



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ESENDAL (YUSUFELİ-ARTVİN) KÖYÜ
ÇEVRESİNİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ VE
MADEN YATAKLARI

Alper DÜLGER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Alper DÜLGER tarafından hazırlanan “**Esental (Yusufeli-Artvin) Köyü Çevresinin Jeolojik Özellikleri ve Maden Yatakları**” adlı tez çalışması 29/12/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Fetullah ARIK
(Konya Teknik Üniversitesi)

Danışman

Prof. Dr. Fetullah ARIK
(Konya Teknik Üniversitesi)

Üye

Doç. Dr. Yeşim ÖZEN
(Konya Teknik Üniversitesi)

Üye

Doç. Dr. Bilgehan Yabgu HORASAN
(Selçuk Üniversitesi)

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından 221007054 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Alper DÜLGER

29.12.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ESENDAL (YUSUFELİ-ARTVİN) KÖYÜ ÇEVRESİNİN JEOLojİK ÖZELLİKLERİ VE MADEN YATAKLARI

Alper DÜLGER

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fetullah ARIK

2023, 100 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Fetullah ARIK
Doç. Dr. Yeşim ÖZEN
Doç. Dr. Bilgehan Yabgu HORASAN

Bu çalışmada Artvin ili Yusufeli ilçesine bağlı Esendal, Boyalı ve Bostancı Köyleri arasında yaklaşık 30 km²'lik bir alanı kapsayan bölgenin maden yatağı potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. Alan Artvin il merkezinin 76 km güneybatısında ve Yusufeli ilçesinin yaklaşık 16 km kuzeyinde yer almaktadır. Doğusunda Erzurum ili Olur ve Oltu ilçeleri, güneyinde Erzurum ili Tortum, Uzundere ve İspir ilçeleri, batısında Rize ili Çamlıhemşin ve Ardeşen ilçeleri, kuzeyinde ise Artvin merkez ve Murgul ilçeleri yer almaktadır. Aynı zamanda çalışma alanı Türkiye'nin tektonik birlikleri arasında yer alan Doğu Pontidlerin kuzey zonu içerisinde bulunmaktadır.

Çalışma alanının temelinde, tabanda kumtaşı, silttaşı ve üste doğru bazik volkanik ara katmanlı epiklastik kumtaşı-çamurtaşı ardalanmalı metamorfik istif olan Liyas yaşlı Berta formasyonu bulunmaktadır. Bu formasyonun oluşum süreçleri boyunca ortamdaki faal volkanizmanın ürünü olan epiklastik kumtaşı, silttaşı, tuf ara katmanlı, bazaltik-andezitik bileşimli lav ve piroklastlardan oluşan Geç Jura yaşlı Mudurnu formasyonu metamorfik istifi üzerlemektedir. Kristalize kireçtaşları, volkanik ara katkılı çakıltaşı ve resifal kireçtaşlarıyla temsil edilen Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Öğdem formasyonu Mudurnu formasyonunu uyumsuzlukla örtmektedir. Oluşumunda etkin magmatik süreçlerde asidik ve bazik serilerin etkisinin gözlemlendiği, yer yer bazaltik lav ara katkılı andezitik-dasitik lavlar ve piroklastlar ile birlikte riolit-riyodasit gibi felsik kayalar da içeren Geç Kretase yaşlı Yusufeli formasyonu çalışma alanı içerisindeki resifal kireçtaşları ile uyumsuz olarak bulunmaktadır. Geç Kretase-Paleosen aralığında gelişen ve granit, granodiyorit, monzonit, monzodiyorit gibi magmatik kayalardan oluşan Kaçkar granitoidi Yusufeli formasyonunu keserek ortama yerleşmektedir. Kendinden önceki bütün birimleri uyumsuz olarak örten Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ise çakıl, kum, silt, kil gibi çok çeşitli malzemeye sahip tutturulmamış çökellerden oluşmaktadır.

Çalışma alanı içerisinde granitoidlerin sokulumu esnasında meydana gelen alterasyonla ilişkili, pirit, kalkopirit, hematit, molibdenit, dijenit gibi cevher yapıcı mineraller bulunmaktadır.

Yusufeli formasyonundan alınan örneklerden yapılan incelemelerde SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃ bileşenlerinin ortalama değerleri sırasıyla % 67.60, % 2.31, % 4.29, % 1.51, % 1.87, % 0.13, % 0.17, % 0.11, % 0.08, % 0.05 ve % 0.004 olarak belirlenmiştir. Ayrıca formasyon içerisinde alınan iki adet örnekte 139.5 ve 212 ppm Cu tespit edilmiştir. Yusufeli

formasyonundaki korelasyon analizlerine göre kayaç yapıcı minerallerden plajiyoklas, alkali feldispatlar ve mafik minerallerden piroksenlerin oluşumunu sağlayan Al, Fe, Mg, Ca ve Mn bileşenlerinin arasında pozitif korelasyon gözlenmekte olup birlikte hareket ettikleri belirlenmiştir. Kayaç yapıcı minerallerin oluşumunu sağlayan bileşenlerin bulunduğu grup, ana bileşenler grubu olarak belirlenmiştir. Hidrotermal alterasyon grubu, kayaç yapıcı minerallerin bünyesinde bulunan SiO₂ miktarından daha fazla SiO₂'in ortama gelmesini sağlayan alterasyon esnasında bazı sülfidli minerallerin de ortama katılımında etkili olmuş ve SiO₂ ile orta-düşük sıcaklıklı hidrotermal ortamlarda yaygın olarak bulunan (Au, Ag, Sb, Hg) bileşenlerin birlikteliği bu alterasyonu belirlemiştir. Yusufeli formasyonunda değişime etki eden faktörler potasik alterasyon, sıcaklığın nisbi düşüşü ve potasik alterasyondan fillik alterasyona geçiş, granitoyidik sokulum sınırında skarn tip cevherleşme izleri, hidrotermal sıcaklığın düşmesi, granitoyidik sokulumun iraksak bölgelerindeki propilitik alterasyon ve Hg yerleşimini sağlayan propilitik alterasyonun düşük sıcaklık evreleri olarak sıralanmaktadır.

Mudurnu formasyonundan alınan örneklerden yapılan incelemelerde SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃ bileşenlerinin ortalama değerleri sırasıyla % 52.35, % 5.28, % 7.30, % 3.59, % 6.64, % 0.10, % 0.09, % 0.37, % 0.08, % 0.15 ve % 0.0035 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Söğütönü mahallesi civarından alınan formasyona ait örnekte 349 ppm Cu tespit edilmiştir. Mudurnu formasyonundaki korelasyon analizlerine göre SiO₂ ve K₂O dışındaki ana oksit bileşenlerinin birbirleri ile pozitif korelasyon gösterdikleri belirlenmiştir. Küme analizlerine göre bileşenler, Al-Ti-Mg-Cr grubu, Fe-Mn-Ca grubu ve Si-K grubu olmak üzere üç ana grup olarak değerlendirilmiştir. Ana oksitlerden Al₂O₃, Na₂O, MgO, TiO₂ ve P₂O₅'in aynı grupta yer alması özellikle Na ve Al bulunduran albit bileşimli plajiyoklasların oluşumunu sağlamıştır. Fe₂O₃, MnO ve CaO gibi ana oksitlerle birlikte Au, Ag, Cu, Ba, V, Zn, NTE'ni bulunduran grup Mudurnu formasyonunun oluşumundan sonra granitoyidlerin sokulumu sonucu meydana gelen düşük sıcaklıklı hidrotermal alterasyon ile açıklanmıştır. Formasyona ait volkanik kayaçların içerisinde dolaşan hidrotermal çözeltiler ayrışan mineraller yerine yaygın olarak gözlenen silisin çökmesini sağlamış ve bu süreçte Si-K grubu etkin olmuştur. Mudurnu formasyonunda değişime etki eden faktörler potasik alterasyon, fillik alterasyon ve kontakt metasomatizmaya bağlı olarak ikincil kalsit oluşumları ve sülfidli mineralizasyon olarak sıralanmaktadır.

Kaçkar granitoyidlerinden alınan örneklerden yapılan incelemelerde SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃ bileşenlerinin ortalama değerleri sırasıyla % 56.50, % 3.52, % 7.06, % 2.49, % 4.11, % 0.12, % 0.13, % 0.328, % 0.280, % 0.103 ve % 0.001 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Bostancı ve Esendal köyü merkezine yakın alınan iki adet örnekte 106.5 ve 96.4 ppm Cu tespit edilmiştir. Kaçkar granitoyidlerindeki korelasyon analizlerine göre SiO₂, K₂O ve Cr₂O₃ hariç diğer ana oksitlerin birbirleri ile pozitif korelasyon gösterdikleri belirlenmiştir. Ana bileşenler grubu, kayaç yapıcı mineraller ve alterasyonları sonucu oluşan kloritler, kil mineralleri ve **ikincil kalsitler** ile temsil edilmiştir. Hidrotermal alterasyon grubu, kabuksal kökenli magmatik kütlelerin sokulumu esnasında yan kayaç reaksiyonları sonucu meydana gelen silişleşmeyi ve bu sırada oluşan porfir tip cevherleşmeyi belirlemiştir. Kaçkar granitoyidlerinde değişime etki eden faktörler potasik alterasyon ve fillik alterasyon olarak belirlenmiştir.

Yapılan incelemeler sonucu örneklerin birlikte değerlendirilmesi açısından alterasyon jeokimyası için derlenen örneklerde yapılan çalışmalara göre SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃ bileşenlerinin ortalama değerleri sırasıyla % 60.86, % 3.42, % 5.75, % 2.31, % 3.71, % 0.118, % 0.14, % 0.233, % 0.12, % 0.09 ve % 0.003 olarak belirlenmiştir. Alterasyon örneklerindeki küme analizlerine göre bileşenler, ana bileşenler grubu ve SiO₂, K₂O ve cevher oluşturan önemli iz elementleri içeren hidrotermal alterasyon grubu olmak üzere iki ana grup olarak değerlendirilmiştir. Hidrotermal alterasyon grubunun potasik alterasyondan başlayarak sülfidli fazlarla sona eren propilitik alterasyona kadar gireleyen alterasyon kuşaklarını temsil ettiği belirlenmiştir.

Bazı cevherli numunelerde % 6.15'lere ulaşan Cu ve 12.8 ppm Au ile birlikte 45.6 ppm'e ulaşan Ag değerleri, porfir Cu cevherleşmesi ile birlikte altın zenginleşmelerini ve magmadan uzak noktalarda Ag zenginleşmesini sağlayan porfiri-hidrotermal sistemi yansıtmaktadır. Esendal köy merkezinden alınan cevherli numunede yapılan analizler sonucu önemli iz elementlerden 17.93 ppm molibden, 35.60 ppm kurşun ve 2300 ppm (% 0.23) çinko içerdiği belirlenmiş olup değerlendirilen bir diğer cevherli numune ile ortalamaları molibden için 9.76 ppm, kurşun için 22.20 ppm ve çinko için 1747.5 ppm (% 0.175) olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanında metalik maden (bakır, altın, gümüş vb) bakımından önemli bir potansiyel vardır. Bölgedeki birimlerde detaylı maden jeolojisi ve jeokimyasal çalışmalar yapılarak potansiyelin ekonomikliği hakkında değerlendirme yapılması uygun olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Altın, Artvin, bakır, Doğu Pontidler, hidrotermal alterasyon, porfiri cevherleşme, sülfid mineralizasyonu

ABSTRACT

MS THESIS

GEOLOGICAL PROPERTIES AND ORE DEPOSITS OF THE ENVIRONMENT OF THE ESENDAL (YUSUFELİ-ARTVİN) VILLAGE

Alper DÜLGER

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geological Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Fetullah ARIK

2023, 100 Pages

**Jury
Prof. Dr. Fetullah ARIK
Assoc. Prof. Dr. Yeşim ÖZEN
Assoc. Prof. Dr. Bilgehan Yabgu HORASAN**

This study was aimed to investigate the ore deposit potential of the region covering an area of approximately 30 km² between Esendal, Boyalı and Bostancı villages of Yusufeli district of Artvin province. The area is located 76 km southwest of Artvin provincial center and approximately 16 km north of Yusufeli district. Olur and Oltu districts of Erzurum province to the east, Tortum, Uzundere and İspir districts of Erzurum province to the south, Çamlıhemşin and Ardeşen districts of Rize province to the west, and Artvin center and Murgul districts to the north. At the same time, the study area is located within the northern zone of the Eastern Pontides, which is among the tectonic units of Turkey.

The study area is underlain by the Triassic aged Berta formation, a metamorphic stack consisting of sandstone, siltstone at the base and epiclastic sandstone-mudstone succession with basic volcanic interlayers at the top. Late Jurassic aged Mudurnu formation, which consists of epiclastic sandstone, siltstone, tuff interlayered, basaltic-andesitic composite lavas and pyroclasts, which are the products of active volcanism in the environment during the formation processes of this formation, overlies the metamorphic stack. Late Jurassic-Early Cretaceous aged Öğdem formation composed of crystallized limestones, volcanic interbedded pebbles and reefal limestones unconformably overlies the Mudurnu formation. Late Cretaceous aged Yusufeli formation, which includes andesitic-dacitic lavas and pyroclasts with basaltic lava intercalated andesitic-dacitic lavas and pyroclasts and felsic rocks such as rhyolite-rhyodacite, in which the effect of acidic and basic series is observed in the magmatic processes effective in its formation, is unconformable with the reefal limestones in the study area. Kaçkar granitoid, which developed in the Late Cretaceous-Paleocene interval and consists of igneous rocks such as granite, granodiorite, monzonite and monzodiorite, intrudes into the environment by cutting the Yusufeli formation. Quaternary aged alluvium, which unconformably covers all the preceding units, consists of unconsolidated sediments with a wide variety of materials such as gravel, sand, silt and clay.

Within the study area, there are ore-forming minerals such as pyrite, chalcopyrite, hematite, molybdenite, digenite associated with the alteration that occurred during the intrusion of granitoids.

The average values of SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃, 67.60%, 2.31%, 4.29%, 1.51%, 1.87%, 0.13%, 0.17%, 0.11%, 0.08%, 0.05% and 0.004% were determined from the analysis of samples taken from the Yusufeli formation. In addition, 139.5 and 212 ppm Cu was detected in two samples taken from the formation. According to the correlation analyses in the Yusufeli formation, positive correlation is observed between the Al, Fe, Mg, Ca and Mn components

that provide the formation of plagioclase, alkali feldspars and pyroxenes from mafic minerals and it is determined that they act together. The group of components that provide the formation of rock-forming minerals is determined as the main components group. Hydrothermal alteration group was effective in the addition of some sulfide minerals to the environment during the alteration that provided more SiO₂ to the environment than the amount of SiO₂ contained in the rock-forming minerals, and the combination of SiO₂ with components commonly found in medium-low temperature hydrothermal environments (Au, Ag, Sb, Hg) determined this alteration. The factors affecting the changes in the Yusufeli formation are potassic alteration, relative decrease in temperature and transition from potassic alteration to phyllic alteration, traces of skarn type mineralization at the granitoid intrusion boundary, decrease in hydrothermal temperature, propylitic alteration in the divergent regions of the granitoid intrusion and low temperature phases of propylitic alteration that provide Hg placement.

The average values of SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃, % 52.35%, 5.28%, 7.30%, 3.59%, 6.64%, 0.10%, 0.09%, 0.37%, 0.08%, 0.15% and 0.0035% were determined from the analysis of samples taken from the Mudurnu formation. In addition, 349 ppm Cu was detected in the sample belonging to the formation taken from the vicinity of Söğütönü locality. According to the correlation analysis in the Mudurnu formation, it was determined that the main oxide components except SiO₂ and K₂O are positively correlated with each other. Cluster analysis shows that the components were evaluated as three main groups: Al-Ti-Mg-Cr group, Fe-Mn-Ca group and Si-K group. The fact that the main oxides Al₂O₃, Na₂O, MgO, TiO₂ and P₂O₅ are in the same group led to the formation of albite composite plagioclases containing Na and Al in the main. Group containing Au, Ag, Cu, Ba, V, Zn, NTE along with main oxides such as Fe₂O₃, MnO and CaO is explained by low temperature hydrothermal alteration that occurred as a result of the intrusion of granitoids after the Mudurnu formation. Hydrothermal solutions circulating in the volcanic rocks of the formation enabled the precipitation of the commonly observed silica instead of the weathered minerals and the Si-K group was active in this process. The factors affecting the changes in the Mudurnu formation are potassic alteration, phyllic alteration and secondary calcite formations due to contact metasomatism and sulphide mineralization.

The average values of SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃, 56.50%, 3.52%, 7.06%, 2.49%, 4.11%, 0.12%, 0.13%, 0.328%, 0.280%, 0.103% and 0.001% were determined from the analysis of samples taken from the Kaçkar granitoids. In addition, 106.5 and 96.4 ppm Cu was detected in two samples taken near the center of Bostancı and Esendal villages. Correlation analyses of Kaçkar granitoids show that all main oxides except SiO₂, K₂O and Cr₂O₃ are positively correlated with each other. The major component group is represented by chlorites, clay minerals and secondary calcites formed as a result of rock-forming minerals and alterations. Hydrothermal alteration group determined the silicification and porphyry type mineralization formed as a result of side rock reactions during the intrusion of the crustal origin igneous mass. Potassic alteration and phyllic alteration were determined as the factors affecting the changes in Kaçkar granitoids.

The average values of SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃, 60.86%, 3.42%, 5.75%, 2.31%, 3.71%, 0.118%, 0.14%, 0.233%, 0.12%, 0.09% and 0.003% were determined from the analysis of samples taken from the alteration samples. Cluster analyses of the alteration samples showed that the components were divided into two main groups: the main component group and the hydrothermal alteration group, which includes SiO₂, K₂O and important trace elements that make up the ore. It was determined that the hydrothermal alteration group represents alteration belts starting from potassic alteration to propylitic alteration ending with sulfidic phases.

Cu and Au values reaching up to 6.15% in some ore samples and Ag values reaching up to 45.6 ppm with 12.8 ppm Au show the porphyry-hydrothermal system that provides gold enrichment with porphyry Cu mineralization and Ag enrichment at points far from magma. As a consequence of the analysis of the ore sample taken from Esendal village center, it was determined that it contained 17.93 ppm molybdenum, 35.60 ppm lead and 2300 ppm (0.23%) zinc among the important trace elements and the averages with another ore sample evaluated were calculated as 9.76 ppm for molybdenum, 22.20 ppm for lead and 1747.5 ppm (0.175%) for zinc.

There is a significant potential for metallic minerals (copper, gold, silver, etc.) in the study area. It would be appropriate to conduct detailed mining geology and geochemical studies in the regional units to evaluate the economic potential.

Keywords: Artvin, copper, Eastern Pontides, gold, hydrothermal alteration, porphyry mineralization, sulphide mineralization

ÖNSÖZ

Bu çalışma da dahil olmak üzere diğer çalışmalarında ve haricinde her zaman desteğini gördüğüm, çalışmanın tüm süreçlerinde çok değerli bilgi ve birikimleri ile beni yönlendirip yol gösteren, güncel bilgi ve tecrübelerimi borçlu olduğum ve aynı zamanda bir mentor olarak gördüğüm çok değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Fetullah ARIK'a derin minnet ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın öncesinden bu yana manevi desteğini eksik etmeyen ve bu çalışma özelinde analizleri yapılan örneklerin hazırlanması için laboratuvar imkanlarından yararlanmamı sağlayan ve XRD analizlerinin yapılmasında destek olan çok değerli hocam Sn. Prof. Dr. Ahmet YILDIZ'a teşekkür ederim.

Bu çalışma süresince desteğini hiç esirgemeyen, benimle değerli bilgilerini paylaşan ve cevher mikroskobisi çalışma ve incelemelerinde kıymetli zamanını ayırarak yardımcı olan saygıdeğer hocam Sn. Doç. Dr. Yeşim ÖZEN'e ve petrografik incelemelerin yapılmasında yardımcı olan değerli hocam Sn. Dr. Öğr. Üyesi Gürsel KANSUN'a teşekkür ederim.

Bu çalışmada başlangıçtan itibaren değerli zamanını ayırarak haritalama çalışmaları ve petrografik incelemeler aşamasında bilgilerini paylaşan ve manevi olarak hiç desteğini esirgemeyen çok değerli çalışma arkadaşlarım Sn. Arş. Gör. Dr. Melikan AKBAŞ, Sn. Arş. Gör. Dr. Berkant COŞKUNER ve Sn. Arş. Gör. Arif Selçuk PEKÖZ'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın tamamlanması için maddi destek sağlayan Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarım sırasında yardımcı olan başta Jeoloji Mühendisi arkadaşım Mustafa ATAMAN olmak üzere tüm MTA Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğü, Artvin kamp ekibine teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen, tüm öğrenim sürecimde hep yanımda hissettiğim, varlıkları en büyük şansım olan saygıdeğer babam Ramazan DÜLGER'e, canım annem Firdevs DÜLGER'e ve çok değerli ağabeyim Uzm. Dr. Serdar DÜLGER'e sonsuz teşekkür ve sevgilerle...

Alper DÜLGER
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
ÇİZELGELER LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	1
1.2. Coğrafiik Özellikler	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1. Hazırlık Çalışmaları	9
3.2. Arazi Çalışmaları	10
3.3. Laboratuvar Çalışmaları	11
3.4. Rapor Yazımı	16
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	18
4.1. Genel Jeoloji	18
4.1.1. Bölgesel jeoloji	18
4.1.2. Stratigrafi	19
4.1.3. Yapısal jeoloji	40
4.2. Maden Jeolojisi	45
4.3. Jeokimyasal İncelemeler.....	50
4.3.1. Yusufeli formasyonu.....	51
4.3.2. Mudurnu formasyonu	62
4.3.3. Kaçkar Granitoyidi	71
4.3.4. Alterasyon jeokimyası	79
4.3.5. Esendal köyü Au-Cu cevherleşmesi	89
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
5.1 Sonuçlar	91
5.2 Öneriler	95
KAYNAKLAR	96

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	3
Şekil 2.1. Türkiye ve çevresinin tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999).	5
Şekil 2.2. Doğu Pontidler'in genel jeoloji haritası (Güven, 1993; Kurt ve ark., 2006)....	6
Şekil 3.1. Arazi çalışmaları sırasında örnek alımı ve uygulamaya aktarılması.....	10
Şekil 3.2. Arazi çalışmaları sırasında örnek alımı ve birim sınırlarının takibi.	11
Şekil 3.3. Arazi çalışmaları sırasında alınan numunelerin yerleri.....	13
Şekil 3.4. Numunelerin ince kesit ve parlatma kesit yapımına uygun hale getirilmesi..	14
Şekil 3.5. Numunelerin çeneli kırıcı ve halkalı değirmen kullanılarak öğütülüp paketlenmesi.....	15
Şekil 3.6. Shimadzu, XRD-600 cihazı ile XRD analizinin gerçekleştirilmesi.	15
Şekil 4.1. Çalışma alanın jeoloji haritası.	20
Şekil 4.2. İnceleme alanında yüzeyleyen birimlere ait stratigrafik dikme kesit (Ölçeksiz).	21
Şekil 4.3. Mudurnu formasyonundan genel bir görünüm (Esental köyü yolu).	22
Şekil 4.4. Mudurnu formasyonuna ait arazi görüntüleri (a,b,c; bazik volkanitler ve taze kırık yüzeyleri, d; boyutları 10-20 cm aralığında değişen lastik lav yapıları, e,f; birimler içerisinde kanal dolgusu şeklinde gözlenen ve kalınlıkları 3-4 cm kadar olan silis dolguları).....	23
Şekil 4.5. Mudurnu formasyonuna ait 5x büyütme ile çekilmiş ince kesit görüntüleri (a; albit ikizi gösteren plajiyoklaz, b; tek nikolde biyotit, c; silis dolguları ve yoğun plajiyoklaz, d; ikincil olarak oluşmuş opak mineraller, a ve c: +N, b ve d: //N).24	
Şekil 4.6. Mudurnu formasyonuna ait 5x büyütme ile çekilmiş ince kesit görüntüleri (a; ikincil olarak oluşmuş kalsit fenokristali, b; tek nikolde opak minerallerin yerleşimi sırasında bozunmuş biyotit, c; kalsit dolguları ve biyotit, d; ikincil olarak oluşmuş opak mineraller, a ve c: +N, b ve d: //N).	24
Şekil 4.7. Mudurnu formasyonu içerisinde alınan numunelerden yapılan XRD analiz grafiği.	25
Şekil 4.8. Mudurnu formasyonu içerisinde alınan numunelerden yapılan XRD analiz grafiği.	26
Şekil 4.9. Mudurnu formasyonunun Esental köy yolu üzerinde Yusufeli formasyonu ile olan sınırı.....	26
Şekil 4.10. Mudurnu formasyonunun silttaş üyesi (a, b; kahvems gri renkli kumtaşı, c, d; Mudurnu formasyonu ile geçişli silttaş üyesinin arazi görüntüleri).	27
Şekil 4.11. Öğdem formasyonunun arazi görüntüsü (a; kahvems kırmızı renkli kireçtaşları, b; volkanik kökenli çakıltaşları).	28
Şekil 4.12. Yusufeli formasyonunun arazi görüntüsü (a; Esental köy yolu üzerinden görünümü bazik seri, b; Bostancı köyü yolu üzerinden görünümü, asidik seri.).	29

- Şekil 4.13.** Yusufeli formasyonunun arazi görüntüleri (a; Esendal köy yolu üzerinden görünümü, b; açık gri-gri renkli taze kırık yüzeye sahip volkanik birim, c; yeşilimsi koyu gri renkli volkanik birim, d; c görselindeki birimin taze kırık yüzey görseli, e; yakın bölgelerinde cevherleşmenin de bolca gözleendiği ileri derece alterasyona uğramış (hematitleşme) sarımsı turuncu renkli zon, f; makro olarak da bolca pirit-kalkopirit kusmaları gözlenen, alterasyon zonlarına yakın bölgelerden alınan kayaç numunesi)..... 30
- Şekil 4.14.** Yusufeli formasyonuna ait 2,5x ve 5x büyütme ile çekilmiş ince kesit görüntüleri (a, b; epidotlaşan plajiyoklazlar, c; çift nikolde hamur fazı içindeki plajiyoklazlar, d; klinopiroksen ve ortopiroksen (Opx: ortopiroksen, Cpx: klinopiroksen), e; tipik kalsit görüntüsü, f; klinopiroksen, a, c, e: +N, b, d, f: //N). 32
- Şekil 4.15.** Yusufeli formasyonu içerisinde alınan numunelerden yapılan XRD analiz grafiği. 33
- Şekil 4.16.** Yusufeli formasyonuna ait 2,5x ve 5x büyütme ile çekilmiş ince kesit görüntüleri ve parlak kesit görüntüsü (a,b; kuvars ve sanidin fenokristali, yaygın opak mineralleri, c; alkali feldispat (AP) ve opak mineraller, d; kloritleşme, $e_{1,2}$; sanidin ve kuvars, $e_{3,4}$; kloritleşme, AP ve kuvars, f; üstten aydınlatma ile çekilmiş opak minerallerin (pirit, kalkopirit) parlak kesit görüntüsü, a, c, $e_{1,2}$: +N, b, d, $e_{3,4}$: //N)..... 34
- Şekil 4.17.** Yusufeli formasyonu içerisinde alınan numunelerden yapılan XRD analiz grafiği. 35
- Şekil 4.18.** Kaçkar granitoidlerinin araziden görünümü (Esendal köy yolu üzeri). 36
- Şekil 4.19.** Kaçkar granitoidlerinin arazi görüntüleri (a; Esendal köy yolu üzerinden görünümü, b; pembemsi gri-gri renkli taze kırık yüzeye sahip granitik kayaç, c; Boyalı köy yolu üzerinden görünümü, d; c görselindeki birimin taze kırık yüzey görseli, e; yakın bölgelerinde cevherleşmenin de bolca gözleendiği ileri derece alterasyona uğramış (hematitleşme) sarımsı turuncu renkli zon, f; altere olmamış kayaçların taze kırık yüzeyi.)..... 36
- Şekil 4.20.** Kaçkar granitoidlerine ait 2,5x büyütme ile çekilmiş ince kesit görüntüleri (a,b; grafik ve mirmekitik doku, c; plajiyoklaz ve ortoklaz, d; grafik doku ve kuvars, $e_{1,2}$; opak mineraller ve kloritleşme, $e_{3,4}$; plajiyoklaz ve kalsit, f; plajiyoklaz, kalsit ve AP, a, c, d, $e_{1,3}$, f: +N, b, $e_{2,4}$: //N)..... 38
- Şekil 4.21.** Kaçkar granitoidleri içerisinde alınan numunelerden yapılan XRD analiz grafiği. 39
- Şekil 4.22.** Mudurnu formasyonu ile Yusufeli formasyonu arasındaki tektonik sınır (Esendal köy yolu). 40
- Şekil 4.23.** Esendal köy merkezi civarında gözlenen yapısal unsur (a; eğimin güneydoğuya doğru ve dike yakın olduğu bölge, b; kayma çizikleri, c; kayma esnasında oluştuğu düşünülen alterasyon). 41
- Şekil 4.24.** Türkiye'deki porfiri tip yatakların dağılımı (Yiğit, 2009'dan düzenlenmiştir)..... 46
- Şekil 4.25.** Esendal köy merkezinde dere yatağı boyunca gözlenen sarımsı turuncu renkli alterasyon (hematitleşme, limonitleşme ve pirit-kalkopirit oluşumları).... 47

Şekil 4.26. Esendal köy merkezinde dere yatağı boyunca gözlenen birimlerden alınan yoğun pirit-kalkopirit içeren örnek.	47
Şekil 4.27. Yusufeli formasyonuna ait kayaç örneği içerisinde bulunan plajiyoklazların epidotlaşması, 5x büyütme, (a: +N, b: //N).	48
Şekil 4.28. Genellikle biyotitlerde gözlenen kloritleşme, alkali feldispat (AP), kuvars ve muhtemel pirit saçınımları, 2,5x büyütme, (a: +N, b: //N).	48
Şekil 4.29. Yusufeli formasyonuna ait kayaç örneği içerisinde bulunan tipik kalsit ve klinopiroksen (Cpx), 2,5x büyütme, (a: +N, b: //N).	48
Şekil 4.30. Esendal Köyü alterasyon zonundan alınan örneklerden hazırlanan ince kesitlerde kuvars ve alkali feldispatlarla (AP) birlikte bulunan opak mineral (pirit-kalkopirit) saçınımları, 2,5x (a: +N, b: //N).	49
Şekil 4.31. Esendal Köyü alterasyon zonundan alınan örneklerden hazırlanan parlak kesitlerde; a) Pirit, kalkopirit ve çok düşük oranda molibdenit, b) Piritlerin arasında gözlenen hematit, 20x büyütme, (+N).	49
Şekil 4.32. Parlak kesitte pirit, kalkopirit, dijenit, 20x büyütme, (a; kalkopirit ve piritin sınırında gözlenen bakır oksit minerali (dijenit), b; pirit, kalkorit (+N)).	50
Şekil 4.33. Parlatma kesitte pirit, kalkopirit ve molibdenit, 20x büyütme, (a; kalkopirit, pirit ve içerisinde molibdenit kapanımı, b; pirit ve molibdenit (+N)).	50
Şekil 4.34. Yusufeli formasyonundan alınan örneklere ait küme analizi dendrogramı.	58
Şekil 4.35. Yusufeli formasyonundan alınan örneklere ait ilk altı faktörde bileşenlerin faktör yük dağılım grafikleri.	61
Şekil 4.36. Mudurnu formasyonundan alınan örneklere ait küme analizi dendrogramı.	68
Şekil 4.37. Mudurnu formasyonundan alınan örneklere ait ilk üç faktörde bileşenlerin faktör yük dağılım grafikleri.	70
Şekil 4.38. Kaçkar Granitoidlerinden alınan örneklere ait küme analizi dendrogramı.	77
Şekil 4.39. Kaçkar granitoidlerinden alınan örneklere ait ilk iki faktörde bileşenlerin faktör yük grafikleri.	79
Şekil 4.40. Alterasyon örneklerine ait küme analizi dendrogramı.	85
Şekil 4.41. Alterasyon numunelerine ait ilk 7 faktörde bileşenlerin faktör yük grafikleri.	88

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. Çalışma alanından alınan örneklerin koordinatları ve yapılan analizlerin listesi.	12
Çizelge 4.1. Yusufeli formasyonundan alınan numunelere ait istatistiksel özetler (Ana oksitler %, diğer bileşenler ppm, A.O.: Aritmetik Ortalama, S.H.: Standart Hata, S.S.: Standart Sapma; t_t : Tablo t değeri 2.45, t_h : Hesaplanan t değeri, μ_1 : Anakitle aritmetik ortalaması alt sınırı, μ_2 : Anakitle aritmetik ortalaması üst sınırı)	53
Çizelge 4.2. Yusufeli formasyonundan derlenen numunelere ait basit korelasyon katsayıları.....	56
Çizelge 4.3. Derlenen Yusufeli formasyonuna ait numunelerin faktör analizinde ilk 6 faktörün değişime etkisi ve toplam değişim içindeki payları.	59
Çizelge 4.4. Mudurnu formasyonundan alınan numunelere ait istatistiksel özetler (ana oksitler %, diğer bileşenler ppm, A.O.: Aritmetik Ortalama, S.H.: Standart Hata, S.S.: Standart Sapma; t_t : Tablo t değeri. 3.18, t_h : Hesaplanan t değeri, μ_1 : Anakitle aritmetik ortalamasının alt sınırı, μ_2 : Anakitle aritmetik ortalamasının üst sınırı)	64
Çizelge 4.5. Mudurnu formasyonundan derlenen numunelere ait basit korelasyon katsayıları	66
Çizelge 4.6. Mudurnu formasyonundan derlenen numunelerin faktör analizinde ilk 3 faktörün değişime etkisi ve toplam değişim içindeki payları.	69
Çizelge 4.7. Kaçkar granitoyidlerinden alınan numunelere ait istatistiksel özetler (t_t : 4.30, ana oksitler %, diğer bileşenler ppm, A.O.: Aritmetik Ortalama, S.H.: Standart Hata, S.S.: Standart Sapma; t_h : Hesaplanan t değeri, μ_1 : Anakitle aritmetik ortalaması alt sınırı, μ_2 : Anakitle aritmetik ortalaması üst sınırı).	72
Çizelge 4.8. Kaçkar granitoyidlerinden derlenen numunelere ait basit korelasyon katsayıları.....	75
Çizelge 4.9. Kaçkar granitoyidlerine ait numunelerin faktör analizinde ilk 2 faktörün değişime etkisi ve toplam değişim içindeki payları.	78
Çizelge 4.10. Alterasyon jeokimyası için toplu istatistiksel özetler (Ana oksitler %, diğer bileşenler ppm, A.O.: Aritmetik Ortalama, S.H.: Standart Hata, S.S.: Standart Sapma; t_t : Tablo t değeri 2.16, t_h : Hesaplanan t değeri, μ_1 : Anakitle aritmetik ortalaması alt sınırı, μ_2 : Anakitle aritmetik ortalaması üst sınırı)	81
Çizelge 4.11. Alterasyon örneklerine ait basit korelasyon katsayıları.....	83
Çizelge 4.12. Alterasyon numunelerinin faktör analizinde ilk 7 faktörün değişime etkisi ve toplam değişim içindeki payları.	86
Çizelge 4.13. Cevherli numunelere ait istatistiksel özetler (ana oksitler %, diğer bileşenler ppm, A.O.: Aritmetik Ortalama, S.H.: Standart Hata).	90

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Jb: Berta formasyonu
Jm: Mudurnu formasyonu
Jms: Mudurnu formasyonu silttaşı üyesi
JKö: Öğdem formasyonu
KTK: Kaçkar Granitoyidi
Kyy: Yusufeli formasyonu
Qa: Alüvyon
t_h: Hesaplanan t değeri

t_t: Tablo t değeri
μ_m: Mikronmetre
μ₁: Anakitle aritmetik ortalaması alt sınırı
μ₂: Anakitle aritmetik ortalaması üst sınırı
Å: Angström
+N: Çift nikol (Çapraz nikol)
//N: Tek nikol (Paralel nikol)

Kısaltmalar

ANTE-HREE: Ağır nadir toprak elementleri
A.O.: Aritmetik ortalama
A.P.: Alkali feldispat
CBS: Coğrafi bilgi sistemleri
Cpx: Klinopiroksen
Ç.N.: Çift nikol
frm: Formasyon
GPS: Küresel Konumlandırma Sistemi
HNTE-LREE: Hafif nadir toprak elementleri
IAESZ: İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu
ICDD: International Center for Diffraction Data

ICP-MS: İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma-Kütle spektrometresi
IUGS: International Union of Geological Sciences
LOI: Loss on ignition
MTA: Maden Tetkik ve Arama
NTE-REE: Nadir toprak elementleri
Opx: Ortopiroksen
Plg: Plajiyoklas grubu
S.H.: Standart hata
S.S.: Standart sapma
VMS: Volkanojenik masif sülfid yatakları
X-RD: X ışını kırınım yöntemi
ΣNTE: Bütün nadir toprak elementleri toplamı

1. GİRİŞ

1.1. Amaç

Geçmişten günümüze toplumların kalkınma ve gelişmişlik seviyelerinin en önemli ölçütleri olarak kabul edilen sanayi, enerji, inşaat, gıda ve tarım sektörlerinin ana hammaddeleri doğal kaynaklar yani madenlerdir. Gündelik yaşamda kullanılan birçok malzeme ile birlikte yapılarda kullandığımız kumdan çimentoya, alçıdan demire, seramikten mermere, soframızdaki tuzdan içtiğimiz suya, taşıtlarımızın kaportasından yakıtına, ısınma ihtiyaçlarımızdan süs taşlarına, kaldırım taşından mezar taşına; kısacası beşikten mezara kadar en temel ihtiyaçlarımız için kullandığımız malzemelerin büyük bir çoğunluğu ham, ara ürün veya uç ürün olarak madenlerden elde edilmektedir. Maden ve enerji kaynakları insanlık tarihi boyunca daima önemli olmuştur (Arık, 2005).

Madenlerimizin etkin ve verimli bir şekilde Ülke ekonomisine kazandırılabilmesi için bilimsel bilgi, yatırım ve yatırım riski, istihdam, katma değer, teknoloji ve koordinasyon parametrelerini, çevresel, tarımsal, kültürel ve diğer doğal kaynakları gözeten, madencilik faaliyetlerinde rol alan bütün tarafların söz ve karar sahibi olduğu, aramadan üretime, pazarlamadan terk edilmesine kadar bütün madencilik aşamalarında kamu yararını gözeten bir Milli Madencilik Politikasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Türkiye maden kaynaklarının çeşitliliği bakımından zengin olup Ülkemizin jeolojik özellikleri daha çok küçük-orta rezervli maden yataklarının oluşumuna imkân sağlamaktadır. Başta bor ve trona olmak üzere, toryum, linyit, mermer, manyezit, nadir toprak elementleri, zeolit, barit, feldispat ve sodyum sülfat gibi enerji ve endüstriyel hammaddelerde dünya ile rekabet edebilir krom, alüminyum, demir, bakır, kurşun-çinko vb. metalik madenlerde ise yerli sanayiye yetecek rezervlere sahip olduğumuz bilinmektedir (Arık ve Öztürk, 2011). İşletilip, üretim yapılan maden yataklarımız ülkemizdeki sanayinin farklı kollarının hammadde ihtiyacını karşıladığı gibi yurt dışına ihraç edilerek ekonomiye önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Metalik maden yataklarımızın önemli bir bölümü genellikle ülkemizin kuzeyinde yer alan Doğu Pontidler tektonik birliği içerisinde yer almaktadır.

Çalışma alanı Türkiye'nin tektonik birlikleri arasında yer alan Doğu Pontidlerin kuzey zonu içerisinde bulunmaktadır. Doğu Pontidler, gerek jeodinamik evrimi açısından gerekse içerdiği Kuroko-tipi VMS (volkanojenik masif sülfat) yatakları

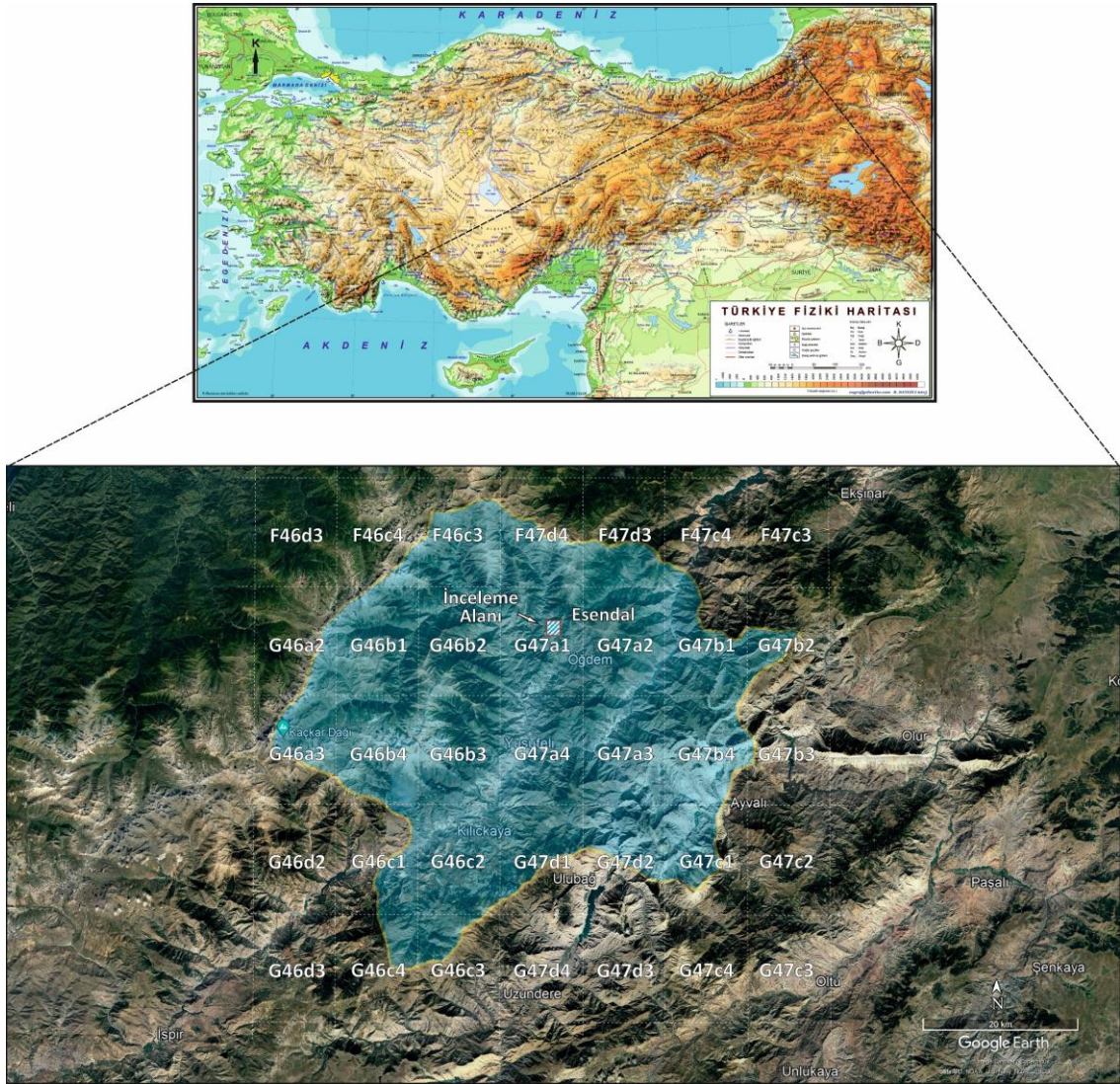
(Lahanos, Çayeli, Murgul Cu-Zn yatakları) açısından geçmişte birçok yer bilimcinin ilgisini çekmiş ve ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Doğu Pontidlerin jeotektonik konumu ve bir magmatik yay niteliğinde olması, bölgeye metalojenik provens niteliği kazandırmıştır. Bu tektonik birlikte bulunan Geç Kretase ve özellikle Eosen yaşlı volkanitlerde gözlenen hidrotermal alterasyonlar ile Şebinkarahisar batısından başlayıp, doğu yönünde Gümüşhane üzerinden Bayburt kuzeyi ve İspir-Yusufeli yönünden Olur'a kadar uzanan kuşaktaki yaygın alterasyonlar oldukça önem taşımaktadır. Günümüzde, bölge hem Geç Kretase yaşlı dasitik - riyolitik volkanizma ile ilişkili Kuroko-tipi yataklar, hem de Geç Kretase – Eosen yaş aralığında farklı yaştaki magmatik sokulumlarla ilişkili oluşan porfiri, skarn ve epitermal tip cevherleşmeler nedeni ile birçok yer bilimcinin ve madencilik sektörünün çalışmalar yaptıkları bölgeler arasında yer almaktadır. Bu kuşak üzerinde özellikle yabancı şirketler yoğun bir şekilde çalışmalar yapmış olup Yusufeli-Çevreli ve Çamkerten Yöresi çevresinde dikkate değer sonuçlar elde etmişlerdir.

Esendal (Artvin/Yusufeli) Köyü çevresinde yer alan çalışma alanında temeli Liyas yaşlı silttaşı, marn ve yine aynı yaşa sahip bazalt-andezit, lav ve piroklastiklerle temsil edilen birimler oluşturmaktadır. Bu birimlerin üzerine andezit, lav ve piroklastikler tektonik dokanakla gelirken, daha çok riyolitik bileşimli lav ve piroklastikler ve bu birimlerle geçişi olan mikritik-tüflü kireçtaşları gelmektedir. Diyorit, monzodiyorit, monzonit ve monzosiyenit bileşimli plütonik kayalardan oluşan birimler ise bütün birimleri keserek yüzeylemektedir.

Bu çalışmada Esendal (Yusufeli - Artvin) Köyü çevresinde jeolojik haritanın güncellenerek, derlenen yeterli sayı ve nitelikte yan kayaç ve alterasyon numunesi üzerinde yapılan mineralojik-petrografik ve jeokimyasal analizler sonucunda yöredeki Üst-Kretase-Paleojen magmatizmasına bağlı cevherleşmelere ait veriler elde edilerek yörenin muhtemel metal cevherleşmesi potansiyelinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.2. Coğrafi Özellikler

Çalışma alanı Artvin ili Yusufeli ilçesine bağlı Esendal, Boyalı ve Bostancı Köyleri arasında yaklaşık 30 km²'lik bir alanı kapsamakta olup 1/25000 ölçekli Tortum G47-a1 paftasının kuzeyinde ve Artvin F47-d4 paftasının güneyinde yer almaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Alan Artvin il merkezinin 76 km güneybatısında ve Yusufeli ilçesinin yaklaşık 16 km kuzeyinde bulunmakta olup bölgeye ulaşım Erzurum-Artvin karayolu üzerinden Yusufeli ilçesine ve Yusufeli ilçesinden kuzeye 21 km'lik bir yol ile sağlanmaktadır. Çalışma alanı Çoruh Nehri ile Barhal Çayı'nın birleştiği vadiye yakın konumdadır. Doğusunda Erzurum ili Olur ve Oltu ilçeleri, güneyinde Erzurum ili Tortum, Uzundere ve İspir ilçeleri, batısında Rize ili Çamlıhemşin ve Ardeşen ilçeleri, kuzeyinde ise Artvin merkez ve Murgul ilçeleri yer almaktadır.

Çalışma alanının bulunduğu Artvin ili Karadeniz kıyısına paralel olan Doğu Karadeniz Dağları'nın il içerisinde uzantıları olan Kükürtlü, Kaçkar, Altıparmak ve İskaristi Dağları bulunmakta olup bu morfoloji üzerinde çok sayıda tepe yer almaktadır. Batıdan doğuya doğru uzanan Kaçkar Dağı 3937 m yüksekliğindedir. İlde Arhavi ve

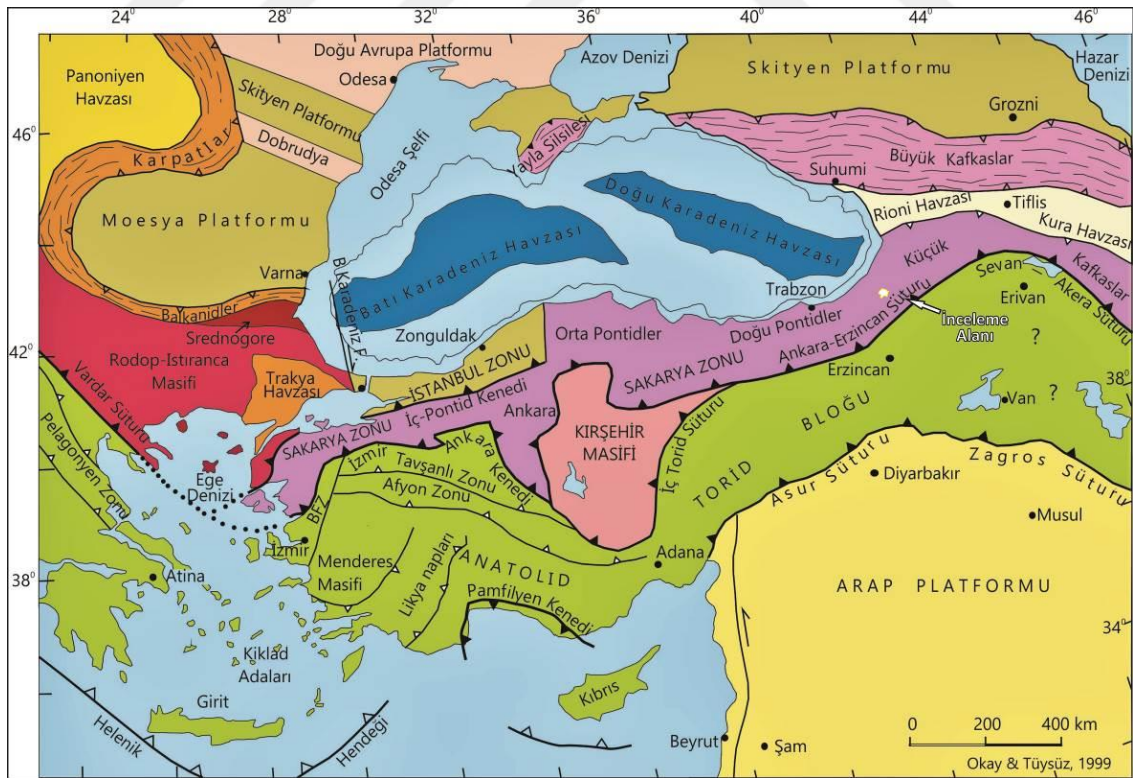
Hopa ilçelerinde bulunan alüvyal düzlükler hariç ova niteliğinde düz alanlar bulunmamaktadır.

