



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GÜMÜŞTUĞ (TORUL-GÜMÜŞHANE) ANTİMONİT CEVHERLEŞMESİNİN
TOPRAK JEOKİMYASI AÇISINDAN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilal ÇİÇEK

MAYIS-2019
GÜMÜŞHANE

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜMÜŞTUĞ (TORUL-GÜMÜŞHANE) ANTİMONİT CEVHERLEŞMESİNİN
TOPRAK JEOKİMYASI AÇISINDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilal ÇİÇEK

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.05.2019
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 25.06.2019**

MAYIS - 2019



KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Alaaddin VURAL danışmanlığında **Bilal ÇİÇEK** tarafından hazırlanan “**GÜMÜŞTUĞ (TORUL-GÜMÜŞHANE) ANTİMONİT CEVHERLEŞMESİNİN TOPRAK JEOKİMYASI AÇISINDAN İNCELENMESİ**” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

: Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ

Üye

: Prof. Dr. Volkan Numan BULUT

Üye (Danışman)

: Doç. Dr. Alaaddin VURAL

ONAY

Bu tez ..9. /10/2019 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu çalışma GÜBAP 01 Destek Programı kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 19.F5114.01.02

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "Gümüştüğ (Torul-Gümüşhane) Antimonit Cevherleşmesinin Toprak Jeokimyası Açısından İncelenmesi" isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

*17/05/2019

Bilal CİÇEK

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜMÜŞTUĞ (TORUL-GÜMÜŞHANE) ANTIMONİT
CEVHERLEŞMESİNİN TOPRAK JEOKİMYASI AÇISINDAN
İNCELENMESİ**

Bilal ÇİÇEK

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Alaaddin VURAL

2019, 113 sayfa

Tezin amacı, Gümüşhane Torul İlçesi sınırları içinde bulunan Gümüştüğ antimonit cevherleşmesinin; jeolojisinin, mineralojik özelliklerinin toprak jeokimyası açısından incelenmesidir. Gümüştüğ antimonit cevherleşme sahasında, Geç Kretase yaşlı sedimanter kayaç arakatkılı andezit, bazalt, piroklastlar ve bu kayaçlara sokulum yapmış Eosen yaşlı diyorit, kuvars diyorit, kuvars monzodiyorit bileşimli intrüzif kayaçlar yüzeylemektedir. Sahada, granitik genç intrüzif kayaçlar ve bu kayaçların sokulum yaptığı yankayaçlarda hidrotermal damar tipte gelişmiş antimonit cevherleşmesi mevcuttur.

Cevherleşmenin olduğu bölgede yaygın olmamakla birlikte, silisleşme, killeşme, hematitleşme, limonitleşme, yer yer epidotlaşma ve kloritleşmeler şeklinde hidrotermal alterasyonlar gözlenmiştir

Antimonit cevherleşmelerinin 10–100 cm arasında değişen kalınlıklardaki silisleşmelerin geliştiği hematize-limonitize zon içinde 2-10 cm arasında değişen kalınlıklarda oluştuğu tespit edilmiştir. Cevherleşme sahasında yapılan toprak jeokimyası çalışmasında, Sb cevherleşmesi ile Ag ve Au elementi arasında çok güçlü olmamakla birlikte doğru orantılı bir ilişki görülmüş, Sb cevherleşmesinin yoğunlaştığı veya azaldığı alanlarda Ag ve Au değerlerinin bu değerlere paralellik arz ettiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde belli başlı iz elementlerin topraktaki konsantrasyonları değerleri belirlenmiş, elementlerin farklı yöntemlere göre istatistiksel sonuçları yorumlanmış, elementler için eşik değerler hesaplanarak dağılım (anomali) haritaları oluşturulmuş ve bu haritalarda dağılım gösteren elementlerin ve ile olan ilişkileri açıklanmış, yapılan faktör analizleri ile elementlerin birbirleri ile ilişkileri irdelenmiştir.

Bu kapsamda faktör analizine göre belirlenen üç faktörün varyans değerleri toplamı $37.613+22.194+19.746=79.553$ 'tür. Elde edilen sonuç %70 üzeri olduğu için, ayrıca Kaiser-Meyer-Olkin ve Bartlett's testine göre elde edilen 0,769 değeri 0,5 üzeri olduğu için veri setinin faktör analizi için uygun olduğu anlaşılmıştır.

İnceleme alanından alınan 56 adet numune için Kolmogorov-Smirnov yöntemi ile normalite testi yapılmış ve Pb, Zn, Ag, Mn, Fe, Cd elementlerinin %5 ten büyük önemlilik değerine sahip olduğu görüldüğü için normal dağılıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Pearson'a ve Sperman'a göre yapılan korelasyon analizi ile elementler arası pozitif ve negatif ilişki durumları belirlenmiştir. Klasik usullere ilaveten iki medyan mutlak sapma değeri medyan değerlerine eklenerek, ayrıca konsantrasyon-sayı (C-N) fraktal metoduyla eşik değerler hesap edilmiş ve elementler için sahaya ait dağılım haritaları Ters Mesafe Ağırlıklandırma (TMA) ve krigleme (kriging) metotları ile oluşturulmuştur. Ayrıca faktör değerleri kullanılarak Ters Mesafe Ağırlıklandırma ve krigleme metotları ile oluşturulmuş ve element dağılım haritaları ve faktörel dağılım haritaları kullanılan metotlar da dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, faktör değerlerinin ters mesafe ağırlıklandırma metodu kullanılarak oluşturulmuş dağılım haritasının en verimli sonuçları verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Antimonit Cevherleşmesi, Faktör Analizi, Konsantrasyon-Sayı (C-N) Metodu, Krigleme (Kriging), Ters Mesafe Ağırlıklandırma (TMA), Toprak Jeokimyası.

ABSTRACT
MS THESIS

**INVESTIGATION OF GÜMÜŞTUĞ (TORUL-GÜMÜŞHANE)
ANTIMONITE MINERALIZATION BY SOIL GEOCHEMISTRY**

Bilal ÇİÇEK

Gümüşhane University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geology Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Alaaddin VURAL

2019, 113 pages

The aim of the thesis is to determine the antimonite mineralization of Gümüştüğ within the borders of Torul District of Gümüşhane; geology, mineralogical properties of soil geochemistry. In the Gümüştüğ antimonite mineralization area, Late Cretaceous sedimentary rock intercalated andesite, basalt, pyroclasts and intrusive rocks of Eocene diorite, quartz diorite, quartz monzodiorite intruded into these rocks are exposed. In the area, granitic young intrusive rocks and hydrothermal vein type developed antimonite mineralization are found in the sidewalks where these rocks intrude.

Hydrothermal alterations have been observed in the area where mineralization is not common, but in the form of silicification, clayification, hematitization, limonitization, epidotization and chloritization.

It has been determined that antimonite mineralizations occur in the hematized-limonitized zone, where silications varying between 10 and 100 cm, and between 2-10 cm. The soil geochemistry study in the mineralization area showed that although Sb mineralization was not strongly correlated with Ag and Au element, it was found that Ag and Au values paralleled these values in areas where Sb mineralization was concentrated or decreased. As a result of the studies, the concentration values of the major trace elements in the soil were determined, the statistical results of the elements were interpreted according to different methods, threshold values were calculated for the elements and distribution maps were formed and the relationships between the elements distributed in these maps and Sb mineralization were explained by factor analysis.

The relations of the elements with each other are examined. In this context, the variance values of the three factors determined according to factor analysis are $37.613 + 22.194 + 19.746 = 79.553\%$. Since the obtained result was above 70%, it was found that the data set was suitable for factor analysis since the value of 0.769 obtained according to Kaiser-Meyer-Olkin and Bartlett's test was above 0.5.

Normality test was carried out by Kolmogorov-Smirnov method for 56 samples taken from the study area and Pb, Zn, Ag, Mn, Fe, Cd elements were found to have a significance value greater than 5% and were found to have normal distribution. Correlation analysis according to Pearson and Spearman determined positive and negative relationship between elements. In addition to the classical methods, the two median absolute deviation values were added to the median values, and threshold values were calculated by the concentration-number (C-N) fractal method, and the field distribution maps for the elements were generated by the Inverse Distance Weighting (TMA) and kriging methods. In addition, by using factor values, Inverse Distance Weighting and kriging methods were used and element distribution maps and factorial distribution maps were compared by considering the methods used. When the results obtained were evaluated together, it was seen that the distribution map which was created by using the inverse distance weighting method gave the most efficient results.

Key Words: Soil Geochemistry, Factor Analysis, Concentration-Number (C-N) Method, Inverse Distance Weighting (TMA), Kriging, Antimonite Mineralization

TEŞEKKÜR

Bu alıőmamın her aőamasında her tŒrlŒ yardımını ve desteğini esirgemeyen tez danışman hocam sayın Do. Dr. Alaaddin VURAL'a bŒtŒn samimiyetimle teőekkŒr ederim. alıőmalarım sırasında bilgi ve tecrŒbelerinden faydalandığım hocam sayın Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ'a, GŒmŒőhane Œniversitesi Jeoloji MŒhendislięi BŒlŒmŒ değerli hocaları ve personeline teőekkŒrlerimi sunarım.

Yaőamımın her aőamasında benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli ailem ve kıymetli eőime Őukranlarımı sunarım.

Bilal ÇİÇEK
GŒmŒőhane, 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Coğrafik Bilgiler.....	1
1.2.1. Coğrafi Konum.....	1
1.2.2. Topoğrafya	1
1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü.....	2
1.3. Ulaşım ve Yerleşim	3
1.4. Doğu Karadeniz Bölgesinin Genel Jeolojisi.....	4
1.5. Bölgede Yapılan Önceki Çalışmalar	7
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	14
2.1. Amaç ve Yöntem.....	14
2.1.1. Arazi Çalışmaları.....	14
2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları	15
2.1.2.1. İnce Kesitlerin Hazırlanması.....	15
2.1.2.2. Petrografik İncelemeler ve Mikro Fotoğrafların Çekimi	16
2.1.2.3. Örneklerin Kimyasal Analize Hazır Hale Getirilmesi	16
2.1.2.4. Ateşte Kayıp Ölçümleri.....	16
2.1.2.5. pH Ölçümleri.....	17
2.1.3. Kimyasal Analizler.....	18
2.1.4. Büro Çalışmaları.....	19
2.2. Veri Analizleri.....	19
2.2.1. Tanımlayıcı İstatistik Çalışmaları	19
2.2.2. Korelasyon.....	20

2.2.3.	Histogramlar	20
2.2.4.	Kutu Diyagramları.....	20
2.2.5.	Faktör Analizi.....	20
2.2.6.	Normalite Testi.....	21
2.2.7.	Eşik Değer Hesaplaması Metotları.....	22
2.2.7.1.	Ortalama ± 2 Standart Sapma.....	22
2.2.7.2.	Geometrik Ortalama ± 2 Standart Sapma	22
2.2.7.3.	Medyan ± 2 Medyan Mutlak Sapma.....	23
2.2.7.4.	Konsantrasyon-Sayı (C-N) Metodu.....	23
2.2.7.5.	Konstantrasyon-Alan Fraktal Yöntemi (C-A).....	24
2.3.	Jeostatistiksel Yöntemler.....	24
2.3.1.	Variyogram.....	25
2.3.1.1.	Variyogram Fonksiyonu.....	25
2.3.2.	Verilerin Modellenmesi ve Modellerin Geçerliliği	26
2.3.3.	Krigleme	26
2.3.4.	Ters Mesafe Ağırlıklandırma Metodu.....	26
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	28
3.1.	Bölgesel Jeoloji	28
3.2.	Çalışma Sahası Jeolojisi	29
3.2.1.	Gümüşhane Granitoyidi	30
3.2.2.	Zimonköy Formasyonu	33
3.2.3.	Berdiga Formasyonu	34
3.2.4.	Kermutdere Formasyonu	35
3.2.5.	Alibaba Formasyonu	39
3.2.6.	Gümüştüğ Granitoyidi	42
3.3.	Yapısal Jeoloji	47
3.3.1.	Tabakalı Yapılar	47
3.3.2.	Kıvrımlı Yapılar-Dayklar	47
3.3.3.	Kırıklı Yapılar	48
3.3.4.	Faylar.....	49
3.3.5.	Çatlaklar	49
3.4.	Cevherleşme ve Alterasyon.....	49
3.5.	Jeokimyasal Çalışmalar	54

3.6.	Jeoistatistik Çalışmalar.....	56
3.6.1.	Tanımlayıcı İstatistik Değerleri	58
3.6.2.	Normalite Testi.....	59
3.6.3.	Jeoistatistik Grafik ve Diyagramları.....	60
3.6.4.	Korelasyon Analizi.....	82
3.6.5.	Eşik Değer Hesabı	83
3.6.8.	Faktör Analizi.....	85
3.7.	Dağılım Haritaları.....	88
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	98
5.	KAYNAKLAR	100

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. İnceleme alanının genel görünümü	2
Şekil 1.2. İnceleme alanının yer bulduru haritası	3
Şekil 1.3. Türkiye'nin tektonik birlikleri içerisindeki İnceleme alanının yeri	5
Şekil 2.1. Örnek alım noktaları.....	15
Şekil 3.1. Çalışma sahasının jeoloji haritası ve sahada gelişmiş alterasyon alanları....	30
Şekil 3.2. Gümüşhane granitine ait kayaç örneklerinin QAP diyagramındaki konumları	32
Şekil 3.3. Gümüşhane granitini oluşturan kayaçlara ait mikroskopik görünümleri. a) Örneklerde gözlenen orta-iri taneli doku, b) İri ortoklas minerali içinde küçük plajiyoklas kristalleri	33
Şekil 3.4. Liyas volkanitlerini oluşturan kayaçlara ait mikroskopik görünümleri. a) Mikrolitik doku, b) Mikrolitik porfirik doku	34
Şekil 3.5. a) Çıplakkıran Tepesi ve yakın civarında küçük bir alanda yüzeyleyen Berdiga formasyonunun genel görünümü b) Berdiga formasyonu içindeki kristalize kireçtaşlarına ait mikroskopik görünüm.....	35
Şekil 3.6. Kermutdere Formasyonunu ile Gümüştüğ granitoyidi dokanağında hornfels gelişimi ve yoğun epidotlaşmalar	36
Şekil 3.7. Açık sarı, bej renkte ve belirgin tabakalanma gösteren kumlu kireçtaşı b) Kermutdere Formasyonu içindeki kumlu kireçtaşlarına ait kuvars ve plajiyoklas mineralleri.....	37
Şekil 3.8. Kermutdere Formasyonun'dan alınan kumtaşı örneğinin mikroskopik görünümü	38
Şekil 3.9. Kermutdere içinde gözlenen volkanik kayaçlar.	39
Şekil 3.10. Alibaba formasyonuna ait andezitler ve bu kayaç içinde yer yer gözlenen hematit ve silisleşmeler	40
Şekil 3.11. Alibaba Formasyonu içindeki andezitlerde gözlenen mikrolitik porfirik doku, iri hornblend ve zonlu plajiyoklas kristalleri	41
Şekil 3.12. Alibaba Formasyonu içindeki bulunan tüfe ait mikroskop görünümü.....	42
Şekil 3.13. Gümüştüğ granitoyidinden bir görünüm	43
Şekil 3.14. Gümüştüğ Granitoyidi kayaç örneklerinin QAP diyagramındaki konumu... ..	44
Şekil 3.15. Diyoritlere ait ince taneli doku ve zonlu plajiyoklas kristalleri	46
Şekil 3.16. Kuvarslı Diyoritlere ait ince taneli doku, hornblend mineralleri ve zonlu plajiyoklas kristalleri	47
Şekil 3.17. Kermutdere Formasyonu içindeki dayk sokulumları	48

Şekil 3.18. Gümüştüğ Köyünün yaklaşık 2 km GB'sındaki antimonit cevherleşmesi ve cevherleşmenin yakından görünümü.	50
Şekil 3.19. İnce damar, damacıklar şeklinde ve kuvars damarları içinde gelişen antimonit cevherleşmesi	52
Şekil 3.20. Hematitleşme-limonitleme şeklinde gelişmiş alterasyon ve buna bağlı olarak da görülen sarı çocuk sendromu ve yer yer karbonat çökelimleri	53
Şekil 3.21. Skarnı oluşturan kayalara ait mikroskobik görünümü.....	53
Şekil 3.22. Mo elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	61
Şekil 3.23. Cu elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	62
Şekil 3.24. Pb elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.....	63
Şekil 3.25. Zn elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	64
Şekil 3.26. Ag elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.....	65
Şekil 3.27. Ni elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	66
Şekil 3.28. Co elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	67
Şekil 3.29. Mn elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	68
Şekil 3.30. Fe elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.....	69
Şekil 3.31. As elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	70
Şekil 3.32. Au elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.....	71
Şekil 3.33. Sr elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	72
Şekil 3.34. Cd elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	73
Şekil 3.35. Sb elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.....	74
Şekil 3.36. Bi elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	75
Şekil 3.37. V elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.....	76
Şekil 3.38. La elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.....	77
Şekil 3.39. Elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	78
Şekil 3.40. Ba elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.	79
Şekil 3.41. Sc elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.....	80
Şekil 3.42. Hg elementine ait kutu diyagram, histogram ve dağılım oranları.....	81
Şekil 3.43. Bileşenlerin üç yüzeyde gösterilmesi	87
Şekil 3.44. Faktör 1 ve Faktör 2' ye ait dağılım haritaları	96
Şekil 3.45. Faktör 3' e göre dağılım haritası	97
Şekil 3.46. Mo ve Cu elementine ait dağılım haritaları.....	89
Şekil 3.47. Pb ve Zn elementlerine ait dağılım haritaları.	90
Şekil 3.48. Ag ve Co elementine ait dağılım haritaları.	91

Şekil 3.49. Mn ve As elementinin dağılım haritaları.....	92
Şekil 3.50. Au ve Cd elementlerinin dağılım haritası.....	93
Şekil 3.51. Sb ve Bi elemetlerinin dağılım haritaları.	94
Şekil 3.52. Hg ve Fe elementlerine ait dağılım haritaları.....	95
Şekil 3.53. Faktör 1 ve Faktör 2'ye ait dağılım haritaları.....	94
Şekil 3.54. Faktör 3' göre dağılım haritası.	95



TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Alınan toprak numuneleri için ateşte kayıp değerleri.	17
Tablo 2.2. Ölçülen pH değerleri	18
Tablo 3.1. Gümüşhane granitine ait kayaçların petrografik özellikleri ve modal analiz değerleri.	31
Tablo 3.2. Gümüştuğ Granitoyidi'ni oluşturan kayaçların petrografik özellikleri ve modal analiz değerleri.....	44
Tablo 3.3. İncelenen elementlere ait değerler.....	56
Tablo 3.4. Tanımlayıcı İstatistik Değerleri.....	58
Tablo 3.5. Normalite Testi.....	59
Tablo 3.6. Tukey's Hinge' e göre yüzde değerler	60
Tablo 3.7. Pearson' a göre Korelasyon analizi.	82
Tablo 3.8. Spermans'a göre korelasyon analizi.....	83
Tablo 3.9. Geometrik, Harmonik Ortalama ve Eşik değerleri.....	84
Tablo 3.10. F3, As, Au ve Sb Özet İstatistik değerleri.....	87
Tablo 3.11. KMO ve Bartlett's Testi.	85
Tablo 3.12. Toplam varyans değerleri.....	86
Tablo 3.13. Faktörlerin birbiri açısından ilişkisi.	86
Tablo 3.14. F3,As,Au ve Sb Özet İstatistik değerleri.....	86

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

An	: Anortit
ANTE	: Ağır Nadir Toprak Elementleri (HREE, Heavy Rare Earth Elements)
cm	: Santimetre
Cpx	: Klinoproksen
CBS	: Coğrafik Bilgi Sistemi
Ç.N	: Çift Nikol
F	: Feldispat
FK	: Kristallenerek Fraksiyonlaşma (FC, Fractional Crystallization)
GM	: Gümüşhane Üniversitesi
Hbl	: Hornblend
HNTE	: Hafif Nadir Toprak Elementleri (LREE, Light Rare Earth Elements)
QAP	: Kuvars, Plajiyoklas ve Alkali Feldispat diyagramı
KMO	: Kaiser-Meyer-Olkin İstatistiği
TMA	: Ters mesafe ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighting)
ICP	: Inductively Coupled Plasma
ICP - MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometri
km	: Kilometre
Ka	: Kalsit
Ku	: Kuvars
Kp	: Kayaç Parçası
LOI	: (Loss on ignition=ateşte kayıp): Toplam uçucu içeriği
m	: Metre
mm	: Milimetre
MMS	: Mutlak Medyan Sapma
OOSB	: Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı (MORB, Mid-Ocean Ridge Basalt)
MORB	: Okyanus ortası sırtı bazaltı
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
My	: Milyon yıl
NTE	: Nadir Toprak Elementler (REE, Rare Earth Elements)
Op	: Opak mineral
Opx	: Ortopiroksen
Ol	: Olivin
ppm	: Milyonda bir (mg/kg)
ppb	: Milyarda bir (µg/kg)
Pir	: Piroksen
Pl	: Plajiyoklas

YÇAE : Yüksek Çekim Alanlı Elementler (HFSE, High Field Strength Elements)
FeO# : Toplam Demir Oksit miktarı



1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Cevherleşme sahası Doğu Pontid Orojenik Kuşağının güney bölümünde yer alan Gümüştuğ (eski adı: Avliyana) (Torul/Gümüşhane) çevresinde yer alır. Gümüşhane ili ve yakın çevresi, geçmişte önemli bir maden şehri olduğu gibi, günümüzde de önemli madencilik faaliyetlerine ev sahipliği yapmaktadır. Bölgede; işletilen pek çok maden yatağı mevcut olup, işletilmeyi bekleyen, bulunacağı tahmin edilen pek çok önemli maden yatağına sahiptir. Bu çalışmayla Gümüşhane İli Torul İlçesi, Gümüştuğ Köyü sınırları içinde bulunan antimonit cevherleşmesinin toprak jeokimyası çalışmaları ile iki boyutlu olarak dağılım-yöneliminin tespit edilmesi ve daha sonra yapılabilecek detay arama çalışmalarına katkı vermesi amaçlanmıştır.

1.2. Coğrafik Bilgiler

1.2.1.Coğrafi Konum

İnceleme alanı Gümüşhane İli'nin yaklaşık 30 km Kuzeybatısında bulunan Torul İlçesinin 25 km güneybatısında kalmaktadır. İnceleme alanı Trabzon H42 a-1 ve Trabzon H42 a-2 Paftası içinde yer alır.

1.2.2. Topoğrafya

İnceleme alanı genelde sert röliyefli tepeler ve kayalıklarla oluşmaktadır. Bölgenin en düşük kotu Gümüştuğ Deresinin aktığı vadi tabanıdır (1710 m). En yüksek nokta inceleme alanı güneyinde yer alan Devedüzü Tepesidir (2511 m). Bölgedeki başlıca yükseltiler; 2008 Rakımlı Tepe, 2100 Rakımlı Tepe, Beyyurdu Tepesi (2400 m), Devedüzü Tepesi (2511 m) 'dir. Başlıca akarsular ise Geçit deresi ve Gümüştuğ Deresidir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. İnceleme alanının genel görünümü (bakış yönü kuzey istikametindedir.)

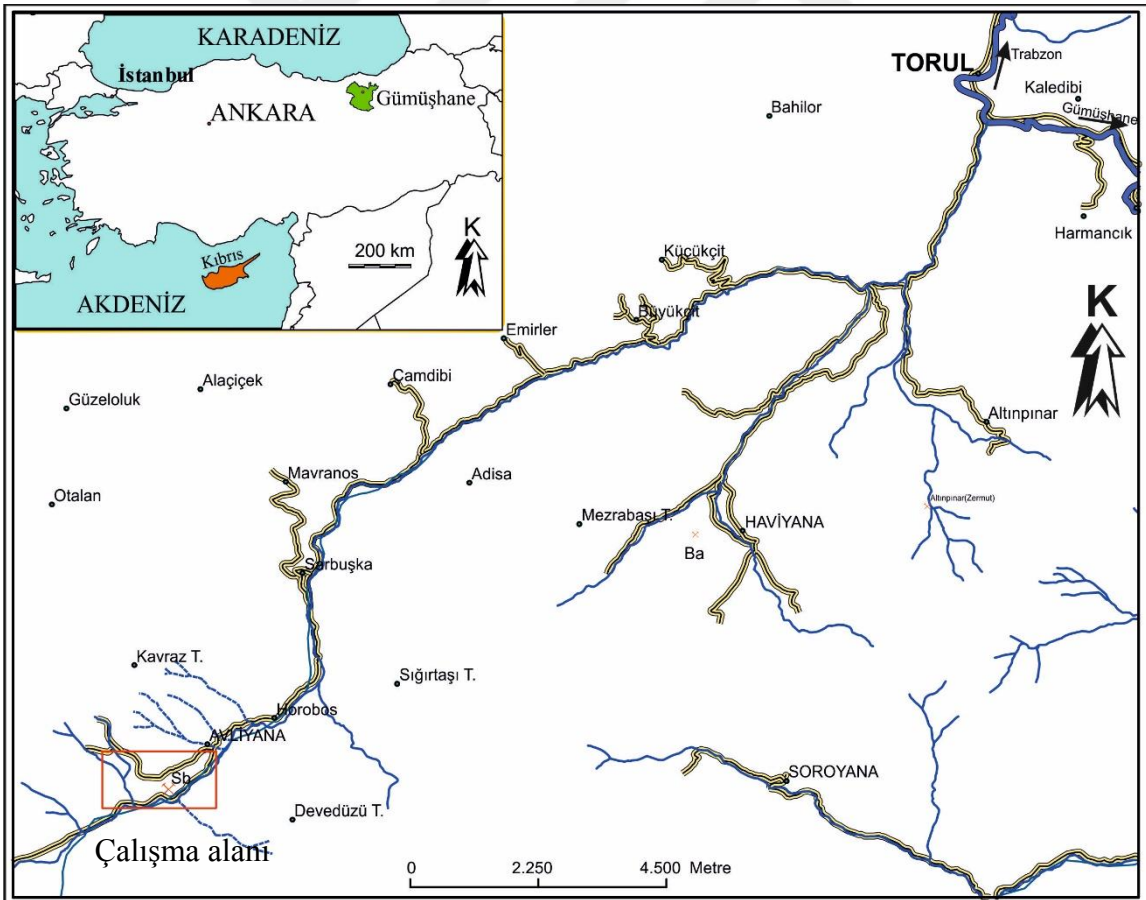
1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanında genel olarak karasal iklim şartları hakim olup yazlar sıcak, kurak ve yağışsız, kışlar ise yağışlı geçer. Karadenizin doğu kesimleri ile Doğu Anadolu iklimlerinin yaklaştığı bölgesinde yer alır. Doğu Karadeniz dağları, Doğu Karadeniz Bölgesi'ne özgü nemli ve yağışlı olan havasını, bölgenin güney bölümlerinde bulunan Kop Dağları ise Doğu Anadolu Bölgesi'nin kendine özgü soğuk ve sert havasını engellemektedir. Bu nedenle bölge, karadeniz iklimi ile karasal iklim arasında geçiş özelliğinde mikroklima iklim niteliğine sahiptir. Havanın açık geçtiği ortalama gün sayısı 79 olup, kapalı geçtiği ortalama gün sayısı 68 gündür. En fazla Temmuz ayında güneşlenme, en az Ocak aylarında güneşlenme olmaktadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre çalışma alanı ve civarı yıllık ortalama 9.74 °C sıcaklığa sahiptir. Ağustos ayı 20.3°C aylık ortalama sıcaklık içeriği ile yılın en sıcak ayı, Ocak ise -1,5 °C'lik aylık ortalama sıcaklık içeriği ile en soğuk ayıdır.

İnceleme alanı bitki örtüsü bakımından oldukça zengindir. Alçak kotlarda geniş yapraklı ağaçlar, yüksek bölümlerde ise daha dayanıklı ince yapraklı ağaçlar vardır. Yaklaşık 2200 metre yüksekliğe kadar olan kısımlarında Özbek kavağı, mazı ağacı, meşe ağacı, titrek kavak, sarıçam, ıhlamur ağacı, erik ağacı, ardıç ağacı, boyacı sumacı, ılgın, yabancı fındık, dağ akça ağacı, kuşburnu ağacı, alıç ağacı ve tespiti yapılamayan yüzlerce odunsu bitki bulunmaktadır.

