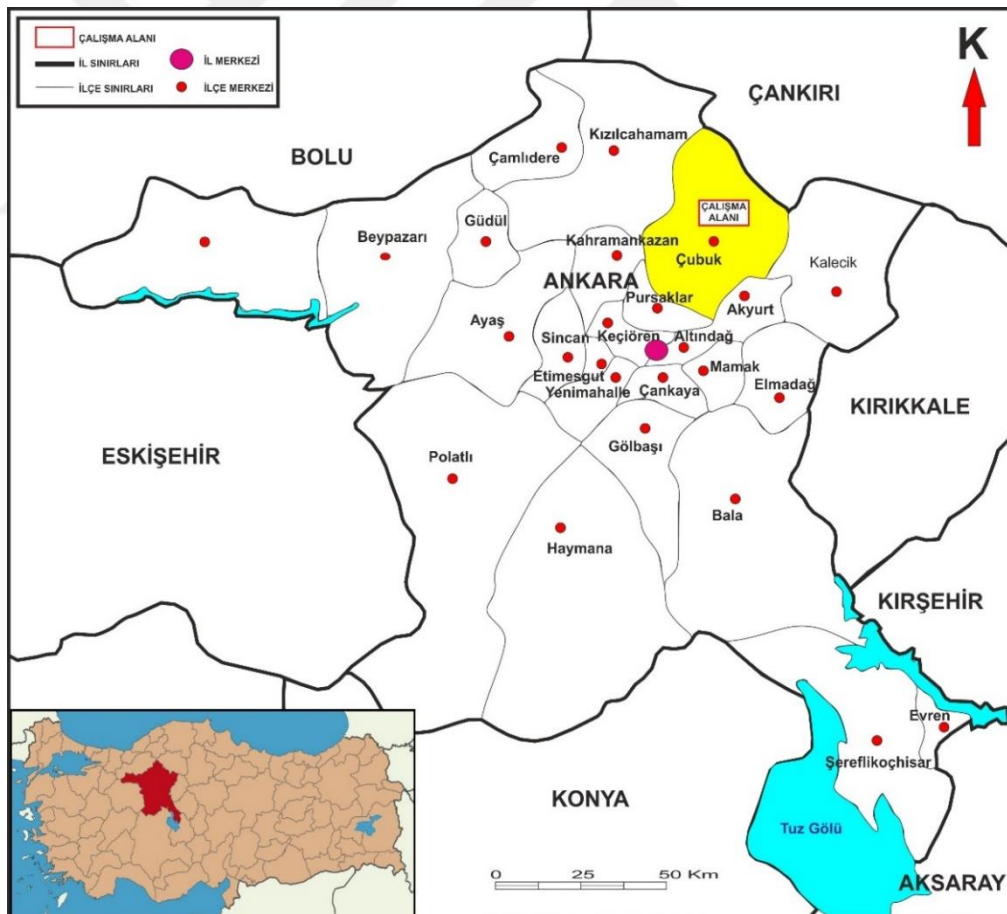
Çizelge 5.1 Bozunma ve günlenme değerlerine bağlı olarak sunulan değerlendirme ve formüller	40
Çizelge 6.1 Analizleri yapılan perlit örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$, δD ve H_2O değerleri	66



1. GİRİŞ

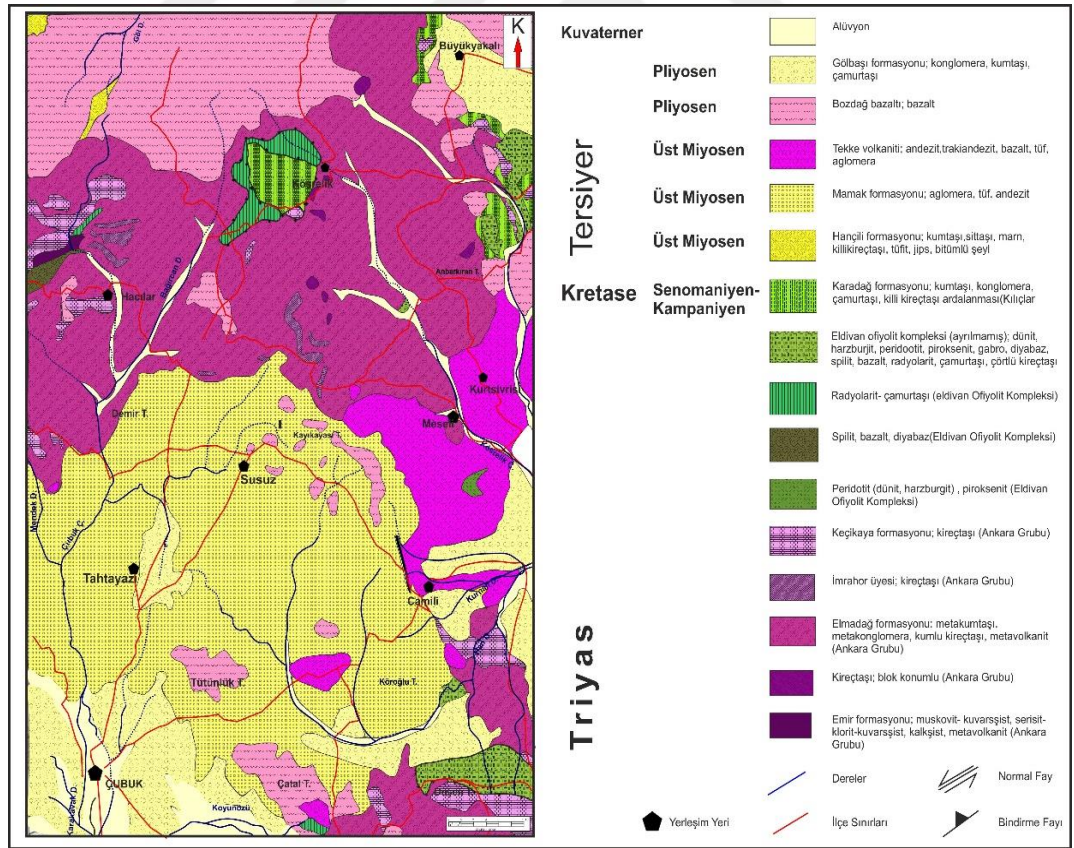
Bu çalışma yüksek lisans tezi kapsamında Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesi'nde Ankara iline 40 km uzaklıkta bulunan Çubuk ilçesine bağlı Susuz Köyü, Yukarı Emirler Köyü, Kuyumcu Köyü civarındadır (Şekil 1.1). İnceleme alanının batısında Kızılcahamam ve Kazan, doğusunda Kalecik, güneyinde Pursaklar ve Akyurt ilçeleri yer almaktadır (Şekil 1.1). Tez sahasında Dumanlı Tepe, Elmalı Tepe, Pamucak Tepe, Kocakavak Tepe, Kale Tepe, Üçbaş Tepe, Kılıçkaya Tepe, Ayıkayası Tepesi, Çıldırılıkaya Tepe ile Kalpakkaya Tepe bulunmaktadır (Şekil 1.2) (Akyürek 1988).



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer buldu haritası (Saygılı 2019'dan değiştirilmiştir)

Çalışma alanındaki temel birimlerini Orta-Üst Triyas yaşlı metamorfik kayalar ile Jura yaşlı kireçtaşları oluşturmaktadır (Şekil 2) (Akyürek vd. 1979). Metamorfik temel kayalar volkanikler ile kesilmektedir. Bölgedeki perlitlere Mamak ve Bozdağ Formasyonlarında rastlanılmaktadır (Akyürek vd. 1980). Mamak Formasyonu Eosen yaşlı aglomera ve tuf ile andezitlerden meydana gelmektedir (Akyürek vd. 1980, Dönmez ve Akçay 2010). Bozdağ Formasyonu ise Pliyosen yaşlı bazalt bileşimindeki kayalardan oluşmaktadır (Akyürek vd. 1980) Mamak ve Bozdağ Formasyonları Eosen yaşlı Tekke Volanitleri ile Pliyosen yaşlı Bozdağ Bazaltları tarafından üzerlenirlerken, Mamak Formasyonu'nun üzerine sırasıyla Eosen yaşlı Hançılı Formasyonu ve Karakoçuş Formasyonu gelmektedir (Akyürek vd. 1980, Dönmez ve Akçay 2010). Tekke Volkanitleri andezit, tarkiandezit, bazalt, tuf ve aglomeralardan meydana gelmektedir. Hançili Formasyonu kumtaşı, silttaşı, marn, killi kireçtaşı, tüfit, jips ve bitümlü şeyllerden oluşurken, Karakoçuş Formasyonu konglomera ve kumtaşlarından meydana gelmektedir (Akyürek vd. 1980).



Şekil 1.2 Çalışma alanının genel jeoloji haritası (Akyürek vd. 1980'den alınarak yeniden çizilmiştir)

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında Ankara ili Çubuk ilçesi civarında görülen perlitlerin mineraloji, petrografi, jeokimya, izotop jeokimyası ve jeokronolojik veriler yardımıyla kökeni anlaşılmaya çalışılmıştır. Ayrıca Eosen yaşlı birimler içerisinde bulunan perlitlerin mineralojisinin, petrografisinin, petrolojisinin belirlenmesi ve bölge volkanizması ile oluşum ilişkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Daha önceki çalışmalarda bölgede perlitlerin varlığından bahsedilmesine rağmen detaylı spektroskopik tanımlamaları yapılmamış ve kökenleri açıklanmamıştır. Bu çalışmada belirtilen lokasyonlarda bulunan perlitlerin tanımlamaları yapıp, su içeriği, petrolojisi ve izotopik verilerle kökenlerinin belirlendiği geniş kapsamlı bir çalışma ortaya konulmuştur.

1.2 Materyal ve Yöntem

Yapılan yüksek lisans tez çalışması literatür araştırmaları, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere dört alt başlık altında tamamlanmıştır.

1.2.1 Literatür araştırmaları

Literatür araştırmaları kapsamında Ankara ili Çubuk ilçesi civarındaki perlitler, volkanitler ile Galatya Volkanitleri ve içerisinde bulunan perlitler hakkında yapılmış olan bilimsel yayınlar, yüksek lisans ve doktora tezleri ile jeolojik raporlardan bilgi edinilmiştir. Ayrıca kitap, dergi, internet ve kütüphanelerden faydalanarak Çubuk civarında bulunan perlitlerin jeolojisi, petrolojisi ve diğer volkanik kayalarla ilişkisi hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır.

1.2.2 Arazi çalışmaları

Arazi çalışması sırasında Çankırı H30 paftasından yararlanılarak H30 a4 ve a3 paftalarının jeoloji haritalarından yararlanılmıştır. Arazi çalışmalarında Çankırı H30 a3

ve a4 paftaları yeniden revize edilerek, perlitlerin sınırları belirlenmiş ve haritada çizilmiştir. Susuz Köyü, Kuyumcu Köyü ve Yukarı Emirler Köyü civarında bulunan Mamak ve Bozdağ Formasyonlarının içerisinde bulunan perlitlerin makroskobik ve mezoskobik incelemeleri yapılarak tipik özellikleri belirlenmiş ve görüntülenmiştir. Çalışma alanı ve çevresinde bulunan volkanik birimlerden ve perlitlerden örnekleme yapılmıştır. Bununla birlikte arazide gözlenen faylar tespit edilip haritaya işlenmiş, birimler ile ilişkileri ortaya konulmuştur. Numunelerin alındığı lokasyonlar GPS (Global Positioning System–Küresel Konum Belirleme Sistemi) yardımıyla tespit edilip not edilmiş ve EK 1’de sunulmuştur. Ayrıca bilgiler topografik harita üzerine işlenmiştir.

1.2.3 Laboratuvar çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları kapsamında araziden alınan örneklerin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal analizleri yapılmıştır. Ayrıca altere olmayan bir perlit örneğinden Argon-Argon (Ar-Ar) yaşlandırması ve beş farklı perlit örneğinden izotop (oksijen (^{18}O), döteryum (D)) analizleri yapılmıştır. Yapılan laboratuvar çalışmaları mineralojik ve petrografik çalışmalar ile jeokimyasal analizler olmak üzere iki alt başlıkta incelenmiştir.

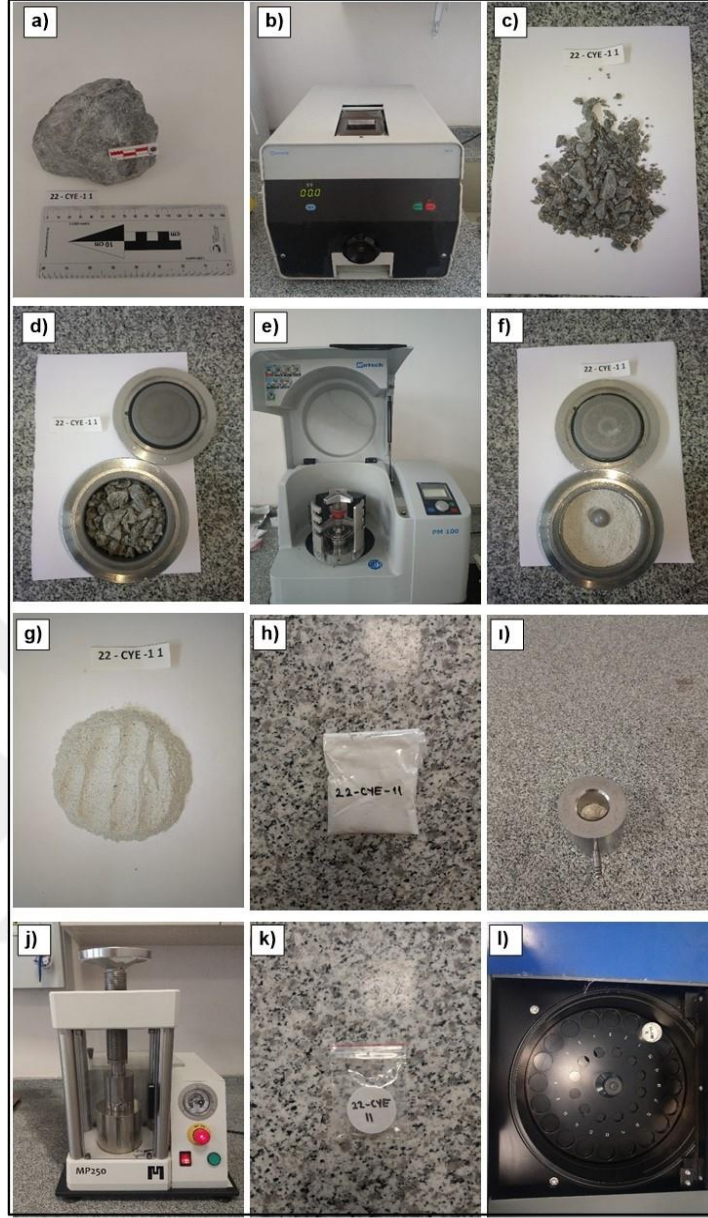
1.2.3.1 Mineralojik ve petrografik çalışmalar

Mineralojik ve petrografik çalışmalar kapsamında ilk olarak araziden alınmış otuz beş adet örnekten üstü açık ince kesitler hazırlanmış ve bu ince kesitler Leica marka DMLP model polarizan mikroskopta incelenmiştir. Mikroskopta incelenen örneklerin genel ve özel dokuları, bozunmaları, mineralojik kompozisyonları tespit edilerek kayaların adlandırılmaları yapılmış ve her bir örneğin Zeiss marka Axio scope A1 model mikroskopta AxioCam 506 renkli kamera kullanılarak ince kesit fotoğrafları çekilmiştir. Alınan örneklerden on altı tanesi perlit, beş tanesi trakibazalt, üç tanesi trakit-trakiandezit, beş tanesi bazaltik andezit, üç tanesi silisleşmiş tüf, iki tanesi silisleşmiş ignimbirit, iki tanesi volkanik fay breşi ve bir tanesi silisleşmiş volkan camı olarak adlandırılmış ve detaylı mineralojik ve petrografik özellikleri tablo halinde EK-1’de sunulmuştur. Toplamda on bir farklı örnekten hidroksil bağlarının varlığını ortaya koymak ve ikincil

oluşumları göstermek amacıyla, Thermo Fisher Scientific marka DXR model cihaz ile üstü açık ince kesitlerden noktasal olarak Konfokal Raman Spektroskopisi (KRS) analizi yapılmıştır. KRS çalışmalarında 633 nm lazer 7 mW güçte kullanılmış olup 50-1200 cm^{-1} aralığında spektrum alınmıştır. Analiz edilen nokta boyutu 0.7 μm , ortalama çözünürlük 2.6-4.4 cm^{-1} ve açıklık 600 çizgiler/mm'dir. Dört farklı perlit örneğinden kil oluşumlarının varlığını ve türünü belirlemek amacı ile $\lambda = 1.788970 \text{ \AA}$ dalga boyunda Co katotlu ve 120° kavisli konuma duyarlı detektör ile çalışan Inel marka Equinox 1000 model X-Işını Difraktometrisi (XRD) ile analizler yapılmıştır. Yapılan tüm bu analizler Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) laboratuvarlarında ve cihazlarında yapılmıştır.

1.2.3.2 Jeokimyasal analizler

Araziden alınmış tüm kaya örneklerinin ana oksit ve iz element miktarlarını tayin etmek amacıyla YEBİM laboratuvarında analizler yapılmıştır. İlk olarak numuneler çekiç ile yaklaşık 10 cm olacak şekilde kırılmıştır. Daha sonra Retsch marka otomatik taş kırıcı yardımıyla 1 cm'den daha küçük parçalar haline getirilmiştir (Şekil 1.3 a-c). Fritsch marka otomatik öğütücüde Tungsten Karbid değirmen kullanılarak pudra kıvamına gelene kadar öğütülmüştür (Şekil 1.3 d-g). Numunelerin sertliğine bağlı olarak değişmekle birlikte öğütme süresi genel olarak elli saniye civarındadır. Öğütülmüş numuneler örnek poşetlerine ismi yazılarak titizlikle ve laboratuvar koşullarına uygun olarak konulmuştur (Şekil 1.3h). Her bir örnek laboratuvarında hassas terazi ile 4 gram tartılarak 0.9 gram bağlayıcı malzeme olan wachs ile karıştırılmıştır (Şekil 1.3i). Ardından bu karışım hidrolik baskı cihazı ile sıkıştırılarak pellet haline getirilmiş ve üzerlerine karışmaması için örnek isimleri yazılmıştır (Şekil 1.3 i-j). Pelletlerin ana oksit ve iz element analizleri Spectro marka X-LAB 2000 model Polarize Enerji Dağılımlı X-Işınları Floresans Spektrometresi (PEDXRF) kullanılarak vakumlu ortamda, 15.0 kV ve 11.4 mA koşullarında ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.3k). Tüm ölçümler farklı bileşimdeki magmatik kaya standartları kullanılarak oluşturulmuş JEO-7220 methodu kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 1.3 Jeokimyasal analizleri yapılan numunelerin işlem sıraları

a) Araziden alınmış ana kaya örneğinin ölçekli görüntüsü b-c) Retsch marka otomatik taş kırıcı makinesi ile örneğin daha küçük parçalar haline getirilmesi d) Tungsten Karbid kullanılarak daha küçük boyutlara getirilen örneğin içine aktarılması e-g) Fritsch marka otomatik öğütücü kullanılarak numunelerin 1 mm'nin altındaki tane boyutuna getirilmesi h) Pudra kıvamındaki örneğin uygun poşetlere ismi yazılarak aktarılması ı-j) 4 gram tartılmış örnek ile 0.9 gram bağlayıcı malzeme karışımının hidrolik pres cihazı ile baskılanarak pellet haline getirilmesi k) Spectro marka X-LAB 2000 model PEDXRF ile örneğin kimyasal analizinin gerçekleştirilmesi

1.2.3.3 İzotop jeokimyası analizleri

Çubuk civarına ait beş farklı örnekten perlitlerin içindeki suyun oluşum zamanını ve kökenini belirlemek amacıyla Oregon Üniversitesi Kararlı İzotop Laboratuvarı'nda ^{18}O , D izotop analizleri ve H_2O ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kararlı izotop analizi tüm kaya örnekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizde YEBİM laboratuvarlarında kırılmış perlit örnekleri kullanılmıştır. Ölçümlerde TCEA-MAT 253 kütle spektrometresi kullanılmıştır, farklı zamanlarda tekli okunan standartlarda D/H oranı için hassasiyet $\pm 1-3\%$ ve $[\text{H}_2\text{O}]_{\text{tot}}$ için belirsizlik $\pm \%0.02$ 'dir (Nolan ve Bindeman 2013, Bindeman ve Lowenstern 2016, Seligman vd. 2016). $\delta^{18}\text{O}$ analizleri tüm kaya perlit örneklerinden 1-2 mg numunede lazer florlama tekniği ile yapılmıştır. Analiz prosedürü Bindeman ve Lowenstern (2016), Bindeman (2008) ve Loewen and Bindeman (2015) tarafından belirtildiği gibi uygulanmıştır. Tüm veriler VSMOW'a göre normalleştirilerek kullanılmıştır.

1.2.3.4 Jeokronolojik analizler

Perlitlerin yaşlarını tespit etmek amacıyla altere olmamış bir örnekten Argon-Argon ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) yaşlandırma analizi yapılmıştır. Analiz Kanada Manitoba İzotop Araştırma Tesisi Argon-Argon Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

1.2.4 Büro çalışmaları

Büro çalışmaları kapsamına elde edilmiş tüm arazi, literatür ve laboratuvar bilgileri derlenerek Ankara ili Çubuk ilçesi civarında yer alan perlitlerin, bölgedeki diğer volkanitlerle ilişkisi ortaya konulmuş ve aynı zamanda yaşı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, CorelDraw X5 programı yardımıyla çalışma alanının revize edilen jeoloji haritası ve jeolojik kolon kesiti dijital olarak çizilmiştir. Grapher çizim programı ile de numelerin ana oksit ve iz element sonuçlarına göre jeokimyasal diyagramları çizilerek bölge volkanitleri ile ilişkileri de ortaya konulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Erol (1952), Ankara'nın kuzey kesiminde yer alan Mire ve Aydos Dağları'nın arasında kalan bölgenin Tersiyer'de meydana gelen volkanizma sonucu meydana gelen andezit ve bazaltların Köroğlu Masifi'nin güney uç kısımlarına ait olduğunu ifade etmiştir.

Erk (1958), petrol potansiyelini tespit edebilmek amacıyla Kızılcahamam-Haymana-Ayaş (Ankara) dolaylarında yaptığı çalışmalar sonucunda bölgedeki volkanik malzemeleri tuf, riolit ve andezit olarak belirtmiştir.

Orhun (1970), perlit madenciğinin giderek hızlandığını ve sanayide önemli bir konumu olduğunu söylemiştir. Ayrıca Türkiye'de geniş rezervlere sahip olmamıza rağmen çok az tanındığını savunmuştur. Çalışmasında perlit hakkında genel bilgiler vermesinin yanı sıra perlitin geniş çevreye tanıtılması gerektiğini öne sürmüştür. Perlitin fiziksel, kimyasal ve minerolojik özellikleri, hazırlanması, perlitin Dünya'da ve Türkiye'deki durumu ve ekonomik önemi hakkında bilgiler vermiştir.

Çalgın vd. (1973), Gölbaşı-Sincan-Elmadağ (Ankara) civarında yaptıkları çalışmalarda, bölgedeki volkanizmanın Alt Pliyosen'de duraklayıp burada bazik karaktere dönüştüğünü ve sonra tekrar harekete geçtiğini savunmuştur.

Ünsal (1973), Ankara'daki Paleozoik yaşlı temel kayaları grovak ve şiddetli metamorfik şistler ile az metamorfik şistler olarak ikiye ayırmıştır. Ayrıca Ankara İli'nin Çubuk İlçesi Uluğaç Köyü çevresinde ve Çankırı İli'nin Orta İlçesi Kalfat Köyü çevresinde detaylı perlit etüdüleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonunda Çubuk İlçesi Uluğaç Köyü çevresinde 51 milyon ton, Çankırı İli Orta İlçesi Kalfat Köyü çevresinde 132 milyon ton görünür perlit rezervi tespit edilmiştir.

Günalay (1974), Ankara'nın Çubuk ve Akyurt ilçelerinde perlit yataklarının araştırılması bünyesinde çalışmalar yapmış ancak bölgede perlit yataklarının bulunmadığını belirtmiştir.

Tatlı (1975), Köroğlu Volkanik Kompleksinin uçlarında gerçekleştirdiği incelemelerde bölgedeki volkanik ürünlerin aa lavları olarak bilinen eski volkanik ürünler, ara lavlar, piroklastik malzeme ve asit lav ve dom içeren üst lavlar olmak üzere dört gruba ayırmıştır. Ayrıca andezit, bazalt bileşimli lavların inceledikleri ara lavlar olduğunu sonrasında bunların asidik lav domlarını oluşturduğunu savunmuştur.

Suludere (1976), Ankara-Çubuk'taki Meşeli-Aşağı Emirler-Dedeler bölgelerinde jeolojik çalışmalarda bulunmuş ve bölgedeki volkanik kayalar asit lav, bazik lav ve tuf olarak ayırmıştır. Ayrıca bölgede az miktarda perlit oluşumlarının varlığından bahsetmiştir.

Öngür (1977), Kızılcahamam civarında gerçekleştirdiği çalışmalarda bölgedeki volkanik ürünler olan andezit, bazalt, riyolit ve dasitlerden bazılarının alkalin bazılarının ise subalkalin karakterli olduğu tespit etmiş ve bunu da Tersiyer volkanizmasının iki aşamada gerçekleştiğini ileri sürerek açıklamıştır.

Akyürek vd. (1979), Ankara-Çubuk Hacılar köyü civarında yaptıkları çalışmalarda metadetritikler (kumtaşı, konglomera, diyabaz, silttaşı, kristalize kireçtaşı) içindeki ince kireçtaşı bantlarında yer alan fosillerden Alt Triyas yaşını saptamıştır.

Akyürek vd. (1980), Eldivan-Şabanözü (Çankırı) civarındaki ofiyolit yerleşmesi üzerine çalışmalarda bulunmuş ve Kalecik (Ankara) çevresini de kapsayan 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını yapmışlardır. Yöredeki volkanik kayaların batı ve kuzey kesimlerde yaygın olarak bulunduğunu ve Alt Triyas'a ait formasyonların içerisinde Karbonifer ve Permian yaşlı bloklar olduğunu savunmuşlardır. Ayrıca Çubuk (Ankara) civarında Miyosen öncesi yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak gelen Hançili formasyonu ilk kez araştırmacılar tarafından adlandırılmıştır. Bunun yanı sıra aşırı alterasyona uğramış andezit, trakiandezit ve dasitten oluşan Kurtsivri volkanitlerini, Miyosen yaşlı Mamak ve Tekke volkanitlerini, Bozdağ bazaltı ve Yukarıemirler volkaniti de tanımlayarak Susuz volkanitlerini de kapsayan alanın haritasını hazırlamışlardır.

Şengör ve Yılmaz (1981), yaptıkları çalışmalarda Anadolu'daki neotektonik dönemin Erken Miyosen zamanında Afrika plakasından ayrılıp, Orta-Üst Miyosen'de Avrasya plakasıyla çarpışması sonucu başladığını ve bunun sonucunda da yoğun volkanizma olaylarının gözlemlendiğini ifade etmişlerdir.

Akyürek vd. (1982, 1984), Ankara-Elmadağ-Kalecik dolayının temel jeolojik özellikleri üzerine yaptıkları çalışmalarda ilk kez bu araştırmacılar tarafından adlandırılan volkanitlerin andezitik-dasitik lavlar ve tuf ile aglomeralardan oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca Ankara dolaylarındaki volkanizmanın Eosen'de başlayıp Neojen sonuna kadar devam ettiğini belirtmişlerdir.

Tankut (1985), Ankara dolaylarındaki Neojen yaşlı volkaniklerin jeokimyası üzerine yaptığı çalışmada bölgedeki volkanikleri iki bölgede toplamıştır. Bunlardan asidik-ortaç olanları kalkalkalin, bazik olanları ise alkalin olarak ele almıştır. Kalkalkalin tipteki volkanik kayaların And tipi kıta kenarı volkanikleriyle benzerlik gösterdiğini, alkalin olanların ise levha içi tektonik ortamda meydana geldiklerini ortaya koymuştur.

Göker (1990), Ankara'nın Beypazarı ilçesi Karaşar mevkiinde yaptığı incelemelerde bölgedeki andezitik lav akıntıları ve dasitlerin kalkalkalin karakterli olduklarını ve jeokimyasal açıdan birbirine benzediklerini belirtmiştir.

Seyitoğlu vd. (1997), Orta Anadolu'da Geç Paleojen-Geç Neojen döneminde devam eden sıkışmalı rejimin varlığı üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Sonuç olarak devamlı bir tektonik rejimin olmadığını ve Orta-Geç Miyosen aralığında açılmalı bir rejimin olduğunu savunmuşlardır.

Tankut vd. (1998), İç Anadolu'nun kuzeybatısında Galatya Volkanik Provensi (GVP)'ndeki alkali bazaltlarda yaptığı çalışmalarda iki ayrı volkanik aktivitenin meydana geldiğini ve Erken Miyosen (16 My) ile Geç Miyosen (10 My) bazaltlarının uyumsuzlukla ayrıldığını belirtmişlerdir. Erken Miyosen'deki volkanik istifin

potasyumca zengin trakiandezitten riyolite kadar deðiřtiđini ifade etmişlerdir. Geç Miyosen ise bazaltlarla temsil edilmektedir. Erken Miyosen magmasının sığ mantodan, Geç Miyosen magmasının ise st mantonun kısmi ergimesiyle oluştuğunu savunmuşlardır. Erken Miyosen dönemine egemen olan gerilme tektoniği büyük oranda andezit ağırlıklı olmak üzere riyolitler içerisinde çatlak zonlarının oluşmasına sebep olmuştur.

Hatipoğlu ve Dora (1999), Ankara-ubuk ilçesindeki süstaşı olarak kullanılan agatları ve Eskişehir kalsedonları üzerine çalışmalar yapmış ve agatların Neojen yaşlı andezitik ve riyolitik lavların çatlaklarında ve gözeneklerinde silisli çözeltilerin kelimiyle oluştuğunu, oluşumundan önce de hidrotermal alterasyona uğradığını söylemiştir.

Besbelli ve Varol (2002), Tekke volkanitlerindeki hidrotermal alterasyon ürünleri üzerinde incelemeler yapmışlardır. Burada andezit, andezitik tüf, traki-andezitlerle temsil olunan Neojen volkaniklerinde hidrotermal alterasyon sonucu kil mineralleşmelerinin görüldüğünü belirtmişlerdir.

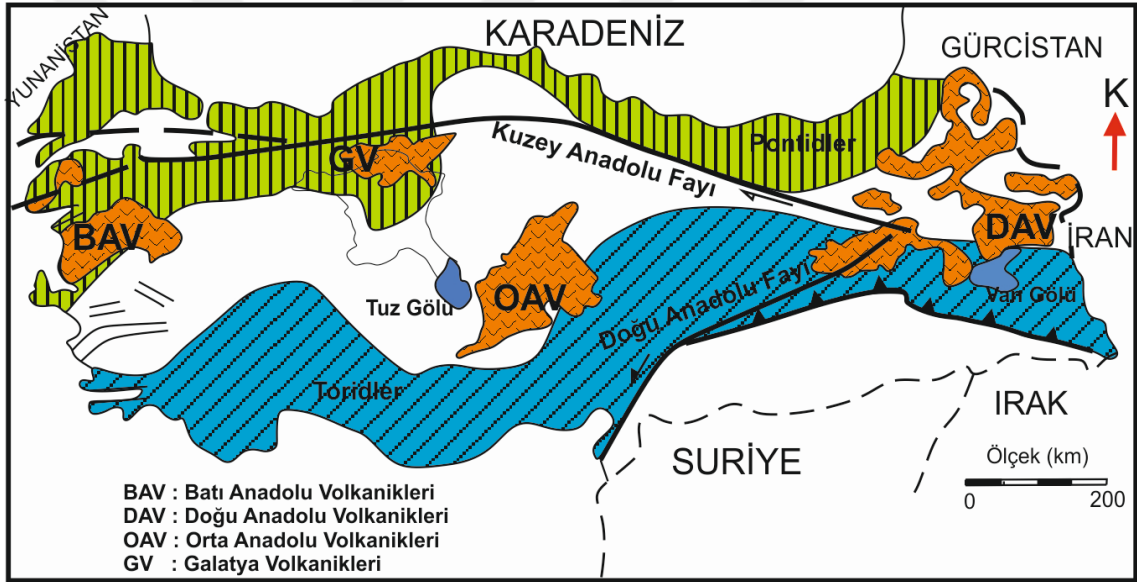
Gl (2006), ubuk (Ankara) ilçesindeki volkanik kayaçların mineraloji, petrografi ve jeokimyası üzerine çalışmalarda bulunmuş ve majör oksit ile iz element açısından volkanik kayaçların oluşumunda Large Ion Lithophile elements (LIL) ve High-field strength elements (HFS) oranları sonucunda dalma batmanın izlerini taşıyan mantodan türediklerini veya kabuksal kirlenme sonucu oluştuklarını ifade etmiştir.

Dönmez ve Akçay (2010), Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ile Kırşehir Masifi (KM) arasında kalan bölgenin 1/25.000 ölçekli detay jeoloji haritasını yapmışlardır. Ayrıca bölgede Alt Triyas'tan Kuvaterner'e kadar olan kaya birimlerini tanımlamışlar ve Susuz (ubuk-Ankara) köyünü de içine alan Mamak formasyonunun aglomera, tf ve andezitlerden oluştuğunu söylemişlerdir. Mamak formasyonunun alt kesimlerinde Hançili ve Karakocaş formasyonlarının üzerine geldiğini, st kesimlerinde ise Tekke volkaniti ve Bozdağ bazaltları ile örtüldüğünü ifade etmişlerdir.

Dönmez ve Akçay (2016), Sakarya zonu ile İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Zonu (İAEKZ) aralığındaki Çubuk (Ankara) volkanitleri üzerinde çalışmalar yapmışlar ve Sakarya zonuna ait kayaçların Triyas-Paleosen yaşlı, İzmir-Ankara-Erzincan zonuna ait kayaçların Üst Kretase yaşlı ofiyolit, ofiyolitli melanj ve çökel kayaçlar ile bunları örten Tersiyer yaşlı volkanik ve çökel kayaçların olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacıların yaptıkları çalışmalara göre, Çubuk civarının en yaşlı volkanik birimi olan Paleosen yaşlı Sarıkoz volkaniti, dasit ve yer yer granit porfir bileşimlidir ve K/Ar yöntemi ile 56.4 ± 2.4 milyon yıl yaş elde edilmiştir. Bunları Orta Eosen yaşlı Kurtsevri volkaniti, Sele volkaniti, Ömercik volkaniti, Susuz volkaniti ve Yukarıemirler volkaniti izlemektedir. Sarıkoz volkanitini uyumsuzlukla örten Sele volkaniti andezit bileşimli, Kurtsevri volkaniti ise andezit ve dasit bileşimlidir. Ömercik volkaniti bazaltik bileşimli lav ve piroklastiklerden oluşmakta ve Sele volkanitini üzerlerken Susuz volkanitleri tarafından kesilmektedir. Susuz volkanitleri riolitik-dasitik bileşimlidir ve K/Ar jeokronolojik yaşlandırma analizlerine göre 43.1 ± 1.7 milyon yıl olarak tespit etmişlerdir.

3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı kuzeyde KAF ile sonlanan GVP ile güneyde KM arasında yer almaktadır (Şekil 3.1). Türkiye'nin en önemli Neojen-Kuvaterner volkanik alanlarından biri olan ve yaklaşık 7000 km²'lik alanı kapsayan, kuzeyde Neotetis'in kuzey kolunun kapanması sonucu oluşan İAEKZ'nda yer alan (Şengör 1979, 1981) GVP (Toprak vd. 1996); volkanik evrim, jeokimyasal analiz ve radyometrik tarihlendirme yöntemleri açısından incelendiğinde volkanizmanın yaşının ya Paleosen'den Miyosen'e kadar değiştiği (Keller vd. 1992, Koçyiğit vd. 2003a) ya da sadece Miyosen zamanında oluştuğu (Türkecan vd. 1991, Tankut vd. 1995, Wilson vd. 1997) öne sürülmektedir.



Şekil 3.1 Türkiye'nin temel volkanik bölgeleri ve çalışma alanının konumu (Toprak ve vd. 1996'dan değiştirilmiştir)

İAEKZ kuzeyde Sakarya, güneyde Toros, doğuda ise Kırşehir bloklarının çarpışması sonucu meydana gelmiş ve Galatya Volkanik Provensi'ni oluşturmuştur (Şekil 3.1) (Şengör 1979, 1981). Tankut ve diğerleri (1998), yaptıkları incelemelerde Miyosen dönemindeki magmatizmanın iki evrede gerçekleştiğini savunmuştur. Kalkalkali karakterdeki magmatizmanın Erken-Orta Miyosen'de, alkali magmatizmanın ise Geç Miyosen zamanında meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir.

Ankara civarı dört ana bölgede yayılım gösteren Neojen yaşlı volkanik ürünlerden meydana gelmektedir ve Oligosen ve Pleyistosen arasında Anadolu’da oldukça önem arz eden Tersiyer Volkanizması’nın önemli merkezlerinden biridir (Çalgın vd. 1973; Akyürek vd. 1982). Akyürek ve diğerleri (1982) yaptıkları çalışmada bölgenin andezitik-dasitik lavlar ile tuf ve aglomeralardan oluştuğunu, buna ek olarak andezitik püskürmelerin Eosen’den Neojen sonuna kadar sürdüğünü ifade etmişlerdir.

Alt Triyas yaşlı, altta muskovit-kuvarşşist, serisit klorit kuvarşşist, serisit kloritşist, fillit, kalkşist, metavolkanit ve metakonglomeradan oluşan Emir Formasyonu ile üstte gri, beyaz, yer yer pembe renkli kireçtaşlarından oluşan Keçikaya Formasyonu ile Elmadağ Formasyonu geçişlidir ve metakonglomera, metakumtaşı, metaçamurtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı, kireçtaşı, aglomera, metavolkanit ve metatüften oluşmaktadır (Akyürek vd. 1988). Tuf, volkanik kumtaşı ve aglomeralardan oluşan Ortaköy Formasyonu, Elmadağ ve Keçikaya Formasyonları ile giriktir (Şekil 3.2) (Akyürek vd. 1988).

Sele Volkanitleri tarafından uyumsuz olarak üzerlenen Sarıkoz Volkaniti, Paleosen yaşlı olup dasit ve granit porfir bileşimli lavlardan meydana gelmektedir (Dönmez vd. 2009). Dönmez ve Akçay (2010) yapmış oldukları çalışmalarda, K-Ar jeokronolojik yaşlandırma ile 56.4 ± 2.4 milyon yıl yaş elde etmişler ve Sarıkoz volkanitlerinin Paleosen (Tanesiyen) yaşlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Akyürek vd. (1980) tarafından adlandırılan sarı, beyaz, gri, kırmızı, pembe renkli andezit, trakianandezit ve dasitten oluşan Kurtsivrisi Volkanitleri, bölgenin batı kesiminde Orta Eosen yaşlı Sele volkanitleri tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir ve yapılan K-Ar jeokronolojik yaşlandırmaya göre 44.5 ± 1.7 My yaş elde edilmiştir (Dönmez ve Akçay, 2010).

Mamak formasyonu ve Tekke volkanitlerinin bir bölümü ile haritada eşdeğer olan Sele Volkaniti, Sarıkoz ve Kurtsivri volkanitlerini uyumsuz olarak üzerlemektedir (Dönmez ve Akçay, 2010). Andezitik bileşimli lav ve kalın piroklastiklerden oluşan Sele volkanitleri, K-Ar jeokronolojik yaşlandırma yöntemi ile 44.8 ± 1.7 ve 44.3 ± 1.9 milyon yıl yaş verisiyle Orta Eosen yaşındadır (Dönmez ve Akçay, 2010).

Orta Eosen yaşlı ve gri, siyah renkli bazaltik lav ve piroklastik kayalardan oluşan Ömercik volkaniti, bölgedeki Orta Eosen yaşlı Susuz volkanitleri tarafından kesilmektedir (Dönmez ve Akçay, 2010).

Akyürek vd. (1988)' göre Miyosen yaşlı Tekke volkaniti ile Pliyosen yaşlı Bozdağ bazaltı ile eşdeğer harita bölümüne sahip Susuz volkanitleri yer yer perlitlerden ve riolit, dasit, tuf ve ignimbiritlerden oluşmaktadır (Dönmez ve Akçay, 2010). Yapıla K-Ar yaşlandırma ile bu volkanitlerin 43.1 ± 1.7 my olup Orta Eosen yaşlı olduğu ifade edilmiştir (Dönmez ve Akçay, 2010).

Yukarı Emirler köyünde Susuz volkanitlerini bariz bir şekilde kesen Yukarı Emirler volkaniti, bazaltik bileşimli lav ve piroklastiklerden oluşmuş, Susuz volkanitleri üzerinden akmıştır (Dönmez ve Akçay, 2010). Benzer şekilde K-Ar jeokronolojik yaşlandırma yöntemiyle Orta Eosen yaşında olan bu volkanit 43.1 ± 1.7 milyon yıl olarak tespit edilmiştir (Dönmez ve Akçay, 2010).

Bölgenin Neojen yaşlı birimlerini volkanoklastik birimler ile riolitik birimler oluşturmaktadır (Akyürek vd. 1988). Mamak Formasyonu içerisinde yer alan bu birimler Eosen yaşlı olup piroklastik (aglomera ve tuf) kayalar ile andezitlerden oluştuğu belirtilmiştir (Dönmez ve Akçay, 2010). Andezitler aglomeralar içerisinde siller şeklinde yerleşmişlerdir (Akyürek vd. 1988). Mamak Formasyonu üzerine sırası ile Eosen yaşlı kumtaşı, siltaşı, marn, killi kireçtaşı, tüfit, jips ve bitümlü şeylerden meydana gelen Hançili Formasyonu ve konglomera ve kumtaşlarından oluşan Karakoç Formasyonu gelmektedir (Dönmez ve Akçay, 2010). Mamak ve Bozdağ Formasyonları Eosen yaşlı andezit, trakiandezit, bazalt, tuf ve aglomeralardan oluşan Tekke Volkanitleri ile yer yer

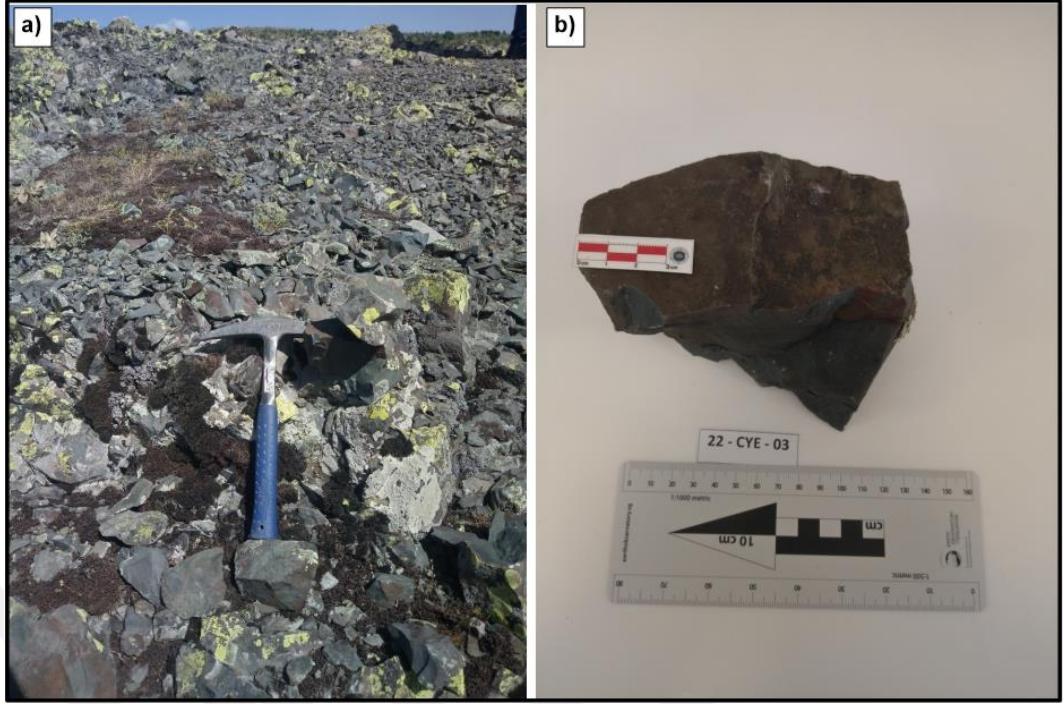
Pliyosen yaşı Bozdağ Bazaltları tarafından üzerlenmektedir ( ekil 3.2) (Dönmez ve Akçay, 2010).