Artvin bulunduğu bölgenin en değişken iklim özelliği gösteren ilidir. Kıyı kesim ile dağlık alanların arasında bulunan bölgede her mevsim bol yağışlı tipik Karadeniz iklimi hakimken, Ardanoç ve Yusufeli ilçelerinde ise Karasal iklim ile Akdeniz ikliminin bazı özellikleri ortak olarak gözlenmektedir. Artvin ili çok engebeli bir topografyaya sahip olup bu alanlar ormanlar ile kaplıdır. Ormanlarda genellikle yaygın olarak sarıçam, kavak, söğüt, ladin, kayın, göknar, meşe, kestane, gürgen, akçaağaç gibi ağaç türleri bulunmaktadır. İl sınırları içerisinde Çoruh Nehri'nin kolları ve Karadeniz'e dökülenler dahil 30 kadar akarsu bulunmaktadır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

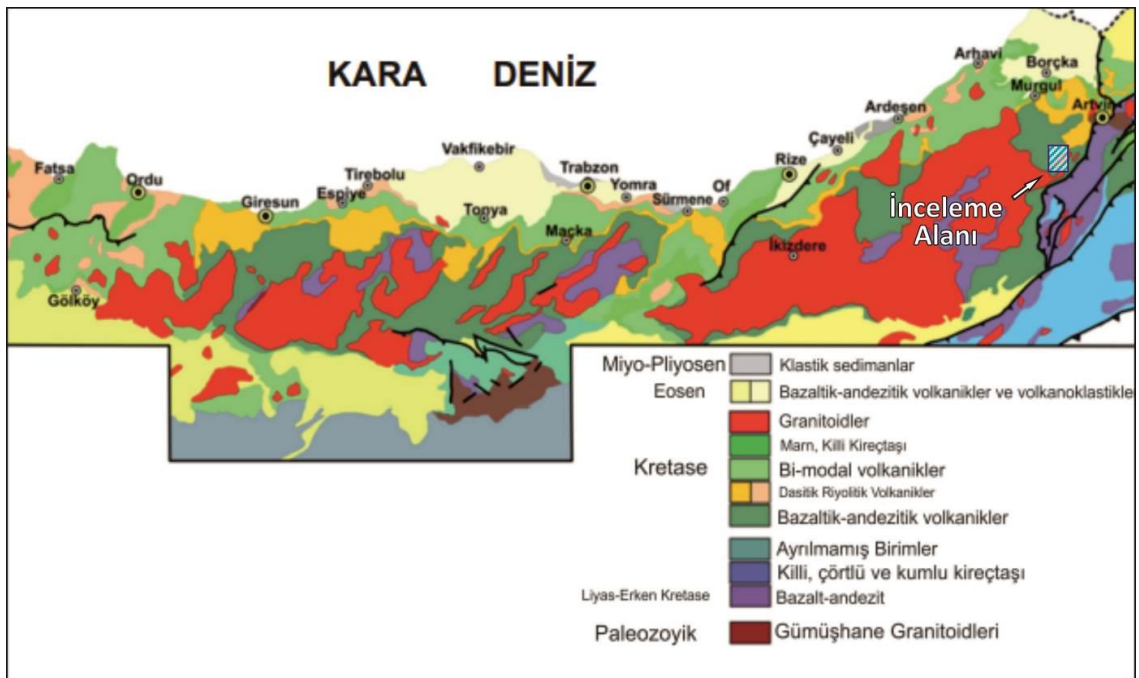
İnceleme alanı Ketin (1966) tarafından Türkiye için tanımlanan dört ana tektonik birlikten Pontidler içinde yer almakta olup Okay ve Tüysüz (1999) Türkiye ve çevresinin tektonik haritasını oluşturmuşlardır (Şekil 2.1). İnceleme alanının içinde bulunduğu Doğu Karadeniz Bölgesinde Üst Kretase-Paleosen döneminde Anatolid ve Pontid tektonik birliklerini yaklaştıran Neo-Tetis okyanusunun kuzey kolunun kapanması sonucunda İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu (IAESZ) oluşmuştur (Okay ve Tüysüz, 1999; Şekil 2.1). Erken Eosen döneminde Pontid tektonik bloğu ile Anatolid Toridler ve bununla beraber Orta-Anadolu Kristalen Masifi'nin çarpışmasıyla suturelaşma süreci gelişimini tamamlamıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Bu çarpışma ile Erken Eosen döneminde Anadolu'daki bütün tektonik bloklarda aşınmalar meydana gelmiştir (Okay ve Tüysüz, 1999). Çarpışma ile eş zamanlı olarak Geç Paleosen-Erken Eosen döneminde, IAESZ'nun orta ve doğu kesiminin güneyinde adakitik magmatizma gelişmiştir (Topuz ve ark., 2005; Eyüboğlu ve ark., 2011; Karlı ve ark., 2011). Bu dönemden sonra gelen Orta Eosen döneminde ise kalk-alkali ve alkali magmatizma yaygınlaşmıştır (Keskin ve ark., 2008).



Şekil 2.1. Türkiye ve çevresinin tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999).

Jeolojik olarak bölgede bulunan Karadeniz sıradağları ilk kez Hamilton (1842) tarafından Pontid olarak tanımlanmıştır. Doğu Pontidler, farklı araştırmacılar tarafından; kuzey zon, orta zon ve güney zon (Gattinger, 1956); kuzey zon ve güney zon (Şekil 2.2), (Arni, 1939; Bektaş ve ark., 1987; Güven, 1993; Kurt ve ark., 2006), kuzey zon, güney zon ve eksen zonu (Bektaş ve ark., 1995), Hopa-Borçka, Artvin-Yusufeli ve Olur-Tortum zonu (Konak ve ark., 2001) gibi bölümlere ayrılmıştır. İnceleme alanı ise bu tanımlamalara göre kuzey zonda, Konak ve ark. (1991, 2001)'nin yapmış olduğu tanımlamaya göre ise Artvin-Yusufeli zonunda yer almaktadır.

Doğu Pontidler gerek jeodinamik evrimi açısından gerekse içerdiği Kuroko-tipi VMS (volkanojenik masif sülfür) yatakları (Lahanos, Çayeli, Murgul Cu-Zn yatakları) açısından geçmişte birçok yer bilimcinin ilgisini çekmiştir (Arni, 1939; Çağatay ve Boyle, 1977; Şengör ve ark., 1981; Gedik ve ark., 1992; Çağatay 1993; Okay ve Şahintürk, 1997a, b; Yılmaz ve ark., 1997; Gökçe ve Spiro 2000; Boztuğ ve ark., 2001; Eyüboğlu ve ark., 2014). Günümüzde, bölge hem Geç Kretase yaşlı dasitik-riyolitik volkanizma ile ilişkili Kuroko-tipi yataklar, hem de Geç Kretase – Eosen yaş aralığında farklı yaştaki magmatik sokulumlarla ilişkili oluşan porfiri, skarn ve epitermal tip cevherleşmeler nedeni ile birçok yer bilimcinin ve madencilik sektörünün ilgisini çekmektedir.



Şekil 2.2. Doğu Pontidler'in genel jeoloji haritası (Güven, 1993; Kurt ve ark., 2006).

Pontid kuşağının jeodinamik evrimi ile ilgili farklı görüşler bulunmaktadır. Doğu Pontidler’de yitimin Paleozoyik’ten Eosen’e kadar kuzeyden güneye doğru (Dewey ve ark., 1973; Eyüboğlu ve ark., 2007), Paleozoyik’ten Eosen sonuna kadar kuzeye doğru (Adamia ve ark., 1977; Ustaömer ve Robertson, 1996) ve Paleozoyik’ten Orta Jura’ya kadar güneye, Geç Kretase’dan Eosen sonuna kadar ise kuzeye doğru (Okay ve Şahintürk, 1997b; Şengör ve Yılmaz 1981) olduğu ileri sürülmüştür. Doğu Pontidler’de, Paleozoyik temel üzerinde ilk transgresyonun Liyas’ta başladığı (Okay ve Şahintürk, 1997a; Ustaömer ve Robertson, 2010) ve Pontidler ve Anatolid-Toridler arasındaki çarpışmanın Paleosen-Erken Eosen döneminde gerçekleşmiş olduğu belirtilmiştir (Ustaömer ve Robertson, 1996; Okay ve Şahintürk, 1997a, b). Çarpışma ile birlikte bazı araştırmacılar Doğu Pontidler’i naplı yapılara ayırarak incelerken (Akdeniz, 1988; Akdeniz ve ark., 1994; Konak ve ark., 1991-2001), bazı araştırmacılar da tektonik dilimlere ayırmışlardır (Uğuz ve ark., 2011; Duygu ve ark., 2013). Uğuz ve ark. (2011) bu tektonik dilimlerin kuzeyden güneye doğru hareket ettiğini ileri sürmüştür.

Doğu Pontidler’de farklı yaş aralıklarında farklı bileşimde magmatik faaliyetler meydana gelmiştir. Bunlardan; Erken Kretase yaşlı orta potasyumlu kalkalkalen bileşimdeki granitoidlerin (Çamlıkaya) erken yayı; Geç Kretase-Erken Paleosen yaşlı orta-yüksek potasyumlu kalkalkalen granitoidlerin (Sırtayla ve Marselavat) olgun yayı; Paleosen yaşlı lökogranitin (Asniyar) çarpışma dönemini; yüksek potasyumlu kalkalkalen mikrogranitlerin (Ayder ve Samistal) çarpışma sonrasını; az alkali monzonit (Güllübağ), orta potasyumludan az toleyitiğe kadar uzanan kuvars monzodiyorit (Halkalıtaş), düşük potasyumlu toleyitik gabro (Ardeşen) ve diyabazın (İsina) ise Geç Eosen yaşlı gerilme dönemini temsil ettiği ileri sürülmüştür (Boztuğ ve ark., 2001). Ayrıca, Kovenko (1943), İğdır (1971) ve Gedik ve ark. (1992)’da Doğu Pontidler’deki Geç Kretase volkanizmasının asidik ve bazik karakterli olduğunu belirtmiştir.

Rabayrol ve ark. (2023), daha önce derlenen verilerle birlikte yorumladığı U-Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ve Re-Os jeokronolojik sonuçlara göre, Artvin bölgesindeki magmatizmanın Karbonifer (358-325 My), Jura (182-174 My), Geç Kretase (92-78 My), Eosen (51-40 My) ve Oligosen’de (30 My) oluştuğunu belirtmişlerdir.

Aslaner (1977), “Türkiye Bakır - Kurşun - Çinko Yataklarının Jeolojik ve Bölgesel Sınıflamasıyla Plaka Tektoniği Yönünden İncelenmesi” adlı kitabında Murgul yatağını 1. tip yatak olarak tanımlamış ve bu yatakların volkanojenik domlarla ilişkisi

halinde olduğunu belirtmiş olup bu yatakların zengin olan masif sülfid kütlesinin etrafında genellikle stokvork tipinde ve dışta ise dissemine bir cevher ile çevrili olduğunu ifade belirtmiştir. Ayrıca, Van (1990) yapmış olduğu çalışmada, Artvin bölgesindeki tüm masif sülfid cevherleşmelerinin magmatik hidrotermal kaynaklı olduğunu ortaya koymuştur.

Bölgede metalik cevherleşmeler ve yatakların oluşumları ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Gümüşhane Köyü (Artvin-Ardanuç) yöresinde çalışan Gündüz (1999) bölgede kuvars porfir birimi içerisinde gelişen porfiri Cu-Au cevherleşmesi ve sokulumun dokanak kısımlarında bulunan kireçtaşı bloklarında karbonat ornatımı ile gelişmiş olan metazomatik tip Cu, Au, Pb, Zn, Mn $\pm$ Ag cevherleşmesi olmak üzere iki farklı tipte cevherleşmenin olduğunu belirtmiştir.

Murgul masif sülfid yatağının jeolojisi, jeokimyası ve oluşumunu araştıran Tüysüz (2000), yatakta framboidal pirit, sfalerit ve galenitin siyah cevheri, kalkopirit, tetrahedrit ve bornitin ise sarı cevheri oluşturduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacı süperjen süreçlerle bornit, kovellin ve dijenitin kalkopiritin yerini almasıyla özellikle Bognari sahasında Cu içeriğinde yersel zenginleşmeler meydana geldiğini belirtmiştir.

Murgul bakır yatağında araştırmalar yapan Gökçe (2001), Çakmaklı ve Damarköy sahalarında sıvı kapanımı, oksijen ve hidrojen izotopları jeokimyası uygulayarak bu yatakların oluşum koşullarını ve ortamlarını incelemiştir. Cevherleşmenin volkano-sedimanter istifin oluşumu sırasında gelişmiş olan hidrotermal çözeltilerin taşıdıkları ürünlerin büyük bir kısmını breşleşmiş dasit tuf birimi içinde gelişmiş kılcal çatlaklar boyunca, çok az bir kısmını ise deniz tabanına boşaltmaları şeklinde oluştuğunu ve sülfürlü mineraller içindeki kükürtün magmatik kökenli olduğunu belirtmiştir. Bu hidrotermal çözeltiler içindeki suyun büyük bir kısmının meteorik kökenli, az bir kısmının ise deniz suyu kökenli olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca oluşum ortamının kenarlarında bulunan karalardan derinlere sızarak ısınmış meteorik suların, geri yükselirken volkano-sedimanter istif içindeki volkanik kayalardan metal ve kükürt iyonlarını çözdüklerini belirtmiştir.

Bölgede yapılan çalışmalar da dikkate alındığında Esenalı Köyü'nün (Yusufeli-Artvin) içerisinde bulunduğu kuşağın önemli metal cevherleşmelerine ev sahipliği yapıyor olması ve bu zenginleşmelerin ülkemizde de araştırılmaya değer konular arasında yer alıyor olması bu yüksek lisans tez çalışmasının önemini arttırmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanan ve inceleme alanının metalik cevherleşme potansiyelini ortaya koymayı amaçlayan bu çalışma; Artvin ili Yusufeli ilçesi Esendal köyü civarında yaklaşık 30 km²'lik bir alanı içine kapsamakta olup, bölgede yapılan daha önceki çalışmaların incelendiği hazırlık çalışmaları ile başlayan süreci takiben örnek alımı ve bölgenin jeolojisinin ortaya konması amacı ile yapılan arazi çalışmaları, alınan örneklerin derlenip mineralojik – petrografik ve jeokimyasal analizlere hazırlandıktan sonra laboratuvara gönderilerek gerçekleştirilen çalışmalar ve son olarak da elde edilen bütün sonuçların değerlendirildiği rapor yazımı çalışmaları süreçleri izlemiştir.

3.1. Hazırlık Çalışmaları

Arazi çalışmaları süreci planlanmadan önce gerek çalışma alanının içinde bulunduğu gerekse bu alana yakın bölgelerde yapılan jeolojik, tektonik, petrografik, jeokimyasal ve maden yatakları çalışmaları derlenmiştir.

Derlenen çalışmalar doğrultusunda inceleme alanından yapılacak olan örneklemeler ve jeolojik haritanın hazırlanması için arazi planlaması yapılmış olup yine arazi çalışmaları öncesi bölgenin çeşitli ölçeklerdeki (1/25000, 1/100000) jeoloji haritaları ve Artvin ili, Yusufeli ilçesi, Esendal köyü civarını içine alan bölgenin 1/25000 ölçekli (G47-a1 ve F47-d4) topoğrafik haritaları temin edilmiştir. Hem jeolojik hem de topoğrafik haritalar CBS programı yardımıyla sayısallaştırılmış ve çalışmalar esnasında kullanılmak üzere tablet/telefon uygulamasına entegre edilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında kullanılacak olan arazi defteri, alınan örneklerin CBS ortamına aktarılmasını kolaylaştırmak için kullanılacak uygulama ve uygulamayı çalıştıracak tablet bilgisayar/taşınabilir telefon, jeolog pusulası, jeolog çekici, numune torbaları, kurşun kalem, renkli kalem ve asetat kalemi, etiket ve el tipi GPS gibi araç gereçler hazırlanarak bir sonraki aşamaya geçilmiştir.

3.2. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları için Artvin iline 2022 yılının Eylül ayı başlangıcında gidilmiş olup, çalışmalar esnasında kapsamlı bir şekilde jeolojik birimlerin sınır takibi, net olarak gözlemlenebilen bazı bölgelerde birimlerin tektonik ilişkilerini ortaya koyacak şekilde kesitlerin hazırlanması, çalışma alanı içerisinde kalan birimlerin litolojik tanımlamaları, sistematik örnek alımı ve alınan örneklerin makro olarak gözlemlenebilen özelliklerinin arazi defterine aktarımı, örnek alımı yapılan noktaların tablet/telefon uygulamasında koordinat girilerek işaretlenmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Arazi çalışmaları sırasında örnek alımı ve uygulamaya aktarılması.

Daha önceki yıllarda hazırlanan jeolojik haritalardaki formasyon sınırları arazi çalışmaları sırasında sınır takibi yapılarak gözlenmiş ve gerekli güncellemeler yapılmıştır (Şekil 3.2). Bölgede bulunan farklı jeolojik birimlere ait tabaka konumları, kırık düzlemleri vb özellikleri jeolog pusulası yardımıyla ölçümler yapılarak kıvrımlı ve kırıklı yapılar incelenmiş ve önceden sayısallaştırılan harita üzerinde işaretlenmiştir.

Jeolojik birimlerin sınır gözlemleri ve haritalama çalışmaları yapılırken inceleme alanı içerisinde kalan ve yüzeyde takibi yapılabilen farklı litolojik özelliklere sahip birimlerin mineralojik-petrografik özelliklerinin belirlenmesi, kayaç adlama çalışmalarının gerçekleştirilmesi, jeokimyasal analizlerinin yapılabilmesi amacıyla ince kesit, parlak kesit, XRD (X-ışını difraksiyon) ve ICP-MS analizleri için uygun 69 adet numune toplanmıştır. Toplanan numuneler bazı bölgelerde kayaçların taze kırık

yüzeylerinden, bazı bölgelerde ise alterasyon zonlarından alınmış olup yerinde ve el örneklerinde yapılan gözlemler not edilerek numunelerin alındığı noktalardan yeterli sayıda fotoğraf çekilmiştir.



Şekil 3.2. Arazi çalışmaları sırasında örnek alımı ve birim sınırlarının takibi.

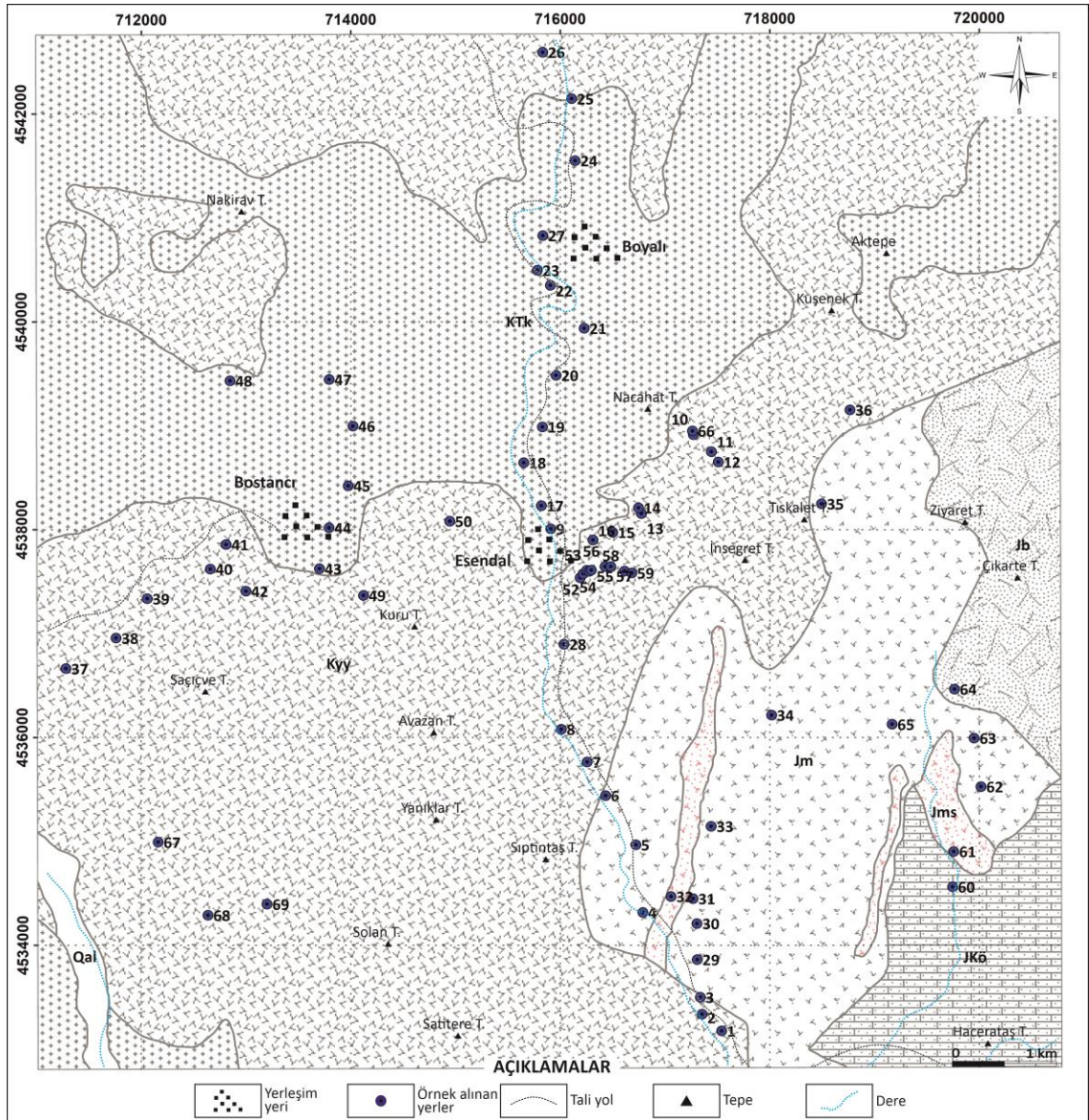
3.3. Laboratuvar Çalışmaları

Arazi çalışmaları esnasında alınan numunelerin yerlerini gösteren harita ve yapılan analizleri içeren çizelge hazırlanmıştır (Çizelge 3.1; Şekil 3.3). Numunelerin mineralojik-petrografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla toplam 69 adet numuneden ince kesit yapımına uygun ve farklı birimleri temsil edecek şekilde 26 adet numune ve makro olarak incelendiğinde cevherleşme gözlenebileceği düşünülen numunelerden parlak kesit yapımına uygun 10 adet numune seçilerek analizlere uygun hale getirilmiştir (Çizelge 3.1).

Yapılacak olan analizler için numuneleri hazırlama işlemi, Konya Teknik Üniversitesi Süstaşı İşleme Atölyesi içerisinde bulunan 15-20 cm çapına sahip elmas emprenye bıçaklı ve su soğutmalı dilimleme makinaları ile 5-10 cm kalınlığında bloklar şeklinde kesilerek gerçekleştirilmiştir (Şekil.3.4).

Çizelge 3.1. Çalışma alanından alınan örneklerin koordinatları ve yapılan analizlerin listesi.

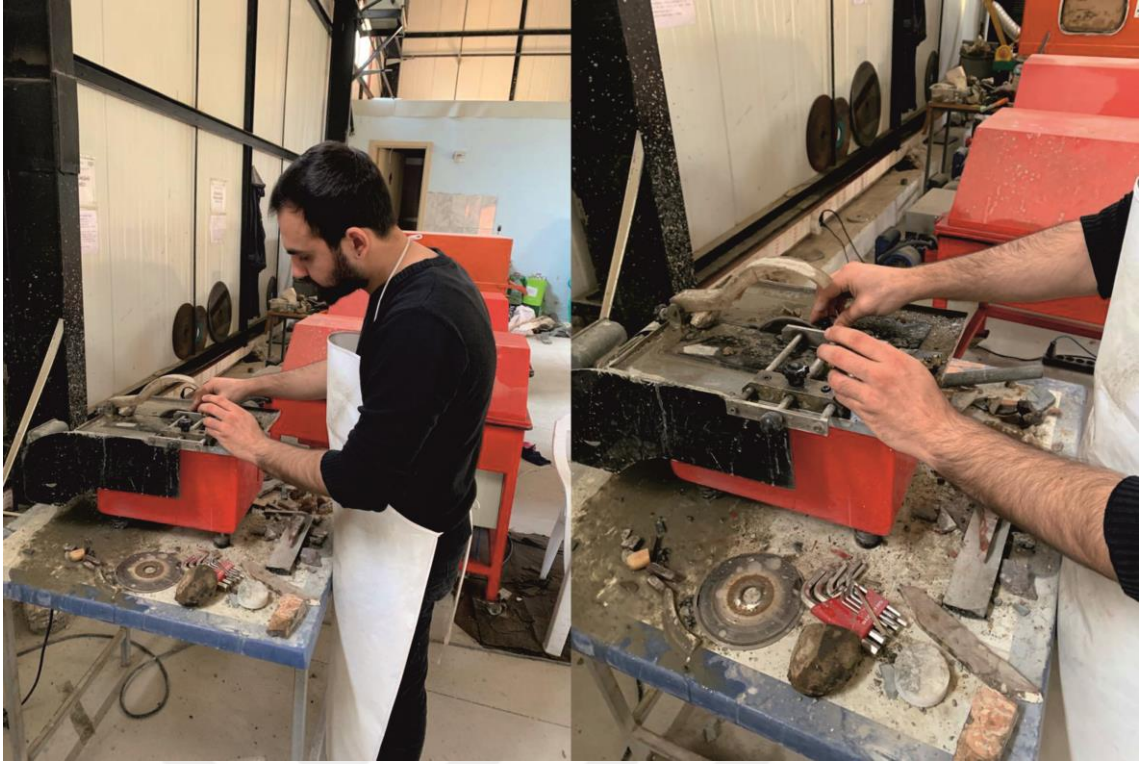
No	Koordinatlar		Mineralojik-Petrografik Analizler			Kimyasal Analizler ICP-MS (16 adet)
	X	Y	İnce Kesit (26 adet)	Parlak Kesit (10 adet)	XRD (20 adet)	
1	717540.0	4533177.0				
2	717353.0	4533338.0				
3	717336.0	4533501.0				
4	716788.0	4534317.0				
5	716721.0	4534968.0				
6	716432.0	4535442.0	*			
7	716256.0	4535765.0	*	*	*	*
8	716010.0	4536080.0				
9	715909.0	4538009.0	*		*	*
10	717271.0	4538915.0		*		
11	717441.0	4538751.0		*		
12	717508.0	4538652.0	*		*	*
13	716774.0	4538156.0				
14	716745.0	4538211.0	*			
15	716499.0	4537975.0				
16	716311.0	4537902.0	*	*	*	*
17	715818.0	4538232.0	*			
18	715650.0	4538646.0	*			
19	715829.0	4538990.0				
20	715959.0	4539487.0				
21	716228.0	4539939.0	*			
22	715905.0	4540353.0				
23	715779.0	4540497.0	*			
24	716141.0	4541552.0			*	
25	716107.0	4542148.0	*		*	*
26	715831.0	4542595.0				
27	715833.0	4540831.0				
28	716034.0	4536899.0	*		*	*
29	717306.0	4533863.0	*		*	*
30	717304.0	4534210.0				
31	717266.0	4534450.0				
32	717057.0	4534470.0				
33	717440.0	4535146.0				
34	718017.0	4536217.0	*		*	*
35	718493.0	4538250.0	*			
36	718765.0	4539154.0				
37	711280.0	4536663.0				
38	711759.0	4536957.0				
39	712055.0	4537336.0				
40	712658.0	4537622.0				
41	712809.0	4537858.0	*	*	*	*
42	712998.0	4537409.0	*			
43	713700.0	4537625.0	*		*	*
44	713791.0	4538018.0				
45	713974.0	4538422.0				
46	714020.0	4538997.0	*		*	*
47	713793.0	4539446.0				
48	712846.0	4539433.0	*	*	*	*
49	714120.0	4537368.0			*	
50	714944.0	4538082.0				
51	716189.0	4537537.0				
52	716218.0	4537576.0			*	
53	716252.0	4537610.0	*	*	*	*
54	716276.0	4537600.0		*		
55	716296.0	4537611.0				
56	716427.0	4537647.0				
57	716481.0	4537647.0				
58	716613.0	4537603.0				
59	716683.0	4537584.0	*		*	
60	719745.0	4534563.0				
61	719756.0	4534903.0	*			
62	720015.0	4535528.0	*		*	*
63	719950.0	4535995.0	*		*	*
64	719763.0	4536466.0				
65	719167.0	4536128.0				
66	717261.0	4538951.0		*		
67	712161.0	4534993.0				
68	712636.0	4534290.0	*		*	*
69	713199.0	4534396.0		*		



Şekil 3.3. Arazi çalışmaları sırasında alınan numunelerin yerleri

Kesilen parçaların üzerinde asetat kalem ile ince kesit ve parlatma kesit yapılacak eksenler çizildikten sonra numuneler Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü laboratuvarlarına gönderilerek kesitleri yaptırılmıştır. Hazırlanan kesitler Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği bölümünde bulunan Leica DM 2700P marka model mikroskopta incelenerek kayaların mineralojik petrografik özellikleri yorumlanmıştır.

Arazideki farklı birimlerden derlenen numunelerin mineralojik-petrografik özelliklerinin belirlenmesi için 20 adet numune seçilerek tüm kayalar XRD (X-ışınları Kırınım) analizine hazır hale getirilmiştir. Numuneler Afyon Kocatepe Üniversitesi Mineraloji-Petrografi ve Maden Yatakları Jeokimya Laboratuvarında bulunan çeneli kırıcıda kırma işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.4. Numunelerin ince kesit ve parlatma kesit yapımına uygun hale getirilmesi.

Kırma işleminden sonra analiz öncesi sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta kurutularak öğütülmeye hazır hale getirilmiştir. Kurutulan numuneler halkalı değirmen kullanılarak yaklaşık $200\text{ }\mu\text{m}$ tane boyutuna kadar öğütülmüştür (Şekil 3.5). Öğütülen numuneler 50 gr ağırlığında tartılarak kilitli poşetlere konulmuş ve XRD analizi için Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarına teslim edilmiştir.

Hazırlanan numuneler, Shimadzu marka XRD-6000 model bakır (Cu) X-ışını tüpü bulunan ve $1,544\text{ Å}$ dalga boyuna sahip bakır $K\alpha$ X-ışını kullanan cihazda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Bu cihazda düzgün yüzeyli kayaç (katı) ve toz numunelerin kalitatif mineralojik ve/veya faz analizleri ile kristal yapı tanımlamaları yapılmaktadır. Kalitatif analizler için karşılaştırılmalı ICDD kartları kullanılmaktadır. Aynı zamanda X-ışınları kırınımı (XRD) yöntemi kristalin malzemelerin karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan temel tekniklerden biridir. Dalga boyları bilinen X-ışınları farklı açılarla analizi yapılacak olan malzemenin düzlemleri boyunca gönderilerek kırınımına uğrattılır ve malzemenin kristal boyutu, yapıdaki değişiklikler ve kristal yönelmesi gibi özelliklerinin belirlenmesi sağlanır. Bu analiz tahribatsız bir yöntem olduğu için jeoloji ve daha birçok alanda uygulanabilmektedir.



Şekil 3.5. Numunelerin çeneli kırıcı ve halkalı değirmen kullanılarak öğütülüp paketlenmesi.



Şekil 3.6. Shimadzu, XRD-600 cihazı ile XRD analizinin gerçekleştirilmesi.

XRD analizi için numune hazırlama süreciyle eş zamanlı olarak kimyasal analize gönderilmek üzere seçilen 16 adet numunenin de hazırlıkları gerçekleştirilmiştir. Öğütülen numunelerden 50 gr ağırlığında tartılarak kilitli poşetlere konulmuş ve isimlendirildikten sonra ALS Laboratuvar Hizmetleri LTD. ŞTİ. firmasına gönderilerek iz element (ek olarak SiO_2) ve NTE tayini analizleri gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analizler, İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektroskopisi (ICP-MS) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem elementleri kalitatif ve kantitatif olarak tayin edebilmektedir. Analiz süreci genellikle solüsyon halinde bulunan numunenin eşleşmiş bir plazma ile iyonlaştırılması ve bu iyonları ayırmak için kütle spektrometresi kullanıldıktan sonra element oranlarının bir detektör tarafından belirlenmesiyle tamamlanmaktadır.

ICP yöntemi belirli bir elementin karakteristik dalga boylarında elektromanyetik radyasyon yayan uyarılmış atomlarını ve iyonlarını üretmek için indüksiyonla birleşmiş plazmayı kullanan bir tür emisyon spektroskopisidir. Alev sıcaklığı 6000 ila 10.000 °K aralığında olan bir alev tekniğidir. Oluşan emisyonun yoğunluğu, numunedeki elementin konsantrasyonunun bir göstergesidir. Bu yöntem; ICP ve optik spektrometreden oluşmaktadır. ICP meşalesi, 3 eş merkezli kuvars cam tüpten oluşur. Radyo frekansı (RF) jeneratörünün çıkışı veya "iş" bobini bu kuvars meşalenin bir kısmını çevreler. Argon gazı tipik olarak plazmayı oluşturmak için kullanılır. Oluşan plazma optik birim(ler) içinde, ışığın farklı dalga boylarına (renklerine) ayrılmasından sonra, ışık yoğunluğu, bir foto çoğaltıcı tüp veya fiziksel olarak söz konusu her bir element çizgisi için çok özel dalga boylarını "görüntülemek" için konumlandırılmış tüplerle ölçülür veya daha modern birimlerde, ayrılan renkler, yük bağlaşımlı aygıtlar (charge coupled devices-CCDs) gibi bir dizi yarı iletken fotodetektöre düşer. Bu detektör dizilerini kullanan birimlerde, tüm dalga boylarının yoğunlukları (sistemin kapasitesi dahilinde) eşzamanlı olarak ölçülebilir, böylece birim cihaza aynı anda her elementin hassas analizini sağlar.

3.4. Rapor Yazımı

Yukarıda bahsedilen hazırlık çalışmaları, arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yapılan analizlerin sonuçlarının derlenerek rapora aktarılması için yoğun bir büro çalışma süreci gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalarda ilk önce saha çalışmalarında gözlemlenen ve bu gözlemlerin sağlaması niteliğindeki veriler de dikkate alınarak çalışma alanının jeolojik haritası bilgisayar ortamında hazırlanmıştır. İnceleme alanının içinde bulunan jeolojik birimlerin birbirleriyle ilişkisini gösteren stratigrafik dikme kesit çizilmiştir. Rapor yazım sürecinde Office programları (MS Word) kullanılmıştır.

Jeolojik harita çizimi için sahadaki veriler bir coğrafi bilgi sistemi programı olan ArcGIS 10.0 ile sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. ArcGIS 10.0 bilgisayar programının ArcMap arayüzü kullanılarak bölgenin jeolojik haritası çizilmiş olup stratigrafik dikme kesit ve diğer çizimler genellikle CorelDRAW 2020 programında hazırlanmıştır. Yapılan XRD analizlerinin .txt uzantılı ham verileri kullanılarak grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler, analizi yapılan numunenin kırınım değerlerini referans değerler içeren bir veritabanıyla karşılaştırarak tanımlamasını yapan Match! 3 programı kullanılarak hazırlanmıştır.

Kimyasal analiz sonuçları yorumlanırken parametrik ve çok değişkenli istatistiksel analizlerle değerlendirilmiştir. Parametrik istatistiksel değerlendirmelerde aritmetik ortalama, standart sapma, standart hata, anakitle tahmin testi gibi hesaplamalar yapılarak yorumlanmıştır. Çok değişkenli istatistiksel değerlendirmelerde ise kimyasal analiz sonuçları kullanılarak elementlerin birbiri ile ilişkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bunun için korelasyon analizleri yapılarak varsa korelasyonun şekli, yönü ve kuvveti hesaplanmıştır. Daha sonra korelasyon katsayıları kullanılarak elementler arasında kümelenme varlığının belirlenmesi amacıyla küme (cluster) analizleri SPSS programı kullanılarak yapılmış ve yorumlanmıştır.

Son olarak arazi, laboratuvar ve yapılan veri analizi çalışmaları sonucunda elde edilen bütün bulgular birlikte değerlendirilerek çalışma alanı içerisinde bulunan birimlerdeki muhtemel cevherleşmeler ve bu cevherleşmelerin yan kayaç ilişkileri yorumlanmış ve tez yazımı gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada yapılan saha incelemeleri ve derlenen numunelerden yapılan analiz sonuçlarının değerlendirilmesiyle elde edilen veriler başlıca genel jeoloji, maden jeolojisi ve jeokimyasal incelemeler başlıkları altında toplanmıştır.

4.1. Genel Jeoloji

4.1.1. Bölgesel jeoloji

Çalışma alanının içinde bulunduğu Pontidler, Türkiye'nin 4 ana tektonik birliğinden biri olup Kuzeybatı Anadolu bölgesini içerir (Ketin, 1966). Karpatlardan başlayıp Romanya, Yugoslavya ve Bulgaristan'ı kat ederek Karadeniz güney kıyıları boyunca ülkemiz içerisine giren ve batıda Ege kıyılarından geçerek kuzeyde Karadeniz kıyılarını takip edip doğuya doğru uzanan bu birlik Alp – Himalaya dağ oluşumunun bir parçasıdır (Ercan ve Gedik, 1983). Alp – Himalaya orojenik sistemi plaka tektoniği teorilerine göre kıtalar ve ada yaylarının birbirine doğru hareketi sonucu oluşan çarpışma ile meydana gelmiş ve bu süreçte Paleotetis okyanusu yok olmuştur (Dewey ve Bird, 1970; Şengör, 1981). Bu oluşumla alakalı ada yayı serisinin volkanitleri çok geniş bir zaman aralığı sunmaktadır. Türkiye' deki Pontidler de bu bahsi geçen serinin içerisinde yer almaktadır (Dewey ve ark., 1973). Ketin ve Canitez (1972) yapmış olduğu çalışmada 4 ana tektonik birlikten biri olan Pontidler'i, Doğu Pontid (Doğu Karadeniz) ve Batı Pontid (Batı Karadeniz) olarak tekrardan adlamışlardır.

Doğu Pontidler'in doğu kanadında kalan ve bölgede bulunan genellikle KD – GB yönlü tektonik unsurlar yüzünden yan yana ve/veya üst üste gelen, bazı bölgelerde Paleosen'e kadar uzanan Jura – Kretase yaşlı istiflerin sınıflaması Konak ve ark. (1992) tarafında yapılmıştır. Sonraki yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde bu istifler, detaylandırılıp tekrar adlandırıldığında çalışma alanının da içinde bulunduğu 4 zon şeklinde gruplandırılmıştır. Bazı ortak yönlerine göre gruplandırılan bu zonlar kuzeyden güneye doğru Hopa – Borçka Zonu, Artvin – Yusufeli Zonu, Olur – Tortum Zonu ve Erzurum – Kars Ofiyolit Zonu adlarıyla konumlanmaktadır (Konak ve Hakyemez, 2009). Çalışma alanında Hopa – Borçka Zonu içinde kalan birimler ve Artvin – Yusufeli Zonu içindeki Zeytinlik Birliği'nin Jura yaşlı Berta formasyonu gözlenmektedir.

4.1.2. Stratigrafi

İnceleme alanı ve yakın çevresinde Mesozoyik ve Senozoyik döneme ait kayaçlar yüzeylemektedir. Çalışma alanının tabanında metakumtaşı, metaşeyl ve üste doğru bazik volkanit katkılı kırıntılardan oluşan Jura yaşlı Berta formasyonu bulunmaktadır. Bu birim ile yaklaşık aynı yaşa sahip ve geçişli olarak bulunan genellikle spilit ve spilitik bazaltlardan oluşan Mudurnu formasyonu Berta formasyonunun üzerine gelmektedir. Kötü boyplanmalı, yer yer matriks destekli alüvyon yelpazesi karakterli, alt düzeyleri kömürlü ve jipsli çakıltası-silttaşı-çamurtaşı ar dalanması sunan, kırmızımsı bordo renkli konglomera, kumtaşı ve resifal kireçtaşlarından oluşan Jura – Kretase yaşlı Öğdem formasyonu bu birim üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Mudurnu formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelen Öğdem formasyonu Geç Kretase yaşlı bazaltik lav ara katkılı andezitik-dasitik lav ve piroklastlardan oluşan Yusufeli formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Farklı zon ve birliklerde farklı birimleri keserek yerleşen granitoyidik kayaçlar Kaçkar granitoyidi olarak adlandırılmış olup çalışma alanı içerisinde Yusufeli formasyonunu keserek yüzeylemektedir. Haritalama alanının daha çok kuzeyinde geniş alanlarda yüzeyleyen bu birim pembemsi gri renkli irili-ufaklı granodiyorit bileşimli kayaçlardan oluşmakta olup kenar zonlarına doğru granit porfirlere geçiş gösterebilmektedir (Konak ve Hakyemez, 2009).

Adı geçen birimler çalışmanın bu bölümünde detaylı olarak açıklanmaya çalışılmış ve yaş ilişkileri göz önünde bulundurularak yaşlı birimden genç birime doğru ele alınmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.2).

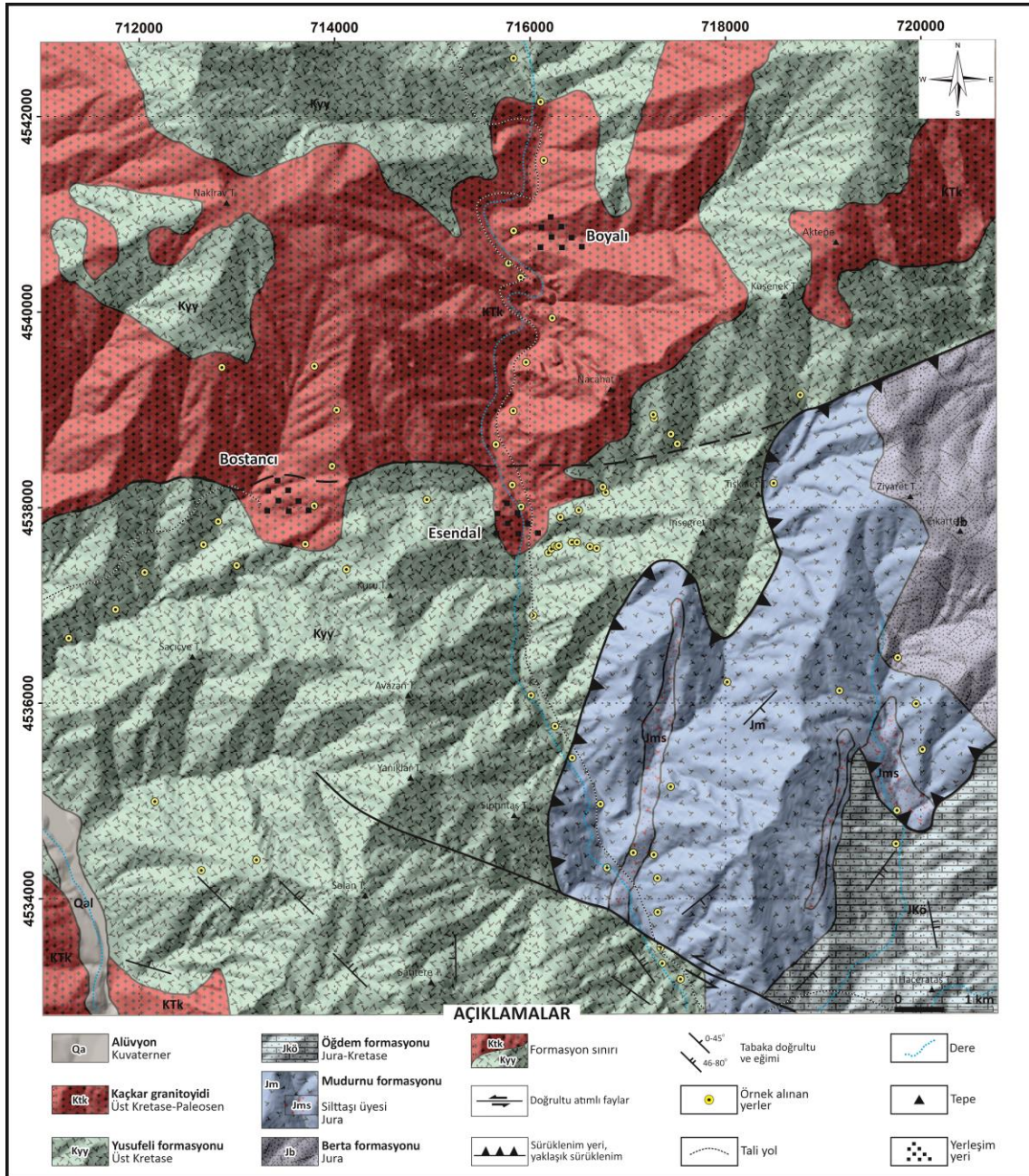
4.1.2.1. Berta formasyonu (Jb)

Tabanda kumtaşı ve silttaşından oluşan ve üste doğru bazik volkanik katkılı, çört ara katmanlı epiklastik-kumtaşı-çamurtaşı ar dalanmasından oluşan metamorfik istif, Konak ve ark. (2001) tarafından Berta formasyonu olarak tanımlanmaktadır. Birim en iyi kesitini Berta Çayı boyunca verdiği için bu şekilde adlandırılmıştır.

Çalışma alanı içerisindeki granitoyidik kayaçlar Kaçkar Granitoyitleri adı altında incelenmiştir. Birim çalışma alanının doğusunda bulunan Ziyaret Tepe ve Çıkarte Tepe civarında bulunmakta ve dar bir alanda yüzlek vermektedir. Birim üste doğru tabandaki kumtaşlarının azalmasıyla dereceli olarak şeyllere geçiş göstermektedir. İnce tabakalanmalı şeyller, gri, koyu gri, bazı yerlerde yeşilimsi gri renkler sunmakta olup

levhalar şeklinde ince dilimlerine ayrılabilir niteliktedir. Birimin üst seviyelerine doğru bünyesindeki bazik volkanik bileşimli ara seviyeler artış göstermektedir. Formasyon içerisinde alınan örneklerden yapılan daha önceki mikroskobik çalışmalarda kuvars, albit, serizit ve klorit mineralleri yaygın olarak gözlenmiştir.

Formasyonun kalınlığı yaklaşık 1500 metre civarındadır. Üst seviyelere doğru artan volkanik bileşimli ara seviyeler Mudurnu formasyonuna geçiş gösterdiğini ispatlamaktadır (Konak ve Hakyemez, 2009). Bölgede yapılan çalışmalarda birimin yaşı Liyas olarak yorumlanmıştır (Baydar ve ark., 1969).



Şekil 4.1. Çalışma alanının jeoloji haritası.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER			<i>Qa</i>		Alüvyon (Qa)
	PALEOJEN	Paleosen	Kaçkar Granitoidi	<i>Ktk</i>		UYUMSUZLUK
		Geç				Granodiyorit, tonalit (Ktk)
	KRETASE	Erken	Yusufeli	<i>Kyy</i>		Bazaltik lav ara katkılı andezitik-dasitik lav ve piroklastikleri (Kyy)
		Geç				UYUMSUZLUK
	MESOZOYİK	Erken	Öğdem	<i>Jkö</i>		Alt düzeyleri kömürlü ve jipsli çakıltası-kumtaşı-silttaşı-çamurtaşı ardalanması (Jkö)
		Geç				UYUMSUZLUK
		Orta				Epiklastik kumtaşı, silttaşı (Jms), tuf ara katmanları içeren bazaltik yer yer andezitik bileşimli lav ve piroklastikler (Jm)
		Erken				Altta çakıltası ara düzeyli kumtaşı-silttaşı, üstte çört ara katmanlı epiklastik kumtaşı ile temsil edilen metamorfik kumtaşı-silttaşı-şeyl Radyolaryalı çört (Jb)
	JURA	Orta	Mudurnu	<i>Jm</i>		
		Erken	Berta	<i>Jb</i>		

Şekil 4.2. İnceleme alanında yüzeyleyen birimlere ait stratigrafik dikme kesit (Ölçeksiz).

Berta formasyonun alttan üste doğru iri taneli çökellerden giderek tane boyu incelen şeyllere geçiş göstermesi çökeltme ortamının derinleştiğini göstermektedir.

Birim, bölgede daha önce yapılan çalışmalarda tanımlanan Bertaderesi formasyonu (Aksay ve Turhan, 1998), Hamurkesen formasyonu (Ağar, 1977), Narlık formasyonu (Konak ve ark., 1991) ile deneştirilebilir özelliktedir.

4.1.2.2. Mudurnu formasyonu (Jm)

Mudurnu formasyonu genel olarak koyu renkli bazalt, andezit, yer yer trakiandezit ve üst kesimlerine doğru lav ve piroklastik malzemelerle temsil edilmektedir. Bu birim ile yanıl ve düşey geçişli epiklastik kumtaşı, silttaşı, tuf ara katmanlarından oluşan Silttaşı üyesi (Jms) formasyon içerisinde gözlenmektedir. Yaygın olarak bazaltik seriden oluşan bu birim bölgesel korelasyonla Mudurnu formasyonu (Gözübol, 1980) olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanı içerisinde de aynı litolojik özelliklere sahip birimler bu adla değerlendirilmiştir. Birim çalışma alanında Öğdem köyünün hemen kuzeyinde bulunan Söğütönü mahallesinde en iyi şekilde gözlenmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Mudurnu formasyonundan genel bir görünüm (Esental köyü yolu).