1.3. Ulaşım ve Yerleşim

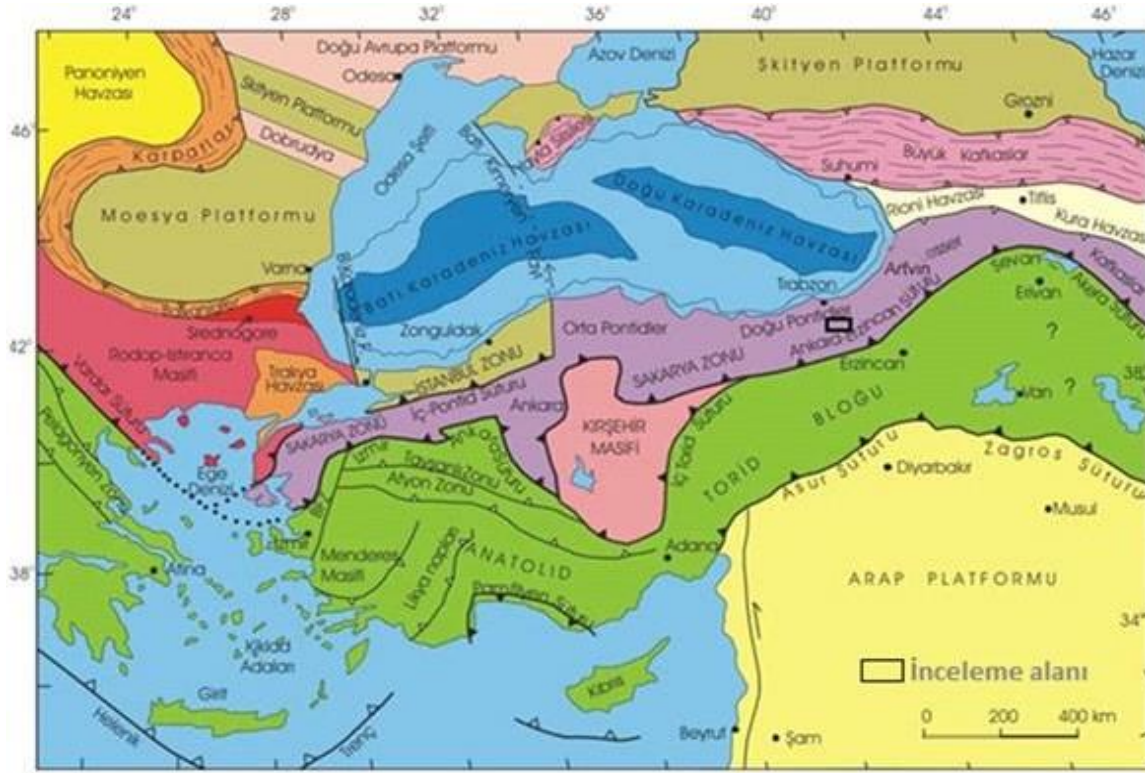
İnceleme alanına ulaşım, Gümüşhane Torul ilçesinden güneye doğru ayrılan asfalt bir köy yolu ile sağlanmaktadır. Bu yol ile Torul'dan yaklaşık 32 km. sonra Gümüştüğ (Avliyana) Köyüne varılır. Gümüştüğ köyünden Güneye doğru devam eden stabilize yolu takip ederek 1,5 km. sonra inceleme alanına varılmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. İnceleme alanının yer bulduru haritası

1.4. Doğu Karadeniz Bölgesinin Genel Jeolojisi

Gümüştüğ (Torul) ve bölgesini de içeren Doğu Karadeniz Orojenik Kuşağı'na ilk olarak Hamilton (1842) tektonik birim olan "Pontid" ismi ile adlandırılmıştır. Bu birimleri Ketin (1966) kuzeyden güneye; Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları olarak dört ana gruba ayırmıştır. Ketin ve Canitez (1972) bu gruplar hakkında yeni bir çalışma yapıp litolojik farklılıklardan dolayı tektonik Doğu Pontid birliğini "Doğu Pontid ve Batı Pontid"ler olmak üzere ikiye ayırmıştır. Özsayar vd. (1981) Doğu Pontidler'de bulunan Geç Kretase yaşlı birimleri "Doğu Pontid Kuzey Zonu ve Doğu Pontid Güney Zonu" olmak üzere iki gruba ayırarak incelemiştir. Doğu Pontidler'i Bektaş vd. (1984) ise kuzeyden güneye "Kuzey Zon", "Eksen Zonu" ve "Güney Zon" olmak üzere üç alt birliğe ayırmıştır. Bu çalışmalara ek olarak, Okay ve Tüysüz (1999) tezin inceleme alanını da içine alan bölgeyi, Sakarya Zonundan ayrılan birliğin Doğu Pontidler bölümü olarak incelemiştir (Şekil 2.1). Güney Zon'da yer alan; Ağvanis masifi (Okay, 1984; Altınkaynak, 2000), Tokat masifi (Alp, 1972; Özcan vd., 1980; Rojay, 1993; Tüysüz 1996; Yılmaz vd., 1997; Eyüboğlu, 2006) Pulur masifi (Topuz ve Altherr, 2004; Topuz vd., 2004a, Topuz vd., 2004b; Topuz vd., 2007), Kurtoğlu metamorfileri (Topuz vd., 2007; Topuz vd., 2010), Karadağ metamorfileri (Dokuz, 2000; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Ustaömer ve Robertson, 2010), Gümüşhane Batoliti (Tokel, 1972; Çoğulu, 1975; Yılmaz, 1977; Özdoğan, 1992; Topuz vd. 2010) ve Köse Batoliti (Dokuz, 2011) birimleri sırasıyla Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'ndaki en yaşlı birimlerdir, Kuzey zonda yer alan en yaşlı birimleri yüzeylemiş olarak Tonya'nın güneyinde bulunan, Kayadibi ve Derinoba granitleri (Kaygusuz vd. 2012a, Kaygusuz vd., 2013), Trabzon'un güneydoğusundaki Özdil kasabası çevresinde bulunan Özdil Granitoyidi (Kaygusuz vd. 2016) ve Trabzon İli Maçka ilçesindeki Soğuksu ve Seslikaya granitleri (Kaygusuz vd., 2016) bulunmaktadır. Ayrıca Dereli (Giresun) ve Çaykara (Trabzon) bölgelerinde, jeolojik yaşlarının tespit edilemediği, mostraları olan metamorfik kayalar bölgenin taban kayalarını temsil ettiği hipotezi kabul görmektedir (Schultze-Westrum, 1961; Zankl, 1962; Boynukalın, 1990).



Şekil 1.3. Türkiye'nin tektonik birlikleri içerisindeki İnceleme alanının yeri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan alınmıştır)

Triyas zamanını temsil eden Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'ndaki kayaçlar zaman zaman tartışma konusu olmuştur. Amasya bölgesinde bulunan Tokat masifini meydana getiren kayaçlar üstünde, düşük dereceli bir metamorfizmaya uğradığı tahmin edilen, kırıntılı ve taneli sedimanter kayaçlardan oluşan Karasenir Formasyonu'nun (Alp, 1972) ve Bayburt Demirözü ilçesi bölgesinde bulunan metamorfik kayaçlar üstünde biriken ve kırıntılı sedimanterlerden oluşan Karakaya Formasyonu (Ağar, 1977; Yılmaz vd., 1997; Topuz vd., 2004a) yaşının Triyas olduğu belirlenmiştir. Eyüboğlu vd. (2010) ve Eyüboğlu vd. (2011) tarafından yapılan çalışmalarda Pulur ve Tokat masiflerinin mafik ve ultramafik intrüzyonlarla kesildiğini ve yaşının Geç Triyas (191 ile 212 Milyon yıl) olduğu belirtilmiştir.

Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nda bulunan; yaşı Paleozoyik ve Mezozoyik (Triyas) kayaçlar, volkano-sedimanter istifler (Erken-Orta Jura yaşlı) tarafından uyumsuz olarak örtülür. Giresun, Dereli bölgesindeki Orojenik Kuşağın Kuzey Zonu'ndaki Jura yaşlı tortul birimlere az rastlanılmaktadır ve bu tortullar genelde volkanik kayaçlarla temsil edilirler (Boynukalın, 1990; Eyüboğlu vd., 2006; Şen, 2007).

Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın geneline hakim olan, Geç Jura-Erken Kretase dönemi (Mezozoyik) tektonik olaylardan ve magmatik faaliyetlerden dolayı durağan bir döneme denk geldiğinden, bütün bölgede kalsiyum karbonat (CaCO₃) sedimantasyonu hakimdir. Kuzey Zon'da hakim olan masif aralanmalı ve tabakalı, gri-bej renkli, yanal olarak devamlılık arz etmeyen, kireçtaşları ile temsil edilen (Taslı, 1984), ilk olarak Pelin (1977) tarafından Berdiga Formasyonu ismi ile isimlendirilmiştir. Berdiga Formasyonu magmatiklerin bulunduğu bölgenin güney bölümlerinde genelde gri-bej renkli, bazı yerde masif ve kalın tabakalı, bentik foraminifer fosillerce zengin, tabanda bazı bölümlerde dolomitlerden, daha üst kesimlerde ise yumru şekilli çört ve bantlı kireçtaşı serilerinden oluştuğu sığ denizel kökenli bir çökel istifinin karakteristik özelliklerini taşımaktadır (Taslı, 1990; Yılmaz, 1972).

Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nda Geç Kretase (Mezozoyik) zaman diliminde kuzeyden güney istikametine gidildikçe, önemli derecede litolojik farklılıklar gözlenmektedir. Çok şiddetli bir magmatizmanın sonucu olan granitik sokulumlar ve volkanik kayalar Kuzey Zon'daki hakim olan litolojiyi meydana getirmektedir (Bektaş, 1984; Jica, 1986; Gedik vd., 1992; Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Okay ve Şahintürk, 1997; Güngör vd., 1997; Köprübaşı vd., 2000; Kaygusuz, 2000; Boztuğ vd., 2002; Şahin vd., 2004; Karlı vd., 2010; Sipahi, 2005; Sipahi, 2011; Boztuğ vd., 2006; Kaygusuz vd., 2008; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009; Kaygusuz vd., 2010; Kaygusuz ve Şen, 2011; Kaygusuz vd., 2012; Kaygusuz vd., 2013; Kaygusuz vd., 2014). Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2011b; Kaygusuz ve Şen, 2011; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Aydınçakır ve Şen, 2013). Magmatik ve tektonik açıdan duraklamaların yaşandığı dönemlerde, çökelişi devam eden sedimanter seviyeler meydana gelmiştir. Güneye doğru gidildikçe magmatik faaliyetlerin etkinliğinde azalma olduğu ve bunun yerine tortul kayaç ağırlıklı bir istif olduğu görülmüştür. Magmatik faaliyetlerin tekrar daha fazla olduğu ve güneyde bulunan Bayburt- Amasya hattı boyunca hakim olduğu gözlemlenmektedir (Altherr vd., 2008; Topuz vd., 2010; Eyüboğlu, 2010).

Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın Senozoyik zaman diliminde güney bölümlerde sedimanter kayaların, kuzey bölümlerde ise magmatik kayaların ağırlıklı olduğu bir istif ile temsil edilirler. Senozoyik dönemindeki magmatizma güneyde kesimlerde Bayburt sınırları içindeki Kop Dağları ve Erzincan hattı ile devamlılık gösteren Geç Paleosende başlayarak, kuzeye doğru devam ederek Gümüşhane ile İspir hattı ile devam eden ve Erken Eosen zaman dilimindeki asidik özellikteki magmatizmanın etkisiyle volkano-sedimanter

bir istifi meydana getirmiştir (Tokel, 1977; Arslan vd., 1997; Arslan ve Aliyazıcıoğlu, 2001; Topuz vd., 2005; Arslan ve Aslan, 2006; Karlı vd., 2007; Temizel ve Arslan, 2008; Temizel ve Arslan, 2009; Aslan, 2010; Karlı vd., 2010; Karlı vd., 2011a; Kaygusuz vd., 2011; Topuz vd., 2011; Eyüboğlu vd., 2011; Temizel vd., 2012; Arslan vd., 2013; Aslan vd., 2014; Aydınçakır vd., 2014). Senozoyik zaman diliminde oluşan Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın Kuzey Zonu'ndaki magmatizmanın şiddeti Güney Zon'a göre daha şiddetlidir. Bu nedenle Senozoyik dönemindeki kalk-alkali, granitik ve bazik yapıda olan volkanik kayalar meydana gelmiştir (Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Şen vd., 1998; Boztuğ vd., 2004; Karlı vd., 2011a).

Neojen yaşlı olan ve alkali volkanizmanın etkisi ile bölgedeki magmatizma Karadeniz sahili boyunca son ürünlerini meydana getirmiştir (Aydın, 2003; Aydın vd., 2008; Yücel, 2013). Güney bölümlerde Neojen yaşlı sedimanterler; jips içeren, sıg deniz, lagün ve göl sel fasiyeler şekli ile gözlenmiştir (Erentöz, 1974; Ketin, 1983). Kuvaterner yaşlı oluşumlar ise traverten ve alüvyonlardan oluşurlar. Travertenlere tezin inceleme alanı güney bölümlerinde de rastlanmıştır.

1.5. Bölgede Yapılan Önceki Çalışmalar

Çalışma sahası, Balkanlardan Himalayalara kadar uzanan, yaklaşık 6000 km uzunluğundaki metalojeni kuşağında bulunan Doğu Pontidler içindedir. Pontidler önemli bir maden provensi özelliğinde olup, yaklaşık 700 km uzunluğundaki Doğu Pontid metalojenik provensi içinde farklı tiplerde 500-600 adet bakır, kurşun, çinko, molibden, demir ve mangan zehir ve yatakları bulunmaktadır. Özellikle de Gümüşhane; kurşun, çinko, bakır ve bunların yanı sıra altın ve gümüş gibi değerli metaller açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Gümüşhane'de madencilik faaliyetleri 1960'lı yıllarda yüksek bir ivme kazanmıştır. Bu dönemde çoğunluğu metalik maden, bir kısmı ise enerji ve endüstriyel hammadde olmak üzere sınırlı da olsa üretim de yapılmıştır. 1980'li yıllarda özellikle MTA tarafından Gümüşhane İlinde metalik maden, endüstriyel-enerji hammaddelerine yönelik arama çalışmaları yoğunlaşmış, 1990 yılından sonra ise ağırlıklı olarak altın ve gümüş aramaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda Koza, Arzular, Olucak ve Kaletaş'ta önemli miktarda altın ve gümüş potansiyeli tespit edilmiştir. Günümüzde, bölgede kamu (MTA vb.) ve yerli ve yabancı özel sektöre ait birçok firma tarafından maden arama çalışmaları devam etmektedir.

Tez sahası ve yakın çevresinde en yaşlı birim olarak Paleozoyik yaşlı granitoyitik kayalar yüzeylenmektedir. Bu kayalar uyumsuz olarak Liyas yaşlı volkanotortul kayalar tarafından örtülür. Volkano-tortul kayaların üzerine ise Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Berdiga Kireçtaşları olarak isimlendirilen masif kireçtaşı platformu uyumlu olarak gelmektedir. Kireçtaşlarının üzerinde ise yine Üst Kretase yaşlı fliş gelir. Fliş birimi uyumsuz olarak Eosen yaşlı bazaltik-andezitik kayalar ve piroklastları tarafından örtülmekte ve Eosen yaşlı granitik kayalar ise bu volkanikleri kesmektedir.

Sahayı da kapsayan bölgede Çınar vd (1983) tarafından yapılan çalışmada saha ve yakın çevresinin jeolojisi ve maden zuhurları hakkında bilgi verilmiştir. 1985 yılında Türk-Japon projesi kapsamında (MTA, 1985) sahanın 1/25 000 ölçekli jeolojik haritalama çalışması yapılarak yörenin maden potansiyeli ve jeokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Güven (1993) yaptığı çalışmada yörenin stratigrafisinin anlaşılmasında katkı vermiştir. Sahada cevherleşme ve alterasyonların araştırılmasına yönelik olarak yapılmış detaylı bir çalışmaya literatürde Vural (2016) dışında rastlanmamıştır. Bu çalışmalar sahadaki antimonit cevherleşmesinin kökeni ve cevherleşmeyle ilişkili olduğu düşünülen Eosen granitik kayalar üzerine yapılmış çalışmalardır. Tez kapsamında ise sahadaki cevherleşmenin iki boyutlu yöneliminin belirlenmesine yönelik olarak toprak jeokimyası çalışması gerçekleştirilmiştir.

Ekonomik olarak işletilen birçok cevherleşmenin bulunduğu Tez sahasının da içinde bulunduğu Doğu Karadeniz metal provensiyi, Tetis okyanus kabuğunun Paleozoyik-Miyosen zaman dilimindeki yitimine bağlı olarak bir magmatik yay üzerinde yer alır (Dixon ve Pereira, 1974; Şengör ve Yılmaz, 1981; Çağatay ve Eastoe, 1995). Tetis-Avrasya metalojenik kuşağının bir parçası olan bu zon, Doğu Avrupa, Kuzeydoğu Türkiye, Kafkaslar, İran ve Orta Asya'dan Pasifik Metalojenik Kuşağına kadar uzanır (Jankoviç, 1980). Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın bir kısmı Kuzey Zonu'nda olmakla birlikte, büyük çoğunluğu Güney Zonu'nda yer alan Gümüşhane yöresinde içerdiği ekonomik cevherleşmeler nedeniyle jeoloji ve ekonomik jeoloji anlamında bir çok araştırma yapılmıştır (Baykal, 1952; Gettinger vd., 1962; Ketin, 1966; Dixon ve Pereira, 1974; Adamia vd., 1977; Aslaner, 1977; Pejatoviç, 1979; Leitch, 1981; Şengör ve Yılmaz, 1981; Yalçınalp, 1992; Güven, 1993; Bektaş ve Güven, 1995; Tüysüz vd., 1996; Lermi, 1996; Akçay vd., 1998; Çubukçu, 1998; Tüysüz, 2000; Çiftçi, 2000; Lermi, 2003; Demir, 2005; Eyüboğlu, 2010; Akaryalı, 2010; Aslan ve Akçay, 2011; Akçay vd., 2011; Vural vd., 2011;

Vural, 2012; Vural ve Erşen, 2013; Vural ve Erdoğan, 2013; Vural, 2016; Vural, 2017; Vural, 2019; Sipahi vd., 2017; Sipahi, 2018).

Yöredeki kurşun-çinko yatakları ilk defa Ölsner (1935) tarafından incelenmiş ve bölgedeki yataklar kireçtaşlarının içerisinde metazomatik, granitler içerisinde de damar tipi olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Kovenko (1937) yörede üç ayrı tipte cevherleşmeden bahseder: 1. Mercek ve damar tipte cevherleşmeler (Eski Gümüşhane maden sahasında yer alan Hazine Mağara ve Kırkpavli Yatakları), 2- Damar tip cevherleşmeler (Dere Maden zuhurları) 3. Oksidasyon zonu minerali içeren önemsiz damarlar (kireçtaşı çatlaklarında yer yer bulunmaktadır). Dandria (1940)'a göre, Hazine Mağara Madeni Malm-Alt Kretase kireçtaşlarını ornatan mezotermal cevher eriyikleri tarafından oluşturulmuştur. Pejatoviç (1979), bölgede bulunan maden yataklarını, Ölsner (1935)'e benzer şekilde iki ayrı gruba ayırmıştır. Kamitani vd. (1977), yörede yaptığı çalışmada cevherleşmenin çoğunlukla kireçtaşı, marn ve şeyllerden oluşan Üst Kretase yaşlı birimler içerisinde geliştiğini vurgulamışlardır.

Türk-Japon Ekibinin (MTA, 1985) ortak proje kapsamında; bölgenin Midi, Karadağ, Kırkpavli, Hazine Mağara ve Koza (Mastra) sahalarını içine alan 2800 km²'lik alanın 1/25 000 ölçekli jeoloji haritalamasını ve genel jeokimyasal prospeksiyon çalışmalarını yapmışlardır. Özdoğan (1992), Karadağ ve civarının jeolojisi ve maden zuhurlarının jenetik incelemesi sonucu Karadağ ve civarındaki cevherlerin skarn, porfiri tip ve damar tip yataklar olduğunu, skarn yatakların Malm-Alt Kretase yaşlı Berdiga kireçtaşları ve bunları kesen Üst Kretase yaşlı kuvars porfir ve mikrogranitlerin dokanağında oluştuğunu tespit etmiştir. Porfiri yatakların çevresinde sadece fillik ve propilitik alterasyon zonlarının geliştiğini, damar tip cevherleşmelerin ise piritli bakır, antimonit ve baritlerden oluştuğunu belirtmiştir. Güven (1993), çalışma sahasının da içinde bulunduğu Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/250 000 ölçekli jeoloji ve metalojeni haritasının kompilasyonunu hazırlamış, eski çalışmaları derleyerek Pontidler'de Kuzey Zon ve Güney Zon için iki ayrı kolon kesit önermiştir. Sipahi (2005), Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) ve çevresinde yapmış olduğu doktora çalışmasında Geç Kretase yaşlı volkanitlerde görülen hidrotermal ayrışmaları incelenmiş ve genel olarak az ayrışmış kayaktan çok ayrışmış kayaca doğru illitleşme-kloritleşme-kaolinitleşmenin arttığına, karbonatlaşmanın ise azaldığına dikkat çekerek; bazalt, andezit ve Dasit-I'de kütle artması, Dasit-II ve andezit dayklarında kütle azalması ve porfirik dasitlerde ise hem kütle artması, hem de kütle azalmasının meydana geldiğini ifade etmiş, ayrışmanın yaşının K - Ar yöntemine göre, Dasit-I'deki illitlerin ortalama

78.7±2.3 My (Kampaniyen) ve Dasit-II'dekilerin ortalama 75.3±2.4 My (Daniyen) yaşında oldukları belirlemiştir. Sipahi ve Sadıklar (2010), Zigana Dağı (Gümüşhane) civarındaki Geç Kretase volkanik kayalarında yaptığı çalışmada, kayaların bimodal karakterde olup, volkanik yay ortamlarında geliştiğini; yoğun hidrotermal alterasyona ve çok az yüzeysel ayrışmaya maruz kaldığını belirtmiş, ayrışmanın serizitleşme/illitleşme, kloritleşme ve silisleşme şeklinde geliştiğini ve buna sebep olan sıvıların Cu, Pb ve Zn gibi metalleri arttırmadığı, gerçekte bu sıvıların bu metallere fakir olduğuna ve aynı zamanda onların değişik hidrotermal şartlar altında geliştiğine işaret ettiğini belirtmiştir.

Bölgedeki önemli cevherleşmelerden biri olan ve şu an da işletilmekte olan Hazine Mağara ve yakın civarında geçmişten günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Kovenko, 1937; Dandria, 1940; Aydoğan, 1946; Erbayar ve Ödevci, 1979; Çağatay ve Çopuroğlu, 1990; Güner vd., 1998). Bu çalışmalarda kurşun cevherleşmelerin genel özellikleri incelenmiş bu cevherleşmeye; kalkopirit, tetrahedrit, enarjit ve nabit gümüşün eşlik ettiğini belirtmişlerdir. Sahadaki cevherleşmenin en önemli gang minerallerinin; kuvars, kalsit-dolomit, barit ve siderit-ankerit olduğunu belirtmişlerdir. Aynı sahada Akçay vd (2011) tarafından yapılan çalışmada Cevher çökeliğini kontrol eden ana özelliklerden birinin monolitik karbonat breşlerinin boşluklu zonları olduğu, bu zonlardaki kayaç parçalarının genellikle köşeli ve boyutları mm'den metreye kadar değiştiğini tespit etmişlerdir. Yine aynı çalışmada cevherin yaygın olarak bu tür zonları tercih etmesi ve stratigrafik olarak daha üstte yer alan Üst Kretase flişinin taban seviyeleri ile tabanda yer alan Gümüşhane graniti içinde cevher minerallerinin varlığının epijenetik bir oluşuma işaret ettiğini, karbonatlı kayaların yer yer silisleşmiş olmasının da bunu desteklediğini ifade etmiştir. Akçay vd. (2011) benzer özellikte bir cevher oluşumunun Midi'de bulunması, Eosen volkanitleri içindeki epitermal Koza (Mastra) altın yatağının sadece birkaç km mesafede olmasını muhtemelen Tersiyer magmatiklerine bağlı ortak bir kökenin varlığının işareti olarak önermiştir. Yazarlar tarafından barit ve kuvarslar üzerinde yapılan sıvı kapanım çalışmalarında düşük tuzluluk dereceli (<8,5 NaCl eş değ.) ve düşük-ortaç homojenleşme sıcaklığına sahip (130-370 °C; X =240 °C) bir çözeltiye işaret ettiğini, sıcaklık - tuzluluk değişimi mineral çökeliğinde soğuma ve seyrelmenin etkili olduğunu gösterdiğini belirtmiştir. Sfalerit, galen ve piritler üzerinde yaptıkları $\delta^{34}\text{S}$ çalışmaları sonucunda kükürdün magmatik kökenli olduğuna işaret ettiğini ($\delta^{34}\text{S} = \text{‰} -2$ ilâ 3), sfalerit-galen ile pirit-kalkopirit mineral çiftlerinden elde edilen izotopik denge sıcaklıklarının epitermal koşulları desteklediğini ortaya koymuşlardır. Bu veriler ışığında

bir epitermal sistemin oluşumu, Eosen yaşlı magmatik kütlelerle yakından ilişkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Tüysüz vd. (1995) ve Tüysüz ve Akçay (2000), Koza (Mastra) Madeni'nde yaptıkları çalışmalarda sahadaki cevherleşmenin Eosen yaşlı Alibaba (Kabaköy) Formasyonu'nun hornblendli andezitleri ve ilişkili piroklastları içinde damar ve ağsal olmak üzere iki tipte geliştiğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada cevherleşmede en fazla görülen alterasyon tipinin silisleşme ve adularya damarcıkları olduğunu, yüksek altın değerine sahip gri renkli kuvars ve kalsedon içeren silisleşmenin sahadaki altın cevherleşmesi ile yakından ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır. Bahse konu araştırmacılar tarafından pirit, sfalerit, galen ve kalkopiritten elde edilen $\delta^{34}\text{S}$ değerleri genel olarak ‰ -1,7 ile ‰ -6,2 gibi dar bir aralıkta değişmekte olup, bu değerler kükürt kaynağının magmatik olduğunu göstermektedir. Kuvars ile dengede olan çözeltilerin $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ‰ +4,5 ile ‰ +6,2 arasında, killer ile dengede olan çözeltilerin $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ‰ +5,8 ila ‰ +9,8 arasındadır. Tüm bu değerler hidrotermal etkileşimi sağlayan çözeltilerin baskın olarak magmatik kökenli olduğunu ve muhtemelen çıkış kanalları boyunca temel kayalarla etkileşimde kalarak ^{18}O bakımından zenginleştiğini göstermektedir. Sahada yapılan sıvı kapanımlardan maden yatağının geniş bir sıcaklık aralığında (113-390 °C) oluştuğu anlaşılmıştır. Kükürt izotop jeotermometresi yardımıyla, sülfürlü mineral çiftlerinden üç farklı sıcaklık değeri elde edilmiştir (T1: 147±15 °C, T2: 287±21 °C ve, T3: 365±28 °C). Kuvars ve kil minerallerinden yapılan oksijen izotop jeotermometresi de bu mineraller için ortalama 348,5 °C'lik bir oluşum sıcaklığı göstermektedir (Aslan ve Akçay 2011)

Bölgedeki Midi Madeni'nde değişik araştırmacılar tarafından çalışmalar yürütülmüştür (Kahraman vd., 1984; MTA, 1985; Lermi, 2003). Lermi (2003) tarafından yapılan çalışmada Midi Madeni'nin, Hamurkesen (Zimonköy-Şenköy) Formasyonu'nun kumlu kireçtaşı, silttaşı ara katkılı bazalt ve piroklastları içerisinde gözlendiği ve ana cevher mineralinin sfalerit olduğu belirtilmiştir. Sahadaki cevherleşmelerin mineral parajenezinde pirit, pirotin, kalkopirit, manyetit, tetrahedrit, bornit, arsenopirit, nabit altın, elektrum, enarjit-luzonit, simitsonit, serizit, sfalerit, galenit, gang olarak ise limonit, hematit, kalsit, dolomit, ankerit, siderit, kuvars, epidot, klorit, illit ve kaolinit bulunduğunu belirtmiştir. Araştırmacı tarafından pirit, galenit ve sfalerit minerallerinin $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin (+2.0-+6.7 ‰) ‰ 0 değerine yakın dar bir aralıktaki değişiminin dolayı kükürdün magmatik kökenli olduğunu belirtmiştir. Kalsit ve ankeritlerin dengede olduğu sıvıların karbon (+1.9- -3.5 ‰) ve oksijen (+2.9- +10.7 ‰) izotop bileşimlerini irdelemiş, oksijenin

magmatik sıvılarla benzerlik gösterdiğini ancak karbonun ise magmatik kaynaktan farklı bir kaynağı işaret ettiğini belirtmiştir. Demir (2005) ve Demir vd. (2008) tarafından Köstere Madeni'ni konu alan çalışmada sahadaki cevherleşmenin Geç Kretase yaşlı dasit ve piroklastları içinde K40B, 70 KD konumlu damar boyunca epijenetik olarak oluşmuş, bakır, kurşun ve çinko yatağı olduğu belirtilmiştir. Akaryalı (2010) Arzular altın sahasında doktora çalışması yapmış; sahadaki cevherleşmenin, Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu içinde KD-GB doğrultulu KB'ya eğimli ve yaklaşık DB doğrultulu K'ye eğimli damarlarda fay kontrollü olarak geliştiğini belirtmiştir.

Gümüşhane yöresinde, gerek bölgedeki magmatizmanın yaşına yönelik gerekse bölgedeki cevherleşmelerin ve cevherleşmelerle ilişkili alterasyonların araştırılmasına yönelik de pek çok çalışma bulunmaktadır (Bölgedeki magmatizmanın yaşları ile ilgili bazı çalışmalar; Eyüboğlu vd., 2006; Eyüboğlu, 2010; Kaygusuz vd., 2008; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009; Kaygusuz vd., 2010; Kaygusuz ve Şen, 2011; Topuz vd., 2010; Karşlı vd., 2010; Dokuz, 2011 vb. birçok çalışma; bölgedeki alterasyon ve cevherleşmelerle ilgili çalışmaların bazıları: Akçay ve Çavga, 1997; Tüysüz ve Akçay, 2000; Sipahi, 2005; Sipahi ve Sadıklar, 2010; Akaryalı, 2010; Aslan ve Akçay, 2011; Akçay vd., 2011; Eyüboğlu vd., 2011; Vural vd., 2011; Vural ve Şahin, 2012; Vural ve Erşen, 2013; Vural ve Erdoğan, 2013; vb. pek çok çalışma). Tüm bu çalışmalara rağmen, Gümüştüğ antimonit cevherleşme sahasında Vural (2016) ve Vural (2017) dışında yapılmış cevherleşmeye yönelik detaylı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bahse konu çalışmada cevherleşmenin kökeni ve cevherleşmeyi oluşturan granitik kayalara yönelik araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Sahadaki cevherleşmeye yönelik toprak jeokimyası amaçlı çalışma ise bulunmamaktadır. Toprak jeokimyası çalışmaları maden aranmasında önemli bir prospeksiyon metodudur. Özellikle epitermal sistemlerde iz bulucu element olarak kullanılan arsenik vb. elementlerin değerlerinin toprakta tespiti daha kolaydır. Tüm bunlar göz önüne alındığında sahadaki cevherleşmenin üç boyutlu geometrisinin belirlenmesine yönelik yapılacak sondaj çalışmalarına katkı vermesi amacıyla toprak jeokimya çalışmasının yapılmasının sağlıklı sonuçlar vereceği düşünülmüş ve yüksek lisans tezi kapsamında sahanın toprak jeokimyası çalışması gerçekleştirilmiştir.