Mamak formasyonu içerisinde yer alan Yukarı Emirler ve Susuz köy civarında gerçekleştirilen arazi çalışmasına 512595/4461548 koordinatlarında ba lanmış ve ilk bulunan lokasyondan kuzeybatıya doğru olan bakış  ekil 3.3'te sunulmuştur. Güneydoğu istikametinde ilerledikçe koyu gri, yeşilimsi renkli, kompakt trakibazaltlar göze çarpmaktadır ( ekil 3.4).

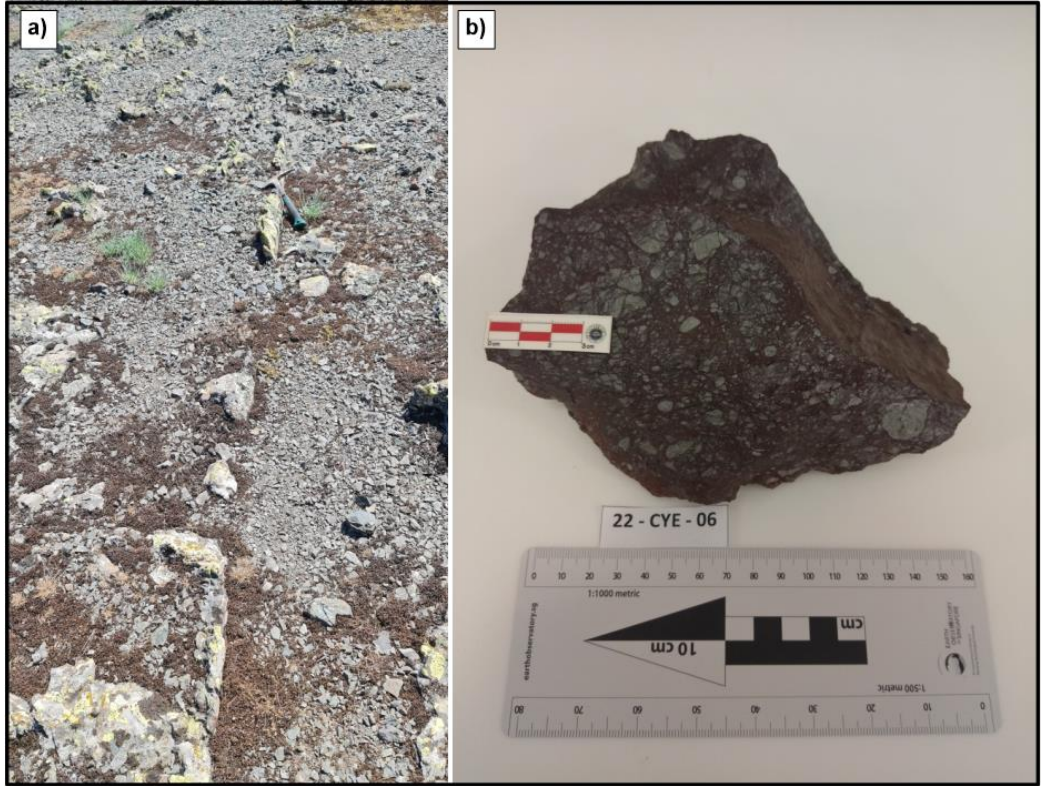


Şekil 3.3 İnceleme alanında kuzeybatıya doğru bakış

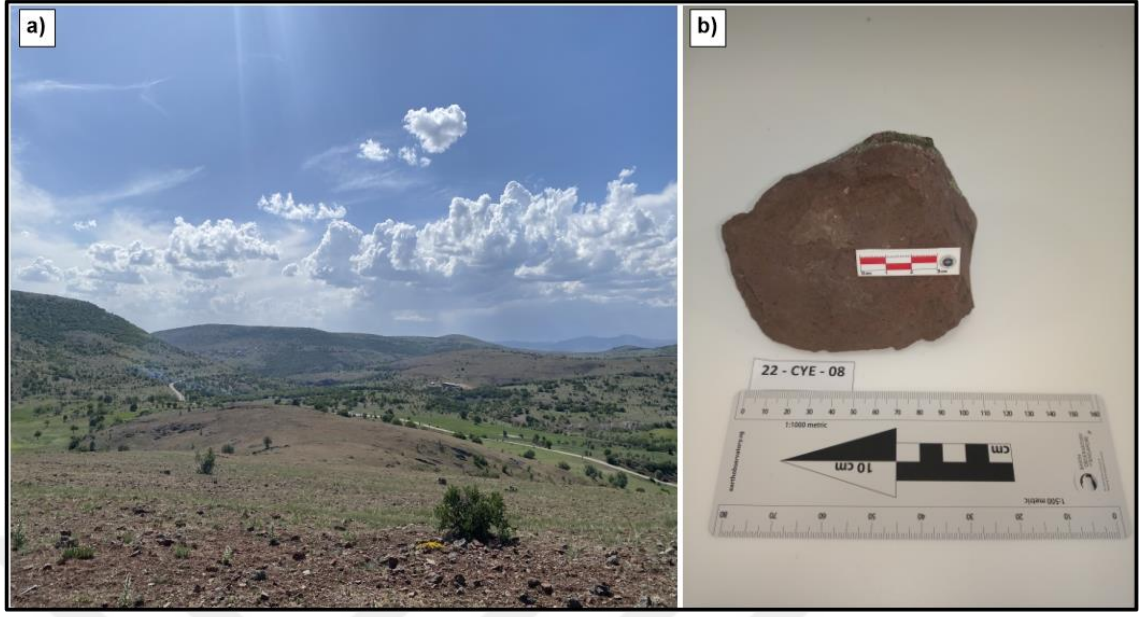
KD-GB doğrultu atımlı faylar boyunca yüzlek veren, yayılımları D-B yönlü olan volkanik fay bre leri trakit-trakiandezitlerin alt kısımlarında yer almaktadır ( ekil 3.5). Volkanik fay bre lerinin üzerine gelen oldukça altere, koyu kırmızı renkli trakit-trakiandezitlere ait arazi ve el  rne i  ekil 3.6'de sunulmuştur.



Şekil 3.4 Yukarı Emirler köyü perlit ocağının yukarısında çekilmiş trakibazaltların a) arazi görünümü b) ölçekli el örneğinin görünümü

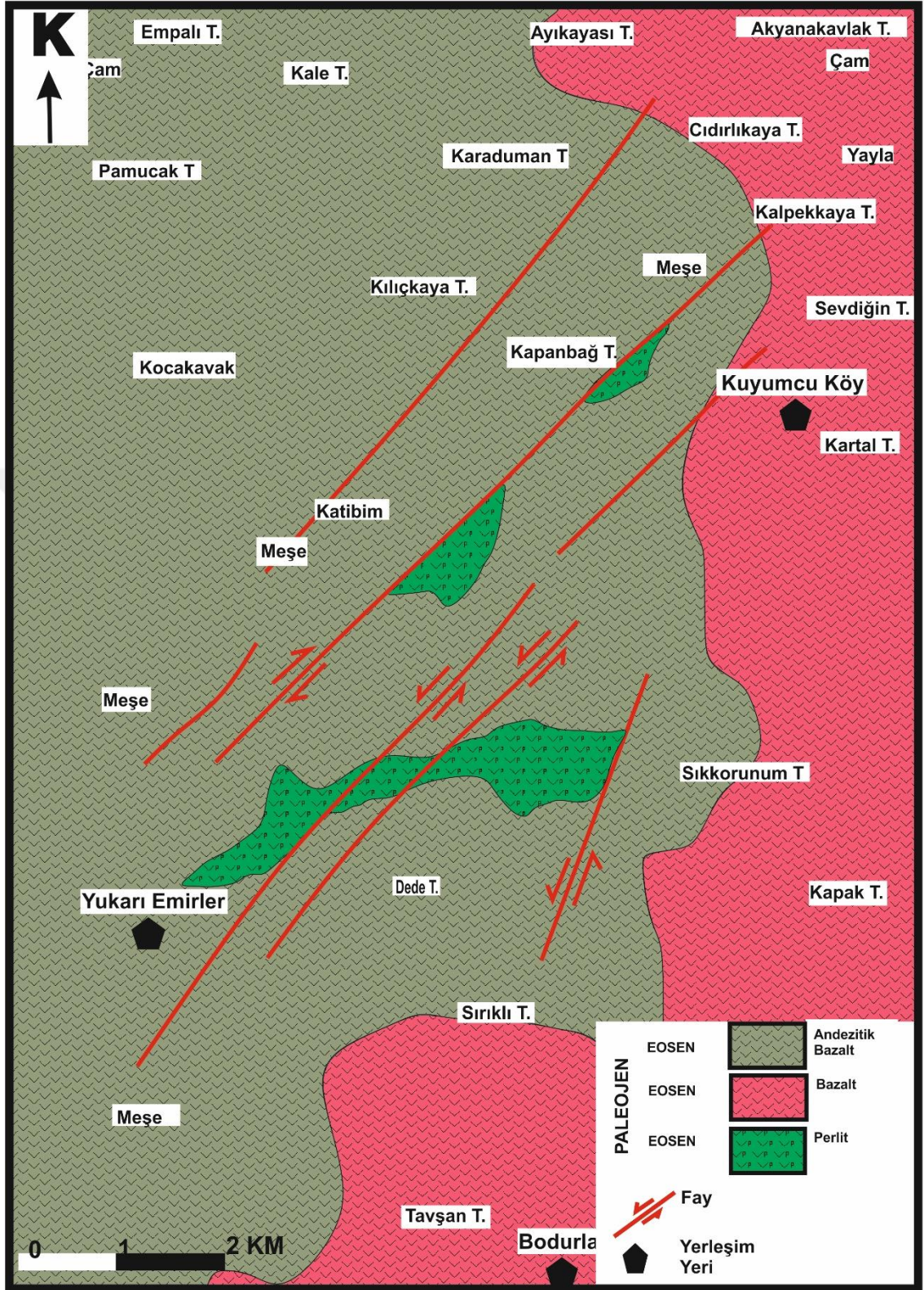


Şekil 3.5 D-B yayımlı fay aynasından alınan volkanik fay breşininin a) arazi görünümü b) el örneğinin ölçekli görünümü



Şekil 3.6 a) Trakit-trakiandezitli bölgeden kuzeybatıya bakış b) Trakit-trakiandezitlerin el örneğindeki görünümü

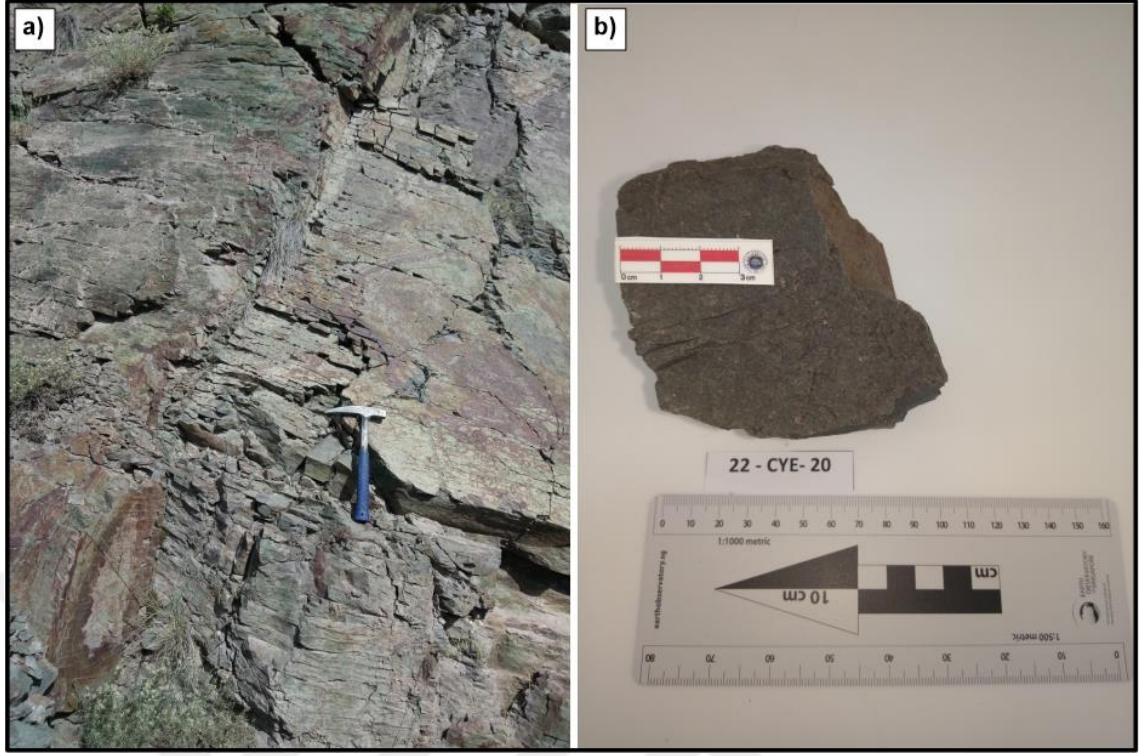
Arazi çalışması boyunca Yukarı Emirler-Susuz köyleri civarında farklı lokasyonlardan perlit örnekleri alınmıştır. Perlitlerin sınırlarının belirlendiği harita Şekil 3.7’de sunulmuştur. Bölgedeki perlitler gri, nefli yeşil renklerde ve camsı dokudadır. Perlitlerde yer yer alterasyon görülmüş ve altere olmuş örnekler beyazımsı renklerde görülmektedir. Altere olmuş örnekler konsolide olmamış ve kolay dağılmaktadır. Yukarı Emirler mevkiindeki perlitlerde soğan zarı yapısı açıkça görülmektedir (Şekil 3.8). Ayrıca bu noktadan alınan toz perlitler üzerinde yapılan XRD çalışmaları sonucunda montmorillonit türü killeşmelerin meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.7 Çalışma alanındaki perlitlerin ve volkanoklastik birimlerin sınırlarını gösteren jeoloji haritası (MTA Jeoloji haritasından değiştirilmiştir)

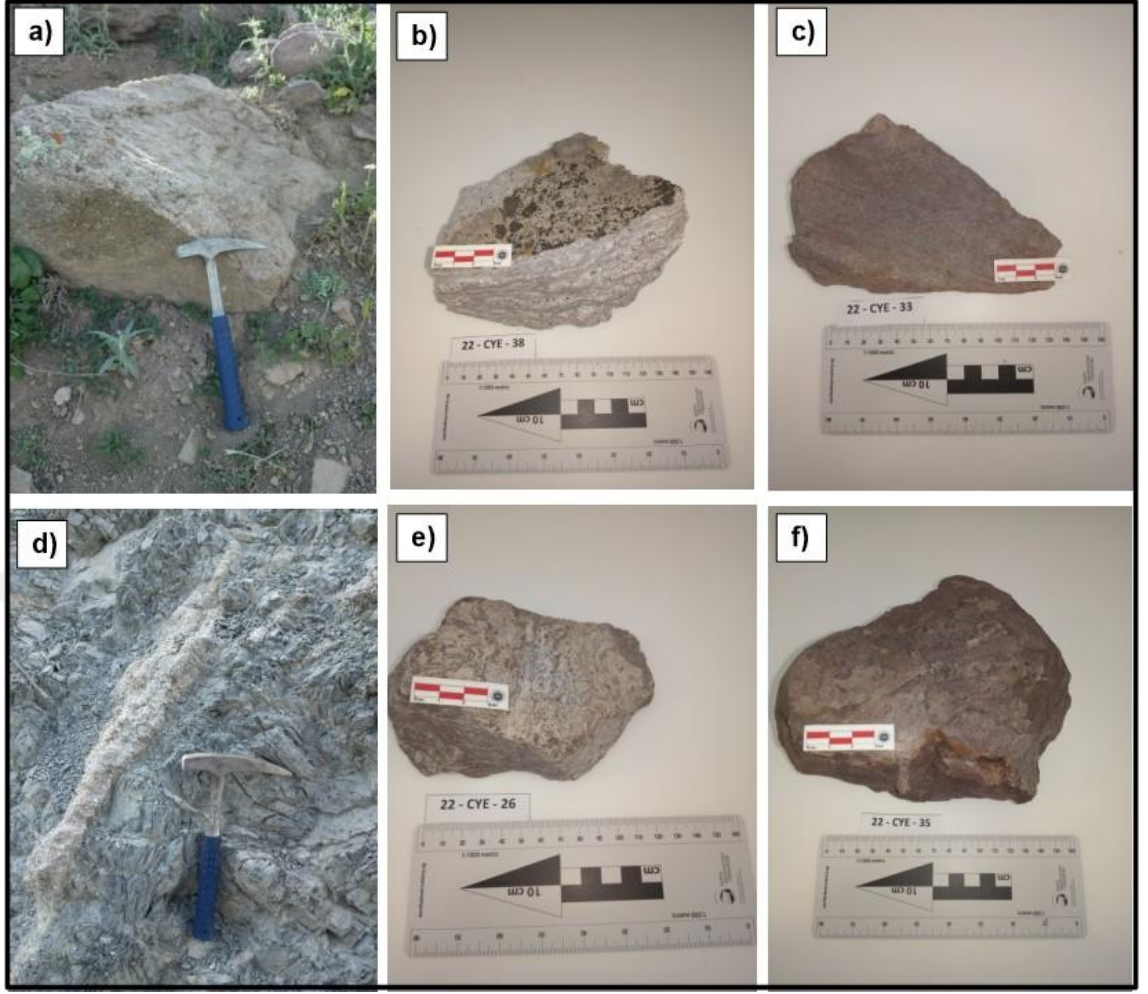


Şekil 3.8 Yukarı Emirler-Susuz köyleri civarındaki perlitlerin farklı lokasyonlardaki arazi görünümleri



Şekil 3.9 Bazaltik andezitlerin a) arazi b) ölçekli el örneğindeki görünümü

Arazide grimsi, yeşil renklerde görülen afanitik dokulu bazaltik andezitler, perlitlere göre daha alt kısımlarda konumlanmıştır ve hafif ayrışmış durumdadır (Şekil 3.9). Arazide belirgin bir dokanak ayrımı görülmemiştir. Kırık çatlaklar ve faylar boyunca gelen hidrotermal çözelti, Yukarı Emirler köyünün çıkışına yakın noktalarda konumlanmış ignimbiritleri ve özellikle de gevşek bir malzemeden oluştuğundan dolayı tüfleri etkilemiştir. Oldukça altere, kırmızı renkli tuf ve ignimbiritlere ait el ve arazi örnekleri Şekil 3.10'da belirtilmiştir. Arazi gözlemleri ve petrografik incelemeler sonucunda bu piroklastik malzemelerin oldukça silisleşmiş oldukları gözlenmiştir.



Şekil 3.10 Arazi çalışması boyunca rastlanan tüflerin a) arazi b,c) ölçekli el örneklerinin; ignimbiritlerin d) arazi, e,f) ölçekli el örneklerinin görünümü

4. MİNERALOJİ VE PETROGRAFİ

Bu tez çalışması kapsamında Çubuk civarından alınan tüm örneklerin ince kesitleri hazırlanmış ve bu kesitler polarizan mikroskopta incelenerek numunelerin mineralojik ve petrografik özellikleri ortaya konulmuştur. Yapılan gözlemlere bağlı olarak Çubuk civarındaki volkanik, piroklastik kayaların ve perlitlerin mineralojik bileşimleri, gösterdikleri bozunma türleri ve dokusal özellikleri belirlenerek kaya tanımlamaları yapılmış ve EK-1’de sunulmuştur.

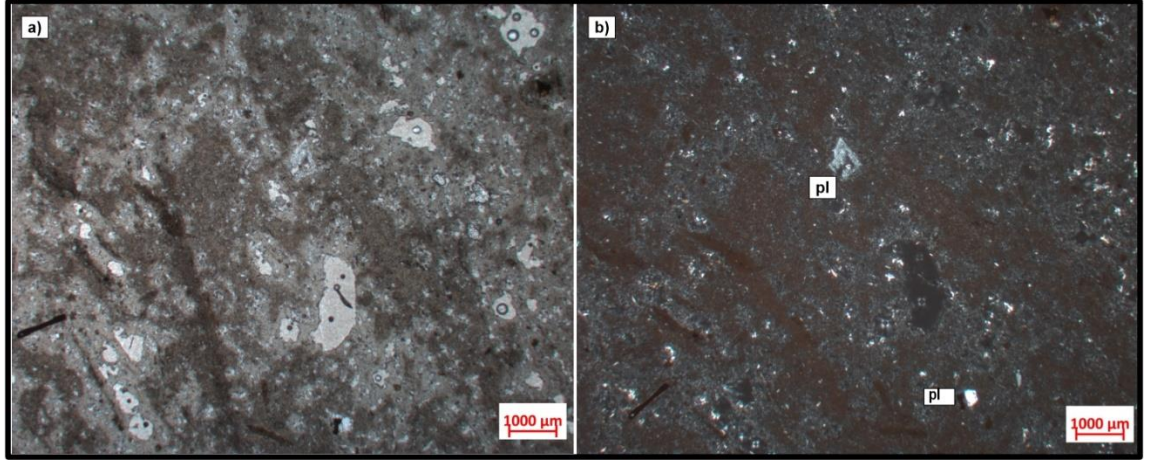
Bazı örneklerde mineral türünü daha ayrıntılı ayırt edebilmek ve mineral içerisinde gözlemlenen değişimleri ortaya koyabilmek amacıyla Konfokal Raman Spektrometre (KRS) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. KRS yardımıyla seçilen minerallerin üzerine lazer ışığı gönderilmiş ve mineralin molekülleri arasında etkileşim incelenmiştir. Bu etkileşim sonucu elde edilen spektrum incelenerek ölçüm alınan mineralin türü ve bağ yapısı hakkında detaylı bilgi edinilmiştir.

4.1 Volkanik ve Piroklastik Kayalar

Çalışma alanı, Çubuk ilçesindeki Mamak Formasyonu’nda bulunan volkanik kayaları ve piroklastik kayaları kapsamaktadır. Buna göre silisleşmiş piroklastik kayalar ile Eosen yaşlı trakit-trakiandezit, trakibazalt, bazaltik andezit ve ek olarak volkanik fay breşinin mineralojik ve petrografik özellikleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

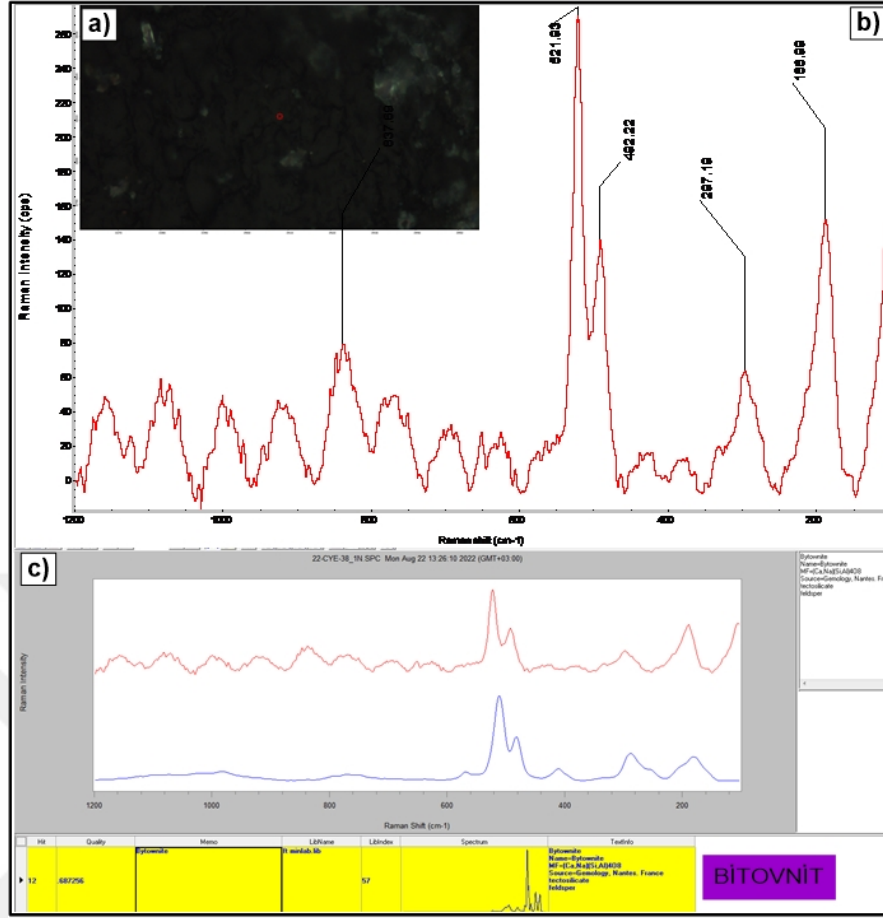
4.1.1 Silisleşmiş piroklastitler

Bölgedeki tüfler beyaz-pembe renkli olup hiyaloklastik doku göstermektedir (Şekil 4.1). Bu örneklerde plajiyoklaz mineralleri tespit edilmiş olup bozunma türü olarak silisleşme görülmektedir (Şekil 4.1). Öte yandan ignimbiritler genel olarak beyaz-pembe renklere olup, tüfler gibi hiyaloklastik dokuludur ve yer yer demiroksitleşmelerden kaynaklı kahverengi kırmızı görülebilmektedir. Bunun yanı sıra Amorf silika, plajiyoklaz ve biyotitlerden oluşmaktadırlar (Şekil 4.3).

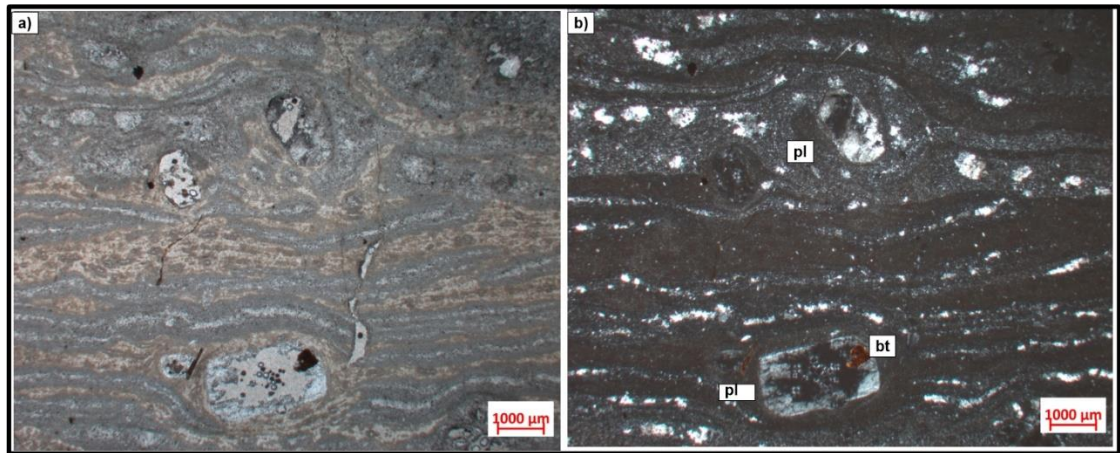


Şekil 4.1 Çalışma alanında gözlenen silisleşmiş tüfün mikrofotografı (a: paralel nikol, b: çapraz nikol, pl: plajiyoklaz)

Böldeki silisleşmiş tüfteki plajiyoklaz türünü tayin edebilmek amacı ile KRS çalışmaları gerçekleştirilmiş ve bitovnit türü plajiyoklaz olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.2). Ayrıca bitovnit mineralinin 521.93 cm^{-1} 'de kuvvetli; 186.99 cm^{-1} , 492.22 cm^{-1} ve 837.69 cm^{-1} 'de zayıf Raman kaymalarının varlığı göze çarpmaktadır (Şekil 4.2).

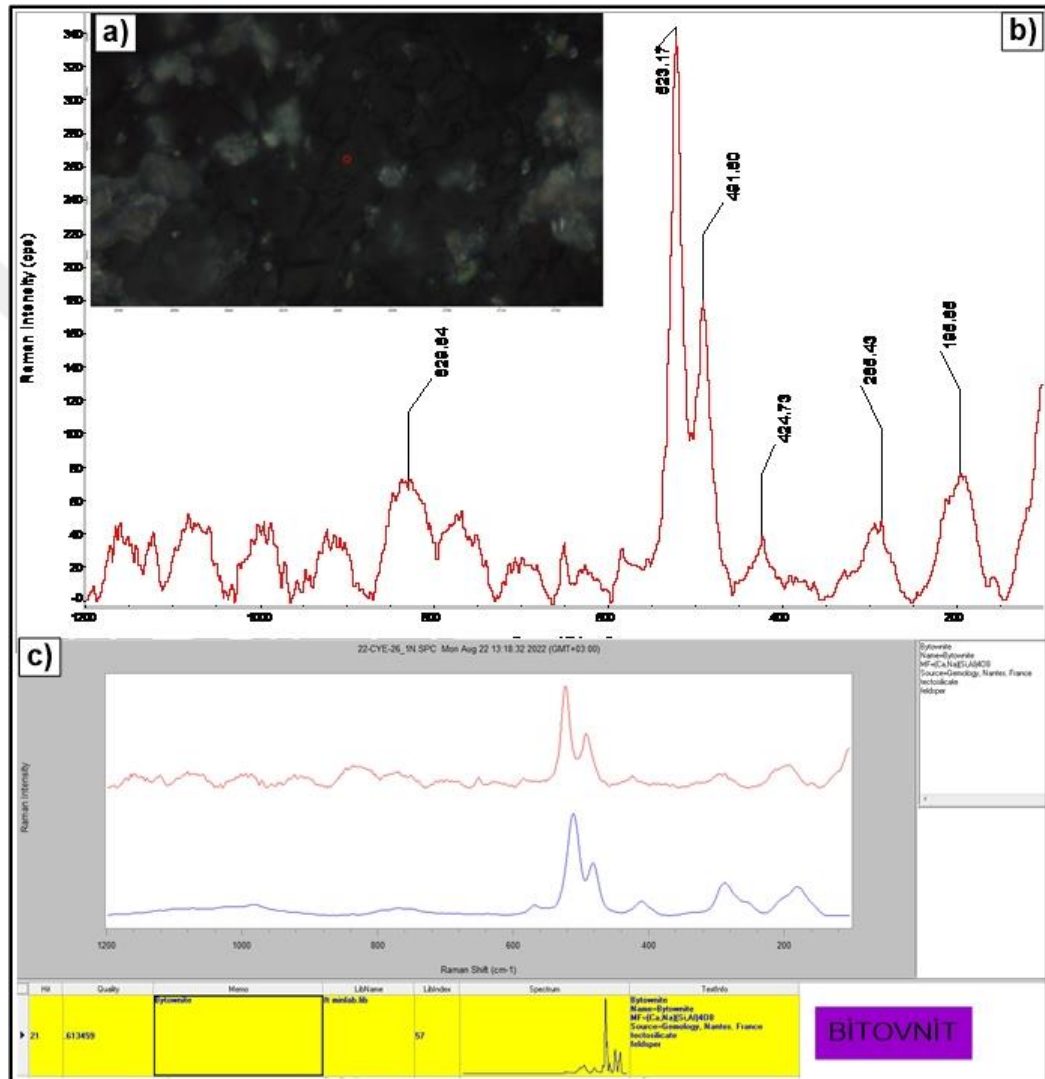


Şekil 4.2 Silisleşmiş tuf içerisindeki plajiyoklaz mineralindeki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması



Şekil 4.3 Çalışma alanında gözlenen ignimbiritin mikrofotografı (a: paralel nikol, b: çapraz nikol, pl: plajiyoklaz, bt: biyotit)

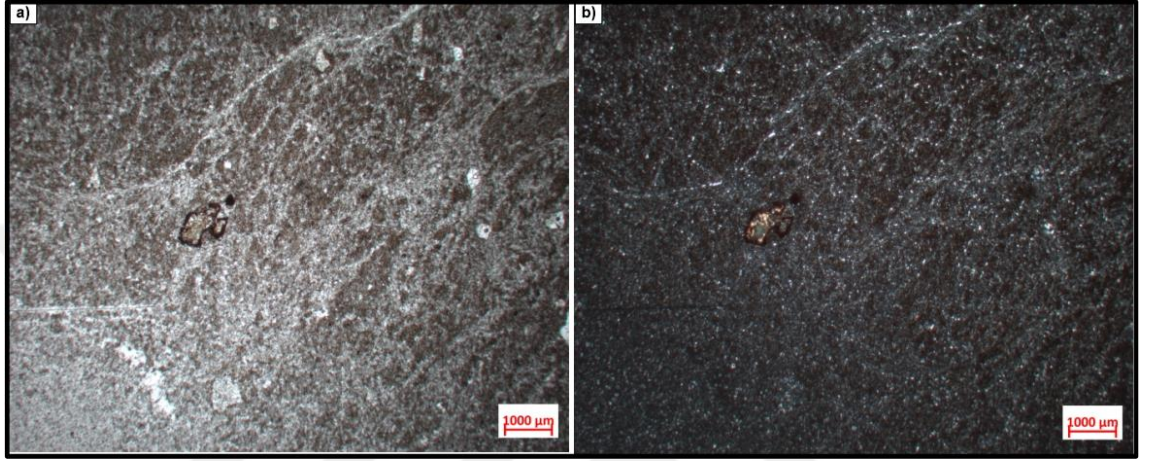
İğnimbiritlerdeki plajiyoklaz mineralleri üzerinde yapılan KRS çalışmalarında silisleşmiş tüfte de olduğu gibi bitovnit türü plajiyoklaz olduğu sonucu çıkarılmıştır. Bunun yanı sıra, 523.17 cm^{-1} 'de kuvvetli Raman kayması gösterirken 491.60 cm^{-1} , 195.65 cm^{-1} ve 829.64 cm^{-1} 'de düşük kaymalara sahiptir (Şekil 4.4)



Şekil 4.4 Çalışma alanındaki ignimbiritler içerisindeki plajiyoklaz mineralindeki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması

4.1.2 Trakit-Trakiandezit

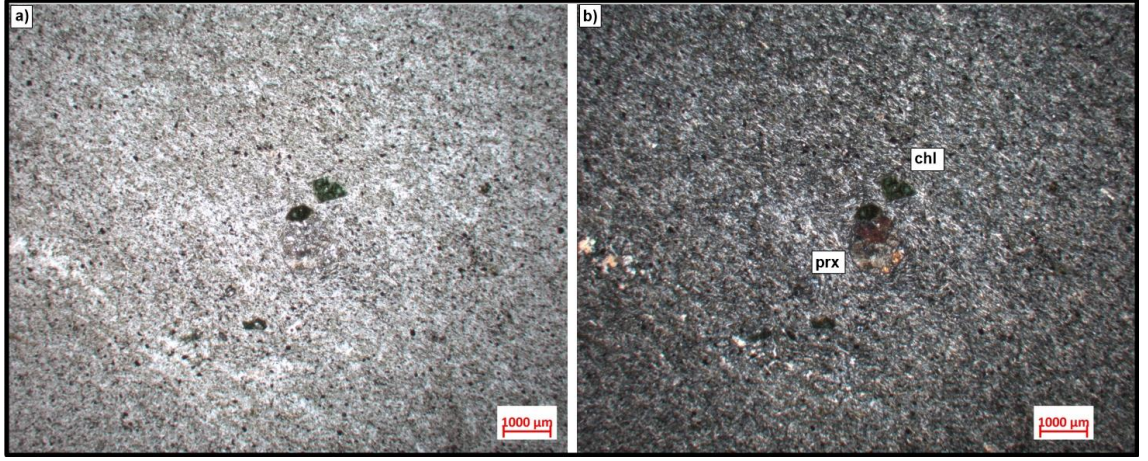
Çalışma alanındaki trakit ve trakiandezit kayaları sert, kompakt ve kırmızı-kahve renklerde olup holohiyalin doku özelliği göstermektedir (Şekil 4.5). Bu kayaların mineralojik bileşimi volkan camı, kristalit ve mikrolitler şeklindedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Holohiyalin dokulu trakit-trakiandezitteki kristalit ve mikrolitlerin a) paralel nikol b) çapraz nikol mikrofotografı

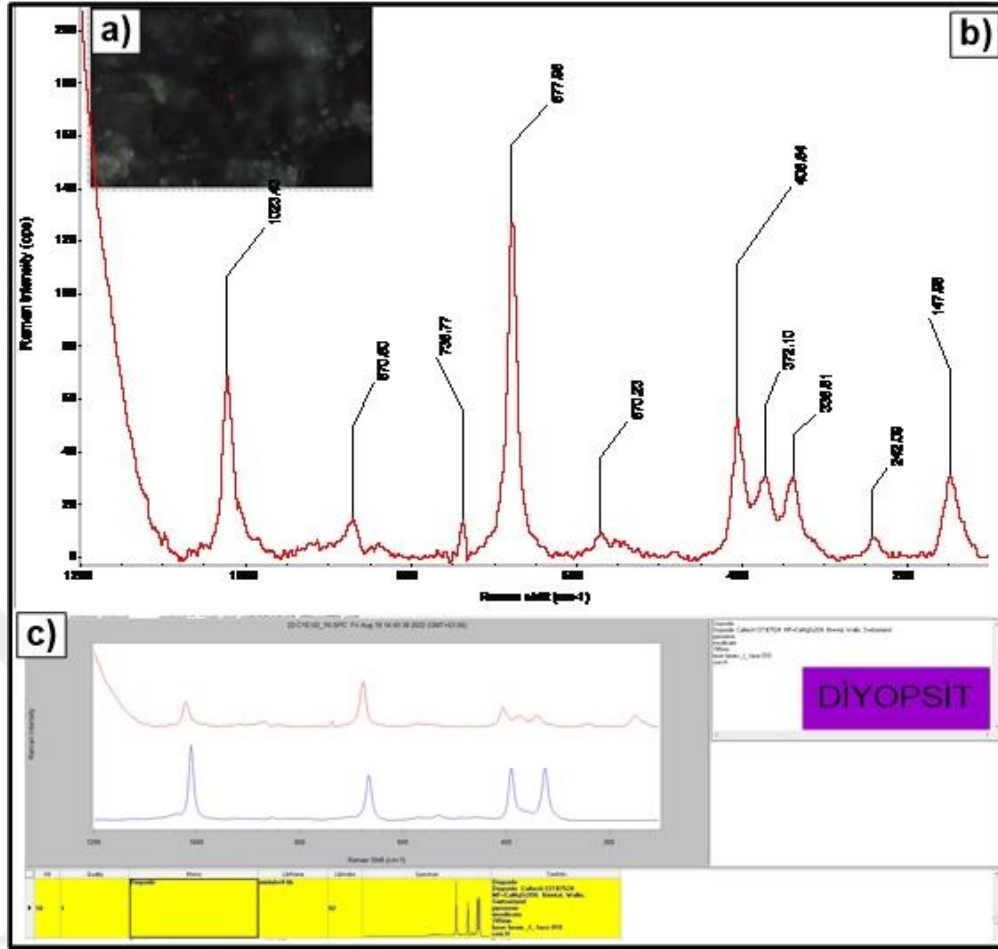
4.1.3 Trakibazalt

Mamak formasyonu içerisinde görülen Eosen yaşlı trakibazaltlar arazide koyu kırmızı-kahve renklerde ve kompakt olarak gözlenmektedir. Genel dokusu hipohiyalin olan bu kayalar özel doku olarak akma dokusu gözlenmektedir (Şekil 4.5). Mineralojik bileşimlerine bakıldığında başlıca kristalit ve mikrolit olmak üzere piroksen, klorit ve opak minerallerden oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 4.5). Yapılan incelemelerde yer yer kloritleşme ve silisleşme gibi bozunmaların da varlığı görülmektedir(Şekil 4.6).

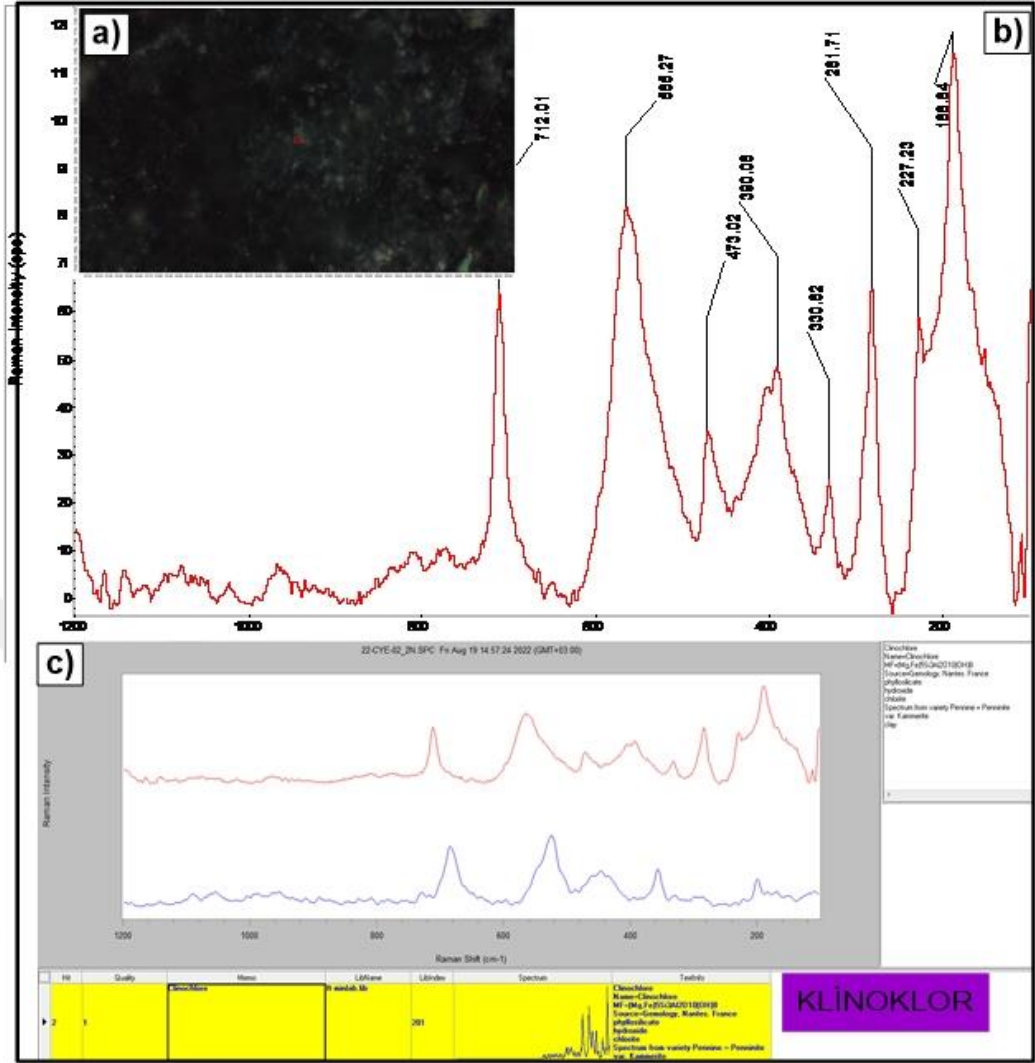


Şekil 4.6 Akma dokusu gözlemlenen trakibazaltların mikrofotoğrafı (a: paralel nikol, b: çapraz nikol, prx: piroksen, chl: klorit)

Trakibazaltlardaki piroksen mineralinin türü yapılan KRS çalışmalarıyla diyopsit olarak belirlenmiş ve Raman kaymalarına göre 677.95 cm^{-1} 'de kuvvetli; 1023.43 cm^{-1} ve 405.54 cm^{-1} 'de düşük kayma gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.7). Bozunma ürünü olarak oluşan klorit mineralinin türünü tespit etmek amacıyla yapılan ölçümlerde klinoklor türü klorit minerali olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.8). Buna göre 188.84 cm^{-1} , 565.27 cm^{-1} ve 712.01 cm^{-1} 'de kuvvetli Raman kaymalarına rastlanmıştır (Şekil 4.8).