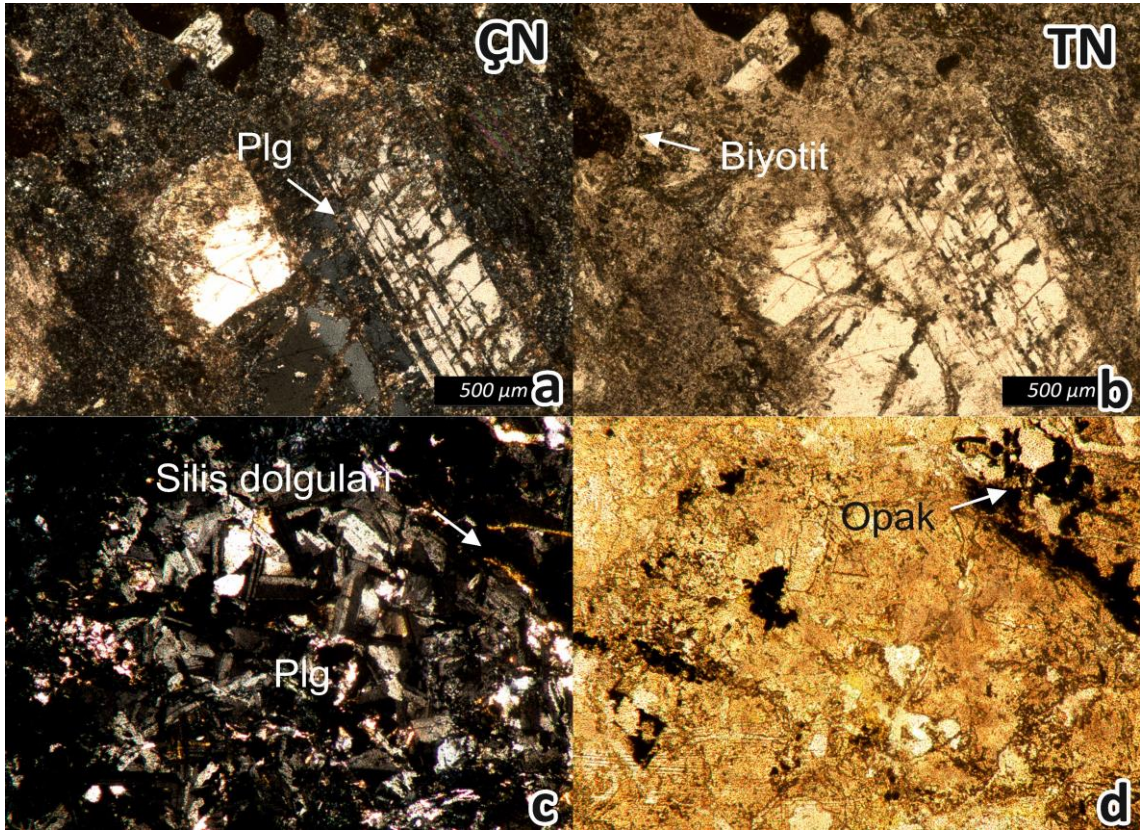
Genel olarak birim bazik bileşimli lav ve piroklastlar ile andezit, bazalt türevi kayalardan oluşmaktadır. Bunlar ile birlikte birim içersine kanal dolgusu şeklinde yerleşmiş silis veya kalsitler bulunmaktadır. Bu dolgular genelde beyaz, kirli beyaz renklerde olup ince bantlar şeklinde ve yaklaşık 3-4 cm kalınlıklarda gözlenmektedir. Siyahımsı gri, koyu yeşil ve koyu kahverengi renkli yüzeye sahip bu birimlerin taze kırık yüzey renkleri genellikle koyu gri, yeşilimsi gri olup bazı bölgelerde içerisinde küçük ölçekte (10-20 cm arasında değişen) yastık lav yapıları da gözlenmektedir (Şekil

4.4). Baskın olarak bazik nitelikteki lav ve piroklastların oluşturduğu birim çok sert ve engebeli bir topoğrafya sunmaktadır.

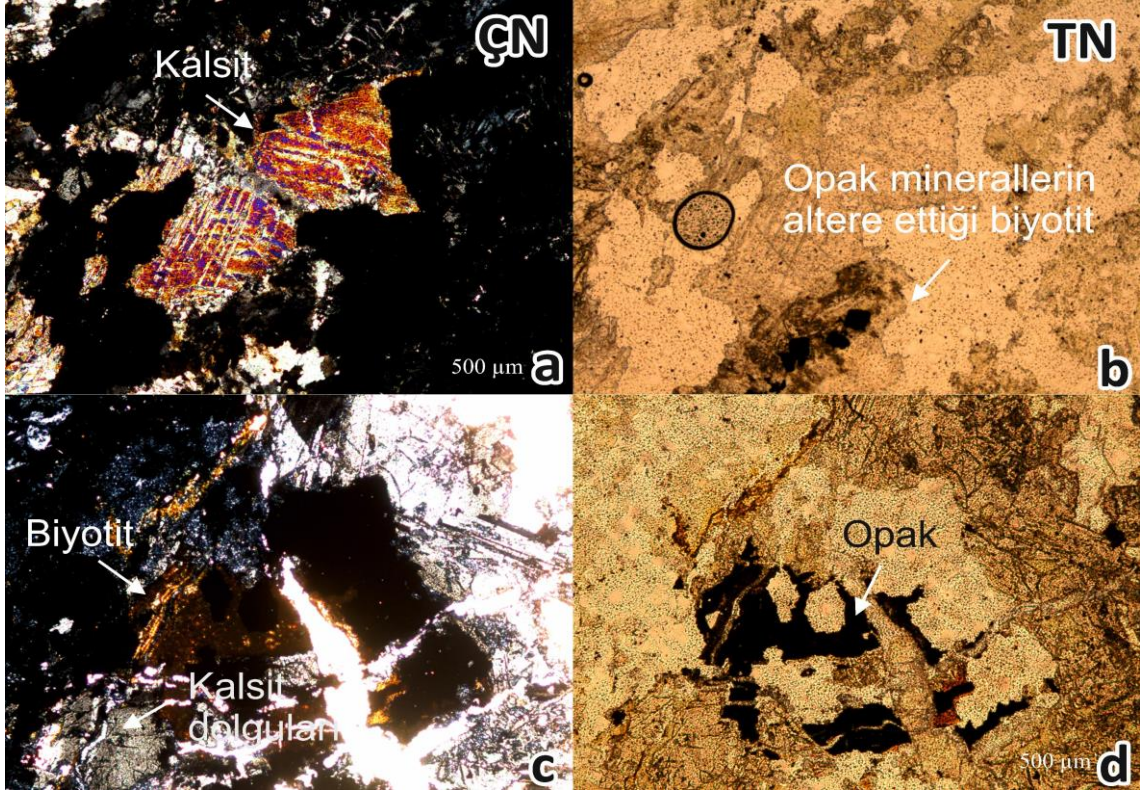


Şekil 4.4. Mudurnu formasyonuna ait arazi görüntüleri (a,b,c; bazik volkanitler ve taze kırık yüzeyleri, d; boyutları 10-20 cm aralığında değişen lastik lav yapıları, e,f; birimler içerisinde kanal dolgusu şeklinde gözlenen ve kalınlıkları 3-4 cm kadar olan silis dolguları).

Birimden alınan örneklerin petrografik (ince kesit) incelemelerinde genellikle % 15-20 aralığında kuvars, % 15-18 aralığında volkan camı, % 5'i bazen geçen opak mineraller, % 2-5 aralığında kalsit ve % 50-60 aralığında plajiyoklaz mineralleri gözlenmektedir. İncelemelerde genellikle fenokristalin porfirik ve kristallenme derecesine göre de hipokristalin doku ile karşılaşılmakta olup mineraller kısmen özşekilsiz olarak gözlenmektedir. Kayaç içerisindeki çatlaklı yapıları ikincil kuvars mineralleri ve kalsit mineralleri doldurmaktadır ki bu da makro olarak yapılan gözlemleri doğrulamaktadır. İkincil kuvars ve kalsit minerallerinin kayaç içerisindeki yerleşimi bu birimin ikincil bir mineral oluşum süreci geçirdiğini göstermektedir. Kuvarslar dalgalı sönme, plajiyoklazlar ise albit ikizlenmesi göstermektedir. Kayaç içerisinde yoğun alterasyon bulunmakta olup bunlar genellikle biyotitlerin içerisinde yerleşen opak mineraller dolayısı ile gerçekleşmektedir (Şekil 4.5, Şekil 4.6).



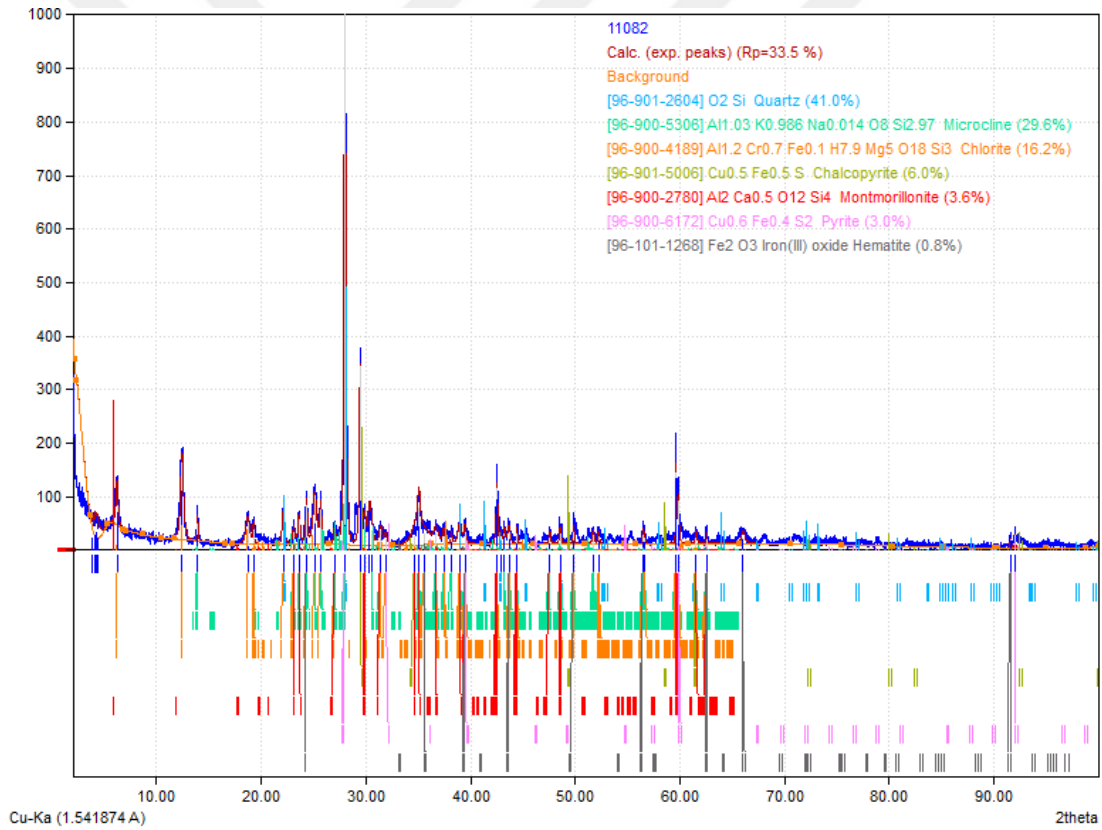
Şekil 4.5. Mudurnu formasyonuna ait 5x büyütme ile çekilmiş ince kesit görüntüleri (a; albit ikizi gösteren plajiyoklaz, b; tek nikolde biyotit, c; silis dolguları ve yoğun plajiyoklaz, d; ikincil olarak oluşmuş opak mineraller, a ve c: +N, b ve d: //N).



Şekil 4.6. Mudurnu formasyonuna ait 5x büyütme ile çekilmiş ince kesit görüntüleri (a; ikincil olarak oluşmuş kalsit fenokristali, b; tek nikolde opak minerallerin yerleşimi sırasında bozunmuş biyotit, c; kalsit dolguları ve biyotit, d; ikincil olarak oluşmuş opak mineraller, a ve c: +N, b ve d: //N).

Formasyon içinden alınan örneklerin petrografik özellikleri dikkate alınarak yapılan incelemelerde gerekli diyagramlar kullanılarak (Streckeisen, 1979) genellikle bazalt, andezit tanımlaması yapılmıştır.

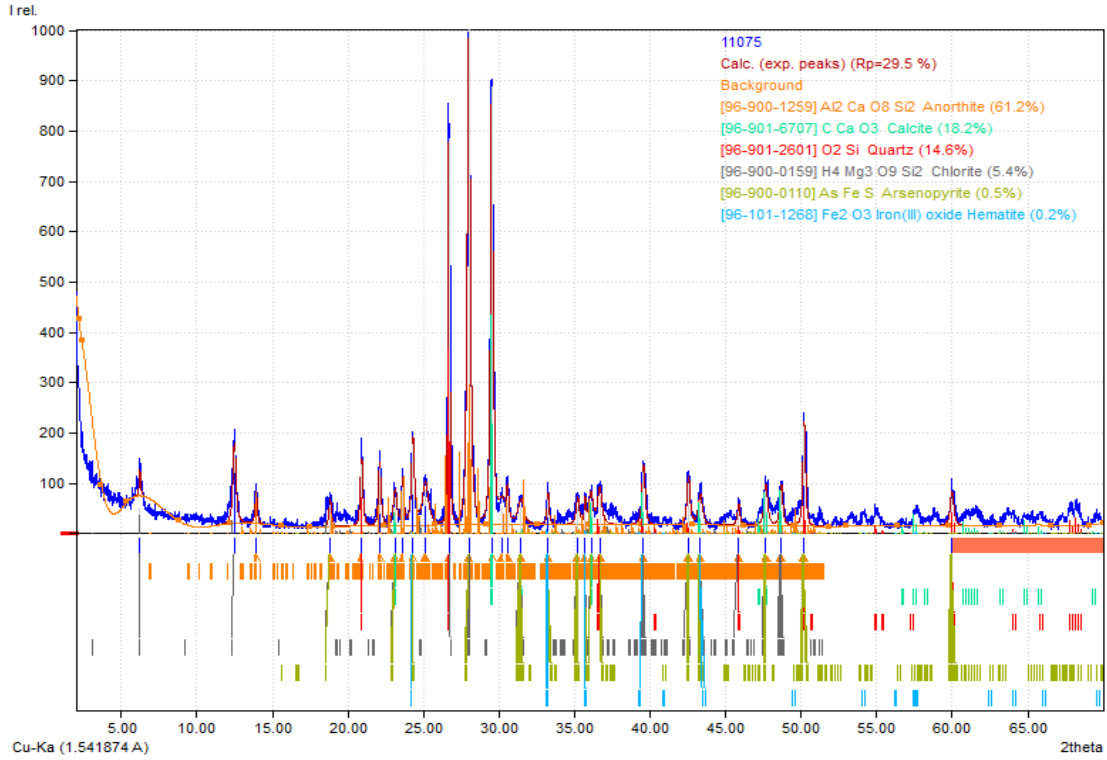
Birimden alınan örneklerin XRD incelemeleri sonucu, feldispat grubuna ait plajiyoklaz oranlarının fazla olmasının kayaç içerisinde bulunan anortit minerallerinden kaynaklandığı, kalsiyum ve karbonat içeriğinin kalsit gibi ortama ikincil olarak yerleşmiş minerallerden kaynaklandığı, SiO_2 oranlarının kayaç içerisinde bulunan silis dolguları ve kuvarslardan kaynaklandığı, ince kesitte gözlenen opak minerallerin de pirit, kalkopirit gibi cevher minerallerinden kaynaklandığı yorumu yapılmıştır (Şekil 4.7 ve 4.8). Genel olarak koyu renkli bazalt örneklerinde de kuvars oranının nispeten azaldığı gözlenmektedir. Kuvars oranındaki azalma kayaçlardaki daha koyu renklere sahip olma durumunu açıklamaktadır.



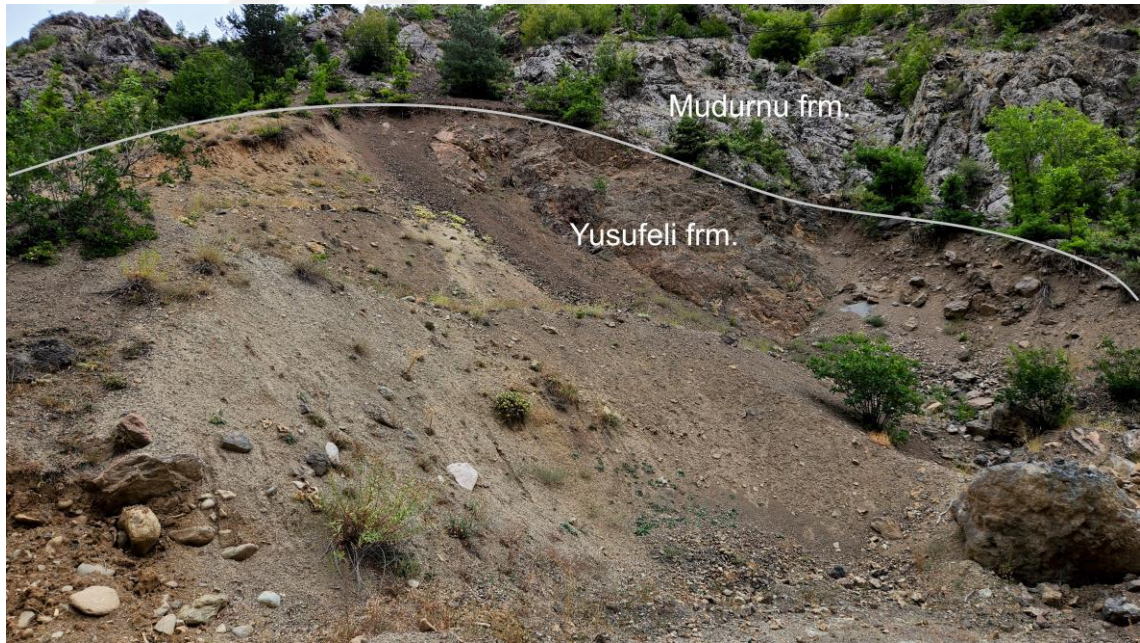
Şekil 4.7. Mudurnu formasyonu içerisinde alınan numunelerden yapılan XRD analiz grafiği.

Formasyon çalışma alanı içerisinde geçişli bir dokanakla Berta formasyonuna ait metakırıntılıların üstüne gelmektedir. Üstte ise yaygın olarak resifal kireçtaşı ve alt düzeyleri kömürlü ve jipsli çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı ardalanmalı Öğdem formasyonu ile açısız uyumsuzlukla örtülmektedir. Birimin kalınlığı yaklaşık 1000 metreye

ulaşmaktadır (Konak ve Hakyemez, 2009). Bazı yerlerde daha genç olan Yusufeli formasyonunun üzerinde tektonik olarak bulunduğu gözlenmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.8. Mudurnu formasyonu içerisinde alınan numunelerden yapılan XRD analiz grafiği.



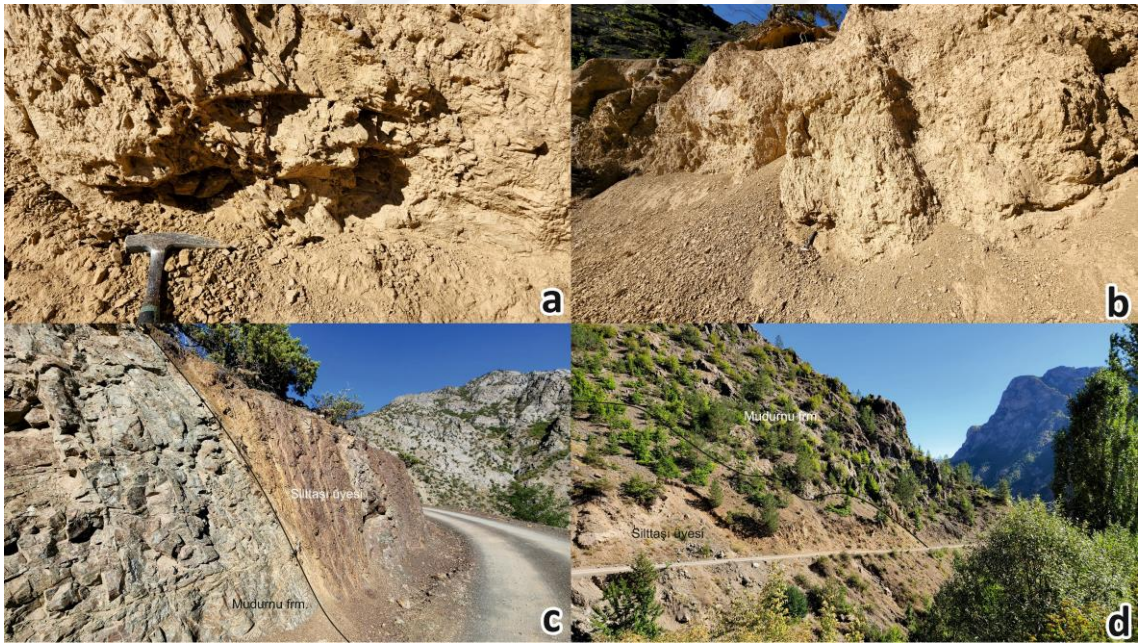
Şekil 4.9. Mudurnu formasyonunun Esendal köy yolu üzerinde Yusufeli formasyonuyla olan sınırı.

Mudurnu formasyonunun yaşı Berta formasyonuna göre konumu ve üstteki resifal kireçtaşlarından elde edilen yaşlar dikkate alınarak Geç Jura olarak kabul edilmiştir. Berta formasyonu ile yanal düşey geçişli olan bu birim bünyesinde

bulundurduğu piroklastik ara katkılar ve yer yer yastık yapılı bazaltik ve spilitik lavlar giderek derinleşen koşullarda oluşmuş denizaltı volkanizmasının ürünleridir. Birim Hızarlidere volkaniti (Konak ve ark., 2001) ve Hamurkesen formasyonunun volkanikleri (Ağar, 1977) ile deneştirilebilir.

4.1.2.2.1. Mudurnu formasyonu, silttaşı üyesi (Jms)

Mudurnu formasyonu içerisindeki epiklastik kumtaşı ve silttaşı gibi kırıntılı birimlerden oluşmaktadır. Çalışma alanı içerisinde bu kırıntılı birimler bej, koyu bej ve yer yer gri, koyu gri renklere sahip olup bünyesinde volkanik kökenli malzemeler de bulundurmaktadır. Genellikle bazalt ve andezitlerden oluşan yer yer piroklastların da bulunduğu formasyon içerisinde kalınlığı yaklaşık 10 metre civarındadır (Şekil 4.10). Mudurnu formasyonu ile yanıl ve düşey geçişli olan birimin yaşı da üyesi olduğu formasyonla aynı olarak değeriendirilmektedir.



Şekil 4.10. Mudurnu formasyonunun silttaşı üyesi (a, b; kahvemsı gri renkli kumtaşı, c, d; Mudurnu formasyonu ile geçişli silttaşı üyesinin arazi görüntüleri).

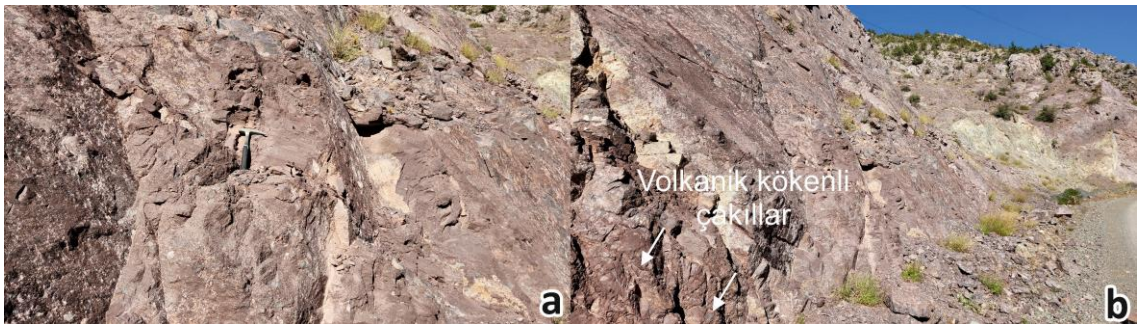
4.1.2.3. Öğdem formasyonu (JKö)

Çalışma alanı içerisinde Mudurnu formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelen ve resifal kireçtaşı, volkanik ara katkılı çakıltası ve daha alt seviyelerinde kristalize kireçtaşları gözlenen bu birim Konak ve ark. (2001), tarafından Öğdem formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanının en güneydoğusunda kalan birim Hacerataş

Tepe civarında çok az bir alanda yüzlek vermekte olup aynı litolojik özelliklere sahip bu birimler çalışmada Öğdem formasyonu adıyla incelenmiştir.

Genel olarak birim volkanit çakıl ara katkılı olarak gözlenmektedir. Yüzey rengi kahvemsî kırmızı olan kireçtaşı birimleri içerisindeki volkanit çakıllar 3-10 cm arasında boyutlara sahip, genelde yarı yuvarlak ve kötü boylanmalı özellik göstermekte olup düzensiz dağılım sunmaktadırlar. Tamamen yuvarlaklaşmamış çakıllar bu birimin oluşum süreci sırasında beslendiği kaynağın çok uzakta olmadığını göstermektedir.

Çalışma alanı içerisinde Öğdem formasyonunun, bazaltik lav ve piroklastlardan oluşan Mudurnu formasyonu ile sınırı net bir şekilde gözlenmektedir (Şekil 4.11). Mudurnu formasyonunun üzerine uyumsuzlukla gelen bu birimin kalınlığı yaklaşık 300-400 m olup bölgede detaylı çalışmalar gerçekleştiren Konak ve Hakyemez (2009), bu birimin tabanda kırmızı çakıltaşlarıyla başlayıp üste doğru jipsli çamurtaşı ve kumtaşlarına geçiş göstermekte olduğunu, bu çakıltaşı düzeyinin içindeki kumtaşlarında kömürleşmiş bitki kalıntılarına rastlandığını, daha yukarılara doğru açık kahve, bej renkli, içerdiği kumtaşlarının içinde başlıca krinoid parçaları ve daha az oranda pelesipod ve gastropod kavkuları gözlenen, 1-5 cm arasında değişen çakıl boylarına sahip, kalın katmanlı çakıltaşı-kumtaşı ardalanmasına geçiş gösterdiğini, bu ardalanmanın üzerinde merceksi geometri sunan resifal kireçtaşları ve onların üzerine yayılan siyahımsı koyu yeşil renkli, 15-20 cm çapında yastık yapısı sunan lavlar ve bu lavlarla birlikte piroklastların bulunduğunu ve bu volkanitlerin üzerine de kırmızı-bordo renkli, döküntü niteliğinde ince kırıntılı düzeye başlayan ikincil bir resifal kireçtaşı düzeyinin geldiğini ve bu kireçtaşlarının içerisindeki fosil topluluğunun Geç Jura-Erken Kretase yaşlı olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.11. Öğdem formasyonunun arazi görüntüsü (a; kahvemsî kırmızı renkli kireçtaşları, b; volkanik kökenli çakıltaşları).

Öğdem formasyonunun yukarıda belirtilen özellikleri değerlendirildiğinde karasal ve sığ denizel ortam koşullarında çöktüğü yorumu yapılabilmektedir. Birim

Madenler formasyonu (Güven, 1993) ile deneştirilebilir ve Konak ve ark., (2001) tarafından Görgülü formasyonu adıyla kullanılmıştır.

4.1.2.4. Yusufeli formasyonu (Kyy)

Çalışma alanı içerisinde en yaygın bulunan ve oluşum sürecinde etkin magmatik faaliyetin asidik ve bazik süreçlerinin etkisinin birlikte gözlemlendiği, yer yer bazaltik lav ara katkılı andezitik-dasitik lavlar ve piroklastikler, piroklastik ara katkılı volkanik kökenli kumtaşı, silttaşı, şeyl ardalanması ile birlikte riyolit-riyodasit gibi felsik kayaların da bulunduğu, bazı yerlerde yoğun alterasyonlar ve cevherleşmelerin eşlik ettiği formasyon Yusufeli formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim, Güven (1998) tarafından Maçka civarında Çatak formasyonu olarak adlandırılmış olup Konak ve Hakyemez (2009) tarafından yapılmış olan çalışmada ise Çatak formasyonuna benzerliği göz önüne alınmış olsa da Yusufeli formasyonu olarak incelenmiştir. Çalışma alanı içerisinde kalan ve alanın güneybatı kesimlerinden başlayarak Esendal ve Bostancı köylerine kadar uzanan geniş bir alanı kaplamakta olup bu çalışmada da yukarıda belirtilenlerle benzer litolojik özelliğe sahip olan bu birim, Yusufeli formasyonu adı ile incelenmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Yusufeli formasyonunun arazi görüntüsü (a; Esendal köy yolu üzerinden görünümü bazik seri, b; Bostancı köyü yolu üzerinden görünümü, asidik seri.).

Geç Kretase boyunca deniz tabanında gerçekleşen dalma-batma süreçleri neticesinde gelişen aktif yay volkanizması sonucu bölgede bazik seriden asidik seriye doğru geçiş gösterebilen denizaltı lav ve piroklastları yaygın olarak gözlenmektedir. Makro olarak arazide yeşilimsi koyu gri, koyu gri ve taze kırık yüzey rengi siyahımsı gri, gri olan volkanik birimler ve yer yer tuf ara katmanları gözlenen bazaltik-andezitik birimler bazik serinin ürünleridir. Kahverengi ve yer yer pembemsi gri, taze kırık yüzey rengi açık gri, gri olan ve yaygın bir şekilde ileri derecede alterasyona uğrayarak hematitleşme gözlenen dasitik-riyodasitik birimler ise bahsi geçen asidik serinin

ürünleridir. Çalışma alanında bulunan birimlerde kuvars mineralleri makro olarak da incelenebilmektedir. Alterasyon zonlarına yakın bölgelerde ise pirit ve kalkopirit kayaç içerisinde yaygın olarak gözlenmektedir. Lavlar çoğunlukla kırıklı, çatlaklı ve boşluklu yapıya sahip olup ileri derecede ayrışarak bazı bölgelerde kloritleştikleri de gözlenmektedir. Breş ve aglomeraler içinde tortul kaya çakılları bulunmaktadır. Üst kesimlere doğru koyu gri renkli olan kumtaşı, marn ve şeyller ince tabakalanmalı olup bazı kesimlerde kırmızımsı bordo renkli mikritler ve rekristalize kireçtaşları yaygın olarak bulunmaktadır. Asidik seri içindeki birimler yer yer çok iri kuvarslı, porfiritik dokulu ve akma yapılı olarak gözlenmektedir. Düzgün tabakalanma gösteren tüf, aglomera ve breş seviyeleri formasyonun üst kesiminde daha yaygındır. Özellikle tüf ve breş seviyelerinde bölgede bulunan alterasyonlar daha yaygın olarak gözlenmektedir (Şekil 4.13).

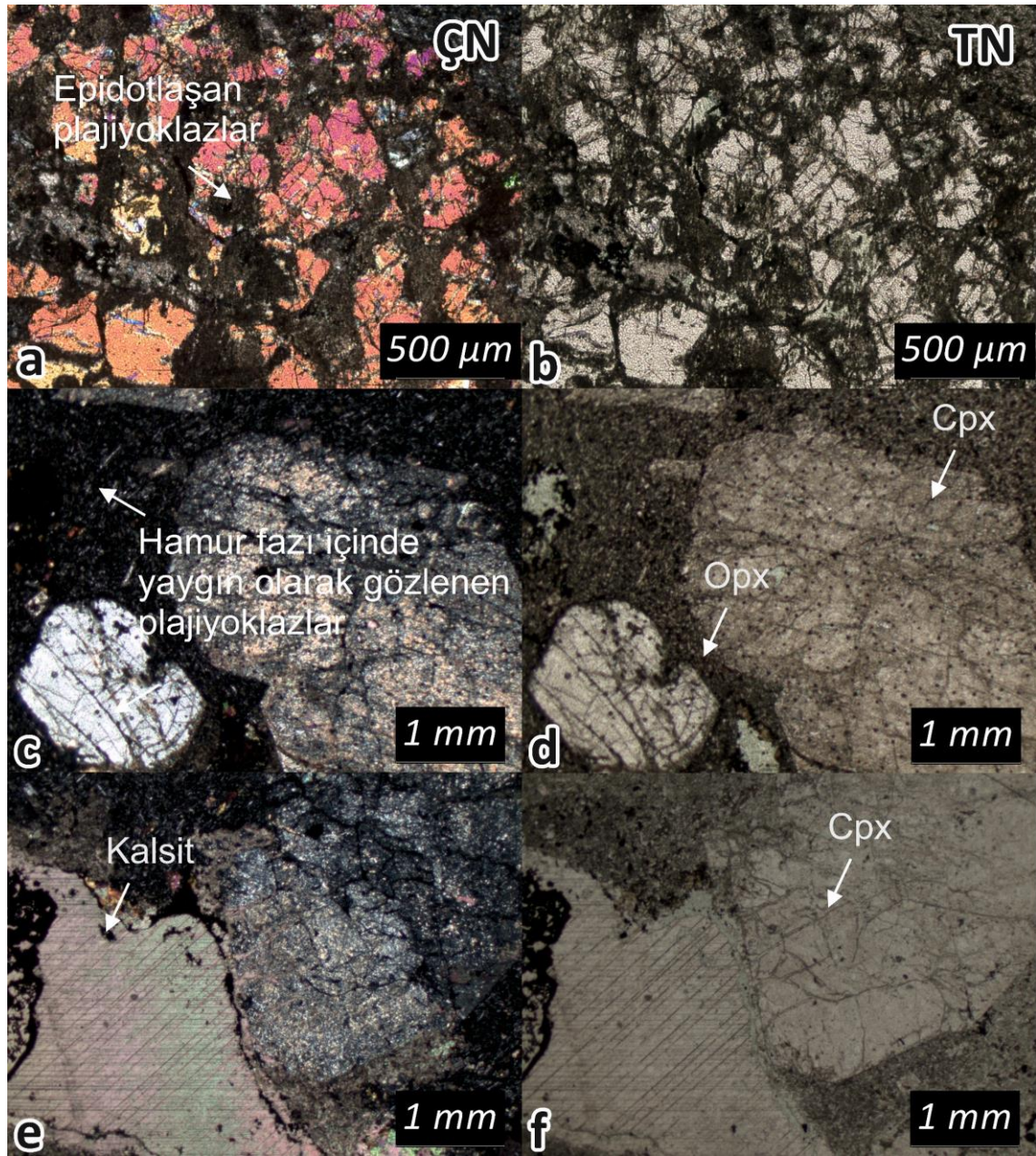


Şekil 4.13. Yusufeli formasyonunun arazi görüntüleri (a; Esendal köy yolu üzerinden görünümü, b; açık gri-gri renkli taze kırık yüzeye sahip volkanik birim, c; yeşilimsi koyu gri renkli volkanik birim, d; c görselindeki birimin taze kırık yüzey görseli, e; yakın bölgelerinde cevherleşmenin de bolca gözlemlendiği ileri derece alterasyona uğramış (hematitleşme) sarımsı turuncu renkli zon, f; makro olarak da bolca pirit-kalkopirit **kusmaları** gözlenen, alterasyon zonlarına yakın bölgelerden alınan kayaç numunesi).

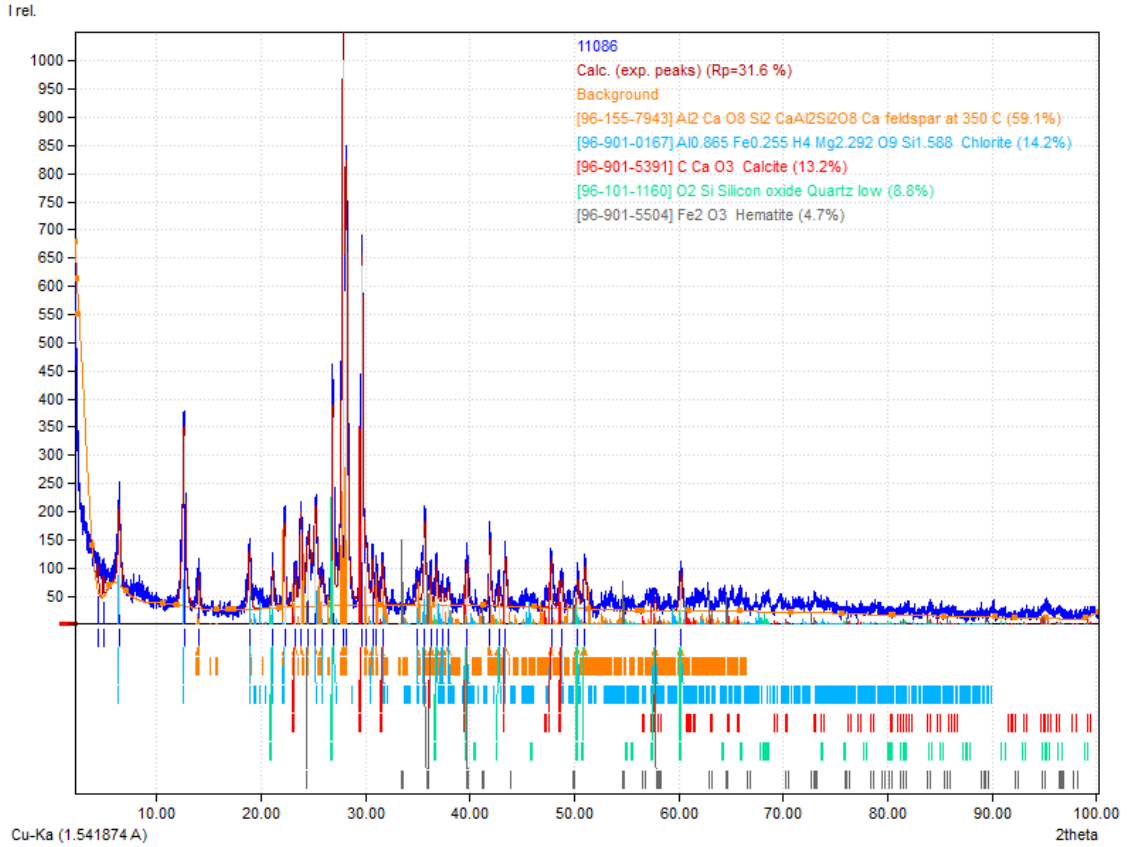
Birimden alınan bazik örneklerin petrografik (ince kesit) incelemelerinde genellikle % 5'e kadar kuvars, % 20-25 aralığında volkan camı, % 5'i bazen geçen opak mineraller, % 2-5 aralığında klorit ve kalsit, % 30-35 aralığında plajiyoklaz grubu mineraller, % 5-10 aralığında alkali feldispat grubu mineraller, % 15-20 aralığında ise piroksen grubu mineraller gözlenmektedir. İncelemelerde genellikle fenokristalin porfirik ve kristallenme derecesine göre de hipokristalin doku ile karşılaşılmakta olup mineraller kısmen özşekilsiz olarak gözlenmektedir. Kayaç içerisindeki bağlayıcı malzemede plajiyoklazlar oldukça yaygın olarak bulunmaktadır. Bazı plajiyoklaz fenokristallerinde ise epidotlaşma gözlenmektedir. İncelemelerde bazı piroksen grubu (ortopiroksen, klinopiroksen) minerallerin ise ortama ikincil olarak yerleşen kloritler tarafından altere edildikleri gözlenmektedir. Kesitlerdeki düşük kuvars oranı makro olarak gözlenen koyu renkleri açıklar niteliktedir. (Şekil 4.14). Formasyon içinden alınan örneklerin petrografik özellikleri dikkate alınarak yapılan incelemelerde gerekli diyagramlar kullanılarak (Streckeisen, 1979) genellikle bazalt tanımlaması yapılmıştır.

Birimden alınan örneklerin XRD incelemeleri sonucu, kalsiyum oranının fazla olması kesitler içerisinde gözlenen plajiyoklaz grubu minerallerin epidotlaşmasından kaynaklanmaktadır. Kayaçların hamur fazında yaygın olarak bulunan plajiyoklaz grubu mineraller yine grafikteki kalsiyum feldispat oranını artıran etkenlerden biri olarak değerlendirilmiştir. Kayaç adlaması sırasında kullanılan diyagramda (Streckeisen, 1979) oranları dikkate alınmayan koyu renkli (mafik) minerallerden olan piroksen grubuna ait klinopiroksen ve ortopiroksen nispeten yaygın olarak gözlenmektedir ve klorit oranı, ince kesitlerde gözlenen bazı klinopiroksen fenokristallerindeki düşük sıcaklık alterasyonuna işaret eden kloritleşme tipi bozunmadan kaynaklanmaktadır. Yine kesitlerde tipik görüntüsü gözlenen kalsit minerali grafikteki oranı doğrulamaktadır. Düşük SiO₂ oranı, kayacın makro olarak da gözlenen koyu renkli yapısını destekler nitelikte olup ince kesitlerdeki düşük miktarda değerlendirilme durumunu açıklamaktadır. Bu birimdeki opak minerallerin hematit olabileceği yorumu yapılmış olup, grafiklerde karşımıza çıkan demir oranlarının bazı lokasyonlarda yer yer gözlenen sarımsı turuncu renkli (hematitleşme) alterasyonlardan kaynaklandığı yorumu yapılmıştır (Şekil 4.15). Birimden alınan asidik örneklerin petrografik (ince kesit) incelemelerinde genellikle % 10-20 aralığında kuvars, % 25-30 aralığında volkan camı, % 2-5 aralığında opak mineraller, % 2-5 aralığında klorit, % 10 kadar plajiyoklaz grubu mineraller, % 8-10 mafik mineraller ve % 30'a yakın alkali feldispat grubu mineraller gözlenmektedir. Alterasyon zonlarından alınan örnekler incelendiğinde ise bu oranlarda

bazı değişimler söz konusu olmaktadır. Bu değişimler opak mineraller ve klorit miktarlarında artış ile karşımıza çıkmaktadır. Alterasyon zonundan ve/veya yakın olan lokasyonlardan alınan örneklerde opak mineral oranları % 15-20 değerlerine ulaşmaktadır. İncelemelerde genellikle fenokristal porfirik ve kristallenme derecesine göre de hipokristalin doku ile karşılaşmakta olup mineraller kısmen ksenomorf (özşekilsiz) olarak gözlenmektedir. Kesitlerde kuvars ve sanidin fenokristalleri gözlenmekte olup altere numunelerdeki opak mineraller (pirit-kalkopirit) kesitlerde epeyce yaygın olarak bulunmaktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.14. Yusufeli formasyonuna ait 2,5x ve 5x büyütme ile çekilmiş ince kesit görüntüleri (a, b; epidotlaşan plajiyoklazlar, c; çift nikolde hamur fazı içindeki plajiyoklazlar, d; klinopiroksen ve ortopiroksen (Opx: ortopiroksen, Cpx: klinopiroksen), e; tipik kalsit görüntüsü, f; klinopiroksen, a, c, e: +N, b, d, f: //N).

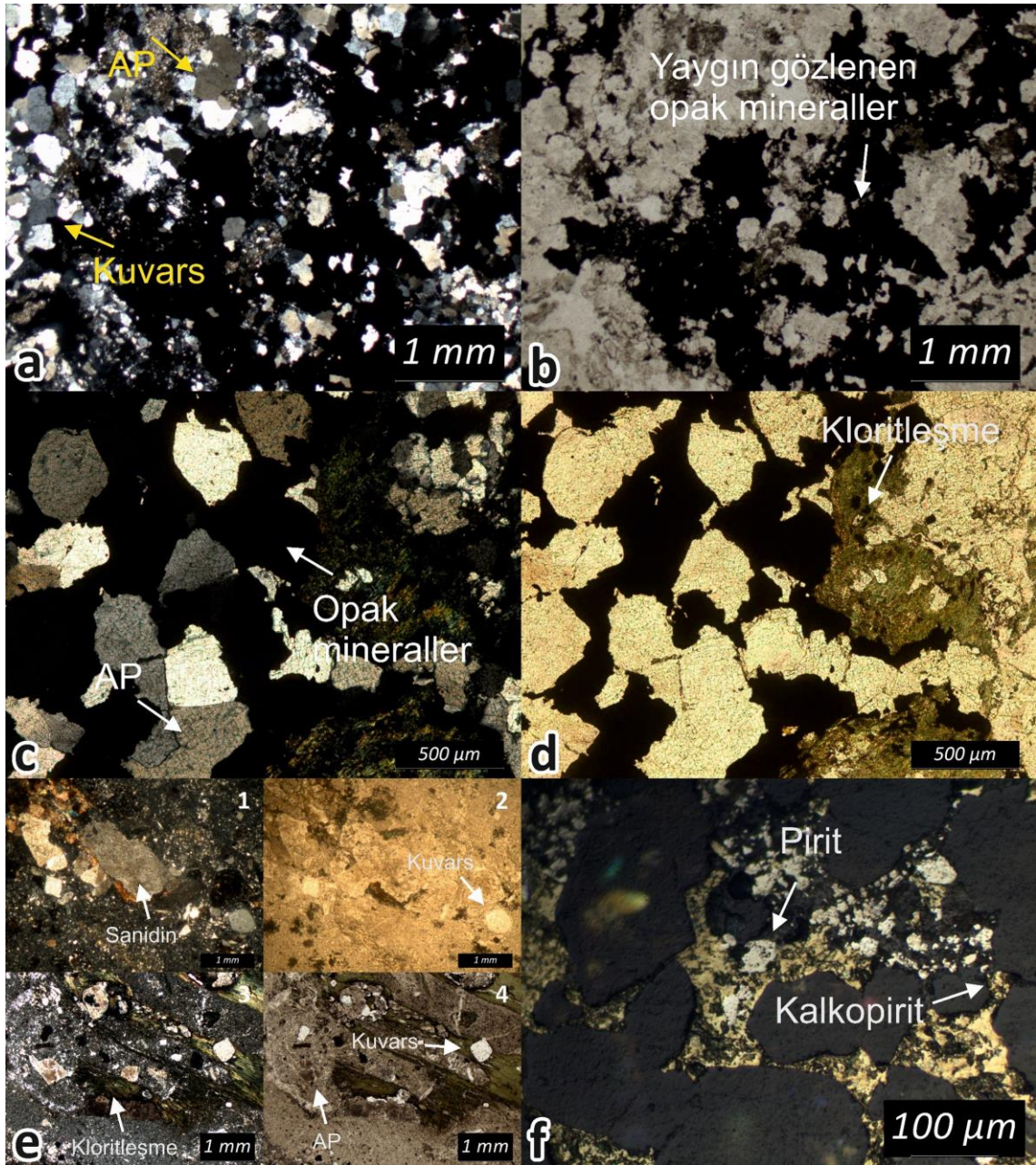


Şekil 4.15. Yusufeli formasyonu içerisinde alınan numunelerden yapılan XRD analiz grafiği.

Formasyon içinden alınan örneklerin petrografik özellikleri dikkate alınarak yapılan incelemelerde gerekli diyagramlar kullanılarak (Streckeisen, 1979) genellikle riyolit-dasit tanımlaması yapılmıştır.

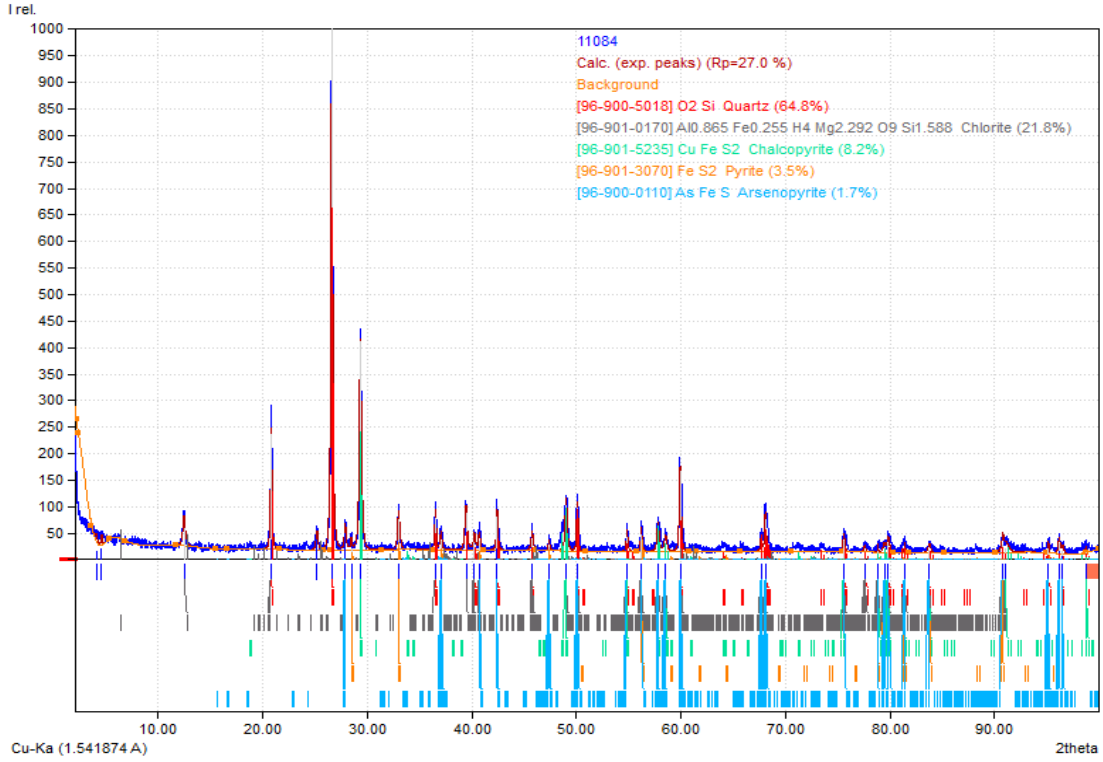
Birimden alınan örneklerin XRD incelemeleri sonucu, SiO_2 oranını ince kesitlerde gözlenen kuvarslardan kaynaklandığı, bazı biyotit minerallerinin kloritleşmesi sonucu klorit oranındaki artışa sebep olduğu yorumu yapılmıştır. Ortama ikincil olarak yerleşen kloritler düşük sıcaklık alterasyonuna işaret etmektedir. Alterasyon zonuna yakın bölgelerden alınan sarımsı turuncu renkli altere kayaç numunelerin ince kesit yapılabilecek peklikteki kısımlarından yapılan ince kesitlerdeki opak minerallerin yoğunluğu ve parlak kesitlerde tanımlamaları yapılan pirit ve kalkopiritler grafikteki oranları destekler niteliktedir (Şekil 4.17)

Çalışma alanının yaklaşık güneybatısından kuzeydoğusuna kadar geniş bir alanda yayılım sunan bu birim alttaki Geç Jura-Erken Kretase yaşlı, resifal kireçtaşlarından oluşan Öğdem formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmekte olup Kaçkar granitoyidi tarafından kesilmektedir. Birimin yaşı, farklı çalışmalarda ayrılan üyelerinden elde edilen Geç Senoniyen bulgusuna (Baydar ve ark., 1969) göre Geç Kretase olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 4.16. Yusufeli formasyonuna ait 2,5x ve 5x büyütme ile çekilmiş ince kesit görüntüleri ve parlak kesit görüntüsü (a,b; kuvars ve sanidin fenokristali, yaygın opak mineralleri, c; alkali feldispat (AP) ve opak mineraller, d; kloritleşme, e_{1,2}; sanidin ve kuvars, e_{3,4}; kloritleşme, AP ve kuvars, f; üstten aydınlatma ile çekilmiş opak minerallerin (pirit, kalkopirit) parlak kesit görüntüsü, a, c, e_{1,2}: +N, b, d, e_{3,4}: //N).