Maden aramacılığında toprak jeokimyasının yapıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin; Reis vd. (2001) altın cevherleşmelerinin araştırılmasında toprak jeokimya çalışmalarının önemini göstermiştir. Araştırmacı, yaptığı çalışmada, altın aranmasında iz bulucu elementlerden de yararlanarak toprak jeokimyası çalışmaları ile tatmin edici

sonuçlar elde etmiştir. Vural (2007) tarafından Çanakkale-Ayvacic ve yakın çevresinde yapılan çalışmada toprak jeokimya çalışmaları ile altın arama çalışması gerçekleştirilmiş ve toprak jeokimyası çalışmaları ile verilen uygun sondaj yerleri ile 10 ton altın değerine sahip, Kısacık altın sahası bulunmuştur.

Çalışma sahasında, daha önce de belirtildiği gibi toprak jeokimyasına yönelik herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Ancak bölgede toprak jeokimyasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Yaylalı-Abanuz vd., (2011) tarafından Gümüşhane ili, Arzular Beldesi altın zenginleşmelerinde toprak jeokimyası çalışması yapılmış ve bu çalışma ile saha için uygun sondaj yerleri için öneriler getirilmiştir.

Yine Vural ve şahin (2012) tarafından Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolu gzerghi üzerinde toprak ve akasya ağaçlarında ağır metal birikimlerinin belirlenmesine yönelik yapılmış çalışmalar vardır. Vural ve Erdoğan (2013) Eskigmşhane Kırkpavli alterasyon sahasında toprak jeokimyası çalışması gerçekleştirmiş ve saha için sondaj yerleri önermiştir. Yine Vural (2019) tarafından Gümüşhane Canca alterasyon sahasında toprak ve bitki jeokimyası çalışması gerçekleştirilmiş ve saha için uygun sondaj yerleri önerilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Amaç ve Yöntem

Bu tezin amacı, Gümüştüğü Köyü güneybatısında bulunan sahada meydana gelen antimonit cevherleşmesinin; jeolojisinin, mineralojik özelliklerinin toprak jeokimyası açısından incelenmesidir. Çalışma sahasında, Geç Kretase yaşlı sedimanter kayaç arakatlı andezit, bazalt, piroklastlar ve bu kayaçlara sokulum yapmış Eosen yaşlı diyorit, kuvars diyorit, kuvars monzodiyorit bileşimli intrüzif kayaçlar yüzeylenmektedir. Sahada, granitik genç intrüzif kayaçlar ve bu kayaçların sokulum yaptığı yankayaçlarda hidrotermal damar tipte gelişmiş antimonit cevherleşmesi mevcuttur. Cevherleşmenin olduğu bölgede yaygın olmamakla birlikte, silisleşme, killeşme, hematitleşme, limonitleşme, yer yer epidotlaşma ve kloritleşmeler şeklinde hidrotermal alterasyonlar gözlenmiştir. Çalışma alanından yapılan toprak jeokimyası ile antimonitin diğer elementlerle olan ilişkilerinin karşılaştırılmasıdır. Bu maksatla hazırlanan tez çalışması dört aşama ile çalışılmıştır. Bunlar; Literatür taraması, arazi, büro ve laboratuvar çalışmalarıdır.

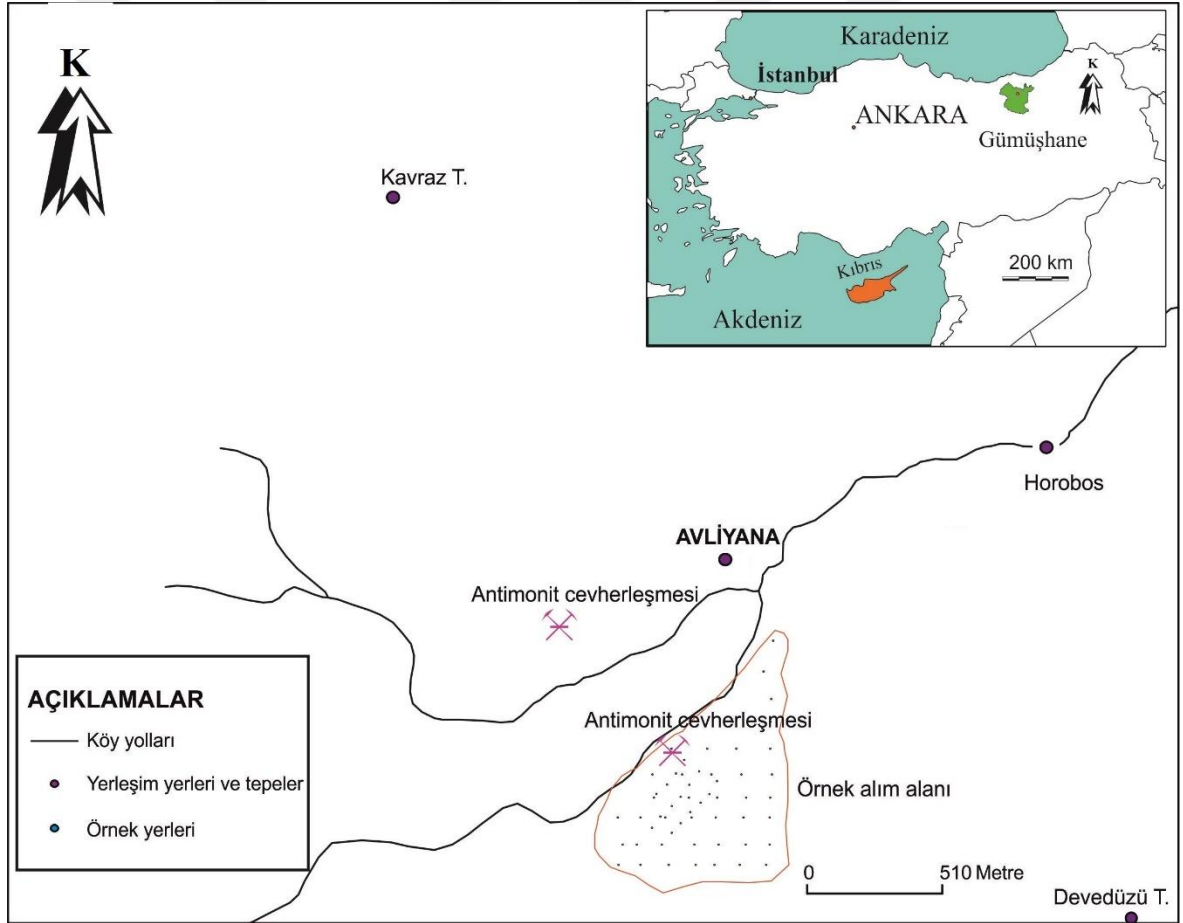
2.1.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmalarının ilki bölgede mostra veren birimlerin tanınması, diğer kayaçlar ile aralarındaki dokanak ilişkileri, yapısal durumları ve stratigrafik prensipleri ile ilgili yapıların belirlenmesi ile başlayarak, gerekli olduğu düşünülen lokasyonlarda fotoğraf çekimi yapılmıştır. Yapılan bu gözlem ve incelemeler sonucunda gerekli çalışmalar yapılarak 15 km² lik inceleme alanının var olan jeolojik haritası revize edilmiştir. Sahadaki antimonit cevherleşmesinin yüzeyde dağılımının belirlenmesi ve cevherleşme sahasındaki diğer elementlerin karakteri ve birbirleri ile ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla çalışma sahası harita üzerinde karelajlara ayrılmış ve Gps ile karelajlara ayrılan noktalara gidilerek hassas bir şekilde toprak jeokimyası amaçlı 56 adet toprak örneği alınmıştır (Şekil 4.1.). Ayrıca yapılan saha çalışmalarında mostra veren kayaçlardan uygun şartlarda petrografik amaçlı 35 adet kayaç numuneleri alınmıştır. Sahadaki tabakalı kayaçlardan jeolog pusulası yardımıyla gerekli tabaka doğrultu ve eğim ölçümleri yapılmış numunelerin alındığı noktaların Gps ile koordinatları belirlenmiştir.

2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.1.2.1. İnce Kesitlerin Hazırlanması

Sahadan derlenen kayaç örneklerinden mineralojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ince kesitler, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında hazırlanmıştır. Kayaçlardan alınan el örnekleri laboratuvarında 0.5x2x4 cm boyutlu plakalar şeklinde kesilip yüzey pürüzlülükleri giderildikten sonra 1 mm kalınlığında ve 2.5x5 cm ebatlarındaki cam üzerine Kanada balzamu ile yapıştırılmıştır. Kesitler, dereceli aşındırıcılar yardımıyla inceltirilip petrografik incelemelere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2.1. Örnek alım noktaları (Not: Litolojik sınırların karşılıkları jeoloji haritası ile aynıdır.)

2.1.2.2. Petrografik İncelemeler ve Mikro Fotoğrafların Çekimi

İnce kesiti hazırlanan örnekler Gümüşhane Üniversitesi Müh. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Mikroskobu Laboratuvarı'nda bulunan Nikon Eclipse E400 POL 230V~0,4A 50/60 Hz marka polarizan mikroskop aracılığıyla incelenerek kayaçların dokusal ve mineralojik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca kayaçları oluşturan minerallerin birbirleriyle olan ilişkileri, optik özellikleri gözlenerek önemli olduğu düşünülen kesitlerden tek ve çapraz nikollerde mikro fotoğraflama işlemleri yapılmıştır. Bu çalışmalar sonunda jeokimyasal analiz için uygun olan örnekler belirlenmiştir. Bu bağlamda araziden alınan kayaç örneklerinden 35 tanesinin (plütonik+volkanik+dokanak) ince kesitleri hazırlanmış ve her biri mikroskopta detaylı olarak incelenmiştir (bileşim, doku, adlama, vs.). Ayrıca Gümüşhane Granitoyidi ve Gümüştuğ Granitiodine ait petrografi örnekleri içinden seçilen örneklerin modal analizler yapılmış ve ilgili diyagramlarda değerlendirilmiştir.

2.1.2.3. Örneklerin Kimyasal Analize Hazır Hale Getirilmesi

Gümüştuğ antimonit cevherleşmesi bölgesinden alınan toprak numuneleri doğal nemlerinin giderilmesi amacıyla havada bir müddet bırakılarak kurutulmuştur. Örneklerin yarısı diğer deneylerde kullanılma üzere ayrılarak, geri kalan bölümü ise 100 mesh'lik eleklerden elenerek yaklaşık 30 gr'lık toz örnekler haline getirilmiş ve kimyasal analizlerini gerçekleştirmek için ACME Laboratuvarı (Kanada)'ya gönderilmiş ve analiz ettirilmiştir. Ayrıca bu örneklerden bir kısmı ayrılarak bu örneklerden Gümüşhane Üniversitesi Laboratuvarlarında pH ve Ateşte kayıp ölçümleri de yapılmıştır.

2.1.2.4. Ateşte Kayıp Ölçümleri

Toprak örneklerinin ateşte kayıp (AZ) değerleri, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Laboratuvarında bulunan kül fırınında gerçekleştirilmiştir (Tablo 2.1.). Ateşte kayıp ölçümleri yapılırken bazı toprak numunelerinin azlığı sebebi ile bu deney 29 adet numunede yapılmıştır. Ateşte kayıp değeri hesaplanırken doğal nemleri giderilen numunelerin öncelikle yüksek kalitede üretilmiş porselen krozelerin darası alınmış, daha sonra yaklaşık 2.000 g örnek porselen

krozeeye konarak tekrar tartım gerçekleştirilmiştir. Tartımı yapılan rnek 950 °C ısıtılmış kül fırınına konarak 1 saat fırında bekletilmiş, daha sonra desikatörde soğumaya bırakılarak soğutulmuş ve tekrar tartılarak numunenin kütle miktarındaki fark tespit edilerek AZ değeri tespit edilmiştir. Bu değer toprak örneklerinin ağırlıklı olarak organik madde ve minerallerde bulunan kristal su kaynaklı uçucu bileşenlerinin tespiti için kullanılır.

Tablo 2.1. Alınan toprak numuneleri için ateşte kayıp değerleri.

Toprak rnek Numarası	% Azalma	Toprak rnek Numarası	% Azalma	Toprak rnek Numarası	% Azalma
BCT-1	7,63	BCT-16	5,26	BCT-26	10,55
BCT-2	7,81	BCT-17	7,77	BCT-48	14,74
BCT-4	10,26	BCT-18	8,31	BCT-49	10,44
BCT-5	6,71	BCT-19	8,49	BCT-50	16,93
BCT-7	7,67	BCT-20	7,89	BCT-52	15,57
BCT-8	8,47	BCT-21	7,13	BCT-53	14,39
BCT-9	8,09	BCT-22	7,24	BCT-54	14,75
BCT-11	8,89	BCT-23	7,24	BCT-55	13,51
BCT-12	7,64	BCT-24	7,56	BCT-56	14,59
BCT-13	8,65	BCT-25	10,3		

2.1.2.5. pH ölümleri

100 meşlik elekten geirilmış ve etüvde 60 °C, 8 saat bekletilerek doğal nemleri uzaklaştırılmış toprak örnekleri (2:2.5; kütle (g): hacim (mL)) oranında örnek: saf su 50 mL'lik falcon tüpleri yerleştirilmış ve titreşim masasında 60 dakika çalkaladıktan sonra yaklaşık 10 saat kadar sudaki sediman malzemenin okmesi beklenmiş ve laboratuvarında bulunan Hanna marka masaüstü pH metrede pH ölümleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Ölçülen pH değerleri

Örnek No.	pH değeri	Örnek No.	pH değeri
BCT-1	6,79	BCT-29	6,71
BCT-2	7,13	BCT-30	6,99
BCT-3	7,07	BCT-31	6,56
BCT-4	7,24	BCT-32	6,9
BCT-5	7,12	BCT-33	7,22
BCT-6	6,96	BCT-34	7,04
BCT-7	6,95	BCT-35	7,12
BCT-8	6,42	BCT-36	6,96
BCT-9	6,89	BCT-37	6,43
BCT-10	6,54	BCT-38	6,36
BCT-11	6,83	BCT-39	6,23
BCT-12	7,06	BCT-40	6,01
BCT-13	6,77	BCT-41	6,61
BCT-14	7,02	BCT-42	6,24
BCT-15	6,93	BCT-43	6,32
BCT-16	7,05	BCT-44	6,7
BCT-17	6,91	BCT-45	6,54
BCT-18	7,01	BCT-46	6,2
BCT-19	7,02	BCT-47	6,41
BCT-20	6,89	BCT-48	6,03
BCT-21	6,95	BCT-49	6,41
BCT-22	6,88	BCT-50	6,54
BCT-23	7,03	BCT-51	6,43
BCT-24	6,89	BCT-52	7,13
BCT-25	7,08	BCT-53	6,9
BCT-26	6,93	BCT-54	6,97
BCT-27	7,14	BCT-55	7,05
BCT-28	6,9	BCT-56	7

2.1.3. Kimyasal Analizler

Sahadaki cevherleşmenin geometrisini ortaya çıkarmak için alınmış 56 adet toprak örneğinin ana, iz ve nadir toprak element (REE) analizleri Kanada’da bulunan ACME Laboratuvarı’na gönderilerek İndüktif olarak Eşleştirilmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES) ve İndüktif olarak Eşleştirilmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile gerçekleştirilmiştir. Elementlerin analizinde uluslararası standartları kullanılmıştır. Element analizleri, 0,25 g. toz örnekleri dört adet farklı asit içinde (hidroklorik asit, sülfürik asit, hidrojen peroksit, nitrik asit) çözündürülerek, analiz edilmiştir. İz elementler ve nadir toprak elementleri ppm (milyonda bir) olarak ölçülmüştür. Analiz edilen elementlerin dedeksiyon limitleri 0,01-0,5 ppm arasında değişmektedir. Yapılan bu analizlerde kontrol deneyleride yapılmış BCT-1 ve BCT-37 toprak numunesi iki kez hesaplanarak kontrol sağlanmıştır. Deneyler STD DS11 ve STD OREAS262 Standartlarında yapılmıştır. Hesaplanan Laboratuvar sonuçlarında; Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, Au, Sr, Cd, Sb, Bi, V, La, Cr, Ba, Sc, Hg elementleri 56 numune için analiz ettirilmiştir. Bu elementlerden Au, Ag, Hg elementleri ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$), Mn, Fe elementleri % (yüzde) ve diğer elementler ppm (mg/kg) olarak hesaplanmıştır.

2.1.4. Büro Çalışmaları

Arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen verilerle sahanın jeolojik ve alterasyon özellikleri açıklanmış, plütonik kayalardan yapılan modal analizlerle plütonik kayaların adlandırılması yapılmıştır. Sahadan toplanan toprak örneklerinin jeokimyasal analizleri ile IBM SPSS Statistics 22, Microsoft EXCEL gibi paket programlarla istatistiksel olarak irdelenmiş, elde edilen veriler ArcGIS v.10.5 programları yardımıyla alansal olarak değerlendirilmiş cevherleşmenin geometrisi ortaya konulmaya çalışılarak önerilecek sondajlarla üçüncü boyutunun netleşmesinde de katkı sağlanması hedeflenmiştir. Bu şekilde sahadaki cevherleşme üzerinde gelişmiş topraktaki elementlerin genel karakteristiği ve birbirleri ile olan ilişkileri istatistiksel ve alansal olarak değerlendirilmiştir.

2.2. Veri Analizleri

Veri analizlerin amacı jeokimyasal analizler sonucu elde edilen verilerin detaylı olarak incelenmesini, daha somut şekilde sonuçlarını elde edebilmek ve problemlerin çözümünde ve aranan soruların cevaplar bulmada uygun istatistiksel yöntemi belirleyip uygulamaktır. Bu maksatla verilerin dağılımları, temel istatistiksel parametreler (ortalama, medyan, vs) değişken kavramı, normal dağılım, istatistiksel testler, varyans analiz, korelasyon, regresyon, modelleme ve kriging-simülasyon teknikleri ile antimonit cevherleşmesinin yönelimi, dağılımı diğer elementlerle olan ilişkisini yorumlamamızı sağlar.

2.2.1. Tanımlayıcı İstatistik Çalışmaları

Analiz sonucunda incelenen elementlerin sayısal ilişkilerini ortaya koyabilmek için gerekli olan istatistiksel çalışmalar yapılır. Numunelerin sonuçlarına göre minimum ve maksimum değerleri geometrik ve harmonik ortalama değerleri, standart sapma değerleri, eşik değerler hesaplanır ve gerekli tablolar hazırlanır.

2.2.2. Korelasyon

Korelasyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü, derecesini ve önemini ortaya koyan istatistiksel yöntemdir. İlişkinin yönünü ve derecesini belirten katsayıya korelasyon katsayısı denir. Korelasyon katsayısı küçük r harfi ile gösterilir ve r değeri -1 ile +1 arasında değerler alır. Eğer r değeri -1'e yakın değerler alıyor ise değişkenler arasında negatif yönde, +1'e yakın değerler alıyor ise pozitif yönde bir ilişki olduğu belirlenir. Eğer r değeri sıfıra yakın değerler alıyor ise iki değişken arasında bir ilişki olmadığı sonucuna varılır. Çok sayıda korelasyon analizi mevcuttur. Ancak en yaygın kullanılan korelasyon analizleri; Pearson ve Spearman korelasyon analizleridir. Değişkenler oransal ya da aralıklı ölçek ile elde edilmiş ve normal dağılıma uygunluk gösteriyorsa bu durumda Pearson korelasyon analizi yapılır. Değişkenler oransal ya da aralıklı ölçek ile elde edilmiş ancak normal dağılıma uygunluk göstermiyorsa Spearman korelasyon analizi yapılır. Korelasyon Analizi Değişkenler sıralı ölçekle elde edilmiş ise bu durumda da Spearman korelasyon analizi uygulanabilir.

2.2.3. Histogramlar

Histogram bir veri grubundaki değerlerin sınıflandırılması ve bu yapılan sınıflandırmanın oluşturulan sütun grafiği ile gösterilmesidir. Histogramda oluşturulan sütun grafiğindeki sütunlar normal sütun grafiğindeki gibi tek bir veriyi değil bir veri grubunu temsil etmekte, bu nedenle isimlendirirken aralık ile isimlendirilmektedir.

2.2.4. Kutu Diyagramları

Bir değişkenin sıklık dağılımını göstermek için kullanılan kutu diyagramları, dağılımın şekli, merkezi eğilimi ve değişkenlerin yayılım düzeyini göstermesi açısından kullanışlıdır. Kutu diyagramı, veri için çeyreklere dayalı grafiksel gösterimlerdir.

2.2.5. Faktör Analizi

Faktör analizi, aynı yapıyı ölçen çok sayıda değişkenden, az sayıda ve tanımlanabilir nitelikte anlamlı değişkenler elde etmeye yönelik çok değişkenli bir istatistiktir.

Jeokimyada çok sayıda elementlerin birbirine benzer davranış sergileyenlerinin ve/veya benzer koşullardan benzer şekilde etkilenen elementlerin belirlenmesi, bu şekilde çok sayıda verinin değerlendirilmesini kolaylaştırmaktadır. Faktör analizininin yürütülmesinde şu yöntemler izlenir. İlk yöntemde verilerin, faktör analizi için uygunluğunun değerlendirilmesi durumu incelenir. Böylece verilerin faktör analizi için uygun olup olmadığına örneklem büyüklüğü ve değişkenlerarasındaki ilişki gücü durumu incelenir. Değişkenler arasında korelasyon katsayıları daha az güvenilir ve örneklemden örnekleme değişme eğilimindedir. Ayrıca verilerin faktör analizinin uygunluğunun değerlendirmesine yardımcı olacak iki adet istatistik yöntemi izlenir. Bunlar Bartlett testi (Bartlett, 1954) ve Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterliliği ölçümüdür (Bartlett, 1970, 1974). Faktör analizinin uygun olması için Bartlett testinin 0,5 ten büyük olması gerekir. KMO endeksi 0 ile 1 arasında değişir ve 0.6 iyi bir faktör analizi için minimum değer olarak kabul edilir (Tabachnick ve Fidell 2013). İkinci yöntemde en yaygın olarak kullanılan yaklaşım temel bileşen analizidir. Değişkenler arasındaki temel ilişkiyi en iyi tanımlayan faktörlerin sayısına karar vermek öznelidir. Bu durum, birbiri ile çatışan iki gereksinim arasında denge kurmayı gerektirir. Mümkün olan en az faktör ile basit bir çözüm bulma gereksinimi ve orijinal veri seti ile mümkün olan en fazla varyans açıklama gereksimine ihtiyaç duyulur. Üçüncü yöntemde faktörlerin sayısı faktörlerin sayısı belirlendikten sonra, atılacak adım onların yorumlanması ile değerlendirilir. Bu sürece yardımcı olması için, faktörler “döndürülür”. Bu işlem, temelde yatan çözümü değiştirmez; daha ziyade yüklerin örüntüsünü daha basit bir biçimde sunar. IBM SPSS Statistics 22 vb. istatistik yazılımlarıyla, faktörlerin her birini adlandırılmaz veya yorumlanamaz. Sadece hangi değişkenlerin “bir arada kümelendiğini” gösterilir. Değişkenlerin içeriği ile ilgili sahip olduğumuz bilgilerle yapılacak olası yorumlar öznel olarak değişir.

2.2.6. Normalite Testi

Normallik (normalite) testi elimizde olan verilerin normal dağılıma uyub uymadığını kontrol etmemize yardımcı olur. Bilindiği üzere veriler normal dağılım, poisson dağılım, binom dağılım ve başka dağılımlar göstermektedirler. Fakat, bu dağılımlardan en önemlisi normal dağılımdır. Normal dağılımın önemli olmasına sebep parametrik testlerin uygulanması için verilerin normal dağılması gerektiğidir.

Normal dağılımın en başlıca iki belirleyici unsuru (momentleri) vardır. Bunlar ortalama ve varyans yöntemidir.

2.2.7. Eşik Değer Hesaplaması Metotları

Eşik değer, veri setindeki değerlere göre hesaplanan ve veri setinin başlangıç sınırı olarak kabul edilen değere eşik değer denilmektedir. Tez kapsamında farklı eşik değer hesaplama yöntemleri kullanılarak elde edilen eşik değerler karşılaştırılmıştır. Yaygın olarak kullanılan eşik değer hesaplama metotları; aritmetik ortalama \pm 2 standart sapma ($O\pm 2ss$), geometrik ortalama ± 2 standart sapma ($GeO\pm 2ss$), harmonik ortalama ± 2 standart sapma ($HO\pm 2ss$), medyan ± 2 medyan mutlak sapma ($M\pm MMS$), konsantrasyon-sayı (C-N) ve konsantrasyon-alan (C-A) metotları yaygın eşik değer hesaplama yöntemleridir.

2.2.7.1. Ortalama \pm 2 Standart Sapma

Ortalama ± 2 standart sapma, elde edilen verilerin bir örnek ile, veri değerlerinin diğer değerler üzerinde incelenmesi için kullanılan bir metottur. Matematiksel olarak, bir ana veri dağılımı için standart sapma σ (eski Yunan harfi olan küçük sigma) ile gösterilir; örnek olarak verilen verileri için standart sapma için ise s veya s' (anakütle σ değeri için kesme işareti kullanılır). Ortalama standart sapma veri değerlerinin aritmetik ortalamaların karelerinin toplamının “veri sayısı -1”e bölünmesi ile elde edilen verinin kareköküdür. Diğer bir ifade ile verilerin ortalamadan sapmalarının kareler ortalamasının karekökü olarak tanımlanabilir.

2.2.7.2. Geometrik Ortalama ± 2 Standart Sapma

İstatistiksel çalışmalarda yapılan gözlem sonuçları neticesi ile oransal (nispî) farkların mutlak farklardan daha önemli olduğu durumlarda geometrik ortalama yöntemine başvurulur. Bir veri setinde bulunan n adet elemanın çarpımının n nci dereceden kökünün alınmasıyla elde edilir.

$$G = \sqrt[n]{x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n}$$

Geometrik ortamının formülüne bakıldığında hesaplama zorluğu olduğundan dolayı logaritmik yöntem kullanılır. Genellikle basit veriler için kullanışlı olup negatif veriler için kullanışlı değildir.

2.2.7.3. Medyan ± 2 Medyan Mutlak Sapma

Jeokimya verileri için genelde karşılaşılan problemlerden birisi dönüşümler için bir çok metodun denenmesine rağmen ideal dağılımlara her zaman ulaşılamamasıdır. Bu durumlarda özellikle uç değerlerinin etkisini azaltmak için eşik değeri hesabında kullanılan yöntemlerden biri medyan mutlak sapma (MMS) değerinin tespit edilerek klasik metotlarda tercih edilen (ortalama ± 2 standard sapma; geometrik ortalama ± 2 standard sapma vb) eşik değeri (ED) hesabına benzer şekilde ED hesabının yapılmasıdır [(medyan ± 2 MMS, (M+2MMS)]. Medyan (M) ve MMS'nin ED hesabında kullanılmasının sebebi uç değerlere ve sapmalara karşı daha az etkilenme göstermesinden kaynaklanır (Tume vd., 2011). Medyan ve MSS verilerinden elde edilen eşik değeri verileri kullanılarak elde edilen element dağılım/anomali haritaları genellikle daha gerçekçi ve daha tatmin edici sonuçlar vermektedir (Reiman vd., 2005).

2.2.7.4. Konsantrasyon-Sayı (C-N) Metodu

Konsantrasyon-Sayı Fraktal Yöntemi (C-N), Mandelbrot (1983) tarafından ortaya atılmış ve Hasanpour ve Afzal (2013) tarafından farklı şekilde meydana gelen işlemleri gruplandırabilmek amacıyla yapılmıştır. Agterberg (1995) ve Monecke (2005) bu çalışmayı jeolojide ve jeostatistikte kullanmak üzere geliştirmişlerdir.

Hesaplama ile ilgili detaylı bilgi Deng vd., (2010); Mandelbrot, (1983); Sadeghi vd., (2012a)'te bulunabilir. Hesaplama formülü kısaca aşağıda verilmiştir.

$$N(\geq \rho) \propto \rho^{-\beta} \rho^{-\beta}$$

Bu formüle göre β fraktal değeri; ρ element konsantrasyon değerini; N ise, ρ 'ya büyük veya eşit konsantrasyon değerine ait numunelerin adedini belirtmektedir. Formüle göre, her bir değer için fazla değerlerdeki konsantrasyon ve sayısal değerleri aralarında ters orantı söz konusudur. C-N yönteminin avantajı, ham veri kullanılmasıdır. Bu nedenle hızlı ve etkin bir şekilde yorumlama sağlamaktadır.