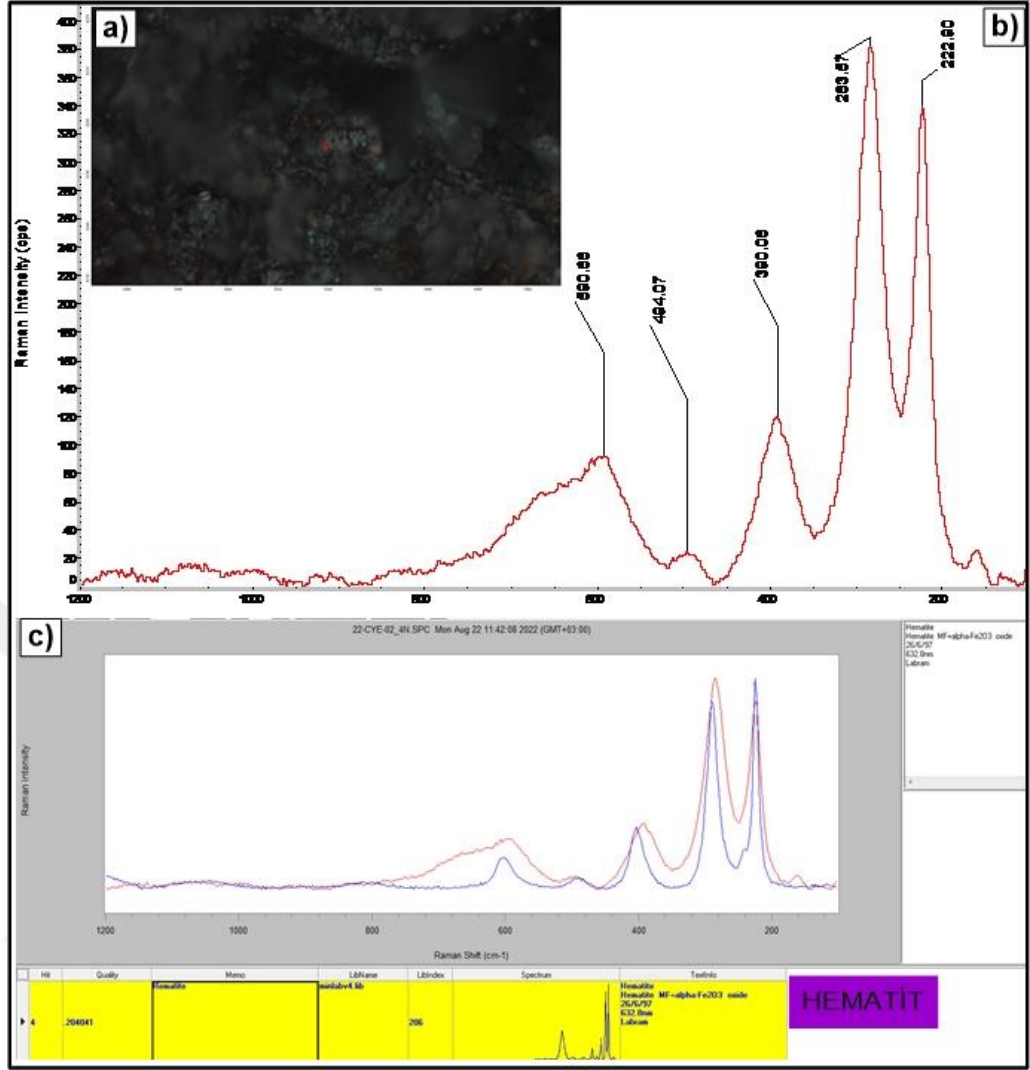


Şekil 4.7 Trakibazaltların içerisinde bulunan piroksen mineralindeki Raman ölçümüne ait
a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans
ve ölçülen spektrumun karşılaştırması



Şekil 4.8 Trakibazaltların içerisindeki klorit mineralindeki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması

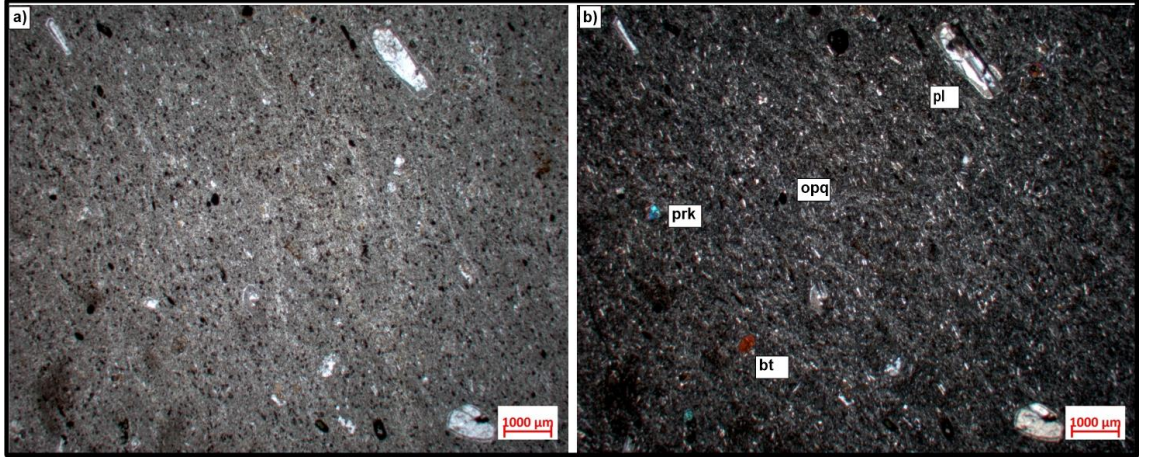
Opak minerallerin türünü tayin edebilmek için ölçümlerde hematit olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.9). Hematitin Raman kaymalarının ise 283.57 cm^{-1} ve 222.0 cm^{-1} 'de oldukça kuvvetli olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 4.9).



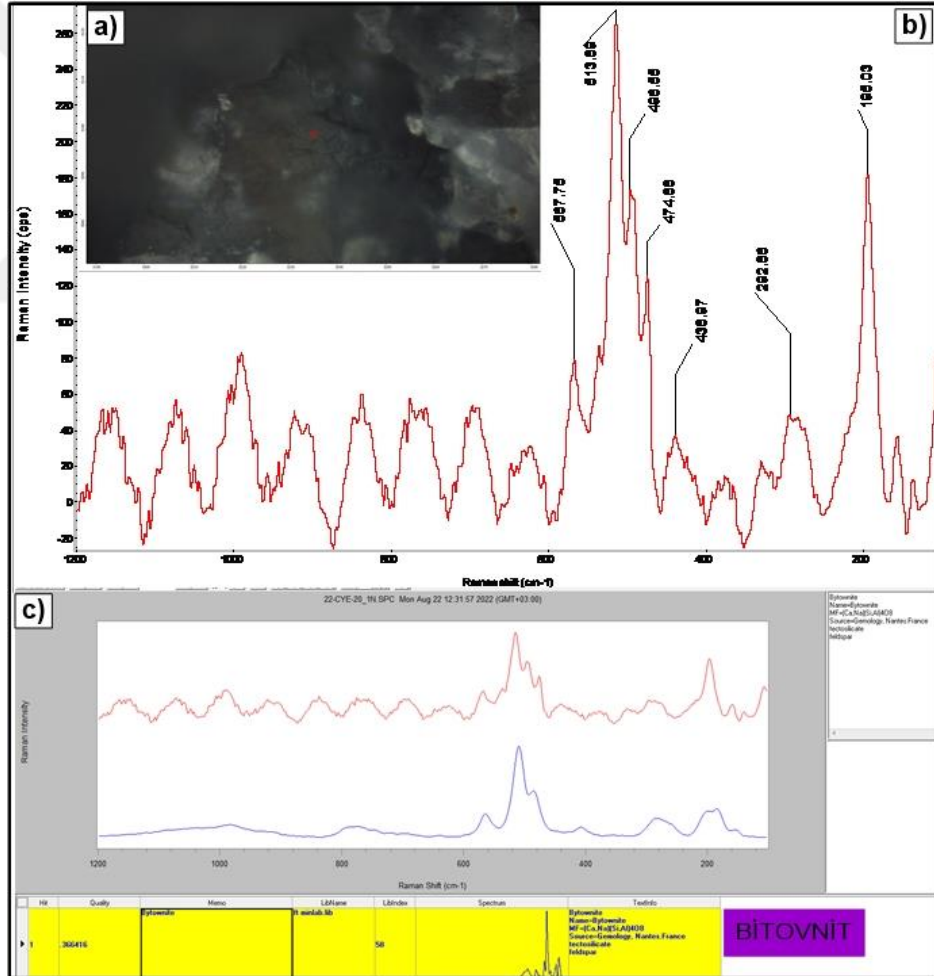
Şekil 4.9 Trakibazaltların içerisindeki opak minerallerin Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması

4.1.4 Bazaltik andezit

Çalışma alanındaki hipohiyalin dokulu bazaltik andezitler koyu kahve-koyu kırmızı renklere gözlenip kristalit, mikrolit, piroksen ve opak minerallerden oluşmaktadır (Şekil 4.10). Özel doku olarak zonlu, iğnemsiz ve akma dokusu gösteren bazaltik andezitler opaklaşma türü bozunma göstermektedir (Şekil 4.10).

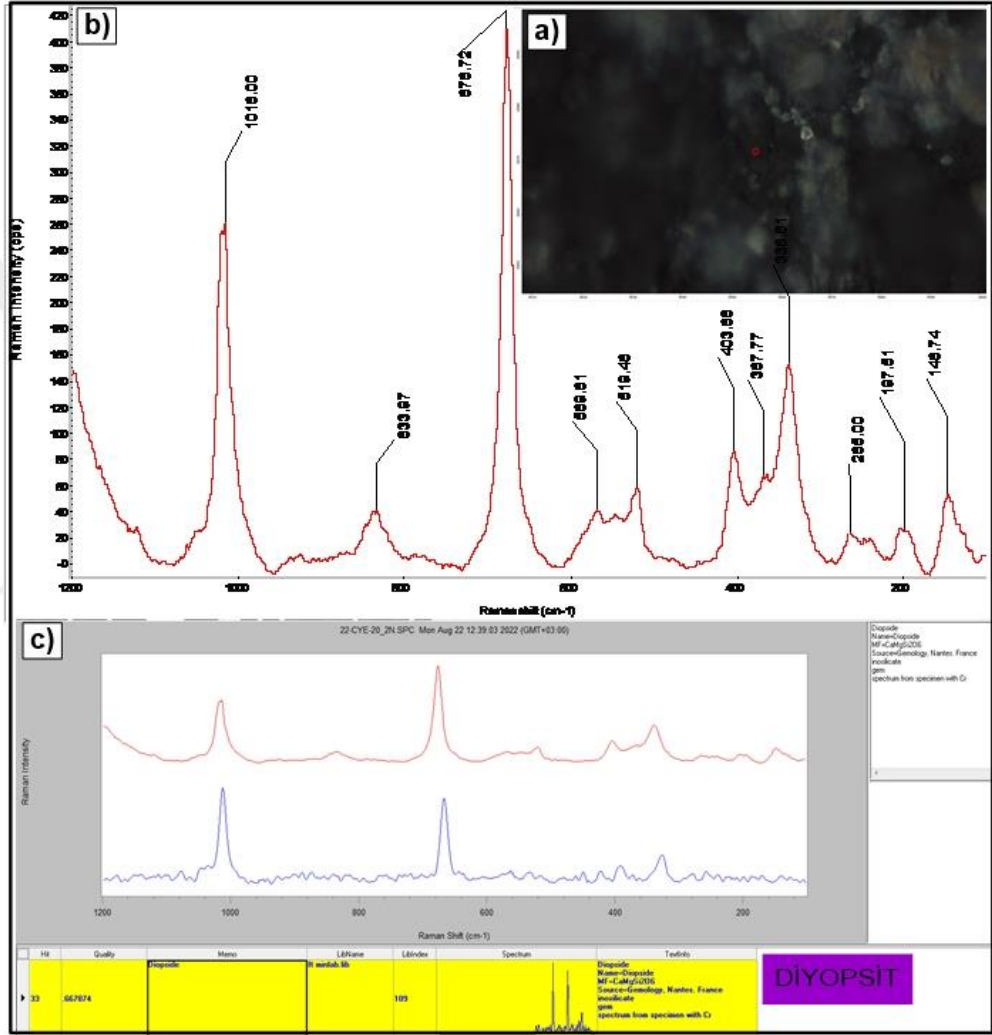


Şekil 4.10 Çalışma alanında gözlenen bazaltik andezitin mikrofotografı (a: paralel nikol, b: çapraz nikol, pl: plajiyoklaz, bt: biyotit, opq: opak mineral, prk: piroksen)



Şekil 4.11 Bazaltik andezitlerin içerisindeki plajiyoklaz mineralindeki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması

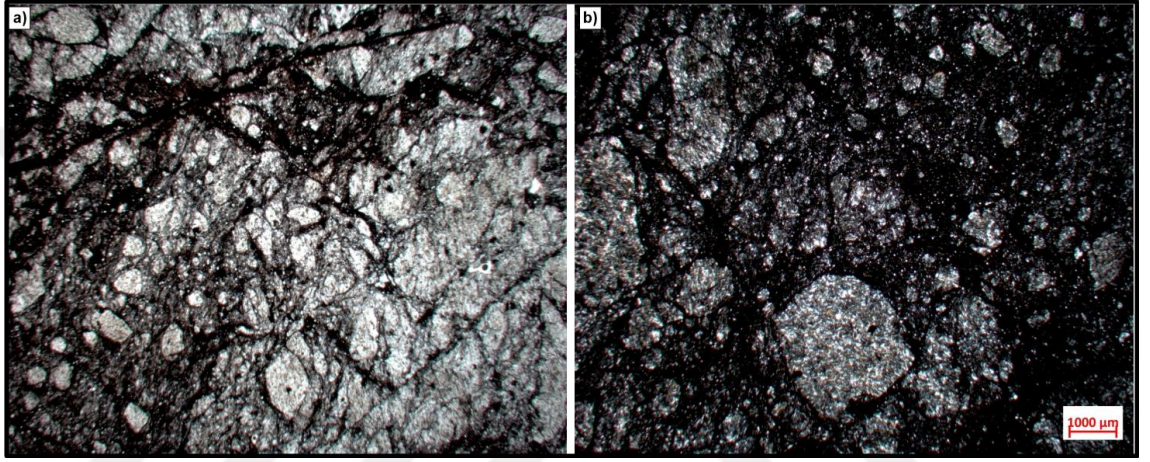
Bazaltik andezitlerde plajiyoklaz ve piroksen türlerini tespit etmek amacıyla yapılan KRS analizleri sonucunda plajiyoklaz türünün bitovnit (Şekil 4.11), piroksen türünün ise diyopsit olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.12). Bitovnit mineralleri 513.89 cm^{-1} 'de kuvvetli 195.03 cm^{-1} ve 496.55 cm^{-1} 'de düşük Raman kayması gösterirken (Şekil 4.11) diyopsit minerali 676.72 cm^{-1} ve 1016.00 cm^{-1} 'de kuvvetli kayma göstermiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Bazaltik andezitlerin içerisindeki piroksen mineralindeki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması

4.1.5 Volkanik fay breşı

KD-GB doğrultu atımlı faylar boyunca yüzlek veren volkanik fay breşleri D-B yönlüdür. Fay aynasından alınan volkanik fay breşleri breşik doku göstermekte ve amorf silika içermektedir. Bu amorf silikaların içerisinde kılcal çatlaklar mevcuttur. Koyu kahve-kırmızı renklerdeki el örneklerinde beyaz-gri renkli silisleşmeler açıkça gözlenmektedir (Şekil 4.13).

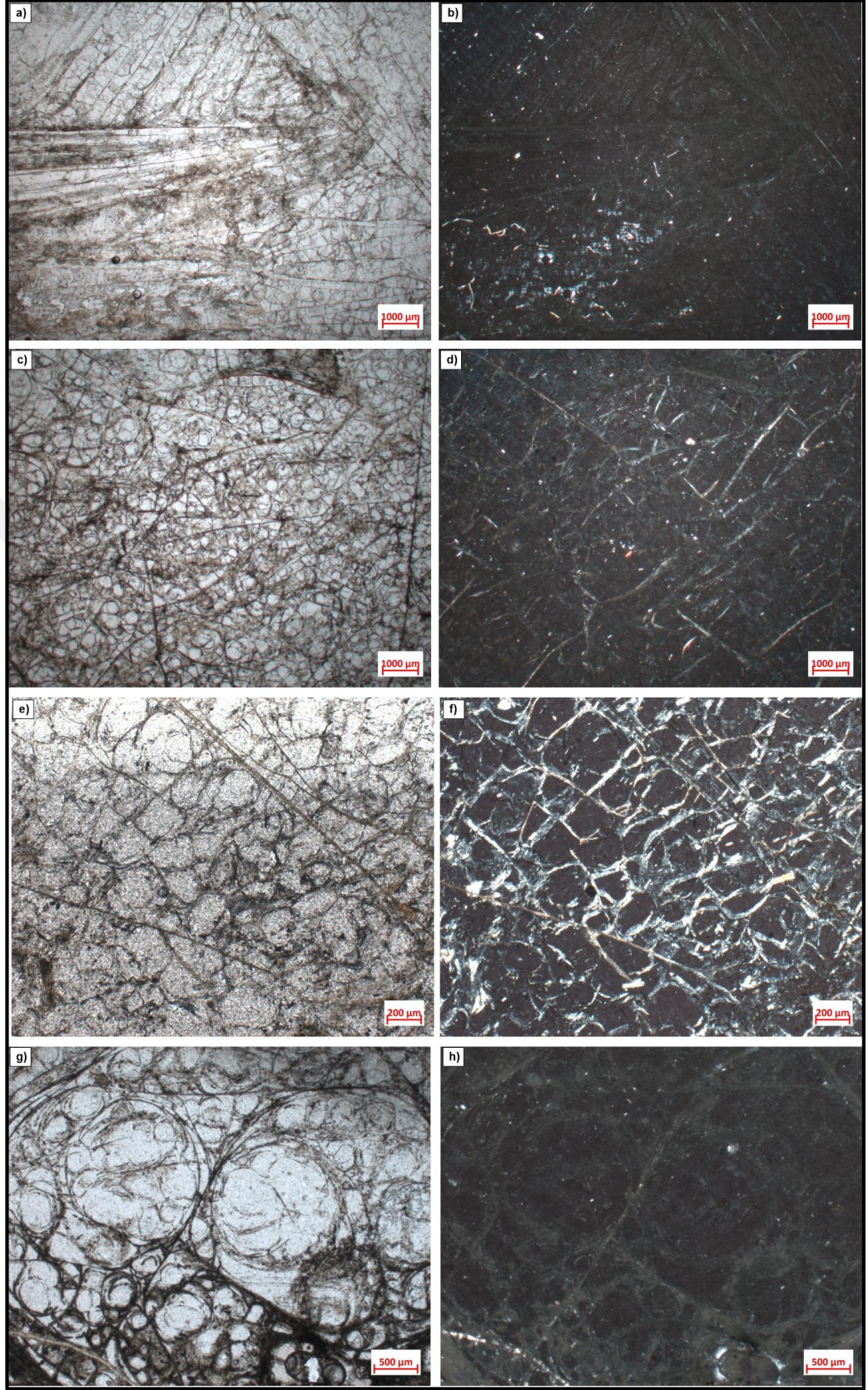


Şekil 4.13 Breşik doku gösteren volkanik fay breşinin a) paralel nikol b) çapraz nikol mikrofotografı

4.2 Perlitler

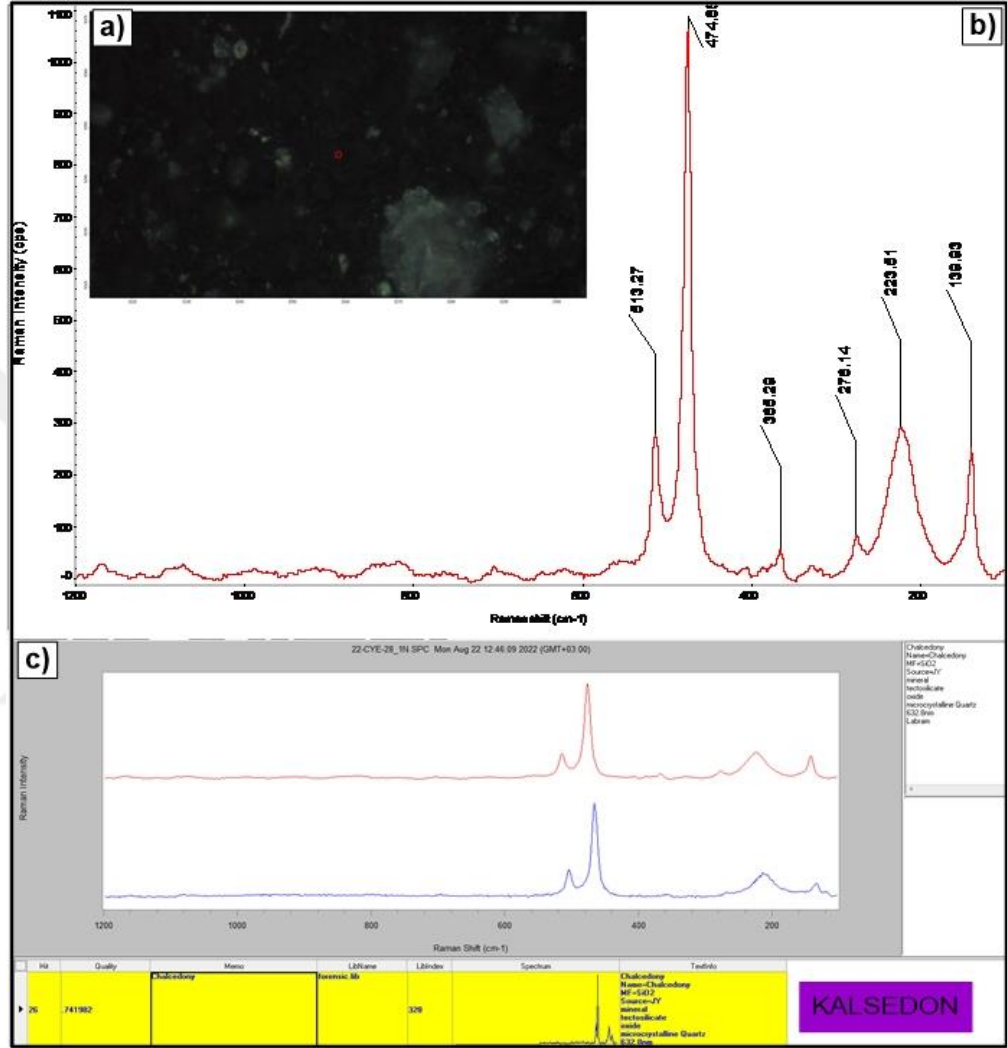
Yaklaşık 250 kilometrelik alandaki zeytini yeşil-gri renkli perlitler yer yer bozuşarak beyazımsı renkte görülmektedir. Tipik soğan zarı özel yapısı gösteren örnekler genel doku olarak holohiyalin doku göstermekte ve volkan camından oluşmaktadır (Şekil 4.14).

Çalışma alanındaki çeşitli perlit örnekleri üzerinde yapılan KRS çalışmalarında farklı mineral türlerine rastlanmıştır. Kuvars dolgularının olduğu bölgeden seçilen bir noktada kalsedon tespit edilirken (Şekil 4.15) soğan zarı yapısının üzerinde seçilen noktada bir volkan camı türü olan obsidiyen ile benzer spektrum elde edilmiştir (Şekil 4.16).

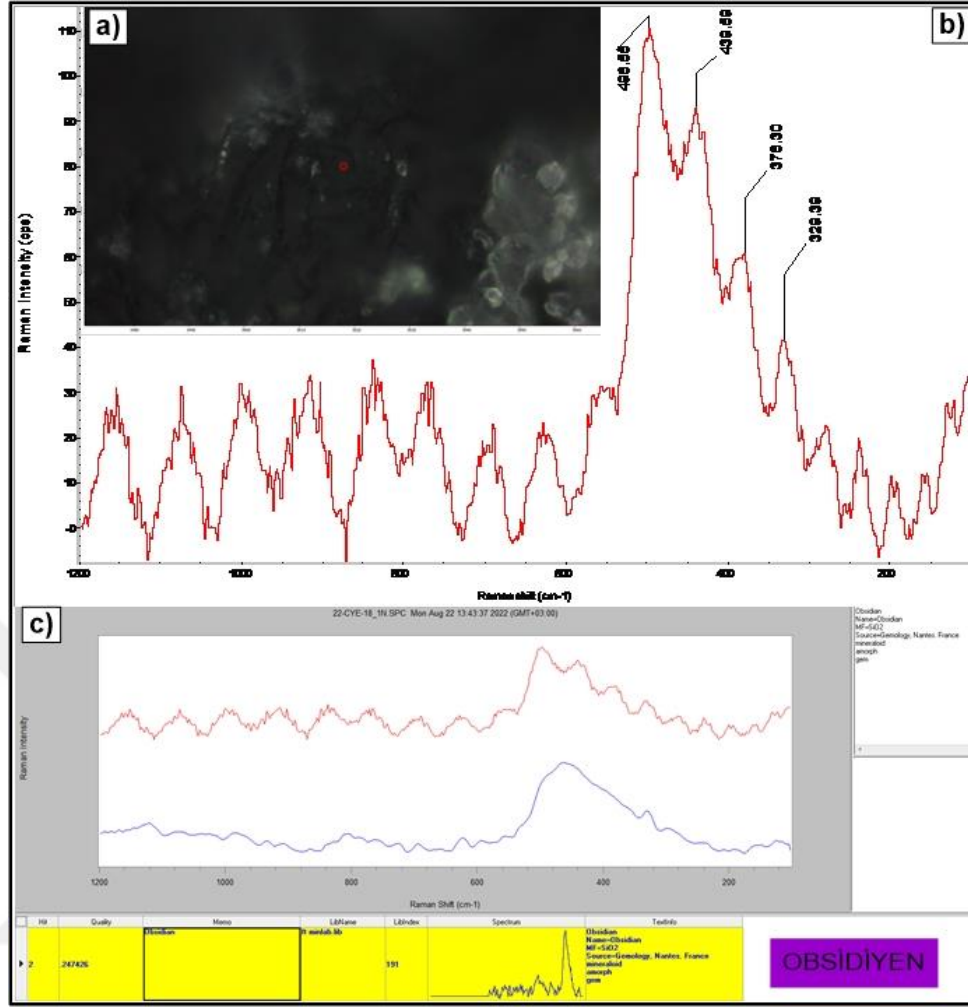


Şekil 4.14 Çalışma alanından alınan perlit örneklerinin a,c,e,g) paralel nikol b,d,f,h) çapraz nikoldaki soğan zarı yapısının görüntüsü

Kalsedon Raman kaymalarının 474.88 cm^{-1} 'de oldukça kuvvetli, perlitlerden alınan ölçümlerde ise kaymalar 496.55 cm^{-1} ve 439.59 cm^{-1} 'de tespit edilmiştir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16).

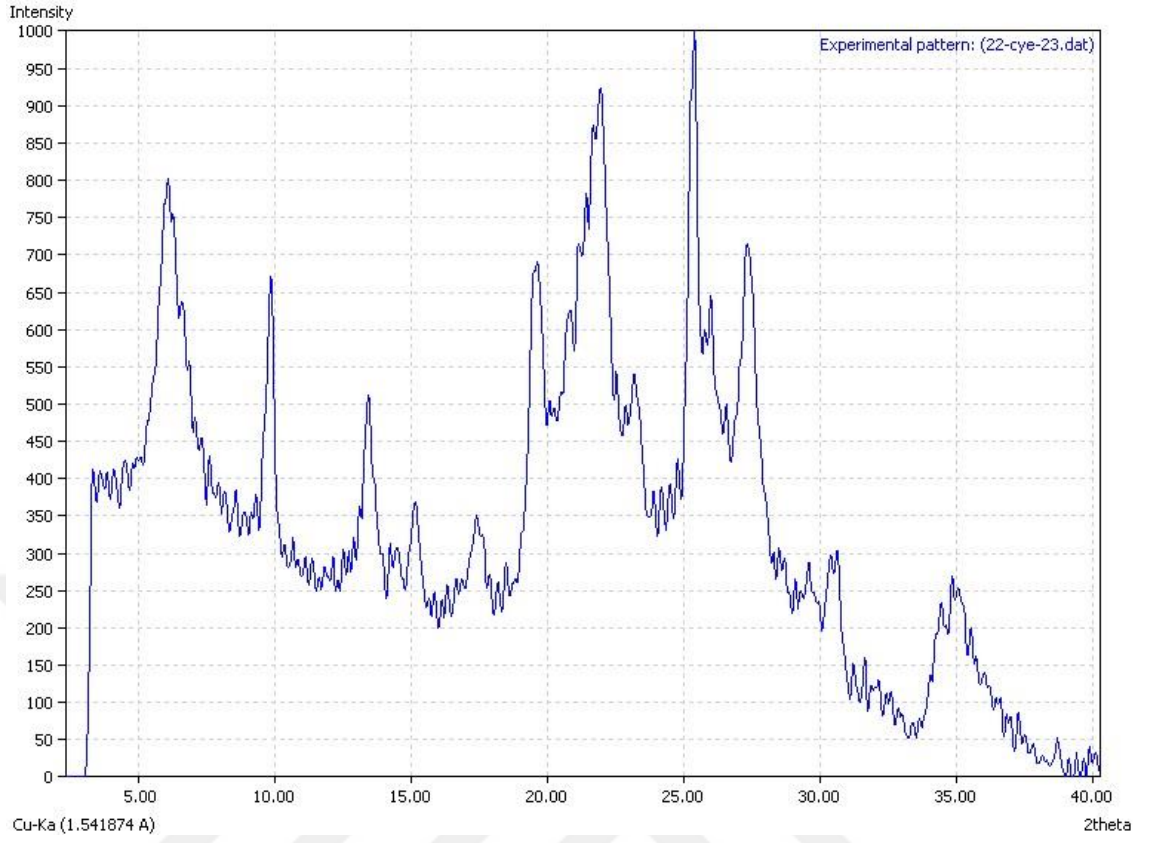


Şekil 4.15 Perlitlerin içerisinde bulunan silis dolgularındaki Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması



Şekil 4.16 Perlitin soğan zarı yapısından seçilen noktanın Raman ölçümüne ait a) seçilen noktayı gösteren fotoğraf, b) ölçülen Raman kayması ve c) referans ve ölçülen spektrumun karşılaştırması

Perlit örneğinin alterasyonu ile oluşan bozunma ürünlerini tespit etmek amacıyla XRD analizleri yapılmıştır. XRD analizlerinden elde edilen difraktogramlardaki her bir pikin d değerleri Amerikan Standart Test Malzemeleri (ASTM)'ndeki mineral kartlarındaki değerler ile karşılaştırılarak piklerin hangi mineral ve/veya minerallere ait oldukları belirlenmiştir. XRD difraktogramlarına göre montmorillonit bileşiminde kil minerallerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Altere perlit örneğinin XRD Difraktogramı

5. JEOKİMYA

Ankara ili Çubuk ilçesi Yukarı Emirler köyü civarındaki perlitlerin, piroklastik ve volkanik kayaların mineralojik ve petrografik incelemelerinin ardından özellikle volkanik kayalar ile perlitlerin jeokimyasal analiz sonuçları jeokimyasal özellikleri ve kökenlerini belirleyebilmek amacıyla farklı diyagramlara aktararak değerlendirilmiştir.

Araziden alınmış tüm örneklerin ana oksit ve iz element analizleri YEBİM'deki Spectro marka X-LAB 2000 model PEDXRF cihazı kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar EK-2 ve EK-3'de sunulmuştur. Kayaların kimyasal analizleri kullanılarak kayalarda meydana gelen günlenme değerlerini ve miktarlarını belirlemek amacıyla Ruxton Oranı (R), Parker Günlenme İndeksi (WIP), Potansiyel Ayırışma İndeksi (PWI), Kimyasal Alterasyon İndeksi (CIA), Kimyasal Ayırışma İndeksi (CIW), Vogt Kalıntı İndeksi (V) ve Plajiyoklaz Ayırışma İndeksi (PIA) Çizelge 5.1'deki formüller kullanarak hesaplanmış (EK-2-3), günlenme ve bozunma oranları tespit edilerek ilgili diyagramlara aktarılmıştır. (Ruxton 1968, Parker 1970, Roaldset 1972, Nesbitt ve Young 1982, Harnois ve Moore 1988, Fedo vd. 1995, Sourı vd. 2006, Fiantis vd. 2010).

Çizelge 5.1 Bozunma ve günlenme değerlerine bağlı olarak sunulan değerlendirme ve formüller

İNDEKS	FORMÜL	OPTİMUM TAZE DEĞER	OPTİMUM GÜNLENMİŞ DEĞER
R	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	10	0
WIP	$(100)[(2\text{Na}_2\text{O}/0.35) + (\text{MgO}/0.9) + (2\text{K}_2\text{O}/0.25) + (\text{CaO}/0.7)]$	>100	0
PWI	$[\text{SiO}_2/(\text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)] \times 100$	>50	0
V	$(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O})/(\text{MgO} + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$	>1	Sonsuz
CIA	$(100)[(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$	≤ 50	100
CIW	$(100)[(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})]$	≤ 50	100
PIA	$(100)[(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})]$	≤ 52	100

5.1 Volkanik Kayaların Jeokimyası

Bölgeden alınan trakit-trakiandezit, trakibazalt ve bazaltik andezit bileşimli volkanik kayaların basit bir günlenme indeksi olan ve genellikle asidik ve ortaç kayalarda kullanılan Ruxton Oranının (R) (Fiantis vd. 2010) genel itibariyle 5'ten küçük olduğu ve kısmen altere olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 5.1h)

Asidik, ortaç ve bazik bileşimli kayalarda günlenme esnasında en hareketli olan ana alkali elementlerin (Na, K, Mg, Ca) miktarları ve oksijenle yaptığı bağ temel alınarak hesaplanan Parker Günlenme İndeksi'ne göre (WIP) Çizelge 5.1'de de görüldüğü gibi optimum taze değer 100'den büyük olanlar olarak nitelendirilmiştir (Fiantis vd. 2010). Buna göre bütün örnekler 100'den bir hali büyük ve 6000'den küçüktür (Şekil 5.1e). Buradan çıkarılabilecek sonuç ise Na, K, Mg ve Ca elementlerin hareketlerinin fazla olmadığı olabilir.

Fiantis vd. (2010)'e göre, Potansiyel Ayırışma İndeksi (PWI) değerleri 50'den büyük olduğunda kayalar ayırışmış değildir. Buna bağlı olarak çalışma alanından alınan örnekler günlenmiş değer üstündedir ve ayırışmış değildir (Şekil 5.1d).

Daha çok sedimanter kayalardaki kil minerallerini tespit etmek amacıyla kullanılan Vogt Kalıntı İndeksi (V), aynı zamanda kayalardaki günlenme veya bozunma sonucunda oluşan kil minerallerinin varlığını saptamak amacıyla kullanılmaktadır. Belirtilen optimum taze değer 1'den büyük olması gerektiğinden, tez çalışması kapsamında alınan volkanik kaya örneklerinin 0 ile 1 arasında konumlandığı görülmüş ve yapılan XRD analizlerine göre de montmorillonit türü kil minerallerinin olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 5.1f).

Feldispat minerallerinin kil minerallerine dönüşüm derecesini tespit etmek amacı ile kullanılan Kimyasal Alterasyon İndeksi (CIA) için optimum taze değer 50'den küçük olarak belirlenmiştir (Nesbitt ve Young 1982, Fiantis vd.2010). Trakit-trakiandezit, trakibazalt ve bazaltik andezit türü volkanik kayaların CIA değerleri 55 ile 65 arasında

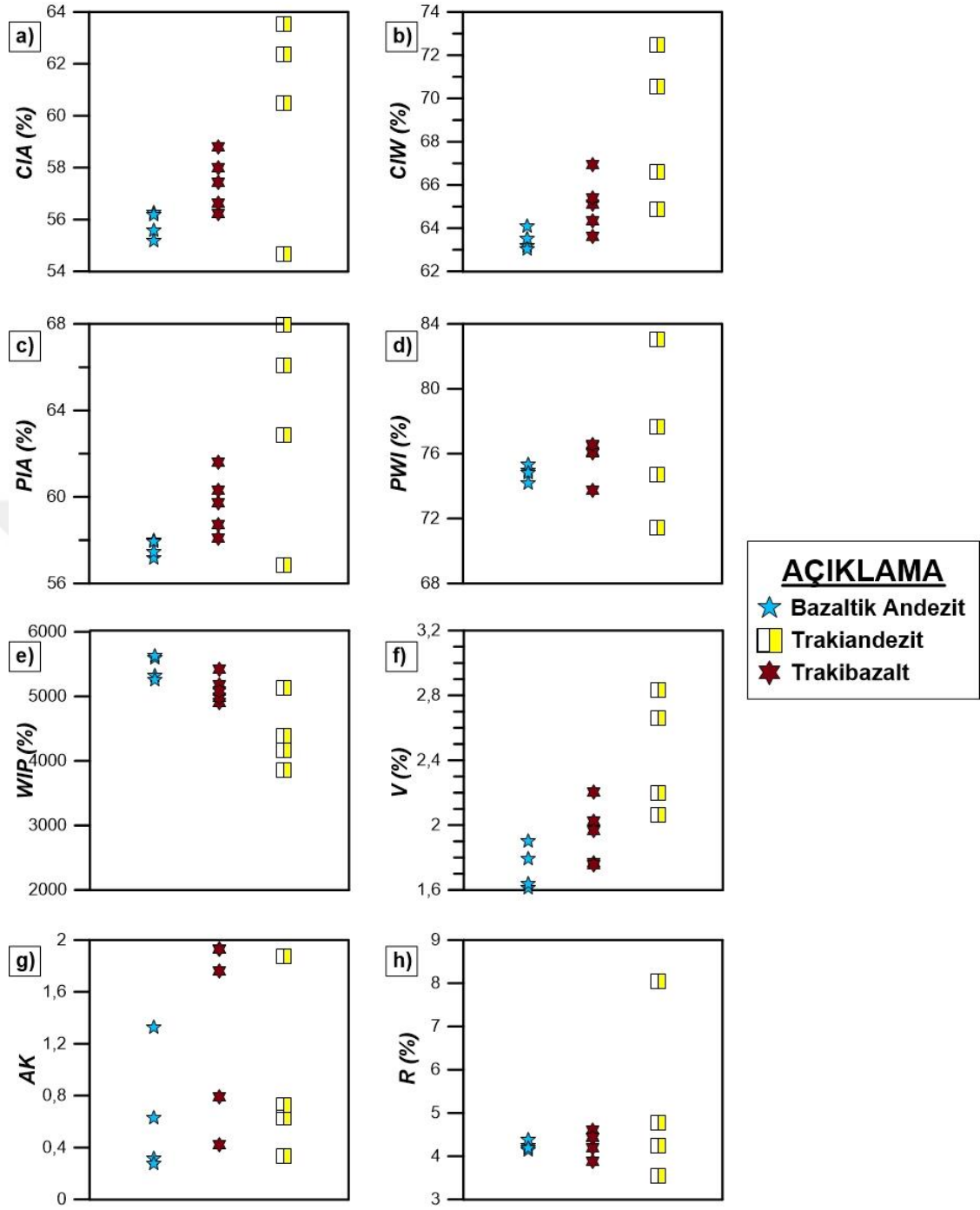
hesaplanmış ve kayaların bozunmaya uğradığını, kil minerallerinin oluştuğunu söylemek mümkündür (Şekil 5.1a).

K₂O değerini gözardı ederek hesaplanan ve CIA ile benzer olan Kimyasal Ayırışma İndeksi (CIW), bütün volkanik kaya örneklerinde 50'den büyüktür (Şekil 5.1b). Buna göre bu kayalardaki feldispat mineralleri günlenme nedeniyle kısmen de olsa kil minerallerine dönüşmüştür.

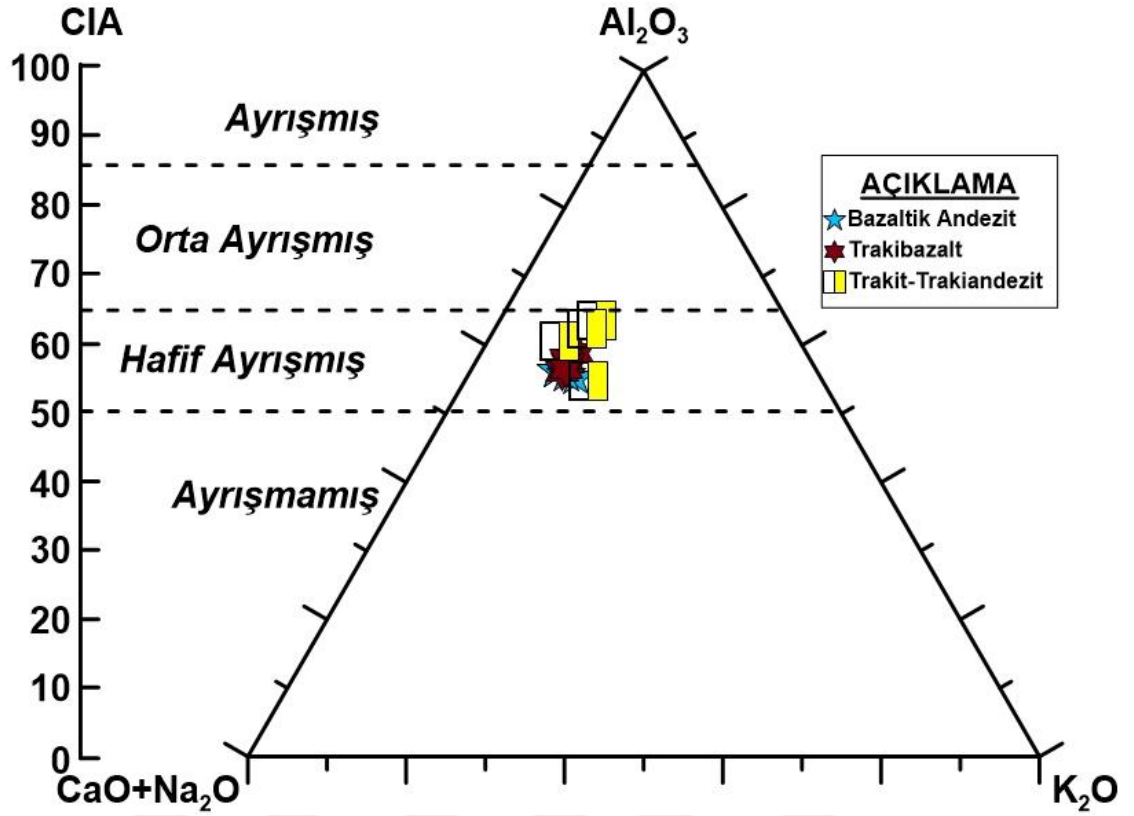
Plajiyoklaz Ayırışma İndeksi (PIA), plajiyoklaz minerallerindeki bozunmalar hakkında yorum yapabilmek amacıyla kullanılmıştır. 50'den küçük olması durumunda taze kabul edilen değerlerin, çalışma alanındaki volkanik kayalarda 50'den fazla olduğu dolayısıyla bu kayalarda bulunan plajiyoklaz minerallerinin bozunmaya uğradığı söylenebilir (Şekil 5.1c).