Birim içerisinde bulunan kırıntılı ve bazik seviyelerde sığ denizel ortam koşulları ve volkanik aktivitenin nispeten daha durgun olduğu koşulların etkisi değerlendirilmekte olup asidik seviyelerde ise etkin volkanizmanın deniz altında gerçekleştiği süreçlerin etkisi gözlenmektedir. Birimin bazik serisi Güven (1993) tarafından adlanan Çatak formasyonu ile, asidik serisi ise Kızılkaya formasyonu ve yine Güven (1993) tarafından yapılan başka bir çalışmada adlanan Tirebolu formasyonu ile deneştirilebilir.



Şekil 4.17. Yusufeli formasyonu içerisinde alınan numunelerden yapılan XRD analiz grafiği.

4.1.2.5. Kaçkar granitoyidi (KTK)

Çalışma alanı içerisine Geç Kretase yaşlı Yusufeli formasyonunu keserek giren, Doğu Karadeniz'deki Kaçkar dağlarının bulunduğu alanlarda çok geniş yüzlekler veren, Geç Kretase-Paleosen yaş aralığında gelişen ve granit, granodiyorit, tonalit, monzonit, monzodiyorit gibi magmatik kayalardan meydana gelen birimler Güven (1998) tarafından Kaçkar granitoyidi olarak adlandırılmıştır. Birim adını Kaçkar dağlarından almaktadır. Bu birim çalışma alanının kuzeyinde geniş alanlarda, güneybatıda dar bir alanda yayılım sunmakta ve genellikle Boyalı köyü civarında gözlenmekte olup benzer niteliğe sahip birimler bu çalışmada da Kaçkar granitoyidi adıyla incelenmiştir (Şekil 4.18)

Genel olarak birim çalışma alanında granitik sokulumlar şeklinde yer almaktadır. Açık kahverengi, pembemsi gri ve sarımsı bej renklerde, taze kırık yüzeyleri ise açık gri ve pembemsi gri renklerde gözlenmektedir. Yer yer kırık ve çatlaklar gözlense de kayalar oldukça sert yapı sunmaktadır. Özellikle Yusufeli formasyonuna sokulumu esnasında çok fazla alterasyona sebep olduğu gözlenmektedir. Bu granitoidik kayaların yan kaya niteliğindeki Yusufeli formasyonunda oluşturduğu alterasyon zonları genellikle sarımsı turuncu renkler sunmaktadır. Söz konusu zonlarda yer yer pirit ve kalkopirit oluşumları gözlenmektedir (Şekil 4.19).



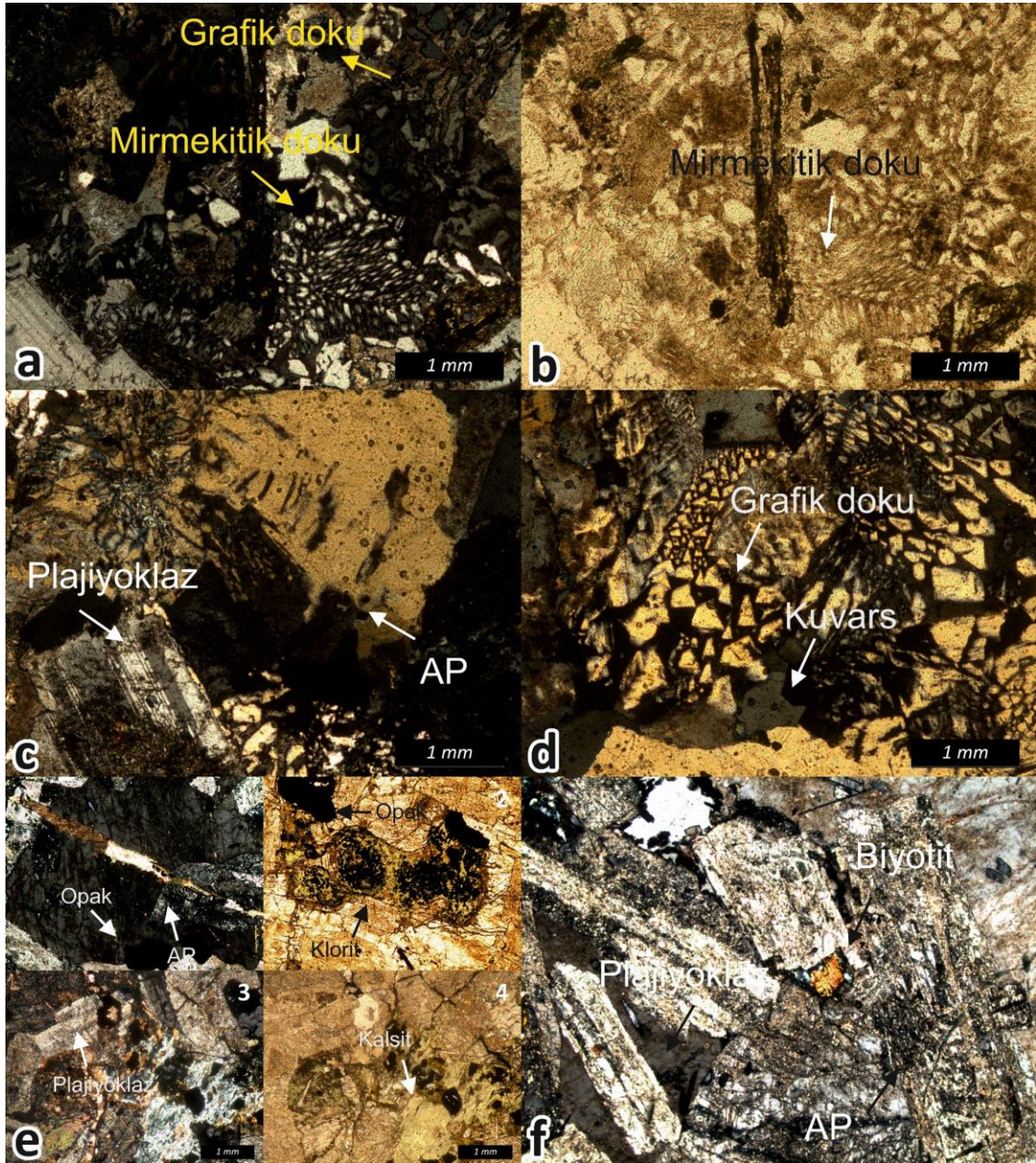
Şekil 4.18. Kaçkar granitoyitlerinin araziden görünümü (Esendal köy yolu üzeri).



Şekil 4.19. Kaçkar granitoyitlerinin arazi görüntüleri (a; Esendal köy yolu üzerinden görünümü, b; pembemsi gri-gri renkli taze kırık yüzeye sahip granitik kayaç, c; Boyalı köy yolu üzerinden görünümü, d; c görselindeki birimin taze kırık yüzey görseli, e; yakın bölgelerinde cevherleşmenin de bolca gözlemlendiği ileri derece alterasyona uğramış (hematitleşme) sarımsı turuncu renkli zon, f; altere olmamış kayaçların taze kırık yüzeyi.).

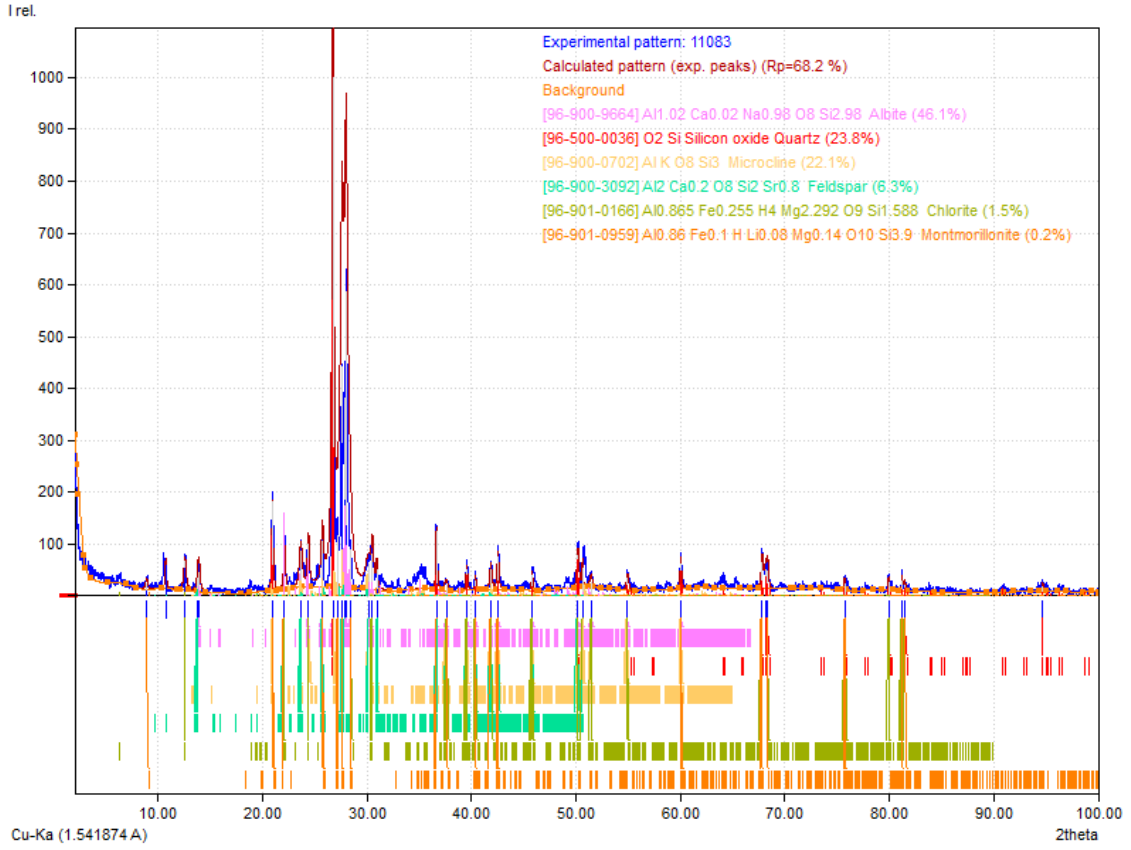
Birimden alınan örneklerin petrografik (ince kesit) incelemelerinde genellikle % 5-10 aralığında kuvars, % 40-60 aralığında plajiyoklaz, % 10-40 aralığında alkali feldispat, % 10' a kadar opak mineraller, % 5-10 aralığında klorit ve kalsit, % 5'e kadar mafik mineraller gözlenmektedir. Granitik bileşimdeki örneklerde ise kuvars oranı % 30'a kadar yükselmektedir. İncelemelerde genellikle kayaçlar tamamen kristallenmiş olup holokristalin taneseli doku gözlenmektedir. Taneler genellikle özşekilli-yarı özşekillidirler. Kesitlerde gözlenen plajiyoklazlarda albit ikizlenmesi ve karslbad ikizlenmesi yaygın olarak gözlenmektedir. Yüksek girişim renklerine sahip kalsit ve kloritler ortama ikincil olarak yerleşerek biyotitlerin altere olmasına neden olmuşlardır. Bazı kalsitler çatlaklar boyunca kanal dolgusu şeklinde yerleşmişlerdir. Granitik kayaçlarda alkali feldispat grubuna ait mineraller içerisinde kuvars kurtçukları şeklinde yerleşme ile oluşan mirmekitik doku ve grafik doku gözlenmektedir. Söz konusu dokular granitik kayaçlarda özel doku türlerindendir (Şekil 4.20). Formasyon içinden alınan örneklerin petrografik özellikleri dikkate alınarak yapılan incelemelerde gerekli diyagramlar kullanılarak (IUGS, 1976) genellikle monzonit, monzodiyorit ve granit tanımlamaları yapılmıştır.

Birimden alınan örneklerin XRD incelemeleri sonucu, albit oranının fazla olması kesitler içerisinde yaygın olarak gözlenen ve kayaç yapıcı minerallerden olan plajiyoklaz grubundan kaynaklanmaktadır. Monzonit ve monzodiyorit olarak tanımlanan kayaçlardaki kuvars oranının nispeten düşük olması grafikteki SiO_2 oranını desteklemektedir. Sonuçlardaki mikroklin oranı kesitlerde incelenen alkali feldispatların varlığından kaynaklanmakta olup bu alkali feldispatların içerisindeki mirmekitik dokuya sebep kuvarslar da SiO_2 oranına katkı sağlamaktadır. Feldispat grubu mineraller hem alkali feldispatlardan hem de plajiyoklazlardan oluşmaktadır ve grafikteki feldispat oranı bu iki gruptan kaynaklanmaktadır. Kayaç içerisinde ikincil olarak yerleşmiş olup ortamda bulunan mafik minerallerin alterasyonuna sebep olan yüksek girişim renklerine sahip klorit mineralinin oranı her iki petrografik çalışmada da düşük çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda kloritlerin gözlenmesi düşük sıcaklık alterasyonuna işaret etmektedir. Grafikte herhangi bir cevher yapıcı mineral pikinin olmamasının sebebi ise birim içerisindeki sarımsı turuncu renkteki alterasyon zonlarından derlenen örneklerden yapılan analiz sonuçlarına göre opak mineral oranının çok az olmasıdır. Bazı alkali feldispat grubu minerallerde çok az oranda killeşme gözlenmektedir (Şekil 4.21).



Şekil 4.20. Kaçkar granitoidlerine ait 2,5x büyütme ile çekilmiş ince kesit görüntüleri (a,b; grafik ve mirmekitik doku, c; plajiyoklaz ve ortoklaz, d; grafik doku ve kuvars, e_{1,2}; opak mineraller ve kloritleşme, e_{3,4}; plajiyoklaz ve kalsit, f; plajiyoklaz, kalsit ve AP, a, c, d, e_{1,3}, f: +N, b, e_{2,4}: //N).

Birim çalışma alanı içerisinde Bostancı köyünün kuzeyinde ve genellikle Boyalı köyü civarında geniş yayılım sunmaktadır. Güven (1998)'e göre, gelişimini Geç Kretase boyunca sürdürmüş ve yerleşim sürecini Paleosen sonunda tamamlamış olan bu birimin keserek geldiği diğer birimler ile arasında aşınım düzeyi bulunmaktadır. Boztuğ ve ark., (2003) yapmış olduğu çalışmada Kaçkar batolitinin, Erken Kretase'den başlayarak Geç Eosen'e kadar değişen bir aralıkta, farklı ortamları ve kabuk içerisindeki farklı seviyeleri karakterize eden dört magma kaynağından türediğini belirtmektedirler.



Şekil 4.21. Kaçkar granitoidleri içerisinde alınan numunelerden yapılan XRD analiz grafiği.

4.1.2.6. Alüvyon (Qal)

Birim çalışma alanında Barhal çayı boyunca yüzlek veren ve genellikle günümüz akarsu yataklarında dolgulanan çakıl, blok, kum, silt, kil gibi çok çeşitli malzemelerden oluşmakta olup farklı boyutlarda tutturulmamış çökeller olarak tanımlanmaktadır.

Dere yataklarının kenarları ile Çoruh Nehri'nin yeni yatağı çevresinde çok ince boyutlardan çok kalın boyutlara kadar büyüklükleri değişebilen malzemeleri bünyesinde barındıran genç çökeller bulunmaktadır. Çoruh Nehri ile daha güney batıda birleşen Barhal Çayı oldukça yüksek bir aşındırma ve taşıma gücüne sahiptir. Kuvvetli aşındırma gücüne sahip olduğunu günümüzden çok daha önce oluşturduğu farklı türde kayaç çakılları ve kum, silt boyutunda malzemelerin bulunduğu çökellerin gözlemlendiği alanlardan anlamak mümkündür. Çok geniş boyut aralığına (milimetre boyutundan blok boyutuna kadar) sahip bu çakıllar kötü boylanmış olup yuvarlak ve/veya yuvarlağa yakın yapı sunmaktadır. Kuvaterner yaşlı bu çökeller günümüzde de oluşumlarına devam etmektedir.

4.1.3. Yapısal jeoloji

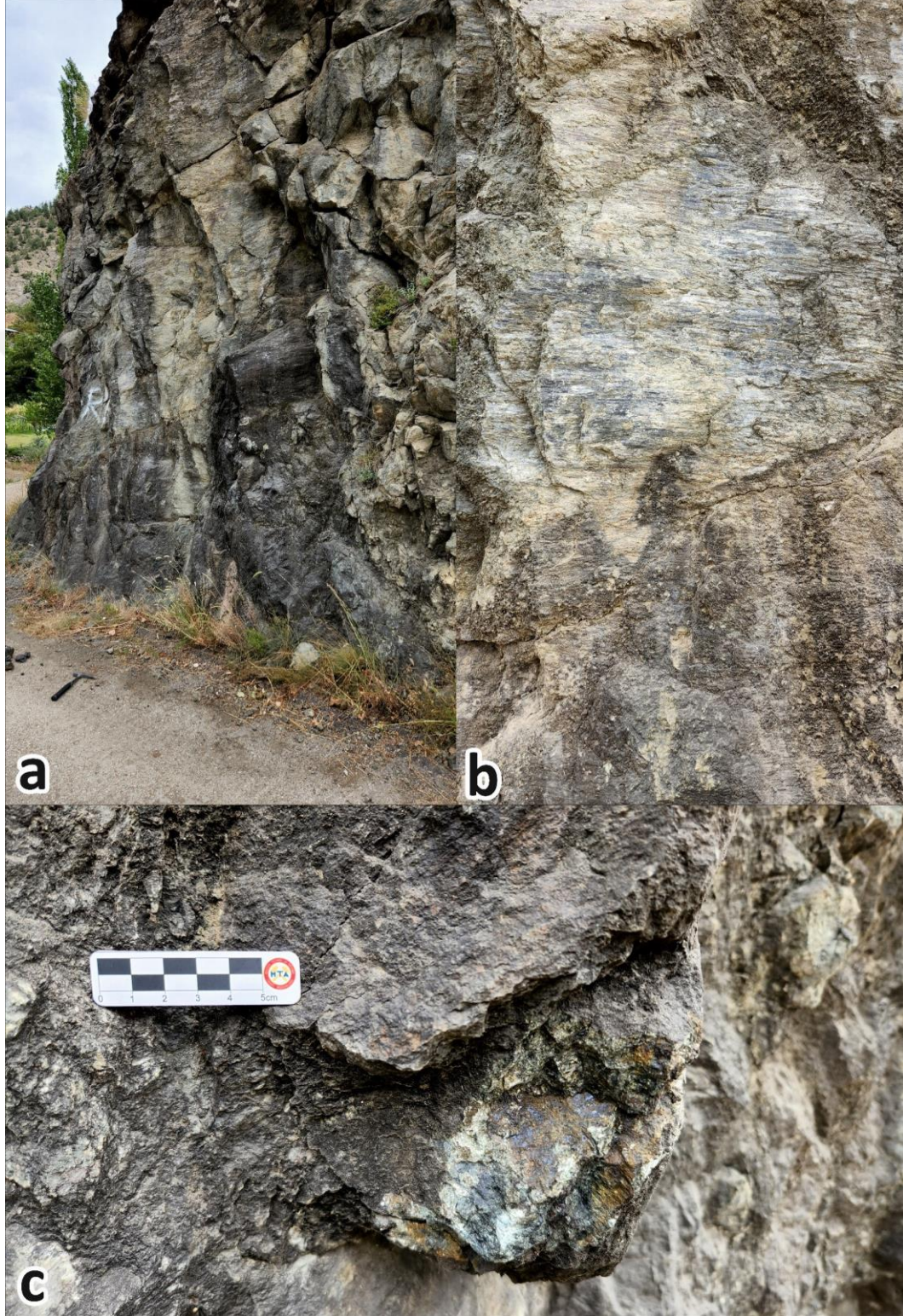
İnceleme alanı ülkemiz için tanımlanan ana tektonik birliklerden biri olan Pontidler içinde yer almaktadır. Ketin ve Canitez (1972) Pontidler’i Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan Doğu Pontidler ve Batı Karadeniz bölgesinde bulunan Batı Pontidler olarak iki ayrı bölüm adı altında değerlendirmişlerdir. Doğu Pontidler jeotektonik açıdan incelendiğinde, bölgenin Jura sonuna kadar sıkışmalı bir tektonizmanın etkisinde kaldığı görülmektedir (Kromberg, 1970; Pejatoviç, 1979). İnceleme alanı ve yakın çevresinde Alp-Himalaya dağ oluşumunun etkisi yoğun olarak gözlenmektedir (Kromberg, 1970; Pejatoviç, 1979). Bu orojenik faaliyetler genellikle blok fay oluşumlarına neden olmuştur ve bölgede yaygın olan yapısal unsurlar bu blok fay tektoniğine bağlı olarak gelişmiştir (Kromberg, 1970; Bektaş ve Çapkinoğlu, 1997). Özellikle derin KD-GB ve KB-GD yönlü doğrultu atımlı faylar ve ters bindirme fayları çalışma alanı içinde yaygın olarak gözlenmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Mudurnu formasyonu ile Yusufeli formasyonu arasındaki tektonik sınır (Esental köy yolu).

Çalışma alanında KD-GB doğrultulu ve genellikle GD’ya doğru eğimli normal faylar baskın olup bu faylardan biri Esental Köy ile Boyalı Köyü yolu üzerinde bulunmaktadır (Şekil 4.23). Bostancı köyüne doğru yönelimi olan bu fay K35⁰D gidişli ve 85⁰ GD’ya eğimli, normal bileşenli sağ yönlü bir doğrultu atımlı fay karakterine sahiptir. Bu güney kola ayrılan kısım Bostancı Köyü’ne doğru boyun kısmından geçmektedir. Esental Köy merkezinde incelemesi yapılan bu fay kestiği birim yüzeyinde kayma çizikleri bulunmaktadır. Kayma çiziklerinin bulunduğu fay düzlemi

üzerinde yapılan incelemelerde yaklaşık olarak Kaçkar granitoidleri ve Yusufeli formasyonu sınırında bulunan bu faya bağlı olarak Yusufeli formasyonu içinde bazı metalik zuhurlar ve alterasyonlar gözlenmiştir (Şekil 4.23c). Esendal köy merkezinde dar bir alanda gözlenen bu zuhurlar parlak gri ve koyu gri renklere sahiptir.



Şekil 4.23. Esendal köy merkezi civarında gözlenen yapısal unsur (a; eğimin güneydoğuya doğru ve dike yakın olduğu bölge, b; kayma çizikleri, c; kayma esnasında oluştuğu düşünülen alterasyon).

4.1.3.1. Uyumsuzluklar

Çalışma alanında 3 ayrı uyumsuzluk yüzeyi belirlenmiştir. Bunlardan ilki Geç Jura yaşlı bazalt, andezit ile başlayıp üst kesimlerine doğru lav ve piroklastik geçişleri gözlenen Mudurnu formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelen yaygın olarak resifal kireçtaşlarının bulunduğu ancak tabana yakın düzeylerinde çamurtaşı, kumtaşı, çakıltası araldanması sunan Öğdem formasyonunun tabanında gözlenmektedir.

İkinci uyumsuzluk yüzeyi ise Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Öğdem formasyonunu uyumsuzlukla örten Geç Kretase yaşlı, yer yer bazaltik lav ara katkılı andezitik-dasitik lavlar ve piroklastikler, piroklastik ara katkılı volkanik kökenli kumtaşı, silttaşı, şeyl araldanması ile birlikte riyoit-riyodasit gibi felsik kayaçların da bulunduğu Yusufeli formasyonunun tabanında yer almaktadır.

Üçüncü ve son uyumsuzluk yüzeyi ise daha yaşlı birimler üzerine uyumsuzlukla gelen Kuvaterner yaşlı karasal ayrışma ve depolanma dönemine ait alüvyonların tabanında gözlenmektedir.

4.1.3.2. Tabaka ve kıvrımlar

İnceleme alanında genellikle Yusufeli formasyonunda belirgin tabakalanma gösteren birimlerden tabaka ölçümleri yapılmıştır. Mudurnu formasyonu ve yine çalışma alanı içerisinde nispeten daha dar alanlarda yüzlek veren Öğdem formasyonunun kireçtaşı birimlerinden de tabaka ölçümleri yapılmıştır.

Yusufeli formasyonunun düzgün tabakalanma gösteren tuf, aglomera ve breş seviyeleri formasyonun üst kesiminde daha yaygındır. Çalışma alanında Solan Tepe civarında yapılan ölçümlerde baskın tabaka doğrultusu KB olarak gözlenmiştir. Eğimler lokasyonlara göre 30 ila 60° arasında ölçülmekte olup KD yönüne doğrudur. Satıtere Tepe mevkinde yaklaşık KG doğrultulu tabakalanmalar da gözlenmektedir. Yusufeli formasyonunun en güneydoğusunda ölçülen tabakalarda doğrultuların K 20-30° B, eğimlerin de yaklaşık 50° KD, 30° GB olduğu gözlenmektedir.

Öğdem formasyonunun nispeten kötü tabakalanmalı kireçtaşı lokasyonlarından yapılan çalışmalarda Hacerataş Tepe kuzeyinde K 10° B doğrultu ve yaklaşık 50° KB eğim ölçümü yapılmıştır. Formasyon içerisinden yapılan diğer tabaka ölçümlerinde ise yaklaşık K 30° D doğrultu ve 30-50° arasında değişen GD yönlü eğim gözlenmiştir.

Mudurnu formasyonu içerisinde tabakalanmanın nispeten belirsiz oluşu nedeniyle çok fazla doğrultu ve eğim ölçümü yapılamamıştır. Yapılabilen ölçümde ise K 45° D doğrultu ve 30° GD yönlü eğim gözlenmiştir.

4.1.3.3. Kırık ve çatlaklar

Çalışma alanı içerisinde bulunan süreksizlik düzlemlerinin magmanın çıkış kanalı olarak kullanılma ihtimali değerlendirilmektedir. Bölgedeki kayaçların jeotektonik özellikleri incelendiğinde, derinlik kayaçlarının, strato volkanların ve kalderalarının bu yapısal unsurlarla ilintili olduğu görülmektedir. Tektonizmayla derinlik kayaçları ve cevherleşmelerin ilişkisi dikkate alındığında, bölgedeki metal yönünden zengin alanların bölgesel tektonizmanın etkin olduğu genişleme rejimi esnasında geliştiğine işaret etmektedir. Özellikle, çalışma alanına yakın VMS ve porfiri tip cevherleşmeler kaldera ve domsal yapılar ile ilişkili olup kırık ve fayların bölgede yaygın olan maden yataklarının oluşumunda etkin rol oynamış olma ihtimali bulunmaktadır.

4.1.3.4. Jeolojik evrim

Çalışma alanının içinde bulunduğu Doğu Pontidler ile ilgili çalışmalar çok eski yıllardan beri sürdürülmektedir. Farklı araştırmacıların farklı yıllarda yaptıkları çalışmalara göre Doğu Pontidler; kuzey zon, orta zon ve güney zon (Gattinger, 1956), kuzey zon ve güney zon, (Arni, 1939; Bektaş ve ark., 1987; Güven, 1993; Kurt ve ark., 2006), kuzey zon, güney zon ve eksen zonu (Bektaş ve ark., 1995) gibi bölümlere ayrılmıştır. Çalışma alanı Konak ve ark., (2001) tarafından ayrılan Hopa-Borçka Zonu ve Artvin-Yusufeli Zonu içerisinde bulunmaktadır.

Çalışma alanında en yaşlı birim olan Berta formasyonu (Jura), Doğu Pontidler içinde bulunan Karbonifer yaşlı granitoyitlere benzer nitelikteki ve tektonik süreçlerden etkilenmiş olan granitik kayaçların üzerine uyumsuzlukla gelir. Her ne kadar Jura-Kretase yaşlı istiflerin taban ilişkileri net bir şekilde gözlenmese de Gümüşhane-Bayburt yöresinde çalışan araştırmacılara göre (Ketin, 1951; Yılmaz, 1972; Ağar, 1977; Akdeniz, 1988) ve Transkafkasya'da (Yılmaz, 1989; Adamia ve ark., 1992) Liyas yaşlı çökeltiler Paleozoyik yaşlı birimlerin üzerine Liyas transgresyonu ve uyumsuzlukla gelmektedir. Bu süreçte ortam derin deniz niteliği kazanmış ve Berta formasyonunun tabanındaki kırıntılı kayaçlar çökelmiştir. Bu çökelim bölgedeki faal volkanizma ile eş zamanlı gerçekleşmiş olup çalışma alanındaki Berta formasyonu ile herhangi bir

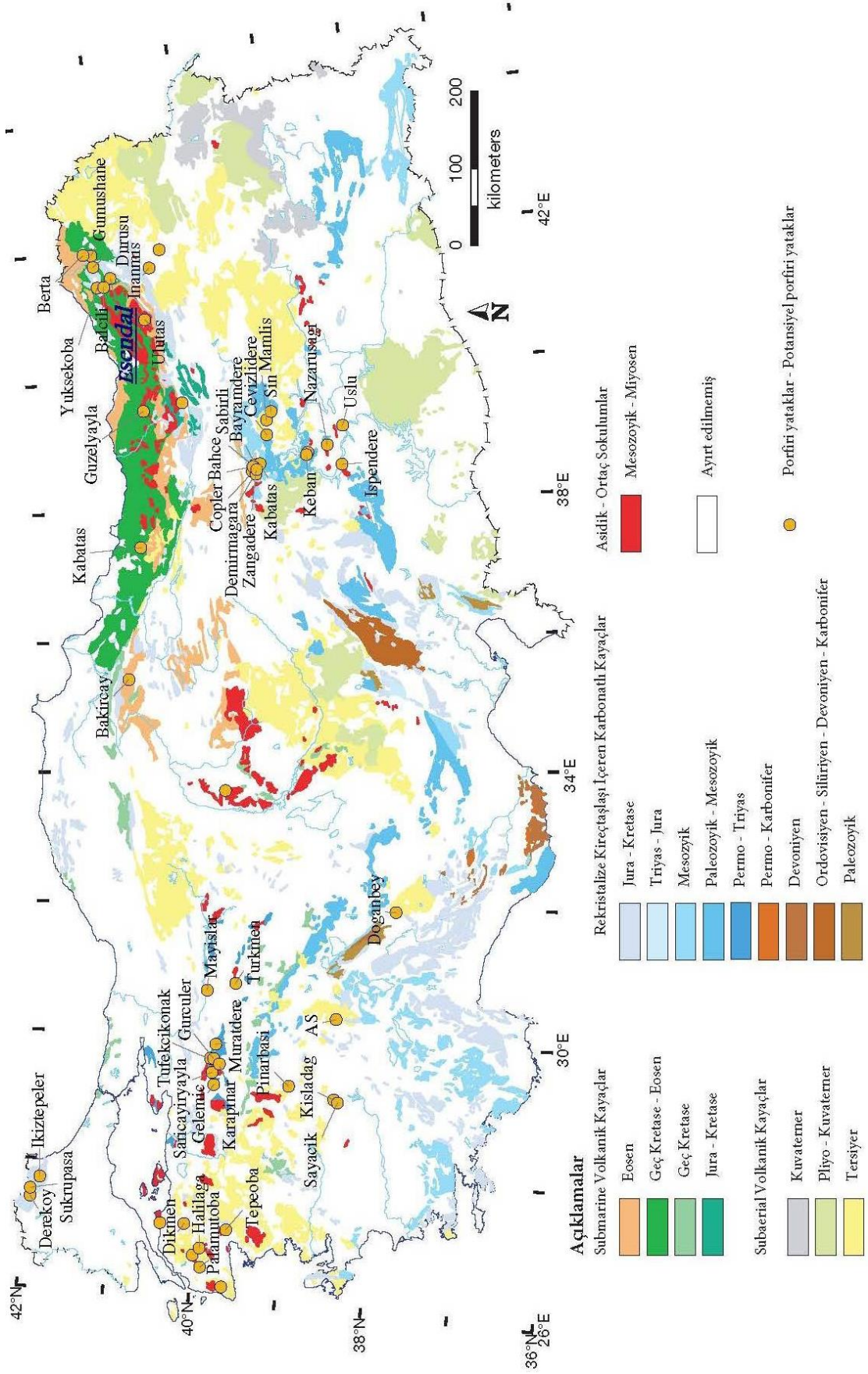
uyumsuz yüzey göstermeyen Mudurnu formasyonunun bahsi geçen volkanik aktivitenin ürünü olduğu gözlenmektedir. Orta-Geç Jura sonunda tektonik faaliyetle (çarpması sonucu) bölgenin yükseldiği belirtilmektedir (Ustaömer ve ark., 2010). Bu yükselim sonrası Geç Jura döneminde gelişen transgresyondan Berta formasyonu oldukça etkilenmiş olup birim içerisindeki kayalar kıvrılmış ve çok düşük dereceli metamorfizmaya uğramışlardır. Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Öğdem formasyonu da ikinci gelişen transgresyon ile denizel ortam koşullarına geçilmesi sonucu karasal, sık denizel kırıntılardan oluşmaktadır. Bu kireçtaşları Erken-Orta Jura birimleri üzerine bir uyumsuzlukla gelir. Bu durum dönem boyunca güneyde Neotetis derinleşirken kuzeyde Paleotetis'in varlığını hala sürdürdüğünü göstermektedir (Yılmaz ve Tüysüz, 1988). Bu aralık bölgede volkanizmanın gözlenmediği sakin bir dönemi temsil etmektedir. Bu süreçlerden sonra Kretase boyunca bölgede bulunan Neotetis'in kuzey kolunun dalması sonucunda okyanusal yay ardı havza olarak Karadeniz oluşmuştur (Görür, 1988). Neotetis'in kapanmaya başladığı varsayılan Erken Kretase sonlarında çalışma alanı yakınlarında ofiyolitik kayaların yerleştiği düşünülmektedir ve bu yerleşim ile yaklaşık aynı dönemde, çalışma alanının da içinde bulunduğu Hopa-Borçka ve Artvin-Yusufeli Zonlarındaki yaygın yay magmatizması gelişmiştir (Konak ve Hakyemez, 2009). Gelişen volkanik yay, Jura esnasında meydana gelen riftleşme nedeniyle oluşan pasif kıta kenarının bazaltik-andezitik, dasitik lav ve piroklastik seriler oluşturmasını sağlamıştır. Bu seri, çalışma alanında Yusufeli formasyonunun bazik serisine karşılık gelmektedir. Aynı dönemde aktif volkanizmanın ikinci ürünleri ise asidik karakterlidir. Yay magmatizmasına sebep olan levha hareketi sonucu üste doğru hareket eden levhanın derin kesimleri artan kalınlık nedeniyle kısmi ergiyeme uğramış ve böylelikle granitik bileşimdeki magma bölgenin farklı alanlarında magmatik sokulumlar oluşturmuş (Genç, 1994) olup çalışma alanı içerisinde Kaçkar granitoidleri bu süreçte oluşmuştur.

4.2. Maden Jeolojisi

Bu tez çalışmasının ana konusu Esendal köyü (Yusufeli - Artvin) civarının maden yatak potansiyelinin araştırılmasıdır. Bölgede Geç Kretase-Paleosen yaşlı Kaçkar granitoyitlerinin yerleşimi esnasında granitoyitler tarafından kesilen Geç Kretase yaşlı Yusufeli formasyonunun sınırında yoğun alterasyonlar gerçekleşmiştir. Kaçkar granitoidinin sokulum yaptığı sırada çalışma alanı içerisinde porfiri tip Cu-Au cevherleşmeleri oluşmuştur.

Porfiri Cu-Au yatakları, kıta kenarlarının ve ada yaylarının magmatik kuşaklarında bulunmaktadır. Bu kuşaklarda, yitim zonu boyunca okyanus kabuğunun derinlere dalmasıyla kısmi ergimesi sonucu kalkalkalen volkanizma oluşur. Pontidler’de çok sayıda porfiri Cu-Au cevherleşmeleri bulunmaktadır (Şekil 4.24). Pontid kuşağı içerisinde gözlenen porfiri Cu-Au cevherleşmeleri genellikle Geç Kretase yaşlı granitoidlerle ilişkilendirilmektedir (Yiğit, 2009). Doğu Pontidler’in güney zonunda yer alan Üst Kretase ve özellikle Eosen volkanitlerindeki hidrotermal alterasyonlar da dikkat çekmektedir. Bilinen porfiri sistemlerin çoğu daha düşük dereceli mineralizasyon içermekte olup genellikle bakır, molibden ve nispeten daha az oranda altın bulundurmaktadır. Çalışma alanına nispeten yakın olan Güzelyayla, Gümüşhane, Bakırçay, Balcılı ve Ulutaş gibi bölgelerde porfiri sistemler olmasına karşın bugüne kadar ekonomik öneme sahip bir cevherleşme tespit edilmemiştir. Bunun yanı sıra Şebinkarahisar batısından başlayıp, doğu yönünde Bayburt kuzeyi ve İspir-Yusufeli üzerinden Olur'a kadar uzanan kuşaktaki yaygın alterasyonların oldukça önemli olduğu gözlenmektedir. Çalışma alanı içerisinde bulunan Geç Kretase-Paleosen yaşlı Kaçkar granitoidi de cevherleşmelerin sebebi olarak değerlendirilmektedir.

İnceleme alanında granitoidlerin sokulumu sırasında alterasyona uğrattığı kesimlerde yaygın olarak cevherli kayalar bulunmaktadır. Esendal Köy merkezinde bulunan alterasyon zonu, kuzeydoğu yönüne doğru yükselen ve Soltukan sırtının kuzeyinden Demirci mezarına kadar uzanan dere yatağı boyunca gözlenmekte olup yaygın olarak sarımsı turuncu renkli hematitleşmeye eşlik eden silişleşme, limonitleşme, malahitleşme türünde alterasyonlar ve pirit, kalkopirit gibi cevher minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 4.25, Şekil 4.26). Esendal Köyü’ndeki alterasyon zonunun kuzeybatısında kalan kesimde yaygın olarak Kaçkar granitoidlerine ait monzonit-monzodiyorit, güneydoğu tarafında kalan kesimde ise Yusufeli formasyonuna ait riyolitler gözlenmektedir.



Şekil 4.24. Türkiye’deki porfiri tip yatakların dağılımı (Yigit, 2009’ dan düzenlenmiştir).

Porfiri tip yataklanmalarda cevher yapıcı magma sokulumu esnasında içten dışa doğru sırasıyla; potasik, fillik, arjilik ve propilitik alterasyon zonları oluşmaktadır (McMillan ve Panteleyev, 1988). Çalışma alanı içerisinde gözlenen cevherleşmeler üzerinde yapılan mineralojik ve petrografik incelemelerde yaygın olarak klorit, epidot ve kalsit belirlenmiştir. Bu minerallere çoğunlukla kalkopirit ve pirit de eşlik etmedir. Bu gözlemler dikkate alındığında porfiri sokulumun nispeten düşük sıcaklık zonuna karşılık gelen propilitik alterasyon zonunda incelemeler yapıldığı belirlenmiştir.

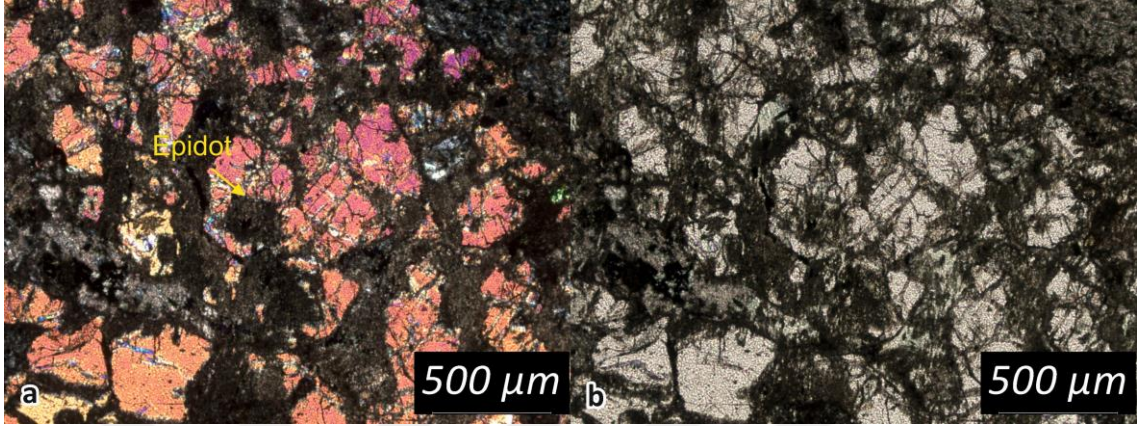


Şekil 4.25. Esendal köy merkezinde dere yatağı boyunca gözlenen sarımsı turuncu renkli alterasyon (hematitleşme, limonitleşme ve pirit-kalkopirit oluşumları).

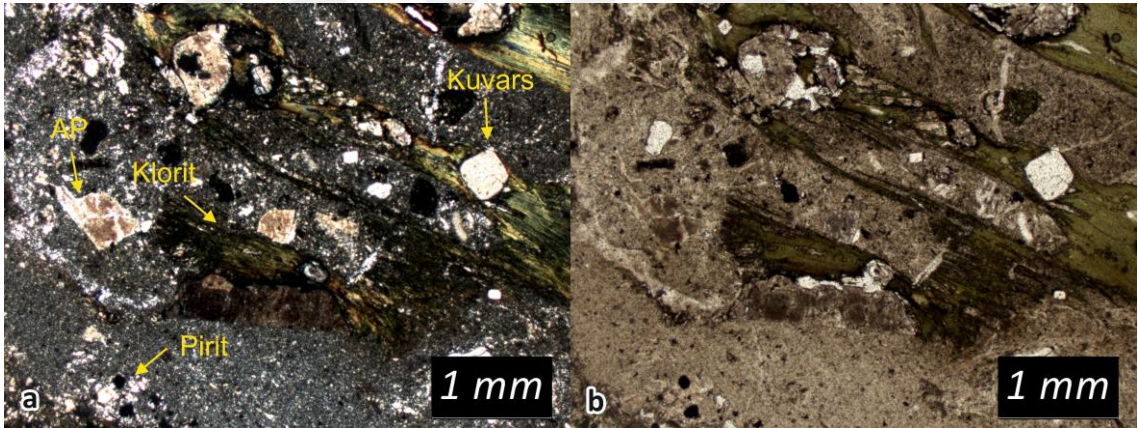


Şekil 4.26. Esendal köy merkezinde dere yatağı boyunca gözlenen birimlerden alınan yoğun pirit-kalkopirit içeren örnek.

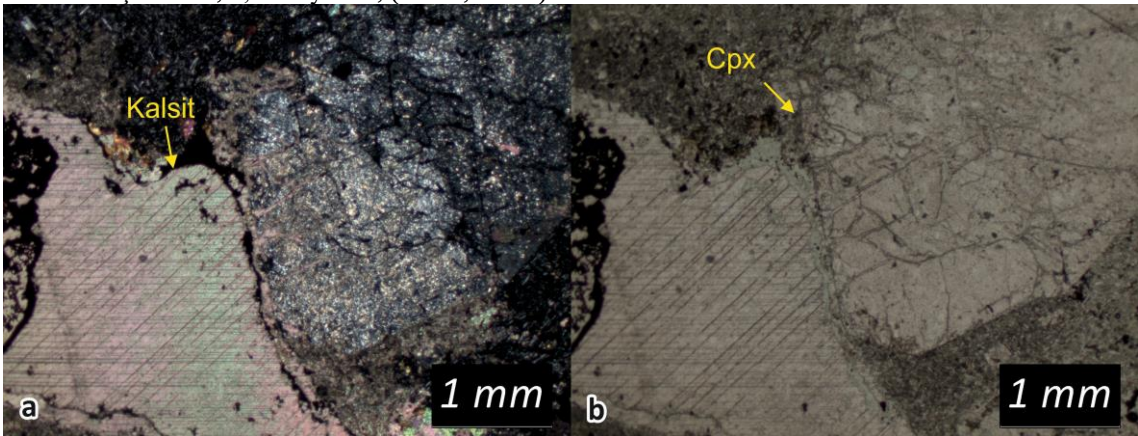
İnceleme alanındaki cevherleşmenin gözlemlendiği alandan alınan örneklerden yapılan ince kesit ve parlatma kesitleri birlikte değerlendirilerek bakır-altın zenginleşmeleri ve mineral parajenezi belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.27 – 4.33). Bu incelemeler sırasında kayaçların makro özelliklerinden ve yapılan kimyasal analiz sonuçlarından da yararlanılmıştır.



Şekil 4.27. Yusufeli formasyonuna ait kayaç örneği içerisinde bulunan plajiyoklazların epidotlaşması, 5x büyütme, (a: +N, b: //N).



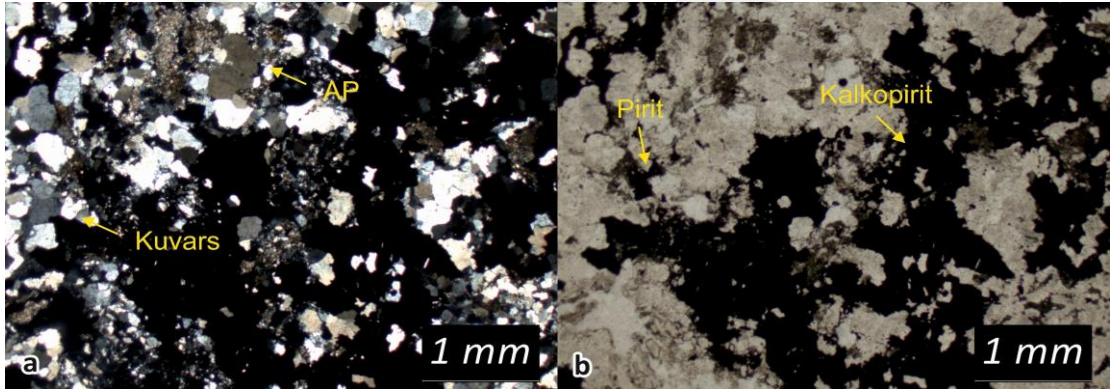
Şekil 4.28. Genellikle biyotitlerde gözlenen kloritleşme, alkali feldispat (AP), kuvars ve muhtemel pirit saçınımları, 2,5x büyütme, (a: +N, b: //N).



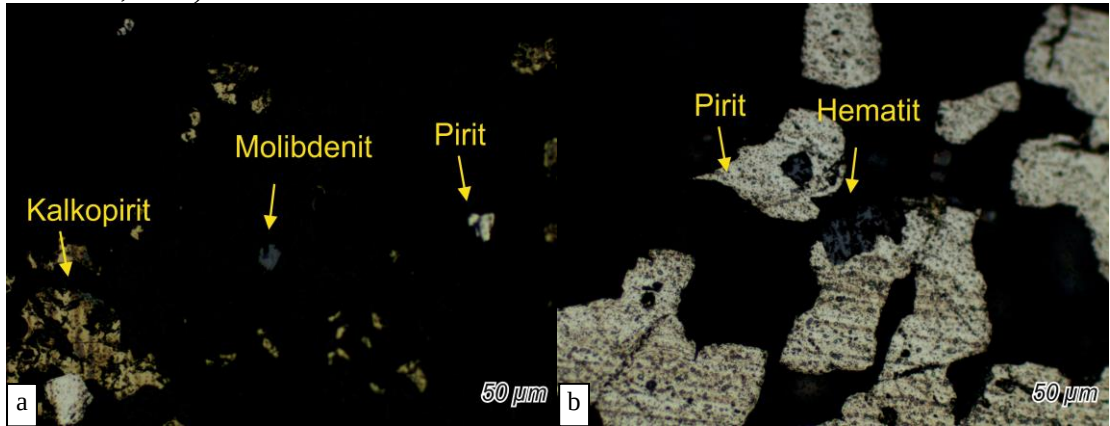
Şekil 4.29. Yusufeli formasyonuna ait kayaç örneği içerisinde bulunan tipik kalsit ve klinopiroksen (Cpx), 2,5x büyütme, (a: +N, b: //N).

İnce kesitlerde plajiyoklasların epidotlaşmış ve genellikle biyotitlerin alterasyona uğrayarak kloritleşmeler ve ikincil kalsitler oluşmuştur. Numunelerin aynı yüzeyinden yapılan parlak kesitlerin cevher mikroskobu incelemelerinde ince kesitlerde gözlenen opak minerallerin; pirit, kalkopirit, az miktarda hematit ve molibdenit oldukları belirlenmiştir (Şekil 4.30-4.33).