2.2.7.5. Konstrasyon-Alan Fraktal Yöntemi (C-A)

Konstrasyon-Alan Fraktal Yöntemi (C-A), Cheng vd. (1994) tarafından, Kanada'nın Kuzeybatısında bulunan British Columbia bölgesindeki porfiri bakırı maden bölgesinde yaptığı çalışmalarla kullanılmıştır. C-A yöntemi, elementlere ait konstrasyon değeri ile alanı arasındaki ilişki dikkate alınarak hesap edilir. Diğer bir ifade ile, elementlerin konstrasyonları ile bunların alanları arasında ters bir orantı bulunmaktadır (Cheng vd., 1994). Bundan dolayı, element konstrasyonları arttıkça, elementin alanı azalır. C-A yöntemine ait formül aşağıda özetlenmiştir.

$$A(\rho \leq \rho \leq v) \propto \rho^{-a_1} \propto \rho^{-a_1} \quad A\rho(\rho \geq \rho \leq v) \\ \propto \rho^{-a_2} \propto \rho^{-a_2}$$

C-A yöntemi formülüne göre a: fraktal değeri, ρ : Elementin konstrasyonunu; A ise, ρ 'dan küçük veya eşit ve ρ 'dan büyük veya eşit element konstrasyon değerlerinin alanını gösterir.

Tez kapsamında, aritmetik ortalama, geometrik ortalama, medyan ve C-N metotları kullanılarak eşik değeri hesaplamaları yapılmış ve birbirlerini karşılaştırılmışlardır.

2.3. Jeostatistiksel Yöntemler

Maden yataklarının değerlendirme yöntemleri iki kısımda incelenebilir. Bunlar jeostatistiksel yöntemler ve alansal geometrik yöntemlerdir. Geometrik yöntemlerde değişkenler arasında tenör, uzaklık, kalınlık gibi değerler gelişigüzel yer alabilir ve aralarında bir ilişki olmadığı kabul edilir. Üçgen, çokgen, kesit ve kesit blok yöntemi geometrik yöntemler arasında yer alır. Jeostatistiksel yöntemlerde numuneler arasında mesafeye bağlı korelasyon aranmaktadır. Genellikle birbirine mesafe olarak daha yakın noktaların ölçülen değerleri de birbirlerine yakındır. Bölgesel değişkenler mantığına dayanan bu yöntem ile bir bölgede örneklenmiş noktalara ait değerler kullanılarak kestirim adı verilen hesaplamalar ile örneklenmemiş noktalara ait veriler elde edilir. Bir maden yatağının ekonomik olarak işletilebilmesi için tenör ve rezerv hesaplarının doğru yapılması gerekmektedir. Alınan toprak numuneleri ile elde edilen analiz sonuçları bize jeostatistiksel yöntemlerle antimonit ve ilişkili olan elementlerin dağılım-yönelim hususunda haritaların yapılması ve cevherleşmenin yorumlanabilmesine yardımcı olur.

Alansal jeoistatistiksel yöntemlere aşağıda kısaca değinilmiştir.

2.3.1. Variyogram

Variyogram, uzaklığa ve yöne bağlı olan ilişki fonksiyonudur. Konumsal verilere ait yapısal karakteristiğin analizi ve alansal korelasyon derecesini tanımlayabilmek için kullanılır. Krigleme yönteminin de temelini oluşturmaktadır. Bölgesel değişkenlere ait değerler yalnızca ilgili bölgenin örneklenmiş noktalarında belirlidir. Örneklenmeyen noktaları ise tahmin yöntemi gerekmektedir. Bilinmeyen değerlerin, bilinen noktalara ait değerler yardımıyla hesaplanması yöntemine kestirim denir.

2.3.1.1. Variyogram Fonksiyonu

Variyogram Fonksiyonu Rastlantısal değişkenin değerleri arasındaki farkın varyansı olarak

$$2\gamma(h) = \text{Var} [Z(x) - Z(x+h)]$$

Buradan

$2\gamma(h)$: varyogram fonksiyonu

$Z(x)$: x noktasındaki rastlantısal değişkenin değeri

$Z(x+h)$: x noktasından h uzaklıktaki rastlantısal değişkenin değeri

Variyogram bölgesel değişkenler hakkında bilgi verir.

Bir cevherleşmede incelenen bölgesel değişkenlerin izotropluğu, homojenliği, düzenliliği ve etki mesafesi türü bilgiler varyogram fonksiyonu ile olarak belirlenebilir. Örneğin iki boyutlu veriler üzerinde K-G (0°), KB-GD (45°), D-B (90°) ve KD-GB (135°) olma küzere 4 ana yönde hesaplama yapılabilir. Variyogram yönlere göre değişiklik göstermiyorsa bölgesel değişken izotropdur denir. Bölgesel değişkenlerin düzenliliği ve sürekliliği varyogramın genel davranışına bağlıdır. Variyogramın fonksiyonunun temel özellikleri şu şekildedir: Uzaklığın sıfır olduğu ($h=0$) durumlarda varyogram da sıfıra eşittir $\gamma(0) = 0$. Variyogram fonksiyonu, iki rastlantısal değişkenin arasındaki farkın varyansı olduğundan negatif değer olmaz. Eğer ifade negatif hesaplanıyorsa seçilen varyogram fonksiyonunun uygun olmadığı anlamına gelmektedir.

$$\gamma(h) \geq 0$$

Variyogram fonksiyonu simetrik özellik göstermektedir.

$$\gamma(h) \geq \gamma(-h)$$

2.3.2. Verilerin Modellenmesi ve Modellerin Geçerliliği

Variyogram, adım uzaklığı (lag) olarak adlandırılan birim uzaklık ve bunun katları için hesaplanmaktadır. Örnekler rastgele bir dağılıma sahipse, örnekler arası ortalama uzaklık adım uzaklığı olarak alınır. Ortalama uzaklık değeri, seçili örneklerin bulunduğu toplam alanın, örnek sayısına bölümünün karekökü alınarak hesaplanır. Adım uzaklığı için kullanılacak tolerans ise adım uzaklığının en fazla yarısı kadar olacak şekilde alınmaktadır. Bu şekilde düşey ekseninde varyogram grafikleri çizilerek bölgenin anizotropisi incelenmiştir. İnceleme alanındaki anomalilerdeki anizotropinin belirlenmesi için varyogramlar 45° aralıklarla hesaplanmıştır. Yapısal uzaklık değeri (a) varyogramın hesaplandığı yöne göre değişkenlik göstermiyorsa varyogram izotropiktir. Yapısal uzaklık değeri yöne göre değişim gösteriyorsa geometrik anizotropi; yapısal uzaklık değeri sabit kalıyor ise yalnızca eşik değeri (C) değişiyorsa zonal anizotropi vardır denir. Verilerin Modelendirilmesi için ArcGIS v.10.5 yazılımı kullanılmıştır.

2.3.3. Krigleme

Bir numuneye ait tahmini değer, bu örneğin çevresinde bulunan ve değeri bilinen örneklerden yararlanılarak kestirilmesini amaçlayan yöntemlerden biri de krigleme'dir. Bu yöntemle, değeri bilinen numunelerin değerlerinin doğrusal kombinasyonu yöntemi ile bilinmeyen değerler hesaplanabilmektedir.

Hata varyansını hesaplayan eşitlik koşulunun kullanılmasıyla enterpolasyon için en doğru denklem sisteminin oluşturulmasını sağlayan doğrusal denklem sistemidir. Bu hesaplama sırasında krigleme varyansı ile belirsizlik değerleri, kestirim hataları ve her blok üzerindeki güvenilirlik derecesi de elde edilmektedir.

2.3.4. Ters Mesafe Ağırlıklandırma Metodu

Elementlerin dağılım haritalarının oluşturulması işleminde olasılık durumları dışındaki deterministik modeller için en bilineni Ters Mesafe Ağırlıklandırma Metodu

(TMA) Inverse Distance Weighting (TMA)'dir. TMA enterpolasyon modeli en eski mekansal tahmin (spatial prediction) metodudur (Shepard, 1968). Bu metot diğer yöntemlere göre en kolay deterministik enterpolasyon yöntemidir. Model parametreleri gerçekleştirmekle ilgili birden fazla karar verme yöntemi vardır. Enterpolasyona tabi tutulmuş yüzeyler hakkında çabuk ve kolay bilgi avantajı sağlamaktadır. Kolay ve hızlı kullanım sebebiyle tercih edilmektedir. Ölçülmemiş herhangi bir noktadaki değeri tahmin etmek için, TMA tahmin edilmek istenen noktanın yakınındaki ölçülmüş değerleri kullanır. Değeri bulunmak istenen noktaya en yakın ölçülmüş değerlerin etkisi, araştırılan noktaya uzak olanlara göre daha etkindir. TMA metodunun temeli coğrafya'da Waldo Tobler'in ilk yasası (Tobler, 1970) olan "*Herşey diğer herşey ile ilişkilidir, fakat yakın olanlar uzak olanlara göre daha ilişkilidir.*" prensibinden ilham almıştır. Bu yüzden birbirine daha yakın olan noktalardan büyük ağırlıklar elde edilir ve uzak olan noktalardan ise küçük ağırlıklar elde edilir. Bir kaç (TMA) metodu olmasına rağmen en çok bilinen "Shaperd's Metodu"dur. TMA metodunun hesaplanmasında "p- üssü" değer (power function) yer almaktadır. TMA'da üs değeri artıka uzak noktalara gittikçe daha az etki söz konusudur. TMA'da sık ve eşit ağırlıkta örnek alım noktaları söz konusu olduğunda iyi sonuçlar vermekle beraber, incelenen ortamla ilgili karmaşık ilişkiler söz konusu olduğunda elde edilen sonuçlar her zaman isabetli olmayacaktır.

Çalışma sahasında örnek alım noktalarının sık ve eşit/eşite yakın olması da dikkate alınarak p-üssü değeri 2 olarak alınmıştır. ArcGIS v.10.5 paket programıyla Ters Mesafeledirme Metodu kullanılarak element dağılım haritaları oluşturulmuştur. Krigleme Ters Mesafeledirme Metodu karşılaştırılması amacıyla birlikte kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Bölgesel Jeoloji

İlk olarak Hamilton (1842) tarafından kullanılan Karadeniz Tektonik Birliği (KTB) olarak bilinen yaygın ismiyle Pontid Tektonik Birlikleri, Ketin ve Canitez (1972) tarafından Karadeniz Dağlarını (Pontidler) dikkate alarak ‘Doğu Karadeniz-Doğu Pontid’ ve ‘Batı Karadeniz-Batı Pontid’ olmak üzere iki sınıfta incelemiştir. Doğu Karadeniz Bölümü’ndeki kayaçlar (Geç Kretase yaşlı), kuzey ve güney kesimlerde değişiklikler gösterdikleri için güney (iç) ve kuzey (dış) bölgelere ayrılmıştır (Gedikoğlu vd., 1979; Özsayar vd., 1981). Bektaş ve Güven (1995) Doğu Karadeniz magmatik yayını değişik magmatizma, tektonizma ve sedimantolojik periyotlara göre göre kuzeyden güneye doğru kuzey zon, güney zon ve eksen zonu olmak üzere üç alt sınıfa ayrılmaktadır.

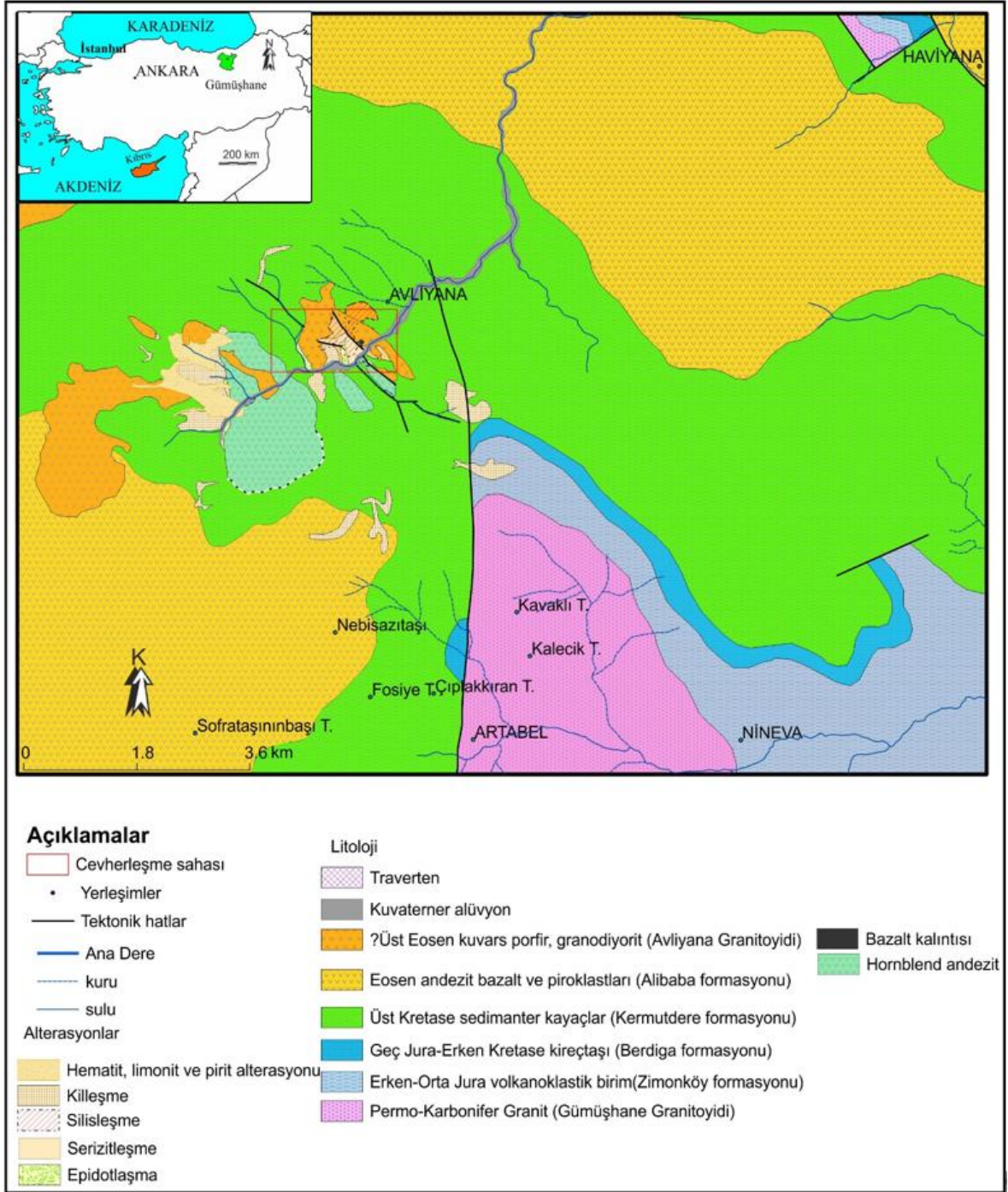
Bölgede temel kayaçları Gümüşhane ilinin güney kesiminde bulunan esas olarak gnays ve biyotit şistten oluşan ve DKD-BGB yönünde uzanan Paleozoik yaşlı Pulur Metamorfikleri oluşturur. Bu metamorfik kayaçlar DKTB’in Güney Zonu’nda yaygın olarak gözlenirken, Kuzey Zon’da seyrek olarak gözlenir. Topuz vd. (2010) metamorfiklerin yaşlarının U-Pb, Ar-Ar ve Rb-Sr yöntemleriyle 260 ve 330 milyon yıl olduğunu tespit etmişlerdir. Temeli oluşturan bu metamorfikler, başlıca granodiyorit, kuvarslı mikrodiorit, granit ve dasitlerden oluşan Gümüşhane Plütону (Yılmaz, 1972; Çoğulu, 1975; Topuz vd., 2010) ve Köse Kompozit Plütону (Dokuz, 2011) olarak adlandırılan Erken-Geç Karbonifer yaşlı granitik sokulumlarla kesilmiştir. Gümüşhane Plütону, Köse Plütону büyük kütleler halinde gözlenirken, bu kütleler Kuzey Zon’da daha küçük yüzeylemeler halinde gözlenirler. Tabandaki metamorfik ve granitik kayaçlar, bazen spilitik karakterli lavlar, çört, dasidik tuf ve kumtaşı içeren bazaltik kayaçlardan oluşan Alt Jura- Lias yaşlı Zimonköy-Şenköy Formasyonu (Kandemir, 2004) tarafından uyumsuz olarak örtülürler. Zimonköy Formasyonunu uyumlu olarak Pelin (1977) tarafından Berdiga Formasyonu olarak adlandırılan Geç Jura-Erken Kretase yaşlı, genelde bölgenin güney kesiminde yayılım gösteren grimsi beyaz ve beyaz renkte, çoğunlukla masif tabakalı ve dolomitik özellikteki birim öter. Bu birim, tüm DKTB’nde geniş alanlarda yüzeyleme veren, bol fosilli, sığ denizel kireçtaşları, dolomitler ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan tipik bir karbonat çökelim serisi ürünüdürler (Taslı, 1990). Berdiga Formasyonunun üzerine

uyumlu olarak Kermutdere Formasyonu gelir (Eren, 1983).

Kermutdere Formasyonunun büyük bir kısmını oluşturan alt üyesi kalkerli silt taşları içeren, çok faylı, filiş karakterli ve fosilli tortul bir birimdir. Alt kesimlerinde bazaltlardan oluşmasına karşın üste doğru andezitik kayalara, breşik lav, aglomera, lapilli tuf ve orta-ince taneli tüflere geçiş gösterir. Bu birimler, geç Kretase intrüzyonları (Kaygusuz vd., 2008; Kaygusuz vd., 2009; Kaygusuz vd., 2010) tarafından kesilirler. Üst Kretase birimleri Gümüşhane yöresinde Alibaba Formasyonu (Tokel, 1972), olarak adlandırılan volkano-tortul birim tarafından uyumsuz olarak örtülür. Gümüşhane ve yakın yöresinde, tabanda yersel olarak konglomeralar, kumtaşı ve tüfit ara katkılı nummulitli kireçtaşları ile başlayarak, üst seviyelere doğru andezit ve piroklastikleri ile devam eden birim yer yer aşınmış olarak bulunan kireçtaşı, kumtaşı, marn tuf aralanması ile son bulmaktadır (Aliyazıcıoğlu, 1999). Stratigrafik, paleontolojik ve jeokimyasal bulgulara dayanılarak birim Eosen olarak yaşlandırılmıştır (Aliyazıcıoğlu, 1999; Arslan ve Aliyazıcıoğlu, 2001). Bu birimler yine aynı yaşlı intrüzif kayalar tarafından kesilir (Karşlı vd., 2010; Eyüboğlu vd., 2011). Yöredeki en genç kayalar traverten, taraça ve alüvyonlardan oluşur.

3.2. Çalışma Sahası Jeolojisi

İnceleme alanı DKTB'nin Kuzey-Güney Zonu geçişine yakın Güney Zon içinde yer almaktadır. Yörede, Paleozoyik'ten Tersiyer sonuna kadar değişik yaşta ve farklı litolojide birimler yüzeyleme vermektedir. İnceleme alanındaki en yaşlı birimleri Permo-Karbonifer yaşlı granitler oluşturur (Gümüşhane Granitoyidi). Bu taban kayaları Erken-Orta Jura yaşlı volkano-tortul kayalar (Zimonköy Formasyonu) tarafından aşınma uyumsuzluğu ile üzerlenir. Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu bu birimler üzerine uyumlu olarak gelirler. Üst Kretase yaşlı kayalar Kermutdere formasyonu ile temsil edilirler. Bu formasyon tabanda kumlu kireçtaşları ile başlamakta, şarap kırmızısı renkli kırmızı kireçtaşları ile devam etmekte ve volkano-tortul seriler ile son bulmaktadır. Eosen yaşlı Alibaba formasyonu, Kretase yaşlı birimler üzerine uyumsuz şekilde gelmekte olup, andezit ve piroklastitler ile ara katkılı tortullardan oluşurlar. Tüm bu birimler Lutesiyen (44 ± 0.2 My) yaşlı Gümüştüğ Granitoyidi (Vural, 2016. tarafından Avliyana Granitoyidi olarak adlandırılmıştır) tarafından kesilmişlerdir (Şekil 7.1). İnceleme alanının en genç birimi Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve güncel travertenlerdir.



Şekil 3.1. Çalışma sahasının jeoloji haritası (Güven 1993 ve Vural 2016' dan değiştirilmiştir) ve sahada gelişmiş alterasyon alanları

3.2.1. Gümüşhane Granitoyidi

İnceleme alanının en yaşlı kayaları olup, ilk olarak Yılmaz (1972) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiş ve tanımlanmıştır. Permo-Karbonifer yaşlı "Gümüşhane

plütönu” olarak bilinen plütönik kayaların üyesini oluşturur ve ağırlıklı olarak granit bileşimli kayalardan oluşurlar. Gümüşhane Granitoidini oluşturan granitler inceleme alanında yaklaşık 2 km²’lik bir alanda yayılım göstermektedir (Şekil 7.1). İnceleme alanın güney-güneydoğusunda Artabel, Çıplakkıran Tepe, Kayaklı Tepe ve Nineva (Gülaçar) arasında gözlenir. Çevre kayalarla tektonik ilişkileri özellikle Artabel köyü ve Çıplakkıran Tepesi mevkiinde izlenmektedir. Bu mevkiide K-G yönlü olarak gözlenen büyük tektonik hat Gümüştuğ köyüne kadar yaklaşık 8 km’lik bir uzunluğa sahiptir. Bazı mevkilerde, çok kırıklı ve çatlaklı yapıların varlığı gözlenmiştir. Yer yer yoğun arenalaşmalara özellikle Artabel köyü yakın çevresi ve doğusunda rastlanır. Makroskobik olarak iri ortoklas, kuvars, ferromagnezyen mineraller ve daha az oranda plajiyoklas mineralleri tanınabilmektedir.

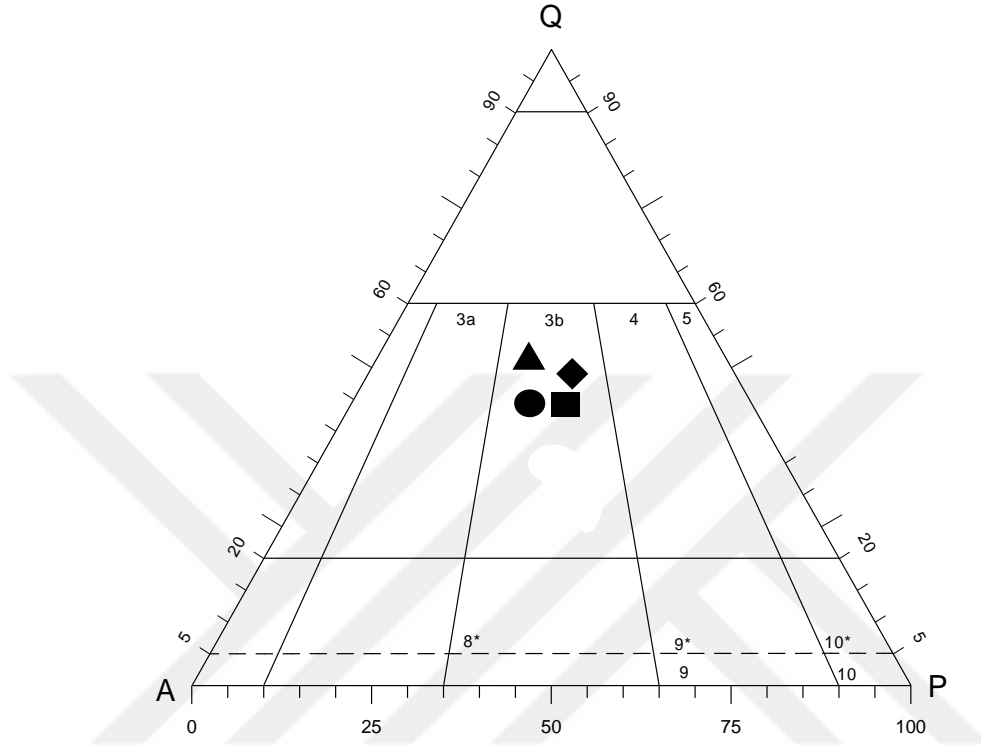
İnceleme alanındaki granitlere ait 4 adet örneğin modal analizleri (Tablo 3.1.) yapılmış olup, QAP diyagramına aktarıldığında (Şekil 3.2), granit bileşimli kayalardan oluştuğu görülmüştür.

Tablo 3.1. Gümüşhane granitine ait kayaların petrografik özellikleri ve modal analiz değerleri.

Plütön	Gümüşhane Graniti			
	Kayaç birimleri	Granit	Granit	Granit
Örnek No/Sembol	BC1 ■	BC2 ●	BC3 ▲	BC3 ◆
Tane Boyu	Orta-iri	Orta-iri	Orta-iri	
Modal min. (%)				
Plajiyoklas	34.46	33.27	33.28	34.42
Kuvars	30.57	31.98	29.42	34.45
Ortoklas	29.45	28.72	27.87	24.9
Biyotit	1.30	3.10	4.10	3.30
Muskovit	0.25	0.54	0.34	0.34
Opak mineraller	1.10	1.10	2.72	1.84
Epidot		0.15		0.17
Kalsit			1.20	1.32
Toplam	97.13	98.86	98.93	100.74

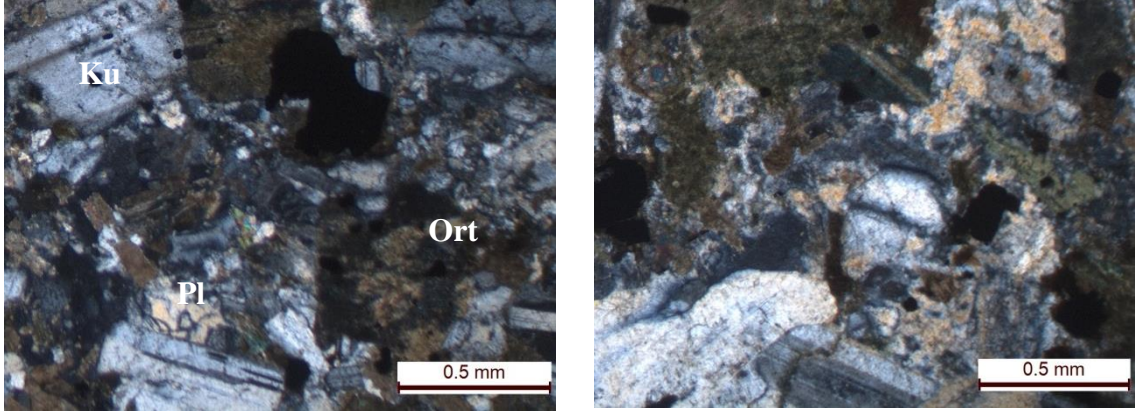
Mikroskopik incelemelerde, tüm kristalli, orta-iri taneli, poikilitik, yer yer de mikrografik doku gösteren granitler; plajiyoklas (% 33.27-34.46), kuvars (% 29.42-34.45),

ortoklas (% 24.90-29.45), biyotit (% 1.30-4.10), muskovit (% 0.25-0.54) ve opak minerallerinden (% 1.10-2.72) oluşmaktadır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Gümüşhane granitine ait kayaç örneklerinin QAP diyagramındaki konumları (Streckeisen, 1976).