Örneklerin içerisindeki hem uçucu bileşen miktarına hem de örneklerin altere olup olmadıklarına yaklaşımda bulunabilmek amacıyla Ateşte Kayıp (AK) miktarları hesaplanmıştır (Şekil 5.1g).

Tüm yapılan hesaplamalar sonucunda bu bölgedeki volkanik kayaların kısmen alterasyona uğradıklarını söylemek mümkündür. Ayrıca bu kayaların Shao vd. 2012'den değiştirilerek alınan ACNK diyagramındaki konumları ve CIA'ya göre sınıflandırılmasına bakıldığında hafif ayrıışmış oldukları görülmektedir (Şekil 5.2).



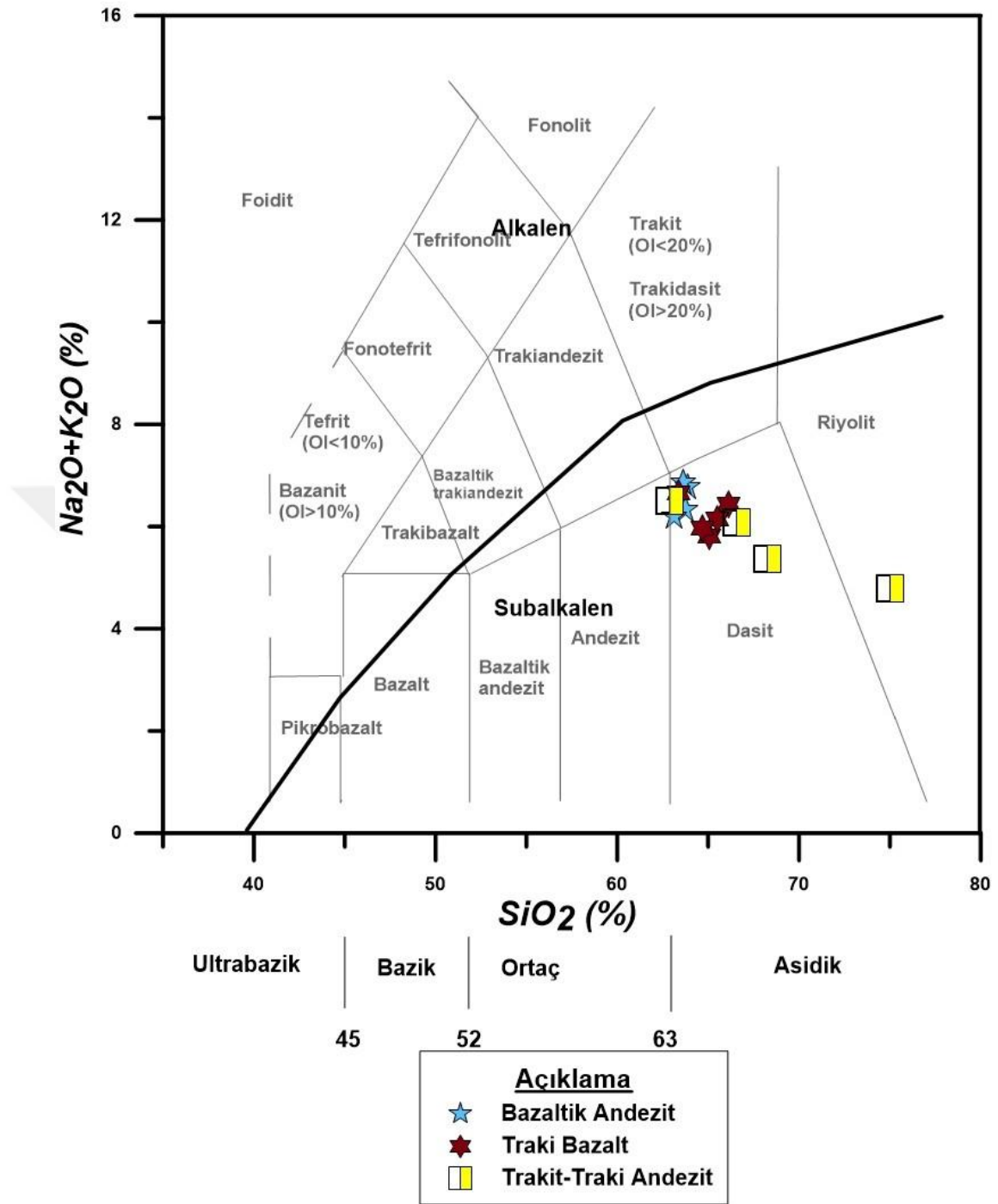
Şekil 5.1 Yukarıemirler civarındaki volkanik kayaların a) CIA, b) CIW, c) PIA, d) PWI, e) WIP, f) V, g) AK ve h) R alterasyon indekslerine bağlı olarak oluşturulan diyagramları



Şekil 5.2 ACNK diyagramında çalışma bölgesinden alınan volkanik kayaların konumları ve CIA'ya göre sınıflandırılması (Shao vd. 2012'den değiştirilerek alınmıştır)

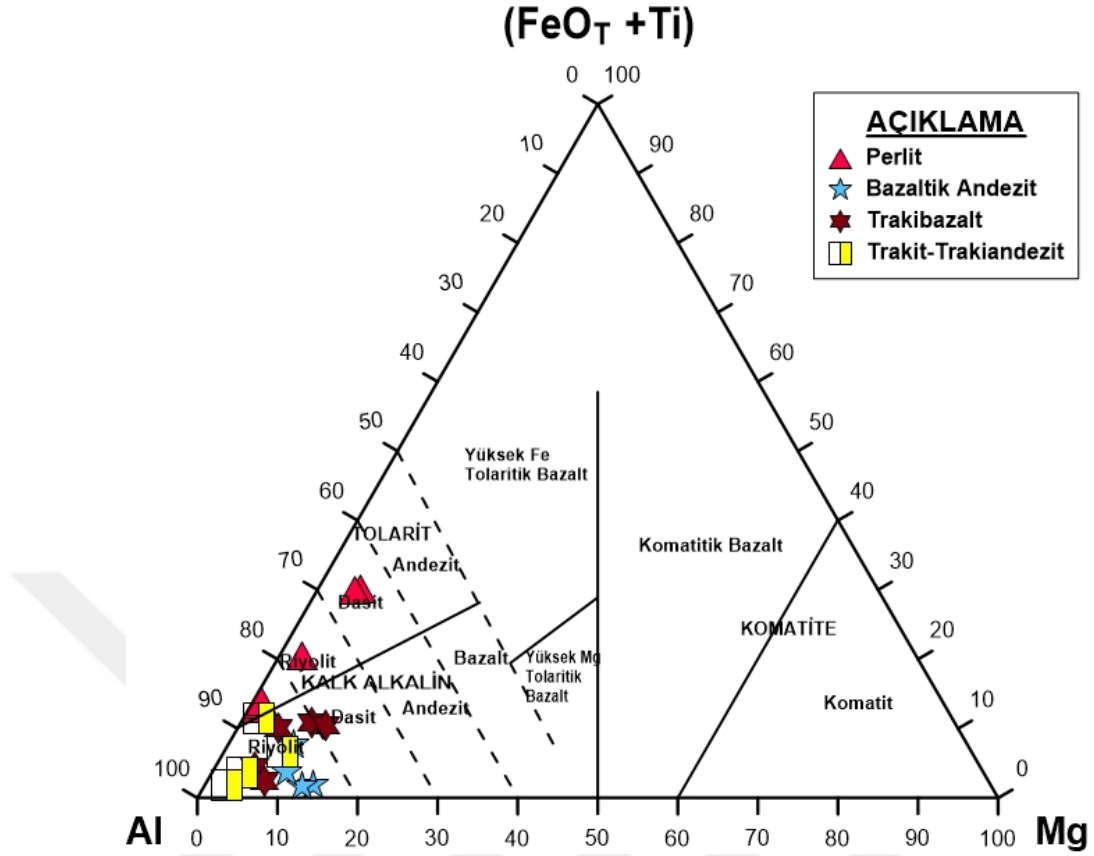
5.1.1 Çalışma alanındaki volkanik kayaların sınıflaması

Çalışma alanından alınan volkanik kayaların Toplam Alkali Silika (TAS) diyagramına bakıldığında genellikle andezitik dasitik kısımda yer aldıkları görülmektedir (Le Maitre vd. 2001) (Irvine ve Baragar 1971) (Şekil 5.3). Traki bazalt, trakit, traki andezit ve bazaltik andezit kayalarının çoğunlukla dasit ve riyolit alanında konumlanmalarının nedeni kayaların içerisinde petrografik olarak gözlenen silisleşmelerdir. Ayrıca magma karakteri açısından bölgedeki volkanik kayaların subalkalen karakterli olduğu görülmektedir (Şekil 5.3).



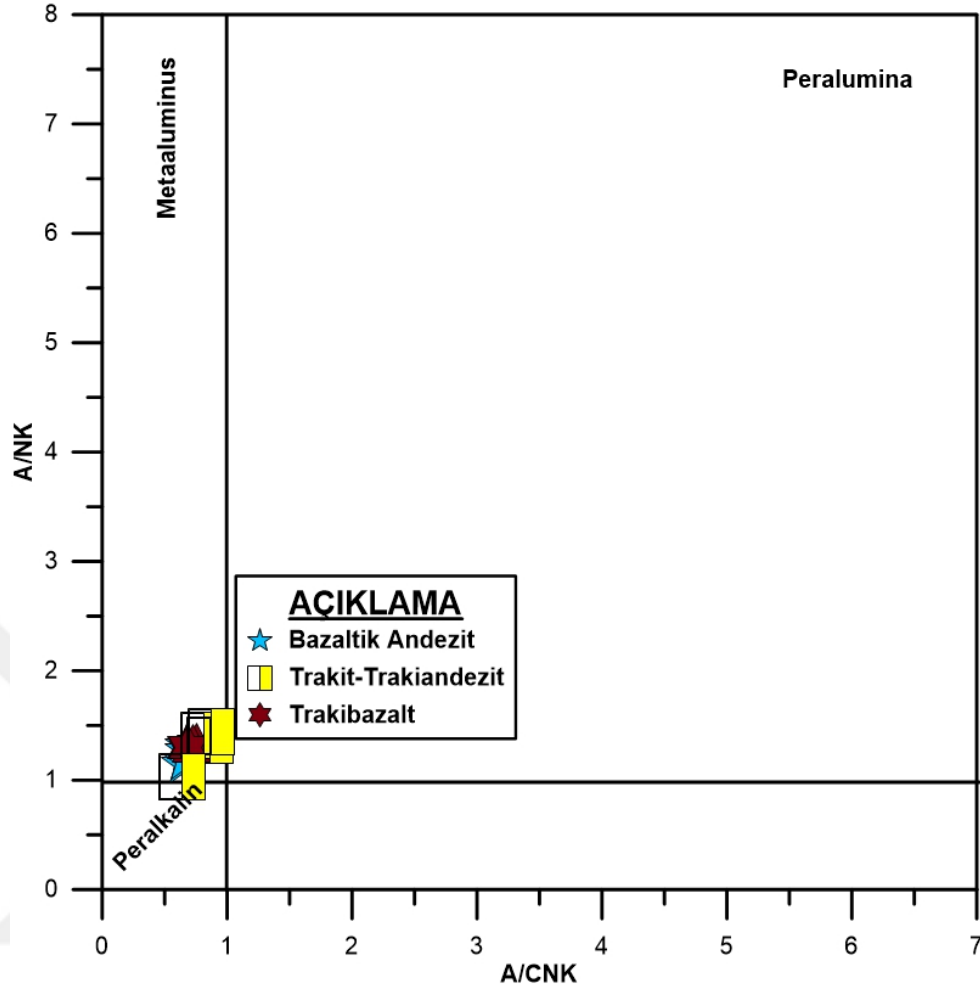
Şekil 5.3 Tez sahasındaki volkanik kayaların toplam alkali-silika değişim diyagramı (Le Maitre vd. 2001, Alkalen-Subalkalen ayırım çizgisi Irvine ve Baragar (1971)'dan alınmıştır)

Tez sahasındaki perlitler de dahil olmak üzere tüm volkanik kayaların sınıflamasına ait diyagram Şekil 5.4'te sunulmuştur. Buna göre tüm volkanik kayaların alüminyum içeriği yüksek olan kısımda konumlandıkları görülmektedir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Çubuk ilçesi Yukarı Emirler-Susuz köyü civarındaki volkanik kayaların sınıflama diyagramı (Rickwood, 1989)

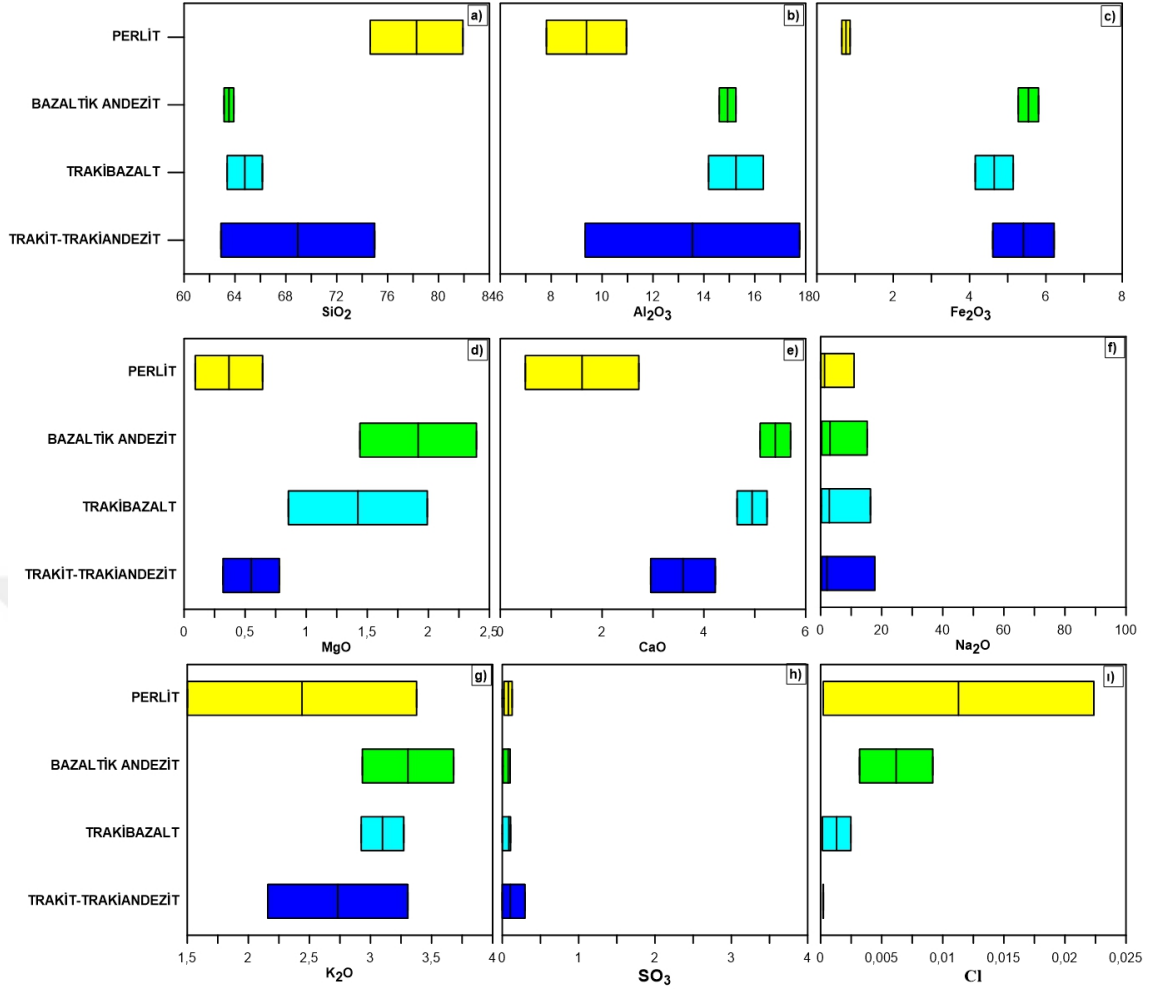
Çubuk civarından alınan volkanik kayaların jeokimyasal verilerine göre alüminyum doygunluk (ANK/ACNK) diyagramı çizilmiştir (Maniar ve Picolli 1989). Hesaplanan verilere göre tüm kayaların metaalüminalı alanda konumlandıkları görülmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Çalışma alanından toplanan volkanik kayaların A/NK-A/CNK diyagramı (Maniar ve Picolli 1989)

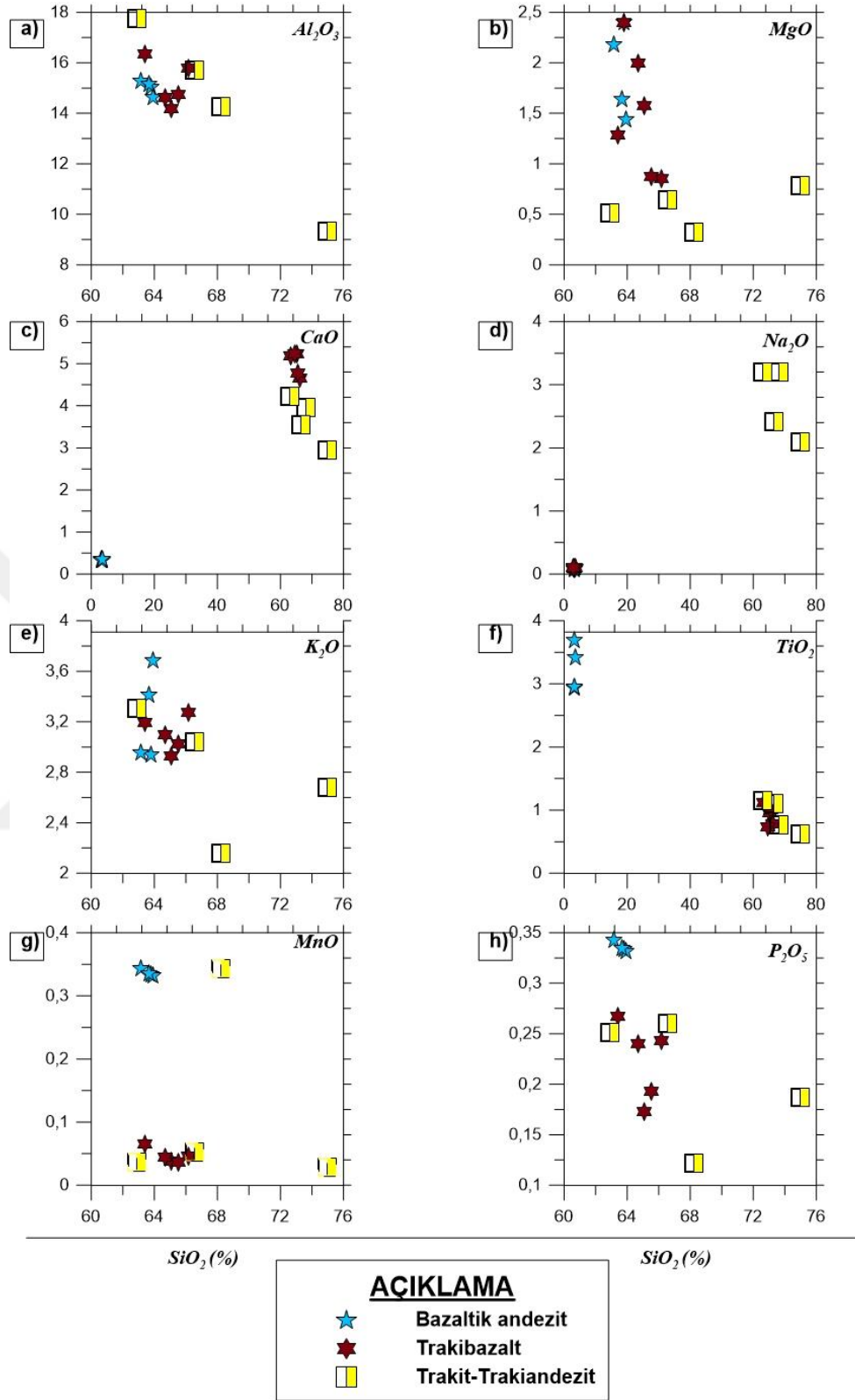
5.1.2 Volkanik kayaların ana element jeokimyası

Volkanik kayalara ait özellikle ana oksit değerlerinin minimum ve maksimum Şekil 5.5'te sunulmuştur. Buna göre SiO_2 ve Cl açısından perlitlerin diğer volkanik kayalardan daha fazla konsantrasyona sahip olduğu açıkça görülürken (Şekil 5.6a,1) Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO ve CaO açısından diğer volkanik kayaların minimum ve maksimum değerlerinin fazla olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 5.6b,c,d,e). Öte yandan Na_2O ve SO_3 miktarlarının en düşük ve en yüksek değerleri yaklaşık aynıdır (Şekil 5.6f,h). K_2O değerlerine bakıldığında perlitler en düşük konsantrasyona sahipken bazaltik andezitler en yüksek değerin sahibidir (Şekil 5.6g).



Şekil 5.6 Trakit-trakiandezit, trakibazalt, bazaltik andezit ve perlit kayalarının minimum ve maksimum değerleri (a)SiO₂, (b)Al₂O₃, (c)Fe₂O₃, (d)MgO, (e)CaO, (f)Na₂O, (g)K₂O, (h)SO₃, (i)Cl

Çubuk ilçesinin Yukarı Emirler köyü civarından alınan volkanik kaya örneklerinin silika içeriğinin ana oksitlere göre değişimi dikkate alınarak hazırlanan Harker diyagramlarına bakıldığında, tüm kaya gruplarının (trakit-trakiandezit, trakibazalt, bazaltik andezit) Al₂O₃, MgO, K₂O, TiO₂ ve P₂O₅ ile negatif korelasyon gösterdiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.7a,b,e,f,h). MnO açısından bazaltik andezitler negatif ilişki gösterirken trakit-trakiandezitler ve trakibazaltlar pozitif korelasyon sunmaktadır (Şekil 5.7g). Öte yandan CaO bakımından diğerleri negatif ilişki gösterirken bazaltik andezit uyumludur (Şekil 5.7c). SiO₂'nin Na₂O ile ilişkisine bakıldığında trakit-trakiandezitlerin sodyumca fakir, trakibazalt ve bazaltik andezitlerin Na'ca zengin olduğu söylenebilir (Şekil 5.7d).

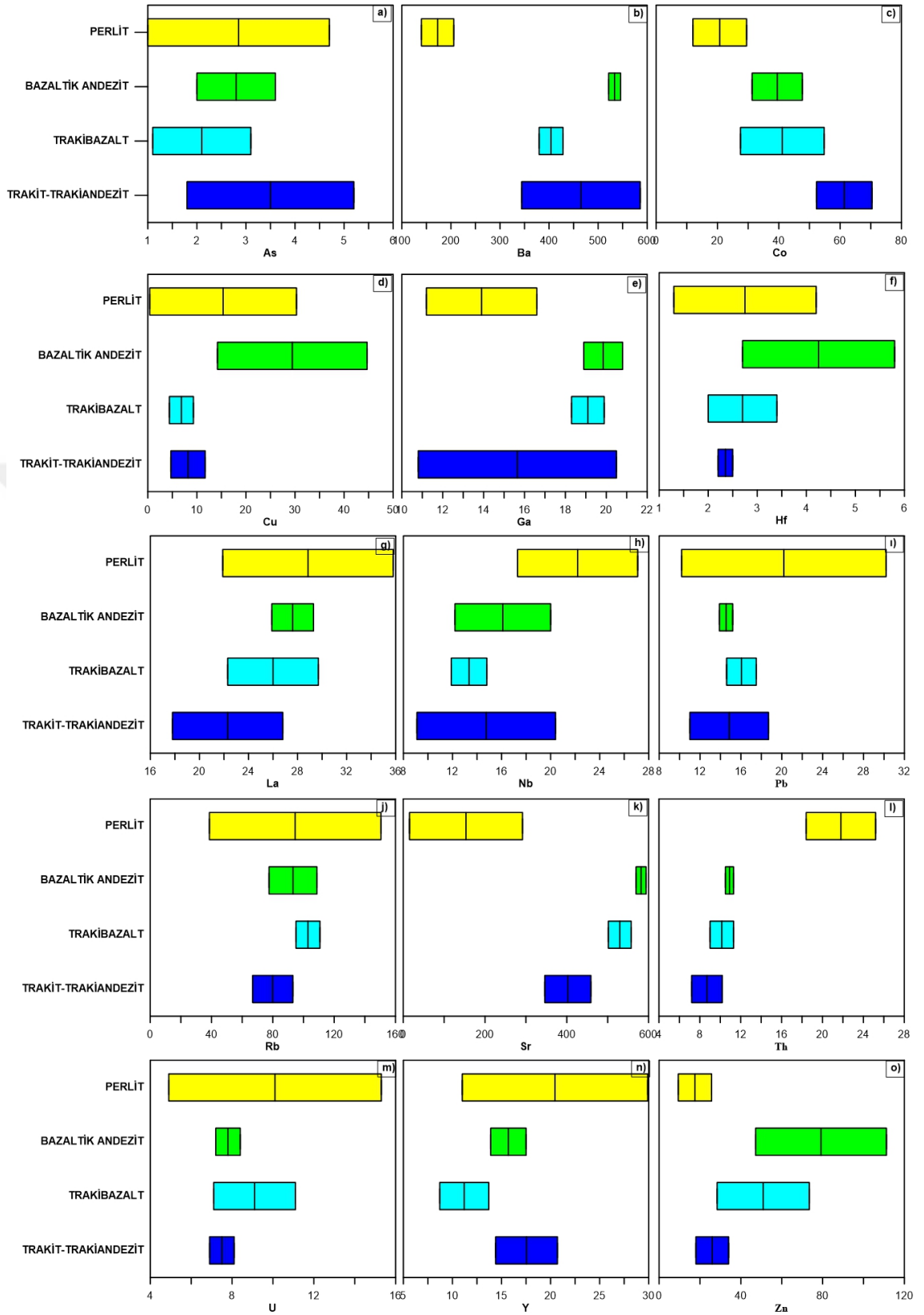


Şekil 5.7 Trakit-trakiandezit, trakibazalt ve bazaltik andezit kayalarının SiO_2 'ye karşı ana oksit Harker Diyagramları (a) Al_2O_3 , (b) MgO , (c) CaO , (d) Na_2O , (e) K_2O , (f) TiO_2 , (g) MnO , (h) P_2O_5 , (i) Fe_2O_3 (Harker 1909)

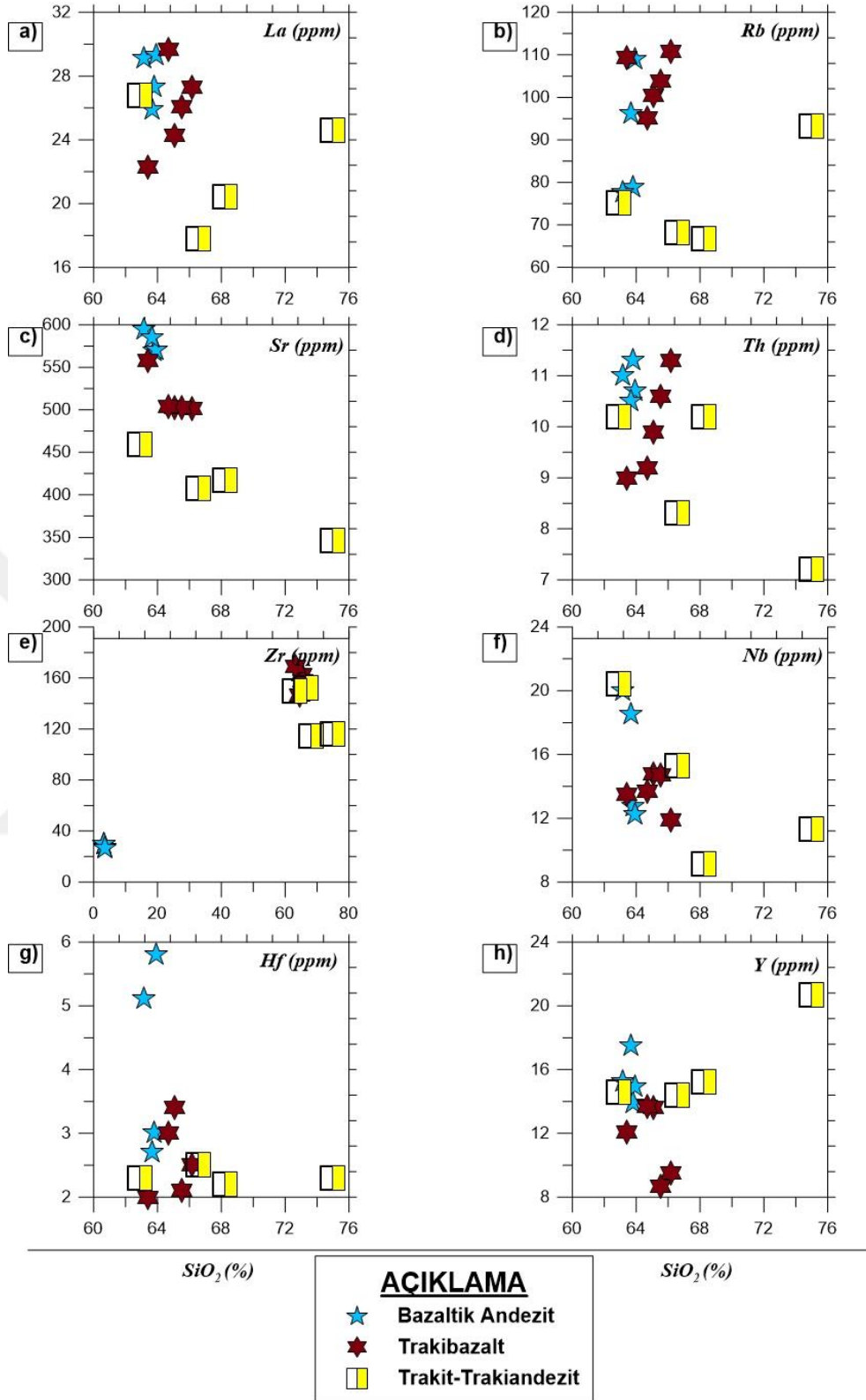
5.1.3 Volkanik kayaların iz element jeokimyası

Çalışma alanına ait perlit örnekleri de dahil olmak üzere tüm volkanik kayalara ait iz elementlerin minimum ve maksimum değerleri Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Buna göre, perlitlerin en yüksek ve en düşük değerlerine göre en fazla konsantrasyona sahip olduğu iz elementler yaklaşık olarak La, Nb, Pb, Rb, Th, U ve Y iken (Şekil 5.8g, h, ı, j, l, m, n) Ba, Co, Sr ve Zn’de en düşük konsantrasyona sahiptir (Şekil 5.8b, c, k, o). Diğer taraftan As açısından trakit-trakiandezit en yüksek konsantrasyona sahipken Cu ve Hf bakımından bazaltik andezit daha zengindir (Şekil Şekil 5.8a, d, f).

Araziden alınan volkanik kayaların iz element Harker diyagramlarına bakıldığında Sr, Zr ve Nb elementleri ile negatif ilişki gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 5.9c, d, f). Öte yandan volanik kayaların diğer iz elementlerce (La, Rb, Th, Hf ve Y) zenginleşme gösterdikleri Şekil 5.9a, b, d, g, h ‘de açıkça görülmektedir.



Şekil 5.8 Trakit-trakiandezit, trakibazalt, bazaltik andezit ve perlit kayalarının iz element minimum ve maksimum değerleri (a)As, (b)Ba, (c)Co, (d)Cu, (e)Ga, (f)Hf, (g)La, (h)Nb, (i)Pb, (j)Rb, (k)Sr, (l)Th, (m)U, (n)Y, (o)Zn



Şekil 5.9 Trakit-trakiandezit, trakibazalt ve bazaltik andezit kayalarının SiO_2 'ye karşı iz element Harker Diyagramları (a)La, (b)Rb, (c)Sr, (d)Th, (e)Zr, (f)Nb, (g)Hf, (h)Y (Harker 1909)

5.2 Perlitlerin Jeokimyası

Araziden alınan perlit örneklerinden kimyasal analizler yapılarak ve alterasyon değerleri hesaplanarak ilgili diyagramlara aktarılmıştır. Perlitlere ait kimyasal sonuçların verileri EK-2’de sunulmuştur.

Çizelge 5.1’de belirtilen formüllere bağlı olarak hesaplanan günlenme ve bozunma değerleri Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Alınan perlit örneklerinin Ruxton Oranı’na (R) bakıldığında bir tanesi dışında 10’dan küçük olduğunu ve belirtilen optimum taze değerden küçük olduğundan dolayı kısmen ayrıışmış olduklarını söylenebilir (Şekil 5.10h) (Fiantis vd. 2010).

Ana alkali elementlerin hareketleri esas alınarak hesaplanan Parker Günlenme İndeksi’ne (WIP) göre taze değerin 100’den büyük olması gerekmektedir (Fiantis vd. 2010). Buna göre örneklerin 2000 ile 5500 arasında konumlandığı ve Na, K, Mg, Ca gibi elementlerin hareketliliğinin söz konusu olmadığı söylenebilir (Şekil 5.10e).

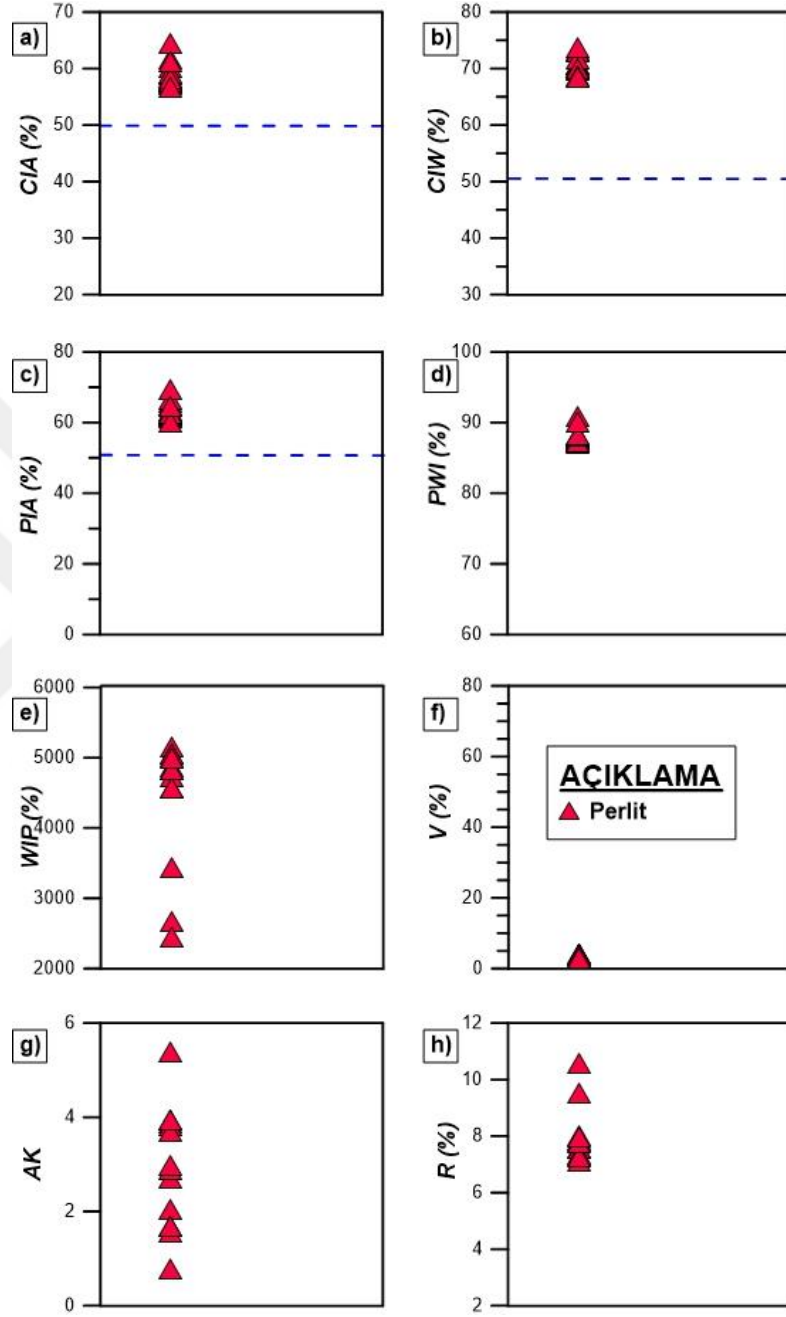
50’den büyük olduğunda kayaların altere olmadığını ifade eden Günlenme Ürünü İndeksi (PWI) sonucunda bölgedeki perlitlerin tamamının taze olduğu sonucuna ulaşılırken (Şekil 5.10d), Vogt Kalıntı İndeksi’ne (V) göre kısmen ayrıışmıştır (Şekil 5.10f)

Bozunmanın Kimyasal İndeksi (CIA) ve Günlenmenin Kimyasal İndeksi (CIW)’ne bakıldığı zaman, ikisinin de hesaplanan perlit değerlerinin belirtilen optimum taze değerden (≤ 50) fazla olduğu görülmüş ve bu civardaki örneklerin altere olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 5.10a, Şekil 5.10b).

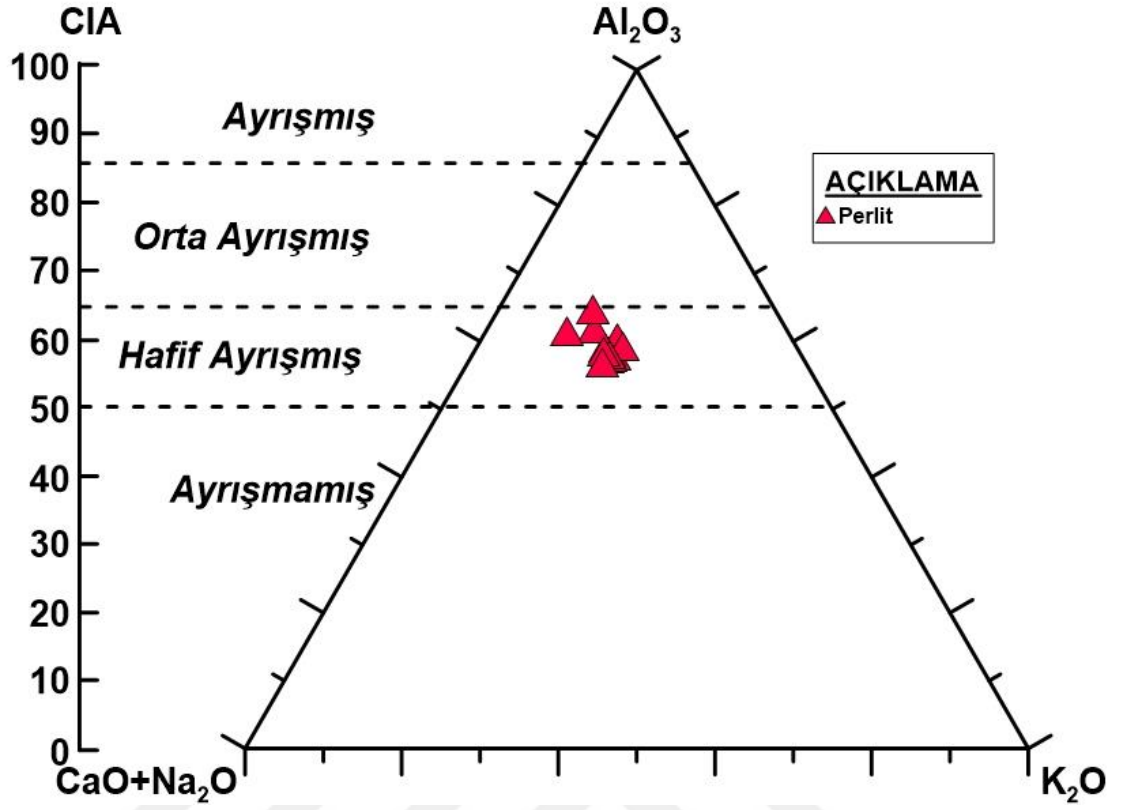
CIW’a alternatif olarak hesaplanmış olan Bozunmanın Plajiyoklaz İndeksi (PIA) ise benzer şekilde 50’den küçükken taze değerleri göstermektedir. Ancak alınan perlit örneklerinin tamamı 50’den büyüktür. Başka bir deyişle, alınan perlit örnekleri ayrıışmıştır (Şekil 5.10c).

Ateşte Kayıp (AK) değerlerine ve tüm hesaplanan alterasyon indekslerine göre ACNK

konumları ve CIA'ya göre sınıflamasına bağlı olarak perlitlerin hafif ayrıışmış olduklarını söylemek mümkündür (Şekil 5.10g) (Şekil 5.11).