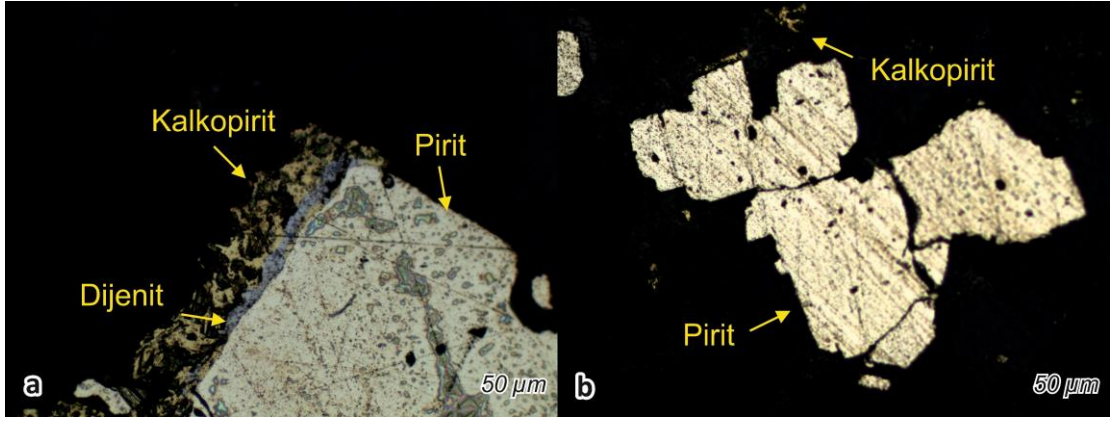
Cevherleşme içerisinde bakırın birincil minerali olarak kalkopirit yer almaktadır. Kalkopiritler özşekilsiz ve mikroskop altında sarı, koyu sarı renkler sunmaktadır. Kalkopiritin bünyesinde bulunan bileşenlerden Cu, oksidasyon koşulları altında dijenit oluşumuna kaynaklık etmektedir. Piritler ise bazı kesitlerde özşekilli bazı kesitlerde özşekilsiz olarak gözlenmekte ve beyaz, kirli beyaz, sarı ve açık sarıya yakın renkler sunmaktadır. Bazı piritlerin boşluklarında hematit ve molibdenit kapanımları bulunmaktadır. Pirit ve kalkopiritin sınırında bakır oksit minerali olan dijenit gözlenmektedir. Parlak kesitlerde yaygın olarak gözlenen kalkopirit ve sınırlı oranda belirlenen dijenitler bölgedeki bakır cevherleşmesine işaret etmektedir.



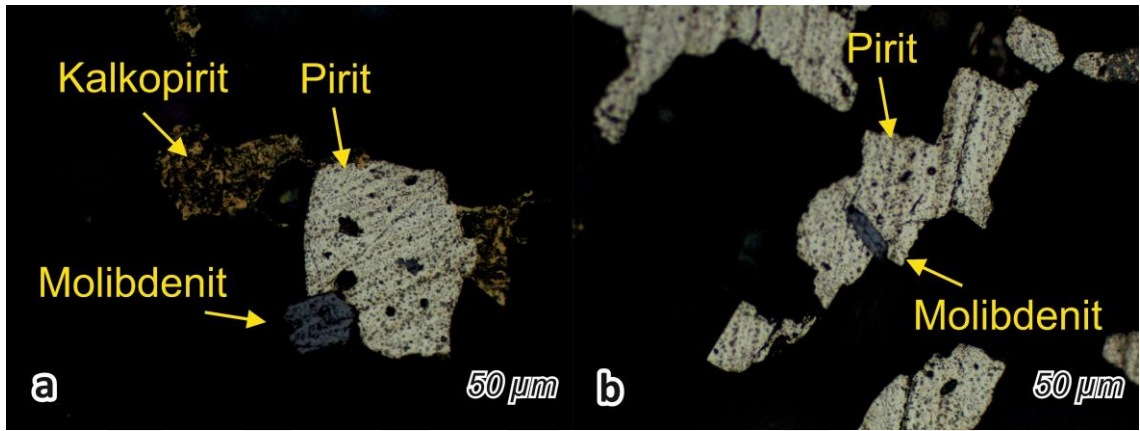
Şekil 4.30. Esendal Köyü alterasyon zonundan alınan örneklerden hazırlanan ince kesitlerde kuvars ve alkali feldispatlarla (AP) birlikte bulunan opak mineral (pirit-kalkopirit) saçınımları, 2,5x (a: +N, b: //N).



Şekil 4.31. Esendal Köyü alterasyon zonundan alınan örneklerden hazırlanan parlak kesitlerde; a) Pirit, kalkopirit ve çok düşük oranda molibdenit, b) Piritlerin arasında gözlenen hematit, 20x büyütme, (+N).



Şekil 4.32. Parlak kesitte pirit, kalkopirit, dijenit, 20x büyütme, (a; kalkopirit ve piritin sınırında gözlenen bakır oksit minerali (dijenit), b; pirit, kalkorit (+N)).



Şekil 4.33. Parlatma kesitte pirit, kalkopirit ve molibdenit, 20x büyütme, (a; kalkopirit, pirit ve içerisinde molibdenit kapanımı, b; pirit ve molibdenit (+N)).

4.3. Jeokimyasal İncelemeler

Yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışması neticesinde inceleme alanı içerisinde 69 adet numune derlenmiş olup bunların arasından 16 adet kayaç numunesinin kimyasal analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar her bir formasyon için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Yapılan analizlerde element konsantrasyon ölçümü yapılan ana oksitlere ait bileşenler oksit konsantrasyonu şekline dönüştürülerek (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr_2O_3 , A.Z.) yüzde oran (%) olarak değerlendirilmiştir. Ölçümü yapılan iz elementler (Au, Ag, As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cs, Cu, Ga, Ge, Hf, Hg, In, Li, Mo, Nb, Ni, Pb, Pd, Pt, Rb, Re, S, Sb, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Tl, U, V, W, Zn, Zr) ve nadir toprak elementleri (Y, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Sc, La, Ce, Pr, Nd, Sm) ise ppm olarak değerlendirilmiştir. Yapılan jeokimyasal çalışmalarda nadir toprak elementleri, hafif nadir toprak elementleri (HNTE: Sc, La, Ce, Pr, Nd, Pm ve

Sm) ağır nadir toprak elementleri (ANTE: Y, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu) ve olarak (Henderson, 1984) iki ayrı grupta toplanarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar sonucu ana oksitler, iz elementler ve nadir toprak elementleri de dahil olmak üzere 67 bileşen değerlendirmeye alınarak yer kabuğundaki ortalama değerleri ve bazı standart referans kayaç (andezit, dasit, kalkalkalen kayaçlar, ada yayı toleyitleri vb) ortalamaları (Rollinson, 1992; Brownlow, 1996; McSween Jr. ve ark., 2003; Misra, 2012) ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Ayrılan numune grupları parametrik istatistiksel analizlerle değerlendirilerek, her grup için aritmetik ortalama, standart sapma, standart hata hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamaların tutarlılığının denetlenmesi için bütün numune gruplarında student-t testi gerçekleştirilmiştir. Bu test, seçilen anlamlılık düzeyinde anakitle aritmetik ortalamasının kontrol edilmesi için kullanılmaktadır. Hesaplanan değerler daha çok aritmetik ortalamanın önemi yani sıfırdan farklı bir değere sahip olup olmadığı test edilerek sıfırdan farklı bir değere sahipse bu ortalamanın önemli olduğu yorumunun yapılmasını sağlamaktadır.

Bazı örneklerde anakitle aritmetik ortalamasının güven aralığı % 95 anlamlılık düzeyinde negatif değerler göstermektedir. Bu durumun bölgedeki hidrotermal alterasyon ve cevherleşme ile alakalı olduğu yorumu yapılmıştır.

Araziden derlenen numuneler genellikle cevherleşme potansiyeline sahip alterasyonların yaygın olarak gözlemlendiği kesimlerden alındıkları için jenetik sınıflama diyagramlarına düşmemiştir.

4.3.1. Yusufeli formasyonu

Yusufeli formasyonundan derlenen 7 adet numunede yapılan kimyasal analiz sonucu B, Pd, Pt ve Ta bütün numunelerde deteksiyon limitinin altında kalmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarına uygulanan student t testinde (tutarlılık analizi) TiO_2 , Au, Ag, As, Ba, Bi, Co, Cu, Nb, Ni, S, Se, Sn, Te, V ve W değerlerinin değişim aralıklarının çok yüksek olması nedeniyle anakitle aritmetik ortalamalarının alt sınırı negatif değerlerden başlamaktadır (Çizelge 4.1). Hesaplamaları yapılan diğer bileşenler ile ilgili yorumlar % 95 anlamlılık düzeyinde tutarlıdır.

İncelenen numunelerin SiO_2 değerleri ortalama % 67.60 olup örneklerin alındığı anakitlede % 58.28 ile % 76.92 aralığında SiO_2 oranı beklenmektedir. Bu oran, standart ada yayı toleyitleri alt grubu toleyitik dasit değerinden (% 79.20; Jakes ve White, 1972)

düşük, kalkalkalen kayaçlar grubu dasit değerine (% 66.80; Jakes ve White, 1972) yakındır. SiO_2 değerlerinin ortalamasını Yusufeli formasyonunun asidik serisine ait numuneler arttırmaktadır. Ortalamaya etkisinin az gözlemlendiği Ae-68 no'lu örnekteki SiO_2 oranı dikkate alındığında ise % 45-52 arasında değerlerle (Rollinson, 1992) bazik olduğu gözlenmektedir.

Kayaçlardaki ortalama Al_2O_3 içeriği % 2.31 olup örneklerin alındığı anakitlede % 0.81 ile % 3.81 aralığında Al_2O_3 beklenmektedir. Bu değerler standart toleyitik dasit (% 11.10; Jakes ve White, 1972) değerinden oldukça düşüktür. İncelenen numunelerin Fe_2O_3 oranları ortalama % 4.29 olup örneklerin alındığı anakitlede % 95 anlamlılık düzeyinde % 1.99 ile % 6.60 arasında Fe_2O_3 beklenmektedir. Bu değer standart bazalt-andezit Fe_2O_3 oranlarından (bazalt; % 3.79, andezit; % 3.27; Winter, 2001) yüksek olup, kalkalkalen kayaçlar grubunda yer alan düşük potasyumlu andezit değerine (% 3.90; Jakes ve White, 1972) nispeten yakındır.

Kayaçlardaki ortalama MgO oranı % 1.51 olup bu örneklerin alındığı anakitlede % 0.17 ile % 2.85 aralığında MgO içeriği beklenmektedir. Bu değer standart bazalt-andezit MgO oranlarından (bazalt; % 6.73, andezit; % 3.33; Winter, 2001) düşük olup, kalkalkalen kayaçlar grubunda yer alan dasit değerine (% 1.50; Jakes ve White, 1972) oldukça yakındır.

Yusufeli formasyonundan alınan örneklerdeki ortalama CaO değeri % 1.87 olup örneklenen anakitlede % 0.16 ile % 3.58 arasında CaO içeriği beklenmektedir. Bu değer, ada yayı toleyitleri alt grubu toleyitik dasit değerine (% 2.06; Jakes ve White, 1972) yakın, kalkalkalen kayaçlar grubu dasit değerinden (% 66.80; Jakes ve White, 1972) düşüktür.

İncelenen kayaçların ortalama Na_2O değeri ortalama % 0.13 olup örnekleme yapılan anakitlede % 0.06 ile % 0.20 aralığında Na_2O beklenmektedir. Bu değer standart bazalt-andezit Na_2O oranlarından (Winter, 2001) ve kalkalkalen kayaçlar grubunda yer alan dasit değerinden (Jakes ve White, 1972) oldukça düşüktür.

Kayaçların ortalama K_2O değerleri % 0.17 olup örneklenen anakitlede % 0.04 ile % 0.31 aralığında K_2O bulunmaktadır. Bu değer riftleşmeyle ilişkili toleyitik bazalt değerinden (Brownlow, 1996) yakın yüksek, kalkalkalen kayaçlar grubunda yer alan dasit değerinden (Jakes ve White, 1972) oldukça düşüktür.

İncelenen kayaçlarda analizi yapılan diğer ana oksit bileşenlerinden ortalama % 0.11 TiO_2 , % 0.08 P_2O_5 , % 0.05 MnO ve % 0.004 Cr_2O_3 değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Yusufeli formasyonundan alınan numunelere ait istatistiksel özetler (Ana oksitler %, diğer bileşenler ppm, A.O.: Aritmetik Ortalama, S.H.: Standart Hata, S.S.: Standart Sapma; t : Tablo t değeri 2.45, t_h : Hesaplanan t değeri, μ_1 : Anakitle aritmetik ortalaması alt sınırı, μ_2 : Anakitle aritmetik ortalaması üst sınırı)

	Ae-7	Ae-12	Ae-28	Ae-41a	Ae-48	Ae-68	Ae-25	A.O.	S.H.	S.S.	t_h	μ_1	μ_2
SiO ₂	75.90	70.00	79.20	66.50	66.10	47.70	67.80	67.60	3.81	10.07	17.757	58.28	76.92
Al ₂ O ₃	0.87	1.17	1.42	1.66	2.61	5.59	2.87	2.31	0.61	1.62	3.775	0.81	3.81
Fe ₂ O ₃	2.50	2.00	1.92	3.97	5.88	8.78	5.00	4.29	0.94	2.49	4.553	1.99	6.60
MgO	1.11	0.07	0.40	1.46	1.63	4.53	1.39	1.51	0.55	1.45	2.758	0.17	2.85
CaO	2.71	0.06	0.18	2.35	0.71	5.33	1.74	1.87	0.70	1.84	2.680	0.16	3.58
Na ₂ O	0.09	0.00	0.09	0.15	0.13	0.18	0.24	0.13	0.03	0.08	4.383	0.06	0.20
K ₂ O	0.14	0.47	0.19	0.17	0.06	0.14	0.04	0.17	0.05	0.14	3.231	0.04	0.31
TiO ₂	0.003	0.01	0.003	0.01	0.21	0.26	0.29	0.11	0.05	0.14	2.187	-0.01	0.24
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.04	0.12	0.08	0.11	0.12	0.08	0.02	0.04	4.928	0.04	0.12
MnO	0.11	0.01	0.03	0.03	0.04	0.11	0.03	0.05	0.02	0.04	3.129	0.01	0.09
Cr ₂ O ₃	0.003	0.001	0.002	0.003	0.002	0.01	0.004	0.004	0.001	0.001	5.179	0.002	0.004
LOI	16.39	26.15	16.47	23.55	22.50	27.20	20.41	21.81	1.63	4.31	13.400	17.83	25.79
Au	0.0002	0.339	0.001	0.007	0.001	0.002	0.001	0.050	0.048	0.127	1.039	-0.07	0.17
Ag	0.07	0.47	0.04	0.02	0.04	0.03	0.01	0.10	0.06	0.17	1.543	-0.06	0.25
As	0.57	29.40	2.33	10.30	1.10	1.87	2.39	6.85	3.96	10.47	1.731	-2.83	16.54
B	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00	0.00			
Ba	1090.00	186.50	513.00	41.80	29.70	44.60	99.70	286.47	148.50	392.88	1.929	-76.89	649.83
Be	0.24	0.12	0.27	0.38	0.21	0.17	0.32	0.24	0.03	0.09	7.305	0.16	0.33
Bi	0.31	4.48	0.15	1.66	0.76	0.02	0.03	1.06	0.61	1.62	1.728	-0.44	2.55
Cd	0.11	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.09	0.05	0.01	0.04	3.183	0.01	0.08
Co	2.87	0.44	2.64	28.10	13.20	34.80	4.93	12.43	5.20	13.75	2.391	-0.29	25.14
Cs	0.13	0.76	0.20	0.40	0.05	1.47	0.91	0.56	0.19	0.52	2.862	0.08	1.03
Cu	9.94	6.55	14.45	7.22	139.50	72.20	212.00	65.98	30.69	81.19	2.150	-9.10	141.06
Ga	1.89	1.32	2.59	3.85	5.04	9.01	5.12	4.12	0.99	2.61	4.166	1.70	6.53
Ge	0.04	0.03	0.04	0.07	0.12	0.10	0.10	0.07	0.01	0.04	5.103	0.04	0.10
Hf	0.06	0.03	0.06	0.10	0.22	0.22	0.20	0.13	0.03	0.08	4.022	0.05	0.21
Hg	0.01	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.00	0.01	6.498	0.01	0.03
In	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.02	0.01	0.01	4.064	0.01	0.04
Li	1.20	0.40	2.90	4.40	1.30	4.10	3.40	2.53	0.59	1.56	4.278	1.08	3.97
Mo	3.49	0.97	1.84	5.73	1.14	0.56	4.79	2.65	0.77	2.04	3.436	0.76	4.53
Nb	0.04	0.03	0.02	0.05	0.46	0.05	0.41	0.15	0.07	0.19	2.042	-0.03	0.33
Ni	2.60	0.94	2.44	11.20	4.91	26.30	4.98	7.62	3.35	8.88	2.273	-0.58	15.83
Pb	13.10	15.65	5.28	6.19	29.50	1.38	2.06	10.45	3.76	9.95	2.778	1.24	19.66
Pd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Pt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Rb	4.77	10.65	5.60	6.32	1.74	2.97	1.71	4.82	1.19	3.15	4.054	1.91	7.73
Re	0.0002	0.0002	0.0002	0.0161	0.0004	0.0046	0.0010	0.0032	0.0022	0.0059	1.457	0.00	0.01
S	0.04	0.07	0.02	2.14	0.01	0.02	0.01	0.33	0.30	0.80	1.094	-0.41	1.07
Sb	0.06	0.61	0.07	0.19	0.21	0.11	0.20	0.21	0.07	0.19	2.898	0.03	0.38
Se	0.03	1.29	0.02	5.42	0.05	0.15	0.02	1.00	0.76	2.00	1.317	-0.86	2.85
Sn	0.57	0.36	0.35	0.58	3.56	0.38	1.44	1.03	0.44	1.18	2.324	-0.05	2.12
Sr	47.00	4.55	14.05	42.50	33.50	52.40	46.00	34.29	6.88	18.21	4.982	17.45	51.12
Ta	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00			
Te	0.01	0.92	0.01	0.96	0.09	0.01	0.01	0.29	0.17	0.45	1.692	-0.13	0.70
Th	1.67	1.46	0.79	5.48	1.26	0.68	2.26	1.94	0.62	1.65	3.115	0.42	3.47
Tl	0.02	0.16	0.04	0.09	0.01	0.02	0.01	0.05	0.02	0.06	2.421	0.00	0.10
U	0.08	0.04	0.09	0.46	0.36	0.17	0.37	0.23	0.06	0.17	3.519	0.07	0.38
V	5.40	10.80	6.00	27.30	61.10	184.50	45.60	48.67	24.00	63.51	2.028	-10.06	107.40
W	0.11	0.33	0.05	0.10	13.30	0.04	0.31	2.03	1.88	4.97	1.083	-2.56	6.63
Zn	27.80	16.00	33.40	13.20	41.50	61.30	43.70	33.84	6.35	16.79	5.334	18.32	49.37
Zr	1.73	1.16	1.66	3.63	3.84	5.00	3.97	3.00	0.55	1.46	5.424	1.65	4.35
HNTE	58.82	38.17	63.23	82.22	23.99	35.82	33.11	47.91	7.81	20.67	6.132	28.79	67.02
ANTE	10.51	2.91	9.53	16.92	15.87	18.35	23.60	13.96	2.57	6.81	5.422	7.66	20.25
ΣNTE	69.33	41.07	72.76	99.14	39.86	54.17	56.70	61.86	7.82	20.68	7.914	42.74	80.99

***HNTE (Hafif NTE toplamı), ***ANTE (Ağır NTE toplamı), *** ΣNTE (Toplam NTE)

Örneklenen kayalarda ortalama 65.98 ppm Cu bulunmaktadır. Boyalı köyünün kuzeyinden ve Bostancı köyü kuzeyinden Yusufeli formasyonundan alınan iki adet örnekte 139.5 ve 212 ppm Cu belirlenmiştir. Ayrıca ortalama 10.45 ppm Pb ve toplam 61.86 ppm NTE bulunmakta olup bu toplamın 47.91 ppm kadarı hafif nadir toprak elementlerinden, 13.96 ppm kadarı ağır nadir toprak elementlerinden oluşmaktadır.

Yusufeli formasyonundan derlenen numunelerden yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre bileşenlerin arasındaki ilişkilerin şekli, yönü ve kuvvetinin belirlenmesi amacıyla basit korelasyon analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.2). Korelasyon analizleri, küme analizleri ve faktör analizleri yapılırken bütün örneklerde deteksiyon limitinin altında kalan veya 1 ppm'den daha düşük değerlere sahip oldukları için değişime etkilerinin olmadığı ve/veya düşük olduğu kabul edilen B, Be, Bi, Cd, Cs, Ge, Hf, In, Li, Nb, Pd, Pt, Re, Se, Ta, Te, Tl ve U ile toplam NTE'ni temsil eden Σ NTE sonuçları analizlere dahil edilmemiştir.

Bu analizlere göre SiO_2 ; ana oksitlerden Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve MgO ile çok kuvvetli, CaO , TiO_2 ve P_2O_5 ile kuvvetli, Na_2O ve Cr_2O_3 ile zayıf ve MnO ile çok zayıf negatif korelasyon göstermekte olup K_2O ile korelasyon göstermemektedir. SiO_2 ayrıca iz elementlerden Ba ile kuvvetli pozitif korelasyona sahipken Hg, Rb ve HNTE ile çok zayıf pozitif korelasyona sahiptir. Cevherleşme açısından önemli olan Au ve Cu ile herhangi bir korelasyona göstermemektedir. Sonuçlarda ortalama SiO_2 değerini artıran ve standart değerlere kıyasla nispeten yüksek SiO_2 değerleri derlenen örneklerde hidrotermal alterasyonun etkileri gözlenmektedir (Çizelge 4.2).

İncelenen bileşenlerden Al_2O_3 ; ana oksitlerden K_2O dışında diğer bileşenlerin tamamıyla pozitif korelasyon göstermekte olup Fe_2O_3 ve MgO ile çok kuvvetli; CaO , Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 ve Cr_2O_3 ile kuvvetli; MnO ile de zayıf pozitif korelasyona sahiptir. Al_2O_3 ayrıca iz elementlerden Ga, Ni, V, Zn ile çok kuvvetli; Co ve Zr ile kuvvetli; Cu ve Sr ile de zayıf pozitif korelasyon gösterirken Au, Ag, As, Mo ve Pb ile çok zayıf negatif korelasyona sahiptir. Ortamdaki Al_2O_3 genellikle örneklerdeki kayaç yapıcı mineraller ile doğrudan ilişkilidir (Çizelge 4.2).

Ana oksitlerden Fe_2O_3 ; MgO ile çok kuvvetli ve CaO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 , Cr_2O_3 ile kuvvetli pozitif korelasyona sahipken K_2O ile çok zayıf negatif korelasyon göstermektedir. Au, Ag, As ve hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ile çok zayıf-zayıf negatif korelasyona sahip olup Ni, V ve Zr ile çok kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir. Önemli iz elementlerden Co, Cu, Sr, Zn ile kuvvetli-zayıf pozitif korelasyona sahiptir. Bu örneklerdeki Fe_2O_3 'ün SiO_2 dışındaki çoğu ana bileşenle pozitif korelasyona sahip

olması genellikle kayaç yapıcı bileşenlerle ilişkili olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.2).

Volkanik kayaçlarda MgO; CaO, Ga, Ni ve V ile çok kuvvetli pozitif korelasyon; TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃, Co, Sr, Zn ve Zr ile kuvvetli pozitif; Na₂O ve ANTE ile zayıf pozitif korelasyon gösterirken; K₂O, Au, Ag, As, Ba, Hg, Pb ile çok zayıf-zayıf negatif korelasyon göstermektedir (Çizelge 4.2).

Alkali bileşenlerden Na₂O; P₂O₅ ve ANTE ile çok kuvvetli pozitif; TiO₂, Cr₂O₃, Cu, Ga, Zn ve Zr ile kuvvetli pozitif; Co, Mo, Ni ve V ile zayıf ve çok zayıf pozitif; K₂O, Au, Ag, As ve Pb ile zayıf-kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir.

Analiz sonuçlarına göre K₂O; Au, Ag, As, Rb ile çok kuvvetli pozitif; Sb ile kuvvetli pozitif korelasyona sahip iken; TiO₂, P₂O₅, Cr₂O₃, Cu, Zr, Sr ve ANTE ile kuvvetli negatif korelasyona sahiptir. Kimyasal analizler sonucunda kayaçlardaki düşük Na₂O ve K₂O oranları ve basit korelasyonları kayaçların hidrotermal alterasyondan etkilendiklerini göstermektedir.

Kayaçlarda TiO₂; Cu ile çok kuvvetli pozitif; ana oksitlerden P₂O₅, Cr₂O₃ ve iz elementlerden Ga, V, Zn, Zr, ANTE ile kuvvetli pozitif; Ni, Sn, Co, Sr ve W ile zayıf-çok zayıf pozitif; Au, Ag, As, S ile çok zayıf negatif korelasyona sahiptir. Cevherleşme açısından Cu ile yaptığı çok kuvvetli pozitif korelasyon dikkat çekmektedir.

Önemli iz elementlerden Au; Ag, As, Sb ile; Co; Ni ile; Sn; W ile çok kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir. Cu; Rb ve HNTE ile kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir.

ANTE genellikle Zr ile çok kuvvetli pozitif korelasyon gösterirken HNTE herhangi bir korelasyon göstermemektedir.

Kayaç yapıcı minerallerin yaygın olarak bulunduğu örnek grubunda Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO ve Na₂O bileşenleri çok kuvvetli ve kuvvetli pozitif korelasyonlar gösterdiklerinden dolayı birlikte hareket ettikleri yorumu yapılmaktadır.

Yusufeli formasyonunda gerçekleştirilen basit korelasyon analizi sonuçlarına göre bileşenler arasındaki oluşan kümelenmelerin ortaya konulması amacıyla küme (cluster) analizleri yapılmış ve ortak korelasyon katsayılarına göre küme analizi grafikleri (dendrogram) hazırlanmıştır.

Çizelge 4.2. Yusufeli formasyonundan derlenen numunelere ait basit korelasyon katsayıları

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	LOI	Au	Ag	As	Ba	Co	Cu	Ga	Hg	Mo	Ni	Pb	Rb	S	Sb	Sn	Sr	Th	V	W	Zn	Zr	HNTE	ANTE		
SiO ₂	1.00	-0.92	-0.92	-0.91	-0.76	-0.47	0.16	-0.65	-0.63	-0.44	-0.60	-0.80	0.10	0.14	0.08	0.61	-0.83	-0.27	-0.89	0.37	0.28	-0.91	0.22	0.32	-0.04	0.00	-0.05	0.05	-0.51	0.05	-0.95	-0.06	-0.62	-0.82	0.38	-0.48	
Al ₂ O ₃		1.00	0.95	0.93	0.72	0.63	-0.37	0.80	0.63	0.48	0.74	0.56	-0.31	-0.35	-0.35	-0.54	0.71	0.45	0.98	-0.14	-0.34	0.88	-0.32	-0.55	-0.19	-0.23	0.10	0.53	-0.28	0.98	0.07	0.86	0.85	-0.48	0.60		
Fe ₂ O ₃			1.00	0.94	0.73	0.68	-0.51	0.83	0.72	0.50	0.69	0.56	-0.40	-0.44	-0.42	-0.56	0.77	0.52	0.98	-0.27	-0.23	0.85	-0.13	-0.66	-0.07	-0.27	0.31	0.66	-0.13	0.95	0.27	0.80	0.93	-0.48	0.69		
MgO				1.00	0.90	0.59	-0.42	0.64	0.61	0.71	0.78	0.49	-0.44	-0.45	-0.44	-0.34	0.83	0.25	0.94	-0.42	-0.22	0.95	-0.31	-0.54	-0.03	-0.40	0.02	0.71	-0.14	0.96	0.02	0.77	0.84	-0.26	0.58		
CaO					1.00	0.52	-0.35	0.40	0.51	0.83	0.83	0.32	-0.43	-0.43	-0.40	-0.04	0.76	0.04	0.74	-0.67	0.04	0.88	-0.48	-0.39	0.11	-0.46	-0.27	0.82	0.04	0.78	-0.29	0.55	0.66	0.02	0.50		
Na ₂ O						1.00	-0.83	0.77	0.89	0.26	0.84	0.03	-0.71	-0.78	-0.65	-0.38	0.48	0.74	0.73	-0.01	0.42	0.50	-0.45	-0.82	0.11	-0.53	0.25	0.78	0.21	0.51	0.02	0.61	0.85	-0.15	0.99		
K ₂ O							1.00	-0.60	-0.62	-0.37	-0.61	0.35	0.92	0.93	0.91	0.04	-0.28	-0.65	-0.53	0.02	-0.35	-0.24	0.08	0.95	0.01	0.77	-0.52	-0.75	-0.07	-0.29	-0.34	-0.56	-0.66	0.11	-0.85		
TiO ₂								1.00	0.68	0.24	0.61	0.33	-0.34	-0.39	-0.43	-0.53	0.33	0.89	0.81	0.01	-0.14	0.48	-0.09	-0.78	-0.37	-0.16	0.49	0.52	-0.28	0.70	0.33	0.83	0.81	-0.74	0.77		
P ₂ O ₅									1.00	0.08	0.69	0.38	-0.50	-0.59	-0.35	-0.67	0.69	0.60	0.74	-0.06	0.44	0.60	-0.35	-0.60	0.42	-0.25	0.25	0.69	0.47	0.55	0.08	0.40	0.91	-0.08	0.92		
MnO										1.00	0.60	-0.05	-0.47	-0.40	-0.57	0.41	0.41	-0.05	0.48	-0.72	-0.17	0.58	-0.18	-0.43	-0.24	-0.60	-0.14	0.71	-0.30	0.57	-0.11	0.56	0.34	-0.06	0.24		
Cr ₂ O ₃											1.00	0.07	-0.64	-0.68	-0.61	-0.13	0.58	0.39	0.78	-0.25	0.24	0.74	-0.72	-0.64	0.02	-0.62	-0.20	0.81	0.02	0.68	-0.35	0.69	0.74	-0.01	0.78		
LOI												1.00	0.45	0.39	0.51	-0.75	0.59	0.05	0.49	-0.21	-0.33	0.59	0.02	0.20	0.18	0.57	0.00	0.01	0.09	0.61	0.08	0.14	0.45	-0.35	0.06		
Au													1.00	0.99	0.95	-0.12	-0.38	-0.33	-0.47	0.03	-0.35	-0.33	0.23	0.82	-0.13	0.94	-0.26	-0.72	-0.12	-0.26	-0.16	-0.48	-0.55	-0.20	-0.71		
Ag													1.00	0.93	0.93	-0.01	-0.41	-0.39	-0.51	-0.02	-0.40	-0.36	0.28	0.83	-0.18	0.91	-0.26	-0.72	-0.17	-0.29	-0.14	-0.48	-0.61	-0.19	-0.78		
As													1.00	-0.23	-0.23	-0.40	-0.47	0.04	-0.15	-0.27	0.13	0.88	0.17	0.94	-0.32	-0.67	0.16	-0.30	-0.23	-0.30	-0.23	-0.62	-0.48	0.02	-0.64		
Ba													1.00	-0.52	-0.44	-0.55	-0.32	0.08	-0.42	0.01	0.14	-0.27	-0.37	-0.33	0.01	-0.23	-0.47	-0.29	-0.22	-0.22	-0.63	0.34	-0.42	-0.42			
Co													1.00	-0.01	0.78	-0.33	0.03	0.92	-0.28	-0.29	0.49	-0.28	-0.04	0.59	0.32	0.77	0.01	0.36	0.79	0.13	0.50	0.36	0.79	0.13	0.50		
Cu													1.00	0.50	0.50	0.20	0.10	0.06	0.04	-0.76	-0.34	-0.10	0.64	0.38	-0.14	0.31	0.41	0.59	0.60	-0.68	0.75	0.60	-0.68	0.75			
Ga													1.00	-0.15	-0.20	0.88	-0.20	0.88	-0.30	-0.66	-0.06	-0.36	0.20	0.64	-0.14	0.95	0.15	0.84	0.93	0.84	0.93	0.84	0.93	0.84	0.93		
Hg													1.00	-0.10	-0.35	-0.05	0.02	-0.11	0.09	0.15	-0.60	-0.15	-0.60	-0.15	-0.28	0.13	-0.02	-0.16	-0.02	-0.16	-0.02	-0.16	-0.02	-0.16	-0.02		
Mo													1.00	-0.17	-0.36	-0.10	0.66	-0.24	-0.12	0.41	0.83	-0.40	-0.32	-0.42	0.09	0.59	0.44	0.92	-0.15	0.61	0.78	-0.06	0.49	0.44			
Ni													1.00	-0.44	-0.33	0.17	-0.30	-0.18	0.60	0.01	0.92	-0.26	-0.26	0.85	-0.20	-0.38	-0.35	0.25	0.35	-0.57	0.35	0.25	0.35	-0.57	0.35		
Pb													1.00	0.02	-0.19	0.30	0.73	-0.30	-0.17	-0.26	0.85	-0.20	-0.38	-0.35	0.25	0.35	-0.57	0.35	0.25	0.35	-0.57	0.35	0.25	0.35	-0.57	0.35	
Rb													1.00	-0.44	-0.33	0.17	-0.30	-0.18	0.60	0.01	0.92	-0.26	-0.26	0.85	-0.20	-0.38	-0.35	0.25	0.35	-0.57	0.35	0.25	0.35	-0.57	0.35		
S													1.00	-0.02	-0.18	0.18	0.95	-0.16	-0.18	0.95	-0.16	-0.18	0.95	-0.16	-0.18	0.95	-0.16	-0.18	0.95	-0.16	-0.18	0.95	-0.16	-0.18	0.95	-0.16	
Sb													1.00	-0.03	-0.63	0.04	-0.22	0.02	-0.45	-0.35	-0.30	-0.50	-0.30	-0.50	-0.30	-0.50	-0.30	-0.50	-0.30	-0.50	-0.30	-0.50	-0.30	-0.50	-0.30	-0.50	
Sn													1.00	0.12	-0.10	0.06	0.95	0.25	0.35	-0.57	0.35	0.25	0.35	-0.57	0.35	0.25	0.35	-0.57	0.35	0.25	0.35	-0.57	0.35	0.25	0.35	-0.57	0.35
Sr													1.00	0.25	0.53	-0.03	0.49	0.74	0.01	0.79	1.00	0.25	0.53	-0.03	0.49	0.74	0.01	0.79	1.00	0.25	0.53	-0.03	0.49	0.74	0.01	0.79	
Th													1.00	-0.28	-0.18	0.65	0.27	1.00	-0.28	-0.18	0.65	0.27	1.00	-0.28	-0.18	0.65	0.27	1.00	-0.28	-0.18	0.65	0.27	1.00	-0.28	-0.18	0.65	0.27
V													1.00	0.08	0.81	0.80	-0.43	0.49	1.00	0.08	0.81	0.80	-0.43	0.49	1.00	0.08	0.81	0.80	-0.43	0.49	1.00	0.08	0.81	0.80	-0.43	0.49	
W													1.00	0.19	0.25	-0.52	0.12	1.00	0.19	0.25	-0.52	0.12	1.00	0.19	0.25	-0.52	0.12	1.00	0.19	0.25	-0.52	0.12	1.00	0.19	0.25	-0.52	0.12
Zn													1.00	0.67	-0.61	0.57	1.00	0.67	-0.61	0.57	1.00	0.67	-0.61	0.57	1.00	0.67	-0.61	0.57	1.00	0.67	-0.61	0.57	1.00	0.67	-0.61	0.57	
Zr													1.00	-0.29	0.87	1.00	-0.29	0.87	1.00	-0.29	0.87	1.00	-0.29	0.87	1.00	-0.29	0.87	1.00	-0.29	0.87	1.00	-0.29	0.87	1.00	-0.29	0.87	
HNTE													1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00
ANTE													1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00	-0.16	1.00

Çok kuvvetli pozitif korelasyon

Kuvvetli pozitif korelasyon

Zayıf pozitif korelasyon

Çok zayıf pozitif korelasyon

Korelasyon yok

Çok zayıf negatif korelasyon

Zayıf negatif korelasyon

Kuvvetli negatif korelasyon

Çok kuvvetli negatif korelasyon

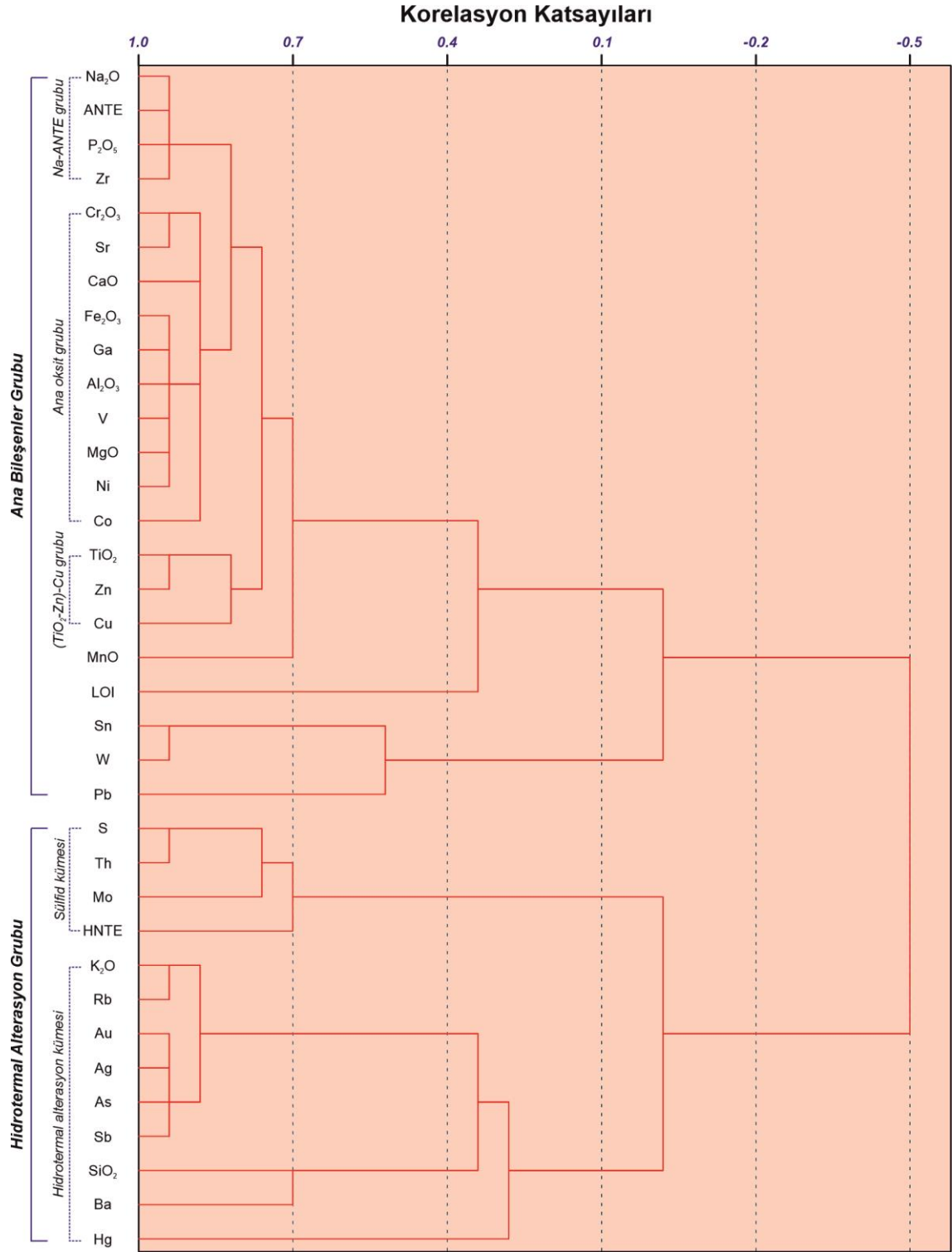
Yusufeli formasyonundan alınan örneklerden hazırlanan küme analizi dendrogramında ilk bakışta **ana bileşenler grubu** ve **hidrotermal alterasyon grubu** olmak üzere iki önemli grup öne çıkmaktadır (Şekil 4.34).

Ana bileşenler grubu SiO_2 ve K_2O dışında ana bileşenlerden Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , MnO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 , LOI ve Cr_2O_3 ile birlikte ANTE, Zr, Sr, Ga, V, Ni, Co, Zn, Cu, Sn, W ve Pb ile temsil edilmektedir. Ana bileşenler grubu kendi içinde Na-ANTE grubu, Ana Oksit Grubu ve TiO_2 -Zn-Cu grubu olmak üzere üç alt kümeye ayrılmaktadır. Na-ANTE grubu ana bileşenlerden Na_2O ve P_2O_5 ile ANTE ve Zr ile temsil edilmektedir. Bu grup aralarında çok kuvvetli pozitif korelasyonlar bulunan ana oksitler grubunu oluşturan $(\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Sr})\text{-Ca}$ ve bu alt küme ile yakından ilişkili $(\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Ga-Al}_2\text{O}_3\text{-V-MgO-Ni-Co})$ kümesi ile genişlemekte ve $(\text{TiO}_2\text{-Zn})\text{-Cu}$ kümesi ve gruba sırasıyla eklenen MnO , LOI ve son olarak $[(\text{Sn-W})\text{-Pb}]$ alt kümeleri ile temsil edilmektedir. Yusufeli formasyonunda mineralojik ve petrografik incelemelerde belirlenen plajiyoklas ve alkali feldispatlar ile mafik minerallerden piroksenler gibi kayaç yapıcı minerallerin oluşumunu sağlayan Al, Fe, Ca, Mg ve Mn bu grupta bulundukları için ana bileşenler kümesi olarak tanımlanmıştır. Ayrıca kayaçlarda belirlenen klorit, kalsit ve hematitlerin bu bileşenler tarafından oluşturulduğu ortaya çıkmaktadır. Ana bileşenlerden SiO_2 ve K_2O 'ın bu grupta yer almaması ise Yusufeli formasyonunda daha sonra meydana gelen alterasyonlardan dolayı SiO_2 miktarının artışı ve K_2O miktarının azalması ile izah edilebilmektedir (Şekil 4.34).

Küme analizi dendrogramında belirlenen ikinci grup olan **hidrotermal alterasyon grubu** ise Ana bileşenlerden SiO_2 , K_2O , kıymetli metaller, iz elementler ve S ile temsil edilmektedir. Bu grup kendi içinde **hidrotermal alterasyon kümesi** ve **sülfid kümesi** olarak iki alt gruba ayrılabilir. Hidrotermal alterasyon kümesi $[(\text{Au-Ag-As-Sb})]\text{-(K}_2\text{O-Rb)}$ alt grubuna eklenen $\text{SiO}_2\text{-Ba}$ ve bu gruba uzaktan eklenen Hg ile temsil edilirken sülfid kümesi $(\text{S-Th})\text{-Mo}$ kümesine eklenen HNTE ile temsil edilmektedir. Hidrotermal alterasyon grubu kayaç yapıcı minerallerin bünyesinde bulunan SiO_2 miktarından daha fazla SiO_2 'in ortama gelmesini sağlayan alterasyon esnasında bazı sülfidli minerallerin de ortama katılımını sağlamıştır. SiO_2 ile birlikte K_2O , Mo ve S ile orta ve düşük sıcaklıklı hidrotermal ortamlarda yaygın olan Au, Ag, As, Sb ve Hg alterasyon ihtimalini kuvvetlendirmektedir.

Küme analizi gerçekleştirilen numune sayısının nispeten az olması bileşenlerin ortamda bulunmasını açıklayabilecek derecede ayrıntılı yorumlar yapılmasını

kısıtlamaktadır. Daha fazla numuneden analiz yapılması halinde ortaya çıkabilecek kümeler daha tutarlı bir şekilde yorumlanabilir.



Şekil 4.34. Yusufeli formasyonundan alınan örneklere ait küme analizi dendrogramı.

Yusufeli formasyonuna ait volkanik kayalardan alınan numunelerde gerçekleştirilen kimyasal analizlerde istatistiksel olarak değerlendirilmeye alınabilecek 35 bileşen belirlenmiştir. Bu bileşenlerden her birinin farklı jeolojik faktöre bağlı olarak sahada bulundukları varsayılarak faktör sayısının azaltılması için faktör analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.3). 7 numuneye ait 35 bileşen kullanılarak yapılan faktör analizlerinde ilk altı faktör toplam değişimin tamamını karşılamakta olup geri kalan 29 faktörün değişime etkisinin ihmal edilebilecek derecede düşük olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 4.3. Derlenen Yusufeli formasyonuna ait numunelerin faktör analizinde ilk 6 faktörün değişime etkisi ve toplam değişim içindeki payları.

Faktör No.	Başlangıç Toplam değişim	% Değişim	% Kümülatif değişim
1	16.322	46.634	46.634
2	5.948	16.994	63.627
3	5.268	15.051	78.679
4	3.927	11.220	89.899
5	2.150	6.143	96.041
6	1.386	3.959	100.000

Yusufeli formasyonunda analiz edilen bileşenlerin ortamda bulunmasına etki eden birinci faktörün toplam değişim içindeki payı % 46.6 olup SiO₂, K₂O, Au, Ag, As ve Rb'un önemli negatif faktör yüklerine karşılık Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃, Co, Cu, Ga, Ni, Sr, V, Zn, Zr ve ANTE'nin önemli pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Çizelge 4.3; Şekil 4.35). Pozitif ve negatif faktör yüklerinin dağılımına bakıldığında pozitif faktör yüküne sahip bileşenler küme analizi dendrogramındaki ana bileşenler grubu ile örtüşürken negatif faktör yüküne sahip bileşenler ise hidrotermal alterasyon grubu ile örtüşmektedir. Özellikle Si ve K'un negatif faktör yükleri bu bileşenlerin ortamdaki yerleşimini sağlayan Kaçkar granitoidinin sokulumuna bağlı olarak gelişen porfir cevherleşmenin yüksek sıcaklıklı alterasyon kuşağı olan potasik alterasyona karşılık gelmektedir. Si ve K dışındaki ana bileşenlerin tamamının pozitif faktör yükleri ise bu bileşenleri içeren alkali feldispat, plajiyoklas, piroksen ve biyotitlerin granitoidik sokulumuna bağlı olarak meydana gelen alterasyondan etkilenerek ayrıştıklarını göstermektedir.

Yusufeli formasyonunda değişime etkisi % 17 olan ikinci faktör SiO₂, Ba, Mo, HNTE'nin önemli negatif faktör yüklerine karşılık K₂O, Au, Ag, As, Sb ve LOI'nin önemli pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Çizelge 4.3; Şekil 4.35). Bu faktörde negatif faktör yüküne sahip olan bileşenler küme analizi dendrogramındaki hidrotermal alterasyon grubuna uzaktan eklenen SiO₂-Ba çifti ile bu gruba uzaktan eklenen sülfid kümesinin elemanları olan Mo ve HNTE ile örtüşürken pozitif faktör yüküne sahip olan bileşenler ise hidrotermal alterasyon alt kümesi ile tam olarak

örtüşmektedir. Bu faktör Yusufeli formasyonu içinde granitoyidik sokuluma bağlı hidrotermal çözelti aktivitesini göstermekte olup kayaçların ayrışması sonucu Au, Ag, As, Sb ile K'un da ortamdan uzaklaşmasını sağlayan hidrotermal çözeltiler bu bileşenleri çözerken ortamda nisbi olarak SiO_2 , Ba ve Mo zenginleşmesi gerçekleşmiştir. Dolayısıyla porfir tip cevherleşmede sıcaklığın nispeten düşmeye başladığı ve potasik alterasyondan fillik alterasyona geçiş belirtileri ortaya çıkmaktadır.

Değişime etkisi % 15 olan 3. Faktör Cu, Pb, Sn ve W'n önemli negatif faktör yüklerine karşılık CaO, Co, S ve HNTÉ'nin önemli pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Çizelge 4.3; Şekil 4.35). Bu faktörde kontakt metazomatik/skarn tip maden yataklarında yaygın olarak cevher oluşturan bileşenleri içeren Cu, Sn ve W'n önemli negatif faktör yükleri porfir cevherleşmeyi göstermekte olup aynı faktörde CaO'nin de pozitif faktör yüküne sahip olması bu fikri desteklemektedir. Dolayısıyla bölgede oldukça sınırlı alanlarda gözlenen karbonatlı kayaçlarla sınır ilişkileri olan granitoyidik sokulum sınırında skarn tip cevherleşme izleri ortaya çıkmaktadır.

Yusufeli formasyonunda analiz edilen bileşenlerin değişiminde etkisi % 11.2 olan 4. Faktör MnO ve Ba'un önemli negatif faktör yüklerine karşılık P_2O_5 , Mo, S ve Th'un önemli pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Çizelge 4.3; Şekil 4.35). Bu faktörde negatif faktör yüküne sahip olan Mn Ana bileşenler grubu içinde diğer bileşenlere uzaktan eklenirken Ba ise hidrotermal alterasyon grubu içinde Si ile birlikte yine hidrotermal alterasyon grubuna uzaktan eklenmektedir. Dolayısıyla kayaçlar içinde dolaşan hidrotermal çözeltilerin sıcaklıklarının düşmesine bağlı olarak Si, Ba ve Mn uygun koşullarda mineraller içinde yer almışlardır.

Değişime etkisi % 6 olan 5. Faktör Hg'nin önemli negatif faktör yüküne karşılık Pb ve W'n önemli pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir. Hg yerleşimine etki eden bu faktör aynı zamanda daha önce oluşan bazı birincil sülfidlerin çözünmesini de sağlayan düşük sıcaklıklı hidrotermal alterasyon (epitermal) koşullarını göstermektedir. Bu alterasyonu sağlayan ana alterasyon ise yine granitoyidik sokulumun ıraksak bölgelerindeki propilitik alterasyona karşılık gelmektedir.

Yusufeli formasyonunda değişime etkisi sadece % 4 olan 6. Faktör ise yine Hg'nin önemli negatif faktör yüküne karşılık Au, Ag, As, Cu, Mo ve Sb'nin zayıf pozitif faktör yükleri ile temsi edilmektedir (Çizelge 4.3; Şekil 4.35). Bu faktör Hg yerleşimini sağlayan propilitik alterasyonun düşük sıcaklık evrelerine karşılık gelmektedir. Buna göre Yusufeli formasyonunda derlenen kayaç örnekleri yöredeki magmatizmaya bağlı gerçekleşen hidrotermal alterasyondan etkilenmişlerdir.



Şekil 4.35. Yusufeli formasyonundan alınan örneklere ait ilk altı faktörde bileşenlerin faktör yük dağılım grafikleri.

4.3.2. Mudurnu formasyonu

Mudurnu formasyonundan derlenen 4 adet numunede yapılan kimyasal analiz sonucu Pd, Pt ve Ta bütün numunelerde deteksiyon limitinin altında kalmıştır. CaO, TiO₂, K₂O, Au, Ag, As, B, Ba, Cu, Ge, Hf, In, Li, Ni, Rb, S, Se, Th, U, V ve Zr değerlerinin anormal analiz sonuçlarından dolayı anakitle aritmetik ortalamalarının alt sınırı negatif değerlerden başlamaktadır (Çizelge 4.4). Hesaplamaları yapılan diğer bileşenler ile ilgili yorumlar % 95 anlamlılık düzeyinde tutarlıdır.