İri ve yarı öz şekilli ortoklasların bazılarında karlspad ikizi, bazılarında da pertitik yapı gözlenir. Bazı kesitlerde iri ortoklas kristalleri, daha küçük plajiyoklas, biyotit ve opak minerallerini içlerine alarak poikilitik doku oluştururlar. Plajiyoklaslar öz ve yarı öz şekilli iri kristaller şeklindedir. Polisentetik ikizlenme gösterirler. Bazıları zonlu yapıdadır. Albit ikizi gösteren kristallerin (010)'a dik kesitlerinde yapılan cins tayinlerine göre bileşimlerinin andezin (An_{34-38}) olduğu belirlenmiştir. Kuvarlar iri, yarı öz ve öz şekilsiz kristaller halinde ve kısmen korrode olmuştur. Dalgalı sönme görülür. Biyotitler yarı özşekilli kristaller şeklinde ve genelde kloritleşmiş olup, kloritleşmeden dolayı yeşilimsi pleokroizma gösterirler. Kloritleşmeyle birlikte az miktarda da opak mineral gelişimleri vardır. Muskovitler az oranda ve küçük kristaller halinde bulunurlar. Değişen boyutlarda ve öz şekilsiz opak mineraller gözlenir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Gümüşhane granitini oluşturan kayalara ait mikroskobik görünüşleri. a) Örneklerde gözlenen orta-iri taneli doku, b) İri ortoklas minerali içinde küçük plajiyoklas kristalleri (Ç.N., Pl: Plajiyoklas, Ku: Kuvars, Ort: Ortoklas)

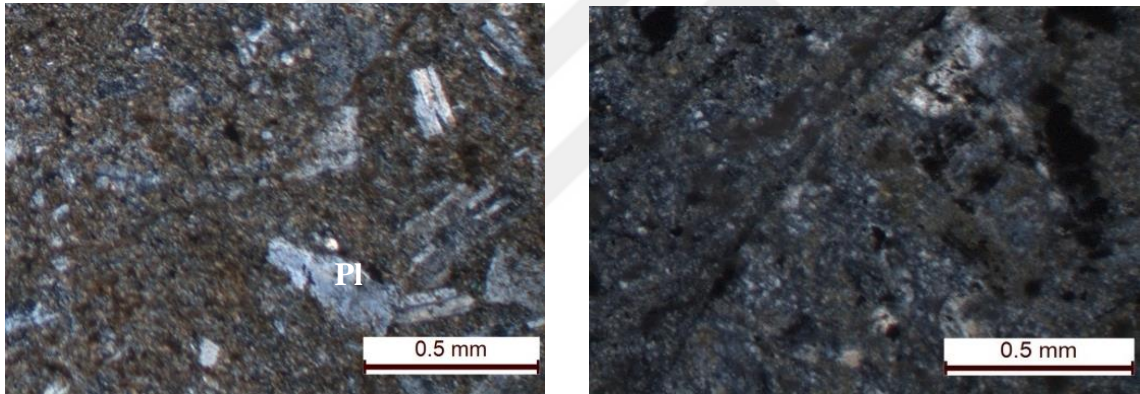
3.2.2. Zimonköy Formasyonu

Zimonköy Formasyonu Permo-Karbonifer yaşlı granitler üzerine Erken-Orta Jura yaşlı volkano-tortul kayalar aşınma uyumsuzluğu ile gelirler. Eren (1983) bu birimin Gümüşhane Granitoidi üzerine uyumsuzlukla yerleştiğini belirlemiş ve bu birimi Zimonköy Formasyonu olarak adlandırmıştır. Birimi oluşturan kayalar genelde bazalt bileşiminde olup, bazı kısımlarda piroklastik kayalarda gözlenir. Bazalt ve spilitik bazaltlar, inceleme alanında dar bir alanda Nineva köyü ve yakın çevresinde, köyün doğu ve kuzey batı kesimlerinde, ayrıca çalışma sahasının kuzedoğusunda Haviyana köyü ve yakın çevresinde, ayrıca Gümüştüğ köyü ve antimonit cevherleşme sahasına giden yol güzergahında kuzeybatı kesimlerde yüzeylenirler. Bazaltlar, koyu gri, siyah, ayrılmış kısımlarda mor renkli, spilitik bazaltlar ise koyu yeşil renklidirler. Çok fazla ayrılmış ve kırılmış olarak görülürler. Yer yer boşluklu yapıda olup, boşluklar ikincil kalsit, klorit, epidot ve silis ile doldurulmuştur. Bazı kesimlerde demir oksit boyamaları görülür. Makroskobik olarak plajiyoklas mineralleri tanınabilmektedir. Bazalt ve spilitik bazaltların mikroskobik incelemelerinde entersental, amigdoidal ve kısmen de flüidal doku gözlenmektedir. Plajiyoklaslar öz ve yarı öz şekilli levhamsı iri kristaller, hamurda da mikrolitler halinde bulunur. İri kristal oranı azdır. İri kristaller albit ve polisentetik ikizlenmesi, küçük kristaller ise albit ikizlenmesi gösterir. Bazı plajiyoklaslarda zonlu yapı görülmektedir. En yaygın bozuşma ürünlerini kalsit ve serizit oluşturur. Piroksenler genellikle yarı öz şekilli küçük kristaller halinde bulunur. Genellikle renksiz veya çok açık

yeşil renktedir. (010) yüzeyine paralel kesitlerde maksimum sönme açıları yaklaşık 41 ila 44 derece arasında değişmektedir. Genellikle klorit ve kalsite ayrılmıştır ve kenar kısımlarında opak mineraller gelişmiştir.

Hornblend birkaç kesitte görülür ve diğer ferromagnezyen minerallere oranla daha az olarak bulunur. Genellikle yarı öz şekilli küçük prizmatik kristaller halindedir.

(001) yüzeyine paralel dilinim belirgin ve bu dilinime göre paralel sönmelidir. Dilinim ve kenarları boyunca klorit ve opak minerallere dönüşmüş olarak görülür. Opak mineraller, hem ojit ve hornblendin kenar kısımları boyunca, hem de hamurda köşeli, yuvarlaklaşmış taneler halinde bol miktarda bulunur. İkincil mineraller kalsit, serizit, klorit ve epidot minerallerinden oluşurlar. Ayrışma ürünü ve çatlak dolgusu şeklinde ikincil olarak gelişmişlerdir. Hamur plajiyoklas, ojit, hornblend ve opak minerallerin mikro ve kripto kristallerinden oluşmaktadır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Liyas volkanitlerini oluşturan kayalara ait mikroskopik görünüşleri. a) Mikrolitik doku, b) Mikrolitik porfirik doku (Ç.N., Pl: Plajiyoklas)

3.2.3. Berdiga Formasyonu

İnceleme alanındaki Erken-Orta Jura yaşlı volkano-tortul kayalar üzerine Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonuna ait kristalize kireçtaşları uyumlu olarak gelirler. Formasyon Pelin (1977) tarafından Alucra (Giresun) yöresinde tanımlanmıştır. Kireçtaşları gri beyaz renkli ve masif görünümlüdür. Genelde yer yer dolomitik, yer yer az kristalizedir. Çok kırıklı ve karstik yapı gösteren bu birim, tabanda ince tabakalı olmasına karşın genelde kalın tabakalıdır. Tabaka kalınlıkları 0.5-2 m arasında değişir. İnceleme alanında Zimonköy Formasyonu ile Kermutdere Formasyonu arasında ince bir seviye olarak Nineva Köyünün kuzeyinde ve Artabel Mahallesi hemen kuzeyinde daha küçük bir

alandayüzeylemektedir. Ayrıca antimonit ana cevherleşme sahasının güney yamaçlarında yer yer çakıl ve bloklar şeklinde haritalanmamış boyutlarda da rastlanmaktadır. Berdiga Formasyonundan alınan kristalize kireçtaşlarının mikroskobik incelemelerinde granoblastik dokuda oldukları, minerallerin büyük bir kısmının iri kalsit kristallerinden, az oranda da kuvars ve opak minerallerden oluştuğusaptanmıştır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. a) Çıplakkıran Tepesi ve yakın civarında küçük bir alanda yüzeyleyen Berdiga formasyonunun genel görünümü (KB'ya bakış) b) Berdiga formasyonu içindeki kristalize kireçtaşlarına ait mikroskobik görünüm

3.2.4. Kermutdere Formasyonu

Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu üzerine uyumsuz gelen Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu tabanda kumlu kireçtaşları ile başlamakta, şarap kırmızısı renkli kırmızı kireçtaşları ile devam etmekte ve volkano-tortul seriler ile son bulmaktadır. Bu birimlerin kalınlıkları 20 cm ile 1 metre arasında değişiklikler göstermektedir. Birim yer yer Gümüştüğ granitoyidi tarafından kesilmektedir. Kesme dokanaklarının olduğu kesimlerde hornfels gelişimi gözlenmekte ve silis getirimine bağlı olarak sert, dayanımlı bir yapı kazanmış olarak gözlenmektedir. Bu noktalarda ayrıca yoğun epidot gelişimlerine rastlanmaktadır (Şekil 3.6.). Birim çalışma sahasında oldukça geniş bir alanda yüzeylenmekte olup, Gümüştüğ köyü ve yakın çevresinde geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Ayrıca Fosiye Tepesi, Çıplakkıran Tepesi ve Haviyana Köyü ve yakın civarında yayılım gösterir. Kermutdere Formasyonuna ait farklı litolojik kesimlerinden örnekler alınmış ve mineralojik-petrografik tanımlamaları gerçekleştirilmiştir.



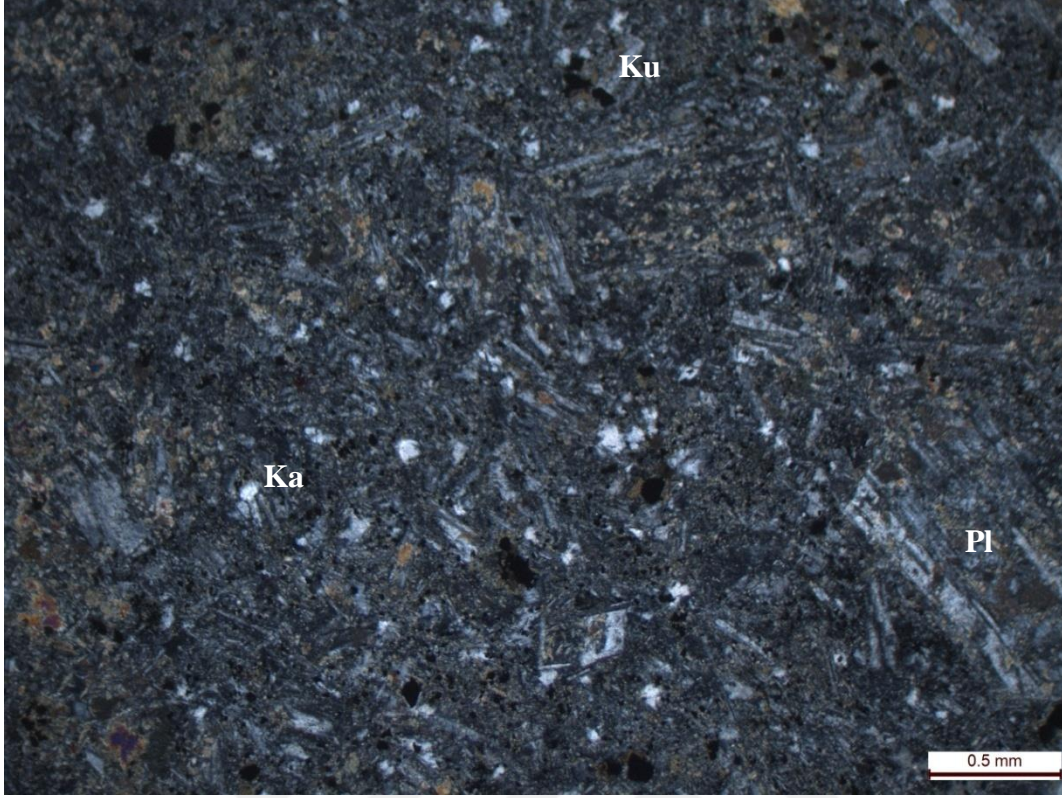
Şekil 3.6. Kermutdere Formasyonunu ile Gümüştüğ granitoyidi dokanağında hornfels gelişimi ve yoğun epidotlaşmalar

Kumlu kireçtaşları, genellikle açık sarı, bej renkte ve belirgin tabakalanmalı yapıda yüzeylenmektedir. Kalınlığı 4-20 m arasında değişmektedir. Mikroskobik incelemelerde kumlu kireçtaşlarından oluşan birimde, bileşenler köşeli taneler şeklindeki kuvars ve feldspat, genellikle ayrılmış ve kenar kısımları kloritlemiş biyotit, küçük taneler ve bazen de boyama şeklinde opak minerallerden oluşur. Volkanik kayaç parçaları genellikle yuvarlaklaşmış, az oranda da köşeli şekillidir. Matriks ise mikritden oluşur (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Açık sarı, bej renkte ve belirgin tabakalanma gösteren kumlu kireçtaşı b) Kermutdere Formasyonu içindeki kumlu kireçtaşlarına ait kuvars ve plajiyoklas mineralleri (Ç.N. Pl: Plajiyoklas, Ku: Kuvars, F: Feldspat, Ka: Kalsit)

Kumtaşları, genellikle bej renkte ve belirgin tabakalanmalıdır. Kalınlığı yaklaşık 50-55 m arasında değişmektedir. Mikroskobik incelemede bileşenler köşeli taneler şeklindeki kuvars ve feldspat, kayaç parçaları ve opak mineraller oluşturur. Kuvarlar, çoğunlukla monokristalin, daha az olarak da polikristalin olarak bulunurlar. Tek nikolde renksiz olup çift nikolde çift kırıcılığı düşüktür. Çoğunlukla köşeli ve yarı yuvarlaklaşmış olarak bulunmaktadır. Plajiyoklaslar, kuvarstan sonra en fazla bulunan mineraldir. Genellikle köşeli olarak bulunur ve çift nikolde polisentetik ikizlenme gösterir. Büyük oranda serizitleşmişlerdir. Volkanik kayaç parçası içermektedir. Opak mineraller, bol miktarda yarı yuvarlaklaşmış halde bulunurlar. Çimento kalsitten oluşur (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Kermutdere Formasyonun'dan alınan kumtaşı örneğinin mikroskobik görünümü (Pl: Plajiyoklas, Ku: Kuvars, Ka: Kalsit, Ç.N)

Volkanik Kayaçlar, çalışma sahasında, antimonit cevherleşmesinin geliştiği kesimde ve yakın çevresinde yüzeylemektedir (Şekil 3.9.). Birim Vural (2016) tarafından ayırt edilmiş olup, Kermutdere Formasyonu içinde Eosen (?) yaşlı dayklar tarafından kesilmektedir. Yer yer yoğun alterasyon göstermekte olup, antimonit cevherleşmesi kısmi olarak bu birim içinde de gelişmiştir. Cevherleşmenin dışında gözleendiği yerlerde de alterasyon gelişimi görülebilmektedir. Kayaç içinde yer yer silisleşme ve silis damarlarına da rastlanmaktadır. Kayaç içinde mikroskobik incelemede porfirik ve mikrolitik porfirik, kısımda kümülofirik doku gözlenmiştir. Ana mineralleri; plajiyoklas, hornblend, ojit, biyotit ve opak minerallerdir. Plajiyoklas, iri, çoğunlukla yarı öz şekilli levhamsı kristaller, hamurda da küçük kristaller halinde gözlenmektedir. İri kristaller genellikle zonlu yapı göstermekte olup, uygun minerallerde yapılan tür tespitinde (010'a dik kesit) An içeriğinin 33 ila 39 arasında değiştiği belirlenmiştir. Minerallerin bazılarında albit ikizi, bazılarında da polisentetik ikiz izlenmiştir. Sıklıkla görülen ayrışma ürünleri kalsit, klorit ve kil mineralleridir. Hornblend; iri, öz ve yarı öz şekilli prizmatik kristaller halinde, hamurda ise küçük kristaller halinde gözlenmiştir. Bazı mineraller plajiyoklas ve opak mineral

kapanımları içermektedir. Pleokroizma renkleri; kahverengimsi yeşil-yeşil-açık sarımsı yeşildir.

C eksenine ile birbirine dik olan kesitlerde birbirine yaklaşık 57 derecelik açılar yapan dilinimler net bir şekilde görülür. (010) yüzeyine paralel kesitlerde yaklaşık 23-25 derece arasında sönme açıları göstermektedir. Genelde kalsite ayrılmış ve kenar kısımlarda opak mineraller gelişmiştir. Ojit, genelde iri prizmatik kristaller halinde bazı kesitlerde görülmüştür. Biyotit az miktarda ve genellikle küçük prizmatik kristaller halinde sadece bazı kesitlerde görülmüştür. İkincil oluşan mineraller, kalsit, klorit, serizit ve epidot minerallerinden meydana gelmiştir. Epidot mineralleri yığın ve damarcıklar şeklinde görülmüştür. Kloritler yuvarlak şekillerdedir. Opak mineraller iri kristaller halinde ve dağınık olarak bulunur. Hamur, plajiyoklas, ojit, hornblend ve biyotit minerallerinin mikro ve kripto kristallerinden ve opak mineral tanelerinden oluşmuştur.



Şekil 3.9. Kermutdere içinde gözlenen volkanik kayaçlar.

3.2.5. Alibaba Formasyonu

İnceleme alanında kuzeydoğusunda Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu üzerine uyumsuz olarak Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu gelir. Bu kayaçlar ilk defa

Gümüşhane yöresinde Tokel (1972) tarafından tanımlanmıştır.

İnceleme alanında, Artabel Mahallesi'nin batısında, Sofrataşınbaşı Tepe ve yakın çevresinde, Gümüştüğ Köyü KD ve GB kesiminde, ayrıca Haviyana Köyü ve yakın civarında yayılım gösterirler. Alibaba Formasyonu başlıca andezit ve piroklastlarından oluşmakta olup (Şekil 3.10.) yer yer tortul ara seviyeler içerirler.



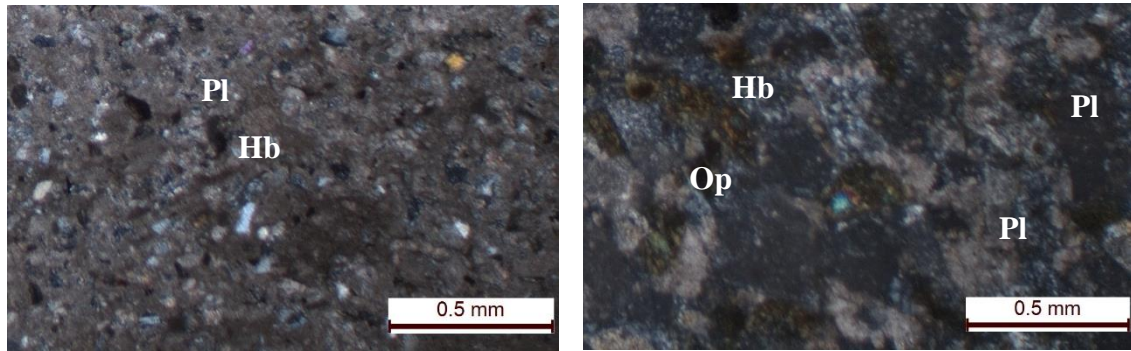
Şekil 3.10. Alibaba formasyonuna ait andezitler ve bu kayaç içinde yer yer gözlenen hematit ve silisleşmeler

Alibaba formasyonuna ait birimlerden alınan örneklerin mikroskobik incelenmeleri gerçekleştirilmiştir. Formasyon içindeki andezitler üzerinde yapılan mikroskobik çalışmalarda porfirik, mikrolitik porfirik, kısmende kümilofirik doku gözlenmektedir. Başlıca tespit edilen mineraller plajiyoklas, hornblend, ojit, biyotit ve opak minerallerden oluşurlar. Plajiyoklas, iri, öz ve yarı öz şekilli levhamsı kristaller, hamurda da küçük kristaller halinde bulunur. İri kristaller çoğunlukla zonlu bir yapı gösterir. Yapılan cins tayininde (010'a dik kesit) An içeriğinin 34 ila 37 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bazı minerallerde albit ikizi izlenirken, bazılarında da polisentetik ikizler görülür. En yaygın ayrışma ürünleri kalsit, klorit ve kil mineralleridir. Hornblend, iri öz ve yarı öz şekilli

prizmatik kristaller, hamurda da küçük kristaller halinde görülür.

Bazı mineraller plajiyoklas ve opak mineral inklüzyonları içermektedir. Pleokroizma renkleri; kahverengimsi yeşil-yeşil-açık sarımsı yeşildir.

C eksenine dik kesitlerde birbirine yaklaşık 57 derecelik açılar yapan dilinimler belirgin olarak görülmektedir. (010) yüzeyine paralel kesitlerde yaklaşık 23-25 derece arasında sönme açıları göstermektedir. Yoğun olarak kalsite dönüşmüş ve köşe ve kenara yakın bölümlerde opak mineraller gelişmiştir. Ojit, genelde iri prizmatik kristaller, hamurda ise küçük taneler halinde bazı kesitlerde izlenmiştir. (010) yüzeyine paralel kesitlerde sönme açıları yaklaşık 41-43 derece arasında değişir. Genellikle (100) ikizi belirgindir. C eksenine dik kesitlerde, birbirleri ile 90 derecelik açılar yapan birbirine dik dilinimler belirgindir. Bazı minerallerde de tek yönde dilinimler belirgindir. Biyotit, genellikle küçük prizmatik kristaller halindedir ve bazı kesitlerde görülür. (001) yüzeyine paralel dilinimler belirgin olup, bu dilinimlere göre dik sönmelidir. Pleokroizma kırmızımsı kahverengi-sarımsı kahverengidir. Opak mineraller, seyrek olarak ve küçük tane boyutları halinde ve dağınık halde bulunurlar. İkincil mineraller, kalsit, klorit, serizit ve epidot minerallerinden meydana gelir. Hamur, plajiyoklas, ojit, hornblend ve biyotit minerallerinin mikro ve kripto kristallerinden ve opak mineral tanelerinden oluşur (Şekil 3.11.).

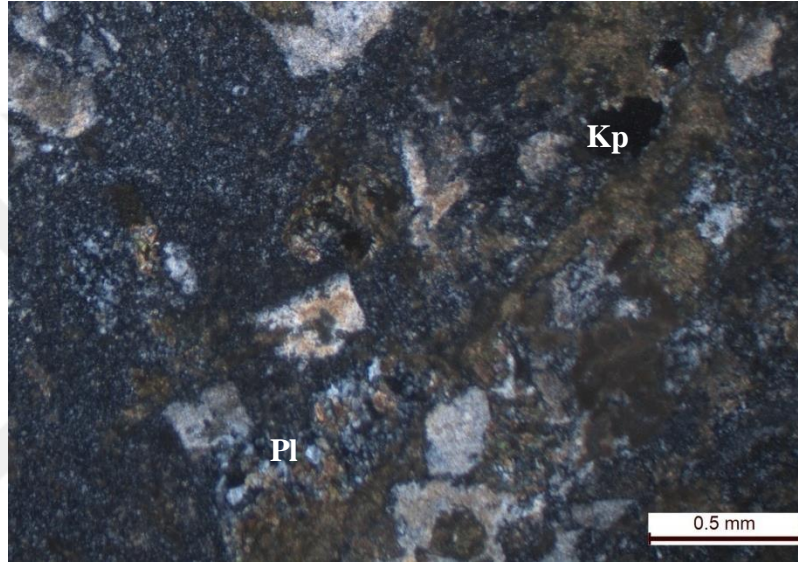


Şekil 3.11. Alibaba Formasyonu içindeki andezitlerde gözlenen mikrolitik porfirik doku, iri hornblend ve zonlu plajiyoklas kristalleri (Ç.N., Pl: Plajiyoklas, Hb: Hornblend, Op: Opak mineral)

Aglomeraların mikroskobik incelemelerinde matris içinde kırıklı ve zonlu yapı gösteren plajiyoklaslar, hem iri hem küçük taneler halinde opak mineraller ve genelde yuvarlaklaşmış andezitik kayaç çakılları içerir. İkincil mineraller serizit, klorit, kalsit ve

epidotdan oluşur. Tüfler kristal, litik-kristal tuf özelliğindedir.

Kristallerin taneleri, az miktarda kırıklı, çatlaklı plajiyoklas içeren köşeli, yoğun miktarda iri kristal tane boyunda hornblend, küçük kristal tane boyunda ise tremolit-aktinolit ve köşe ve kenarlara yakın bölümlerde kendini göstermekte olup, kloritleşmiş biyotit ve ufak tanelerle görülen opak mineraller ile meydana gelirken, litik parçalar köşeli ve andezitik bileşimdedir. İkincil mineraller klorit, kalsit, zeolit ve serizit minerallerinden meydana gelir. (Şekil 7.12.).



Şekil 3.12. Alibaba Formasyonu içindeki bulunan tüfe ait mikroskop görünümü (Ç.N. Pl: Plajiyoklas, Kp: Kayaç parçası)

3.2.6. Gümüştuğ Granitoyidi

Bu birim ilk olarak Vural (2016) tarafından en iyi gözleendiği yere atfen “Avliyana Granitoyidi” olarak adlandırılmıştır. Gümüştuğ, Avliyana Köyünün yeni ismi olduğu için güncel köy ismine atfen yüksek lisans tezi kapsamında kayaç Gümüştuğ Granitoyidi olarak adlandırılmıştır. Granitoyidle ilgili Vural (2016) ve Vural (2017) tarafından yapılmış çalışma dışında yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Vural (2016) ve Vural (2017) tarafından yapılan arazi gözlemlerine göre Gümüştuğ Granitoyidi'nin Liyas, Malm-Alt Kretase, Üst Kretase ve Eosen yaşlı birimleri kestiği tespit edilmiştir. Vural (2016) tarafından kayaçtan SHRIMP II yöntemi ile yapılan yaş analizlerinde 44.17 ± 0.49 My ile 45.60 ± 0.55 My yaş aralığı elde edilmiştir. Gümüştuğ Granitoyidi, özellikle

cevherleşmenin yakınında uzun eksenli kuzeybatı-güneydoğu istikametinde uzanım gösteren yaklaşık elips şekilli bir plüton olup, bu sahada tam bir devamlılık göstermemekle birlikte, altere kısımlarla beraber 0.5-1 km² lik bir alanda yüzeyleme vermektedir.

Cevherleşme sahasının dışında ve Gümüştüğ köyünün GB'sında Yılanlı Yayla ve çevresinde yüzeylemektedir. Gümüştüğ Granitoyidi inceleme alanındaki tüm birimleri kesmiş olup, volkanik yan kayaçlarla olan dokanıklarda volkanikler metavolkaniklere, tortul kayaçlarla olan dokanıklarda kireçtaşları kristalize kireçtaşına dönüşmüştür. Ayrıca dokanıklarda yer yer hornfelsler ve skarn zonları gelişmiştir. Granitoyid genelde sağlam bir görünüme sahiptir (Şekil 3.13.).



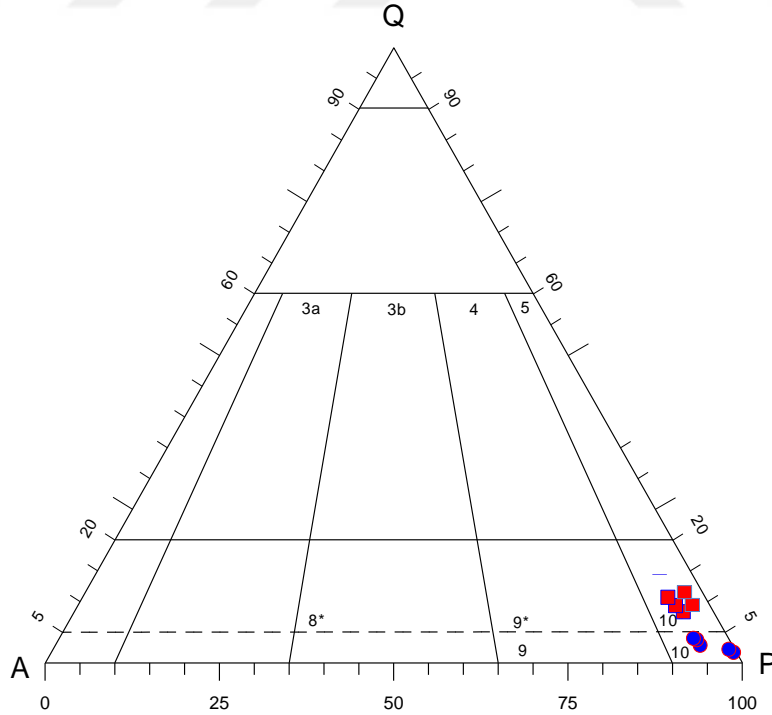
Şekil 3.13. Gümüştüğ granitoyidinden bir görünüm (Gümüştüğ köyü GB'sı)

Gümüştüğ Granitoyidi'ne ait 6 adet örneğin modal analizleri yapılmış olup (Tablo 3.2.) sonuçlar QAP diyagramına (Streckeisen, 1976) aktarıldığında (Şekil 3.14.), granitoyidin genelde diyorit ve kuvarslı diyorit bileşimli kayaçlardan oluştuğu görülmüştür.

Tablo 3.2. Gümüştüğü Granitoyidi'ni oluşturan kayaların petrografik özellikleri ve modal analiz değerleri

Plüton	Gümüştüğü Granitoyidi									
	Kayaç birimleri	Diyorit	Diyorit	Diyorit	Diyorit	Diyorit	Kuvarslı diyorit	Kuvarslı diyorit	Kuvarslı diyorit	Kuvarslı diyorit
Örnek No	BC5	BC6	BC7	BC8	BC9	BC10	BC11	BC12	BC13	BC14
Tane Boyu	İnce	İnce	İnce	İnce	İnce	İnce	İnce	İnce-orta	İnce-orta	İnce-orta
Modal min. (%)										
Plajiyoklas	71.60	68.45	67.93	51.6	46.50	64.40	63.40	62.30	63.5	62.3
Kuvars	2.21	2.89	3.05	0.90	1.10	6.25	5.80	7.80	14.3	13.3
Ortoklas	2.52	3.51	3.79	0.20	1.40	3.21	3.58	3.90	3.6	3.2
Hornblend	19.30	17.00	19.75	22.7	24.8	15.25	13.90	14.20	10.5	13.2
Biyotit	1.80	3.50	2.00	1.80	2.70	3.50	6.20	6.20	5.12	5.12
Piroksen	0.45	1.82		13.5	15.8					
Opak mineraller	2.60	2.60	3.80		9.3	7.8			3.11	3.2
Epidot						4.10	4.05	3.10		
Klorit	0.30	0.80	0.60	0.2	0.5	0.90	0.65	1.78	0.3	0.2
Toplam	100.78	100.57	100.82	100.2	100.6	100.35	100.11	100.13	100.63	100.82

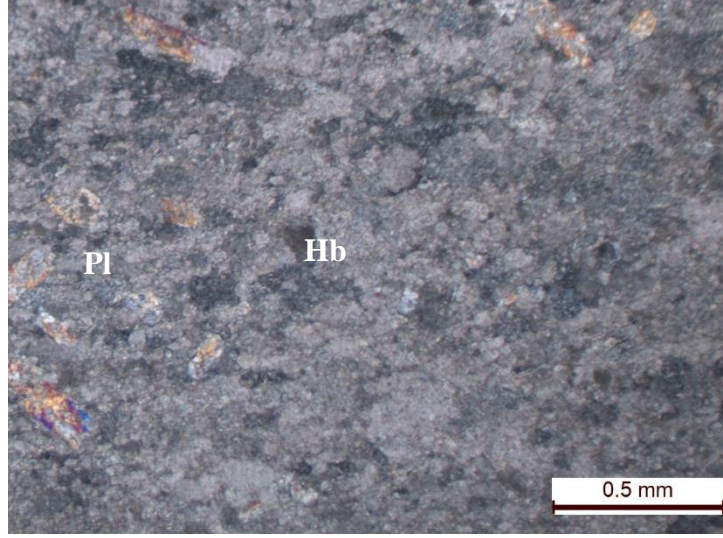
Diyoritler Gümüştüğü Granitoyidi'nin genelde kenar kısımlarında gözlenen kayaç türü olup granitoyidin büyük bir bölümünü oluştururlar. Genellikle koyu gri, gri renklerde. Makroskopik olarak plajiyoklas ve hornblend mineralleri tanınabilmektedir.