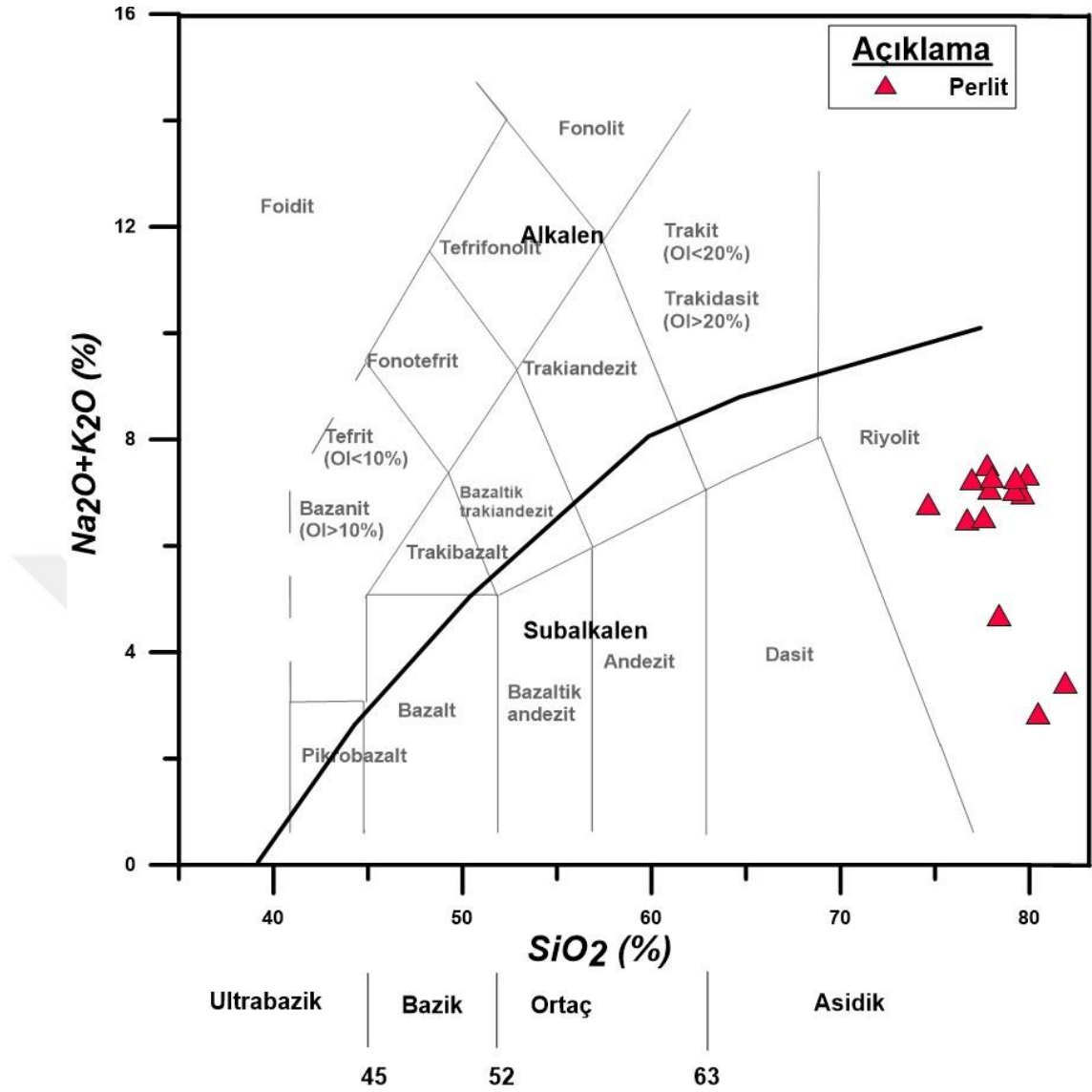
Şekil 5.10 Yukarı Emirler köyü civarından alınan perlit örneklerinin a) CIA, b) CIW, c) PIA, d) PWI, e) WIP, f) V, g) AK ve h) R alterasyon indekslerine bağlı olarak oluşturulan diyagramlar



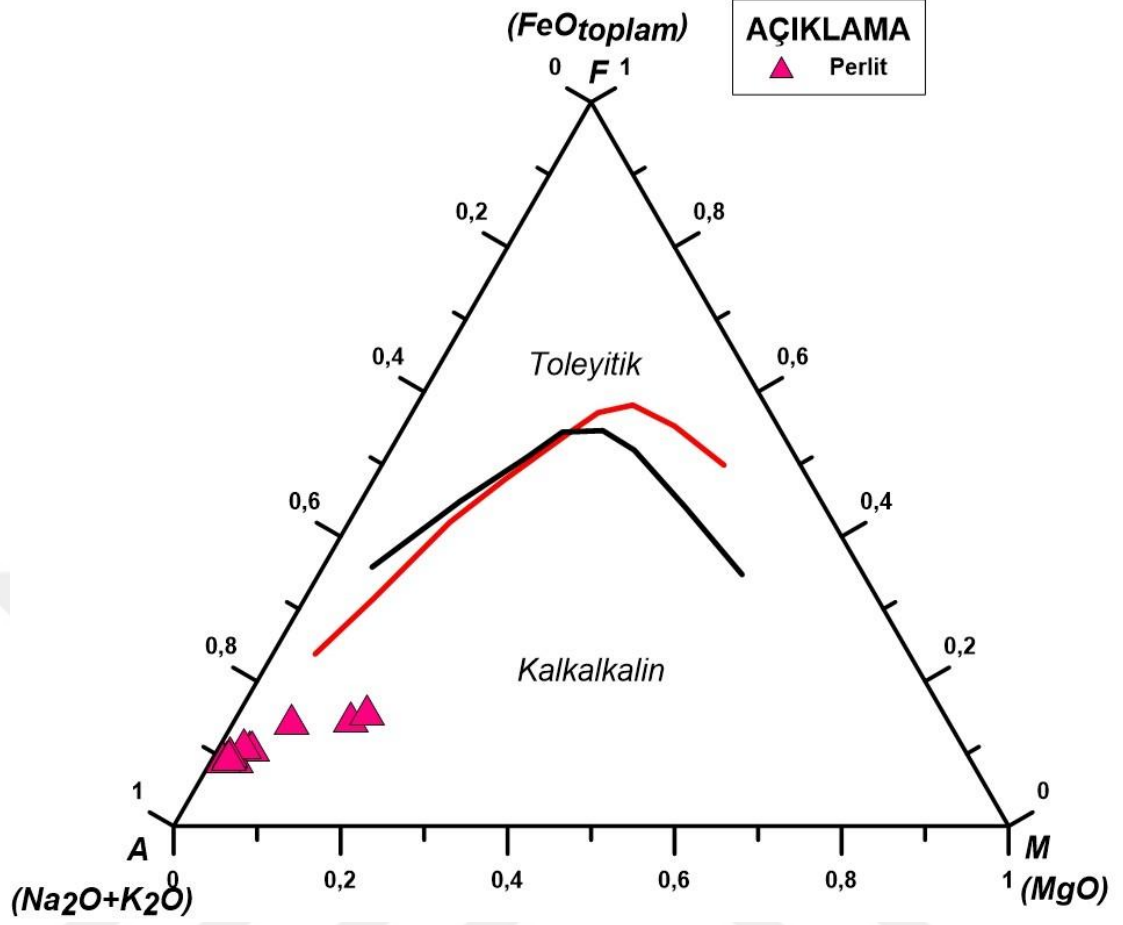
Şekil 5.11 ACNK diyagramında çalışma bölgesinden alınan perlitlerin konumları ve CIA'ya göre sınıflandırılması (Shao vd. 2012'den değiştirilerek alınmıştır)

5.2.1 Çalışma alanındaki perlitlerin sınıflaması

Bölgedeki perlitlerin toplam alkali-silika değişim diyagramı (TAS) ve alkali-subalkali ayrım çizgisine bakıldığında riolit olan kısımda toplandıklarını ve magma karakterinin de subalkali olduğu görülmektedir (Irvine ve Baragar 1971, Le Maitre vd. 2001) (Şekil 5.12). Subalkali bölgesine düşen perlitlerin karakterini ayırmak amacıyla $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{FeO}_T-\text{MgO}$ (AFM) diyagramı oluşturulmuş ve burada perlitlerin kalkalkali kısımda konumlandıkları tespit edilmiştir (Irvine ve Baragar 1971) (Şekil 5.12).

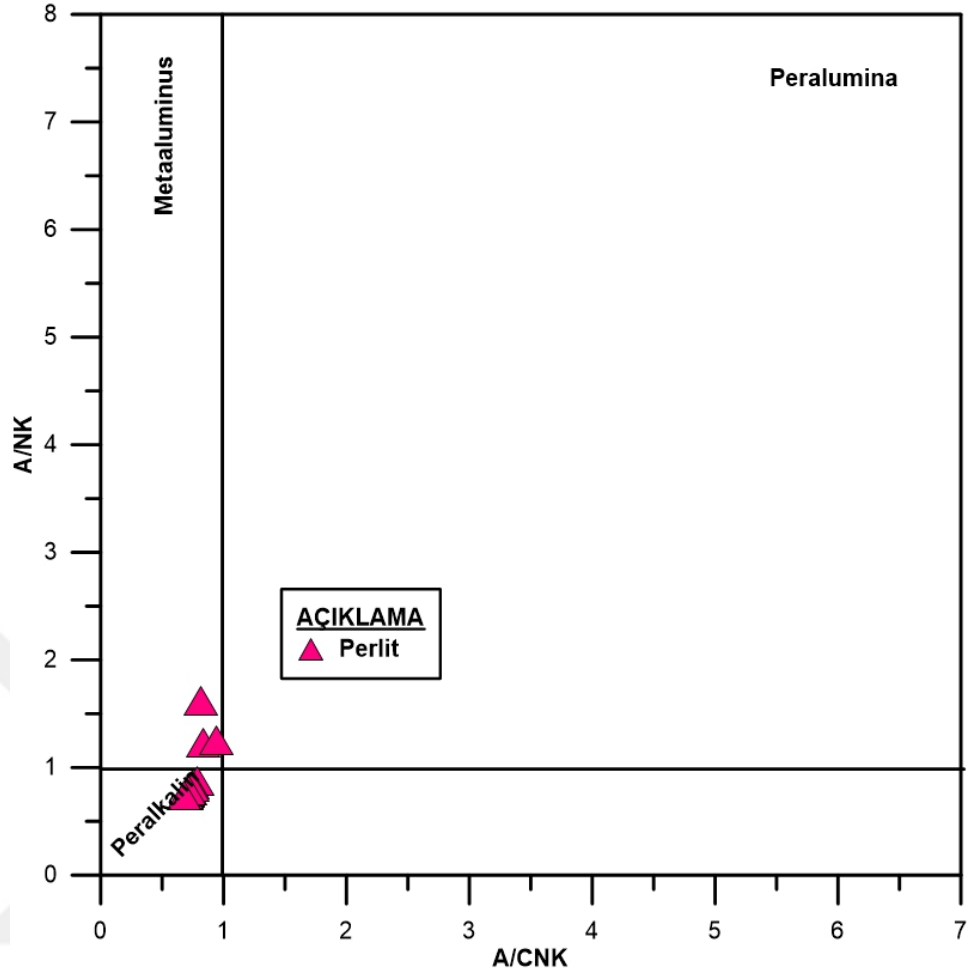


Şekil 5.12 Tez sahasındaki perlitlerin toplam alkali silika değişim diyagramı (Le Maitre vd. 2001, Alkalen–Subalkalen ayırım çizgisi-Irvine ve Baragar 1971)



Şekil 5.13 AFM (Na₂O+K₂O–FeO_T–MgO) diyagramı (Siyah renkli referans çizgisi-Irvine ve Baragar 1971, kırmızı renkli referans çizgisi-Kuno 1968)

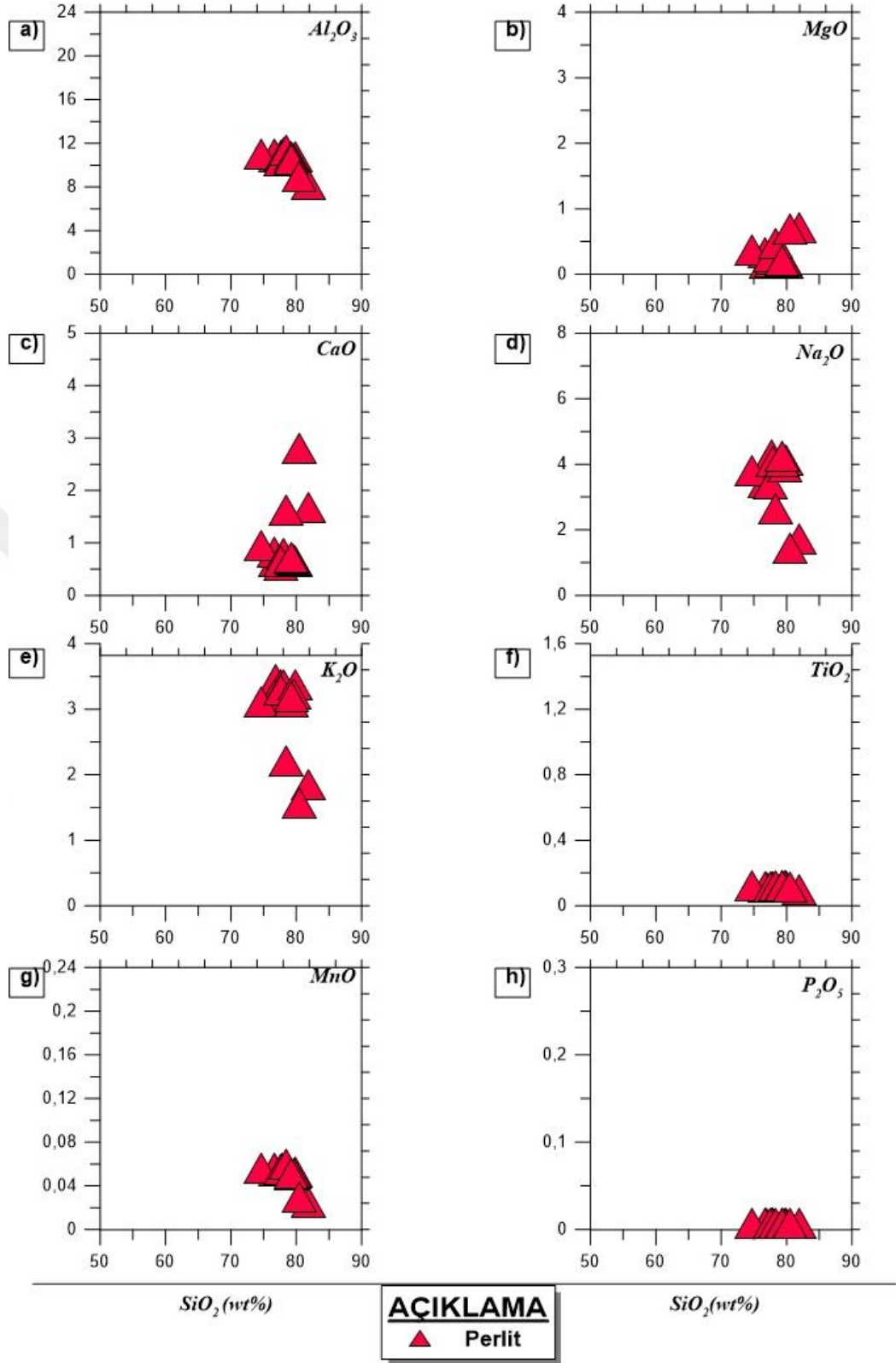
Maniar ve Picolli (1989)'nin oluşturduğu alüminyum doygunluk (ANK/ACNK) diyagramına göre perlitlerin, büyük çoğunluğunun peralkalin ve metaalümalı kısımda konumlandıkları göze çarpmaktadır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 Tez sahasından alınan perlitlerin A/NK-A/CNK diyagramı (Maniar ve Picolli 1989)

5.2.2 Perlitlerin Ana Element Jeokimyası

Araziden alınan perlit örneklerinin silikaya karşı ana oksit Harker diyagramları çizilmiş ve buna bağlı olarak bu örneklerin Al_2O_3 , Na_2O ve K_2O ile negatif korelasyon gösterirken CaO bakımından zenginleştiği görülmüştür (Şekil 5.15 a, d, e, c). Buna karşılık olarak perlitlerin MgO , TiO_2 , MnO ve P_2O_5 ana oksitleri bakımından fakir olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 5.15 b, f, g, h).

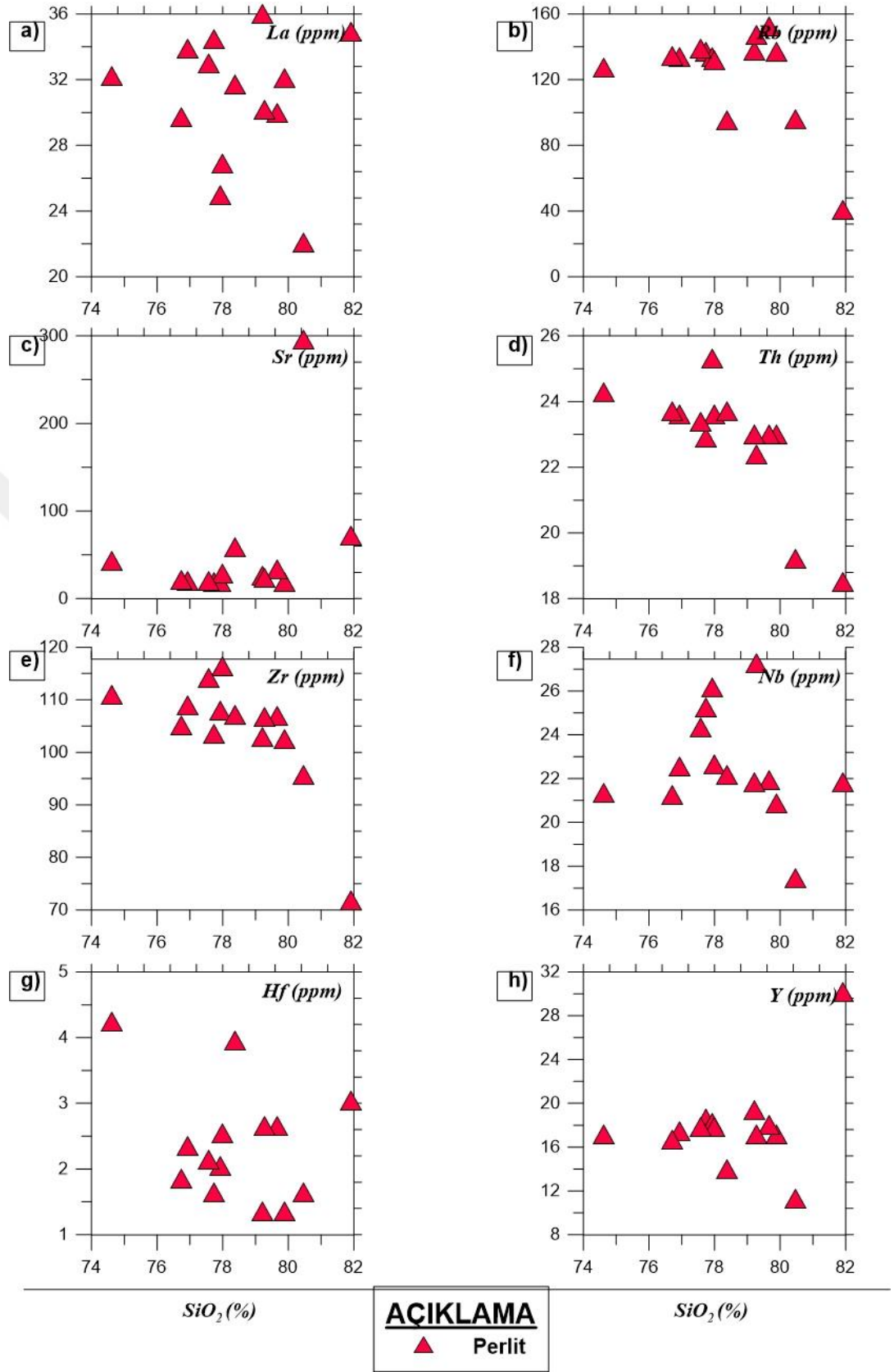


Şekil 5.15 Perlit kayalarının SiO_2 'ye karşı ana oksit Harker Diyagramları (a) Al_2O_3 , (b) MgO , (c) CaO , (d) Na_2O , (e) K_2O , (f) TiO_2 , (g) MnO , (h) P_2O_5 , (i) Fe_2O_3 (Harker 1909)

5.2.3 Perlitlerin iz element jeokimyası

Çalışma alanındaki perlitlerin silikaya karşı iz element Harker diyagramlarına bakıldığında dağınık şekilde konumlandığı göze çarpmaktadır (Şekil 5.16). Dağınık olsa da özellikle perlitlerin La, Th ve Zr elementleriyle negatif ilişkide olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.16 a, d, e). Rb, Nb, Hf ve Y elementlerince zenginleşme gösteren perlitlerin Sr açısından fakir olduğu ve perlitler oluşmadan Sr elementinin tüketildiği sonucu çıkarılmıştır (Şekil 5.16 b, f, g, h, c).

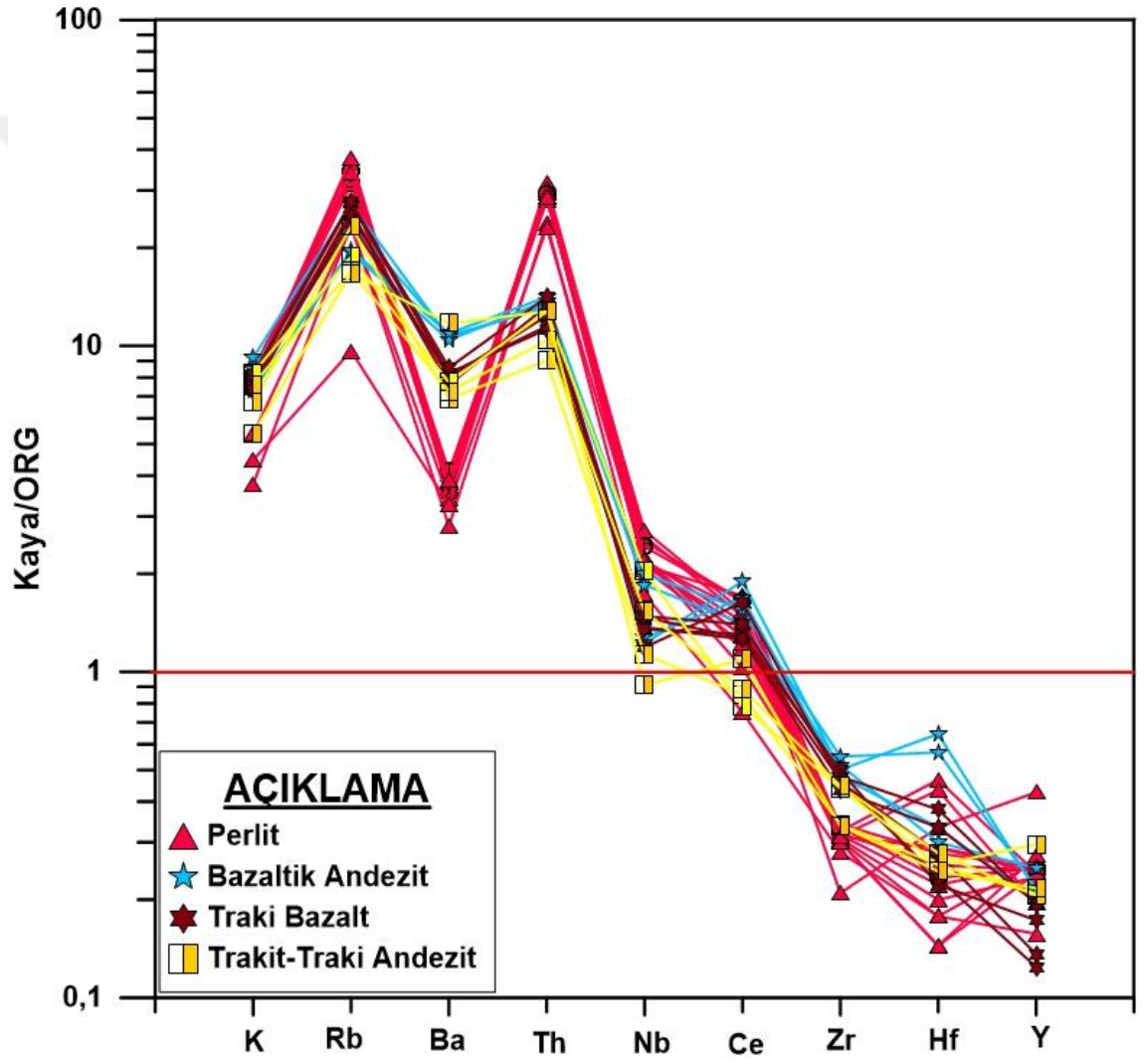




Şekil 5.16 Perlitlerin SiO₂'ye karşı iz element Harker Diyagramları (a)La, (b)Rb, (c)Sr, (d)Th, (e)Zr, (f)Nb, (g)Hf, (h)Y (Harker 1909)

5.3 Köken

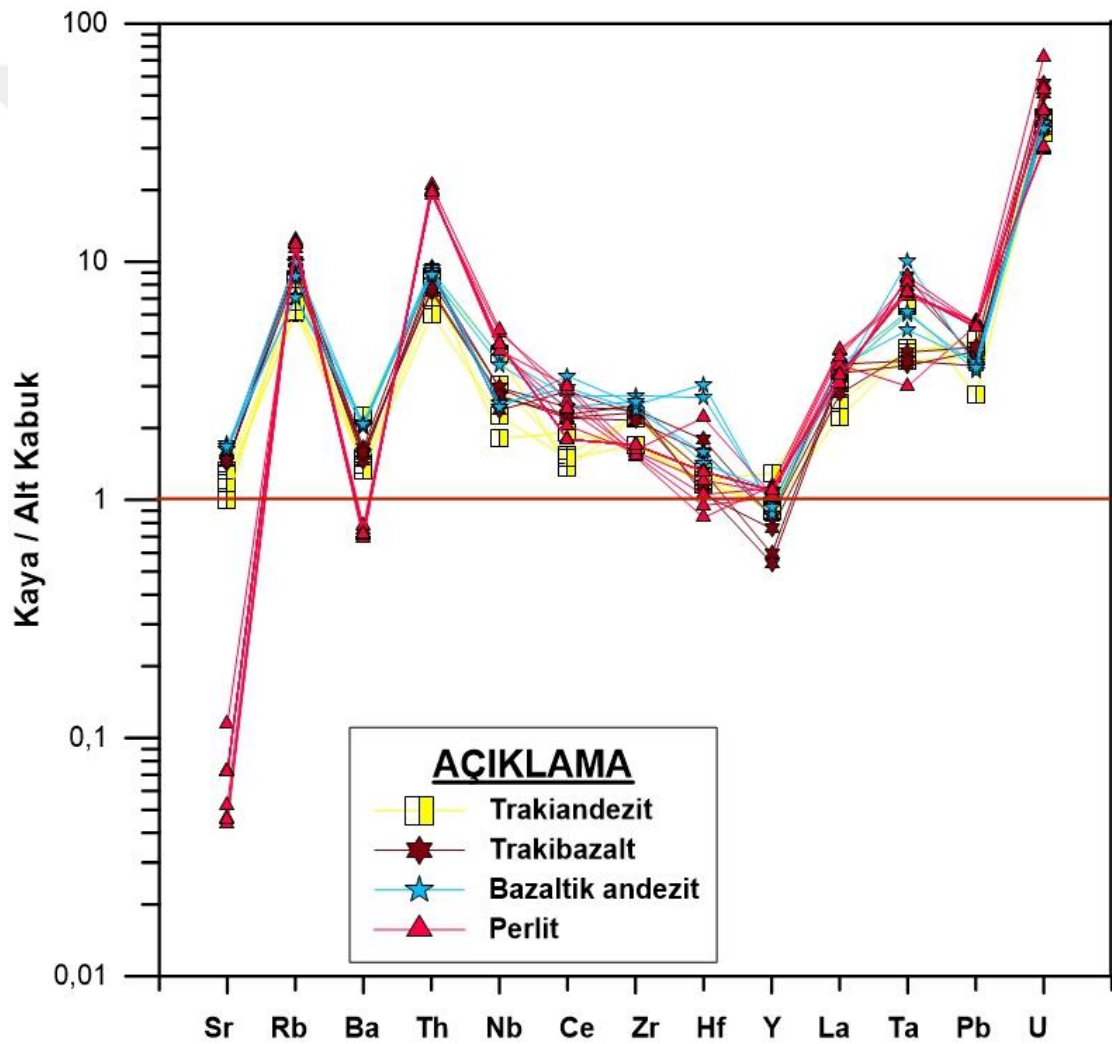
Çalışma alanındaki volkanik kayalara ait çeşitli spider diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 5.17,18,19). Okyanus Sırtı Granitleri (ORG)'ne göre normalize edilen iz element değerlerine bakıldığında, bütün volkaniklerin yaklaşık olarak benzer değerler gösterdiği açıkça görülmektedir (Şekil 5.17). Bunun yanısıra bütün volkanik kayalar LIL elementlerce zenginleşme gösterirken HFS elementlerce fakirleşmiştir (Şekil 5.17).



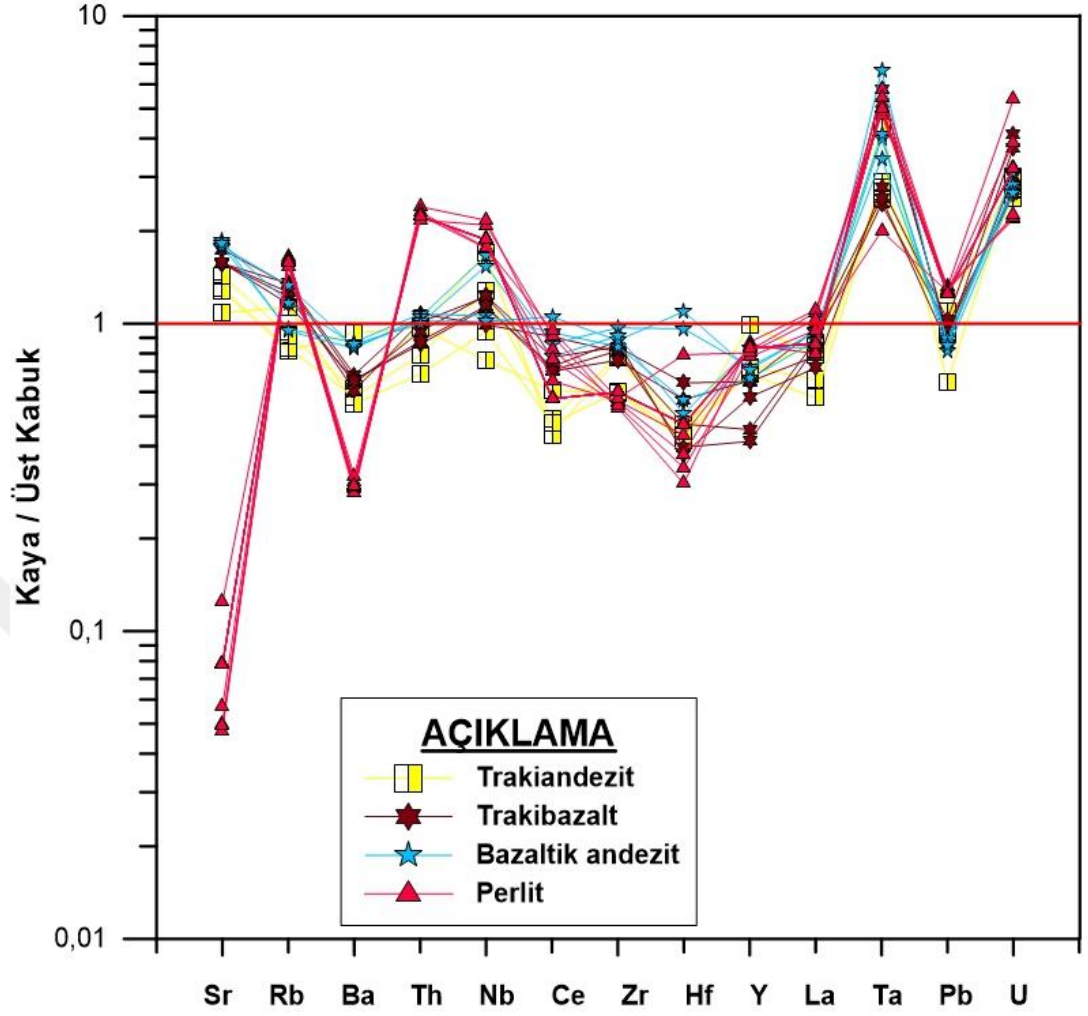
Şekil 5.17 Çubuk civarı volkanik kayaların ORG'e göre normalize edilmiş iz elementlerinin örümcek diyagramlarındaki dağılımı (ORG değerleri Pearce vd. 1984'den alınmıştır)

Çalışma alanına ait volkanik kayaların alt ve üst kabuğa göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramlarına bakıldığında Sr, Ba ve Th hariç benzer özellikler sergilediği gözlenmiştir (Şekil 5.18,19). Ayrıca tüm kayalar alt kabuğa göre normalize edilmiş U ve Ta açısından oldukça zenginleşmiş durumdadır (Şekil 5.18).

Üst kabuk değerlerine detaylı bakıldığında, 1 değerine daha yakın korelasyonlar sergilediği göze çarpmaktadır (Şekil 5.19). Buna göre Çubuk civarındaki volkanik kayaların Üst Kabuk kökenli olduğu ancak Alt abuktan etkilendiği sonucu çıkarılmıştır.

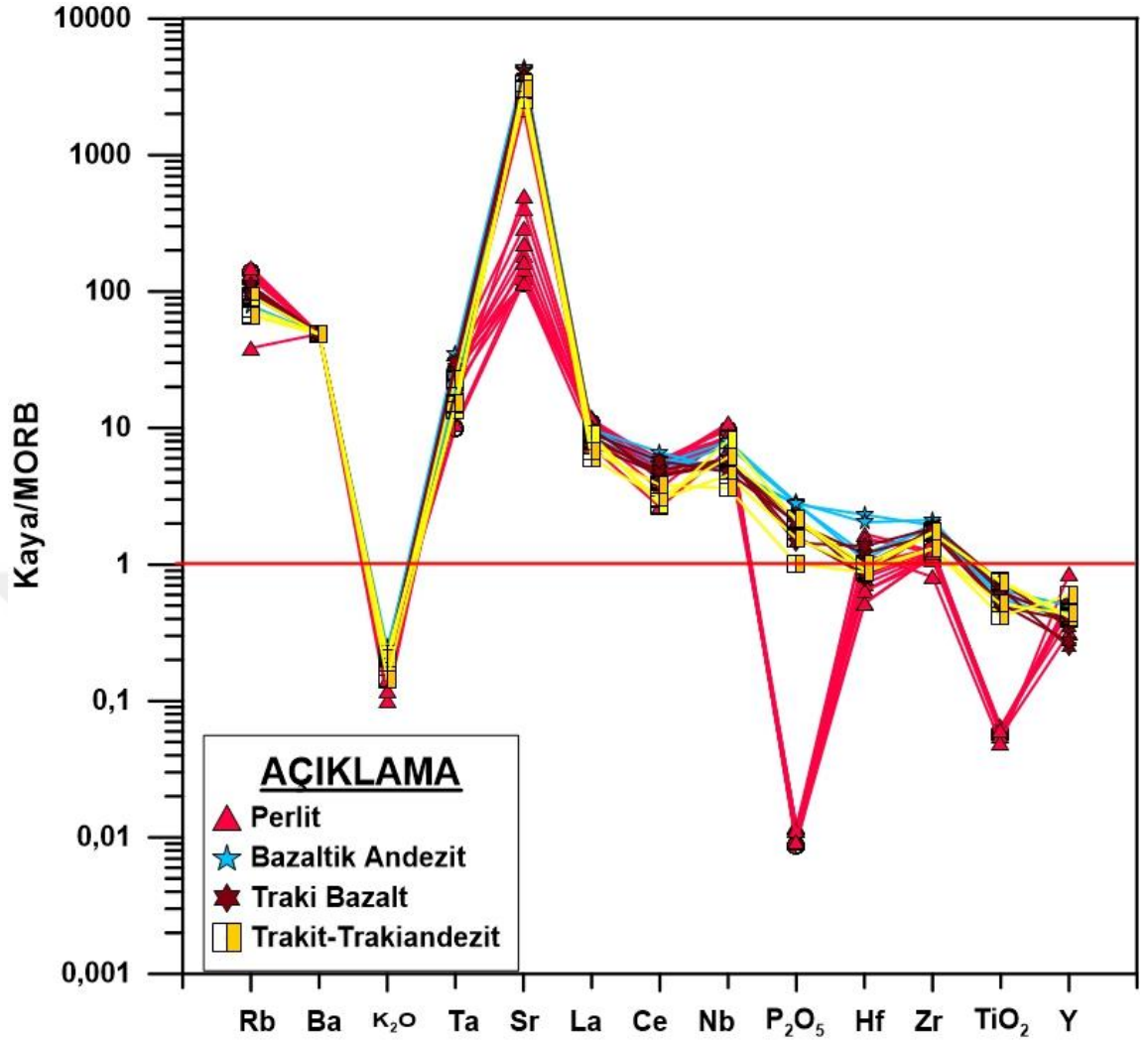


Şekil 5.18 Çubuk civarı volkanik kayaların alt kabuğa göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramı (Rudnick and Gao, 2013)



Şekil 5.19 Çubuk civarı volkanik kayaların alt kabuğa göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramı (Rudnick and Gao, 2013)

Çubuk civarındaki volkanik kayalarının okyanus ortası sırtı bazaltlarına (MORB) göre normalize edilmiş örümcek diyagramı Şekil 5.20’de sunulmuştur. Buna göre kayaların LIL elementlerce zenginleştiği, HFS elementlerce fakirleştiği görülmektedir. Özellikle perlit örneklerinin normalize edilmiş ana oksitlerce fakir olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 5.20).



Şekil 5.20 Çubuk civarı volkanik kayaların MORB'a göre normalize edilmiş örümcek diyagramı (Pearce, 1983)

6. İZOTOP JEOKİMYASI

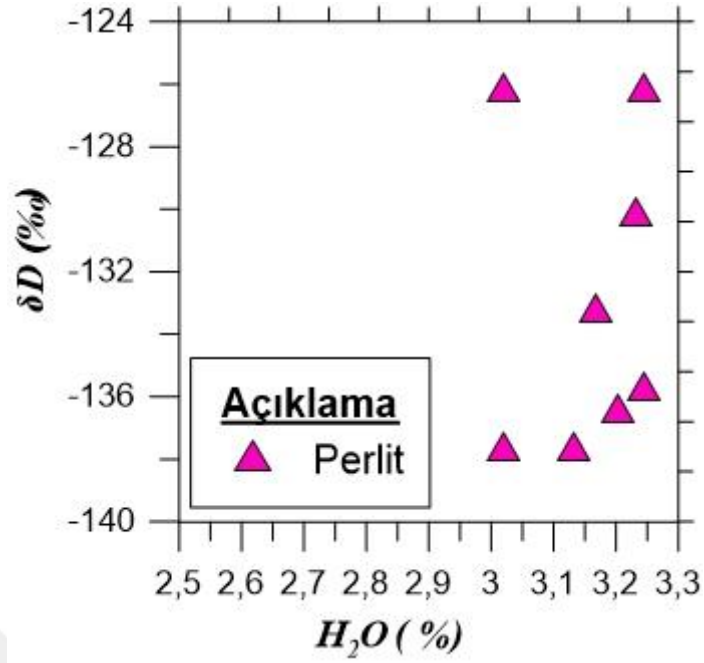
İzotop jeokimyası çalışmaları kapsamında, perlitteki hidratasyon suyunun oluşum periyodunu ve kaynağını açıklamak, perlit oluşum sürecinin iyice anlamak amacıyla Susuz Köyü'ndeki beş adet perlit örneğinden O-D kararlı izotopik analizleri gerçekleştirilmiştir. Perlit örneklerine ait katılardaki D, O ve H₂O ölçümleri Oregon Üniversitesi Kararlı İzotop Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Çubuk perlitlerinin $\delta^{18}\text{O}$, δD ve H₂O içeriği Çizelge 6.1'de gösterilmektedir. Çubuk perlitin $\delta^{18}\text{O}$ değerleri 16,8 ile 17,3 arasında, δD değerleri -137,73 ile -126,23 arasında değişmektedir (Çizelge 6.1). Ek olarak, perlitlerin %3,02–3,24 arasında su içerdiği tespit edilmiştir (Çizelge 6.1).

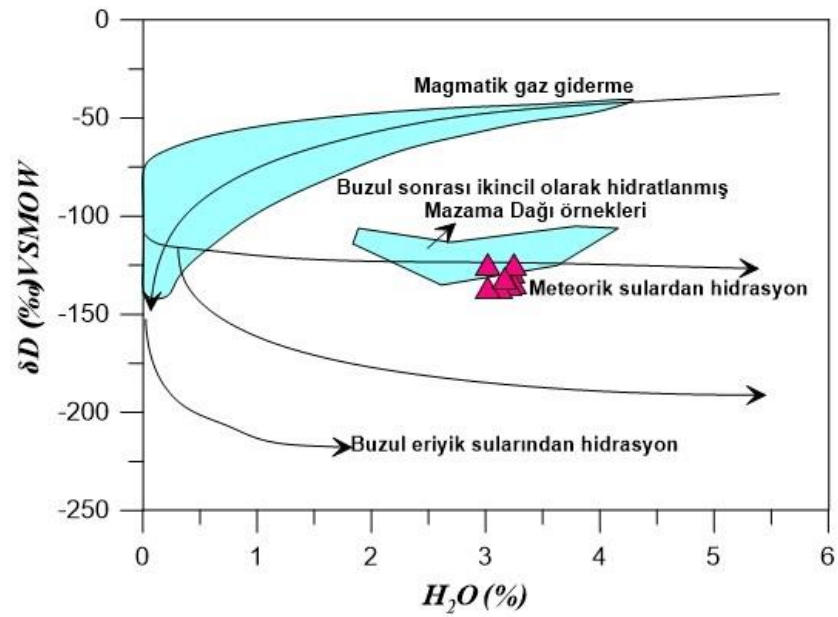
Çizelge 6.1 Analizleri yapılan perlit örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$, δD ve H₂O değerleri

	$\delta^{18}\text{O}$	δD (‰)	H ₂ O (wt.%)
22-CYE-13	16.8	-126.23	3.02
22-CYE-11	16.91	-130.21	3.23
22-CYE-17	17.23	-135.83	3.24
22-CYE-18	17.3	-136.50	3.20
22-CYE-29	17.15	-137.73	3.13

Artan su içerikleriyle birlikte perlitlerin δD değerleri pozitif yönde artış göstermektedir (Şekil 6.1). Çubuk perlitlerinin genel su içeriğine ilişkin hidrojen izotop değerlerinin analizi, bu minerallerin meteorik suların etkisiyle hidratlaşması sonucu oluştuğunu göstermektedir (Şekil 6.2). Buzul sonrası dönemde ikincil olarak hidratlaşmış Mazama Dağı örnekleri ile Çubuk perlitleri yakın alanda konumlanmaktadır (Şekil 6.2).

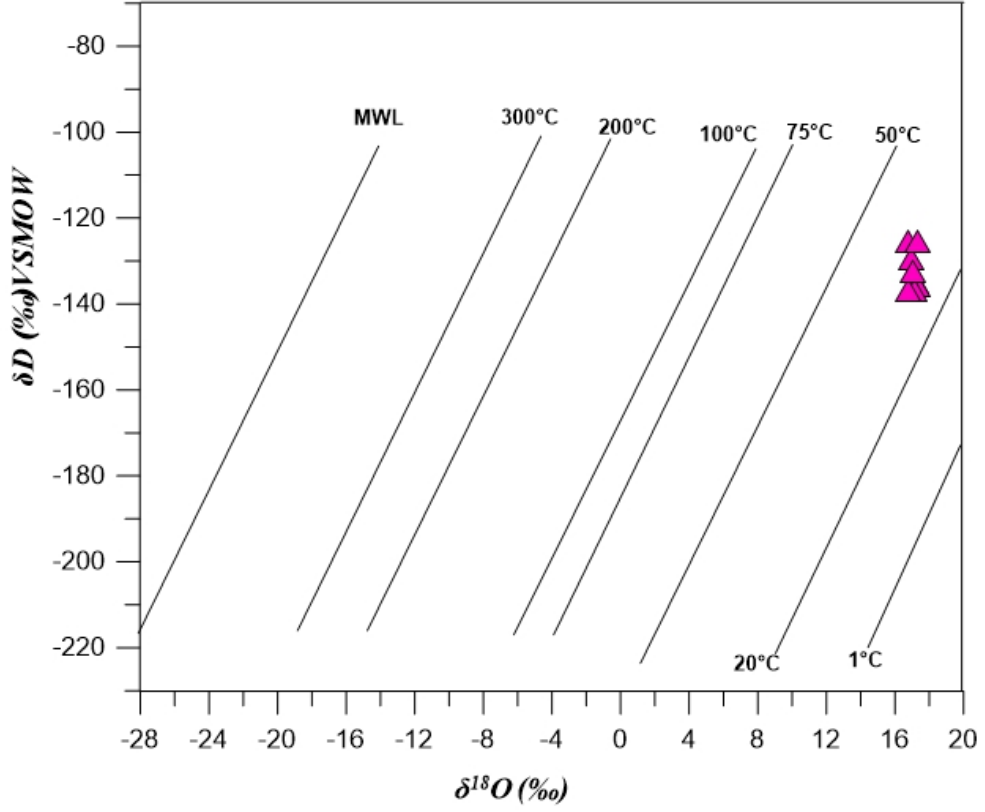


Şekil 6.1 Çubuk perlitlerine ait H₂O-δD diyagramı



Şekil 6.2 Çubuk perlitlerine ait toplam su içeriği ve δD VSMOW karşılaştırılması (Buzul sonrası ikincil hidratasyona uğramış Mazama Dağı örnekleri Seligman vd. (2016)'dan, magmatik gaz giderme eğilimleri Newman vd. (1988)'den ve buzul eriyik sularına ait hidrasyon değerleri Bindeman ve Lowenstern (2016)'den alınmıştır)

$\delta^{18}\text{O}$ 'ya karşı δD değerleri Çubuk perlitlerinin 50 ila 20°C arasındaki son dengeyi kaybettiğini göstermektedir, bu da montmorillonit oluşumundan altere camın sorumlu olduğunu göstermektedir (Şekil 6.3). Bu sıcaklıklar Çubuk perlitlerinin düşük sıcaklıklarda oluştuklarını gösterebilir (Şekil 6.3).