İncelenen numunelerin SiO₂ değerleri ortalama % 52.35 olup örneklerin alındığı anakitlede % 37.21 ile % 67.49 aralığında SiO₂ oranı beklenmektedir. Bu oran, kalkalkalen kayaçlar grubu düşük silisyumlu andezit değerinden (% 54.54; Jakes ve White, 1972) daha az orana sahip ve standart ada yayı toleyitleri alt grubu bazalt değerine (% 51.57; Jakes ve White, 1972) yakındır. Ayrıca % 52-63 arasında değerlerle (Rollinson, 1992) bazaltik andezit olduğu gözlenmektedir.

Kayaçlardaki ortalama Al₂O₃ içeriği % 5.28 olup örneklerin alındığı anakitlede % 1.37 ile % 9.20 aralığında Al₂O₃ beklenmektedir. Bu değer standart bazalt-andezit Al₂O₃ oranlarından (bazalt; % 15.7, andezit; % 17.0; Winter, 2001) ve ada yayı toleyitleri grubunda yer alan toleyitik andezit değerinden de (% 15.60; Jakes ve White, 1972) oldukça düşüktür.

İncelenen numunelerin Fe₂O₃ oranları ortalama % 7.30 olup örneklerin alındığı anakitlede % 2.52 ile % 12.08 arasında Fe₂O₃ oranı beklenmektedir. Bu değer standart bazalt Fe₂O₃ oranlarından (bazalt; % 3.79, Winter, 2001) ve ada yayı toleyitleri grubunda yer alan toleyitik andezit değerinden de (% 3.48; Jakes ve White, 1972) oldukça yüksektir. Esenal köyü yolu üzerinden ve Söğütönü mahallesi civarından alınan örneklerdeki Fe₂O₃ oranlarının yüksek çıkması ortalamayı etkilemekte ve bu artış dikkat çekmektedir.

Kayaçlardaki ortalama MgO oranı % 3.59 olup bu örneklerin alındığı anakitlede % 0.49 ile % 6.68 aralığında MgO içeriği beklenmektedir. Bu değer standart andezit MgO oranlarına (andezit; % 3.33; Winter, 2001) ve ada yayı toleyitleri grubunda yer alan toleyitik andezit değerine (% 3.38; Jakes ve White, 1972) yakındır.

Mudurnu formasyonundan alınan örneklerdeki ortalama CaO değeri % 6.64 olup örneklenen anakitlede aritmetik ortalama alt sınırı negatif değerlerden başlamaktadır. Bu durum çalışma alanının güneydoğusundaki Söğütönü mahallesi civarından alınan örneğin yüksek CaO değerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

İncelenen kayaçların ortalama Na_2O değeri ortalama % 0.10 olup örnekleme yapılan anakitlede % 0.01 ile % 0.19 aralığında Na_2O oranı beklenmektedir. Bu değer standart bazalt-andezit Na_2O oranlarından (Winter, 2001) ve ada yayı toleyitleri grubunda yer alan bazalt oranlarından (Jakes ve White, 1972) oldukça düşüktür.

İncelenen kayaçlarda analizi yapılan diğer ana oksit bileşenlerinden ortalama % 0.09 K_2O , % 0.37 TiO_2 , % 0.08 P_2O_5 , % 0.15 MnO ve % 0.0035 Cr_2O_3 değerleri hesaplanmıştır. K_2O ve TiO_2 oranlarının örneklenen anakitlede aritmetik ortalama alt sınırı negatif değerlerden başlamaktadır.

Örneklenen kayaçlarda ortalama 130.15 ppm Cu bulunmaktadır. Çalışma alanının güneydoğusundaki Söğütönü mahallesi civarından Mudurnu formasyonuna ait alınan örnekte 349 ppm Cu belirlenmiştir.

Kayaçlarda ayrıca ortalama 191.53 ppm Ba ve toplam 81.82 ppm NTE bulunmakta olup bu toplamın 55.29 ppm kadarı HNTE, 26.54 ppm kadarı ANTE'nden oluşmaktadır.

Mudurnu formasyonuna ait kayaçlardan yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre bileşenlerin arasındaki ilişkilerin şekli, kuvveti ve yönünün belirlenmesi amacıyla basit korelasyon analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.5).

Korelasyon analizlerine göre SiO_2 ; K_2O , Rb ve hafif nadir toprak elementleri ile çok kuvvetli pozitif; Pb ve Th ile kuvvetli pozitif korelasyon gösterirken; P_2O_5 , Co ile çok kuvvetli negatif; Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , Cr_2O_3 , As, Ga, Ni, V, W, Zn ve ANTE ile kuvvetli negatif; CaO, Na_2O , TiO_2 , MnO gibi ana oksitlerle ve Au, Ag, Cu, S, Sr, Zr gibi önemli iz elementlerle zayıf-çok zayıf negatif korelasyon göstermektedir. SiO_2 'in Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , CaO gibi ana oksitlerle negatif korelasyona sahip olması kayaçların hidrotermal alterasyondan etkilendiğini göstermektedir. Bu durum ortama ikincil silisli bileşiklerin gelmesiyle diğer oksit formundaki bileşenlerin ortamdaki oranlarının azalması ve/veya alterasyonla yitimi olarak yorumlanmaktadır.

İncelenen bileşenlerden Al_2O_3 ; SiO_2 ve K_2O dışında çoğu ana oksitle pozitif korelasyona sahiptir. Bunlardan MgO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 , Co, Ga ve Zr ile çok kuvvetli pozitif; Fe_2O_3 , As, Ni, V ve W ile kuvvetli pozitif; Cr_2O_3 , Zn, ANTE ile zayıf pozitif korelasyon gösterirken; Pb, Rb, Th ile çok zayıf-zayıf negatif korelasyon; K_2O , Mo ve HNTE ile kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir. Al_2O_3 , önemli iz elementlerden Au, Ag, Hg, Cu ve ana oksitlerden CaO ile anlamlı korelasyona sahip değildir.

Çizelge 4.4. Mudurnu formasyonundan alınan numunelere ait istatistiksel özetler (ana oksitler %, diğer bileşenler ppm, A.O.: Aritmetik Ortalama, S.H.: Standart Hata, S.S.: Standart Sapma; t_i: Tablo t değeri. 3.18, t_i: Hesaplanan t değeri, μ_1 : Anakitle aritmetik ortalamasının alt sınırı, μ_2 : Anakitle aritmetik ortalamasının üst sınırı)

	Ae-29	Ae-62	Ae-63	Ae-34	A.O.	S.H.	S.S.	th	μ_1	μ_2
SiO ₂	51.10	47.30	66.10	44.90	52.35	4.76	9.52	11.00	37.21	67.49
Al ₂ O ₃	7.60	4.69	2.08	6.76	5.28	1.23	2.46	4.29	1.37	9.20
Fe ₂ O ₃	9.62	9.05	2.99	7.53	7.30	1.50	3.01	4.86	2.52	12.08
MgO	5.54	3.05	1.11	4.64	3.59	0.97	1.94	3.69	0.49	6.68
CaO	3.20	12.28	3.78	7.28	6.64	2.09	4.17	3.18	-0.01	13.28
Na ₂ O	0.17	0.08	0.04	0.11	0.10	0.03	0.06	3.57	0.01	0.19
K ₂ O	0.10	0.01	0.24	0.01	0.09	0.05	0.11	1.65	-0.08	0.26
TiO ₂	0.71	0.03	0.03	0.72	0.37	0.20	0.40	1.87	-0.26	1.00
P ₂ O ₅	0.11	0.08	0.04	0.11	0.08	0.01	0.03	5.58	0.04	0.13
MnO	0.16	0.25	0.08	0.09	0.15	0.04	0.08	3.62	0.02	0.27
Cr ₂ O ₃	0.0025	0.0031	0.0008	0.0077	0.0035	0.0015	0.0029	2.38	0.00	0.01
LOI	21.61	23.02	23.48	27.75	23.97	1.32	2.64	18.13	19.76	28.17
Au	0.0020	0.0280	0.0012	0.0018	0.0083	0.0066	0.0132	1.25	-0.01	0.03
Ag	0.03	0.23	0.00	0.03	0.07	0.05	0.11	1.40	-0.09	0.24
As	3.76	1.91	0.75	8.52	3.74	1.71	3.42	2.18	-1.71	9.18
B	10.00	10.00	10.00	300.00	82.50	72.50	145.00	1.14	-148.23	313.23
Ba	42.80	598.00	111.00	14.30	191.53	137.00	274.00	1.40	-244.48	627.53
Be	0.36	0.26	0.58	0.59	0.45	0.08	0.16	5.46	0.19	0.71
Bi	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	4.89	0.01	0.04
Cd	0.07	0.10	0.02	0.10	0.07	0.02	0.04	4.00	0.02	0.13
Co	29.30	18.95	3.08	29.30	20.16	6.19	12.39	3.25	0.45	39.87
Cs	0.73	0.44	0.87	1.19	0.81	0.16	0.31	5.16	0.31	1.30
Cu	94.20	349.00	14.00	63.40	130.15	74.80	149.59	1.74	-107.89	368.19
Ga	13.45	8.41	3.30	11.75	9.23	2.24	4.47	4.13	2.11	16.34
Ge	0.19	0.10	0.05	0.40	0.19	0.08	0.15	2.40	-0.06	0.43
Hf	1.11	0.05	0.18	0.67	0.50	0.24	0.48	2.08	-0.27	1.27
Hg	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	7.08	0.01	0.04
In	0.05	0.11	0.02	0.03	0.05	0.02	0.04	2.69	-0.01	0.11
Li	16.80	23.50	7.60	70.70	29.65	14.07	28.13	2.11	-15.11	74.41
Mo	0.38	0.74	0.92	0.76	0.70	0.11	0.23	6.14	0.34	1.06
Nb	0.059	0.004	0.050	0.074	0.047	0.015	0.030	3.10	0.00	0.09
Ni	17.55	9.35	3.84	49.50	20.06	10.21	20.42	1.96	-12.43	52.55
Pb	3.92	3.34	3.79	1.87	3.23	0.47	0.94	6.85	1.73	4.73
Pd	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000			
Pt	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000			
Rb	2.73	1.14	3.95	0.80	2.15	0.73	1.46	2.94	-0.18	4.48
Re	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0000	0.0001	8.66	0.00	0.00
S	0.02	0.07	0.01	0.47	0.14	0.11	0.22	1.30	-0.21	0.49
Sb	0.11	0.42	0.39	0.23	0.29	0.07	0.14	4.00	0.06	0.52
Se	0.09	0.02	0.02	0.28	0.10	0.06	0.12	1.66	-0.09	0.29
Sn	0.59	0.28	0.61	0.78	0.57	0.10	0.21	5.43	0.23	0.90
Sr	33.80	81.10	29.30	37.40	45.40	12.01	24.03	3.78	7.16	83.64
Ta	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.000	0.000			
Te	0.019	0.004	0.004	0.003	0.008	0.004	0.008	1.95	0.00	0.02
Th	1.31	0.29	1.54	0.38	0.88	0.32	0.64	2.74	-0.14	1.90
Tl	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	3.22	0.00	0.04
U	0.43	0.07	0.14	0.07	0.18	0.09	0.17	2.08	-0.09	0.45
V	272.00	219.00	10.40	116.00	154.35	57.89	115.78	2.67	-29.88	338.58
W	0.06	0.05	0.04	0.09	0.06	0.01	0.02	5.79	0.03	0.09
Zn	82.00	99.20	38.10	56.40	68.93	13.52	27.05	5.10	25.89	111.96
Zr	41.80	1.32	3.48	27.80	18.60	9.79	19.58	1.90	-12.56	49.76
HNTE	52.5	50.84	75.09	42.71	55.29	6.94	13.88	7.97	33.20	77.37
ANTE	30.33	32.10	19.54	24.17	26.54	2.89	5.77	9.20	17.36	35.72
ΣNTE	82.83	82.94	94.63	66.88	81.82	5.70	11.40	14.36	63.69	99.96

***HNTE (Hafif NTE toplamı), ***ANTE (Ağır NTE toplamı), ***ΣNTE (Toplam NTE)

Mudurnu formasyonuna ait volkanik kayalarda Fe_2O_3 ; Ga, V, Zn ve ANTE ile çok kuvvetli pozitif; MgO , Na_2O , P_2O_5 , MnO , Co, Hg, ile kuvvetli pozitif; CaO , TiO_2 , Cr_2O_3 , Au, Ag, As, Cu, Sr ile zayıf-çok zayıf pozitif korelasyon gösterirken; K_2O , Mo, Rb ve HNTE ile kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir.

İncelenen bileşenlerden MgO ; Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 , Co, Ga, Zr ile çok kuvvetli pozitif; As, Ni, V ile kuvvetli pozitif; Cr_2O_3 , S, W, Zn ve ANTE ile zayıf-çok zayıf pozitif korelasyon gösterirken; K_2O , Mo, HNTE ile kuvvetli negatif ve Sb ile çok kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir.

Kayaçlardaki CaO ; Au, Ag, Ba, Cu ve Sr ile çok kuvvetli pozitif korelasyona sahip olup Th ile çok kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir. CaO , kayalarda gözlenen ve alterasyon sonucu ikincil olarak yerleşmiş kalsit ve epidot minerallerinin bileşiminden dolayı gözlenmektedir. Önemli iz elementlerle gösterdiği çok kuvvetli pozitif korelasyon cevherleşme ve alterasyon ilişkisini açıklamaktadır.

İncelenen bileşenlerden Na_2O ; P_2O_5 , Co, Ga, Zr ile çok kuvvetli pozitif; TiO_2 , V ile kuvvetli pozitif; Zn, ANTE ile zayıf pozitif; As, Hg, Ni, W ile çok zayıf pozitif korelasyona sahip olup; K_2O , Ba ile çok zayıf negatif ve Mo, Sb ile çok kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir. Na_2O ayrıca ana oksitlerden MnO , Cr_2O_3 ile ve önemli iz elementlerden Au, Ag, Cu, Pb, S, Sn ile korelasyona sahip değildir.

Mudurnu formasyonuna ait kayalardaki K_2O diğer bileşenlerin küçük bir bölümü ile pozitif korelasyona sahip iken çoğu bileşenle negatif korelasyon göstermektedir. K_2O bileşeni; Rb, Th, HNTE ile çok kuvvetli pozitif; Pb ile kuvvetli pozitif; Mo ile çok zayıf pozitif korelasyona sahip olup; TiO_2 , Ba ile çok zayıf negatif; MnO , Au, Ag, Ni, S, W ile zayıf negatif; P_2O_5 , Cr_2O_3 , As, Co, Cu, Sr, V, Zn, ANTE ile kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir.

İncelenen bileşenlerden MnO ; önemli iz elementlerden Au, Ag, Cu, Hg, Sr, Zn ve ANTE ile çok kuvvetli pozitif korelasyon; V, Ba ile kuvvetli pozitif korelasyon ve Sn ile de çok kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir.

Önemli iz elementlerden Au; Ag, Ba, Cu ile; Cu; Zn ile; Ni; S ve W ile; S ise W ile çok kuvvetli pozitif korelasyon gösterirken: Mo; V ile; Pb ise S ve W ile çok kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir. Ayrıca Cu; Mo, Ni, Pb, S ve W ile herhangi bir korelasyona sahip değildir.

Korelasyon analizlerine göre Mudurnu formasyonunda da ana bileşenlerden SiO_2 ve K_2O 'ın diğer ana bileşenlere zıt yönlü davranışının nedeni yörede Kaçkar Granitoidi'nin sokulumuna bağlı olarak gerçekleşen hidrotermal alterasyondur.

Çizelge 4.5. Mudurnu formasyonundan derlenen numunelere ait basit korelasyon katsayıları

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	LOI	Au	Ag	As	Ba	Co	Cu	Ga	Hg	Mo	Ni	Pb	Rb	S	Sb	Sn	Sr	Th	V	W	Zn	Zr	HNTE	ANTE	
SiO ₂	1.00	-0.78	-0.85	-0.75	-0.57	-0.54	0.99	-0.53	-0.85	-0.48	-0.77	-0.36	-0.37	-0.46	-0.69	-0.21	-0.87	-0.51	-0.79	-0.18	0.43	-0.66	0.61	0.94	-0.60	0.32	0.07	-0.48	0.84	-0.66	-0.63	-0.65	-0.39	0.99	-0.68	
Al ₂ O ₃		1.00	0.83	1.00	-0.04	0.93	-0.67	0.89	0.99	0.20	0.58	0.12	-0.14	-0.04	0.70	-0.29	0.99	0.05	1.00	0.19	-0.82	0.64	-0.33	-0.54	0.41	-0.83	0.26	-0.05	-0.32	0.75	0.61	0.46	0.87	-0.84	0.57	
Fe ₂ O ₃			1.00	0.83	0.38	0.78	-0.81	0.49	0.81	0.71	0.35	-0.17	0.41	0.50	0.35	0.27	0.85	0.58	0.86	0.62	-0.78	0.28	-0.11	-0.64	0.12	-0.47	-0.31	0.48	-0.52	0.96	0.25	0.87	0.52	-0.82	0.93	
MgO				1.00	-0.08	0.95	-0.64	0.89	0.97	0.19	0.54	0.07	-0.16	-0.06	0.67	-0.31	0.97	0.03	1.00	0.22	-0.85	0.61	-0.28	-0.49	0.37	-0.86	0.26	-0.07	-0.27	0.76	0.58	0.46	0.89	-0.81	0.57	
CaO					1.00	-0.28	-0.70	-0.38	0.06	0.70	0.31	0.20	0.90	0.91	0.03	0.85	0.11	0.88	-0.01	0.27	0.26	0.05	-0.36	-0.75	0.22	0.58	-0.65	0.94	-0.88	0.24	0.04	0.61	-0.52	-0.46	0.51	
Na ₂ O						1.00	-0.41	0.83	0.85	0.21	0.25	-0.22	-0.22	-0.13	0.44	-0.34	0.86	-0.03	0.93	0.38	-0.96	0.36	0.03	-0.22	0.08	-0.91	0.19	-0.17	0.01	0.80	0.33	0.46	0.92	-0.59	0.58	
K ₂ O							1.00	-0.39	-0.75	-0.56	-0.74	-0.36	-0.50	-0.57	-0.61	-0.35	-0.78	-0.61	-0.69	-0.20	0.31	-0.59	0.61	0.97	-0.57	0.16	0.18	-0.60	0.91	-0.61	-0.57	-0.68	-0.23	0.96	-0.68	
TiO ₂								1.00	0.88	-0.27	0.62	0.32	-0.55	-0.47	0.82	-0.68	0.85	-0.39	0.87	-0.20	-0.65	0.77	-0.42	-0.32	0.55	-0.93	0.67	-0.47	-0.07	0.39	0.76	0.01	0.95	-0.64	0.14	
P ₂ O ₅									1.00	0.17	0.71	0.27	-0.10	0.00	0.80	-0.27	1.00	0.08	0.98	0.09	0.09	-0.71	0.74	-0.48	-0.66	0.55	-0.77	0.30	0.00	-0.45	0.68	0.72	0.43	0.81	-0.91	0.53
MnO										1.00	-0.15	-0.49	0.89	0.92	-0.30	0.85	0.24	0.95	0.24	0.87	-0.36	-0.33	0.26	-0.43	-0.34	0.23	-0.89	0.89	-0.48	0.75	-0.37	0.96	-0.19	-0.36	0.91	
Cr ₂ O ₃											1.00	0.86	-0.09	-0.03	0.95	-0.23	0.68	-0.02	0.57	-0.49	-0.01	0.97	-0.96	-0.82	0.97	-0.30	0.48	0.03	-0.72	0.07	0.96	0.01	0.36	-0.82	0.04	
LOI												1.00	-0.24	-0.23	0.78	-0.31	0.23	-0.27	0.09	-0.83	0.46	0.83	-0.96	-0.55	0.95	0.01	0.61	-0.15	-0.53	-0.45	0.85	-0.43	0.02	-0.42	-0.43	
Au													1.00	-0.34	0.99	-0.04	0.98	-0.10	0.98	-0.10	0.62	0.09	-0.34	0.07	-0.48	-0.21	0.61	-0.91	0.99	-0.63	0.39	-0.35	0.76	-0.57	-0.23	0.66
Ag														1.00	-0.27	0.96	0.06	0.99	0.00	0.64	0.01	-0.27	0.04	-0.54	-0.17	0.53	-0.89	1.00	-0.66	0.47	-0.30	0.81	-0.49	-0.32	0.72	
As															1.00	-0.48	0.76	-0.24	0.68	-0.51	-0.19	1.00	-0.87	-0.66	0.93	-0.56	0.66	-0.23	-0.50	0.11	0.99	-0.08	0.60	-0.78	-0.01	
Ba																1.00	-0.21	0.94	-0.25	0.61	0.19	-0.47	0.18	-0.34	-0.32	0.71	-0.94	0.96	-0.51	0.29	-0.48	0.68	-0.68	-0.07	0.57	
Co																	1.00	0.14	0.99	0.15	-0.73	0.71	-0.45	-0.67	0.52	-0.74	0.23	0.06	-0.47	0.72	0.68	0.49	0.79	-0.92	0.59	
Cu																		1.00	0.09	0.70	-0.09	-0.25	0.06	-0.55	-0.18	0.44	-0.89	0.99	-0.66	0.56	-0.28	0.87	-0.40	-0.37	0.79	
Ga																			1.00	0.23	-0.83	0.62	-0.31	-0.55	0.39	-0.82	0.22	-0.01	-0.34	0.77	0.59	0.50	0.86	-0.84	0.61	
Hg																				1.00	-0.59	-0.57	0.65	0.00	-0.68	-0.01	-0.81	0.58	-0.01	0.79	-0.61	0.85	0.01	-0.09	0.85	
Mo																					1.00	-0.10	-0.27	0.09	0.18	0.81	0.02	0.07	-0.11	-0.87	-0.07	-0.57	-0.81	0.45	-0.68	
Ni																						1.00	-0.90	-0.66	0.96	-0.49	0.67	-0.22	-0.52	0.03	1.00	-0.14	0.54	-0.75	-0.07	
Pb																							1.00	-0.76	0.07	-0.48	-0.03	0.71	0.18	-0.91	0.16	-0.12	0.66	0.16		
Rb																								1.00	-0.70	0.03	0.10	-0.58	0.97	-0.40	-0.65	-0.52	-0.10	0.91	-0.51	
S																									1.00	-0.22	0.60	-0.10	-0.62	-0.16	0.96	-0.21	0.27	-0.66	-0.19	
Sb																										1.00	-0.57	0.56	-0.22	-0.47	-0.48	-0.04	-1.00	0.43	-0.18	
Sn																											1.00	-0.86	0.25	-0.42	0.69	-0.73	0.56	-0.07	-0.64	
Sr																												1.00	-0.71	0.43	-0.24	0.78	-0.51	-0.34	0.69	
Th																													1.00	-0.29	-0.50	-0.51	0.15	0.78	-0.46	
V																														1.00	-0.01	0.90	0.51	-0.62	0.95	
W																																				
Zn																																				
Zr																																				
HNTE																																				
ANTE																																				

Çok kuvvetli pozitif korelasyon

Kuvvetli pozitif korelasyon

Zayıf pozitif korelasyon

Çok zayıf pozitif korelasyon

Korelasyon yok

Çok zayıf negatif korelasyon

Zayıf negatif korelasyon

Kuvvetli negatif korelasyon

Çok kuvvetli negatif korelasyon

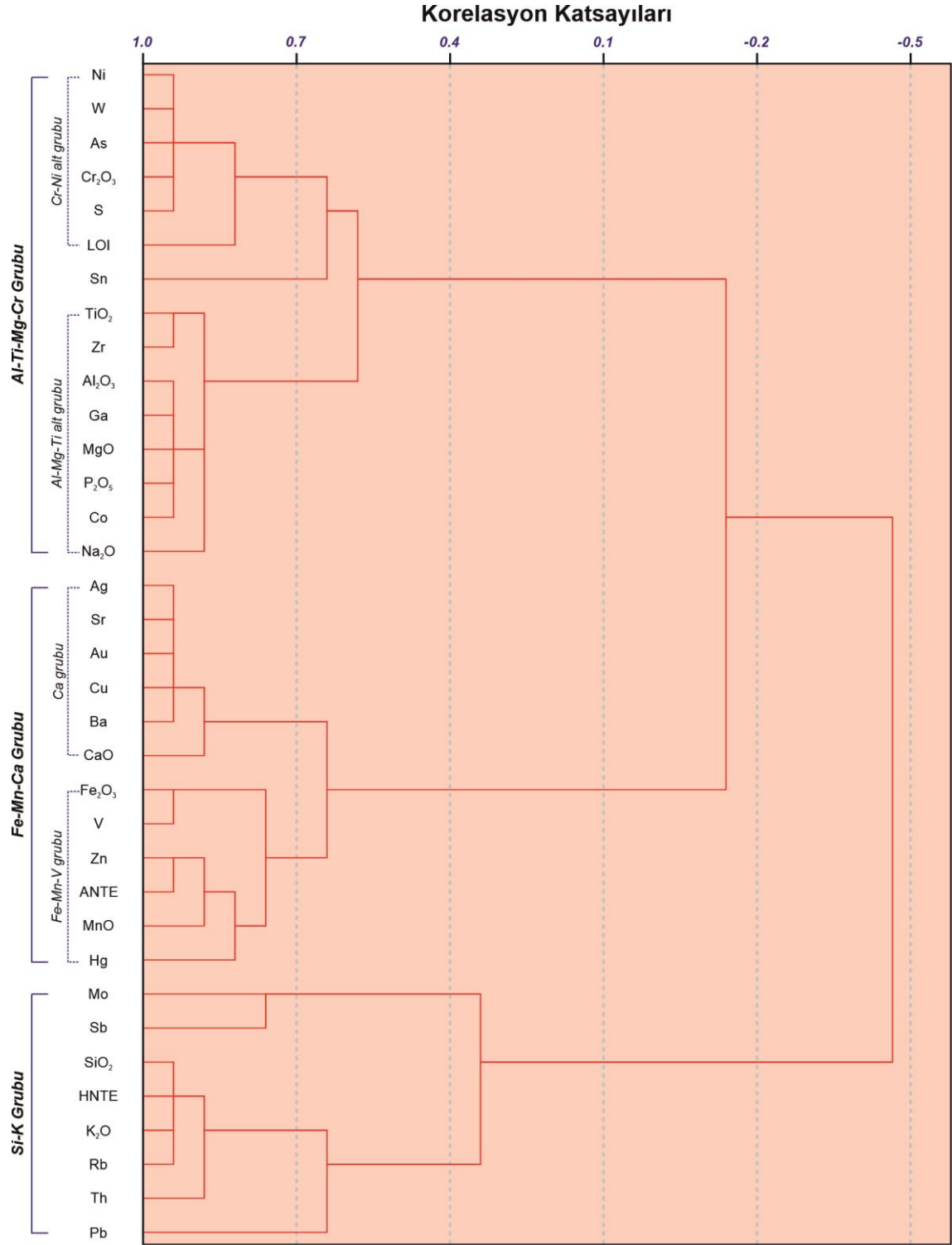
Mudurnu formasyonunda gerçekleştirilen basit korelasyon analizi sonuçlarına göre bileşenler arasındaki oluşan kümelenmelerin ortaya konulması amacıyla küme (cluster) analizleri yapılmış ve ortak korelasyon katsayılarına göre küme analizi grafikleri (dendrogram) hazırlanmıştır. Küme analizi dendrogramında ana oksitlerin dağılımına göre ilk bakışta **Al-Ti-Mg-Cr Grubu**, **Fe-Mn-Ca Grubu** ve **Si-K Grubu** olmak üzere 3 belirgin grup ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.36).

Al-Ti-Mg-Cr Grubu aralarında çok kuvvetli pozitif korelasyonlar bulunan $[(Al_2O_3-Ga-MgO-Co)]$ alt kümesine eklenen Na_2O ve (TiO_2-Zr) ile temsil edilen **Al-Mg-Ti Alt Grubu** ve $(Cr_2O_3-Ni-As-W-S)-LOI$ ile temsil edilen **Cr-Ni Alt Grubu** olmak üzere 2 alt kümeye ayrılabilir. Ana oksitlerden Al_2O_3 , Na_2O , MgO , TiO_2 ve P_2O_5 'in bu grupta yer alması özellikle Na ve Al bulunduran albit bileşimli plajyoklasların oluşumunda rol oynamaktadır. Cr, Mg, N, ise genellikle mafik minerallerin ana bileşenleri olup kayada yer alan biyotit ve piroksenlerin bünyesinde yer almaktadırlar. Alterasyon etkisiyle kayalarda feldispatların ayrışması sonucunda Ca ve K gibi bileşenler ortamdan uzaklaşırken daha duraylı olan Ti, Zr, Ga ve Co ortamda nisbi olarak zenginleşmiştir.

Küme analizi dendrogramındaki ikinci belirgin grup olan **Fe-Mn-Ca Grubu**; Ag-Au-Sr-Cu-Ba kümesine eklenen CaO ile temsil edilen **Ca Grubu** ve $(Fe_2O_3-V)-[(Zn-ANTE)-MnO]-Hg$ ile temsil edilen Fe-Mn-V kümesi olmak üzere 2 alt kümeden oluşmaktadır. Fe_2O_3 , MnO ve CaO gibi ana oksitlerle birlikte Au, Ag, Cu, Ba, V, Zn, NTE'ni bulunduran bu grup Mudurnu formasyonunun oluşumundan sonra Kaçkar Granitoidi'nin sokulumu sonucu meydana gelen düşük sıcaklıklı hidrotermal alterasyon ile açıklanabilmektedir. Kayaç oluşturan minerallerin ayrılmasına neden olan alterasyon ile kayaç içinde bulunan hamur fazı ve biyotitler kısmen ayrılmış ve bu grupta yer alan bileşenler göreceli olarak artmıştır.

Dendrogramda 3. Grup ise $[(SiO_2-HNTE- K_2O-Rb)-Pb]-(Mo-Sb)$ ile temsil edilmekte olup bu grup Si-K grubu olarak tanımlanmıştır. Mudurnu formasyonuna ait volkanik kayaların içinde dolaşan hidrotermal çözeltiler ayrışan minerallerin yerine kayalarda yaygın olarak gözlenen silisi yerleştirmiştir. Böylece yörede yaygın olarak renk değişimleri ile belirgin olarak gözlenebilen alterasyon kuşakları gelişmiştir.

Mudurnu formasyonundan alınan 4 numuneye göre gerçekleştirilen küme analizi numune sayısının az olması nedeniyle kümelenmelerin oluşumunu sağlayan bileşenlerin ortamda bulunmasını açıklayabilecek derecede detaylı analizler yapılması için yeterli olmamaktadır.



Şekil 4.36. Mudurnu formasyonundan alınan örneklere ait küme analizi dendrogramı.

Mudurnu formasyonuna ait volkanik kayalardan alınan numunelerde gerçekleştirilen kimyasal analizlerde istatistiksel olarak değerlendirilmeye alınabilecek 35 bileşen belirlenmiştir. Bu bileşenlerden her birinin farklı jeolojik faktöre bağlı olarak sahada bulundukları varsayılarak değişime etki eden faktörlerin belirlenmesi amacıyla faktör analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.6). Birimden alınan 4 numuneye ait 35 bileşen kullanılarak yapılan faktör analizlerinde ilk üç faktör toplam değişimin tamamını karşılamakta olup geri kalan 32 faktörün değişime etkisinin olmadığı kabul edilmiştir.

Çizelge 4.6. Mudurnu formasyonundan derlenen numunelerin faktör analizinde ilk 3 faktörün değişime etkisi ve toplam değişim içindeki payları.

Faktör No.	Toplam değişim %	% Değişim	% Kümülatif değişim
1	15.784	45.098	45.098
2	12.134	34.668	79.766
3	7.082	20.234	100.000

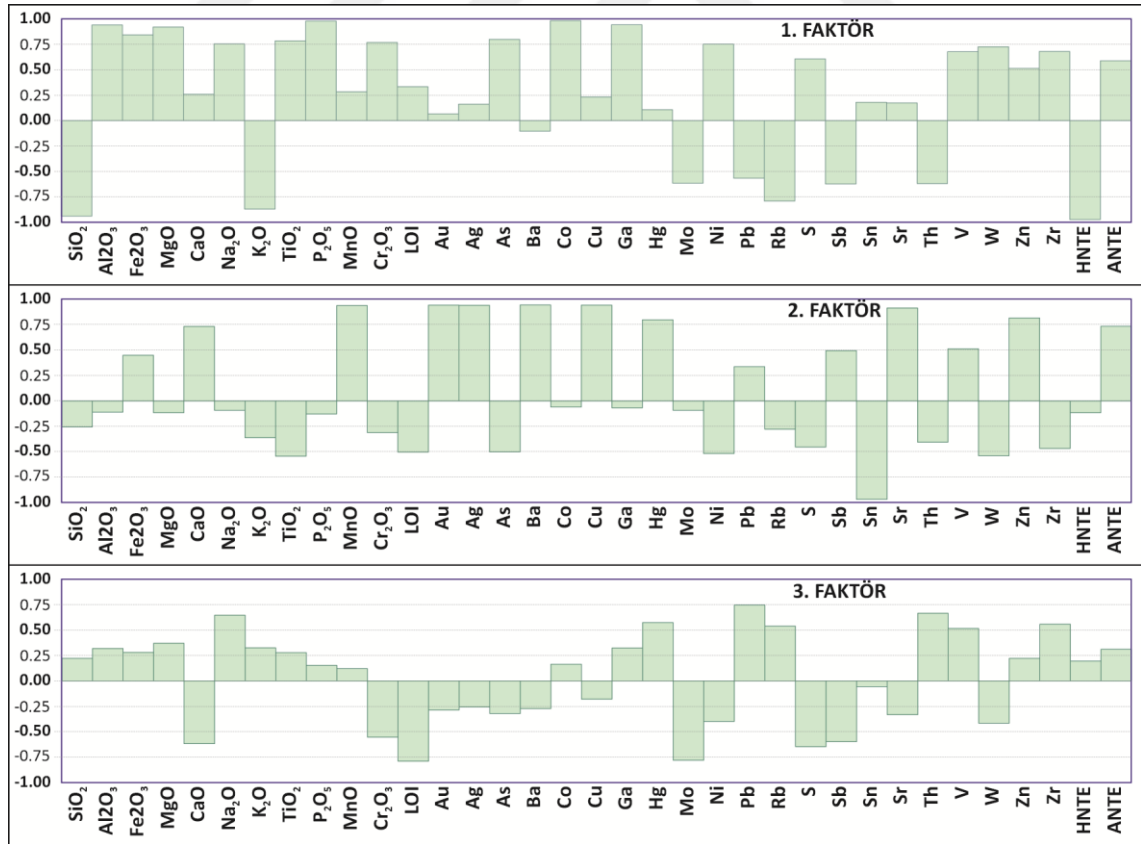
Mudurnu formasyonunda bileşenlerin dağılımını kontrol eden 1. Faktör toplam değişimin % 45.1'ini karşılamakta olup SiO₂, K₂O, Mo, Pb, Rb, Sb, Th ve HNTE'nin önemli negatif faktör yüklerine karşılık Ba dışında diğer bileşenlerin tamamının pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Çizelge 4.6; Şekil 4.37). Birinci faktörde negatif ve pozitif faktör yüklerinin dağılımı incelendiğinde pozitif faktör yüküne sahip olan bileşenler küme analizi dendrogramındaki Ana bileşenler grubu ile negatif faktör yüklerine sahip olan bileşenler ise Si-K grubu ile tam olarak örtüşmektedir. Mudurnu formasyonunda da birinci faktörde Kaçkar Granitoyidi'nin sokulumuna bağlı olarak meydana gelen yüksek sıcaklıklı alterasyon kayaç oluşturan mineralleri ayrıştırmıştır. Dolayısıyla birinci faktör ortamda Si ve K'un nisbi olarak artmasını sağlayan potasik alterasyonu göstermektedir.

Değişime etkisi % 34.7 olan 2. Faktör TiO₂, LOI, As, Ni, S, W ve Sn'in önemli negatif faktör yükleri ile Cr₂O₃'in zayıf negatif faktör yüklerine karşılık CaO, MnO, Au, Ag, Ba, Cu, Hg, Sb, Sr V, Zn ve ANTE'nin önemli pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Çizelge 4.6; Şekil 4.37). Bu faktörde negatif faktör yüklerine sahip olan bileşenler küme analizi dendrogramındaki Cr-Ni alt grubu Al-Mg-Ti grubunda bu gruba uzaktan eklenen TiO₂-Zr çifti ile örtüşürken pozitif faktör yüklerine sahip olan bileşenler Ca grubu ve Fe-Mn-V grupları ile büyük oranda örtüşmektedir. Bu durumda granitoyidik sokulumdan kaynaklanan hidrotermal çözeltilerin etkisiyle potasik alterasyon fillik alterasyon geçişinde porfir maden yataklarında sıkça oluşan W ve Sn ile birlikte TiO₂, Ni ve As'in yerleşimi gerçekleşmiştir. Dolayısıyla bu faktör fillik alterasyon olarak tanımlanabilmektedir. Bu esnada CaO'in pozitif faktör yüküne sahip

olması hidrotermal çözeltilerin karbonatlı yankayaçları etkiledikleri ve özellikle mezo-epitermal koşullarda yaygın olan Au, Ag, Cu, Zn, Hg ve Sb'in çözülerek ortamdan uzaklaştırıldığını ortaya koymaktadır.

Mudurnu formasyonunda değişime etkisi % 20.2 olan 3. Faktör ise CaO, Cr₂O₃, LOI, Mo, S ve Sb'in önemli Au, Ag, As, Ba, Cu, Ni, Sr ve W'nin zayıf negatif faktör yüklerine karşılık Na₂O, Pb, Rb, Th, V ve Zr'un önemli pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Çizelge 4.6; Şekil 4.37). Bu faktörde Ca ile Mo, S ve Sb'in negatif faktör yükleri kontakt metazomatizmaya bağlı olarak ince kesitler ve XRD analizlerinde de belirlenen ikincil kalsitlerle birlikte sülfidli mineralizasyona işaret etmektedir.

Mudurnu formasyonundan derlenen sadece 3 numunede gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçlarına göre yapılan yorumların tutarlılığın denetlenmesi için daha fazla sayıda numuneden analiz yapılarak istatistiksel değerlendirme yapılması uygun olacaktır. Bu ilk değerlendirmelere göre hem Yusufeli hem de Mudurnu formasyonunda yapılan küme analizleri ve faktör analizleri oldukça benzer sonuçlara sahiptir. Dolayısıyla her iki formasyondan alınan numuneler Kaçkar Granitoyidi'nin sokulumuna bağlı olarak benzer alterasyon süreçlerinden etkilenmişlerdir.



Şekil 4.37. Mudurnu formasyonundan alınan örneklere ait ilk üç faktörde bileşenlerin faktör yük dağılım grafikleri.

4.3.3. Kaçkar Granitoyidi

Kaçkar granitoyitlerinden derlenen 3 adet numunede yapılan kimyasal analiz sonucu Pd, Pt ve B bütün numunelerde deteksiyon limitinin altında kalırken Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO, CaO, P_2O_5 , MnO, Au, Ag, Bi, Cd, Co, Cs, Ga, Ge, Hf, In, Li, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Te, Tl, U, V, Zn ve Zr değerlerinin değişim aralıklarının çok geniş olması nedeniyle anakitle aritmetik ortalamalarının alt sınırı negatif değerlerden başlamaktadır (Çizelge 4.7). Hesaplamaları yapılan diğer bileşenler ile ilgili yorumlar % 95 anlamlılık düzeyinde tutarlıdır.

İncelenen numunelerin SiO_2 değerleri ortalama % 56.50 olup örneklerin alındığı anakitlede % 30.02 ile % 82.98 aralığında SiO_2 oranı beklenmektedir. Bu oran, standart granit oranlarına (% 71.30; Gray ve ark., 2014) göre daha düşüktür. Standart granodiyorit oranlarından (% 66.09; Gray ve ark., 2014) düşük olup diyorit oranlarında (% 57.48; Gray ve ark., 2014) yakındır.

İncelenen kayaçların Na_2O değeri ortalama % 0.12 olup örnekleme yapılan anakitlede % 0.05 ile % 0.20 aralığında Na_2O oranı beklenmektedir. Bu değer standart granit-granodiyorit ve diyorit Na_2O (granit: % 3.68; granodiyorit: % 3.75; diyorit: % 3.54; Gray ve ark., 2014) oranlarından oldukça düşüktür.

Kayaçların ortalama K_2O değerleri % 0.13 olup örneklenen anakitlede % 0.02 ile % 0.23 aralığında K_2O bulunmaktadır. Bu değer standart granit-granodiyorit ve diyorit K_2O (granit: % 4.07; granodiyorit: % 2.73; diyorit: % 1.76; Gray ve ark., 2014) oranlarından oldukça düşüktür.

İncelenen numunelerin TiO_2 oranları ortalama % 0.328 olup örneklerin alındığı anakitlede % 0.01 ile % 0.65 arasında TiO_2 oranı beklenmektedir. Bu değer standart granit (granit: % 0.31; Gray ve ark., 2014) oranlarına çok yakın olup granodiyorit ve diyoritlerden TiO_2 (granodiyorit: % 0.54; diyorit: % 0.95; Gray ve ark., 2014) düşüktür.

İncelenen kayaçlarda analizi yapılan diğer ana oksit bileşenlerinden ortalama % 3.52 Al_2O_3 , % 7.06 Fe_2O_3 , % 2.49 MgO, % 4.11 CaO, P_2O_5 , % 0.280 P_2O_5 , % 0.103 MnO ve % 0.001 Cr_2O_3 değerleri hesaplanmıştır. Numunelerin ikisinde Fe_2O_3 oranının yüksek olması da cevherleşmeyi sağlayan hidrotermal alterasyonla açıklanmaktadır.

Örneklenen kayaçlarda ortalama 88.8 ppm Cu bulunmaktadır. Bostancı ve Esendal köyü merkezine yakın alınan Kaçkar Granitoyitlerine ait iki adet örnekte 106.5 ve 96.4 ppm Cu belirlenmiştir. Ayrıca ortalama 11.7 ppm Pb ve toplam 157.4 ppm NTE bulunmakta olup 124.7 ppm'i HNTE ve 32.7 ppm'i ANTE'nden oluşmaktadır.

Çizelge 4.7. Kaçkar granitoidlerinden alınan numunelere ait istatistiksel özetler (t_i : 4.30, ana oksitler %, diğer bileşenler ppm, A.O.: Aritmetik Ortalama, S.H.: Standart Hata, S.S.: Standart Sapma; t_h : Hesaplanan t değeri, μ_1 : Anakitle aritmetik ortalaması alt sınırı, μ_2 : Anakitle aritmetik ortalaması üst sınırı).

	Ae-9	Ae-46	Ae-43	A.O.	S.H.	S.S.	th	μ_1	μ_2
SiO₂	51.80	68.70	49.00	56.50	6.15	10.66	9.18	30.02	82.98
Al₂O₃	4.89	1.59	4.08	3.52	0.99	1.72	3.54	-0.76	7.80
Fe₂O₃	8.48	3.06	9.65	7.06	2.03	3.52	3.48	-1.67	15.80
MgO	3.23	0.51	3.73	2.49	1.00	1.73	2.49	-1.81	6.79
CaO	5.01	1.01	6.31	4.11	1.60	2.76	2.58	-2.76	10.97
Na₂O	0.13	0.09	0.15	0.12	0.02	0.03	7.02	0.05	0.20
K₂O	0.08	0.17	0.13	0.13	0.02	0.04	5.26	0.02	0.23
TiO₂	0.445	0.190	0.347	0.328	0.074	0.129	4.41	0.01	0.65
P₂O₅	0.328	0.128	0.385	0.280	0.078	0.135	3.60	-0.05	0.62
MnO	0.123	0.023	0.161	0.103	0.041	0.071	2.49	-0.07	0.28
Cr₂O₃	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	6.69	0.001	0.002
LOI	25.4	24.5	26.0	25.3	0.4	0.7	58.67	23.43	27.14
Au	0.005	0.006	0.001	0.004	0.002	0.003	2.66	0.00	0.01
Ag	0.073	0.069	0.024	0.055	0.016	0.027	3.52	-0.01	0.12
As	8.47	1.34	3.40	4.40	2.12	3.67	2.08	-4.71	13.52
B	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0	0.0			
Ba	58.9	65.7	41.3	55.3	7.3	12.6	7.61	24.02	86.58
Be	1.00	0.68	0.68	0.79	0.11	0.18	7.38	0.33	1.25
Bi	0.13	0.29	0.07	0.16	0.06	0.11	2.49	-0.12	0.44
Cd	0.08	0.03	0.06	0.05	0.01	0.02	4.15	-0.002	0.11
Co	20.6	3.8	24.0	16.1	6.2	10.8	2.58	-10.75	43.01
Cs	0.70	0.41	2.37	1.16	0.61	1.06	1.90	-1.47	3.79
Cu	106.5	63.5	96.4	88.8	13.0	22.5	6.84	32.94	144.66
Ga	11.40	4.09	9.56	8.35	2.20	3.80	3.80	-1.10	17.80
Ge	0.28	0.09	0.21	0.19	0.05	0.09	3.59	-0.04	0.43
Hf	0.53	0.11	0.41	0.35	0.12	0.21	2.81	-0.18	0.88
Hg	0.011	0.020	0.015	0.015	0.003	0.005	5.89	0.004	0.03
In	0.055	0.019	0.064	0.046	0.014	0.024	3.35	-0.01	0.11
Li	17.4	3.0	14.7	11.7	4.4	7.7	2.65	-7.31	30.71
Mo	0.9	2.6	1.2	1.6	0.5	0.9	2.90	-0.76	3.91
Nb	0.3	0.7	0.1	0.4	0.2	0.3	2.07	-0.42	1.19
Ni	7.9	2.5	8.5	6.3	1.9	3.4	3.26	-2.02	14.64
Pb	15.8	13.3	6.1	11.7	2.9	5.0	4.02	-0.81	24.22
Pd	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	0.0			
Pt	0.002	0.002	0.002	0.002	0.000	0.0			
Rb	4.0	6.7	7.2	6.0	1.0	1.7	6.05	1.73	10.25
Re	0.0004	0.0003	0.0006	0.0004	0.0001	0.0002	4.91	0.0001	0.001
S	0.020	0.020	0.010	0.017	0.003	0.006	5.00	0.002	0.03
Sb	0.4	0.1	0.4	0.3	0.1	0.2	2.74	-0.17	0.75
Se	0.09	0.01	0.13	0.08	0.04	0.06	2.18	-0.07	0.23
Sn	1.4	0.8	1.8	1.3	0.3	0.5	4.79	0.14	2.56
Sr	34.0	16.0	62.5	37.5	13.5	23.4	2.77	-20.74	95.74
Ta	0.0080	0.0050	0.0050	0.0060	0.0010	0.0017	6.00	0.002	0.01
Te	0.0060	0.0030	0.0120	0.0070	0.0026	0.0046	2.65	-0.004	0.02
Th	14.1	22.9	11.3	16.1	3.5	6.1	4.59	1.00	31.17
Tl	0.031	0.027	0.087	0.048	0.019	0.034	2.50	-0.03	0.13
U	2.44	3.62	1.37	2.48	0.65	1.13	3.80	-0.33	5.28
V	168.50	30.40	177.50	125.47	47.60	82.45	2.64	-79.36	330.29
W	0.52	0.55	0.30	0.46	0.08	0.13	5.87	0.12	0.79
Zn	76.0	14.2	73.8	54.7	20.2	35.1	2.70	-32.43	141.77
Zr	12.1	2.4	10.1	8.2	3.0	5.1	2.77	-4.53	20.88
HNTE	143.52	70.47	144.88	119.62	24.58	42.57	4.87	13.86	225.38
ANTE	37.81	19.82	40.81	32.70	6.67	11.55	4.90	4.02	61.38
ΣNTE	181.33	89.95	185.69	152.33	31.21	54.06	4.86	18.16	296.72

***HNTE (Hafif NTE toplamı), ***ANTE (Ağır NTE toplamı), *** ΣNTE (Toplam NTE)

Çalışma alanından derlenen Kaçkar Granitoyidlerine ait kayaçlardan yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre bileşenlerin arasındaki ilişkilerin şekli, yönü ve kuvvetinin belirlenmesi amacıyla basit korelasyon analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.8). Kaçkar granitoyidinden analizi yapılabilen sadece 3 numune olduğu için korelasyon analizlerinde ortaya konulan sonuçların daha fazla sayıda numuneden yapılacak analizlerle doğrulanması gerekmektedir.

Korelasyon analizlerine göre ana oksitlerden SiO_2 ; Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Co , Cu , Ga , Ni , Sb , Sr , Sn , V , Zn , Zr , HNTe ve ANTE ile çok kuvvetli negatif; As ile kuvvetli negatif korelasyona sahipken; Cr_2O_3 , Mo , Th ile çok kuvvetli pozitif; K_2O , Au , Ba , Hg , S , W ile kuvvetli pozitif; Ag , Pb ile zayıf-çok zayıf pozitif korelasyon göstermektedir. Ayrıca Rb ile de herhangi bir korelasyona sahip değildir. SiO_2 'in ana oksitlerin çoğuyla çok kuvvetli negatif korelasyon göstermesi yanı sıra Au , Mo , Ag ile S ile pozitif korelasyona sahip olması kayaçlarda hidrotermal alterasyonun etkilerinden kaynaklanmakta yöredeki porfir tip cevherleşme için önemli bir göstergedir.

Granitoyidik kayaçlarda ana oksit bileşenlerinin çoğu SiO_2 ile bulunan negatif korelasyonları dolayısı ile diğer bileşenlerde de SiO_2 ile zıt yönde hareket gerçekleştirmişlerdir. Bu bileşenlerden Al_2O_3 ; Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , As , Co , Cu , Ni , Ga , Sb , V , Zn , Zr , HNTe ve ANTE ile çok kuvvetli pozitif; Na_2O , Sn , Sr ile kuvvetli pozitif korelasyona sahipken; Au , W ile çok zayıf negatif; Ba , Rb ile zayıf negatif ve K_2O , Cr_2O_3 , Hg , Mo , Th ile çok kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir. Ayrıca cevherleşme için önemli iz elementlerden Ag , Pb ve S ile herhangi bir korelasyona sahip değildir.