Şekil 3.14. Gümüştüğü Granitoyidi kayaç örneklerinin QAPF diyagramındaki konumları (Streckeisen, 1976).

Mikroskobik olarak ince-orta taneli, yer yer porfirik dokuda olup başlıca plajiyoklas (% 46,50-71,60), ortoklas (% 0.20-3.90), kuvars (% 0.90-14.30), hornblend (% 10.50-24.80), biyotit (% 1.80-6.20), piroksen (% 0.45-15.80) ve opak minerallerinden (% 2.60-4.10) oluşmaktadır (Tablo 7.2. , Şekil 7.14). Plajiyoklaslar öz ve yarı öz şekilli, polisentetik ikizlenmeli ve zonlu yapıda olup halkalı zonlanma yaygın olarak görülür. Albit ikizi gösteren kristallerin (010)'a dik kesitlerinde yapılan cins tayinlerine göre bileşimlerinin andezin (An_{32-36}) olduğu belirlenmiştir. Bazı plajiyoklaslar kısmen serizitleşmiş, kalsitleşmiş ve daha az oranda epidotlaşmıştır. Kuvarlar özşekilsiz olarak ortoklasla birlikte diğer minerallerin arasını doldurmaktadır. Bazı kuvars kristalleri dalgalı sönme göstermektedir. Öz şekilsiz ve küçük kristalli olan ortoklasların bazılarında karlsbad ikizi, bazılarında da pertitik yapı gözlenir. Hornblend öz ve yarı öz şekilli hem iri hem küçük kristaller halinde görülür. Bazı mineraller plajiyoklas ve opak mineral inklüzyonları içermektedir.

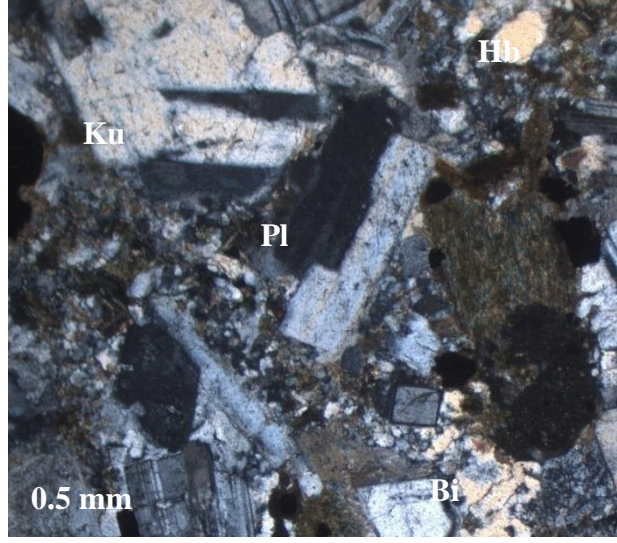
Pleokroizma renkleri; kahverengimsi yeşil-açık sarımsı yeşildir. C eksenine dik kesitlerde birbirine yaklaşık 57 derecelik açılar yapan dilinimler belirgin olarak görülmektedir. Bazı minerallerde de tek yönde dilinimler belirgindir. (010) yüzeyine paralel kesitlerde yaklaşık 23-25 derece arasında sönme açıları göstermektedir. Genelde kalsite ayrılmış ve kenar kısımlarda opak mineraller gelişmiştir. Biyotit, genellikle küçük prizmatik kristaller halindedir bulunurlar. (001) yüzeyine paralel dilinimler belirgin olup, bu dilinimlere göre dik sönmelidir. Pleokroizma koyu kahverengi-sarımsı kahverengidir. Piroksenler yarı öz şekilli olup, bazı kesitlerde az olarak gözlenirler. Kristaller kırıklı olup, yer yer opak mineral kapanımları içermektedir. Maksimum sönme açıları 33 derecedir. Mineraller dilinimleri ve kırıkları boyunca kloritleşmiştir. Küçük iğnemsiz, özşekilli kristaller halindeki apatitler plajiyoklasların üzerinde görülürler. Renksiz ve berrak bir görünüme sahip olup uzantıya paralel kesitler paralel sönmeli ve negatif uzantılıdır. Küçük, yarı öz şekilli ve öz şekilsiz opak mineraller az oranda bulunurlar (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15. Dioritlere ait ince taneli doku ve zonlu plajiyoklas kristalleri (Ç.N., Pl: Plajiyoklas, Hb: Hornblend)

Kuvarslı diyoritler Gümüştuğ Granitoyidi'nin genelde merkezi kısımlarında olup yayılımı azdır. Genellikle koyu gri, koyu yeşilimsi siyah renklindedir. Mikroskopik incelemelerde ince-orta taneli, yer yer porfirik dokulu olup, Plajiyoklaslar öz ve yarı öz şekilli hem iri hem de küçük kristaller şeklinde olup, bazılarında elek dokusu vardır. (010)'a dik kesitlerde yapılan cins tayinlerine göre bileşimlerinin oligoklas (An_{22-27}) olduğu belirlenmiştir.

Bazı plajiyoklaslarda kısmen serizitleşme gözlenmiştir. Kuvarslar iri ve küçük, öz şekilsiz kristaller halinde bulunurlar. Bazı minerallerde dalgalı sönme görülmektedir. Öz şekilsiz ortoklasların bazılarında karlspad ikizi, bazılarında da pertitik yapı gözlenir. Hornblendler öz ve yarı öz şekilli olup, pleokroizma renkleri kahverengimsi yeşil-açık sarımsı yeşildir. C eksenine dik kesitlerde birbirine yaklaşık 57 derecelik açılar yapan dilinimler belirgin olarak görülmektedir. Bazı minerallerde de tek yönde dilinimler belirgindir. (010) yüzeyine paralel kesitlerde yaklaşık 24-25 derece arasında sönme açıları göstermektedir. Bazıları kırıklı yapıda ve kısmen kloritleşmiştir. Biyotitler hornblendlere oranla daha az olup, genellikle küçük prizmatik kristaller halindedir bulunurlar. (001) yüzeyine paralel dilinimler belirgin olup, bu dilinimlere göre dik sönmelidir. Pleokroizma koyu kahverengi-sarımsı kahverengidir. Tali mineraller, zirkon ve apatit minerallerinden oluşurlar. Değişen boyutlarda ve öz şekilsiz opak mineraller az oranda gözlenirler (Şekil 3.16.).



Şekil 3.16. Kuvarslı Diyoritlere ait ince taneli doku, hornblend mineralleri ve zonlu plajiyoklas kristalleri (Ç.N. Pl: Plajiyoklas, Hb: Hornblend, Bi: Biyotit)

3.3. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı Pontid Tektonik Birliği'nin doğu kısmının Güney Zonu'nda yer alır (Ketin 1966). İnceleme alanındaki kayaç birimleri Hersiniyen ve Alp Orojenezinin etkisinde kalmıştır. Bu durumun sonucu olarak inceleme alanında meydana gelen yapısal unsurlar, kıvrımlanma, tabaka duruşları, faylar ve çatlaklı yapılar oluşmuştur.

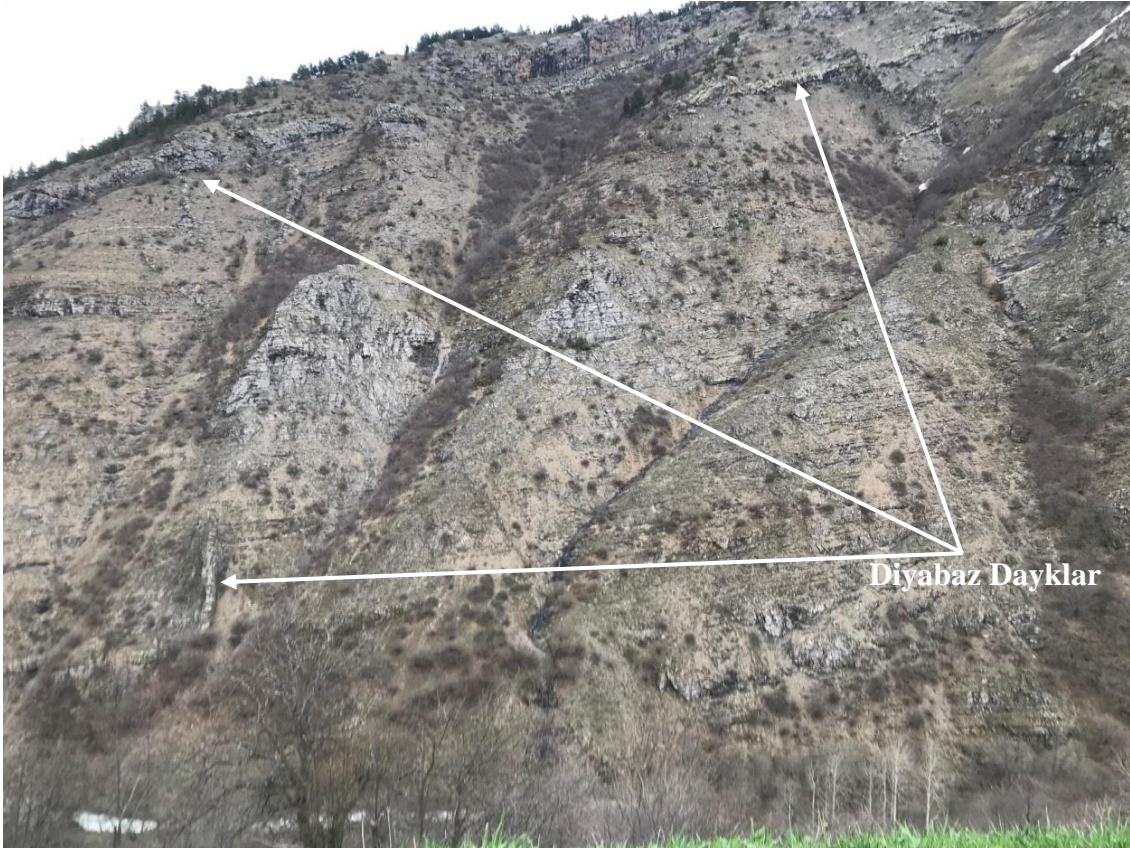
3.3.1. Tabakalı Yapılar

İnceleme alanında Zimonköy Formasyonu, Berdiga Formasyonu ve Keremutdere Formasyonu tabakalı yapılar gösterirler. Tabakalanma doğrultuları ve eğimleri yer yer değişmekte olup, genellikle KB-GD doğrultulu ve 10-60° KD eğimlidir. Berdiga Formasyonu'nun tabakaları tabanda ince başlayıp kalın tabakalı olarak devam etmektedir.

3.3.2. Kıvrımlı Yapılar-Dayklar

Formasyon içerisinde kıvrımlanma yapılarına çok sık rastlanmamaktadır. Zimonköy Formasyonu içerisinde kıvrımlı pelajik kireçtaşları ve volkano-tortul seri içerisinde çeşitli

kıvrım türlerine rastlanmıştır. Az derecede olsa Kermutdere Formasyonu içinde de kıvrımlı yapılar görülmüştür. Ancak bu kıvrımlı yapılar 1/25000 ölçekli haritada gösterilemeyecek kadar küçük boyutlu olması nedeniyle harita üzerine yerleştirilememiştir. Çalışma sahasında yoğun bir volkano-tortul karakter sunan Kermutdere Formasyonu içinde tabakalı, kıvrımlı yapıların yer yer diyabaz dayklar tarafından de kesildiği görülmektedir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Kermutdere Formasyonu içindeki diyabaz dayklar

3.3.3. Kırıklı Yapılar

İnceleme alanı genel olarak kuzey-güney yönlü sıkışmanın etkisinde kalmış, mevcut kırıklı yapılar buna bağlı olarak gelişmiştir. Sahada tespit edilen faylar bölgenin bir sıkışma zonu etkisinde kaldığını gösterir. Kırık ve çatlaklar bütün birimlerde gözlemlenebilmektedir.

3.3.4. Faylar

İnceleme alanındaki faylar genel olarak KB-GD ve KD-GB doğrultulu ters ve normal fay türündedirler. Sahanın kuzeyinde Gümüşhane Granitoyidi ile Alibaba Formasyonu arasında bindirme fayı tespit edilmiştir. İnceleme alanı yakın çevresinde Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane Granitoyidi Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu üzerine bindirmiştir. Ayrıca bölgede Gümüşhane Granitoyidi ile Kermutdere Formasyonu, Berdiga Formasyonu ve Zimonköy Formasyonu arasında bindirme fayı meydana gelmiştir.

3.3.5. Çatlaklar

Çatlaklar tüm birimlerde görülmekle birlikte Gümüşhane Granitoyidi'nde ve Alibaba Formasyonu'nda daha sık olarak gözlenmektedir. Yer yer kalsit, silis ve kil dolgulu oldukları görülmüştür. Bu dolgu kalınlıkları 0.5-2.4 cm'lerde olduğu ölçülmüştür.

3.4. Cevherleşme ve Alterasyon

Antimonit cevherleşmesinin, Gümüştüğ köyünün 2 km kadar GB'sında, Gümüştüğ Granitoyidi ile tektonik dokanak yapan yan kayaçta ve yer yer granitik kayacın kırık ve çatlaklarında hidrotermal damar tipte, yapısal kontrollü olarak geliştiği tespit edilmiştir. Sahada yüzeyleyen Gümüştüğ Granitoyidi'nin etkisi ile intrüziflerin dokanakta olduğu yan kayaçlarda yer yer hidrotermal alterasyon ürünleri gelişmiştir (Şekil 3.18.). Antimonit cevherleşmesinin yakın çevresinde gelişmiş çok fazla alterasyon alanı olmasına rağmen, antimonit cevherleşmesinin dar bir alan içinde geliştiği görülmüştür.



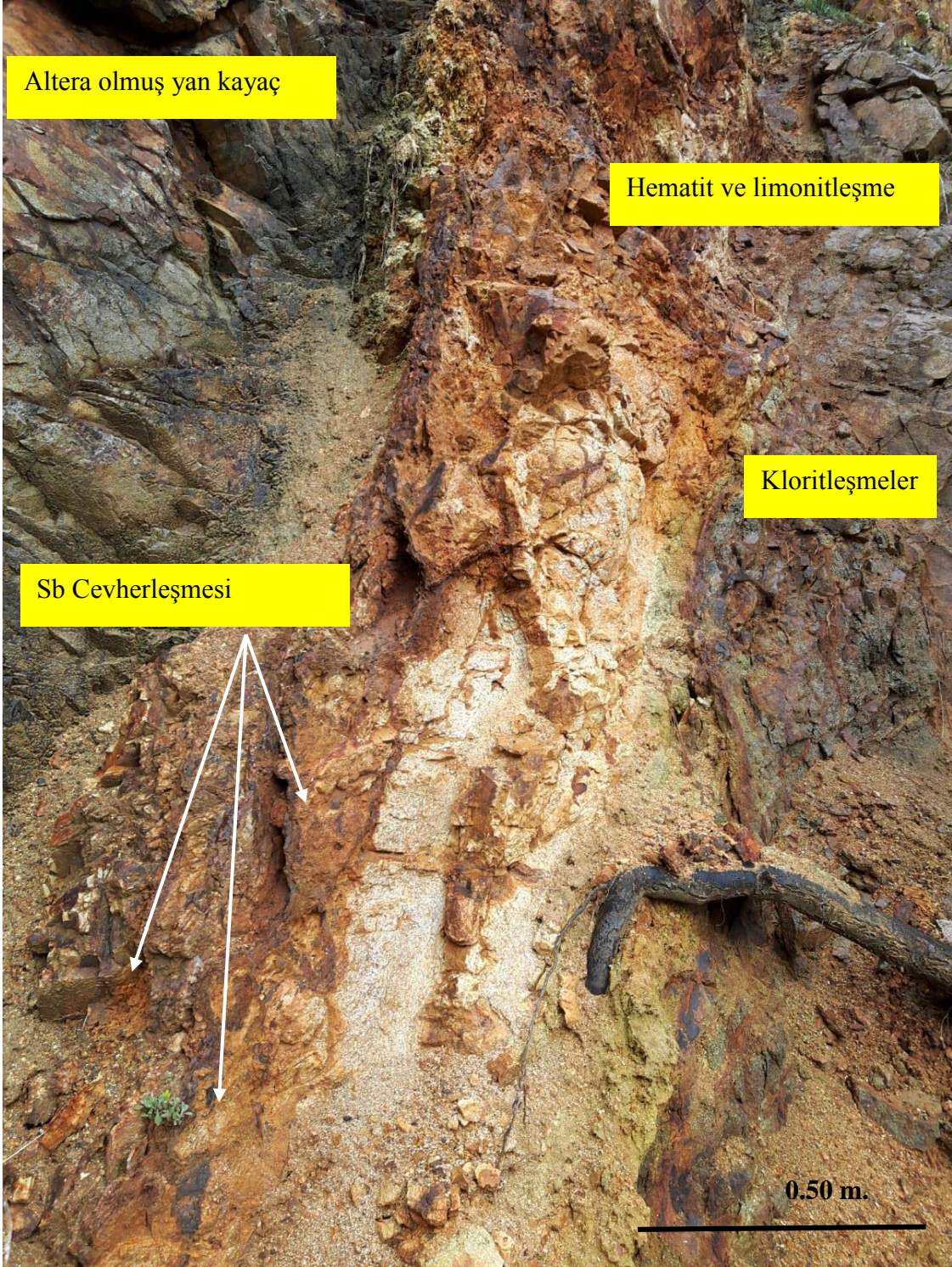
Şekil 3.18. Gümüştuğ Köyünün yaklaşık 2 km GB'sındaki antimonit cevherleşmesi ve cevherleşmenin yakından görünümü.

Alterasyon zonu içinde gelişmiş cevherli zonun K 60-85 B doğrultulu, 70-75 D'ya eğimli olan bir tektonik hat içinde ve bu hatta bağlı gelişmiş tali kırık ve çatlaklar içinde geliştiği gözlenmiştir. Antimonit cevherleşmesi sahada 20–100 cm arasında değişen silisleşmelerin geliştiği hematize-limonitize zon içinde görülmekte olup, antimonit damarlarının kalınlığı ise 2–10 cm arasında değişmekte, yer yer 20-25 cm'ye kadar çıkmaktadır. Cevher içerikli limonitize zon yüzeyde 300 m kadar GD'ya doğru izlenmektedir (Vural 2016).

Ana cevherleşmenin olduğu (galerinin bulunduğu kesim) kesimin KB'sında da alterasyon ve tektonik hat devam etmekte olup, bu kesimde de antimonit cevherleşmeleri görülmektedir. Sahada geniş bir yarma bulunmakta olup, bu yarmanın sahadaki cevherleşmenin devamının takibi ve işletilmesi amacıyla açılmış olabileceği düşünülmektedir. Bu kesimde önemsenecek büyüklükte bir cevherleşmeye rastlanmamakla birlikte küçük damarcık ve çatlaklarda antimonit cevherleşmeleri/sıvamaları görülmektedir. Ayrıca bu kesimde dar bir alanda gözlenen silttaş-marn birimi içinde de silisleşmelerle birlikte gelişmiş saçınım halinde antimonitlere rastlanmaktadır (Şekil 7.19.). Bu kesimde de ayrıca barit damarları gözlenmiştir.

Sahada cevherleşmenin olduğu kesim dışında da yer yer dikkat çekici boyutlarda alterasyon gelişimi söz konusudur. Vural (2016) tarafından yapılmış çalışmalarda sahada ağırlıklı olarak; hematitleşme-limonitleşme, killeşme (arjilleşme: illit, simektit, az oranda mika-serizit), yer yer de killeşme ile birlikte silisleşmeler şeklinde alterasyon gelişimi belirlenmiştir. Cevherleşmenin geliştiği kesimde en çok görülen alterasyon ürünü

silisleşme olup, killeşme de silisleşmeye eşlik etmektedir. Cevherleşmenin kenar kesimlerde ise klorit ve az miktarda epidotlaşmalar da görülmektedir. Cevherleşmeye gang mineral olarak kuvars, karbonat, yer yer kalın sayılabilecek boyutlarda barit ve kil mineralleri özellikle de dikit minerali eşlik etmektedir (Vural 2016). Sahadaki cevherleşme, fay kontrollü olarak boşluk dolgusu şeklinde kuvarsla birlikte gelişmiştir. Cevherleşmeye piritler eşlik etmekte olup, ikincil olarak gelişmiş kuvars damarları ve bu damarla içinde piritle birlikte yine antimonitlere rastlanmaktadır. Silisleşme, serizitleşme, karbonatlaşma ve kloritleşme cevherleşmeye eşlik eden alterasyon mineralleridir (Şekil 3.19). Cevher kütlesini saran, birkaç metre genişliğinde silisleşme, barit, klorit ve kaolinleşme şeklinde bir kenar alterasyon zonu da söz konusudur. Cevherleşmenin daha GB'sında ise ağırlıklı olarak hematitleşme ve limonitleşme şeklinde alterasyon gelişimi söz konusudur. Bu kesimde alterasyonun şiddetine bağlı olarak sarı çocuk sendromu ve güncel traverten gelişimi de söz konusudur (Şekil 3.20.).

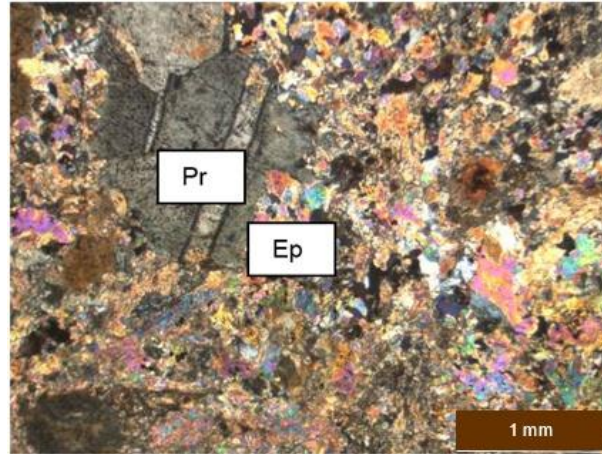


Şekil 3.19. İnce damar, damacıklar şeklinde ve kuvars damarları içinde gelişen antimonit cevherleşmesi



Şekil 3.20. Hematitleşme-limonitleme şeklinde gelişmiş alterasyon ve buna bağlı olarak da görülen sarı çocuk sendromu ve yer yer karbonat çökelimleri

Granitoyitik kayacın dokanak kesimlerinde ise hornfels ve skarn gelişimleri gözlenmiştir. Granitoyitik kayacın sıcak temasına bağlı olarak gelişen skarn zonlarından alınan örneklerin mineralojik-petrografik incelemelerde en çok epidot, daha az oranda da piroksen ve klorit mineralleri gözlenmiştir (Şekil 3.21.). Cevher minerali olarak ise yoğun pirit gelişimleri görülmüştür.



Şekil 3.21. Skarnı oluşturan kayalara ait mikroskopik görünümü. a) iri piroksen ve epidot kristalleri, b) iri epidot kristalleri (Ç.N., Ep: Epidot, Pr: Piroksen)

Vural (2016)'ya göre cevher örnekleri makroskopik olarak incelendiğinde; antimonit cevherleşmelerinin kuvars damarı ile birlikte geliştiği görülmektedir. Antimonit cevherleri

ağırlıklı olarak masif, yer yer ışınal bir dokuya sahip olup, kırık ve çatlaklarında oksitlenmeye bağlı gelişmiş okrlar da görülmektedir.

Boşluk dolgusu şeklinde gelişmiş cevherleşmelere; kalsit, barit, hematitleşme-limonitleşme ve killeşmeler (serizit-illit) eşlik etmektedir Yine kırık ve çatlaklarda ikinci olarak gelişmiş ağırlıklı olarak barit, az oranda kalsit ve kuvars mineralleri de görülmektedir. İkincil kuvarslar ağırlıklı olarak öz şekilli küçük kristaller şeklinde görülmektedir.

3.5. Jeokimyasal Çalışmalar

Vural 2016 tarafından sahadaki granitik kayalara ait SiO_2 'ye karşı $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ değerlerine göre Gümüştüğ ve Gümüşhane Granitoyidinin subalkalen magma serisi içinde yer aldığı, Gümüştüğ Granitoyidinin ağırlıklı olarak diyorit, kuvars monzodiyorit alanına düştüğü görülmektedir. K_2O 'ya SiO_2 diyagramında ise hem Gümüşhane Granitoyidinin hem de Gümüştüğ Granitoyidinin çoğunlukla yüksek potasyumlu kalk-alkali seriye düşmekte olduğu ifade edilmiştir. Sahada yüzeyleyen Gümüşhane ve Gümüştüğ Granitoyidlerinin Shand (1943) indeksine göre değerlendirilmesi yapılmış, Gümüşhane Granitoyidi'nin peralumina alana düştüğü, Gümüştüğ Granitoyidi'nin ise metalümina alana düştüğü belirtilmiştir (Vural 2016). Yine Vural (2016) verilerine göre; Gümüşhane Granitoyidi SiO_2 'a karşı K_2O , Na_2O , Al_2O_3 bakımından ters orantı sergilemekte ve diğer anaoksitler bakımından anlamlı bir ilişki gözlenememiştir. Gümüştüğ Granitoyidi'nin ise SiO_2 'la birlikte K_2O , Na_2O , Al_2O_3 açısından doğru orantı sergilediği, CaO , MgO , Fe_2O , TiO_2 ve P_2O_5 ters orantı gösterdiği tespit edilmiştir. SiO_2 'ye karşı oluşturulan iz element dağılım grafikleri incelendiğinde ise, Gümüşhane Granitoyidi'nin Zr, Ba, Sr, Rb, Th, Ni, Y ve Nb elementleri yönünden SiO_2 'e göre ters korelasyon gösterdiği, Gümüştüğ Granitoyidi'nin ise Zr, Ba, Rb, Th, Y ve Nb açısından SiO_2 ile birlikte artış gösterdiği, buna karşın artan SiO_2 değerlerine göre Sr, Ni, elementleri açısından ise ters orantıya sahip olduğu görülmüştür. Çalışma alanındaki granitik kayaların McDonough ve Sun (1995)'a göre ilksel manto örümcek diyagramları ve Thomson ve Howarth (1978)'ye göre kondrite göre normleştirilmiş spider diyagramları oluşturulduğunda (Vural 2016); Gümüşhane Granitoyidi ve Gümüştüğ Granitoyidi'nin hafif nadir toprak elementleri bakımından zengin, ağır nadir toprak elementleri bakımından daha fakir olduğu görülmüştür. Kayaların iz element değerlerinden faydalanarak jeotektonik sınıflandırmaları yapılmış (Vural 2016),

kayaçların genel olarak Aktif Kıtasal Kenar (Active Continental Margins) bölgesine düştüğü görülmüştür.

Kayaçlar, Sr/Y'a karşı Y diyagramına göre değerlendirildiğinde (Vural 2016), Gümüşhane Granitoyidi ve Gümüştüğ Granitoyidi'nin "Normal Volkanik Yay" serisine düştüğü; FeO*/MgO'a karşı (Zr+Nb+Ce+Y) diyagramındaki konumları incelendiğinde ise Gümüşhane Granitoyidi'nin ayrımlanmış-Felsik Granitoyid bölümüne düştüğü, Gümüştüğ Granitoyidi'nin ise "Ayrımlanmamış-Diğer Granit (OGT)" bölümüne düştüğü görülmüştür (Vural 2016 ve Vural 2017). Pearce vd. (1984) tarafından önerilen tektonik sınıflama diyagramları irdelendiğinde sahadaki granitoidlerin çoğunlukla "Volkanik Yay Granitoidleri" (VAG) bölümüne düştüğü görülmüştür (Vural 2016).

Vural (2016) tarafından cevherleşmenin de içinde geliştiği Kermutdere formasyonu içindeki volkanik kayaçların kimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiş; volkanik kayaçların kalkalkalin magma serisine ait olduğu, genel olarak yüksek K'lu kalk-alkalin seride bulunduğu tespit edilmiştir. SiO₂'e karşı Na₂O+K₂O değerleri dikkate alındığında ise kayaçların bazalt, bazaltik andezit, andezit, traki-andezit alanına düştüğü tespit edilmiş ve kayaçların bulunduğu ortamın da bir sonucu olarak yoğun bir kimyasal ayrışma etkisinde kaldığı sonucuna ulaşılmıştır (Vural 2016). Dolayısıyla kayaçların Zr/Ti'a karşı Nb/Y gibi kimyasal ayrışmaya dirençli elementlerin yer aldığı diyagramdaki konumları incelendiğinde bazaltik andezit, bazalt alanında ağırlık kazandığı sadece iki tanesinin ise riyolit dasit alanına düştüğü tespit edilmiştir (Vural 2016).