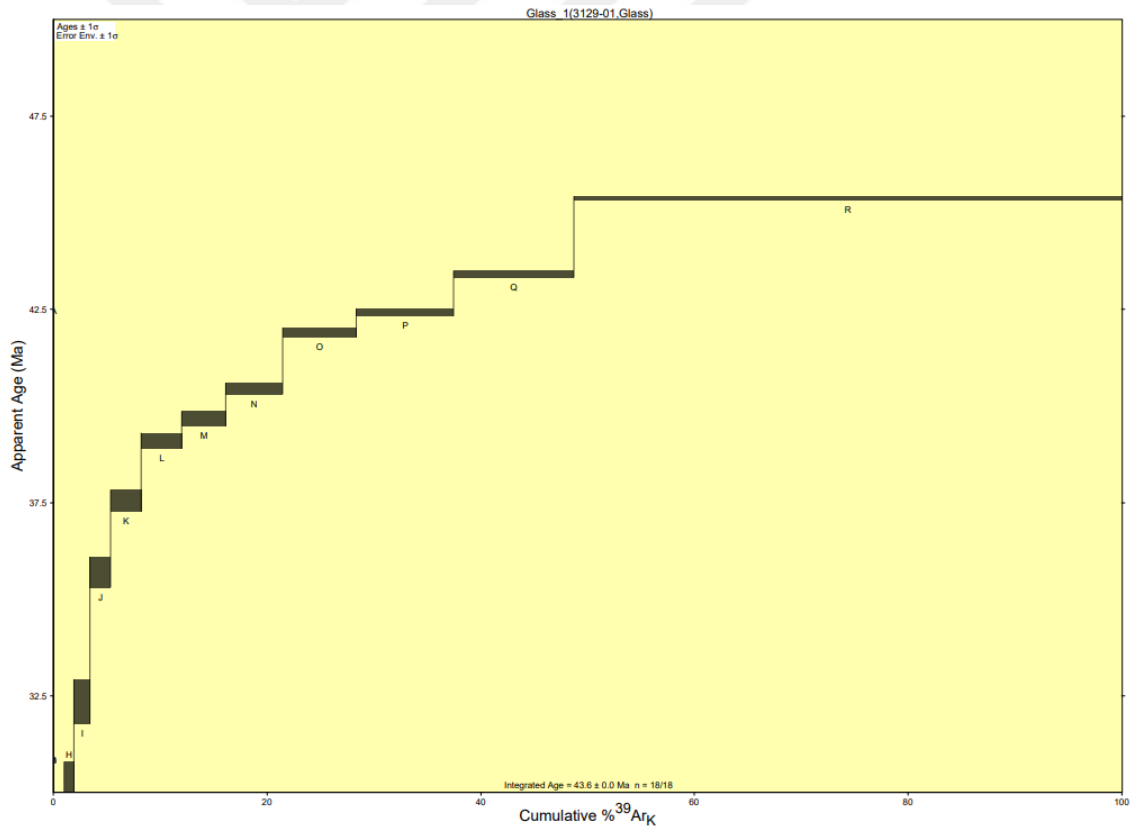


Şekil 6.3 Çubuk perlitlerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD diyagramı (Farklı sıcaklıklar, yerel Yellowstone meteorik su hattı (MWL) hesaplanan izotop fraksiyonlarını ifade etmektedir)

7. YAŞLANDIRMA

K/Ar tekniğinin geliştirilmesiyle bulunmuş olan $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yaşlandırma yöntemi yeryuvarının geçmişi ve jeolojik süreçleri anlamada sıklıkla kullanılan bir tekniktir (McDougall ve Harrison, 1999). Bu çalışma kapsamında perlitlerin oluşum yaşını belirleyebilmek adına Kanada Manitoba İzotop Araştırma Tesisi (MIRF) Argon-Argon laboratuvarında 22-CYE-13 numaralı örnekten $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yaşlandırması yapılmıştır. Yaşlandırmaya ait detaylı bilgilere EK 4'te yer verilmiştir.

Bu tekniğe göre Çubuk civarı perlitlerinin 43.6 ± 0.0 My yaşa sahip olduğu ve dolayısıyla Lütesiyen (Orta Eosen) yaşlı olduğu görülmektedir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 Çubuk civarı perlitlerinin $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yaşlandırmasına ait plato diyagramı

8. TARTIŞMA

Çubuk civarı volkanik kayaları ile bölgedeki perlitlerin ilişkisini ortaya koymak amacı ile Yukarı Emirler köyü civarında yapılmış önceki çalışmalar tespit edilmeye çalışılmıştır. Buna göre literatür taranarak jeokimyasal veriler kıyaslanmış ve çalışma alanındaki volkanik kayalar ile perlitlerin ilişkisi ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

8.1 Volkanik Kayaların Karşılaştırılması

Ankara-Çubuk Yukarı Emirler köyü volkanik kayalarının karşılaştırmasını yapmak amacıyla o bölgede yapılmış önceki çalışmalardan faydalanılmıştır. Karşılaştırmalar Galatya Volkanik Provensi ve civarından derlenen örneklerin jeokimyasal verileri kullanılarak yapılmıştır.

Basit günlenme indeksi olan R bakımından optimum günlenmiş değere (0) yakın olması nedeniyle GVP volkanik kayaları, tez çalışması boyunca alınan volkanik kaya örneklerinden daha günlenmiştir (Fiantis vd. 2010)(Şekil 8.1h).

Na, K, Ca, Mg miktarları esas alınarak hesaplanan WIP'e göre GVP volkanik kayaları optimum taze değerden oldukça yüksektir ve tüm ana alkali elementler bakımından tazedir (Fiantis vd. 2010) (Şekil 8.1e).

Günlenme sonucunda ortaya çıkan ürünü anlamaya yarayan PWI için optimum taze değer 50'dir ve buna göre tüm alınmış örnekler tazedir (Fiantis vd. 2010) (Şekil 8.1d).

Özellikle sedimanter kayalardaki kil minerallerinin tespitine yönelik hesaplanan V indeksine göre optimum taze değer 1'dir ve tüm örnekler tazedir (Şekil 8.1f).

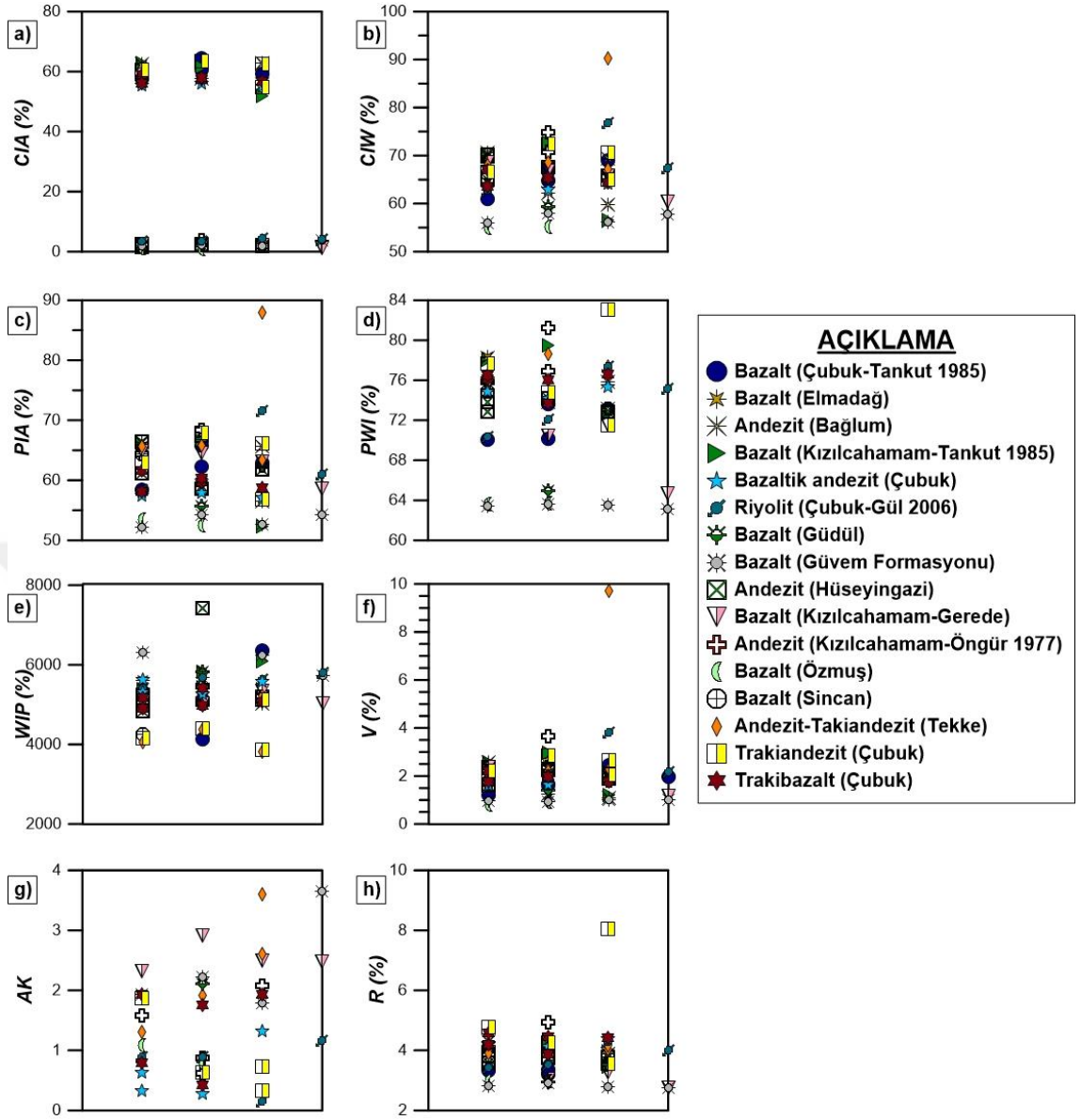
CIA ve CIW bakımından optimum taze değer 50'den küçük olduğundan tüm örneklerin günlenmiş olduğu sonucuna varılmaktadır (Nesbitt ve Young 1982, Fiantis vd. 2010)

(Şekil 8.1a,b).

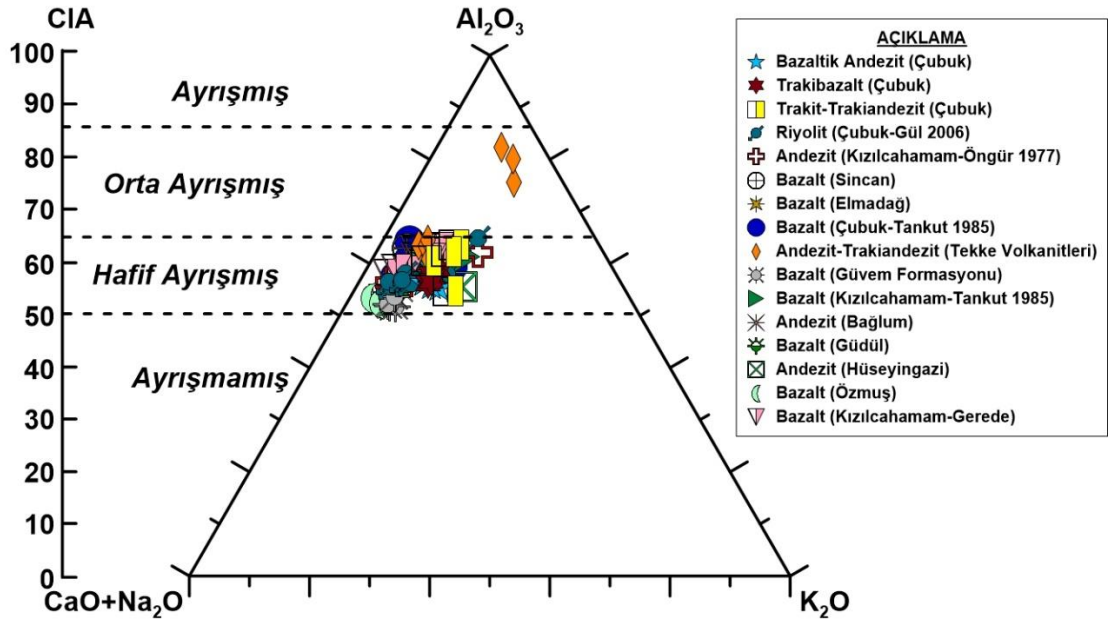
Ateşte Kayıp değerlerini esas alan AK ile uçucu bileşen miktarlarına yaklaşımda bulunulmaya çalışılmıştır (Şekil 8.1g).

CIW'a alternatif olarak hesaplanan ve optimum taze değeri benzer şekilde 50'den küçük olan PIA'ya göre alınan tüm örnekler ayrışmaya uğramıştır (Fiantis vd. 2010) (Şekil 8.1c).

Tüm yapılan alterasyon indeks hesaplamaları sonucunda karşılaştırılan neredeyse tüm volkanik kaya örneklerinin hafif ayrışmış ve kısmen altere olduğu, yalnızca bazı Tekke volkanitlerinin orta ayrışmış kısımda kümелendiği sonucuna varılmaktadır (Şekil 8.2).

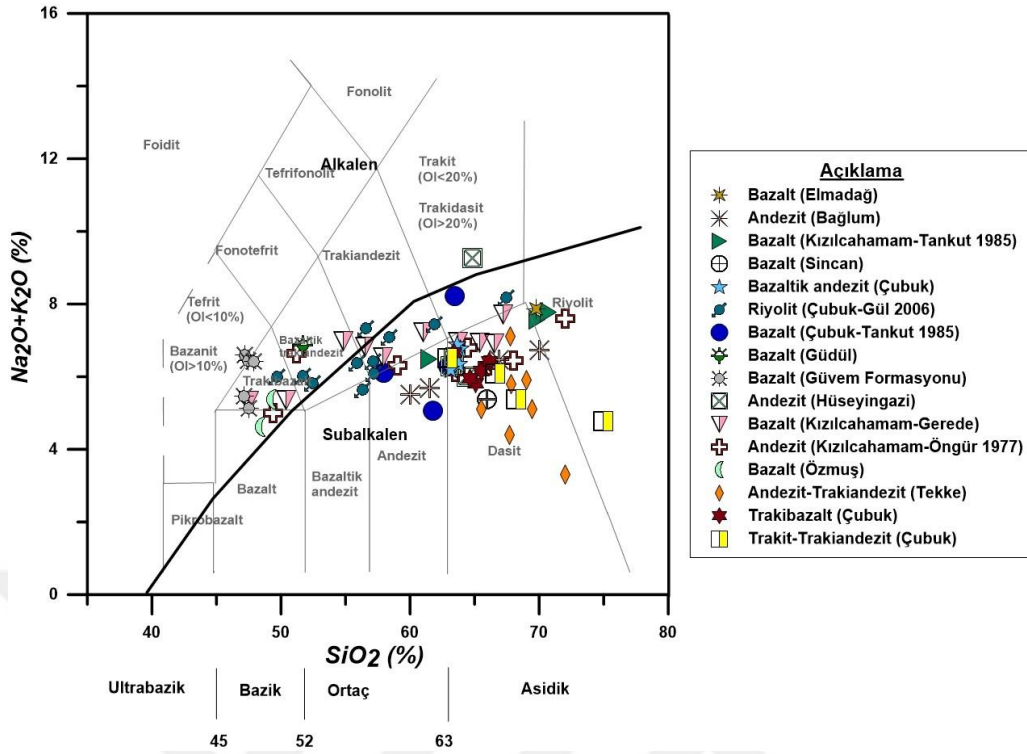


Şekil 8.1 Çalışma alanındaki volkanik kayalar ile o bölgede yapılmış incelemeler sonucu alınan volkanik kaya örneklerinin alterasyon indekslerinin karşılaştırılması a) CIA, b) CIW, c) PIA, d) PWI, e) WIP, f) V, g) AK ve h) R (Literatüre ait veriler Öngür 1977, Tankut 1985, Besbelli ve Varol 2002, Gül 2006, Dağ 2021'den alınmıştır)



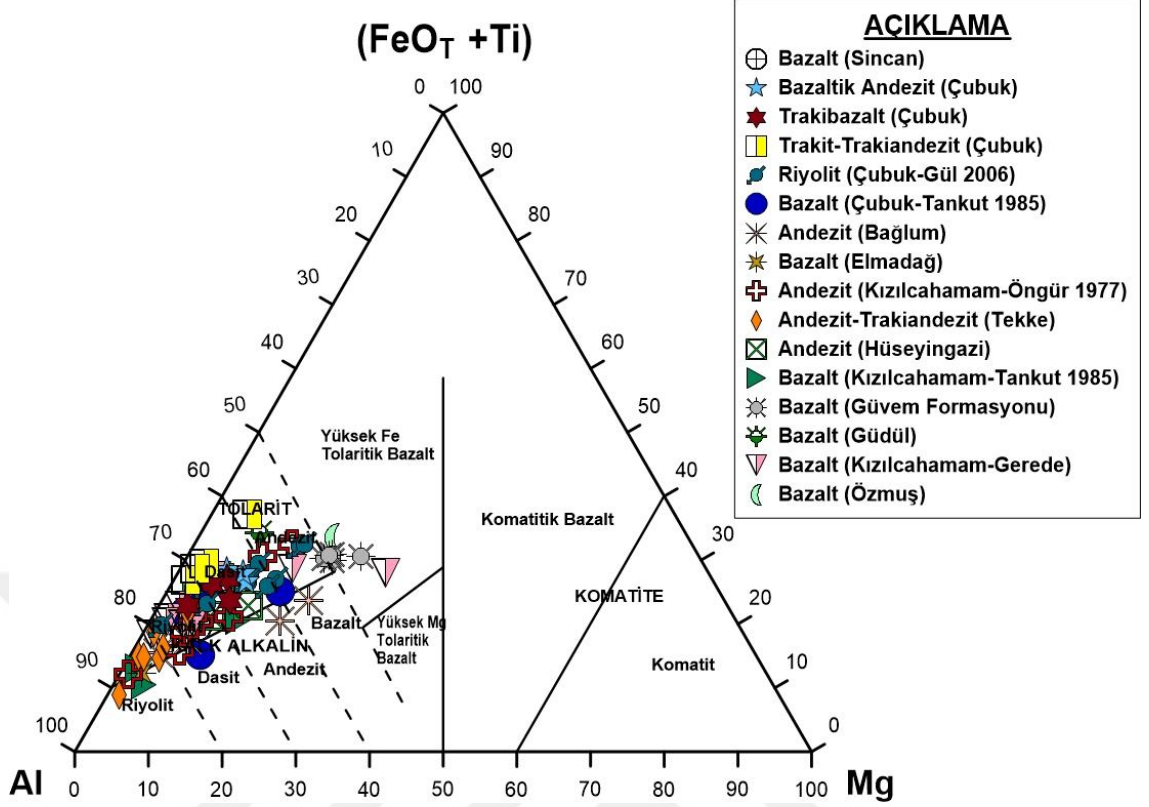
Şekil 8.2 ACNK diyagramında çalışma bölgesinden alınan volkanik kayalar ile literatürden alınan verilerin konumları ve CIA'ya göre sınıflandırılması (Shao vd. 2012'den değiştirilerek alınmıştır) (Literatüre ait veriler Öngür 1977, Tankut 1985, Besbelli ve Varol 2002, Gül 2006, Dağ 2021'den alınmıştır)

Yukarı Emirler köyü civarındaki tez çalışması kapsamında alınan volkanik kaya örnekleri ile GVP civarındaki volkanik kaya örneklerinin genellikle subalkalen kısımda ancak bazı Çubuk-Gül, Kızılcahamam- Öngür1977, Kızılcahamam-Gerede örneklerinin ve Güvem formasyonu ve Özmuş volkanitlerinin Subalkalen kısımda konumlandıkları tespit edilmiştir (Şekil 8.3)



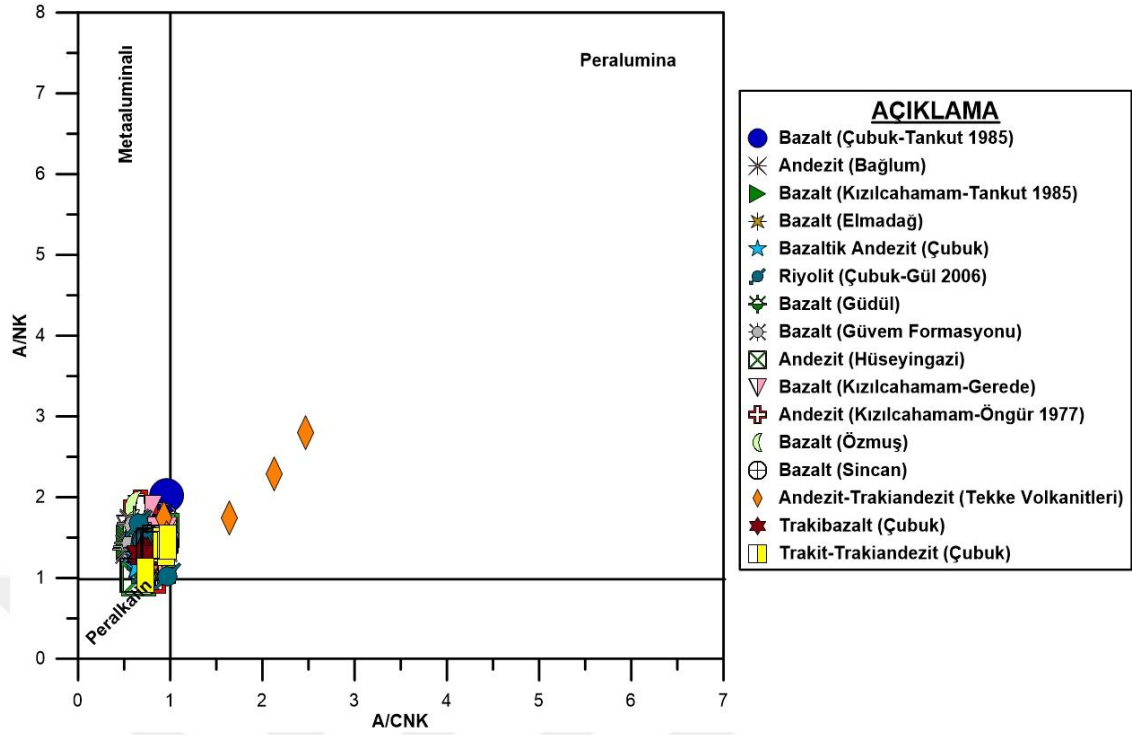
Şekil 8.3 Çalışma alanındaki volkanik kayalar ile GVP'ye ait örneklerin toplam alkali-silika değişim diyagramı (Le Maitre vd. 2001, Alkali-Silika ayrım çizgisi Irvine ve Baragar (1971)'dan alınmıştır) (Literatüre ait veriler Öngür 1977, Tankut 1985, Besbelli ve Varol 2002, Gül 2006, Dağ 2021'den alınmıştır)

Ayrıca volkanik kayaların, volkanik kayaların sınıflama diyagramı'na göre Al içeriği yüksek kısımda benzer alanda konumlandıkları tespit edilmiştir (Şekil 8.4).



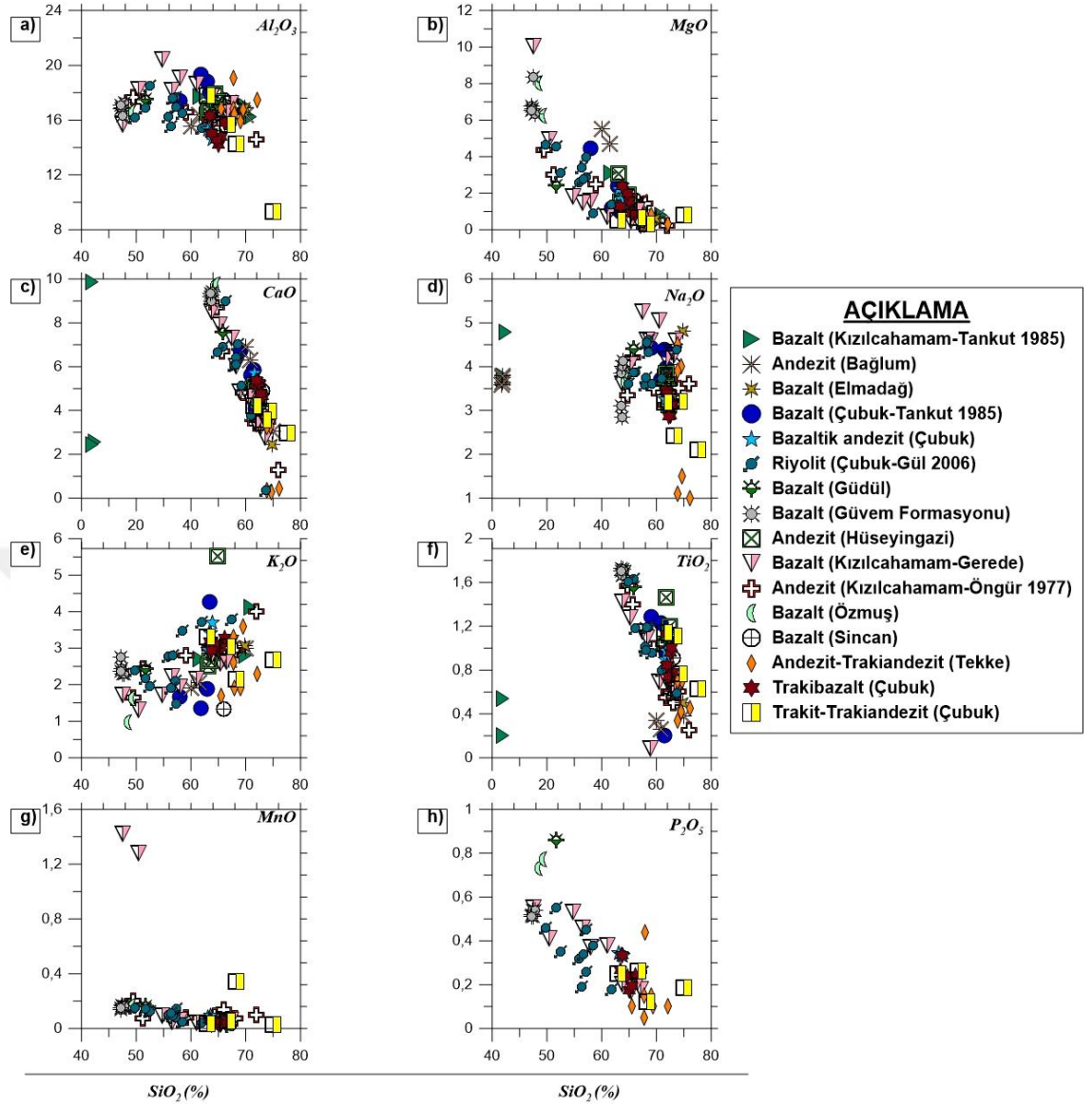
Şekil 8.4 Çubuk ilçesi Yukarı Emirler-Susuz köyü civarındaki tüm volkanik kayaların sınıflama diyagramı (Rickwood, 1989) (Literatüre ait veriler Öngür 1977, Tankut 1985, Besbelli ve Varol 2002, Gül 2006, Dağ 2021'den alınmıştır)

Literatürden alınan verilerle tez sahasındaki volkanik kayalar karşılaştırıldığı A/NK ve A/CNK diyagramlarında Tekke Volkanitleri haricinde benzer özellikler gösterdiği ve peralkalin ve metaalümanlı kısımda yer aldıkları görülmektedir (Şekil 8.5).



Şekil 8.5 Çalışma alanına ait volkanik kayaların literatür sonuçlarıyla karşılaştırılması A/NK-A/CNK diyagramı (Maniar ve Picolli 1989) (Literatüre ait veriler Öngür 1977, Tankut 1985, Besbelli ve Varol 2002, Gül 2006, Dağ 2021'den alınmıştır)

GVP civarındaki volkanik kayalara ait ana element Harker diyagramları Şekil 8.6'da sunulmuştur. Buna göre neredeyse tüm volkanik kayalar benzer özellikler göstermekte ve benzer alanlarda kümelenmektedir. Bunun yanı sıra, elde edilen tüm volkanik kaya örneklerine ait jeokimyasal veriler sonucunda Al_2O_3 , K_2O ve MnO haricinde tüm örnekler SiO_2 'ye karşı negatif ilişki içerisindedir (Şekil 8.6 b,c,d,f,h). K_2O ile SiO_2 arasında açık bir şekilde pozitif korelasyonu bulunan volkanik kayalar, Al_2O_3 bakımından oldukça zenginleşirken MnO bakımında fakir durumdadır (Şekil 8.6 a,e,g).

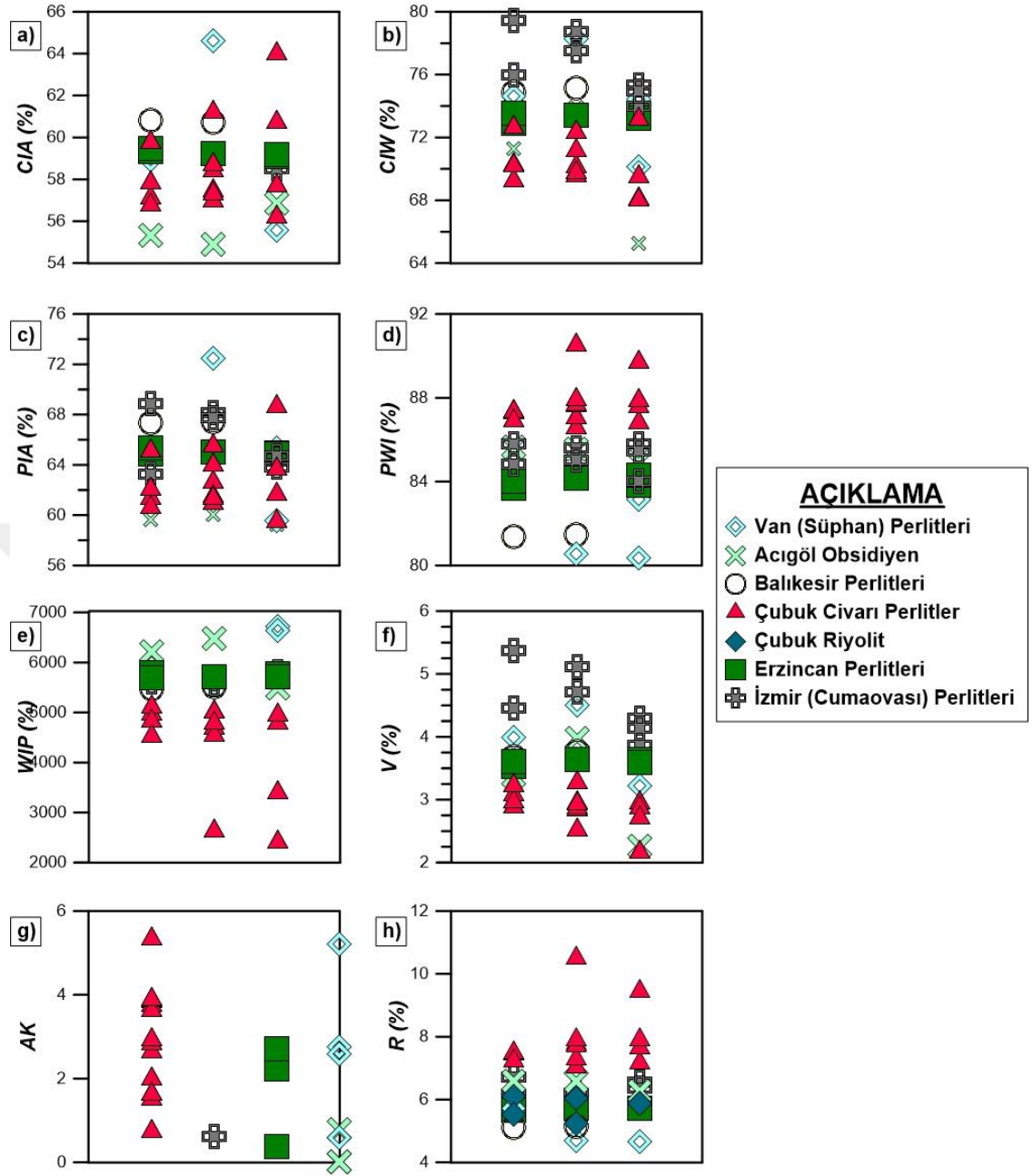


Şekil 8.6 Trakit-trakiandezit, trakibazalt, bazaltik andezit ve GVP'ye ait volkanik kayalarının SiO_2 'ye karşı ana oksit Harker Diyagramları (a) Al_2O_3 , (b) MgO , (c) CaO , (d) Na_2O , (e) K_2O , (f) TiO_2 , (g) MnO , (h) P_2O_5 , (i) Fe_2O_3 (Harker 1909) (Literatüre ait veriler Öngür 1977, Tankut 1985, Besbelli ve Varol 2002, Gül 2006, Dağ 2021'den alınmıştır)

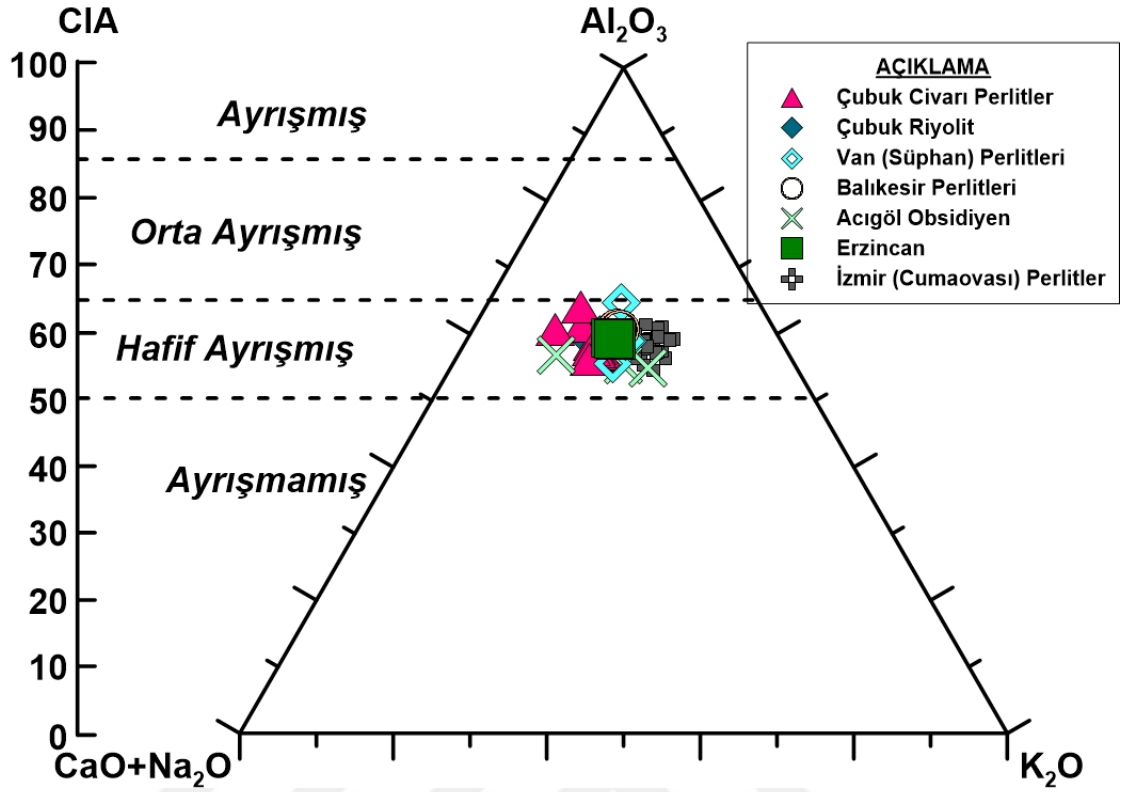
8.2 Perlitlerin Karşılaştırılması

Çalışma alanındaki perlitik kayalar ile Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan çalışmalar ve Gül (2006) tarafından riyyolit olarak adlandırılan kayalar karşılaştırılmıştır.

Çubuk civarındaki perlitler ile Türkiye'deki diğer perlit örneklerinin alterasyon indeks hesaplamalarının diyagramları Şekil 8.7'de sunulmuştur. Optimum günlenmiş değerin 0 ve taze değerin 10 kabul edildiği R indeksine göre ve ateşte kayıp değerlerine göre kaya türü kısmen günlenmiş kabul edilebilir (Fiantis vd. 2010) (Şekil 8.7g,h). Optimum taze değerin 100'den büyük olduğu WIP'e göre tüm örnekler bu değerler oldukça yüksektir ve ana alkali elementlerin (Na, K, Mg, Ca) hareketliliği söz konusu olmamaktadır (Fiantis vd. 2010) (Şekil 8.7e). Optimum günlenmiş değerin 1 ile sonsuz arasında olduğu V'ye göre tüm volkan camları kısmen günlenmiştir (Şekil 8.7f). Bunun yanı sıra, optimum taze değerin 50'den küçük olması beklenen CIA, CIW ve PIA'ya göre tüm örnekler 50'den büyük; tazelik değeri 50'den büyük olması gereken PWI'ya göre tüm örnekler 50'den küçüktür. Çubuk civarı perlitlerinin diğer kıyaslanılan örneklerle oranla daha az ayrıışmış olduğu sonucuna varılmaktadır (Nesbitt ve Young 1982, Fiantis vd. 2010) (Şekil 8.7a,b,c,d). Ayrıca ACNK diyagramında tüm volkan camlarının kısmen ayrıışmış olduğu gözlenmiştir (Şekil 8.8).

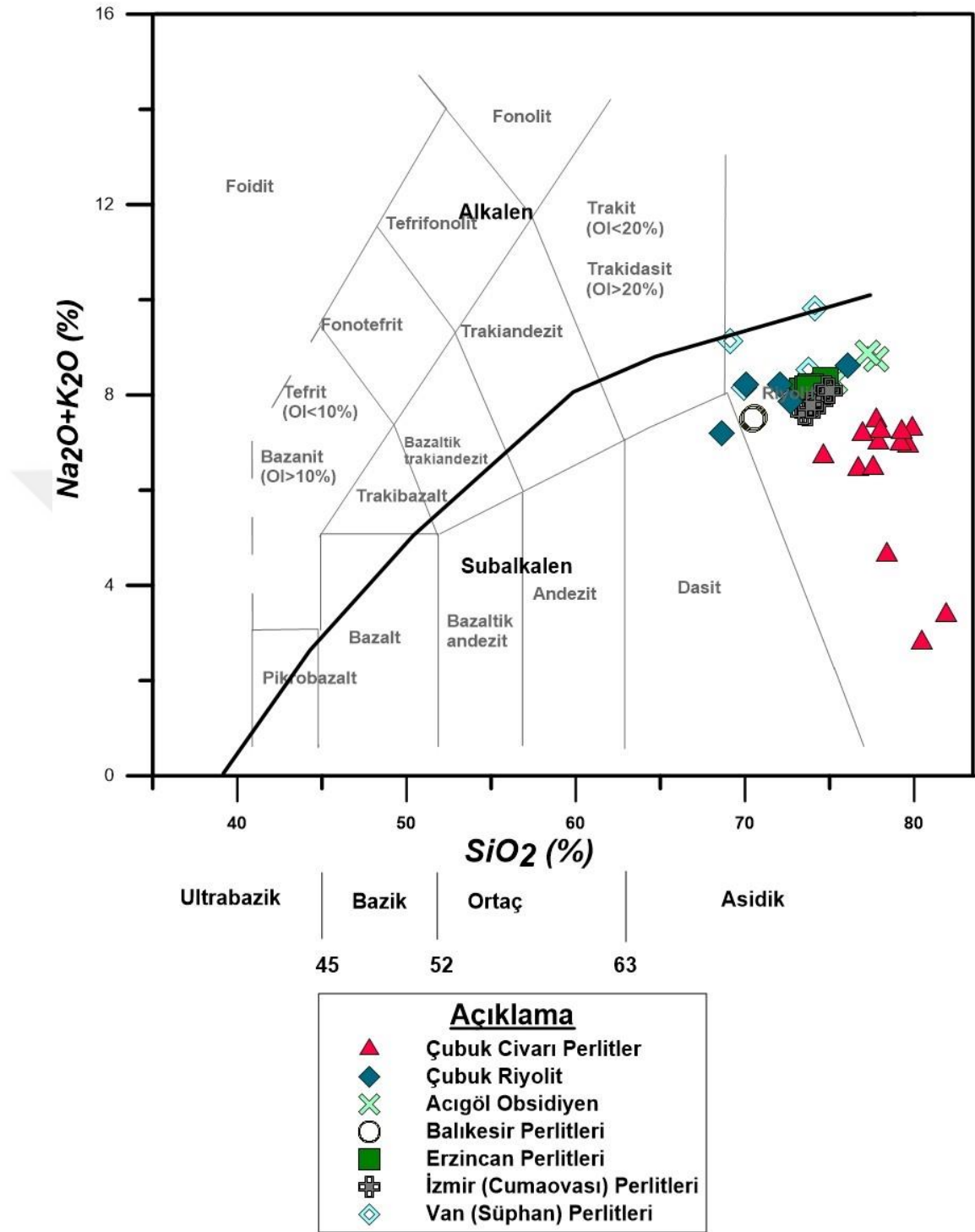


Şekil 8.7 Çalışma alanındaki perlitler ile Türkiye'nin farklı noktalarından alınan volkan camlarının alterasyon indekslerinin karşılaştırılması a) CIA, b) CIW, c) PIA, d) PWI, e) WIP, f) V, g) AK ve h) R (Çubuk riyolitleri verisi Gül (2006), Nevşehir (Acıgöl) obsidiyeni verisi Güllü ve Deniz (2022), Balıkesir perlit verileri Kaya (2019), Erzincan perlit verileri Kopar ve Polat (2020), İzmir (Cumaovası) perlit verileri Özgenç'ten (1978) ve Van perlit verileri Kılıçer'den (2017) alınmıştır).