İncelenen kayaçlarda Al_2O_3 ile benzer durum Fe_2O_3 için de geçerli olup korelasyon analizine göre Fe_2O_3 ; MgO , CaO , Na_2O , P_2O_5 , MnO , Co , Cu , Ga , Ni , Sn , Sr , V , Zn , Zr , HNTe, ANTE ile çok kuvvetli pozitif; TiO_2 ile kuvvetli pozitif; As ile zayıf pozitif korelasyona sahipken; Pb , Ag ile çok zayıf-zayıf negatif; K_2O , Au , Ba , Hg , S , W ile kuvvetli negatif ve Cr_2O_3 , Mo , Th ile çok kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir.

Granitoyidik kayaçlarda MgO ; CaO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Co , Cu , Ga , Ni , Sb , Sn , Sr , V , Zn , Zr , HNTe ve ANTE ile çok kuvvetli pozitif; As ile kuvvetli pozitif korelasyona sahipken; Ag , Pb ile çok zayıf-zayıf negatif; K_2O , Au , Ba , Hg , S , W ile kuvvetli negatif ve Cr_2O_3 , Mo , Th ile çok kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir.

İncelenen kayaçlarda Na_2O ; P_2O_5 , MnO , Co , Ni , Sb , Sn , Sr , V , Zn , HNTe, ANTE ile çok kuvvetli pozitif; TiO_2 , Cu , Ga , Zr ile kuvvetli pozitif korelasyona sahipken; K_2O ile zayıf negatif; Ag , Hg , Mo , S , Pb ile kuvvetli negatif ve Cr_2O_3 , Au , Ba , Th , W ile çok kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir.

Granitoyidik kayaçlarda K_2O ortamdaki alterasyona işaret SiO_2 ile kuvvetli pozitif korelasyon göstermekte olup Cr_2O_3 dışında diğer ana oksitlere göre ters yönde davranmıştır. Kayaçlardaki K_2O ; Cr_2O_3 , Hg , Mo ile çok kuvvetli pozitif; Rb ve Th ile kuvvetli pozitif korelasyona sahipken; Pb , Sn , Sr ile çok zayıf-zayıf negatif; P_2O_5 , MnO , Co , Ni , Sb , V , Zn , HNTe, ANTE ile kuvvetli negatif ve TiO_2 , As , Cu , Ga , Zr ile çok kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir. Ayrıca Au , Ag , Ba , S , W gibi önemli iz elementler ile herhangi bir korelasyona sahip değildir.

İncelenen bileşenlerden TiO_2 ; As , Co , Cu , Ga , Ni , V , Zn , Zr , HNTe ve ANTE ile çok kuvvetli pozitif ve Cr_2O_3 , Hg ve Mo ile de çok kuvvetli negatif korelasyona sahiptir. Ayrıca önemli iz elementlerden Au , Ag , Pb , S ve W ile de herhangi bir korelasyon göstermemektedir. Diğer ana oksit bileşenlerinden MnO ; Cr_2O_3 , Au , Ag , Hg , S , Th , W , Mo ile çok kuvvetli-kuvvetli negatif; Cu , Co , Ga , Ni , Sb , Sn , Sr , V , Zn , Zr , HNTe ve ANTE ile kuvvetli-çok kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir.

İz elementlerden Au ; Ag , Pb , S ile çok kuvvetli pozitif; Co , Ni , Sn ile kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir. Dolayısıyla ilk bakışta Au düşük sıcaklıklı hidrotermal alterasyona bağlı bir davranış sergilemektedir.

Kaçkar granitoidinde Cu ; Ga , Ni , Sb , V , Zn , Zr , HNTe ve ANTE ile çok kuvvetli pozitif; Hg , Mo , Th ile çok kuvvetli negatif korelasyona sahiptir. Diğer iz elementlerden Mo ; Th ile çok kuvvetli pozitif; Ni , Sb , V , Zr , Zn , HNTe ve ANTE ile çok kuvvetli negatif korelasyona sahiptir.

Sülfidli minerallerin ana bileşeni olan S ; W ile çok kuvvetli pozitif; Sb , Sn , Sr , ANTE ile kuvvetli-çok kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir. Granitoyidik kayaçlarda nadir toprak elementleri birlikte hareket etmişlerdir. Hafif nadir toprak elementleri ve ağır nadir toprak elementleri arasındaki çok kuvvetli pozitif korelasyon bu durumu açıklamaktadır.

Çizelge 4.8. Kaçkar granitoidlerinden derlenen numunelere ait basit korelasyon katsayıları

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	LOI	Au	Ag	As	Ba	Co	Cu	Ga	Hg	Mo	Ni	Pb	Rb	S	Sb	Sn	Sr	Th	V	W	Zn	Zr	HfTe	ANTE	
SiO ₂	1.00	-0.93	-1.00	-1.00	-0.99	-0.95	0.74	-0.87	-1.00	-0.99	0.97	-0.97	0.65	0.55	-0.63	0.80	-1.00	-0.94	-0.93	0.83	0.94	-1.00	0.40	0.24	0.61	-1.00	-0.97	-0.87	0.99	-1.00	0.69	-0.99	-0.95	-0.99	-1.00	
Al ₂ O ₃		1.00	0.92	0.93	0.89	0.77	-0.93	0.99	0.90	0.87	-0.99	0.81	-0.34	-0.21	0.87	-0.53	0.92	1.00	0.92	0.92	-0.98	-1.00	0.95	-0.04	-0.58	-0.28	0.92	0.83	0.63	-0.89	0.96	-0.38	0.98	1.00	0.97	0.93
Fe ₂ O ₃			1.00	1.00	1.00	0.96	-0.72	0.85	1.00	0.99	-0.97	0.98	-0.68	-0.58	0.60	-0.82	1.00	0.92	0.92	0.92	-0.81	-0.93	1.00	-0.43	-0.21	-0.64	1.00	0.98	0.88	-1.00	0.99	-0.71	0.98	0.94	0.99	1.00
MgO				1.00	1.00	0.95	-0.73	0.86	1.00	0.99	-0.97	0.97	-0.66	-0.56	0.62	-0.81	1.00	0.93	0.93	0.93	-0.82	-0.94	1.00	-0.41	-0.23	-0.62	1.00	0.98	0.87	-1.00	1.00	-0.70	0.98	0.94	0.99	1.00
CaO					1.00	0.98	-0.66	0.81	1.00	1.00	-0.95	0.99	-0.73	-0.63	0.54	-0.86	1.00	0.89	0.89	0.89	-0.77	-0.90	0.99	-0.49	-0.14	-0.69	1.00	0.99	0.91	-1.00	0.98	-0.76	0.96	0.91	0.98	0.99
Na ₂ O						1.00	-0.48	0.66	0.97	0.98	-0.85	1.00	-0.86	-0.79	0.34	-0.95	0.95	0.77	0.76	0.76	-0.61	-0.78	0.93	-0.67	0.08	-0.83	0.96	0.99	0.98	-0.98	0.92	-0.89	0.88	0.80	0.90	0.95
K ₂ O							1.00	-0.98	-0.68	-0.64	0.87	-0.54	-0.03	-0.16	-0.99	0.19	-0.72	-0.93	-0.94	0.99	0.92	0.92	-0.77	-0.32	0.83	-0.08	-0.72	-0.57	-0.31	0.67	-0.79	0.02	-0.84	-0.92	-0.81	-0.74
TiO ₂								1.00	0.82	0.79	-0.96	0.71	-0.19	-0.06	0.93	-0.39	0.85	0.99	0.99	-1.00	-0.98	0.89	0.11	-0.70	-0.13	0.85	0.73	0.50	-0.81	0.90	-0.23	0.94	0.98	0.92	0.87	
P ₂ O ₅									1.00	1.00	-0.95	0.98	-0.71	-0.62	0.56	-0.85	1.00	0.90	0.90	0.90	-0.78	-0.91	0.99	-0.47	-0.16	-0.67	1.00	0.99	0.91	-1.00	0.99	-0.75	0.97	0.92	0.98	1.00
MnO										1.00	-0.93	0.99	-0.75	-0.66	0.51	-0.88	0.99	0.88	0.87	-0.75	-0.89	0.98	-0.52	-0.11	-0.71	0.99	1.00	0.93	-1.00	0.98	-0.78	0.96	-0.90	0.97	0.99	
Cr ₂ O ₃											1.00	-0.88	0.47	0.35	-0.79	0.65	-0.97	-0.99	-0.99	0.93	0.99	-0.98	0.18	0.45	0.42	-0.97	-0.90	-0.73	0.95	-0.99	0.51	-1.00	-1.00	-0.99	-0.97	
LOI												1.00	-0.83	-0.75	0.40	-0.93	0.97	0.82	0.80	-0.66	-0.83	0.95	-0.62	0.01	-0.79	0.97	1.00	0.97	-0.99	0.94	-0.85	0.91	0.83	0.93	0.97	
Au													1.00	0.99	0.18	0.98	-0.67	-0.35	-0.33	0.12	0.36	-0.62	0.95	-0.58	1.00	-0.68	-0.81	-0.94	0.73	-0.59	1.00	-0.52	-0.38	-0.56	-0.65	
Ag														1.00	0.31	0.94	-0.57	-0.22	-0.20	-0.01	0.24	-0.51	0.99	-0.68	1.00	-0.58	-0.72	-0.89	0.63	-0.48	0.98	-0.41	-0.26	-0.45	-0.55	
As															1.00	-0.03	0.61	0.86	0.87	-0.95	-0.85	0.66	0.47	-0.91	0.24	0.60	0.44	0.15	-0.54	0.68	0.13	0.74	0.84	0.71	0.63	
Ba																1.00	-0.82	-0.54	-0.52	0.33	0.55	-0.77	0.87	-0.39	0.96	-0.82	-0.91	-0.99	0.86	-0.75	0.99	-0.69	-0.57	-0.73	-0.80	
Co																	1.00	0.93	0.92	-0.82	-0.93	1.00	-0.42	-0.22	-0.63	1.00	0.98	0.88	-1.00	0.99	-0.71	0.98	0.94	0.99	1.00	
Cu																		1.00	1.00	1.00	-0.97	-1.00	0.95	-0.05	-0.57	-0.29	0.92	0.83	0.64	-0.89	0.96	-0.39	0.98	1.00	0.97	0.94
Ga																			1.00	1.00	-0.98	-1.00	0.95	-0.03	-0.58	-0.28	0.92	0.82	0.62	-0.89	0.96	-0.37	0.98	1.00	0.97	0.93
Hg																				1.00	0.97	-0.85	-0.18	0.74	0.06	-0.81	-0.68	-0.44	0.77	-0.87	0.17	-0.91	-0.96	-0.89	-0.83	
Mo																					1.00	-0.96	0.07	0.55	0.31	0.31	-0.93	-0.84	-0.65	0.90	-0.97	0.41	-0.98	-1.00	-0.97	-0.94
Ni																						1.00	-0.36	-0.29	-0.57	1.00	0.96	0.84	-0.99	1.00	-0.66	0.99	0.96	1.00	1.00	
Pb																							1.00	-0.79	0.97	-0.43	-0.59	-0.80	0.49	-0.33	0.94	-0.24	-0.09	-0.29	-0.40	
Rb																								1.00	-0.62	-0.21	-0.02	0.27	0.14	-0.32	-0.34	-0.40	-0.54	-0.35	-0.24	
S																									1.00	-0.64	-0.77	-0.92	0.69	-0.55	0.99	-0.47	-0.33	-0.51	-0.61	
Sb																										1.00	0.98	0.88	-1.00	0.99	-0.71	0.98	0.94	0.99	1.00	
Sn																											1.00	0.96	-0.99	0.95	-0.83	0.93	0.85	0.94	0.97	
Sr																												1.00	-0.91	0.83	-0.96	0.77	0.66	0.80	0.87	
Th																													1.00	-0.98	0.76	-0.96	-0.91	-0.98	-0.99	
V																														1.00	-0.63	1.00	0.97	1.00	1.00	
W																															1.00	-0.56	-0.42	-0.60	-0.69	
Zn																																1.00	0.99	1.00	0.99	
Zr																																	1.00	0.98	0.95	
HfTe																																		1.00	0.99	1.00
ANTE																																			1.00	1.00

Çok kuvvetli pozitif korelasyon

Kuvvetli pozitif korelasyon

Zayıf pozitif korelasyon

Çok zayıf pozitif korelasyon

Korelasyon yok

Çok zayıf negatif korelasyon

Zayıf negatif korelasyon

Kuvvetli negatif korelasyon

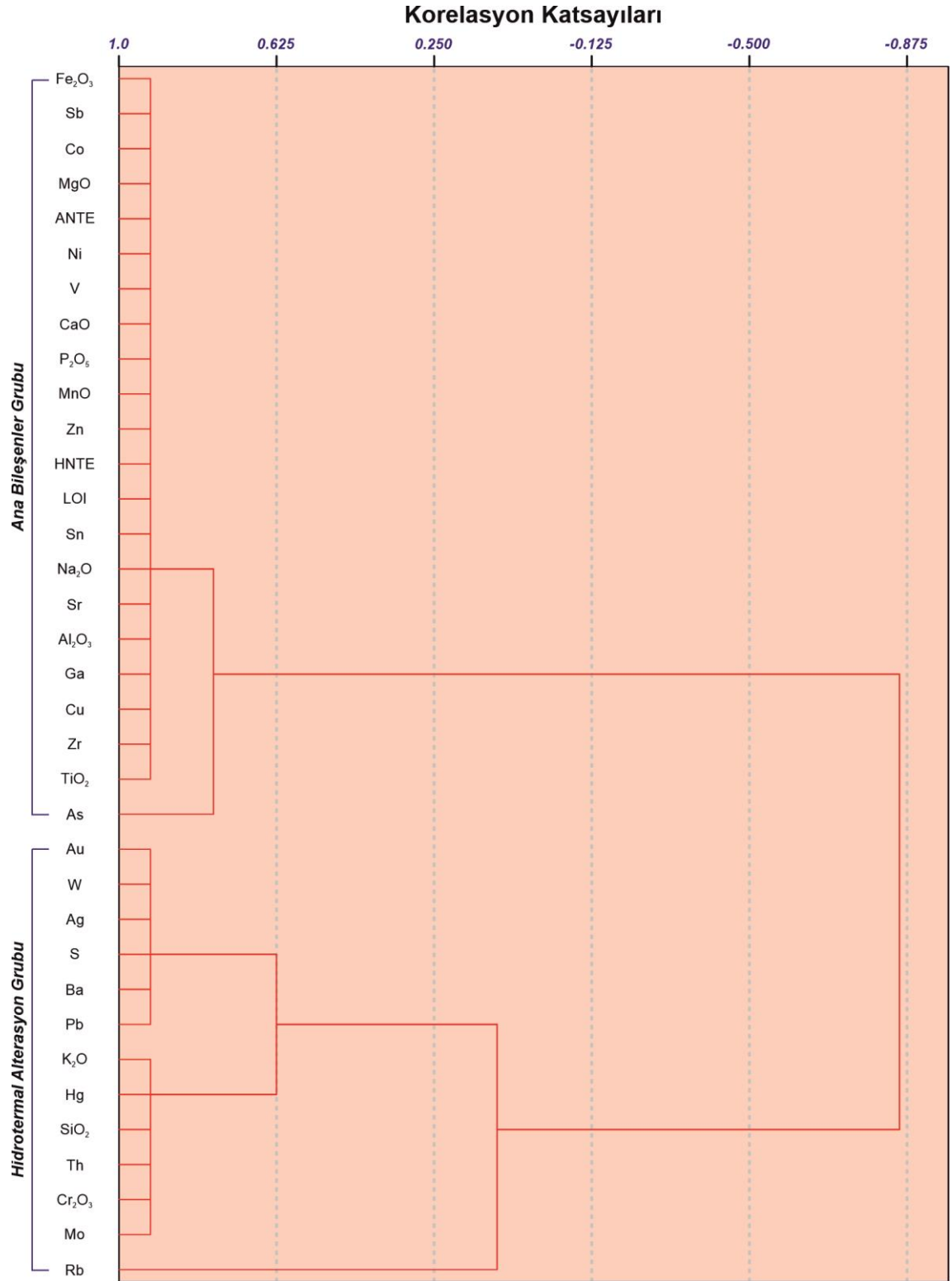
Çok kuvvetli negatif korelasyon

Kaçkar granitoyidinden alınan numunelerde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre basit korelasyon analizi sonuçları kullanılarak ortak korelasyon katsayılarına göre bileşenler arasındaki oluşan kümelenmelerin ortaya konulması amacıyla küme (cluster) analizleri yapılmış ve küme analizi grafikleri (dendrogram) hazırlanmıştır (Şekil 4.38). Numune sayısının az olması korelasyon analizlerinde olduğu gibi küme analizlerinde de bazı önemli özelliklerin gizli kalmasına neden olmuş ve küme analizi dendrogramında ana oksitlerin dağılımına göre ilk bakışta **Ana Bileşenler Grubu** ve **Hidrotermal Alterasyon Grubu** olmak üzere sadece 2 belirgin grup ortaya çıkmıştır.

Kaçkar granitoyidinde **Ana Bileşenler Grubu** SiO_2 , K_2O ve Cr_2O_3 dışında aralarında çok kuvvetli pozitif korelasyonlar bulunan Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , MgO , MnO , TiO_2 , P_2O_5 ve LOI gibi ana bileşenlerle birlikte Sb, Co, Ni, V, Zn, Sn, Sr, Ga, Cu, Zr ve uzaktan eklenen As ile temsil edilmektedir. Bileşenlerin genel dağılımına bakıldığında granitoyidleri oluşturan albitçe zengin plajioklaslar ile birlikte yer yer hakim olan biyotit ve piroksenlerin bunların alterasyonu ile oluşan kloritler, kil mineralleri ve ikincil kalsitlerle oluşumunda rol oynayan bileşenler oldukları ortaya çıkmaktadır.

Kayaçlarda **Hidrotermal alterasyon** grubu ise (SiO_2 - K_2O - Cr_2O_3 -Hg-Th-Mo) kümesine eklenen (Au-W-Ag-S-Ba-Pb) kümeleri ve bu gruba uzaktan eklenen Rb ile temsil edilmektedir. Bu grupta yer alan bileşenler asidik-nötr bileşimli magmanın sokulumu esnasında yan kayaç reaksiyonları ile meydana gelen silisleşme ve bu esnada oluşan porfir tip cevherleşmeye işaret etmektedir. Özellikle W, Mo, Au ve S'in bu grupta yer alması kabuksal kökenli bir magmatizma ve buna bağlı porfir – hidrotermal sistemi yansıtmaktadır.

Kaçkar granitoyidinden alınan 3 numuneye göre gerçekleştirilen küme analizi numune sayısının az olması nedeniyle kümelenmelerin oluşumunu sağlayan bileşenlerin ortamda bulunmasını açıklayabilecek derecede detaylı analizler yapılması için yeterli olmamaktadır. Yöredeki alterasyon zonlarından ve ayrışmamış orijinal kayaçlardan derlenecek daha fazla sayıda numuneden yapılacak kimyasal analizlerle bu belirsizlik ortadan kaldırılabilecektir.



Şekil 4.38. Kaçkar Granitoidlerinden alınan örneklere ait küme analizi dendrogramı.

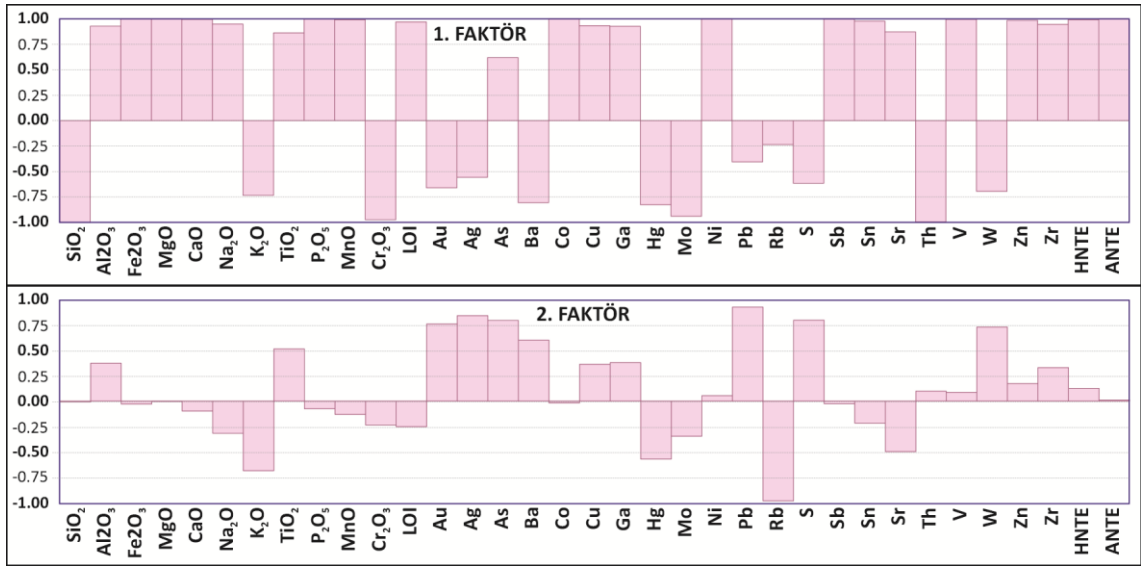
Kaçkar Granitoyidlerine ait kayaçlardan alınan numunelerde gerçekleştirilen kimyasal analizlerde istatistiksel olarak değerlendirilmeye alınabilecek 35 bileşen belirlenmiştir. Bu bileşenlerden her birinin farklı jeolojik faktöre bağlı olarak sahada bulundukları varsayılarak faktör sayısının azaltılması için faktör analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.9). 3 numuneye ait 35 bileşen kullanılarak yapılan faktör analizlerinde ilk iki faktör toplam değişimin tamamını karşılamakta olup geri kalan 33 faktörün değişime etkisinin olmadığı kabul edilmiştir.

Çizelge 4.9. Kaçkar granitoyidlerine ait numunelerin faktör analizinde ilk 2 faktörün değişime etkisi ve toplam değişim içindeki payları.

Faktör No.	Toplam değişim	% Değişim	% Kümülatif değişim
1	27.596	78.845	78.845
2	7.404	21.155	100.000

Kaçkar Granitoyidleri'nden derlenen numunelerde gerçekleştirilen faktör analizinde değişime etkisi % 78.9 olan 1. Faktör diğer formasyonlara benzer olarak SiO₂, K₂O, Cr₂O₃, Au, Ag, Ba, Hg, Mo, S, Th ve W'ın önemli negatif faktör yüklerine karşılık diğer bileşenlerin tamamının önemli pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Çizelge 4.9; Şekil 4.39). Pozitif faktör yüklerine sahip olan bileşenler küme analizi dendrogramındaki ana bileşenler grubu ile tam olarak örtüşürken negatif faktör yüklerine sahip olan bileşenler ise hidrotermal alterasyon grubu ile büyük oranda örtüşmektedir. Yusufeli ve Mudurnu formasyonlarında olduğu gibi Kaçkar granitoyidlerinde de birinci faktör bu kayaçların sokulumu esnasında meydana gelen hidrotermal metazomatizma ile ilişkilidir. Kayaç içinde bulunan feldispatlarla birlikte piroksen ve biyotitler alterasyona uğramış olup ana bileşenler kısmen çözelti içine taşınırken Si, K, Cr, Au, Ag, Ba, Hg, Mo, S ve Th ortamda nisbi olarak artış göstermiştir. Si, K ve Cr dışındaki bileşenler S ile birlikte sülfidli minerallerin bünyesinde ortamda zenginleşmiştir. Kaçkar Granitoyidinden alınan numuneler de alterasyon zonundan alındıkları için doğrudan ortamdaki potasik alterasyona işaret etmektedir.

Granitoyidlerde değişime etkisi % 21.1 olan 2. Faktör ise K₂O, Hg ve Rb'un önemli negatif faktör yüklerine karşılık Au, Ag, As, Ba, Pb, S, W'un önemli pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Çizelge 4.9; Şekil 4.39). Bu faktörde negatif faktör yüküne sahip olan bileşenler küme analizi dendrogramındaki hidrotermal alterasyon grubu ile örtüşürken negatif faktör yüküne sahip olan bileşenler ise yine potasik alterasyondan etkilenen hidrotermal alterasyon grubunda yer almaktadırlar.



Şekil 4.39. Kaçkar granitoidlerinden alınan örneklere ait ilk iki faktörde bileşenlerin faktör yük grafikleri.

4.3.4. Alterasyon jeokimyası

İnceleme alanında Yusufeli ve Mudurnu formasyonu ile Kaçkar granitoidlerinden alınan numunelere ait kimyasal analiz sonuçları daha önce köken, tektonik ortam ve bazı standart sınıflama diyagramlarında değerlendirilmiş ancak herhangi bir sınıflama diyagramına düşmemişlerdir. Kimyasal analiz sonuçlarına uygulanan parametrik istatistik, student t testi, korelasyon ve küme analizleri ile faktör analizlerine göre farklı formasyonlardan derlenen numuneler büyük oranda benzer sonuçlar göstermiştir. Bu durum farklı birimlere ait kayalarda ortak genel bir süreç olan Kaçkar granitoidlerinin sokulumu ile meydana gelen alterasyonlar sonucu yan kayaların orijinal bileşimlerinin değişmiş olduğu tespit edilmiştir. Granitoidik kayaların sokulumu ile sadece yankayaçlar değil aynı zamanda granitoidik kayaların kendileri de magma-yankayaç etkileşimi sonucu değişime uğramıştır. Dolayısıyla yukarıda Yusufeli formasyonu, Mudurnu formasyonu ve Kaçkar granitoidleri ile ilgili detaylı olarak açıklanan jeokimyasal analiz değerlendirmeleri ayrı ayrı değil tek bir numune topluluğu şeklinde değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Buna göre Yusufeli formasyonundan derlenen 7 adet, Mudurnu formasyonundan derlenen 4 adet ve Kaçkar granitoidlerinden derlenen 3 adet numune birleştirilerek alterasyon numuneleri olarak değerlendirilmiştir. Bölgeden derlenen 14 adet alterasyon numunesinde yapılan yorumların tutarlı olması için birimlerde ortak olarak değerlendirmeye alınan ana oksitler (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃ ve LOI), bazı önemli iz elementler (Au, Ag, As, Ba, Co, Cu, Ga, Hg, Mo, Ni, Pb, Rb, S, Sb, Sn,

Sr, Th, V, W, Zn, Zr) ve nadir toprak elementleri (HNTE ve ANTE) olmak üzere toplam 35 adet bileşene ait kimyasal analiz sonuçları yorumlanmıştır.

İncelenen alterasyon örneklerinde SiO_2 değerleri ortalama % 60.86 olup örneklerin alındığı anakitlede % 54.12 ile % 67.61 aralığında SiO_2 oranı beklenmektedir. Örneklerdeki SiO_2 değerlerinin ortalamasını Yusufeli formasyonuna ait numuneler arttırmaktadır (Çizelge 4.10).

Örneklerdeki ortalama Al_2O_3 içeriği % 3.42 olup örneklerin alındığı anakitlede % 2.16 ile % 4.68 aralığında Al_2O_3 beklenmektedir.

İncelenen numunelerin Fe_2O_3 oranları ortalama % 5.75 olup örneklerin alındığı anakitlede % 95 anlamlılık düzeyinde % 4.00 ile % 7.49 arasında Fe_2O_3 beklenmektedir.

Alterasyon örneklerinde ortalama MgO oranı % 2.31 olup bu örneklerin alındığı anakitlede % 1.29 ile % 3.34 aralığında MgO içeriği beklenmektedir.

Alınan örneklerdeki ortalama CaO değeri % 3.71 olup örneklenen anakitlede % 1.77 ile % 5.65 arasında CaO içeriği beklenmektedir.

İncelenen alterasyon örneklerinin Na_2O değeri ortalama % 0.118 olup örnekleme yapılan anakitlede % 0.08 ile % 0.15 aralığında Na_2O beklenmektedir.

Örneklerin ortalama K_2O değerleri % 0.14 olup örneklenen anakitlede % 0.07 ile % 0.21 aralığında K_2O bulunmaktadır.

İncelenen alterasyon örneklerinde analizi yapılan diğer ana oksit bileşenlerinden ortalama % 0.233 TiO_2 , % 0.12 P_2O_5 , % 0.09 MnO ve % 0.003 Cr_2O_3 değerleri hesaplanmıştır.

Örneklenen kayalarda ortalama 89.20 ppm Cu bulunmaktadır. Boyalı köyünün kuzeyinden ve Bostancı köyü kuzeyinden alınan iki adet örnekte 139.5 ve 212 ppm Cu belirlenmiştir. Söğütönü mahallesi civarından alınan örnekte ise 349 ppm Cu belirlenmiştir. Ayrıca ortalama 8.66 ppm Pb ve toplam 86.92 ppm NTE bulunmakta olup bu toplamın 65.38 ppm kadarı hafif nadir toprak elementlerinden, 21.57 ppm kadarı ağır nadir toprak elementlerinden oluşmaktadır.

Alterasyon örneklerinden yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre bileşenlerin arasındaki ilişkilerin şekli, yönü ve kuvvetinin belirlenmesi amacıyla basit korelasyon analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.11). Korelasyon analizleri, küme analizleri ve faktör analizleri yapılırken bütün örneklerde yapılan yorumların tutarlı olması için yukarıda belirtilen ana oksit ve iz elementlerden oluşan 35 adet bileşen değerlendirilmeye alınmıştır.

Çizelge 4.10. Alterasyon jeokimyası için toplu istatistiksel özetler (Ana oksitler %, diğer bileşenler ppm, A.O.: Aritmetik Ortalama, S.H.: Standart Hata, S.S.: Standart Sapma; t: Tablo t değeri 2.16, t_h: Hesaplanan t değeri, μ_1 : Anakitle aritmetik ortalaması alt sınırı, μ_2 : Anakitle aritmetik ortalaması üst sınırı)

	Ae-12	Ae-25	Ae-28	Ae-29	Ae-34	Ae-41a	Ae-43	Ae-46	Ae-48	Ae-62	Ae-63	Ae-68	Ae-7	Ae-9	A.O.	S.H.	S.S.	th	μ_1	μ_2
SiO ₂	70.00	67.80	79.20	51.10	44.90	66.50	49.00	68.70	66.10	47.30	66.10	47.70	75.90	51.80	60.86	3.12	11.68	19.50	54.12	67.61
Al ₂ O ₃	1.17	2.87	1.42	7.60	6.76	1.66	4.08	1.59	2.61	4.69	2.08	5.59	0.87	4.89	3.42	0.59	2.19	5.84	2.16	4.68
Fe ₂ O ₃	2.00	5.00	1.92	9.62	7.53	3.97	9.65	3.06	5.88	9.05	2.99	8.78	2.50	8.48	5.75	0.81	3.02	7.11	4.00	7.49
MgO	0.07	1.39	0.40	5.54	4.64	1.46	3.73	0.51	1.63	3.05	1.11	4.53	1.11	3.23	2.31	0.47	1.78	4.87	1.29	3.34
CaO	0.06	1.74	0.18	3.20	7.28	2.35	6.31	1.01	0.71	12.28	3.78	5.33	2.71	5.01	3.71	0.90	3.36	4.14	1.77	5.65
Na ₂ O	0.003	0.239	0.089	0.174	0.108	0.148	0.152	0.092	0.129	0.080	0.040	0.182	0.088	0.125	0.118	0.016	0.060	7.30	0.08	0.15
K ₂ O	0.47	0.04	0.19	0.10	0.01	0.17	0.13	0.17	0.06	0.01	0.24	0.14	0.14	0.08	0.14	0.03	0.12	4.47	0.07	0.21
TiO ₂	0.008	0.294	0.003	0.711	0.721	0.005	0.347	0.190	0.214	0.028	0.025	0.262	0.003	0.445	0.233	0.067	0.252	3.46	0.09	0.38
P ₂ O ₅	0.03	0.12	0.04	0.11	0.11	0.12	0.38	0.13	0.08	0.08	0.04	0.11	0.04	0.33	0.12	0.03	0.11	4.36	0.06	0.18
MnO	0.01	0.03	0.03	0.16	0.09	0.03	0.16	0.02	0.04	0.25	0.08	0.11	0.11	0.12	0.09	0.02	0.07	4.70	0.05	0.13
Cr ₂ O ₃	0.001	0.004	0.002	0.002	0.008	0.003	0.001	0.002	0.002	0.003	0.001	0.005	0.003	0.001	0.003	0.001	0.002	5.44	0.002	0.004
LOI	26.15	20.41	16.47	21.61	27.75	23.55	25.97	24.49	22.50	23.02	23.48	27.20	16.39	25.40	23.17	0.94	3.53	24.54	21.13	25.21
Au	0.339	0.001	0.001	0.002	0.002	0.007	0.001	0.006	0.001	0.028	0.001	0.002	0.000	0.005	0.028	0.024	0.090	1.18	-0.02	0.08
Ag	0.470	0.006	0.038	0.033	0.028	0.021	0.024	0.069	0.039	0.230	0.003	0.032	0.071	0.073	0.081	0.033	0.125	2.43	0.01	0.15
As	29.40	2.39	2.33	3.76	8.52	10.30	3.40	1.34	1.10	1.91	0.75	1.87	0.57	8.47	5.44	2.03	7.59	2.68	1.05	9.82
Ba	186.50	99.70	513.00	42.80	14.30	41.80	41.30	65.70	29.70	598.00	111.00	44.60	1090.00	58.90	209.81	83.40	312.04	2.52	29.64	389.97
Co	0.44	4.93	2.64	29.30	29.30	28.10	24.00	3.79	13.20	18.95	3.08	34.80	2.87	20.60	15.43	3.30	12.35	4.67	8.30	22.56
Cu	6.55	212.00	14.45	94.20	63.40	7.22	96.40	63.50	139.50	349.00	14.00	72.20	9.94	106.50	89.20	25.48	95.34	3.50	34.15	144.25
Ga	1.32	5.12	2.59	13.45	11.75	3.85	9.56	4.09	5.04	8.41	3.30	9.01	1.89	11.40	6.48	1.07	4.02	6.04	4.16	8.80
Hg	0.024	0.028	0.039	0.032	0.018	0.021	0.015	0.020	0.026	0.033	0.022	0.016	0.009	0.011	0.022	0.002	0.009	9.77	0.02	0.03
Mo	0.97	4.79	1.84	0.38	0.76	5.73	1.24	2.64	1.14	0.74	0.92	0.56	3.49	0.85	1.86	0.45	1.68	4.14	0.89	2.83
Ni	0.94	4.98	2.44	17.55	49.50	11.20	8.53	2.45	4.91	9.35	3.84	26.30	2.60	7.94	10.90	3.49	13.07	3.12	3.35	18.44
Pb	15.65	2.06	5.28	3.92	1.87	6.19	6.06	13.30	29.50	3.34	3.79	1.38	13.10	15.75	8.66	2.12	7.92	4.09	4.08	13.23
Rb	10.65	1.71	5.60	2.73	0.80	6.32	7.22	6.72	1.74	1.14	3.95	2.97	4.77	4.03	4.31	0.74	2.78	5.80	2.70	5.92
S	0.07	0.01	0.02	0.02	0.47	2.14	0.01	0.02	0.01	0.07	0.01	0.02	0.04	0.02	0.21	0.15	0.57	1.38	-0.12	0.54
Sb	0.61	0.20	0.07	0.11	0.23	0.19	0.43	0.08	0.21	0.42	0.39	0.11	0.06	0.37	0.25	0.04	0.17	5.52	0.15	0.34
Sn	0.36	1.44	0.35	0.59	0.78	0.58	1.78	0.82	3.56	0.28	0.61	0.38	0.57	1.44	0.97	0.23	0.88	4.12	0.46	1.47
Sr	4.55	46.00	14.05	33.80	37.40	42.50	62.50	16.00	33.50	81.10	29.30	52.40	47.00	34.00	38.15	5.31	19.88	7.18	26.67	49.63
Th	1.46	2.26	0.79	1.31	0.38	5.48	11.25	22.90	1.26	0.29	1.54	0.68	1.67	14.10	4.67	1.80	6.75	2.59	0.77	8.56
V	10.80	45.60	6.00	272.00	116.00	27.30	177.50	30.40	61.10	219.00	10.40	184.50	5.40	168.50	95.32	24.57	91.95	3.88	42.23	148.41
W	0.33	0.31	0.05	0.06	0.09	0.10	0.30	0.55	13.30	0.05	0.04	0.04	0.11	0.52	1.13	0.94	3.51	1.21	-0.89	3.16
Zn	16.00	43.70	33.40	82.00	56.40	13.20	73.80	14.20	41.50	99.20	38.10	61.30	27.80	76.00	48.33	7.27	27.22	6.64	32.61	64.04
Zr	1.16	3.97	1.66	41.80	27.80	3.63	10.10	2.38	3.84	1.32	3.48	5.00	1.73	12.05	8.57	3.18	11.88	2.70	1.71	15.43
HNTE	38.17	33.11	63.23	52.50	42.71	82.22	144.88	70.47	23.99	50.85	75.09	35.82	58.82	143.52	65.38	9.98	37.35	6.55	43.82	86.95
ANTE	2.91	23.60	9.53	30.33	24.17	16.92	40.81	19.48	15.87	32.10	19.54	18.35	10.51	37.82	21.57	2.89	10.82	7.46	15.32	27.81

HNTE (Hafif NTE toplamı), ***ANTE (Ağır NTE toplamı), **ΣNTE (Bütün NTE toplamı)**

Bileşenler arasındaki ilişkilerin şekli, yönü ve kuvvetinin belirlenmesi amacıyla yapılan basit korelasyon analizlerine göre SiO₂; ana oksitlerden Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO ve Ga, V ile çok kuvvetli; CaO, TiO₂, MnO, Co, Ni, Zn, ANTE ile kuvvetli; Na₂O, P₂O₅, Cr₂O₃, Cu, Sr, Zr ile zayıf-çok zayıf negatif korelasyon göstermekte olup Au, Ag, As, Hg, S, Sb, Sn, Th, W ve ANTE ile korelasyon göstermemektedir. SiO₂ ayrıca iz elementlerden Ba, Pb, Rb ile çok zayıf pozitif korelasyona sahipken K₂O ve Mo ile zayıf pozitif korelasyona sahiptir. Sonuçlarda ortalama SiO₂ değerini artıran ve standart değerlere kıyasla nispeten yüksek SiO₂ değerleri derlenen örneklerde hidrotermal alterasyonun etkilerine işaret etmektedir (Çizelge 4.11).

İncelenen bileşenlerden Al₂O₃; ana oksitlerden K₂O dışında diğer bileşenlerin tamamıyla pozitif korelasyon göstermekte olup Fe₂O₃, MgO ve TiO₂ ile çok kuvvetli; MnO ile kuvvetli; CaO, Na₂O, P₂O₅, Cr₂O₃ ile de zayıf-çok zayıf pozitif korelasyona sahiptir. Al₂O₃ ayrıca iz elementlerden Ga, V ile çok kuvvetli; Co, Ni, Zr, Zn, ANTE ile kuvvetli; Cu ve Sr ile de çok zayıf pozitif korelasyon gösterirken Ba, Mo, Pb, Rb ile çok

zayıf-zayıf negatif korelasyona sahiptir. Önemli iz elementlerden Au, Ag, As, Hg, S, Sb, Sn, Th, V ve HNTE ile korelasyon göstermemektedir. Ortamdaki Al_2O_3 genellikle örneklerdeki kayaç yapıcı mineraller ile doğrudan ilişkilidir (Çizelge 4.11).

Ana oksitlerden Fe_2O_3 ; MgO ile çok kuvvetli ve CaO, TiO_2 , MnO ile kuvvetli pozitif korelasyona sahipken K_2O ile kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir. Au, Ba, Mo ve Rb ile çok zayıf-zayıf negatif korelasyona sahip olup Ga, V ve Zn ile çok kuvvetli pozitif korelasyona sahiptir. Önemli iz elementlerden Co, Cu, Ni, Sr, Zn ve ANTE ile kuvvetli-zayıf pozitif korelasyona sahiptir. Bu örneklerdeki Fe_2O_3 'ün SiO_2 ve K_2O dışındaki çoğu ana oksit bileşeniyle pozitif korelasyona sahip olması genellikle kayaç yapıcı bileşenlerle ilişkili olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.11).

Alterasyon örneklerinde MgO; Co, Ga ve V ile çok kuvvetli pozitif; CaO, TiO_2 , MnO, Ni, Zn, Zr, ANTE ile kuvvetli pozitif; Na_2O , P_2O_5 , Cr_2O_3 , Sr ile zayıf-çok zayıf pozitif korelasyon gösterirken; K_2O , Au, Ag, Ba, Mo, Rb ve Pb ile çok zayıf-zayıf negatif korelasyon göstermektedir (Çizelge 4.11).

Alkali bileşenlerden Na_2O ; TiO_2 , P_2O_5 , Cr_2O_3 , Co, Cu, Ga, Mo, Sn, Sr, V, Zn, Zr, ANTE ile zayıf-çok zayıf pozitif; K_2O , Ag ile kuvvetli negatif; Au, As, Ba, Rb, Sb ile çok zayıf-zayıf negatif korelasyon göstermektedir.

Analiz sonuçlarına göre K_2O ; Rb ile çok kuvvetli pozitif; Au, Ag, AS ile kuvvetli pozitif korelasyona sahip iken; Cu, Sr, ANTE ile kuvvetli negatif; TiO_2 , MnO, Cr_2O_3 , Co, Ga, Ni, Sn, V, Zn, Zr ile çok zayıf-zayıf negatif korelasyona sahiptir.

Kayaçlarda TiO_2 ; Ga ve Zr ile çok kuvvetli pozitif; Ni, V ile kuvvetli pozitif; P_2O_5 , Cr_2O_3 , Co, Zn ve ANTE ile zayıf-çok zayıf pozitif; Ag, Ba, Mo, Rb ile çok zayıf-zayıf negatif korelasyona sahiptir.

Bu çalışmada anomali değerleri veren Au; yukarıda çeşitli bileşenlerle korelasyonuna değinilmiş olmakla birlikte Ag ve As ile çok kuvvetli, K_2O , Rb ve Sb ile kuvvetli pozitif korelasyona sahipken Na_2O ve ANTE ile zayıf, Fe_2O_3 , MgO, Cr_2O_3 , Co, Ga, Sr ve Zn ile çok zayıf negatif korelasyona sahiptir. İnceleme alanında anomali veren Cu ise CaO, Sr, Zn ve ile kuvvetli Fe_2O_3 , MnO ve ANTE ile zayıf pozitif korelasyona sahipken K_2O ve SiO_2 ile kuvvetli negatif korelasyon göstermektedir.

Alterasyon örneklerinde yapılan korelasyon analizleri de diğer birimlerde olduğu gibi SiO_2 ve K_2O diğer ana bileşenlerden farklı davranış sergilemektedir. Dolayısıyla bileşenlerin jeokimyasal davranışına etki eden birden fazla faktör olup kayaçlardaki yüksek SiO_2 ve düşük Na_2O ve K_2O oranları kayaçların hidrotermal alterasyondan etkilendiklerini göstermektedir.

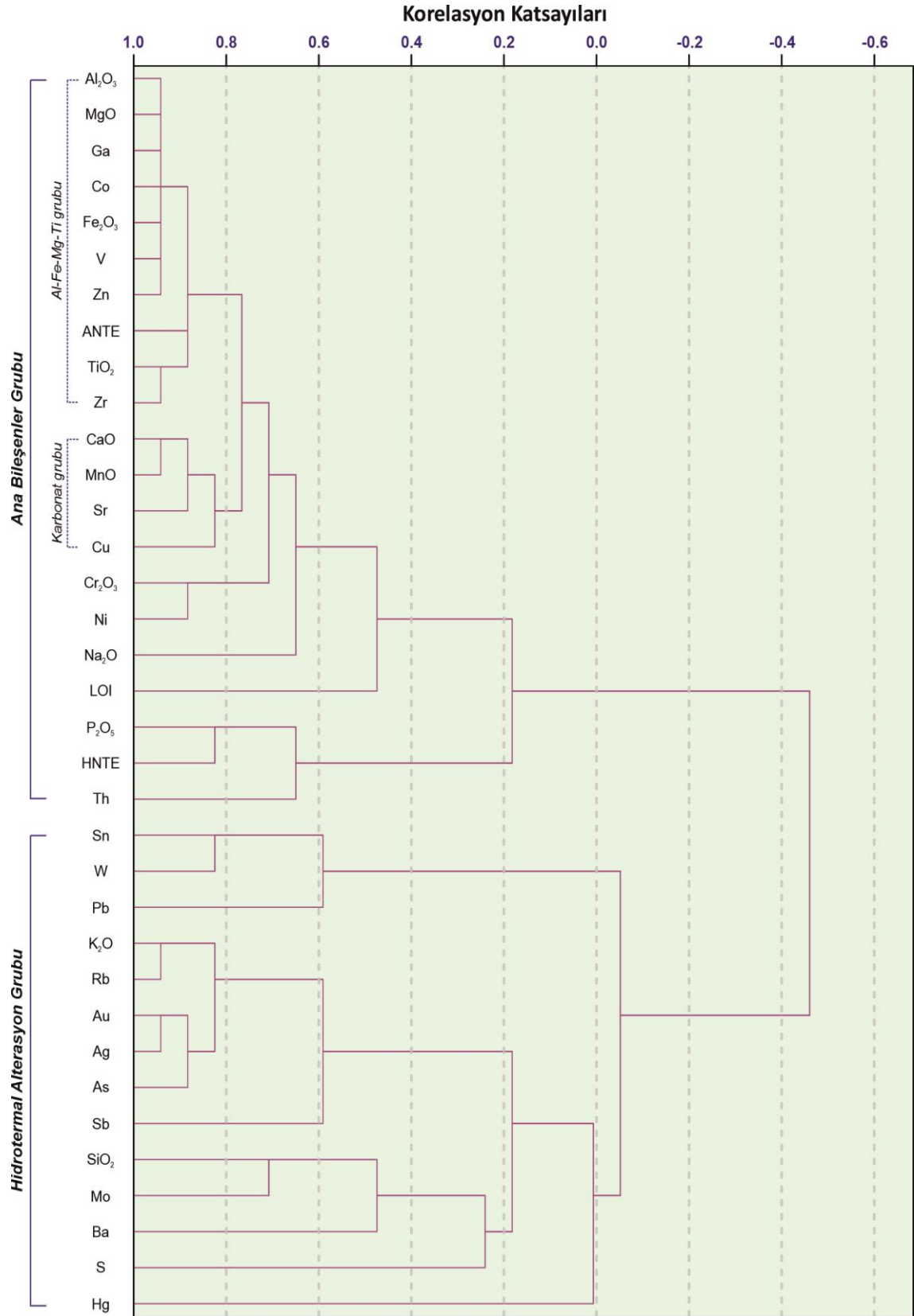
Alterasyon örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre basit korelasyon analizi sonuçları kullanılarak ortak korelasyon katsayılarına göre bileşenler arasındaki oluşan kümelenmelerin ortaya konulması amacıyla küme (cluster) analizleri yapılmış ve küme analizi grafikleri (dendrogram) hazırlanmıştır (Şekil 4.40). Alterasyon örneklerine ait küme analizi dendrogramında ilk bakışta belirgin iki küme ortaya çıkmaktadır. Birinci grup SiO_2 ve K_2O dışında bütün ana bileşenleri içeren **ana bileşenler grubu** olarak tanımlanırken ikinci grup ise SiO_2 ve K_2O ile birlikte cevher oluşturan önemli iz elementleri içeren **hidrotermal alterasyon grubudur**.

Ana bileşenler grubu Al_2O_3 - Fe_2O_3 - MgO - Ga - Co - V - Zn kümesine eklenen ANTE ve bu gruba yakından eklenen TiO_2 - Zr çiftinden oluşan Al - Fe - Mg - Ti grubu ile $\{[(\text{CaO}-\text{MnO})-\text{Sr}]-\text{Cu}\}$ ile temsil edilen karbonat kümesine sırasıyla eklenen (Cr_2O_3 - Ni), Na_2O , LOI, (P_2O_5 -HNTE)-Th alt küme ve elemanlarından oluşmaktadır. CaO 'ın bu grup içinde ayrı bir grup oluşturması özellikle Mudurnu formasyonu içinde yer yer yoğunlaşan kireçtaşları ile ilişkilendirilebilmektedir.

Küme analizi dendrogramında **Hidrotermal alterasyon grubu** ise $\{(\text{K}_2\text{O}-\text{Rb})-[(\text{Au}-\text{Ag})-\text{As}]]-\text{Sb}$ kümesine sırasıyla eklenen (SiO_2 - Mo), Ba, S ve Hg ile temsil edilmektedir. Buna göre bu grup başlangıçta potasik alterasyondan başlayarak sülfidli fazlarla sona eren propilitik alterasyona kadar gerileyen alterasyon kuşaklarını temsil etmektedir.

Küme analizlerine göre alterasyon örneklerinde SiO_2 ve K_2O 'ın birlikte bulunması Yusufeli ve Mudurnu formasyonlarına sokulum yapan Kaçkar granitoidlerine bağlı olarak porfir tip cevherleşme gelişmiştir. Bazı cevherli numunelerde % 6.15'lere ulaşan Cu ve 12.8 ppm Au ile birlikte 45.6 ppm'e ulaşan Ag porfir Cu cevherleşmesi ile birlikte altın zenginleşmeleri ve magmadan uzak noktalarda Ag zenginleşmesini sağlayan porfir-hidrotermal sistemi yansıtmaktadır.

Alterasyon numunelerinde gerçekleştirilen kimyasal analizlerde diğer birimlerde olduğu gibi 35 bileşen değerlendirmeye alınmış olup bileşenlerden her birinin farklı bir jeolojik olaya bağlı olarak sahada bulundukları varsayılarak olay sayısının azaltılması için faktör analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.12). Alterasyon zonundan derlenen 14 numuneye ait 35 bileşen kullanılarak yapılan faktör analizlerinde ilk 7 faktör toplam değişimin % 93.62'sini karşılamaktadır. Geri kalan 28 faktörün başlangıç eigen değerleri 1'den düşük olup değişime etkisinin ihmal edilebilecek derecede düşük olduğu kabul edilmiştir (Çizelge 4.12).