Yine Vural (2016) tarafından yapılan çalışmada, cevher ve sahadaki kayaçların birlikte karşılaştırılması amacıyla spider diyagramları oluşturulmuş, sahadaki kayaçların cevherleşmeyle ilişkisinin incelenmesi amacıyla cevherli kayaçların diğer kayaçlarla olan iz/nadir toprak element (NTE) desenleri spider diyagramları ile incelenmiştir. Taylor ve McLennan (1995) üst kıtasal kabuk değerlerine göre, uyumsuz ve hafif nadir toprak elementlerince (HNTE) bir miktar azalmaya rağmen uyumlu oldukları görülmüştür. Ba elementince 100 kata yaklaşan bir zenginleşme; K ve Sr elementi açısından da azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Cevherleşmeye ait NTE elementleri ve uyumsuz element desenleri Taylor ve McLennan (1995) alt kıtasal kabuğa göre kıyaslandığında, cevherleşme sahasındaki magmatik kayaçların spider desenleri ile genel olarak bir uyum görülmekle birlikte hafif nadir toprak elementlerinde (HNTE) ağır nadir toprak elementlerine göre eğimli olarak azalmanın olduğu, cevherleşmeyle baritin birlikte oluşmasına bağlı olarak Ba elementince artışın olduğu, alterasyonla ilişkili olarak da cevherli kayaçlardan K'un

uzaklaşması nedeniyle bu elementçe de bir miktar azalmanın olduğu tespit edilmiştir.

Kondrite göre normalleştirilmiş NTE element desenleri bölgedeki kayaçların genel eğiliminden önemli bir farklılık göstermediği, bu veriler ışığında ise cevherleşmede yan kayaçlardan element hareketlenmesine bağlı olarak katkının söz konusu olabileceği ve cevherleşmede Gümüştüğ Granitoyidi'nin de katkı vermiş olduğu ileri sürülmüştür (Vural 2016).

3.6. Jeostatistik Çalışmalar

Sahada yapılan çalışmalar sonucu uygun lokasyonlardan alınan 56 adet toprak örneği Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü jeokimya laboratuvarında analize hazır hale getirilip Kanada ACME laboratuvarlarına gönderilmiş, belli başlı iz elementler (Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Co, Mn, As, Au, Cd, Sb, Bi, Hg) için analizleri gerçekleştirilmiş ve bahse konu elementler için jeostatistik çalışmalar yapılmıştır (Tablo 3.3.).

Tablo 3.3. İncelenen elementlere ait konsantrasyon değerler

Element	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Co	Mn	As	Au	Cd	Sb	Bi	Hg
Birim	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppb
1	1.60	34.90	14.78	61.7	38	21.6	880	10.3	2.0	0.10	1.66	0.53	29
2	1.18	60.61	16.66	68.7	60	24.6	990	18.5	2.1	0.15	2.44	0.39	27
3	1.04	31.34	9.38	61.2	43	19.0	1132	6.1	4.4	0.06	0.82	1.26	19
4	2.34	84.68	16.42	86.1	87	30.2	761	10.6	4.0	0.13	3.23	0.82	87
5	0.94	49.94	15.21	76.3	55	21.1	740	5.3	2.9	0.11	1.78	0.34	19
6	1.05	49.57	12.55	59.9	42	20.4	1135	4.0	1.5	0.14	1.03	0.27	15
7	1.60	42.85	17.32	54.9	28	16.5	523	4.3	1.5	0.09	0.61	0.51	8
8	1.22	47.41	12.46	50.2	26	14.9	506	3.7	1.3	0.08	0.46	0.53	16
9	1.31	40.46	18.21	59.4	53	16.8	628	4.3	1.2	0.10	0.40	0.44	10
10	1.27	34.97	19.86	45.6	30	17.0	531	4.6	0.9	0.09	0.51	0.46	12
11	1.77	129.21	42.07	80.8	169	35.0	881	9.8	2.3	0.28	0.93	4.12	13
12	1.57	120.32	31.40	71.3	138	30.7	767	9.3	2.9	0.21	1.00	3.86	16
13	1.20	164.24	37.51	79.6	146	50.4	886	12.9	5.3	0.34	1.39	2.43	18
14	1.33	168.14	39.28	100.5	98	55.1	994	14.0	5.9	0.26	1.66	2.49	18
15	1.18	84.05	21.41	59.8	172	25.7	711	9.2	5.3	0.11	1.42	5.63	26
16	2.01	183.03	38.74	85.1	254	51.8	1152	13.7	6.2	0.23	2.11	10.47	25
17	2.21	190.68	39.67	78.9	194	45.6	981	11.8	4.0	0.24	1.47	6.04	28
18	1.60	137.67	36.90	77.0	193	43.7	955	10.9	4.2	0.24	1.10	4.65	35
19	1.58	135.18	39.61	85.2	170	45.5	986	10.9	3.4	0.23	0.98	4.51	28
20	1.47	120.83	33.39	71.4	156	44.0	879	10.0	2.4	0.23	1.01	4.37	23
21	1.62	132.02	34.26	65.6	193	44.2	1048	11.0	3.9	0.22	1.36	6.69	24
22	1.61	123.96	36.27	75.6	197	41.8	1020	10.9	5.0	0.25	1.30	5.65	19
23	1.53	117.00	35.08	73.7	175	41.1	995	10.7	7.2	0.19	1.28	5.21	19
24	1.58	114.35	26.19	67.5	209	34.4	858	9.5	5.1	0.17	1.83	8.58	32

Tablo 3.3. (Devamı)

25	0.77	79.79	22.05	73.5	56	28.9	867	10.4	3.0	0.16	1.86	1.53	23
26	0.76	72.71	19.15	61.2	55	27.9	729	9.6	2.1	0.15	1.56	1.44	20
27	0.69	63.88	16.82	74.6	53	27.6	802	8.0	3.9	0.14	1.44	1.17	28
28	0.73	66.31	17.77	57.3	50	26.3	797	8.6	2.5	0.12	1.34	1.50	21
Element	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Co	Mn	As	Au	Cd	Sb	Bi	Hg
Birim	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppb
29	0.68	58.46	17.06	63.5	36	28.4	914	9.0	2.0	0.14	1.42	1.42	16
30	0.71	69.70	18.07	68.8	53	27.8	830	8.6	3.5	0.16	1.41	1.23	24
31	0.73	66.04	17.98	62.8	52	33.4	974	9.2	3.0	0.18	1.51	1.46	16
32	0.96	158.55	28.93	97.6	98	46.4	1270	16.7	6.9	0.23	2.28	2.67	38
33	0.99	159.13	27.96	91.1	116	41.4	1117	17.4	5.5	0.18	2.38	2.89	36
34	0.92	95.81	21.86	69.0	163	38.0	879	10.1	6.5	0.12	1.74	1.03	26
35	1.01	102.69	24.10	85.9	178	39.5	980	11.4	4.8	0.15	2.03	1.19	26
36	1.07	112.70	28.37	78.0	179	46.5	970	12.2	6.2	0.16	2.02	1.31	28
37	0.54	55.01	25.57	89.7	116	16.7	693	17.4	3.8	0.23	14.73	0.96	20
38	0.57	52.46	26.27	86.4	107	16.3	706	16.5	5.9	0.19	13.71	1.00	26
39	0.61	54.38	25.92	85.4	108	17.6	731	18.1	4.9	0.19	14.30	1.04	25
40	0.59	54.10	42.41	111.6	155	17.5	829	16.4	3.8	0.32	11.57	1.10	29
41	0.65	59.56	28.87	76.5	124	18.7	689	20.3	5.9	0.13	16.68	1.34	33
42	0.55	58.24	22.82	68.6	99	16.5	668	9.8	2.7	0.19	4.10	0.89	41
43	0.57	58.32	13.50	70.0	96	18.3	657	11.9	6.6	0.08	8.97	1.04	18
44	0.60	57.56	24.08	76.8	104	18.4	710	20.5	8.5	0.15	17.69	1.26	32
45	0.55	61.62	12.19	65.4	119	18.7	632	13.5	6.6	0.07	41.02	0.78	30
46	0.45	55.31	25.50	94.3	143	16.0	733	12.7	2.8	0.22	6.18	0.85	23
47	0.67	60.58	26.02	96.7	121	19.8	799	19.7	6.4	0.16	13.48	1.17	24
48	0.64	48.71	24.97	80.8	84	18.4	709	10.0	2.2	0.22	3.82	0.83	22
49	0.66	49.27	24.68	91.1	74	22.8	864	9.1	2.9	0.20	3.89	0.73	15
50	0.56	43.14	23.18	75.8	78	16.6	636	9.5	2.2	0.25	3.59	0.73	26
51	0.55	48.28	25.60	81.6	75	18.0	638	10.7	1.5	0.24	3.94	0.78	30
52	0.67	42.41	33.72	90.3	83	20.8	820	9.5	1.8	0.23	3.35	0.57	26
53	0.83	38.55	29.36	79.4	70	20.2	703	8.2	2.1	0.17	3.04	0.66	29
54	0.76	39.85	30.89	82.3	81	21.7	710	8.1	1.0	0.23	2.96	0.69	30
55	0.98	57.74	25.12	85.5	106	22.0	777	7.8	1.7	0.18	4.17	0.55	29
56	0.70	38.17	30.52	84.6	81	19.6	724	7.9	1.3	0.22	2.78	0.70	18
Doğruluk Testi													
37	0.54	55.01	25.57	89.7	116	16.7	693	17.4	3.8	0.23	14.73	0.96	20
37	0.53	57.59	26.61	96.9	117	18.2	711	19.2	3.7	0.24	14.15	1.03	20
1	1.60	34.90	14.78	61.7	38	21.6	880	10.3	2.0	0.10	1.66	0.53	29
1	1.58	33.46	14.34	58.0	41	20.3	898	9.9	2.3	0.09	1.82	0.49	27
*	1,10	28	17	67	0,05	17,3	1000	4,80	1,50	0,09	0,4	0,16	0,05

*. Üst kabuk değerleri (Rudnick Gao 2010), Au elementi ppb, Mn ve Fe elementi % değerleri ppm olarak gösterilmiştir.

3.6.1. Tanımlayıcı İstatistik Değerleri

Çalışma alanındam alınan toprak numunelerinin analiz sonuçlarına göre elementlerin tanımlayıcı istatistik (minimum, maksimum, medyan vs.) değerleri IBM SPSS Statistics 22 paket programı ile hesaplanmıştır (Tablo 3.4.).

Tablo 3.4. Tanımlayıcı İstatistik Değerleri

	N	Min.	Maks.	Standart Hata	Ortalama	Std. Sapma	Varyans	Çarpıklık/ std.hata	Basıklık/ std.hata		
Mo	56.00	0.45	2.34	0.06	1.05	0.47	0.22	0.87	0.32	0.01	0.63
Cu	56.00	31.34	190.68	5.76	81.01	43.13	1860.59	1.01	0.32	-0.12	0.63
Pb	56.00	9.38	42.41	1.14	25.46	8.56	73.22	0.23	0.32	-0.80	0.63
Zn	56.00	45.60	111.60	1.76	75.93	13.20	174.17	0.12	0.32	0.04	0.63
Ag	56.00	26.00	254.00	7.46	107.84	55.82	3115.70	0.49	0.32	-0.63	0.63
Ni	56.00	13.90	107.80	3.44	45.86	25.75	663.18	0.80	0.32	-0.23	0.63
Co	56.00	14.90	55.10	1.55	28.18	11.57	133.82	0.74	0.32	-0.80	0.63
Mn	56.00	0.05	0.13	0.00	0.08	0.02	0.00	0.38	0.32	-0.22	0.63
Fe	56.00	3.70	5.78	0.07	4.57	0.49	0.24	0.17	0.32	-0.58	0.63
As	56.00	3.70	20.50	0.55	10.98	4.14	17.16	0.57	0.32	0.05	0.63
Au	56.00	0.90	8.50	0.26	3.74	1.92	3.69	0.44	0.32	-0.83	0.63
Sr	56.00	34.80	75.50	1.30	49.54	9.70	94.12	0.91	0.32	0.47	0.63
Cd	56.00	0.06	0.34	0.01	0.18	0.06	0.00	0.19	0.32	-0.27	0.63
Sb	56.00	0.40	41.02	0.89	4.41	6.67	44.54	3.57	0.32	16.18	0.63
Bi	56.00	0.27	10.47	0.30	2.09	2.22	4.92	1.93	0.32	3.60	0.63
V	56.00	83.00	140.00	1.32	105.07	9.90	98.10	1.12	0.32	2.74	0.63
La	56.00	10.40	24.60	0.42	13.95	3.16	9.97	1.89	0.32	3.38	0.63
Cr	56.00	19.20	123.10	3.26	54.48	24.43	596.90	0.78	0.32	0.43	0.63
Ba	56.00	72.10	591.60	11.64	152.14	87.08	7583.54	3.65	0.32	14.90	0.63
Sc	56.00	5.60	16.40	0.26	9.30	1.96	3.84	1.05	0.32	2.61	0.63
Hg	56.00	8.00	87.00	1.47	24.89	10.97	120.32	3.30	0.32	18.19	0.63

3.6.2. Normalite Testi

Normalite Testi. (30'dan fazla numune olduğu için Kolmogorov-Smirnov yöntemine göre (gri) yapılmıştır. Normalite testi önem katsayısı %5 ve üzeri dağılım sunan elementler belirtilmiştir (açık gri-kalın punto). Pb, Zn, Ag, Mn, Fe, Cd (Tablo 3.5.). Çalışmalarda araştırılan elementlerin Tukey's Hinge göre yüzde değerleri tespit edilmiştir (Tablo 3.6.).

Tablo 3.5. Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk Normalite Testleri

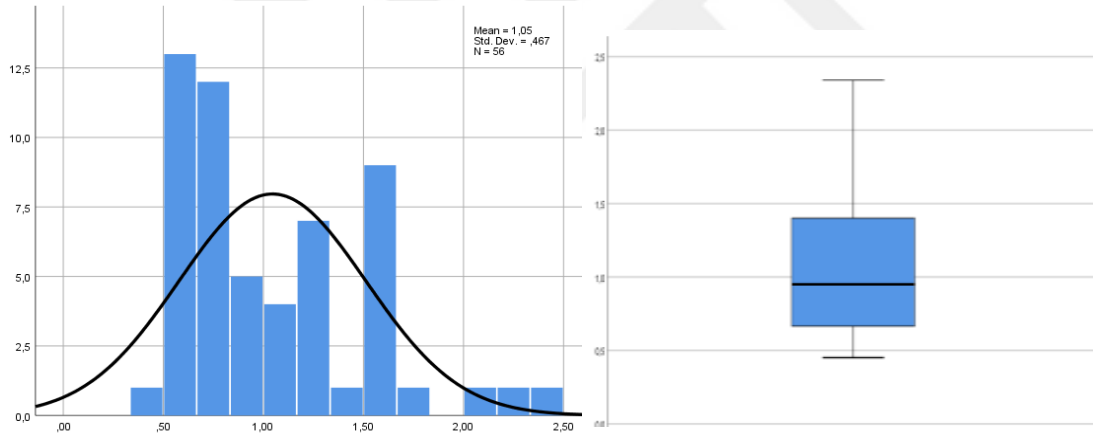
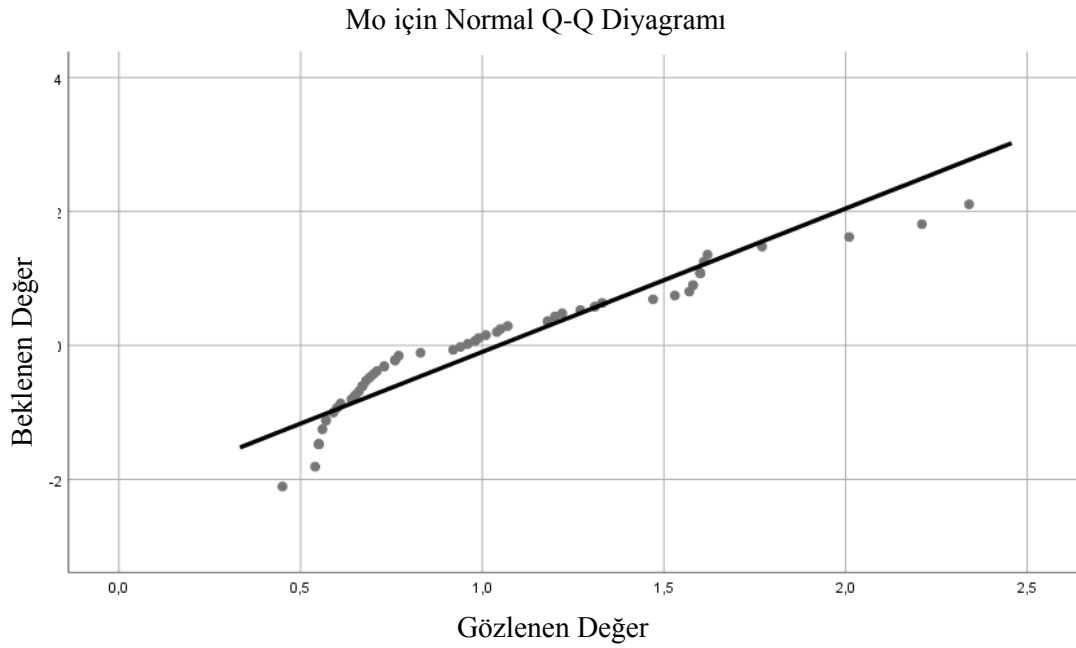
Normalite Testi						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	Örnek Adedi	Önem katsayısı	İstatistik	Örnek Adedi	Önem katsayısı
Mo	0.168	56	0.000	0.899	56	0.000
Cu	0.223	56	0.000	0.859	56	0.000
Pb	0.087	56	0,200*	0.970	56	0.182
Zn	0.053	56	0,200*	0.994	56	0.995
Ag	0.094	56	0,200*	0.949	56	0.020
Ni	0.174	56	0.000	0.910	56	0.000
Co	0.185	56	0.000	0.873	56	0.000
Mn	0.100	56	0,200*	0.975	56	0.289
Fe	0.080	56	0,200*	0.980	56	0.459
As	0.159	56	0.001	0.938	56	0.006
Au	0.132	56	0.016	0.947	56	0.015
Sr	0.146	56	0.005	0.929	56	0.003
Cd	0.102	56	0,200*	0.978	56	0.387
Sb	0.336	56	0.000	0.554	56	0.000
Bi	0.313	56	0.000	0.728	56	0.000
V	0.106	56	0.184	0.930	56	0.003
La	0.196	56	0.000	0.787	56	0.000
Cr	0.139	56	0.009	0.926	56	0.002
Ba	0.317	56	0.000	0.561	56	0.000
Sc	0.109	56	0.095	0.940	56	0.008
Hg	0.178	56	0.000	0.734	56	0.000

Tablo 3.6. Tukey's Hinge' e göre yüzde değerler

Yüzde değerler	%5	%10	%25	%50	%75	%90	%95
Elementler							
Mo			0.67	0.95	1.40		
Cu			49.42	60.60	115.68		
Pb			18.03	25.31	31.15		
Zn			66.55	76.40	85.30		
Ag			55.50	98.50	155.50		
Ni			27.15	35.15	62.65		
Co			18.40	23.70	38.75		
Mn			0.07	0.08	0.10		
Fe			4.14	4.60	4.94		
As			8.80	10.20	12.80		
Au			2.10	3.45	5.30		
Sr			43.80	46.35	55.00		
Cd			0.14	0.18	0.23		
Sb			1.35	1.85	3.86		
Bi			0.73	1.17	2.58		
V			98.00	105.00	110.00		
La			11.95	12.90	14.70		
Cr			35.55	48.10	73.35		
Ba			117.20	134.45	147.35		
Sc			8.15	9.10	10.10		
Hg			18.50	24.50	29.00		

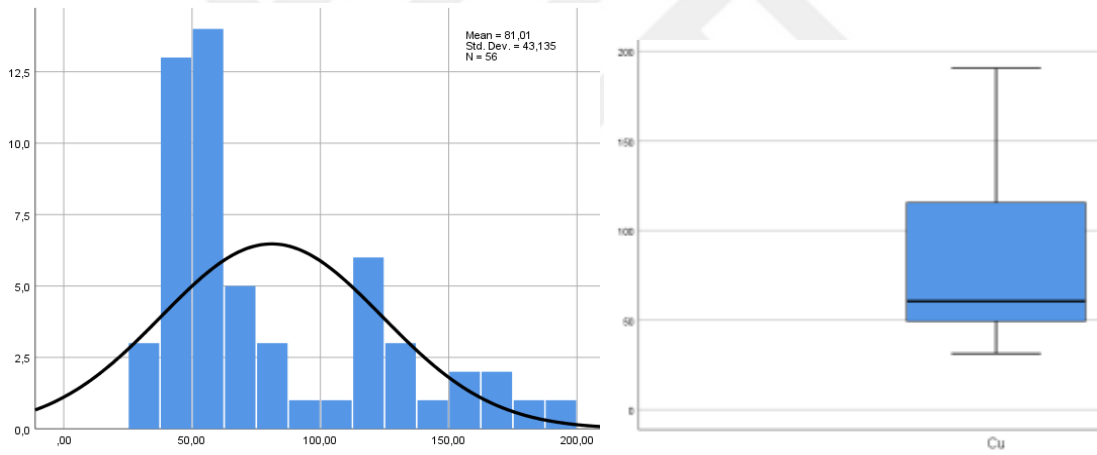
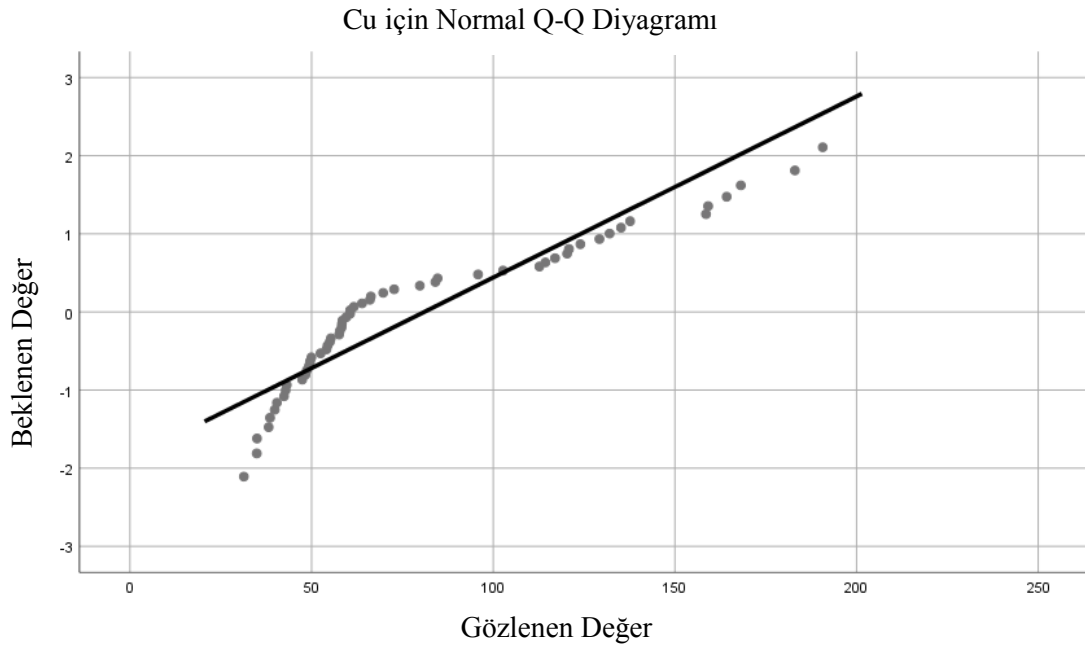
3.6.3. Jeoistatistik Grafik ve Diyagramları

İncelenen 21 element (Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, Au, Sr, Cd, Sb, Bi, V, La, Cr, Ba, Sc, Hg) için IBM SPSS Statistics 22 paket programı ile Q-Q, % diyagramları, kutu ve histogram grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 3.22-42). Elde edilen grafik ve diyagramlarla elementlerin hangi oranlarda yoğun dağılım gösterdiklerini, normal dağılım durumlarını ve hangi yöne çarpıklıklarının olduğunu incelenmiştir.



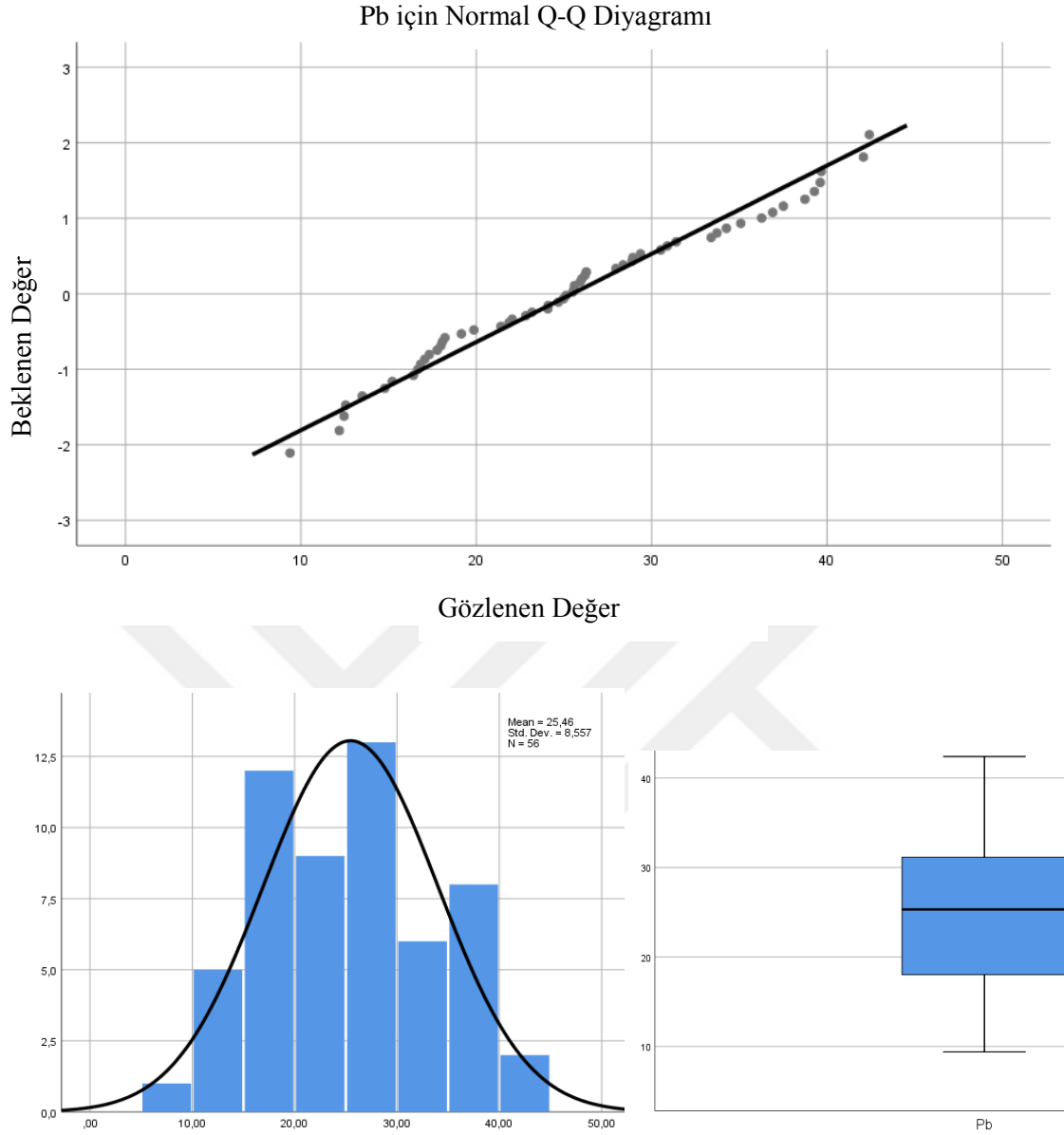
Şekil 3.22. Mo elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Mo elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Mo elementinin Q-Q grafiğinde 0,75-1,60 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre very setinin bir miktar sağa çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Mo elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermediğini desteklemektedir.



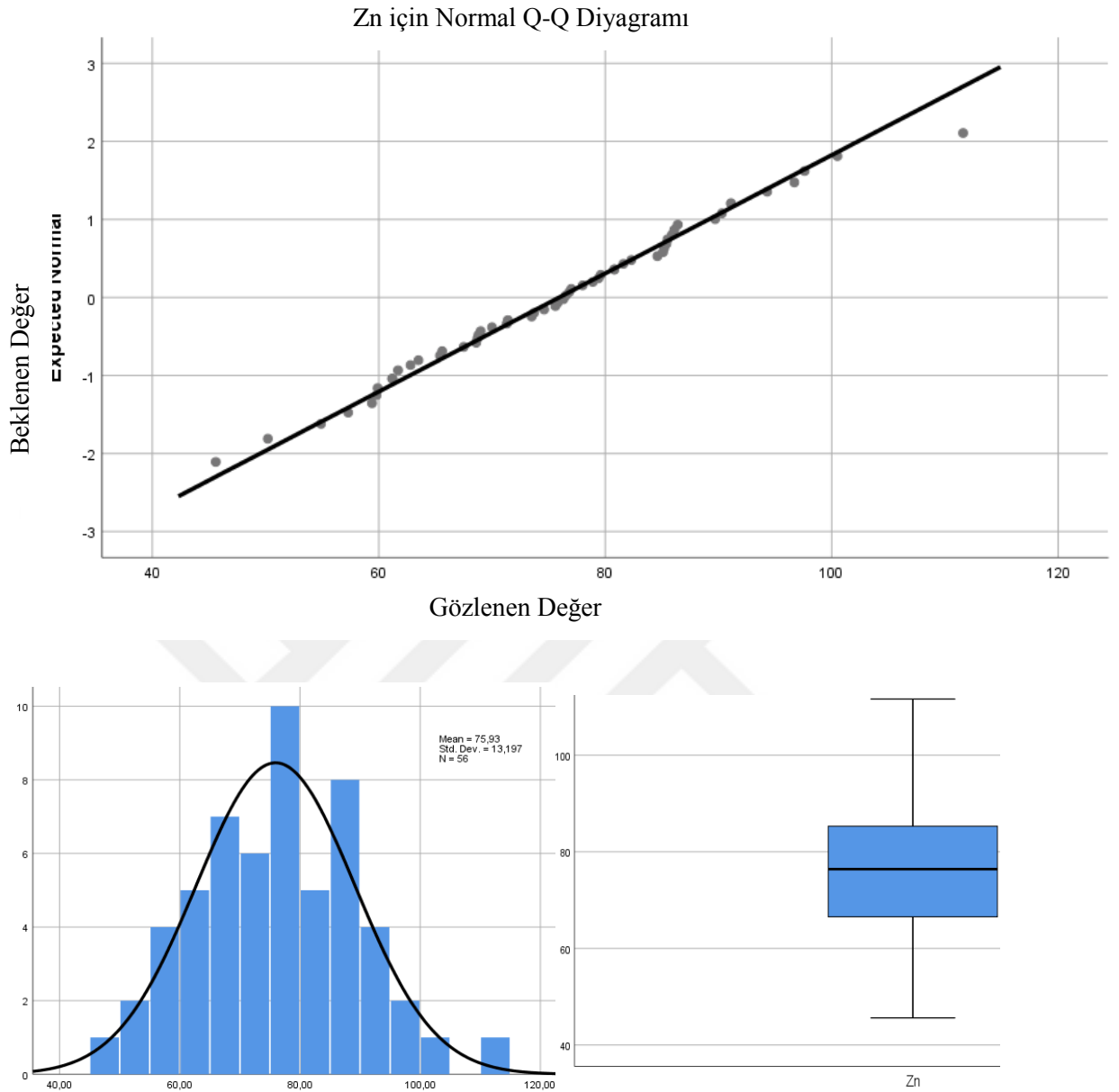
Şekil 3.23. Cu elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Cu elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Cu elemetinin Q-Q grafiğinde 40-80 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sağa çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Cu elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermediğini desteklemektedir.