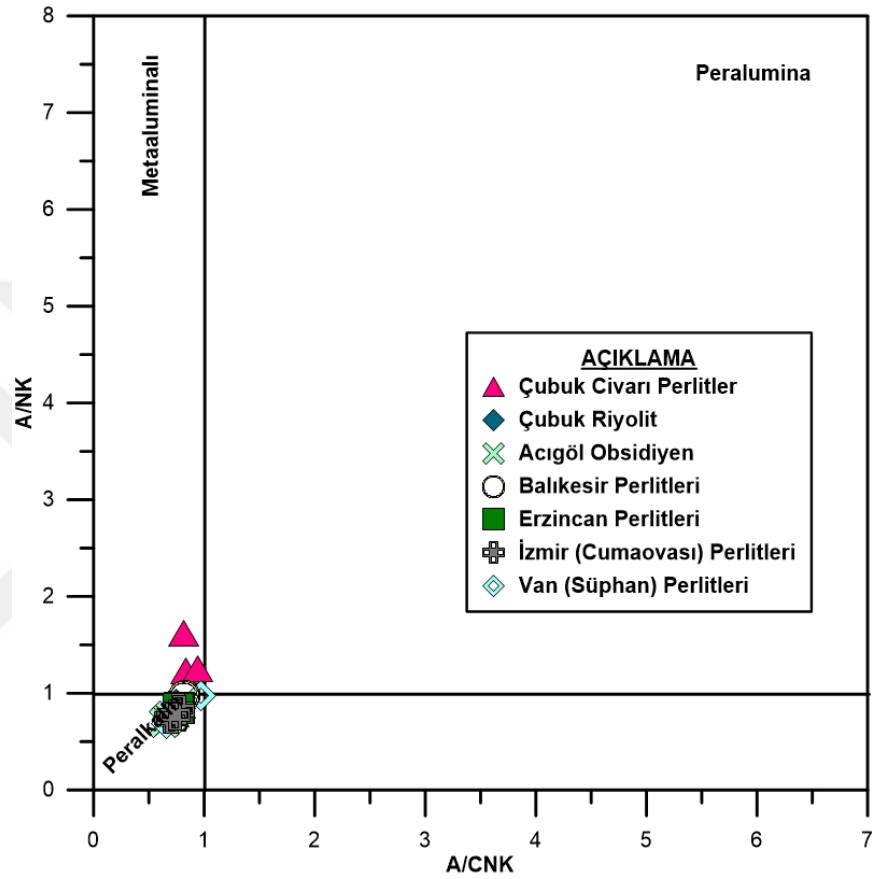
Şekil 8.8 ACNK diyagramında çalışma bölgesinden alınan perlitik kayalar ile literatürden alınan verilerin konumları ve CIA'ya göre sınıflandırılması (Shao vd. 2012'den değiştirilerek alınmıştır) (Çubuk riyolitleri verisi Gül (2006), Nevşehir (Acıgöl) obsidiyeni verisi Güllü ve Deniz (2022), Balıkesir perlit verileri Kaya (2019), Erzincan perlit verileri Kopar ve Polat (2020), İzmir (Cumaovası) perlit verileri Özgenç'ten (1978) ve Van perlit verileri Kılıçer'den (2017) alınmıştır).

TAS diyagramı üzerinde tez çalışması kapsamında alınan perlit örnekleri ile Türkiye'de yapılan diğer incelemeler sonucu aldığı riyolit örneklerinin konumlanmış hali Şekil 8.9'da sunulmuştur. Buna göre perlit örneklerinin TAS diyagramına göre riyolitli alanda toplandıkları ve magma karakterinin ise subalkalen olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8.9).



Şekil 8.9 Çalışma alanındaki perlitler ile diğer volkan camlarının toplam alkali-silika değişim diyagramı (Le Maitre vd. (2001), Alkalen-Subalkalen ayırım çizgisi Irvine ve Baragar (1971)'dan alınmıştır) (Çubuk riyolitleri verisi Gül (2006), Nevşehir (Acıgöl) obsidiyeni verisi Güllü ve Deniz (2022), Balıkesir perlit verileri Kaya (2019), Erzincan perlit verileri Kopar ve Polat (2020), İzmir (Cumaovası) perlit verileri Özgenç'ten (1978) ve Van perlit verileri Kılıçer'den (2017) alınmıştır)

Yukarı Emirler köyü civarındaki perlitler ile farklı çalışmalardan alınan volkan camlarının jeokimyasal verileri sonucunda, alüminyuma doygunluk diyagramındaki konumları incelediğinde, tüm örneklerin benzerlik gösterdiğini ve peralkalin-metaalümanalı alanda yer edindikleri görülmektedir (Şekil 8.10).

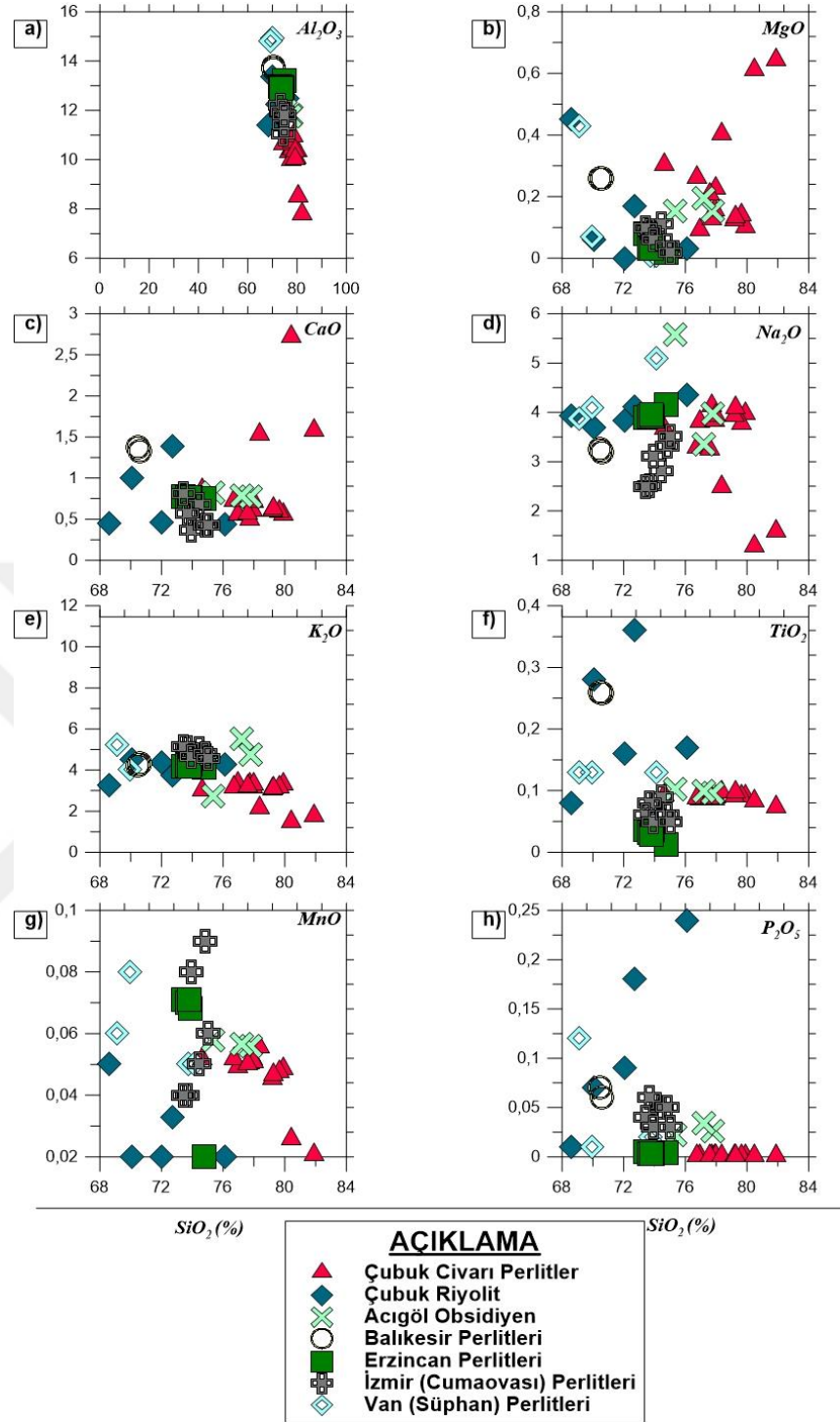


Şekil 8.10 Çalışma alanındaki perlitler ile literatür sonuçlarının A/NK-A/CNK diyagramında karşılaştırılması (Maniar ve Picolli 1989) (Çubuk riyolitleri verisi Gül (2006), Nevşehir (Acıgöl) obsidiyeni verisi Güllü ve Deniz (2022), Balıkesir perlit verileri Kaya (2019), Erzincan perlit verileri Kopar ve Polat (2020), İzmir (Cumaovası) perlit verileri Özgenç'ten (1978) ve Van perlit verileri Kılıçer'den (2017) alınmıştır).

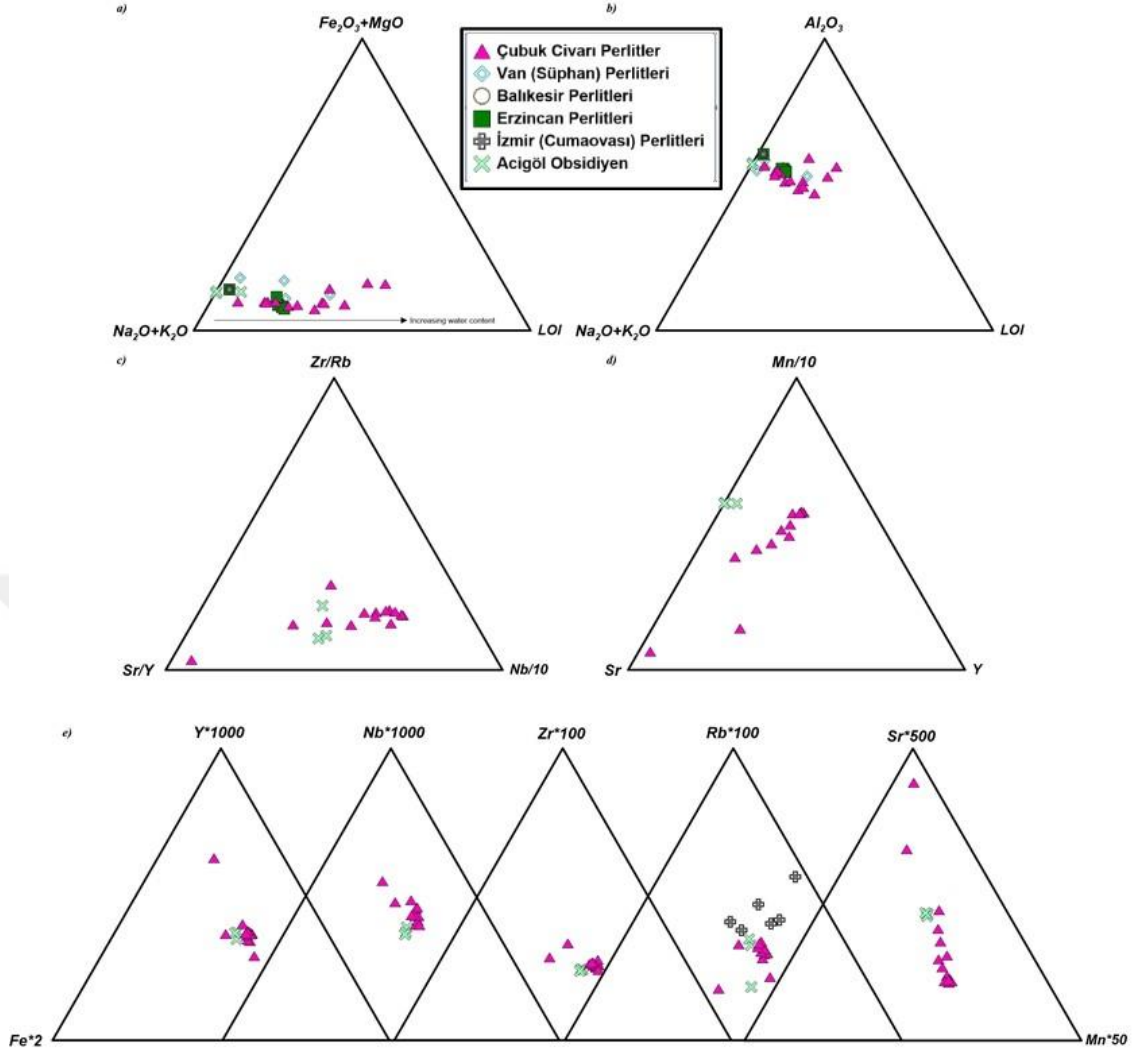
Daha önceki çalışmalar esas alınarak hazırlanan ana oksit Harker diyagramı Şekil 8.11'de belirtilmiştir. Diyagram incelendiğinde Çubuk civarındaki perlitler ile Türkiye'deki diğer volkan camı türlerinin yaklaşık olarak benzer özellikler gösterdikleri ve dağınık şekilde konumlandıkları göze çarpmaktadır. Al_2O_3 ve Na_2O bakımından negatif ilişki görülürken MnO bakımından Çubuk civarındaki perlitlerin negatif ilişkisi diğer örneklerin ise pozitif

ilişkisi bulunmaktadır (Şekil 8.11a,d,g). P_2O_5 ve TiO_2 'nin SiO_2 'ye karşı olan diyagramında örnekler zenginleşme göstermektedir, buna karşın Çubuk riyalitleri pozitif yönde artmaktadır (Şekil 8.11.f,h). MgO ve CaO açısından tüm örnekler zenginleşmiştir ancak Çubuk perlitlerindeki zenginleşme daha fazladır (Şekil 8.11b,c). K_2O 'daki artışlar benzer şekildedir (Şekil 8.11e).

Karşılaştırma amacıyla oluşturulmuş üçgen diyagramlarda kullanılan majör ve iz elementler ve AK değerlerine göre bu elementlerce Çubuk perlitlerinin diğer örneklerle göre daha yüksek içeriğe sahip olduğu sonucu çıkarılabilir (Şekil 8.12a,b,c,e). Öte yandan Y-Mn/10-Sr diyagramına göre Nevşehir Acıgöl obsidiyenlerinin, $Mn*50-Rb*100-Fe*2$ diyagramına göre ise İzmir Cumaovası perlitlerinin daha fazla zenginleşme gösterdiği göze çarpmaktadır (Şekil 8.12e).



Şekil 8.11 Çubuk perlitleri ile Balıkesir, Erzincan, İzmir (Cumaovası), Van (Süphan) perlitleri, Çubuk riyolitleri ve Nevşehir (Acıgöl) obsidiyeninin SiO_2 'ye karşı ana element örümcek diyagramları (a) Al_2O_3 , (b) MgO , (c) CaO , (d) Na_2O , (e) K_2O , (f) TiO_2 , (g) MnO , (h) P_2O_5 , (ı) Fe_2O_3 (Harker 1909) (Çubuk riyolitleri verisi Gül (2006), Nevşehir (Acıgöl) obsidiyeni verisi Güllü ve Deniz (2022), Balıkesir perlit verileri Kaya (2019), Erzincan perlit verileri Kopar ve Polat (2020), İzmir (Cumaovası) perlit verileri Özgenç'ten (1978) ve Van perlit verileri Kılıçer (2017)'den alınmıştır)

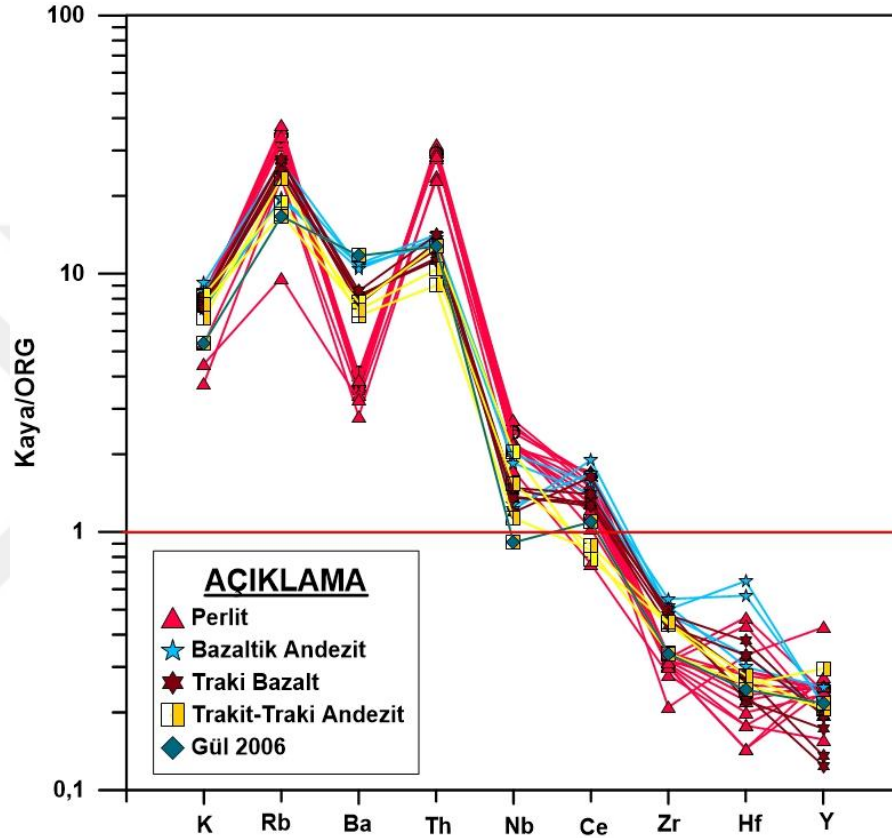


Şekil 8.12 Çubuk perlitleri, Nevşehir (Acıgöl) obsidyeni ve Balıkesir, Erzincan, İzmir (Cumaovası) ve Van perlitlerinin üçgen diyagramları (a) $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ - $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ - LOI üçgen diyagramı, b) Al_2O_3 - $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ - LOI diyagramı, c) Vindal-Solano vd. 2020 Zr/Rb - Sr/Y - $\text{Nb}/10$ diyagramı, d) $\text{Mn}/10$ - Sr - Vindal-Solano ve diğerlerinin Y üçgen diyagramı. 2020, e) Vindal-Solano vd. 2020'nin Fe^*2 - Y^*1000 , Nb^*1000 , Zr^*100 , Rb^*100 , Sr^*500 - Mn^*50 üçgen diyagramları (Nevşehir (Acıgöl) obsidyen verileri Güllü ve Deniz (2022), Balıkesir perlit verileri Kaya (2019), Erzincan perlit verileri Kopar ve Polat (2020), İzmir (Cumaovası) perlit verileri Özgenç'ten (1978) ve Van perlit verileri Kılıçer'den (2017) alınmıştır).

8.3 Kökenlerin Karşılaştırılması

Tez sahası ile literatüre ait veriler tespit edilerek hazırlanan örümcek diyagramlarında bölgedeki volkanik kayaların kökenleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Yukarı Emirler

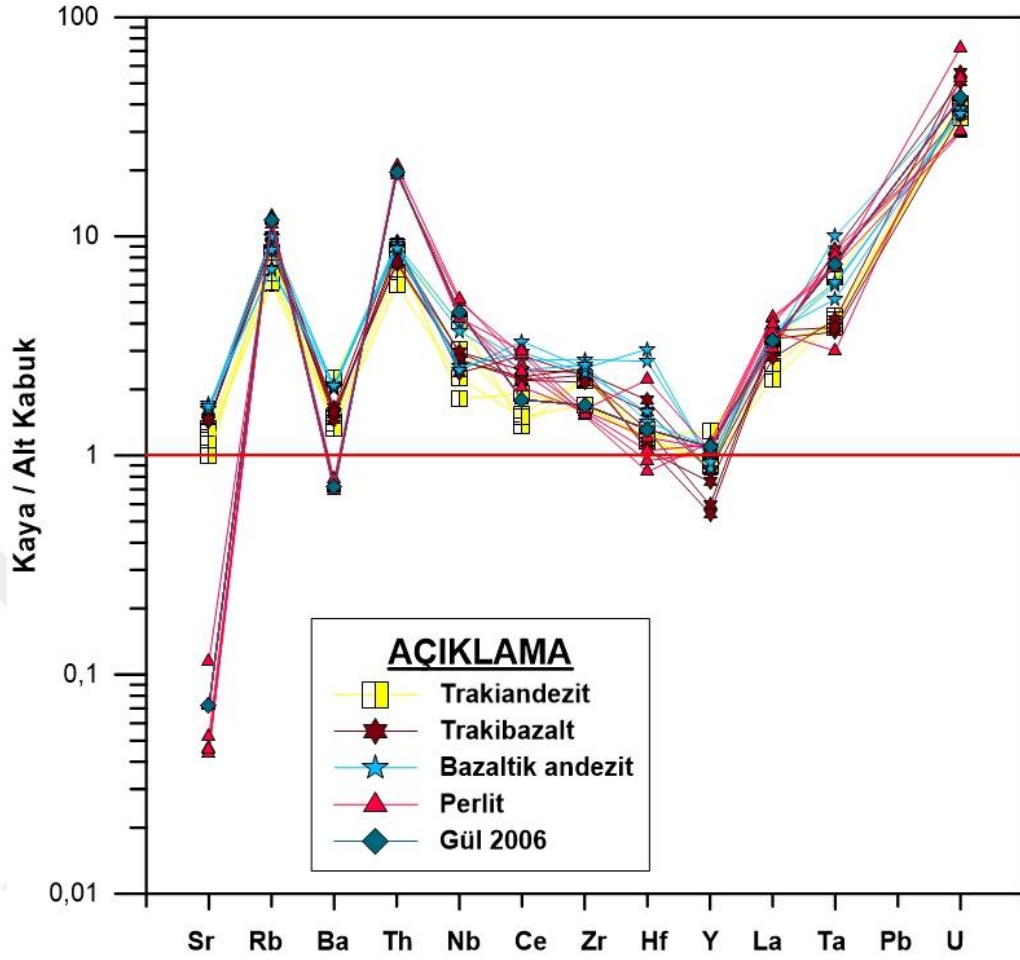
civarında yapılan çalışmalar göz önünde tutulduğunda, iz element jeokimyasal verileri olan tek örnek BC-17 ile Gül (2006)'ya aittir. ORG'ye göre normalize edilen iz element örümcek diyagramında riolit olarak adlandırılan örnek perlitlerle benzer özellikler göstermekte ve tıpkı diğer volkanik kayalarda olduğu gibi LIL elementlerce zenginleşmekte, HFS elementlerce fakirleşmektedir (Şekil 8.13).



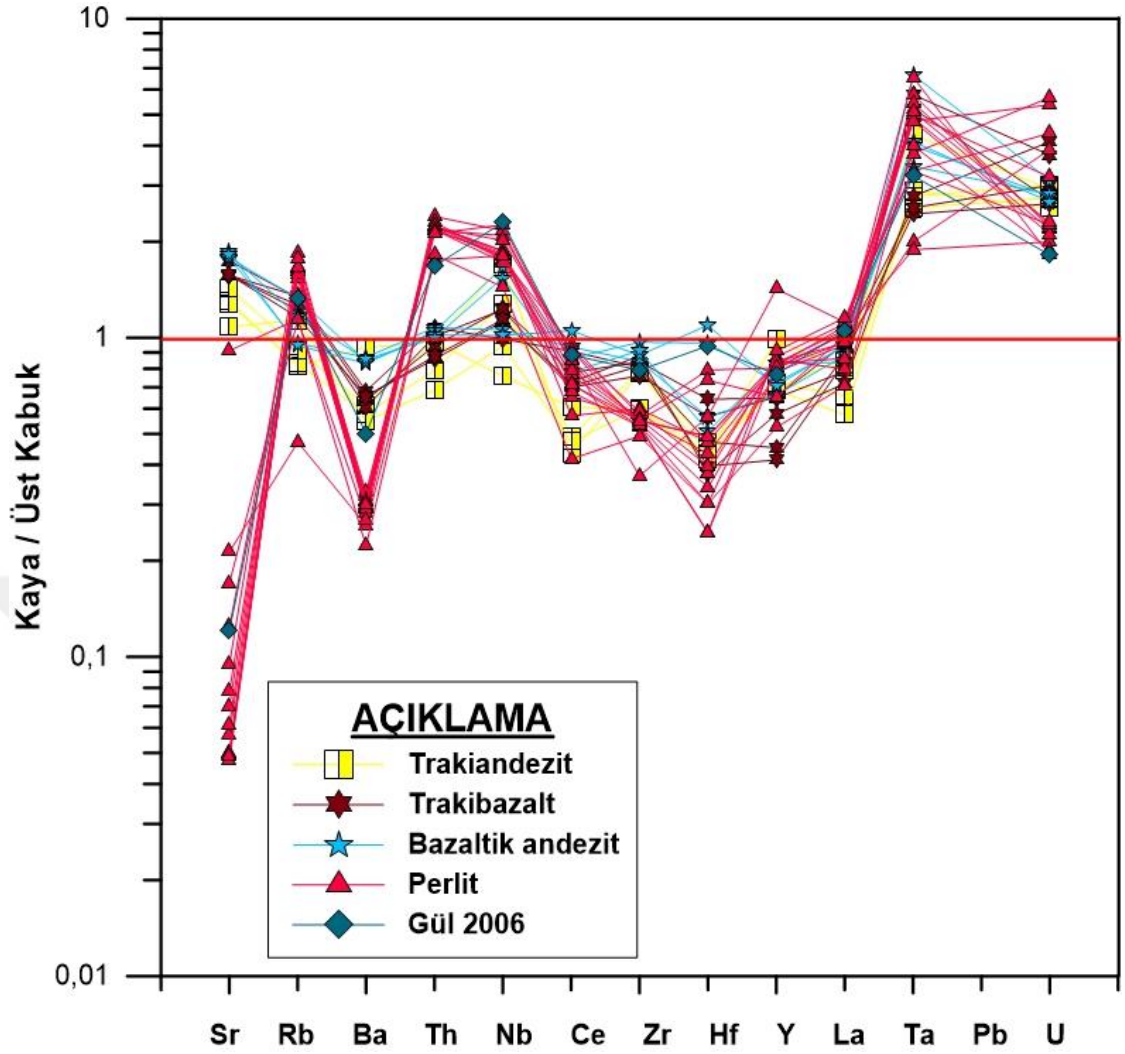
Şekil 8.13 Çubuk civarı volkanik kayaların ORG'ye göre normalize edilmiş iz elementlerinin örümcek diyagramlarındaki dağılımı (ORG değerleri Pearce vd. 1984'den, literatür verisi Gül 2006'dan alınmıştır)

Tez sahası volkanik kayalarının ve riolit örneğinin alt ve üst kabuğa göre normalize edilmiş çoklu element örümcek diyagramları Şekil 8.13 ve Şekil 8.14'te sunulmuştur. Buna göre riolit örneğinin perlit örnekleriyle eş özellikler gösterdiği ve Sr ile Ba bakımından fakirken Ta, Pb ve özellikle U içeriği bakımından zenginleştiği görülmektedir (Şekil 8.14). Üst kabuğa göre normalize edilen elementlerde bir çizgisine yakın zenginleşme gösteren kayaların riolit de dahil Üst kabuk kökenli oldukları ancak

Alt kabuğun da izlerini taşıdıkları söylenebilmektedir (Şekil 8.15).



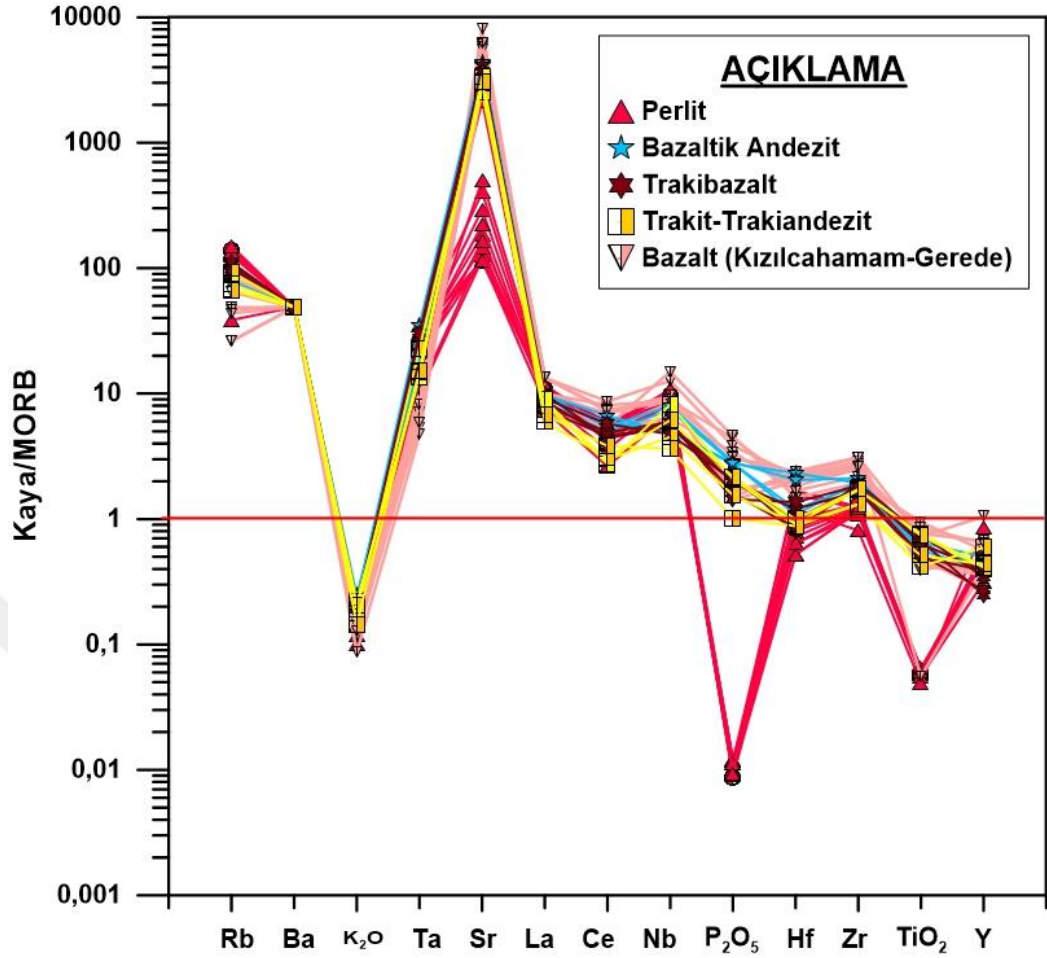
Şekil 8.14 Çubuk civarı volkanik kayaların ve riolit örneğinin alt kabuğa göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramı (Rudnick and Gao, 2013) (Literatür verileri Gül 2006'dan alınmıştır)



Şekil 8.15 Çubuk civarı volkanik kayaların ve riyolit örneğinin üst kabuğa göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramı (Rudnick and Gao, 2013) (Literatür verileri Gül 2006'dan alınmıştır)

Yapılan karşılaştırmalar ve oluşturulan diyagramlar ışığında Gül 2006'ya ait örneklerin, tez sahasındaki volkanik kayalar ile benzer özellikler gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışma alanındaki volkanik kayalar ile Kızılcahamam-Gerede civarındaki bazaltların MORB'a göre normalize edilmiş örümcek diyagramı Şekil 8.16'da sunulmuştur. Buna göre Kızılcahamam bazaltlarının çalışma alanındaki volkanik kayalar ile benzer korelasyon gösterdiği dikkat çekmektedir (Şekil 8.16).



Şekil 8.16 Çubuk civarı volkanik kayaların MORB'a göre normalize edilmiş örümcek diyagramı (Pearce, 1983) (Literatüre ait veriler Dağ 2021'den alınmıştır)

8.4 İzotop Jeokimyasının Karşılaştırılması

Çubuk civarındaki volkanik ve perlit kökenli kayalarda yapılmış herhangi bir izotop jeokimyasına rastlanılmasa da GVP içerisinde yer alan Kızılcahamam Güvem köyü civarında Sr-Nd izotop çalışmaları gerçekleştirilmiş ve buna göre ana magmanın çarpışmadan sonraki süreçte tektonizmanın da etkisiyle önce dalma batmayla değiştirilmiş bir manto kaynağından türediği ve Alt kabuğun da izlerini taşıyan Üst Kabuk kökenli olduğu sonucuna varılmıştır (Wilson vd. 1997).

Ayrıca Goetze, J. (2001), bölgede yaptığı çalışmalarda agatların oluşumu ve onu oluşturan akışkanların kaynağına ışık tutmak amacıyla, farklı yaşlardaki asidik, orta ve

bazik volkanitlerden alınan agat örneklerinin iz element ve duraylı izotop analizlerini araştırmıştır. Buna göre, agatların ve ilgili kuvars kabuklarının döteryum ve oksijen izotop analizleri, çeşitli bölgelerden alınan numunelerin yanı sıra agat numuneleri içinde ve arasında izotopik bileşimde farklılıklar olduğunu göstermiştir. Araştırmacı tarafından çeşitli sıvı bileşimler için agat üretim sıcaklığı hesaplamalarına dayanarak 50 °C ila 250 °C arasında değişen bir sıcaklıkta oluştuğu saptanmıştır.

Yapılan karşılaştırmalarda Galatya bölgesindeki volkanik kayalar ile Çubuk volkaniklerinin Kabuk kökenli olabileceği görülmektedir.

8.5 Yaşlandırma Verilerinin Karşılaştırılması

Dönmez ve Akçay (2010) Çubuk civarındaki volkanik kayalar üzerinde yaptıkları geniş kapsamlı çalışmalarda Potasyum/Argon (K/Ar) jeokronolojik yaşlandırma tekniğini kullanarak volkanizmanın yaşını ortaya koymuşlardır. Buna göre Susuz volkanitlerinin 43.1 ± 1.7 My, Yukarıemirler volkanitlerinden benzer şekilde 43.1 ± 1.7 My yaş verisi elde etmişler ancak benzer yaşlarda olmalarına rağmen Yukarıemirler volkanitinin Susuz volkanitlerini kestiğini ve stratigrafik olarak daha genç olduğunu savunmuşlardır (Dönmez ve Akçay, 2010).

Bölgeye dair ilk tanımlamalar Akyüred vd. (1988) tarafından yapılmıştır ve Orta Eosen olarak belirlenmiştir. Ek olarak Wilson vd. (1997) Ankara çevresindeki volkanik kayalar üzerinde yaptıkları K/Ar yalandırmasına göre 38.8 ± 1.2 milyon yıldan 44.7 ± 1.0 milyon yıla varan yaşlar elde etmişler ve Orta Eosen'de oluştuklarını doğrulamışlardır. Ancak bölgedeki perlitlerin yaşlandırması hakkında bir çalışma bulunmamaktadır. Buna göre tez çalışması kapsamında perlitler üzerinde Ar/Ar tekniğine göre yapılan yaşlandırmada 43.6 ± 0.0 My yaş elde edilmiştir ve diğer volkanik kayalarla aynı jeolojik dönemde oluştukları söylenebilir.

9. SONUÇLAR

Ankara ili Çubuk ilçesi Yukarı Emirler-Susuz köyü civarındaki kayaların trakit-trakiandezit, trakibazalt, bazaltik andezit, perlit ve volkanik fay breşi bileşimindeki volkanik kayalar ile silisleşmiş tuf ile ignimbirit türü piroklastik kayalardan oluştuğu söylenebilir.

Perlitlerin polarizan mikroskoptaki genel dokusu holohiyalin doku olup özel soğan zarı yapısı göstermektedir. Trakit-trakiandezitler genellikle holohiyalin dokulu iken trakibazaltlar ve bazaltik andezitler hipohiyalin doku göstermektedir. Trakibazaltlarda özel doku olarak akma dokusu hakimdir. Piroklastik kayalar ise (tuf ve ignimbiritler) hiyaloklastik dokuludur.

Bazaltik andezitler kristalit, mikrolit, amfibol, opak mineraller, plajiyoklaz ve piroksen minerallerinden oluşmaktadır. Yapılan KRS çalışmaları sonucu plajiyoklazların türü bitovnit, opak minerallerin türü hematit, piroksenlerin türü ise diyopsit olarak belirlenmiştir. Bölgedeki piroklastik kayalar ise amorf silika, bitovnit türü plajiyoklaz, kaya parçaları ve biyotitlerden oluşmaktadır.

Bölgedeki volkanik kayaların ve perlitlerin subalkalen karakterli olduğu göze çarpmaktadır. Subalkalen karakterli perlitlerin AFM diyagramında kalkalkalen kısımda kümелendiği görülmektedir.

Çalışma alanına ait volkanik kayaların Alt kabuk etkilerini taşıyan Üst kabuk kökenli olduğu örümcek diyagramlarından anlaşılmıştır. Benzer şekilde Üst kabuk kökenli perlitler Sr ve Ba elementlerince özellikle fakir, tüm volkanikler özellikle U elementince oldukça zengindir. Sr ve Ba açısından fakir olmasının nedeni bu elementlerin perlitler oluşmadan önce ortamda tüketilmiş olmasıdır. Ayrıca ORG'ye ve MORB'a göre normalize edilen tüm volkanik kayalar LIL elementlerce zengin HFS elementlerce fakirdir.

Perlitlerin diğer volkanik kayalarla ilişkisini ortaya koymak amacıyla hem volkanik

kayalar GVP içerisinde ve çevresinde yapılan çalışmalar sonucu adlandırılan volkanik kayalarla, hem de perlitler Türkiye'deki diğer perlit örnekleriyle çeşitli diyagramlarla karşılaştırılmıştır. Tüm volkanik kayalar ve volkan camları genellikle metaalmalı, hafif ayrılmış, kısmen günlenmiş ve genel itibariyle subalkalen karakterlidir. Volkanik kayaların ana element Harker diyagramlarında oldukça benzer alanlarda kümelenmeleri benzer bir volkanizmadan türediklerini göstermektedir. Perlitler diğer volkan camlarıyla kıyaslandığında özellikle ana element örümcek diyagramlarında daha düşük Al_2O_3 , Na_2O , K_2O ve P_2O_5 ; daha yüksek MgO ve CaO içeriğine sahiptir.

Çubuk (Ankara-Türkiye) perlitlerinin izotopik δD değerleri, buzul sonrası ikincil olarak hidratlanmış Mazama Dağı örnekleriyle benzer değerlere sahip olup, $\delta^{18}O$ ve δD izotop verilerine dayanarak bunların meteorik sular tarafından hidrasyon yoluyla oluşturulduğunu göstermektedir. İzotopik verilere göre perlitin son dengesine 50 ila 20°C arasında ulaşması, Çubuk perlitlerinin bu sıcaklıklarda yavaş oluştuğu anlamına gelebilir. Ek olarak izotop verileri, cam alterasyon ürününün bir sonucu olarak montmorillonit gelişimine işaret etmektedir. Kalsedon yerel olarak ikincil olarak görülmektedir.

Bölgedeki perlitten yapılmış Ar-Ar yaşlandırma tekniğine göre 43.6 ± 0.0 My yaş verisi elde edilmiştir. Buna göre Çubuk civarı perlitlerinin Lütésiyen (Orta Eosen) döneminde oluştuğu sonucuna varılmıştır. Bölgedeki volkanik kayalar üzerine yapılmış önceki çalışmalarla kıyaslandığında perlitlerin volkanik kayalarla eş jeolojik zaman diliminde (Orta Eosen) oluştuğu göze çarpmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akyürek, B., Bilginer, E., Dağ, Z. ve Sunu, O. 1979. Hacılar (K Çubuk-Ankara) Bölgesinde Alt Triyasın Varlığı, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 22, 169-174.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Çatal, E., Dağ, Z., Soysal, Y. ve Sunu, O. 1980. Eldivan Şabanözü (Çankırı), Hasayaz-Çandır (Kalecik-Ankara) Dolayının Jeolojisi. MTA derleme, No: 6741 (yayınlanmamış).
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, M. ve Hakyemez, Y. 1982. Ankara-Elmadağ, Kalecik dolayının jeolojisi. MTA Rapor No: 9278, 116 s (yayınlanmamış).
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H. ve Hakyemez, Y. 1984. Ankara Elmadağ-Kalecik dolayının temel jeoloji özellikleri. Jeoloji Mühendisliği, 20, 31-46.
- Akyürek, B., Duru, M., Sütçü, Y. F., Papak, İ., Şaroğlu, F., Pehlivan, N., Gönenç, S. ve Yaşar, T. 1996. Ankara ilinin çevre jeolojisi ve doğal kaynaklar projesi. MTA. Rapor No. 9961 (Yayınlanmamış) Ankara, 43 s.
- Akyürek, B., Akbaş, B. ve Dağ, Z. 1998. 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Çankırı E-16 paftası. MTA yayını.
- Besbelli, A., ve Varol, B. 2002. Tekke volkanitlerinde hidrotermal alterasyon ürünü kil mineralleşmeleri (Çubuk, Ankara KD). MTA Dergisi, 125, 121-137.
- Bindeman, I. N. 2008. Oxygen isotopes in mantle and crustal magmas as revealed by single crystal analysis. Rev Miner Geochem, 69, 445-478.
- Bindeman, I. N., ve Lowenstern, J. B. 2016. Low- δ D hydration rinds in Yellowstone perlites record rapid syneruptive hydration during glacial and interglacial conditions. Contributions to Mineralogy and Petrology, 171, 1-24.
- Çalgın, R., Pehlivanoğlu, H., Ercan, T. ve Şengün, M., 1973, Ankara Civarı Jeolojisi. MTA Derleme, No: 6487 (yayınlanmamış).
- Dağ, E. 2021. Kızılcahamam (Ankara)-Gerede (Bolu) sahasına ait volkaniklerin jeolojik, jeokimyasal özellikleri ve yapıtaşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Dönmez, M. ve Akçay, A.E. 2010. Türkiye Jeoloji Haritaları, 1:100.000 Ölçekli Çankırı-H30 Paftası ve Açıklaması. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara: No:138.
- Dönmez, M. ve Akçay, A. E. 2016. Çubuk (Ankara) volkanitleri olası bir kaldera. Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni. 22: 19-30.

- Erk, A.S. 1957. Ankara civarı petrol ihtimalleri. MTA Derleme, No: 2608 (yayınlanmamış).
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W., Young, G. M. 1995. Unraveling the Effects of Potassium Metasomatism in Sedimentary Rocks and Paleosols, with Implications for Paleoweathering Conditions and Provenance. *Geology* 23; 921–924.
- Fiantis, D., Nelson, M., Shamsuddin, J., Goh, T. B., Van Ranst, E. 2010. Determination of the Geochemical Weathering Indices and Trace Elements Content of New Volcanic Ash Deposits from Mt. Talang (West Sumatra) Indonesia. *Eurasian Soil Science* 43-13; 1477–1485.
- Göker, T. 1990. Geology, Petrography And Geochemistry Of Volcanic Rocs From Karaşar District-Beyşehir, Ankara. ODTÜ, MSc Thesis. Ankara, 64 p.
- Götze, J., Plötze, M., Tichomirowa, M., Fuchs, H., and Pilot, J. 2001. Aluminium in quartz as an indicator of the temperature of formation of agate. *Mineralogical Magazine*, 65(3), 407-413.
- Gül, B. 2006. Çubuk (Ankara) yöresi volkanik kayaçlarının mineralojisi, petroğrafisi ve jeokimyası. Yüksek lisans tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güllü, B., Deniz, K. 2022. Nature and crystallization stages of spherulites within the obsidian: Acıgöl (Cappadocia-Nevşehir, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*.
- Günelay, E. 1974. Ankara-Çubuk-Akyurt köy bölgesi perlit yatakları işletme projesi hakkında rapor. MTA derleme rapor no:5593.
- Harker, A. 1909. Metamorphism, a Study of the Transformation of Rock Mases. 362 s., London.
- Harnois, L. ve Moore, J. M. 1988. Geochemistry and Origin of the Ore Chimney Formation: a Transported Paleoregolith in the Grenville Province of Southeastern Ontario. *Chem. Geol.* 69; 267–289. Canada.
- Hatipoğlu, M. ve Dora, O. Ö. 1999. Anadolu'da kullanılmış en eski süstaşı hammaddeleri olan Ankara agatları ve Eskişehir kalsedonlarının gemolojik incelemesi [The gemmological investigation of Ankara agates and Eskişehir chalcedonies, the oldest gemstone used in Anatolia]. 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu (8-14 Mart), İzmir, 462-468.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A. 1971. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks: *Canadian J. Earth Sci.* 8; 523-548.