Şekil 4.40. Alterasyon örneklerine ait küme analizi dendrogramı.

Çizelge 4.12. Alterasyon numunelerinin faktör analizinde ilk 7 faktörün değişime etkisi ve toplam değişim içindeki payları.

Faktör No.	Toplam değişim	% Değişim	% Kümülatif değişim
1	13.297	37.990	37.990
2	8.481	24.230	62.220
3	4.399	12.569	74.789
4	2.419	6.913	81.702
5	1.878	5.366	87.068
6	1.238	3.539	90.607
7	1.053	3.008	93.615

Alterasyon numunelerinde gerçekleştirilen faktör analizinde değişime etkisi % 38 olan 1. Faktör diğer formasyonlara benzer olarak SiO₂, K₂O ve Rb'un önemli Au, Ag, As, Ba, Hg, Mo ve Pb'un önemli negatif faktör yüklerine karşılık diğer bileşenlerin tamamının önemli pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir (Çizelge 4.12; Şekil 4.41). Pozitif faktör yüklerine sahip olan bileşenler küme analizi dendrogramındaki ana bileşenler grubu ile tam olarak örtüşürken negatif faktör yüklerine sahip olan bileşenler ise hidrotermal alterasyon grubu ile büyük oranda örtüşmektedir. Alterasyon örneklerinde birinci faktör bu kayaların sokulumu esnasında meydana gelen hidrotermal metazomatizma ile ilişkilidir. Kayaç içinde bulunan feldispatlarla birlikte piroksen ve biyotitler alterasyona uğramış olup ana bileşenler kısmen çözelti içine taşınırken Si, K, Au, Ag, Ba, Hg, Mo ve Pb ortamda nisbi olarak artış göstermiştir. Si ve K dışındaki bileşenler S ile birlikte sülfidli minerallerin bünyesinde ortamda zenginleşmiştir. Si ile birlikte K'un ortamdaki konsantrasyonunun artışı sağlayan bu faktör bölgede granitoyidik sokulumu bağlı potasik alterasyona işaret etmektedir.

Alterasyon numunelerinde değişime etkisi % 24.23 olan 2. Faktör Na₂O ve Mo'in önemli Cr ve Ba'un zayıf negatif faktör yüklerine karşılık K₂O, LOI, Au, Ag, As, Rb ve Sb'in önemli pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir. Pozitif ve negatif faktör yüklerinin dağılımına bakıldığında pozitif faktör yüküne sahip olan bileşenler LOI dışında küme analizi dendrogramındaki hidrotermal alterasyon grubu içindeki {(K₂O-Rb)-[(Au-Ag)-As]}-Sb alt kümesi ile tam olarak örtüşürken negatif faktör yüküne sahip bileşenler ise küme analizi dendrogramında diğer gruplara uzaktan eklenen Na₂O ile temsil edilmektedir. Alterasyon örneklerinde 2. Faktör granitoyidik kayaların sokulumundan sonra magma-yankayaç etkileşimi sonucu magmatik kayaların hemen sınırında meydana gelen potasik alterasyon zonundaki cevher mineralizasyonlarını temsil etmektedir. Birincil minerallerden K-feldispatların ayrışmasından sonra açığa çıkan K'un serizitleri oluşturduğu ve bu esnada aynı ortamda sokulumdan itibaren Au, Ag, As ve Sb'in mineral oluşturacağı şekilde sıcaklığın

nispeten düştüğü fillik alterasyona geçişlerin başladığı hidrotermal alterasyonu göstermektedir.

Değişime etkisi % 12.6 olan 3. Faktör Cr_2O_3 'in önemli, Au, Ag, As, Ba, Hg ve Ni'in zayıf negatif faktör yüklerine karşılık P_2O_5 , Sn, Th, W ve NTE'nin pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir. Bu faktörde yer alan Au, Ag ve As hidrotermal alterasyon grubu içinde önemli olup Cr ve Ni ise numuneler içinde oldukça düşük miktarlardadır. Bu faktör granitoyidik sokulumu bağlı olarak ortama sürekli bir magmatik malzeme eklenmesi sonucu granitoyidik kütleden yan kayalara doğru Au, Ag, As, Ba ve Hg'nin nisbi olarak zenginleştiklerini göstermektedir.

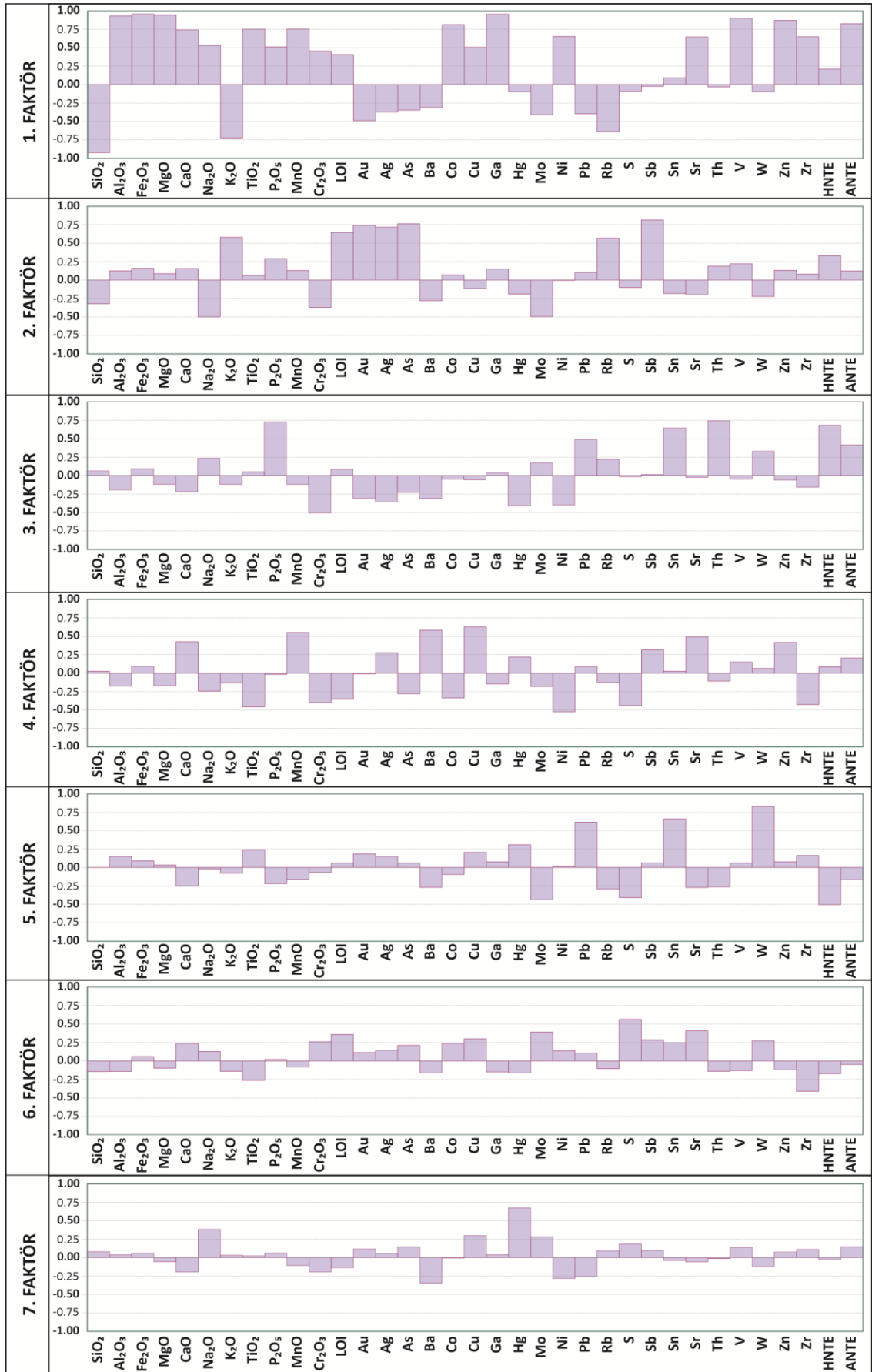
Alterasyon örneklerinde değişime etkisi % 6.9 olan 4. Faktör TiO_2 , Cr_2O_3 , LOI, As, Co, Ni, S ve Sr'un negatif P_2O_5 , Ba, Cu, Sr ve Zn'nun pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir. Numuneler içinde oldukça düşük düzeylerde bulunan bileşenlerin hareketini sağlayan bu faktör sokulum ve yankayaç içinde değişen koşullara bağlı olarak özellikle erken evrelerde oluşan bazı sülfidli minerallerin kısmi çözünmü süreçlerini ortaya koymaktadır.

Alterasyon numunelerinde değişime etkisi % 5.4 olan 5. Faktör Mo, Rb, S ve HNTE'nin negatif faktör yüklerine karşılık Pb, Sn ve W'nin pozitif faktör yükleri ile temsil edilmektedir. Pozitif faktör yüküne sahip kabuksal kökenli Sn ve W içeren mineraller alterasyon nedeniyle ayrırırken Negatif faktör yüklerine sahip olan bileşenler Mo sülfidlerin de oluşumunu sağlayan kontakt metazomatik- pnömatolitik evrede granitlere bağlı porfir hidrotermal sistemi yansıtmaktadır.

Alterasyon örneklerinde değişime etkisi % 3.5 olan 6. Faktör S, Sr, Mo, W, Sn, Cu, Co, LOI, Au, Ag ve As'in pozitif faktör yüklerine karşılık TiO_2 , Zr, Th ve V gibi jeokimyasal olarak hareketliliği düşük bileşenlerle temsil edilmektedir. Bu faktör erken evrede oluşan bazı sülfidli minerallerin ayrırmasını sağlayan düşük sıcaklıklı hidrotermal yani propilitik alterasyonu göstermektedir.

Değişime etkisi sadece % 3 olan 7. Faktör Na_2O ve Hg'nin önemli, Cu ve S'ün zayıf pozitif faktör yüklerine karşılık CaO ve Ba'un önemli negatif faktör yüklerine sahiptir. Küme analizi dendrogramında farklı gruplarda yer alan Na_2O ve Hg'nin pozitif faktör yüklerine sahip olması sodik minerallerin çözünmü ve Na'un ortamdan uzaklaşmasını sağlayan atmosferik ayrırma koşullarını yansıtmaktadır.

Alterasyon örneklerinin sayıca nispeten az olması aranan bazı özelliklerin örtölmesine neden olmuştur. Yöreden derlenecek daha fazla sayıda numunenin analizi ile yöredeki porfir hidrotermal sistemin diğer aşamaları da ortaya çıkarılabilecektir.



Şekil 4.41. Alterasyon numunelerine ait ilk 7 faktörde bileşenlerin faktör yük grafikleri.

4.3.5. Esendal köyü Au-Cu cevherleşmesi

Alterasyon zonundan derlenmiş 2 adet cevherli numunede yapılan kimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde B, Pt ve Ta bütün numunelerde deteksiyon limitinin altında kalırken SiO₂ hariç tüm bileşenlerin değişim aralıklarının çok geniş olması nedeniyle anakitle aritmetik ortalamalarının alt sınırı negatif değerlerden başlamaktadır (Çizelge 4.13).

İncelenen numunelerin SiO₂ değerleri ortalama % 54.57 olup örneklerin alındığı anakitlede % 38.47 ile % 70.66 aralığında SiO₂ oranı beklenmektedir. Bu oran, cevherleşme ile ilgili olan hidrotermal alterasyona bağlıdır. Kayaç içerisinde hareket halinde olan hidrotermal çözeltiler ayrışmaya bağlı olarak ortama silisli bileşiklerin ve cevher yapıcı minerallerin yerleşmesine sebep olmuştur. Çoğunlukla ilksel dokularını kaybetmiş kayaç yapıcı minerallerin bu alterasyondan oldukça etkilendiği ve dolayısıyla örnekleme yapıldığı alterasyon zonundaki kayaçların tanımlanmasına imkan sağlamayacak nitelikte bir ayrışma gözlenmektedir. İncelenen kayaçlar içerisinde yaygın olarak gözlenen kalkopirit, pirit gibi cevher yapıcı mineraller doğrudan bu alterasyonla ilişkilidir. Ayrıca kayaçlarda gözlenen dijenit de Cu oksidasyonu sonucu oluşan bir mineral olup ortamdaki Cu varlığını göstermektedir.

Cevherleşmeden derlenen 2 adet örneğin ortalama Cu miktarı % 3.51 (35100 ppm) olup Esendal köy merkezine yakın cevherli zondan alınan Ae-53 numaralı örnekte % 6.14 (61400 ppm) oranında Cu gözlenmektedir. Bakırın varlığı kayaçlarda yaygın olarak gözlenen ve alterasyonla doğrudan ilişkili birincil bakır minerali olan kalkopirit ile ilişkilidir. Oldukça yüksek olan bu oranlar cevherleşmenin ayrıntılı araştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Cevherleşmeden derlenen örneklerde yapılan analizlere göre Au bileşeni de dikkat çekmektedir. Yapılan değerlendirmelerde ortalama 6.40 ppm Au gözlenmektedir. Esendal köy merkezine yakın cevherli zondan alınan Ae-53 numaralı örnekte 12.80 ppm altın ortalamayı yükseltmektedir. 12.80 ppm altın oldukça yüksek bir değer olarak karşımıza çıkmakta olup yine bu bölgedeki cevherleşmenin ayrıntılı bir şekilde araştırılması gerekliliğini ortaya koyan bir diğer gözlemdir.

Cevherli zondan alınan örneklerdeki Cu ve Au oranları, Artvin ili Murgul ilçesinin 2.5 km batısında yer alan altınlı sülfid cevherleşmesinde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına (Au; 5.32 ppm' e kadar, Cu; % 4.84' e kadar; Popovic, 2004) kıyasla oldukça yüksek olup işletilebilir seviyenin üzerinde oranlara sahiptir.

Çizelge 4.13. Cevherli numunelere ait istatistiksel özetler (ana oksitler %, diğer bileşenler ppm, A.O.: Aritmetik Ortalama, S.H.: Standart Hata).

	Ae-16	Ae-53	A.O.	S.H.		Ae-16	Ae-53	A.O.	S.H.
<i>SiO₂</i>	53.30	55.83	54.57	1.27	<i>In</i>	0.05	6.43	3.24	3.19
<i>Al₂O₃</i>	4.70	1.36	3.03	1.67	<i>Li</i>	14.40	5.20	9.80	4.60
<i>Fe₂O₃</i>	9.01	24.30	16.66	7.65	<i>Mo</i>	1.57	17.95	9.76	8.19
<i>MgO</i>	2.39	0.22	1.30	1.09	<i>Nb</i>	0.05	0.03	0.04	0.01
<i>CaO</i>	1.25	0.04	0.64	0.60	<i>Ni</i>	9.85	5.51	7.68	2.17
<i>Na₂O</i>	0.15	0.01	0.08	0.07	<i>Pb</i>	8.79	35.60	22.20	13.41
<i>K₂O</i>	0.27	0.02	0.14	0.12	<i>Pd</i>	0.00	0.02	0.01	0.01
<i>TiO₂</i>	0.05	0.00	0.02	0.02	<i>Pt</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>P₂O₅</i>	0.58	0.00	0.29	0.29	<i>Rb</i>	13.25	0.86	7.06	6.20
<i>MnO</i>	0.14	0.02	0.08	0.06	<i>Re</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cr₂O₃</i>	0.0006	0.0010	0.0008	0.0002	<i>S</i>	0.04	10.00	5.02	4.98
<i>LOI</i>	27.11	11.77	19.44	7.67	<i>Sb</i>	0.20	2.70	1.45	1.25
<i>Au</i>	0.001	12.80	6.40	6.40	<i>Se</i>	0.06	3.33	1.70	1.63
<i>Ag</i>	0.03	45.60	22.82	22.78	<i>Sn</i>	1.11	4.90	3.01	1.90
<i>As</i>	12.90	226.00	119.45	106.55	<i>Sr</i>	31.00	6.53	18.77	12.24
<i>B</i>	10.00	10.00	10.00	0.00	<i>Ta</i>	0.01	0.01	0.01	0.00
<i>Ba</i>	45.90	5.50	25.70	20.20	<i>Te</i>	0.00	0.57	0.29	0.28
<i>Be</i>	1.36	0.10	0.73	0.63	<i>Th</i>	12.70	0.17	6.44	6.26
<i>Bi</i>	0.09	2.97	1.53	1.44	<i>Tl</i>	0.13	0.03	0.08	0.05
<i>Cd</i>	3.42	9.26	6.34	2.92	<i>U</i>	2.24	0.42	1.33	0.91
<i>Co</i>	23.60	6.09	14.85	8.76	<i>V</i>	158.50	23.10	90.80	67.70
<i>Cs</i>	3.14	0.12	1.63	1.51	<i>W</i>	0.07	0.11	0.09	0.02
<i>Cu</i>	8800.00	61400.00	35100.00	26300.00	<i>Zn</i>	1195.00	2300.00	1747.50	552.50
<i>Ga</i>	9.89	7.32	8.61	1.29	<i>Zr</i>	1.66	0.17	0.92	0.75
<i>Ge</i>	0.16	0.17	0.16	0.00	<i>HNTE</i>	240.45	3.22	121.84	118.61
<i>Hf</i>	0.08	0.01	0.04	0.04	<i>ANTE</i>	72.28	1.61	36.95	35.34
<i>Hg</i>	0.02	0.90	0.46	0.44	<i>ΣNTE</i>	312.73	4.84	158.78	153.95

***HNTE (Hafif NTE toplamı), ***ANTE (Ağır NTE toplamı), *** ΣNTE (Toplam NTE)

Cevherli numunelerden alınan örneklerde Fe₂O₃ bileşeninin oranı ortalama % 16.66 olarak hesaplanmıştır. Esendal köy merkezinden alınan Ae-53 numaralı örnek % 24.30 Fe₂O₃ içermektedir. Alterasyon zonundan alınan örneklerde yaygın olarak gözlenen hematitleşme, bu bileşenin oranının diğer ana oksitlere kıyasla daha daha yüksek olmasını açıklamaktadır.

Ayrıca alınan örneklerde önemli iz elementlerden gümüş (Ag), molibden (Mo), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) oranları da dikkat çekmektedir. Ae-53 numaralı örnek 45.60 ppm gümüş, 17.93 ppm molibden, 35.60 ppm kurşun ve 2300 ppm (% 0.23) çinko içermekte olup değerlendirilen 2 adet örneğin ortalamaları gümüş için 22.82 ppm, molibden için 9.76 ppm, kurşun için 22.20 ppm ve çinko için 1747.5 ppm (% 0.175) olarak karşımıza çıkmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Artvin ili Yusufeli ilçesine bağlı Esendal, Boyalı ve Bostancı köylerinin içinde bulunduğu, Tortum G47-a1 paftasının kuzeyinde ve Artvin F47-d4 paftasının güneyinde yer alan yaklaşık 30 km² genişliğinde bir alanda gerçekleştirilen bu yüksek lisans tez çalışmasında başlıca aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- ✓ Çalışma alanının temelinde, tabanda kumtaşı, silttaşı ve üste doğru bazik volkanik ara katmanlı epiklastik kumtaşı-çamurtaşı ardalı metaklastik istif olan Liyas yaşlı Berta formasyonu bulunmaktadır. Bu formasyonun oluşum süreçleri boyunca ortamdaki faal volkanizmanın ürünü olan epiklastik kumtaşı, silttaşı, tuf ara katmanlı, bazaltik-andezitik bileşimli lav ve piroklastlardan oluşan Geç Jura yaşlı Mudurnu formasyonu metaklastik istifi üzerlemektedir. Kristalize kireçtaşları, volkanik ara katkılı çakıltası ve resifal kireçtaşlarıyla temsil edilen Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Öğdem formasyonu Mudurnu formasyonunu uyumsuzlukla örtmektedir. Oluşumunda etkin magmatik süreçlerde asidik ve bazik serilerin etkisinin gözlemlendiği, yer yer bazaltik lav ara katkılı andezitik-dasitik lavlar ve piroklastlar ile birlikte riolit-riyodasit gibi felsik kayalar da içeren Geç Kretase yaşlı Yusufeli formasyonu çalışma alanı içerisindeki resifal kireçtaşları ile uyumsuz olarak bulunmaktadır. Geç Kretase-Paleosen aralığında gelişen ve granit, granitoid, monzonit, monzoidit gibi magmatik kayalardan oluşan Kaçkar granitoidi Yusufeli formasyonunu keserek ortama yerleşmektedir. Kendinden önceki bütün birimleri uyumsuz olarak örten Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ise çakıl, kum, silt, kil gibi çok çeşitli malzemeye sahip tutturulmamış çökellerden oluşmaktadır.
- ✓ Çalışma alanı içerisinde granitoidlerin sokulumu esnasında meydana gelen alterasyonla ilişkili, pirit, kalkopirit, hematit, molibdenit, dijenit gibi **cevher yapıcı mineraller** bulunmaktadır.
- ✓ Yusufeli formasyonundan alınan örneklerden yapılan incelemelerde SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃ bileşenlerinin ortalama değerleri sırasıyla % 67.60, % 2.31, % 4.29, % 1.51, % 1.87, % 0.13, % 0.17, % 0.11, % 0.08, % 0.05 ve % 0.004 olarak belirlenmiştir. Bazı örneklerde karşılaşılan yüksek SiO₂ değerleri formasyonun asidik serisine ait olup bazı

örneklerdeki Fe_2O_3 oranları da standart bazalt-andezit değerlerine göre oldukça yüksektir. Ayrıca formasyon içerisinden alınan iki adet örnekte 139.5 ve 212 ppm Cu tespit edilmiştir.

- ✓ Yusufeli formasyonundaki korelasyon analizlerine göre kayaç yapıcı minerallerden plajiyoklas, alkali feldispatlar ve mafik minerallerden piroksenlerin oluşumunu sağlayan Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO ve MnO bileşenlerinin arasında pozitif korelasyon gözlenmekte olup birlikte hareket ettikleri belirlenmiştir. Küme analizlerine göre bileşenler, *ana bileşenler grubu* ve *hidrotermal alterasyon grubu* olmak üzere iki ana grup olarak değerlendirilmiştir. Kayaç yapıcı minerallerin oluşumunu sağlayan bileşenlerin bulunduğu grup, ana bileşenler grubu olarak belirlenmiştir. Hidrotermal alterasyon grubu, kayaç yapıcı minerallerin bünyesinde bulunan SiO_2 miktarından daha fazla SiO_2 'in ortama gelmesini sağlayan alterasyon esnasında bazı sülfidli minerallerin de ortama katılımında etkili olmuş ve SiO_2 ile orta-düşük sıcaklıklı hidrotermal ortamlarda yaygın olarak bulunan (Au, Ag, Sb, Hg) bileşenlerin birlikteliği bu alterasyonu belirlemiştir.
- ✓ Yusufeli formasyonunda analizi yapılan 7 numunede değerlendirilen 35 bileşen ile gerçekleştirilen faktör analizinde ilk altı faktör değişimin tamamını karşılamaktadır. Bu faktörler etki paylarının oranına göre çoktan aza doğru potasik alterasyon, sıcaklığın nisbi düşüşü ve potasik alterasyondan fillik alterasyona geçiş, granitoyidik sokulum sınırında skarn tip cevherleşme izleri, hidrotermal sıcaklığın düşmesi, granitoyidik sokulumun ıraksak bölgelerindeki propilitik alterasyon ve Hg yerleşimini sağlayan propilitik alterasyonun düşük sıcaklık evreleri olarak sıralanmaktadır.
- ✓ Mudurnu formasyonundan alınan örneklerden yapılan incelemelerde SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr_2O_3 bileşenlerinin ortalama değerleri sırasıyla % 52.35, % 5.28, % 7.30, % 3.59, % 6.64, % 0.10, % 0.09, % 0.37, % 0.08, % 0.15 ve % 0.0035 olarak belirlenmiştir. Örneklerde karşılaşılan SiO_2 değerleri standart bazalt-andezit değerlerine yakın olup bazı örneklerdeki Fe_2O_3 oranları ise standart bazalt-andezit değerlerine göre oldukça yüksektir. Ayrıca Söğütönü mahallesi civarından alınan formasyona ait örnekte 349 ppm Cu tespit edilmiştir.
- ✓ Mudurnu formasyonundaki korelasyon analizlerine göre SiO_2 ve K_2O dışındaki ana oksit bileşenlerinin birbirleri ile pozitif korelasyon gösterdikleri

belirlenmiştir. Küme analizlerine göre bileşenler, *Al-Ti-Mg-Cr grubu*, *Fe-Mn-Ca grubu* ve *Si-K grubu* olmak üzere üç ana grup olarak değerlendirilmiştir. Ana oksitlerden Al_2O_3 , Na_2O , MgO , TiO_2 ve P_2O_5 'in aynı grupta yer alması özellikle Na ve Al bulunduran albit bileşimli plajioklasların oluşumunu sağlamıştır. Fe_2O_3 , MnO ve CaO gibi ana oksitlerle birlikte Au, Ag, Cu, Ba, V, Zn, NTE'ni bulunduran grup Mudurnu formasyonunun oluşumundan sonra granitoidlerin sokulumu sonucu meydana gelen düşük sıcaklıklı hidrotermal alterasyon ile açıklanmıştır. Kayaç oluşturan minerallerin ayrılmasına neden olan alterasyon ile kayaç içinde bulunan hamur fazı ve biyotitler kısmen ayrılmış ve bu grupta yer alan bileşenler göreceli olarak artmıştır. Formasyona ait volkanik kayaçların içerisinde dolaşan hidrotermal çözeltiler ayrılan mineraller yerine yaygın olarak gözlenen silisin çökmesini sağlamış ve bu süreçte Si-K grubu etkin olmuştur.

- ✓ Mudurnu formasyonunda analizi yapılan 4 numunede değerlendirilen 35 bileşen ile gerçekleştirilen faktör analizinde ilk üç faktör değişimin tamamını karşılamaktadır. Bu faktörler etki paylarının oranına göre çoktan aza doğru potasik alterasyon, fillik alterasyon ve kontakt metasomatizmaya bağlı olarak ikincil kalsit oluşumları ve sülfidli mineralizasyon olarak sıralanmaktadır.
- ✓ Kaçkar granitoidlerinden alınan örneklerden yapılan incelemelerde SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr_2O_3 bileşenlerinin ortalama değerleri sırasıyla % 56.50, % 3.52, % 7.06, % 2.49, % 4.11, % 0.12, % 0.13, % 0.328, % 0.280, % 0.103 ve % 0.001 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Bostancı ve Esendal köyü merkezine yakın alınan iki adet örnekte 106.5 ve 96.4 ppm Cu tespit edilmiştir.
- ✓ Kaçkar granitoidlerindeki korelasyon analizlerine göre SiO_2 , K_2O ve Cr_2O_3 hariç diğer ana oksitlerin birbirleri ile pozitif korelasyon gösterdikleri belirlenmiştir. Küme analizlerine göre bileşenler, *ana bileşenler grubu* ve *hidrotermal alterasyon grubu* olmak üzere iki ana grup olarak değerlendirilmiştir. Ana bileşenler grubu, kayaç yapıcı mineraller ve alterasyonları sonucu oluşan kloritler, kil mineralleri ve ikincil kalsitler ile temsil edilmiştir. Hidrotermal alterasyon grubu, kabuksal kökenli magmatik kütlenin sokulumu esnasında yan kayaç reaksiyonları sonucu meydana gelen silişleşmeyi ve bu sırada oluşan porfir tip cevherleşmeyi belirlemiştir.
- ✓ Kaçkar granitoidlerinde analizi yapılan 3 numunede değerlendirilen 35 bileşen ile gerçekleştirilen faktör analizinde ilk iki faktör değişimin tamamını

karşılıamaktadır. Bu faktörler potasik alterasyon ve fillik alterasyon olarak belirlenmiştir.

- ✓ Yapılan incelemeler sonucu örneklerin birlikte değerlendirilmesi açısından alterasyon jeokimyası için derlenen örneklerde yapılan çalışmalara göre SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr_2O_3 bileşenlerinin ortalama değerleri sırasıyla % 60.86, % 3.42, % 5.75, % 2.31, % 3.71, % 0.118, % 0.14, % 0.233, % 0.12, % 0.09 ve % 0.003 olarak belirlenmiştir.
- ✓ Alterasyon örneklerindeki küme analizlerine göre bileşenler, *ana bileşenler grubu* ve SiO_2 , K_2O ve cevher oluşturan önemli iz elementleri içeren *hidrotermal alterasyon grubu* olmak üzere iki ana grup olarak değerlendirilmiştir. Hidrotermal alterasyon grubunun potasik alterasyondan başlayarak sülfidli fazlarla sona eren propilitik alterasyona kadar gerileyen alterasyon kuşaklarını temsil ettiği belirlenmiştir.
- ✓ Alterasyon örneklerinde analizi yapılan 14 numunede değerlendirilen 35 bileşen ile gerçekleştirilen faktör analizinde ilk yedi faktör değişimin % 93.62'sini karşılıamaktadır. Bu faktörler etki paylarının oranına göre çoktan aza doğru potasik alterasyon, magma-yankayaç etkileşimi sonucu meydana gelen cevher mineralizasyonu ve fillik alterasyona geçiş, magmatik malzeme desteği ile nisbi Au, Ag, As, Ba ve Hg zenginleşmesi, sülfidli minerallerin kısmi çözünme süreçleri, kontakt metasomatik-pnömatolitik evrede granitlere bağlı porfir hidrotermal sistem, propilitik alterasyon, atmosferik ayrılma koşulları olarak sıralanmaktadır.
- ✓ Bazı cevherli numunelerde % 6.15'lere ulaşan Cu ve 12.8 ppm Au ile birlikte 45.6 ppm'e ulaşan Ag değerleri, porfir Cu cevherleşmesi ile birlikte altın zenginleşmelerini ve magmadan uzak noktalarda Ag zenginleşmesini sağlayan porfir-hidrotermal sistemi yansıtmaktadır.
- ✓ Esendal köy merkezinden alınan cevherli numunede yapılan analizler sonucu önemli iz elementlerden 17.93 ppm molibden, 35.60 ppm kurşun ve 2300 ppm (% 0.23) çinko içerdiği belirlenmiş olup değerlendirilen bir diğer cevherli numune ile ortalamaları molibden için 9.76 ppm, kurşun için 22.20 ppm ve çinko için 1747.5 ppm (% 0.175) olarak hesaplanmıştır.

5.2 Öneriler

Çalışma alanından derlenen numunelerin kimyasal analiz sonuçlarına göre bölgede bulunan volkanik kayalara, kabuk kökenli magmanın sokulumu ile ilişkili hidrotermal-porfir tip cevherleşme belirlenmiş olup öneriler maddeler halinde sıralanmıştır:

- ✓ Çalışma alanındaki volkanik ve granitoidik birimlerde detaylı maden jeolojisi ve jeokimya çalışmaları yapılarak sülfidli mineralizasyon ve bunlarla ilişkili Cu, Au ve Ag gibi kıymetli metal yataklanmalarının ayrıntılı araştırmasının yapılması gerekmektedir.
- ✓ Granitoidik birimlerin sokulumu esnasında meydana gelen alterasyon zonlarında Cu, Au, Ag, As, Ba ve Hg zenginleşmesi özellikle dikkat çekmekte olup, bu bölgelerde yeterli sayıda sistematik örnekleme yapılarak detaylı alterasyon jeokimyası çalışmalarının yapılması gerekmektedir.
- ✓ Esendal köy merkezinden alınan cevherli numunelerde % 6.14 (61400 ppm), 8800 ppm gibi işletilebilir seviyenin üzerinde Cu oranları tespit edilmiş olup bu bölgelerde ayrıntılı araştırmaların yapılması gerekmektedir.
- ✓ Esendal köy merkezinden ve Bostancı köy yolu üzerinden alınan cevherli numunelerde Au cevherleşmesi Cu kadar dikkat çekmekte olup, 12.80 ppm kadar yüksek değerlerde Au ölçülmüştür. Bu değerler Murgul yöresinde güncel olarak işletilen altınlı sülfid cevherleşmesinde yapılan kimyasal analiz sonuçlarında gözlenen değerlerden oldukça yüksek olup bölgede sülfidli cevher mineralizasyonunun ortaya konması için gerekli sistematik örnek alımı ve detaylı maden jeolojisi ve jeokimyasal çalışmalar gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- ✓ Esendal köy merkezinden alınan cevherli numunelerde yapılan analizler sonucu önemli iz elementlerden 45.60 ppm Ag değerleri tespit edilmiştir. Bu bileşenin Au ve Cu ile birlikteliği önemli porfiri-epitermal sistemi yansıtmaktadır ve ayrıca numunelerde 17.93 ppm Mo, 35.60 ppm Pb ve 2300 ppm (% 0.23) Zn gibi değerler elde edilmiş olup bölgede cevherleşmeyle alakalı detaylı çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Adamia, S. H., Lordkipanidze, M. B., Zakariadze, G. S. 1977, Evolution of an active continental margin as exemplified by the Alpine history of the Caucasus. *Tectonophysics* 40, 183-199.
- Adamia, Sh., Bayraktutan, S., Lordkipanidze, M., Kuloshvili, S., Maisuradze, G., Chkhotua, T., 1992, Geology of the Eastern Pontides (Artvin and Erzurum Districts). *Geol. Inst. Ac. Sci. Georgia*, 124p.
- Ağar, Ü., 1977, Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, İstanbul, 595 s.
- Akdeniz, N. 1988, Demirözü Permo-Karboniferi ve bölgesel yapı içindeki yeri: Türkiye Jeoloji Bülteni, 31/1, 70-80.
- Akdeniz, N., Akçaören, F., Timur, E. 1994, Aşkale-İspir arasının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No. 9731, Ankara.
- Aksay A. ve Turhan N., 1998, Şavşat-Ardanuç (Artvin) Dolayının (Ardahan-F48 Paftası) Jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Derleme No: 10188, Ankara (yayımlanmamış).
- Arık, F., 2005, Madencilliğimize genel bir bakış ve “Milli Madencilik Politikası”, Yer Bilimi ve Tekniği, Selçuk Üniv. Jeoloji Kulübü Yay, 2,3, 9-11.
- Arık, F., ve Öztürk, A., 2011, Konya’nın yeraltı kaynakları ve potansiyeli, TMMOB Konya İl Koordinasyon Kurulu I. Konya Kent Sempozyumu, Konya, 26-27 Kasım 2011, Bildiriler, 161-174.
- Arni, P., 1939, Tektonische Grundzüge Ostanatoliens und Benachbarter Gebiete: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü. Veröff. Ser. B, No. 4, Ankara.
- Aslaner, M., 1977, Türkiye Bakır-Kurşun – Çinko Yataklarının Jeolojik ve Bölgesel Sınıflamasıyla Plaka Tektoniği Yönünden İncelenmesi, K.T.Ü. Matbaası, Yayın No:85, Trabzon.
- Baydar, O., Erdoğan, B., Topçam, A., Kengil, R., Korkmazer, B., Kaynar, A., Selim, M., 1969, Yusufeli-Madenköy-Tortum Gölü ve Kılıçkaya arasındaki bölgenin jeolojisi, MTA Rap. No. 5202 (yayımlanmamış), Ankara.
- Bektaş, O. ve Çapkinoğlu, Ş., 1997, Doğu Pontid magmatik arkında (KD Türkiye) neptüniyen dayklar ve blok tektoniği: Mesozoyik havzalarının kinematiki ile ilgili bulgular. Çukurova Univ. Jeoloji Eğitiminde 20 yıl sempozyumu, Bildiri Özetleri, 187-189, Adana.
- Bektaş, O., Van A., Boynukalın S. 1987, Doğu Pontitlerde (Kuzeydoğu Türkiye) Jura volkanizması ve tektoniği, Türkiye Jeoloji Bülteni, 30, 9-18.
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taslı, K. 1995, Doğu Pontid yay gerisi havzasında derin yayılma çukurlarının oluşumu (KD Türkiye): Neo-Tetis’in pasif kıta kenarı evrimi, KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu Bildiriler Kitabı, I, 263-274.
- Bird, J. M., and Dewey, J. F., 1970, Lithosphere plate-continental margin tectonics and the evolution of the Appalachian orogen: Geological Society of America Bulletin, v. 81, p. 1031-1060.
- Boztuğ, D., Erçin, A. İ., Kuruçelik, M. K., Göç, D., Kömür, İ. ve İskenderoğlu, A., 2003, Kompozit Kaçkar batolitinin Ardeşen (Rize) ve İspir (Erzurum) arasında kuzey-güney yönlü bir jeotravers boyunca Jeolojisi ve ana petrografik-jeokimyasal karakteristikleri, Doğu Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Potansiyeli Sempozyumu Özler Kitabı, 95-97, Trabzon.

- Boztuğ, D., Erçin, A.İ., Göç, D., Er, M., İskenderoğlu, A., Kuruçelik, M.K., Kömür, İ., 2001, Petrogenesis of the Composite Kaçkar Batholith along a North– South Geotraverse Between Ardeşen (Rize) and İspir (Erzurum) Towns, Eastern Black Sea Region, Turkey: Fourth International Turkish Geology Symposium (ITGS IV), Adana/Turkey, September 24– 28, 2001, Abstracts, p. 210.
- Brownlow, A. H., 1996, Geochemistry, 2ndEd, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 580 p.
- Çağatay, M.N., 1993, Hydrothermal alteration associated with volcanogenic massive sulfide deposits: Examples from Turkey. *Econ. Geol.* 88:606–621.
- Çağatay, M.N., Boyle, D.R., 1977, Geochemical Prospecting for Volcanogenic Sulphide Deposits in the Eastern Black Sea Ore Province, Turkey. *Developments in Economic Geology*, Volume 9, 1977, Pages 49- 71.
- Dewey, J. F., Pitman, W. C., Ryan, W. B. F., Bonin, J., 1973, Plate tectonics and the evolution of the Alpine system: *Geol. Soc. Am. Bul.*, 84, 3137-3180.
- Duygu, L., Bakırhan, B., Tunçdemir, V., Evcimen, Ö., 2013, Doğu Pontidler’ in orta-kuzey kesiminin tektonostratigrafi k özellikleri. 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara.
- Ercan, T., Gedik, A., 1983, Pontid’lerdeki Volkanizma. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 7 (3), 3-22.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Pul, D., 2007, Mid-Cretaceous olistostromal ophiolitic melange developed in the back arc basin of the eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey). *International Geology Review* 49 (12), 1103e1126.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M. & Chung, S.L., 2011, Crystal fractionation of adakitic magmas in the crust–mantle transition zone: petrology, geochemistry and U–Pb zircon chronology of the Seme adakites, eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos* 121, 151–166.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Yi, K., Tüysüz, N., Korkmaz, S., Akaryalı, E., Dudas, F., Bektaş, O., 2014, The Eastern Black Sea-type volcanogenic massive sulfide deposits: geochemistry, zircon U–Pb geochronology and an overview of the geodynamics of ore genesis. *Ore Geology Reviews*, 59, 29–54.
- Gattinger, T. E., 1956, Trabzon, Rize, Gümüşhane, Erzurum, Artvin ve Kars Vilayetlerinin bulunduğu sahadaki Doğu Pontidler’de yapılan jeolojik löve revizyon çalışmaları hakkında rapor: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Derleme Rapor No: 280, Ankara (yayımlanmamış).
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S., Karataş, S., 1992, Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin arasında (Doğu Karadeniz) yer alan magmatik kayaların petrolojisi ve Doğu Pontidlerdeki bölgesel yayılımları, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C.35. 15-38, Ankara.
- Gökçe, A., 2001, Çakmaklı ve Damarköy (Murgul - Artvin) Bakır Yataklarında Sıvı Kapanımı, Oksijen ve Hidrojen İzotopları Jeokimyası İncelemeleri ve Yatakların Oluşumu Açısından Düşündürdükleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 44, 2, 23 – 38.
- Gökçe, A., Spiro, B., 2000, Sulfur-isotope characteristics of the volcanogenic Cu–Zn–Pb deposits of the eastern Pontide region, Northeastern Turkey. *Int. Geol. Rev.* 42, 565–576.
- Görür, N., 1988, Timing of opening of the Black Sea basin. *Tectonophysics* 147, 247–262.
- Gözübol, A. M., 1980, Mudurnu - Dokurcun Abant (Bolu ili) alanının jeoloji incelemesi ve Kuzey Anadolu Yarılımının yapısal özellikleri. *İst. Üniv. Fen Fak. Mec. Seri B*, c.45, s. 9-34.
- Gray, J. M., Bishop, T. F. A., Wilford, J. R., 2014, Lithology as a powerful covariate in digital soil mapping, In ‘GlobalSoilMap: Basis of the global soil information

- system'. (Eds D Arrouays, N McKenzie, J Hempel, A Richer de Forges, A McBratney) pp. 433-439.
- Gündüz, Ö., 1999, Gümüşhane Köyü (Artvin-Ardanuç) Civarındaki Porfiri Cu-Au Cevherleşmesi ile Metazomatik Tip Cevherleşmelerin Jeolojisi, Mineralojisi ve Alterasyonu, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Güven İ.H., 1998, 1/100000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları, Tortum paftası, no:61, MTA yayını.
- Güven İ.H., 1993, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 ölçekli jeolojisi ve kompilasyonu, MTA (Ankara) (Yayımlanmamış).
- Güven, İ. H., 1993, Doğu Pontidler'in jeolojisi ve 1/250 000 ölçekli kompilasyonu: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara (yayımlanmamış).
- Güven, İ.H., 1993, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hamilton, W.J., 1842, Researchs in Asia Minor, Pontus, and Armenia; with Some Account of their Antiquities and Geology. Volume I, p. 545, London: John Murray, Albemarle Street.
- Henderson, P., 1984, General Geochemical Properties and Abundances of the Rare Earth Elements, Rare Earth Element Geochemistry (Ed: P. Henderson), Developments in Geochemistry, 2 (Adv. Ed.: W.S. Fyfe), Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, 1-32.
- İğdır, A., 1971, Sürmene, Araklı, Arsin ve Yomra Bölgesinin jeolojisi: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Rapor No: 109, Trabzon (yayımlanmamış).
- Jakes, P. and White, A.J.R., 1972, Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83: 29-40.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R., Wijbrans, R.J., 2010, Generation of the early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: implications for crustal thickening to delamination. *Lithos* 114, 109–120.
- Keskin, M., Genç, Ş. C., Tüysüz, O., 2008, Petrology and geochemistry of post-collisional Middle Eocene volcanic units in North-Central Turkey: evidence for magma generation by slab breakoff following the closure of the Northern Neotethys Ocean. *Lithos*, 104 (1), 267-305.
- Ketin, İ., 1966, Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 66(66), 20-37.
- Ketin, İ., Canitez, N., 1972, Yapısal Jeoloji, İ.T.Ü. Yayınları, No: 869, İstanbul.
- Ketin, İ., 1951, Über die Geologie der Gegend von Bayburt in Nordost-Anatolien: *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası*, Seri B, v. 16, p. 113-127.
- Konak N., ve Hakyemez, H. Y., 2001, Tectonic units of the eastern most part of the Pontides: Stratigraphical and structural implication.
- Konak, N., Ercan, T., Bilgin, Z. R., 1991, Artvin-Oltu arasındaki Jura öncesi kayaların tanımı ve yapısal özellikleri: Ankara Üniversitesi, Suat Erk Jeoloji Sempozyumu, Bildiri özleri.
- Konak, N., H.Y., Bilgin, R., Bilgiç, T., Ercan, T., Öztürk, Z., Hepşen, N., Mengi, H. ve Bulut, M., 1992, Tectono-stratigraphic units of Mesozoic age between Erzurum and Artvin (E. Pontids). *International Symposium on the Geology of the Black Sea Region*, Abstracts, 16.
- Konak, N., Hakyemez H.Y., 2009, 1: 100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Tortum-G47 Paftası No: 105. MTA Genel Müdürlüğü yayını, Ankara.
- Konak, N., Hakyemez, H. Y., Bilgiç, T., Ercan, Bilgin, Z. R., Hepşen, N., Ercan, T., 2001, Kuzeydoğu Pontidlerin (Oltu - Olur - Şenkaya - Narman - Tortum -

- Uzundere - Yusufeli) jeolojisi: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor no: 10489, Ankara (yayımlanmamış).
- Kovenko, V., 1943, Bakırlı pirit madenleri bölgesi Giresun vilayetinde, Espiye ve Görele dolaylarındaki Karaerik, Ağlık madenleri: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Mecmuası, 2/30, Ankara.
- Kronberg, P., 1970, Doğu karadeniz dağlarının (kuzeydoğu türkiye) tektoniği üzerinde fotojeolojik veriler. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 74 (74), 57-65.
- Kurt, İ., Özkan, M. K., Karşı, Ş., Çolak, T., Topçu, T., 2006, Doğu Karadeniz Bölgesinin jeodinamik ve metalojenik evrimi: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No. 10875, Ankara (yayımlanmamış).
- McMillan, W.S. and Panteleyev, A., 1988, Porphyry Copper Deposits. In: R. G. Roberts and P. A. Sheahan (eds), Ore Deposits Model, Geoscience Canada Reprint Series 3., s. 45-48.
- McSween, Jr., Harry Y., Richardson, Steven M., Uhle, Maria E., 2003, Geochemistry Pathways and Processes, Second edition, New York.
- Misra, K.C., 2000, Understanding Mineral Deposits, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Okay, A. İ., Şahintürk, Ö., 1997a, Pulur bölgesi stratigrafisi ve tektoniği (Bayburt, Doğu Pontidler). Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 119, 1-22.
- Okay, A.İ., Şahintürk, Ö., 1997b, Geology of the Eastern Pontides. In "Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region" (ed. A.G. Robinson), American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Memoir No. 68, 291-311.
- Okay, A.İ., Tüysüz, O., 1999, Tethyan sutures of northern Turkey. In "The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen" (eds. B. Durand, L. Jolivet, F. Horvath and M. Séranne), Geological Society, London, Special Publications 156, 475-515.
- Pejatovic, S., 1979, Metallogeny of the Pontide-type Massive Sulfide Deposits: MTA Special Ed, No 177, p 98, Ankara.
- Popovic, R., 2004, Auriferous Mineralizations in The Murgul-Artvin-Maradit Area (Northeastern Turkey). Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 129(129), 17-29.
- Rabayrol, F., Wainwright, A.J., Lee, R.G., Hart, C.J.R., Creaser, R.A., Camacho, A., 2023, District-Scale VMS to Porphyry-Epithermal Transitions in Subduction to Postcollisional Tectonic Environments: The Artvin Au-Cu District and the Hod Gold Corridor, Eastern Pontides Belt, Turkey, Economic Geology, 118 (4): 801–822. doi: <https://doi.org/10.5382/econgeo.4983>.
- Rollinson, H., 1992, Using geochemical data; Evaluation, presentation, interpretation, Longman Scientific, Technical, John Wiley and Sons, 352p.
- Genç, S., Güven, İ. H., 1994, Volcanism and geotectonic evolution in Eastern Pontides, Yomra (Trabzon)-Keşap (Giresun) - Kelkit (Gümüşhane) area, NE Türkiye Geological Bulletin of Turkey, V.37,1-12, February.
- Streckeisen, A., 1979, Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites, and Melilitic Rocks: Recommendation and Suggestion of the IUGS, Subcommittee on the Systematic of Igneous Rock. Geology, 4, 331-335.
- Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach: Tectonophysics, 75, 181-241.

- Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y., Ketin, İ., 1981, Kuzey Türkiye’de Jura sonu öncesi okyanus kalıntıları: Permiyen-Triyas Paleotetis parçaları: Yeryuvarı ve İnsan, 6, 1-2, 6-16, Ankara.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Satır, M., Dokuz, A., 2005, Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycık granodiorite (Eastern Pontides, Turkey) Contrib Mineral Petrol., 150: 441–455.
- Tüysüz, N., 2000, Geology, Lithochemistry and Genesis of the Murgul Massive Sulfide Deposit, NE-Turkey, Urban&Fischer Verlag, Chemie der Erde Geochemistry, 60, 3, 231 – 250.
- Uğuz, M. F., Bilgin, A. Z., Tunçdemir, V., Atıcı, G., Gündoğdu, E. A., 2011, Doğu Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi (BayburtGümüşhane-Trabzon). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11452.
- Ustaömer, T., Robertson, A.H.F., 1996, Paleotethyan tectonic evolution of the North Tethyan margin in the central Pontides, N Turkey. In: Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örcen, S. (Eds), International Symposium on the Geology of the Black Sea Region, Proceedings-I, 24-33.
- Ustaömer, T., Robertson, A.H.F., 2010, Late Paleozoic-Early Cenozoic tectonic development of the Eastern Pontides (Artvin area), Turkey: Stages of closure of Tethys along the southern margin of Eurasia. In M. Sosson, N. Kaymakçı, R. A. Stephenson, F. Bergerat & V. Starostenko (Eds.) Sedimentary basin tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian platform (Vol. 340, pp. 281-327), London: Geological Society, Special Publications.
- Van, A., 1990, Pontid Kuşağında Artvin Bölgesinin Jeokimyası, petrojenezi ve Masif Sülfür Mineralizasyonları, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Winter, O. D., 2001, “An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology “, Prentice Hall upper Saddle River, New Jersey 07458, ISBN 0-13-21*03142-0, 697 p.
- Yılmaz, A., Adamia, S., Engin, T., Lazarashvili, T., 1997, Geoscientific studies of the area along TurkishGeorgian border. General Directorate of Mineral Research and Exploration Turkey, Maden Tetkik ve Arama Genel Genel Müdürlüğü, Rapor No: 10122, Ankara (yayımlanmamış).
- Yılmaz, A., 1989, Kafkasya’nın tektonik kuşakları ve bu kuşakların kuzeydoğu Türkiye’deki uzantıları: Bir karşılaştırma, MTA Derg., 109, 89-106.
- Yılmaz, Y., and Tuysuz, O., 1988, Kargi masifi ve dolaylarında Mezozoyik tektonik birliklerin düzenlemeleri sorununa bir yaklaşımlar. Turkish Association of Petroleum Geologists Bull., 1/1, 73–86.
- Yılmaz, Y., 1972, Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surrounding rocks, Doktora Tezi, Londra Üniversitesi, 260 s., İngiltere.
- Yigit, O., 2009, Mineral Deposits of Turkey in Relation to Tethyan Metallogeny: Implications for Future Mineral Exploration. Economic Geology, 104(1), 19–51. doi:10.2113/gsecongeo.104.1.19.