- Kaya, E. S. 2019. Ham perlit ve genleştirilmiş perlitin puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği. Master's thesis, Balıkesir University Institute of Science and Technology.
- Keller, J., Jung, D., Eckhard, F.J. ve Kreuzer, H. 1992. Radiometric ages and chemical characterization of the Galatean andesite massif, Pontus, Turkey. *Acta Vulcanologica* 2, 267–276.
- Kılıçer, A. 2017. Van Gölü Havzasındaki Pomza ve Perlit Madenlerinin Ekonomik Jeolojisi. Ph.D. Thesis, Van Yüzüncü Yıl University, Institute of Science and Technology, Van.
- Koçyiğit, A., Winchester, J.A., Bozkurt, E. ve Holland, G. 2003a. Saraçköy Volcanic Suite: implications for the subductional phase of arc evolution in the Galatean Arc Complex, Ankara, Turkey. *Geological Journal* 38, 1–14.
- Kopar, İ., Polat, P. 2020. Molla Tepe (Mollaköy-Erzincan) Perlitik Volkan Konisi'nin Jeolojik-Jeomorfolojik Özellikleri ve Molla Tepe Perlitinin Endüstriyel Madde Olarak Değerlendirilmesi. *Journal of Atatürk University Institute of Social Sciences*, 24(3), 1529-1554.
- Kuno, H. 1968. Differentiation of basalt magmas. In: *Basalts* (H.H. Hess and A. Poldervaart, eds.), Vol. 2; 623–688.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Wolley, A.R., Zannettin, B. 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*. Blackwell, Oxford.
- Loewen, M. and Bindeman, I. N. 2015. Oxygen isotope and trace element evidence for three-stage petrogenesis of the youngest episode (260–79 ka) of Yellowstone rhyolitic volcanism, *Contrib Miner Petrol* 170, 39.
- Maniar, P. D. and Piccoli, P.M. 1989. Tectonic Discrimination of Granitoids, *Geo. Soc. American. Bul.*
- McDougall, I. and Harrison, T. M. 1999. *Geochronology and Thermochronology by the ⁴⁰Ar/³⁹Ar Method*. Oxford University Press, USA.
- Nesbitt, H. W. ve Young, G. M. 1982. Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites. *Nature* 299.
- Newman, S., Epstein, S., ve Stolper, E. 1988. Water, carbon dioxide, and hydrogen isotopes in glasses from the ca. 1340 AD eruption of the Mono Craters, California: Constraints on degassing phenomena and initial volatile content. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 35(1-2), 75-96.
- Nolan, G. and Bindeman, I. N. 2013. Experimental investigation of rates and mechanisms of isotope exchange (O, H) between volcanic ash and isotopically-labeled water, *Geochim Cosmochim Acta*, 111, 5–27.

- Nolan, G. S. 2012. Experimental investigation of rates and mechanisms of isotope exchange (Oxygen, Hydrogen) between volcanic ash and isotopically-labeled water. Doctoral dissertation. University of Oregon.
- Oğuz, E. 1968. Ankara Çevresinde Paleozoik Arazisinin Bölümleri ve Paleozoik-Mesozoik Sınırı Hakkında. Türkiye Jeoloji Bülteni, 11(1-2), 1-20.
- Orhun, O. 1969. Perlit. Bilimsel Madencilik Dergisi, 8(4), 213-222.
- Öngür, T. 1977. Kızılcahamam Güney Batısının Volkanolojisi ve Petrolojik İncelemesi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 20/2, 1-12.
- Özgenç, İ. 1978. Cumaovası (İzmir) asit volkanitlerinde saptanan iki ekstrüzyon aşaması arasındaki göreceli yaş ilişkisi. Bulletin of the Turkish Geological Institute, 21 (1), 31-84.
- Parker, A. 1970. An index of weathering for silicate rocks. Geological Magazine 107; 501-504
- Pearce, J.A. 1983. The role of subcontinental lithosphere in magma genesis destructive plate margins. In continental basalt and mantle xenoliths, C.J. Hawkesworth and M.J. Nory (eds), 230-249.
- Pearce, J.A., Lippard, S.J. and Roberts, S. 1984. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. Geological Society, Special Publications 16; 77-94. London.
- Rickwood, P.C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. Lithos 22; 247-263.
- Roaldset, E. 1972. Mineralogy and Geochemistry of Quaternary Clays in the Numedal Area, South ern Norway. Norsk. Geolisk. Tidsskrift. 52; 335-369.
- Rudnick, R. L., Gao, S., Holland, H. D. ve Turekian, K. K. 2003. Composition of the continental crust. The crust, 3, 1-64.
- Ruxton, B. P. 1968. Measures of the Degree of Chemical Weathering of Rocks. J. Geol. 76; 518-527.
- Saygılı, R. 2019. Ankara İli Haritası, <http://cografyaharita.com>. Erişim Tarihi: 20.10.2022.
- Seligman, A. N., Bindeman, I. N., Watkins, J. M., and Ross, A. M. 2016. Water in volcanic glass: From volcanic degassing to secondary hydration. Geochimica et Cosmochimica Acta, 191, 216-238.
- Seyitoğlu, G., Kazancı, N., Karakuş, K., Fodor, L., Araz, H. ve Karadenizli, L. 1997. Does continuous compressive tectonic regime exist during Late Palaeogene to

LateNeogene in NW Central Anatolia, Turkey Preliminary observations. Turkish Journal of Earth Sciences, 6, 77-83.

- Shao, J., Yang, S. and Li, C. 2012. Chemical indices (CIA and WIP) as proxies for integrated chemical weathering in China: Inferences from analysis of fluvial sediments. Sedimentary Geology, 265, 266; 110-120.
- Souri, T., Watanabe, M., Sakagami, K. 2006. Contribution of Parker and Product Indexes to Evaluate Weathering Condition of Yellow Brown Forest Soils in Japan. Geoderma 130; 346–355.
- Suludere, Y. 1976. Meşeli-Aşağıemirler-Dedeler (Çubuk-Ankara) bölgesi jeolojisi. MTA Rap, 6030.
- Şengör, A.M.C. 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları (Fundamentals of Neotectonics of Turkey). Geological Society of Turkey, Conference Series 2 (in Turkish).
- Şengör, A.M.C ve Yılmaz, Y. 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. Tectonophysics. 75: 181-241.
- Tankut, A. 1985. Ankara Dolaylarındaki Neojen Yaşlı Volkaniklerin Jeokimyası. TJK Bülteni, 28, 1, 55-66.
- Tankut, A., Satır, M., Güleç, N. ve Toprak, V. 1995. Galatya Volkaniklerinin Petrojenezi (Petrogenesis of Galatean Volcanics). Middle East Technical University-TÜBİTAK project report (in Turkish with English abstract, unpublished).
- Tankut, A., Güleç, N., Wilson, M., Toprak, V., Savaşçın, Y. and Akıman, O. 1998. Alkali basalts from the Galatia volcanic complex, NW Central Anatolia, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 7(3), 269-274.
- Tankut, A., Wilson, M. and Yihunie, T. 1998. Geochemistry and tectonic setting of Tertiary volcanism in the Güvem area, Anatolia, Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85(1-4), 285-301.
- Toprak, V., Savaşçın Y., Güleç, N. and Tankut, A. 1996. Structure of the Galatean volcanic province. International Geology Review 38, 747–758.
- Türkecan, A., Hepşen, N., Papak, İ., AKkbaş, B., Dinçel, A., Karataş, S., Özgür, İ., Akay, E., Bedi, Y., Sevin, M., Mutlu, G., Sevin, D., Ünay, E. ve Saraç, G. 1991. Seben-Gerede (Bolu)-Güdül- Beypazarı (Ankara) ve Çerkeş-Orta-Kurşunlu (Çankırı) Yörelerinin (Köroğlu Dağları) Jeolojisi ve Volkanik Kayaçların Petrolojisi [Geology and Petrology of Volcanic Rocks in Seben-Gerede (Bolu)-Güdül-Beypazarı (Ankara) and Çerkeş-Orta-Kurşunlu (Çankırı) Areas (Köroğlu Mountains)]. Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA) Report no. 9193 [in Turkish, unpublished].

- Ünsal, Y. 1973. Ankara İli Çubuk İlçesi Uluğaç Köyü Çevresine ve Çankırı İli Orta İlçesi Kalfat Köyü Çevresine Ait Perlit Raporu. MTA Rapor No: 6172, 47s (yayımlanmamış)
- Vindal-Solano, J.R., Gomez-Valencia, A. M., Hinojo-Hinojo, A., Cruz, R. L. S. 2020. Geochemistry and geological control of Sonora obsidian: New insights into the provenance study of archaeological obsidians in Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 104, 102840.
- Wilson, M., Tankut, A. and Güleç, N. 1997. Tertiary volcanism of the Galatia province, north-west Central Anatolia, Turkey. *Lithos* 42, 105–121.



EKLER

EK 1 Çalışma Alanından Alınan Örneklerin Koordinatları İle Mineralojik ve Petrografik Tanımlamaları

EK 2 Çalışma Alanına Ait Örneklerin Ana Oksit Sonuçları

EK 3 Çalışma Alanı Örneklerinin İz Element Sonuçları

EK 4 Perlit Örneğine Ait Ar-Ar Yaşlandırma Verileri

EK 1 Çalışma Alanından Alınan Örneklerin Koordinatları İle Mineralojik ve Petrografik Tanımlamaları

NUMUNE İSMİ	KOORDİNAT	KAYANIN DOKUSU	ÖZEL DOKU	MİNERALOJİK BİLEŞİM	BOZUNMALAR	KAYANIN İSMİ
22-CYE-01	512703 / 4461526 1235 m	Holohiyalin	Vesiküler, Amigdoloidal	Volkan camı, kristalit, mikrolit, amorf silika, kalsedon		Trakit Trakiandezit
22-CYE-02	512707 / 4461519 1236 m	Hipohiyalin	Trakitik Doku	Kristalit, mikrolit, piroksen, klorit, opak mineraller	Kloritleşme Silisleşme	Trakibazalt
22-CYE-03	512743 / 4461520 1241 m	Hipohiyalin	Akma Dokusu	Kristalit, mikrolit		Trakibazalt
22-CYE-04	512747 / 4461520 1242 m	Hipohiyalin	Akma Dokusu	Kristalit, mikrolit, piroksen		Trakibazalt
22-CYE-05	512751 / 4461521 1242 m	Breşik Doku		Amorf silika içerisinde kılcal dayk		Volkanik Fay Breşi
22-CYE-06	512932 / 4461563 1249 m	Breşik Doku		Amorf silika	Demiroksitleşme	Volkanik Fay Breşi
22-CYE-07	513064 / 4461557 1274 m	Holohiyalin	Sferulitik Doku	Volkan camı, kristalit, mikrolit, amorf silika	Silisleşme	Trakit Trakiandezit
22-CYE-08	513064 / 4461557 1274 m	Holohiyalin	Sferulitik Doku	Volkan camı, kristalit, mikrolit, amorf silika	Silisleşme	Trakit Trakiandezit
22-CYE-09	513047 / 4461551 1271 m	Holohiyalin	Akma Dokusu	Volkan camı, kristalit, mikrolit, plajiyoklaz, piroksen	Demiroksitleşme Kloritleşme	Trakibazalt
22-CYE-10	512904 / 4461529 1247 m	Hipohiyalin	Akma Dokusu	Kristalit, mikrolit, piroksen, opak mineraller		Trakibazalt
22-CYE-11	512438 / 4461506 1207 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı		Perlit
22-CYE-12	512435 / 4461495 1206 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı		Perlit
22-CYE-13	512435 / 4461495 1206 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı		Perlit
22-CYE-14	512435 / 4461495 1206 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı, kırık çatlaklar boyunca kil mineralleri		Perlit
22-CYE-15	512435 / 4461495 1206 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı, kırık çatlak boyunca amorf silika		Perlit

NUMUNE İSMİ	KOORDİNAT	KAYANIN DOKUSU	ÖZEL DOKU	MİNERALojİK BİLEŞİM	BOZUNMALAR	KAYANIN İSMİ
22-CYE-16	512435 / 4461495 1206 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı, kırık çatlak boyunca kil mineralleri		Perlit
22-CYE-17	512436 / 4461495 1207 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı		Perlit
22-CYE-18	512436 / 4461495 1207 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı		Perlit
22-CYE-19	511272 / 4461344 1184 m	Hipohiyalin	Akma Dokusu, Sünger ve Zonlu Doku	Kristalit, mikrolit, plajiyoklaz, amfibol, piroksen	Opaklaşma	Bazaltik andezit
22-CYE-20	511305 / 4461364 1187 m	Hipohiyalin	Akma Dokusu, Zonlu ve Süngerimsi	Kristalit, mikrolit plajiyoklaz, piroksen	Opaklaşma	Bazaltik andezit
22-CYE-21	511305 / 4461364 1187 m	Hiyaloplitik	Sünger Dokusu	Kristalit, mikrolit, piroksen, plajiyoklaz, amfibol	Opaklaşma Kloritleşme	Bazaltik andezit
22-CYE-22	511068 / 4461232 1156 m	Hipohiyalin	Akma Dokusu, Sünger, Zonlu, Mirmekitik	Kristalit, mikrolit, plajiyoklaz, amfibol, piroksen	Opaklaşma	Bazaltik andezit
22-CYE-23	510968 / 4461098 1129 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı		Perlit
22-CYE-24	510968 / 4461098 1129 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı		Perlit
22-CYE-25	510968 / 4461098 1129 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı	Fay Çizikleri	Perlit
22-CYE-26	510809 / 4460907 1126 m	Hiyaloklastik		Kırık çatlaklar boyunca amorf silika		İgnimbirit
22-CYE-27	510809 / 4460907 1126 m	Holohiyalin	Sferulitik Doku	Volkan camı, kalsedon yumruları		Amorf Silika
22-CYE-28	510809 / 4460907 1126 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı Sferulitik Doku	Volkan camı, kalsedon yumruları	2 farklı amorf silika yumruları	Perlit
22-CYE-29	510809 / 4460907 1126 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı, amorf silika		Perlit
22-CYE-30	510819 / 4460914 1126 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı, kırık çatlaklar boyunca kil mineralleri		Perlit

NUMUNE İSMİ	KOORDİNAT	KAYANIN DOKUSU	ÖZEL DOKU	MİNERALOJİK BİLEŞİM	BOZUNMALAR	KAYANIN İSMİ
22-CYE-31	510779 / 4460882 1127 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı, amorf silika		Altere Perlit
22-CYE-32	510783 / 4460891 1127 m	Holohiyalin	Soğan Zarı Yapısı	Volkan camı		Perlit
22-CYE-33	510777 / 4460875 1126 m	Hyaloklastik		Piroklastik taneler, biyotit	Silisleşme Hidrobiyotitleşme	Silisleşmiş Tüf
22-CYE-34	510777 / 4460875 1126 m	Hyaloklastik		Biyotit, plajiyoklaz, amorf silika, opak mineraller	Demiroksitleşme	İgnimbirit
22-CYE-35	510547 / 4460602 1157 m	Holohiyalin		Amorf silika, plajiyoklaz, biyotit		Amorf Silika
22-CYE-36	510547 / 4460602 1157 m	Hyaloklastik	Zonlu Doku	Amorf silika, plajiyoklaz, biyotit, piroklastik malzeme	Silisleşme	Silisleşmiş Tüf
22-CYE-37	510547 / 4460602 1157 m	Hipohiyalin	Sünger ve Sferulitik Doku	Kristalit, mikrolit, plajiyoklaz, kırık çatlak boyunca kalsedon		Bazaltik andezit
22-CYE-38	510531 / 4460587 1158 m	Hyaloklastik		Plajiyoklaz, biyotit, piroklastik malzeme	Silisleşme	Silisleşmiş tüf

EK 2 Çalışma Alanına Ait Örneklerin Ana Oksit Sonuçları

Element	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	LOI	Total
Dimension	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BusraCelik_22-CYE-01	3,204519	0,318449	14,27012	68,22621	0,121772	0,117866	0,0002	2,159045	3,957581	0,769085	0,022131	0,008292	0,343585	4,608499	1,87	99,99736
BusraCelik_22-CYE-02	3,150256	0,854204	15,80177	66,15538	0,242731	0,085824	0,000141	3,27243	4,652686	0,778578	0,012116	0,001131	0,046244	4,148847	0,79	99,99234
BusraCelik_22-CYE-03	2,885161	1,578768	14,18369	65,08762	0,172706	0,105016	0,001039	2,924504	5,230616	0,958963	0,017856	0,003309	0,037326	4,86644	1,93	99,98302
BusraCelik_22-CYE-04	3,132245	0,873051	14,74641	65,49871	0,193205	0,093371	0,000199	3,02187	4,770955	1,005301	0,02466	0,00344	0,035996	4,850504	1,76	100,0099
BusraCelik_22-CYE-05	1,25501	0,829129	5,662975	81,94597	0,108219	0,74241	0,000206	1,543045	1,70455	0,346465	0,011007	0,005442	0,071494	1,741583	3,92	99,88751
BusraCelik_22-CYE-06	2,654909	0,585493	12,9818	68,61375	0,190689	0,0959	0,000202	2,974912	3,446335	0,719046	0,016858	0,001686	0,035331	4,816187	2,84	99,9731
BusraCelik_22-CYE-07	2,414927	0,647321	15,69202	66,56582	0,260532	0,296906	0,0002	3,044211	3,54824	1,106257	0,023047	0,001663	0,052908	5,71466	0,63	99,99871
BusraCelik_22-CYE-08	3,191646	0,512871	17,76482	62,89952	0,251518	0,105987	0,000201	3,306064	4,225419	1,142168	0,014453	0,001004	0,036433	6,216685	0,33	99,99879
BusraCelik_22-CYE-09	3,47058	1,288503	16,33566	63,38795	0,267075	0,10312	0,002473	3,191338	5,174954	1,121955	0,027027	0,001446	0,065024	5,144038	0,42	100,0011
BusraCelik_22-CYE-10	2,862165	1,991422	14,61316	64,68089	0,239656	0,107432	0,000202	3,094967	5,241591	0,739829	0,020358	0,001008	0,045049	4,417207	1,93	99,98494
BusraCelik_22-CYE-11	3,806192	0,091593	10,30928	76,92782	0,001221	0,098819	0,019815	3,377741	0,561973	0,086199	0,001018	0,000987	0,049358	0,770194	3,83	99,93222
BusraCelik_22-CYE-12	4,143646	0,126555	10,44076	77,73929	0,001429	0,081036	0,019565	3,311855	0,492135	0,087466	0,001123	0,002419	0,05052	0,807807	2,64	99,94561
BusraCelik_22-CYE-13	3,82537	0,157872	10,42363	77,91409	0,001113	0,079037	0,016445	3,177689	0,60032	0,086526	0,001113	0,001933	0,051612	0,78916	2,84	99,96591
BusraCelik_22-CYE-14	3,283754	0,263579	10,62772	76,72343	0,001428	0,112131	0,018615	3,145375	0,72616	0,087311	0,001087	0,001186	0,051727	0,838071	3,75	99,63158
BusraCelik_22-CYE-15	3,672945	0,303931	10,62899	74,62953	0,001181	0,102456	0,018182	3,044678	0,854873	0,093542	0,001074	0,001235	0,051658	0,871519	5,33	99,60579
BusraCelik_22-CYE-16	3,940109	0,227111	10,71118	77,9888	0,001162	0,101091	0,017831	3,293635	0,708058	0,089577	0,001056	0,000803	0,050704	0,777353	1,98	99,88847
BusraCelik_22-CYE-17	3,255786	0,208328	9,996623	77,58401	0,001047	0,094114	0,022372	3,212864	0,569396	0,088461	0,001047	0,006585	0,05025	0,857706	3,87	99,81859

Element	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	LOI	Total
Dimension	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BusraCelik_22-CYE-18	3,970905	0,101844	10,36962	79,89132	0,001337	0,10349	0,01898	3,307373	0,562614	0,090528	0,008127	0,001234	0,048556	0,773092	0,73	99,97903
BusraCelik_22-CYE-19	3,391225	2,393806	15,04108	63,77498	0,332939	0,077799	0,004578	2,93341	5,371102	0,846011	0,022542	0,003052	0,054359	5,43394	0,32	100,0008
BusraCelik_22-CYE-20	3,235976	2,174015	15,25818	63,14661	0,342633	0,097179	0,003186	2,950448	5,70253	0,895554	0,024746	0,002264	0,079447	5,806723	0,28	99,99948
BusraCelik_22-CYE-21	3,078933	1,439501	14,60494	63,90785	0,331085	0,094867	0,006058	3,680724	5,104231	0,907086	0,026991	0,002299	0,054781	5,431118	1,33	100,0005
BusraCelik_22-CYE-22	3,450107	1,640807	15,15439	63,64645	0,334279	0,103604	0,009177	3,411995	5,249378	0,973452	0,026177	0,001103	0,091769	5,275454	0,63	99,99815
BusraCelik_22-CYE-23	0,988076	1,137361	16,24955	73,3002	0,001181	0,055611	0,000215	2,227467	1,804313	0,104607	0,001074	0,001149	0,043819	0,938565	2,93	99,78319
BusraCelik_22-CYE-24	1,074883	1,153057	10,49151	77,86933	0,001194	0,179473	0,008013	2,109594	1,833816	0,107705	0,00583	0,000727	0,056459	0,960881	3,82	99,67247
BusraCelik_22-CYE-25	3,775926	0,140968	10,08927	79,65693	0,001108	0,128281	0,016483	3,153653	0,593173	0,090421	0,005568	0,000896	0,047526	0,78942	1,5	99,98963
BusraCelik_22-CYE-26	3,189553	0,145894	9,344282	79,81931	0,001207	0,113596	0,000201	4,06995	0,548965	0,133619	0,008251	0,002073	0,014106	0,828076	1,77	99,98908
BusraCelik_22-CYE-27	1,585178	0,643396	7,811924	81,91123	0,001347	0,105161	0,000207	1,785139	1,584142	0,073353	0,001015	0,003087	0,020783	0,713123	3,63	99,86909
BusraCelik_22-CYE-28	2,494513	0,40296	10,95768	78,37013	0,001414	0,107254	0,011927	2,13902	1,532055	0,097256	0,00101	0,001121	0,055647	0,868939	2,93	99,97092
BusraCelik_22-CYE-29	3,931739	0,125374	10,3509	79,20648	0,001103	0,112536	0,020391	3,049103	0,607714	0,091373	0,007121	0,002217	0,045335	0,813729	1,63	99,99512
BusraCelik_22-CYE-30	4,092041	0,134738	10,05045	79,26584	0,001098	0,108888	0,021159	3,124922	0,624984	0,096712	0,001098	0,001487	0,046609	0,803138	1,63	100,0032
BusraCelik_22-CYE-31	1,292106	0,612975	8,523767	80,4517	0,001447	0,114119	0,000207	1,501944	2,721693	0,083625	0,00491	0,000662	0,025925	0,654219	3,88	99,8693
BusraCelik_22-CYE-32	0,044445	1,737805	11,31129	75,73451	0,001333	0,087112	0,000222	1,698915	2,587818	0,143113	0,0071	0,000767	0,038801	1,251131	4,82	99,46436
BusraCelik_22-CYE-33	3,687499	0,157172	10,13559	77,71959	0,033651	0,159288	0,000202	3,610928	1,076024	0,223063	0,00534	0,000806	0,018196	1,369211	1,79	99,98655
BusraCelik_22-CYE-34	2,967711	0,155452	12,46641	75,50503	0,021097	0,132235	0,000273	5,099618	0,797446	0,245795	0,006662	0,00533	0,038055	1,599939	0,95	99,99105
BusraCelik_22-CYE-35	3,22014	0,144493	9,659388	80,17323	0,001548	0,109402	0,000206	3,861072	0,77593	0,161833	0,006502	0,004933	0,019424	1,191039	0,65	99,97914
BusraCelik_22-CYE-36	3,651136	0,253551	11,94733	75,31482	0,012688	0,116431	0,000203	4,468585	0,964508	0,256999	0,006491	0,001663	0,036004	1,580131	1,37	99,98054

Element	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	LOI	Total
Dimension	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BusraCelik_22-CYE-37	2,096875	0,780564	9,332739	74,98248	0,186743	0,122739	0,00022	2,682024	2,955386	0,628184	0,027226	0,010913	0,028434	5,364047	0,73	99,92858
BusraCelik_22-CYE-38	3,932484	0,112784	12,1368	75,00665	0,015959	0,101207	0,0002	4,754912	0,873331	0,226767	0,006088	0,000828	0,048308	1,446236	1,34	100,0026
BusraCelik_TozPerlit	2,232496	0,611173	9,764405	77,23109	0,001216	0,072943	0,022977	2,8503	0,840501	0,089079	0,001039	0,007482	0,054376	0,88283	4,83	99,4919

EK 3 Çalışma Alanı Örneklerinin İz Element Sonuçları

Element	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	In
Dimension	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
BusraCelik_22-CYE-01	70,4	11,1	11,7	18	16,1	1,1	5,2	0,4	0,2	66,8	417,6	15,2	114,7	9,1	3,1	0,8	0,8
BusraCelik_22-CYE-02	27,5	17,8	4,9	29,1	19,3	0,7	1,2	0,3	0,2	110,7	501,7	9,5	156,1	11,9	2,6	0,7	0,7
BusraCelik_22-CYE-03	53,4	27,8	8,4	47	18,8	1,7	1,3	0,3	0,2	100,4	502,4	13,6	162,3	14,8	3,3	0,6	0,8
BusraCelik_22-CYE-04	54,8	18,8	6	28,4	18,3	1	3,1	0,4	0,2	103,8	502,4	8,7	157,6	14,7	7,6	0,8	0,8
BusraCelik_22-CYE-05	32,2	11,8	2,5	11,3	7,5	1,5	1,6	0,5	0,2	38	168,2	5,7	50,2	5,9	2,3	0,7	1
BusraCelik_22-CYE-06	37,4	12,3	5,2	24,7	15,1	1,6	4	0,4	0,7	71,7	376,3	23	113,8	12,1	8	0,8	0,7
BusraCelik_22-CYE-07	53	12,3	9	23,7	18,4	0,7	2,8	0,3	1	68,2	407,9	14,4	151,8	15,3	2,6	0,8	1
BusraCelik_22-CYE-08	52,3	13,5	6,3	22,9	20,5	0,7	1,8	0,3	0,2	75,1	459	14,6	149,4	20,4	2,8	0,8	0,8
BusraCelik_22-CYE-09	54	14,6	9,3	43,7	19,9	1,4	1,1	0,3	0,2	109,4	557,5	12,1	169,3	13,5	3,6	0,9	0,9
BusraCelik_22-CYE-10	30,9	25,4	4,4	73,5	18,9	0,8	1,6	0,4	0,2	95,1	504,3	13,7	146,7	13,7	4,5	0,8	0,8
BusraCelik_22-CYE-11	29,5	2,6	0,7	25,2	14,8	0,8	3,8	0,3	0,9	132,1	16	17,2	108,3	22,4	8,9	0,6	0,7
BusraCelik_22-CYE-12	27,9	2,9	2,5	25,2	14,8	0,9	4,7	0,6	1	134,8	15,2	18,3	103	25,1	3	0,7	0,8
BusraCelik_22-CYE-13	19,3	2,5	0,6	24,6	14,6	1,3	3,7	0,3	0,9	132,1	15,8	17,9	107,4	26	9,9	0,7	0,6
BusraCelik_22-CYE-14	25,9	0,8	2,5	24,7	16,6	1,7	4,6	0,3	1,3	132,5	18,2	16,4	104,6	21,1	2,7	0,7	0,7
Element	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	In

[illegible]

BusraCelik_22-CYE-31	15,5	1,1	0,6	12,3	11,2	0,5	1	0,3	0,2	93,9	291,7	11	95	17,3	1,8	0,7	0,6
BusraCelik_22-CYE-32	13,2	6,7	3,5	27,8	15,5	1,4	1,3	0,2	0,2	66	259,4	14,5	132,9	20,6	2,9	2,4	0,9
BusraCelik_22-CYE-33	30,7	2,2	0,9	15,2	15,4	0,6	3	0,6	0,2	89,7	131	14,1	191	16,4	3,4	0,7	0,6
BusraCelik_22-CYE-34	21,2	5,3	3,5	12,4	16,6	0,4	2,4	0,4	0,2	115,9	104	15,9	179,2	22,2	8,9	0,7	0,7
BusraCelik_22-CYE-35	26	3,5	0,8	13,3	13,7	0,9	5,5	0,4	0,7	104	95,4	14	129,2	20,2	9,6	0,7	0,7

Element	Sn	Sb	Te	I	Cs	Ba	La	Ce	Hf	Ta	W	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
Dimension	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
BusraCelik_22-CYE-01	0,9	0,9	1,2	2,1	3,6	585,9	20,4	38,2	2,2	2,6	265,6	1,6	7,5	16,2	0,7	10,2	6,9
BusraCelik_22-CYE-02	1,7	0,8	1,1	2	4,1	428,4	27,3	57,2	2,5	2,2	96,2	1,2	1,1	16,8	0,5	11,3	7,1
BusraCelik_22-CYE-03	1,7	0,8	1,2	2	5,3	400,9	24,3	49	3,4	5,2	101,8	1,2	0,8	15,3	0,6	9,9	10,1
BusraCelik_22-CYE-04	1,3	0,9	1,1	2	7,1	379,9	26,1	44,4	2,1	4,7	204,5	1,6	0,6	16	0,6	10,6	7,3
BusraCelik_22-CYE-05	0,8	0,8	1,1	2	3,6	593,2	7,2	12,2	1,6	2	317,9	1,6	0,6	4,7	0,4	4,5	5,6
BusraCelik_22-CYE-06	0,9	4,2	1,2	2	3,6	333,5	26,3	30,3	2,1	3,3	156,5	1,3	0,8	16,5	0,5	9,9	7,4
BusraCelik_22-CYE-07	0,9	0,9	1,1	2,1	3,6	362,5	17,8	31	2,5	2,5	55,2	1,1	0,8	18,7	0,8	8,3	8,1
BusraCelik_22-CYE-08	2,8	0,8	1,1	2	3,6	386,3	26,8	27,4	2,3	2,3	59,4	1,1	0,9	15,9	0,6	10,2	7,4
BusraCelik_22-CYE-09	1,7	0,9	1,2	2,1	19,9	412,8	22,3	45,7	2	2,5	91,7	1,2	0,9	17,5	1,4	9	11,1
BusraCelik_22-CYE-10	1,9	0,9	1,2	2	9,1	410,7	29,7	44,1	3	2,3	108,8	1,2	0,5	14,6	0,6	9,2	8,1
BusraCelik_22-CYE-11	1,6	0,8	0,8	1,9	3,4	183	33,7	41	2,3	4,3	179,3	1,2	1,3	22,3	0,7	23,5	14,5
BusraCelik_22-CYE-12	2,5	0,8	1,1	1,9	8,3	192,7	34,3	57,7	1,6	4,4	272,1	1,4	1,5	22,4	1,3	22,8	5,9
BusraCelik_22-CYE-13	2,9	0,8	1,1	1,9	7,1	178,2	24,8	51,8	2	5,2	167	1,2	1,4	22	0,6	25,2	6
BusraCelik_22-CYE-14	1,5	0,8	1,1	1,9	3,5	201,1	29,5	48,1	1,8	1,8	96,3	1	1,2	21,6	0,4	23,6	10,5

[illegible]

BusraCelik_22-CYE-29	2,3	0,8	1,1	1,9	9,6	192,3	35,8	45,1	1,3	3	258,2	1,5	1,2	22	0,9	22,9	11,8
BusraCelik_22-CYE-30	1,7	0,8	1,1	1,9	3,4	189,4	30	53,7	2,6	4,6	190,4	1,2	1,3	23,1	0,7	22,3	6,2
BusraCelik_22-CYE-31	0,8	0,7	1	1,8	7,8	139,9	21,9	26,3	1,6	3,6	57,1	0,8	0,6	12,5	0,8	19,1	5,1
BusraCelik_22-CYE-32	0,9	2,4	1,4	2	4,2	193,5	34	51,3	3,3	1,5	9,8	0,6	0,6	15,4	0,4	21,6	20,4
BusraCelik_22-CYE-33	0,7	1,4	1,1	1,9	3,4	394,2	28,1	37,6	1,5	4,8	399,4	1,9	1,3	22,6	0,9	17,1	5,5
BusraCelik_22-CYE-34	0,8	0,8	1,1	2	3,5	493,5	24,8	43,2	4,4	4,8	203,6	1,4	0,8	22,9	0,5	18,6	6,2
BusraCelik_22-CYE-35	0,9	1,8	1,2	2	3,6	361,1	31,8	47,6	1,3	4,6	274,8	1,5	1,3	19,9	0,5	19,7	6,7
BusraCelik_22-CYE-36	0,9	0,8	1,2	2,1	3,7	541,5	26,9	44,1	1,6	4	230,7	1,3	0,8	24,1	0,5	16,9	6,6
BusraCelik_22-CYE37	0,7	4,8	1,2	2	5,7	344,2	24,6	29,8	2,3	3,9	195,8	1,5	0,8	11	0,5	7,2	7,9
BusraCelik_22-CYE-38	1,3	0,8	1,2	2	3,5	505,4	28,8	48,4	2,1	2,9	202,9	1,3	1,3	22,8	0,5	17,6	6,7
BusraCelik_Toz Perlit	0,9	0,8	0,5	2	7,1	201,9	30	48,3	4,5	3,1	16,3	0,6	0,7	21,7	0,4	23	11,2

EK 4 Perlit Örneğine Ait Ar-Ar Yaşlandırma Verileri

0		01A	01B	01C	01D	01E	01F	01G	01H	01I	01J	01K	01L	01M	01N	01O	01P	01Q	01R
Power	%	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	3,0
Age	(Ma)				421,1	-8,7	13,0	19,6	29,9	32,4	35,7	37,6	39,1	39,7	40,5	41,9	42,4	43,4	45,4
±1σ	(Ma)				925,4	8,1	2,5	1,4	0,9	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Ca/K					21,17	1,43	0,40	0,45	0,31	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15	0,13	0,13	0,11	0,11	0,11
±1σ					62,84	0,32	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl/K					-0,44	-0,09	-0,02	0,01	-0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
±1σ					7,70	0,06	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cum. % ³⁹ Ar	(%)				0,00	0,09	0,41	1,00	1,92	3,42	5,36	8,22	12,01	16,13	21,46	28,35	37,45	48,71	100,00
% ⁴⁰ Ar*	(%)				9,52	-1,05	3,89	10,37	22,88	31,21	42,14	52,97	63,01	67,57	70,48	73,97	75,85	78,25	81,60
⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar κ					- 0,28469 4	0,42983 0	0,64690 1	0,98999 9	1,07234 1	1,18448 1	1,24645 3	1,29861 1	1,31753 9	1,34397 1	1,39270 1	1,41002 4	1,44341 4	1,50998 9	
±1σ					0,26392 2	0,08263 2	0,04522 1	0,03026 5	0,01936 0	0,01316 8	0,00948 6	0,00681 9	0,00641 4	0,00497 2	0,00411 8	0,00323 3	0,00299 1	0,00158 3	
K ₂ O	(wt. %)																		
Sensitivity	mol/f A	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17	1,0E-17
³⁹ Ar/ ⁴⁰ Ar		- 0,07473	0,03240 1	0,00040 4	0,00610 7	0,03679 6	0,09055 8	0,16036 2	0,23116 2	0,29112 2	0,35585 4	0,42510 5	0,48539 7	0,51305 6	0,52465 4	0,5313 5	0,53817 5	0,54231 6	0,54060 9
±1σ		0,03774 1	0,05387 4	0,04577 2	0,0141 0	0,00064 9	0,00045 2	0,00048 2	0,00049 5	0,00043 1	0,00042 5	0,00039 9	0,00040 4	0,00035 5	0,00027 4	0,00025 6	0,00020 1	0,00012 3	
³⁶ Ar/ ⁴⁰ Ar		0,00308 7	0,00360 5	0,00391 0	0,00306 2	0,00342 0	0,00325 2	0,00303 3	0,00261 0	0,00232 8	0,00195 8	0,00159 1	0,00125 1	0,00109 7	0,00099 8	0,00088 0	0,00081 6	0,00073 5	0,00062 2
±1σ		0,00060 9	0,00076 5	0,00077 8	0,00027 3	3,24E- 05	2,47E- 05	2,39E- 05	2,31E- 05	1,85E- 05	1,53E- 05	1,32E- 05	1,08E- 05	1,08E- 05	8,44E- 06	7,09E- 06	5,55E- 06	5,23E- 06	2,6E-06
⁴⁰ Ar	(fA)	-0,3335	-0,2423	-0,2921	1,0003	20,1619	29,4652	30,9880	33,5455	43,1742	45,6008	56,4859	65,6898	67,3867	85,2770	108,903 5	141,994 6	174,307 9	796,527 5
±1σ		0,0294	0,0314	0,0315	0,0319	0,0323	0,0323	0,0333	0,0372	0,0338	0,0352	0,0345	0,0409	0,0354	0,0439	0,0420	0,0458	0,0473	0,1348
³⁹ Ar	(fA)	0,0249	-0,0078	-0,0001	0,0062	0,7417	2,6664	4,9656	7,7479	12,5575	16,2115	23,9877	31,8511	34,5349	44,6908	57,7953	76,3312	94,4220	430,118 3

$\pm 1\sigma$		0,0124	0,0130	0,0134	0,0141	0,0130	0,0130	0,0139	0,0142	0,0158	0,0147	0,0171	0,0175	0,0180	0,0195	0,0196	0,0264	0,0233	0,0620
³⁸ Ar	(fA)	-0,0131	0,0147	0,0099	-0,0003	-0,0017	0,0278	0,0881	0,0864	0,1579	0,2504	0,3424	0,4577	0,4649	0,6330	0,8094	1,0205	1,2886	5,8189
$\pm 1\sigma$		0,0163	0,0161	0,0144	0,0161	0,0166	0,0158	0,0168	0,0152	0,0165	0,0161	0,0159	0,0158	0,0148	0,0153	0,0175	0,0149	0,0160	0,0155
³⁷ Ar	(fA)	-0,0061	0,0018	-0,0003	0,0075	0,0613	0,0614	0,1277	0,1387	0,1684	0,1849	0,2513	0,2843	0,2962	0,3411	0,4314	0,5018	0,5984	2,6532
$\pm 1\sigma$		0,0130	0,0134	0,0127	0,0138	0,0135	0,0132	0,0144	0,0135	0,0134	0,0133	0,0141	0,0144	0,0130	0,0138	0,0121	0,0124	0,0133	0,0125
³⁶ Ar	(fA)	-0,0010	-0,0009	-0,0011	0,0031	0,0691	0,0960	0,0943	0,0878	0,1009	0,0897	0,0904	0,0828	0,0746	0,0859	0,0968	0,1170	0,1295	0,5013
$\pm 1\sigma$		0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0006	0,0007	0,0007	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0008	0,0008	0,0009	0,0021
⁴⁰ Ar	(fA)	0,4669	0,4076	0,4957	1,7397	20,8829	30,1908	31,7532	34,3354	43,8632	46,3204	57,1670	66,4279	68,1257	86,0835	109,5745	142,7580	175,1233	797,4333
$\pm 1\sigma$		0,0203	0,0224	0,0222	0,0202	0,0249	0,0241	0,0248	0,0289	0,0273	0,0292	0,0250	0,0322	0,0284	0,0359	0,0361	0,0410	0,0428	0,1326
³⁹ Ar	(fA)	0,0348	-0,0043	0,0143	0,0427	0,7466	2,7019	4,9707	7,7680	12,5752	16,2294	23,9971	31,8748	34,5711	44,7128	57,8064	76,3428	94,4692	430,1436
$\pm 1\sigma$		0,0080	0,0097	0,0096	0,0095	0,0094	0,0094	0,0108	0,0104	0,0123	0,0107	0,0143	0,0149	0,0151	0,0174	0,0175	0,0250	0,0214	0,0611
³⁸ Ar	(fA)	-0,0062	0,0071	0,0125	0,0014	0,0379	0,0372	0,0944	0,1106	0,1772	0,2496	0,3424	0,4470	0,4606	0,6417	0,8009	1,0299	1,2956	5,8404
$\pm 1\sigma$		0,0115	0,0126	0,0091	0,0110	0,0112	0,0103	0,0106	0,0107	0,0121	0,0115	0,0109	0,0113	0,0109	0,0113	0,0125	0,0109	0,0114	0,0121
³⁷ Ar	(fA)	0,0206	0,0135	0,0178	0,0132	0,0648	0,0851	0,1288	0,1479	0,1925	0,2118	0,2559	0,3010	0,3148	0,3618	0,4382	0,5171	0,6226	2,6635
$\pm 1\sigma$		0,0092	0,0093	0,0091	0,0100	0,0084	0,0093	0,0111	0,0093	0,0086	0,0092	0,0094	0,0107	0,0100	0,0103	0,0092	0,0085	0,0096	0,0088
³⁶ Ar	(fA)	0,0025	0,0015	0,0023	0,0071	0,0756	0,1034	0,1016	0,0949	0,1084	0,0971	0,0972	0,0896	0,0812	0,0928	0,1045	0,1255	0,1385	0,5243
$\pm 1\sigma$		0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0007	0,0007	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0008	0,0008	0,0009	0,0019
⁴⁰ Ar	(fA)	0,8235	0,6647	0,7910	0,7688	0,7498	0,7717	0,7702	0,8050	0,6778	0,7466	0,7261	0,7537	0,7872	0,7980	0,7039	0,7880	0,7988	0,7864
$\pm 1\sigma$		0,0213	0,0220	0,0224	0,0246	0,0206	0,0216	0,0221	0,0234	0,0199	0,0197	0,0238	0,0251	0,0211	0,0253	0,0214	0,0204	0,0201	0,0241
³⁹ Ar	(fA)	0,0170	-0,0018	0,0118	0,0374	0,0091	0,0253	-0,0005	0,0103	0,0067	0,0179	-0,0012	0,0265	0,0317	0,0169	0,0130	0,0189	0,0339	0,0167
$\pm 1\sigma$		0,0095	0,0086	0,0093	0,0104	0,0090	0,0090	0,0088	0,0096	0,0099	0,0101	0,0092	0,0093	0,0098	0,0089	0,0088	0,0086	0,0092	0,0102
³⁸ Ar	(fA)	0,0087	0,0032	0,0052	-0,0072	0,0424	0,0145	0,0122	0,0220	0,0191	-0,0019	-0,0017	0,0028	0,0109	0,0182	-0,0122	0,0053	0,0040	0,0274
$\pm 1\sigma$		0,0115	0,0101	0,0112	0,0117	0,0122	0,0120	0,0131	0,0107	0,0112	0,0112	0,0116	0,0111	0,0100	0,0103	0,0122	0,0102	0,0112	0,0097

[illegible]

³⁹ Ar Decay	1,00078 1	1,00078 1	1,00078 1	1,00078 2	1,00078 2	1,00078 2	1,00078 3	1,00078 3	1,00078 3	1,00078 4	1,00078 4	1,00078 4	1,00078 5	1,00078 5	1,00078 5	1,00078 6	1,00078 6	1,00078 6
³⁷ Ar Decay	8,81917 5	8,82515 4	8,83121 2	8,84303 1	8,84902 6	8,85503 2	8,86686 0	8,87289 0	8,87916 0	8,89129 8	8,89732 3	8,90337 6	8,91528 0	8,92132 1	8,92736 9	8,93933 0	8,94539 4	8,95146 0
LambdaK	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10	5,54E- 10