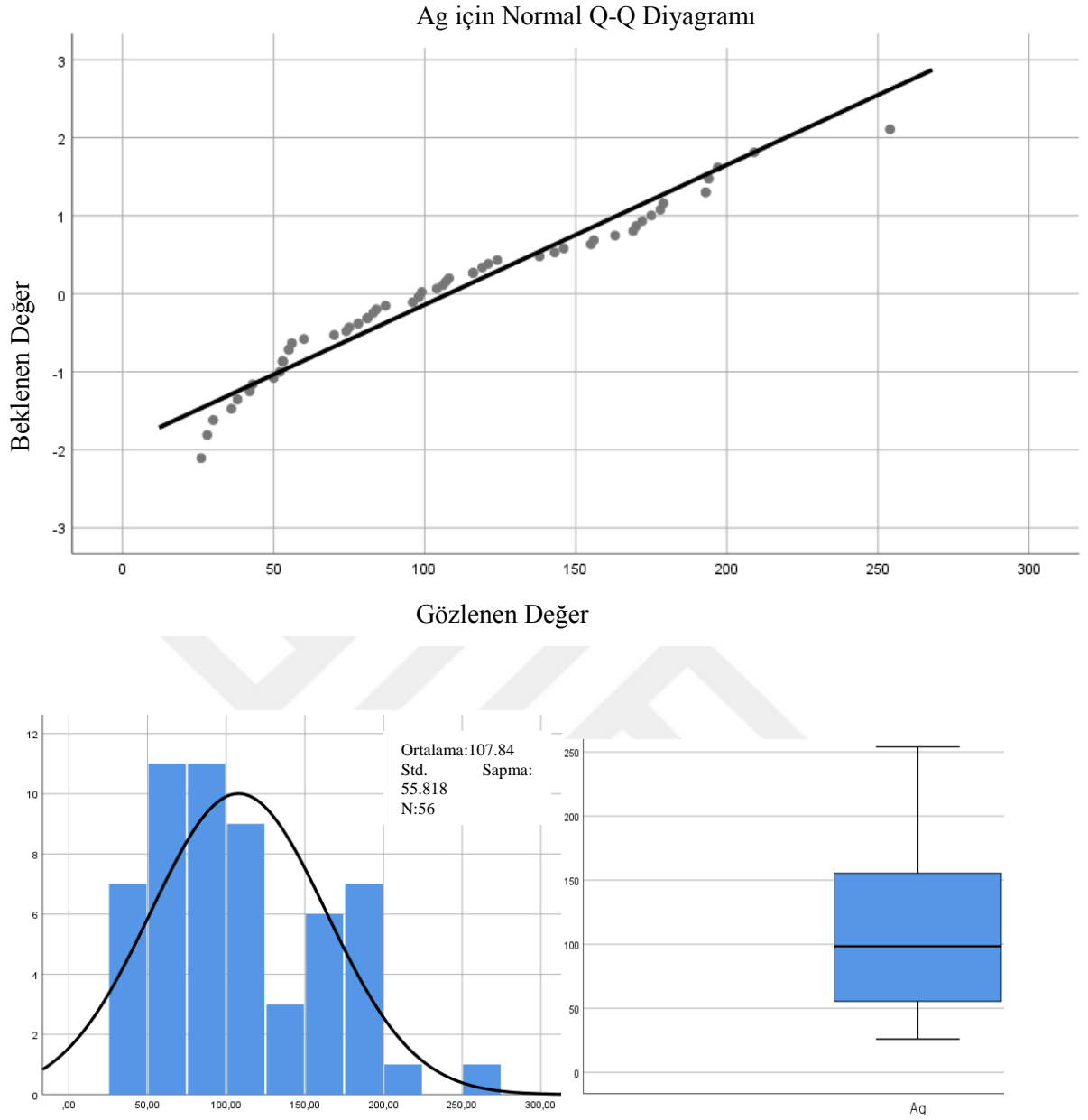
Şekil 3.24. Pb elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Pb elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Pb elemetinin Q-Q grafiğinde 15-30 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagramına göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Pb elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermediğini desteklemektedir.



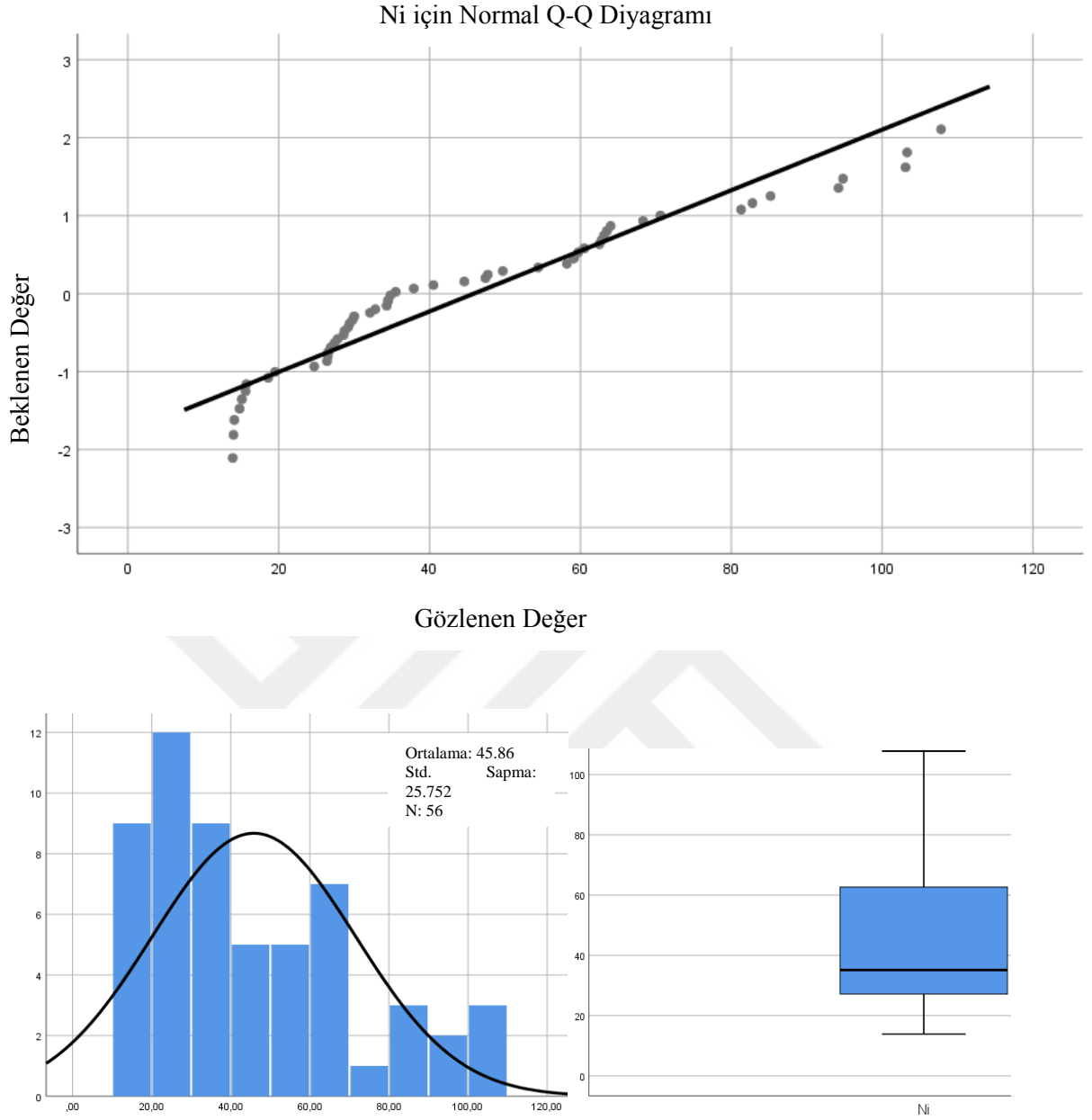
Şekil 3.25. Zn elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Zn elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Zn elementinin Q-Q grafiğinde 60-90 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagramına göre sağa ise daha çok sola çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Zn elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin bir miktar normal dağılım göstermektedir.



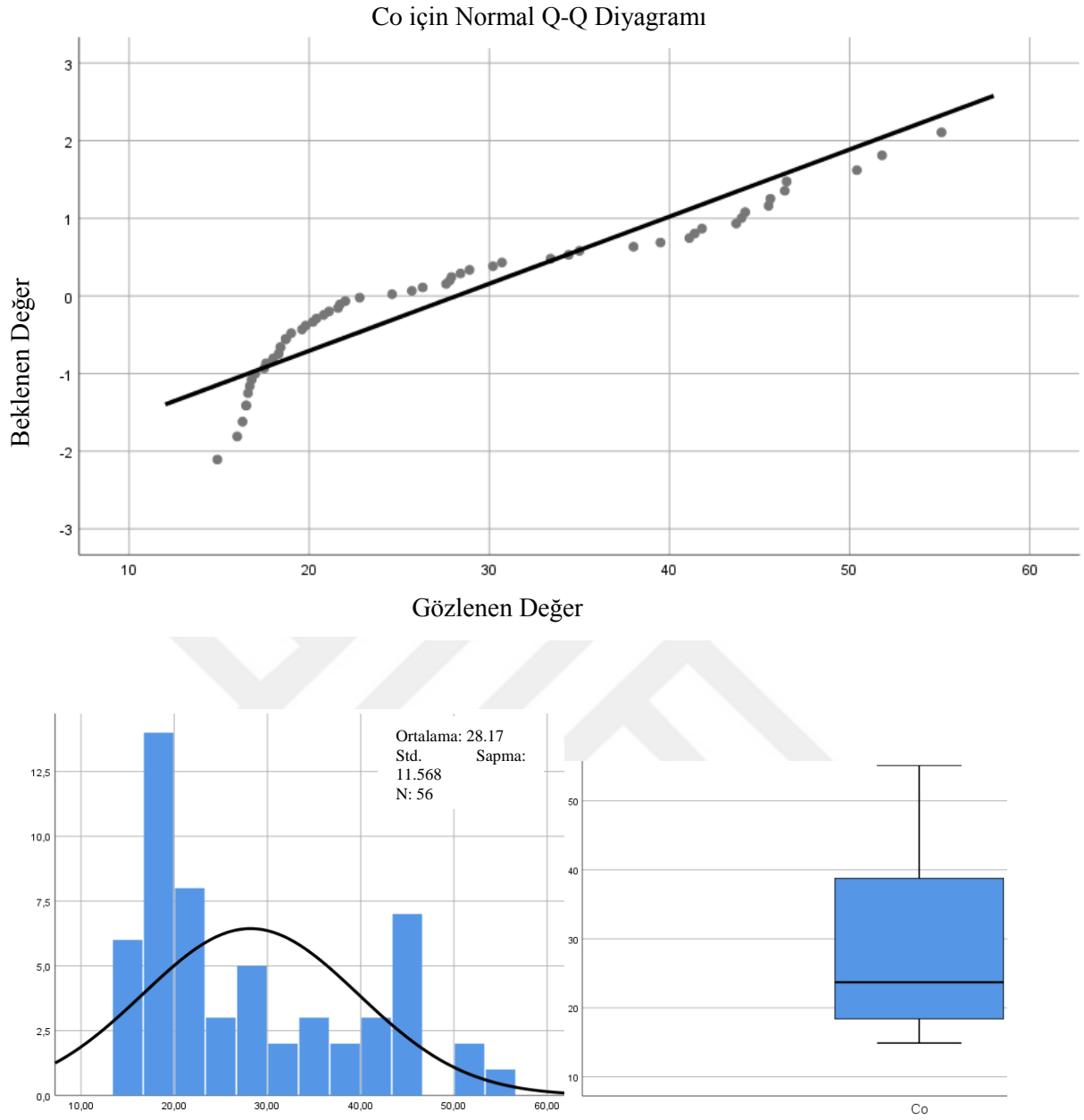
Şekil 3.26. Ag elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Ag elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Ag elementinin Q-Q grafiğinde 50-150 ppb aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagramına göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Ag elementi için yapılan Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım sunmadığı görülmüştür.



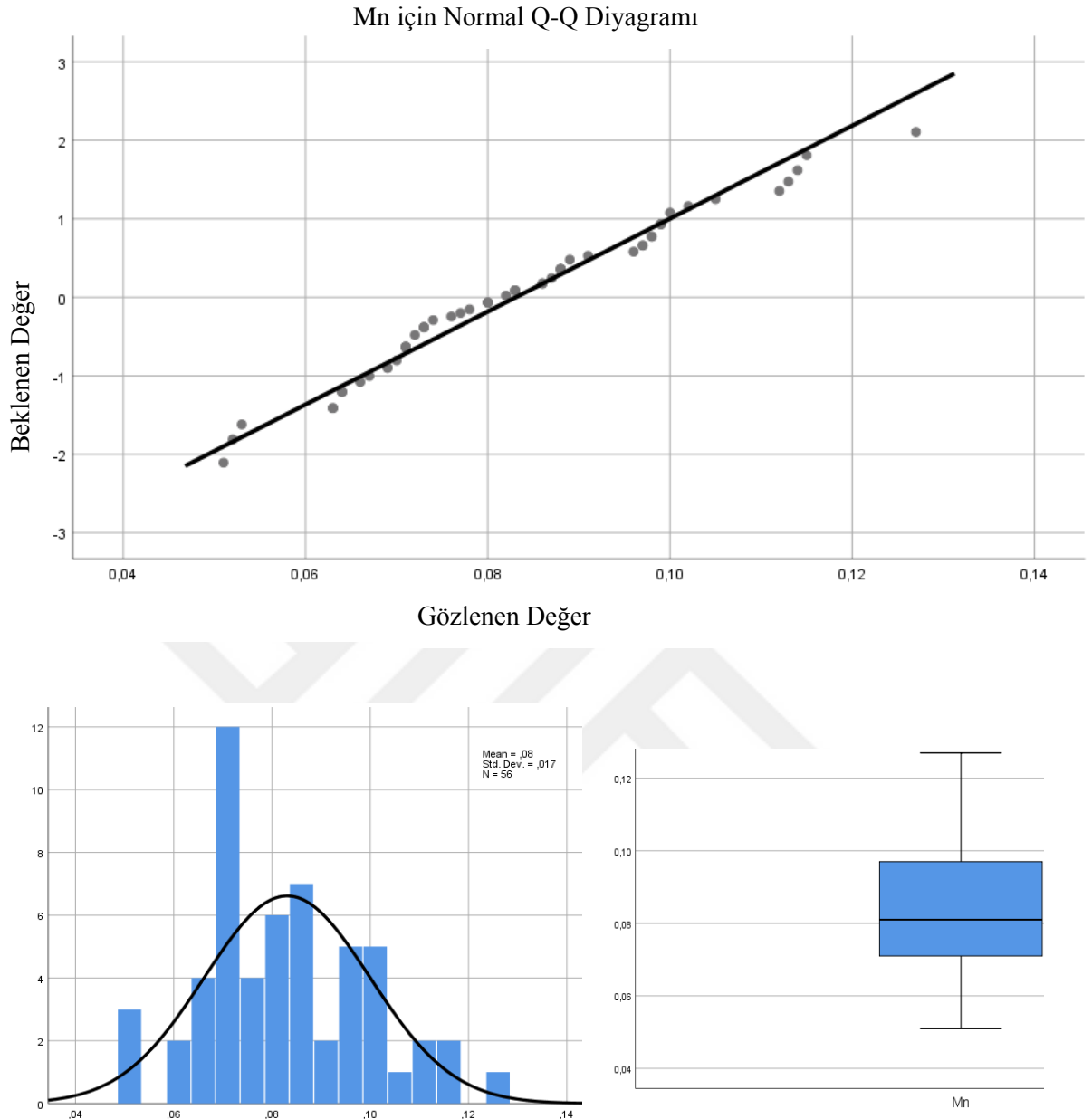
Şekil 3.27. Ni elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Ni elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Ni elemetinin Q-Q grafiğinde 25-70 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Ni elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermemiştir.



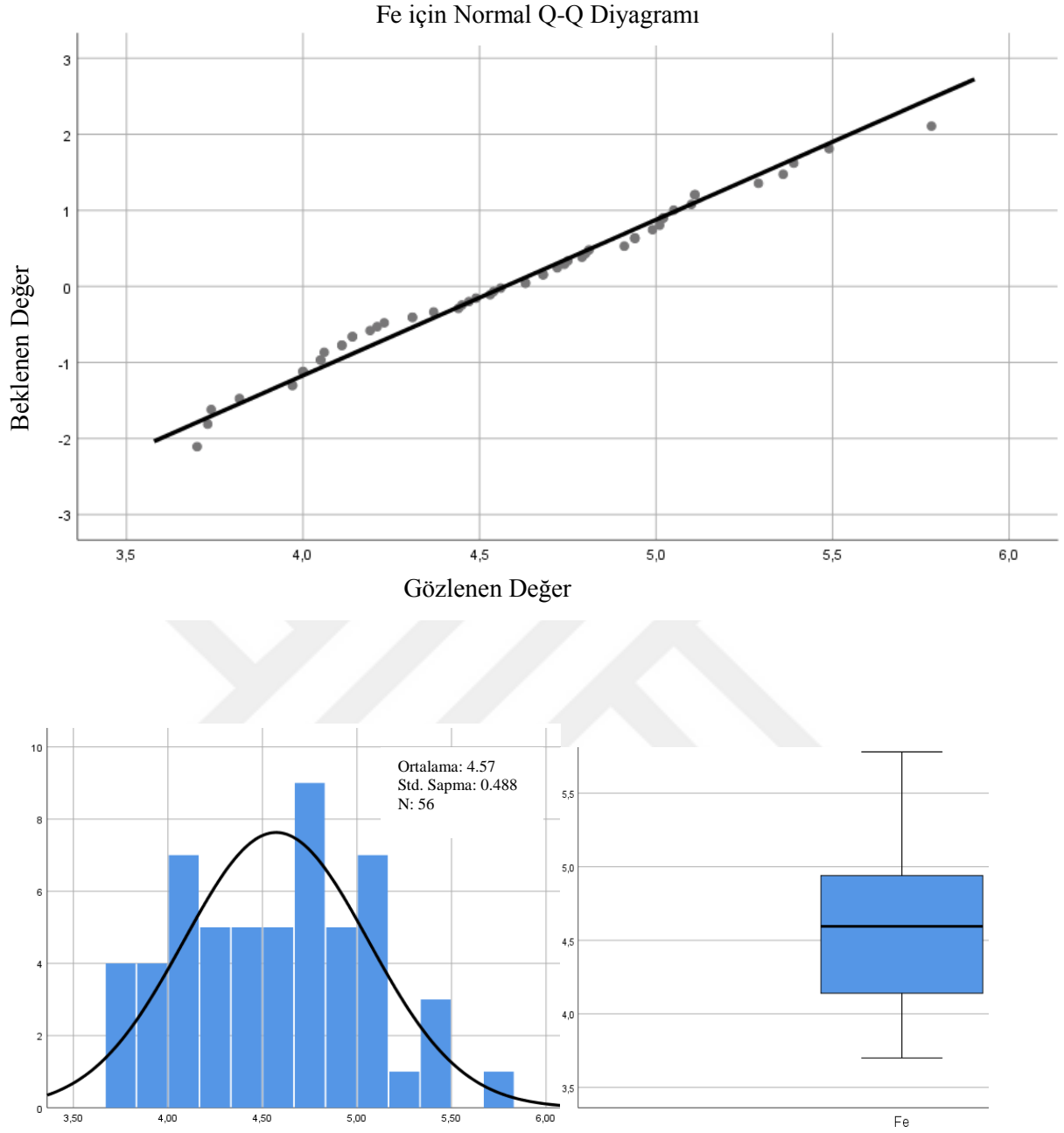
Şekil 3.28. Co elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Co elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Co elementinin Q-Q grafiğinde 17-32 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagramına göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Co elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım sunmadığını göstermiştir.



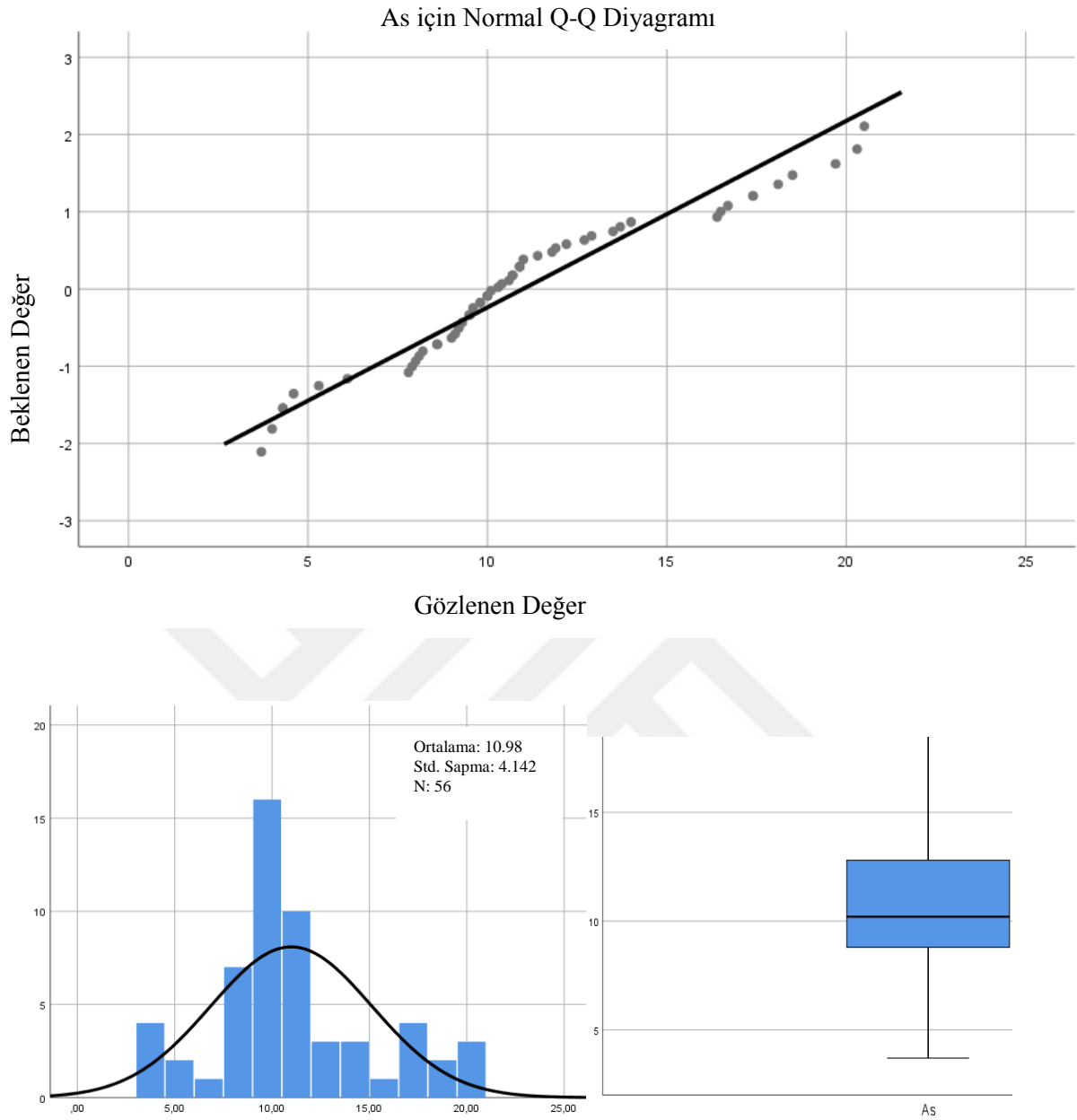
Şekil 3.29. Mn elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Mn elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Mn elemetinin Q-Q grafiğinde 0.07-0.11 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Mn elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermemiştir.



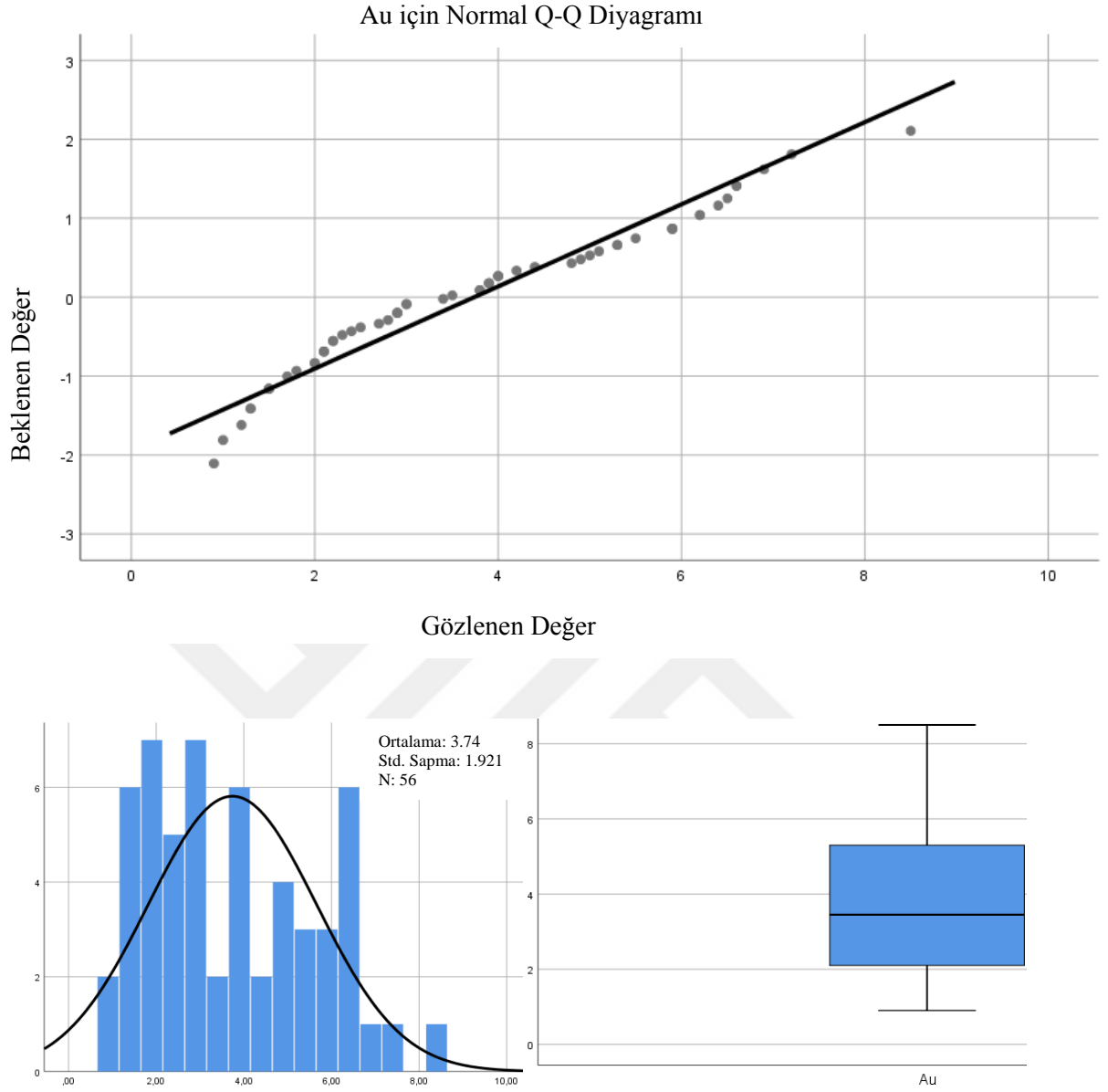
Şekil 3.30. Fe elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Fe elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Fe elemetinin Q-Q grafiğinde 4.25-5.10 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu olduğu görülmektedir. Fe elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım sunmadığı görülmüştür.



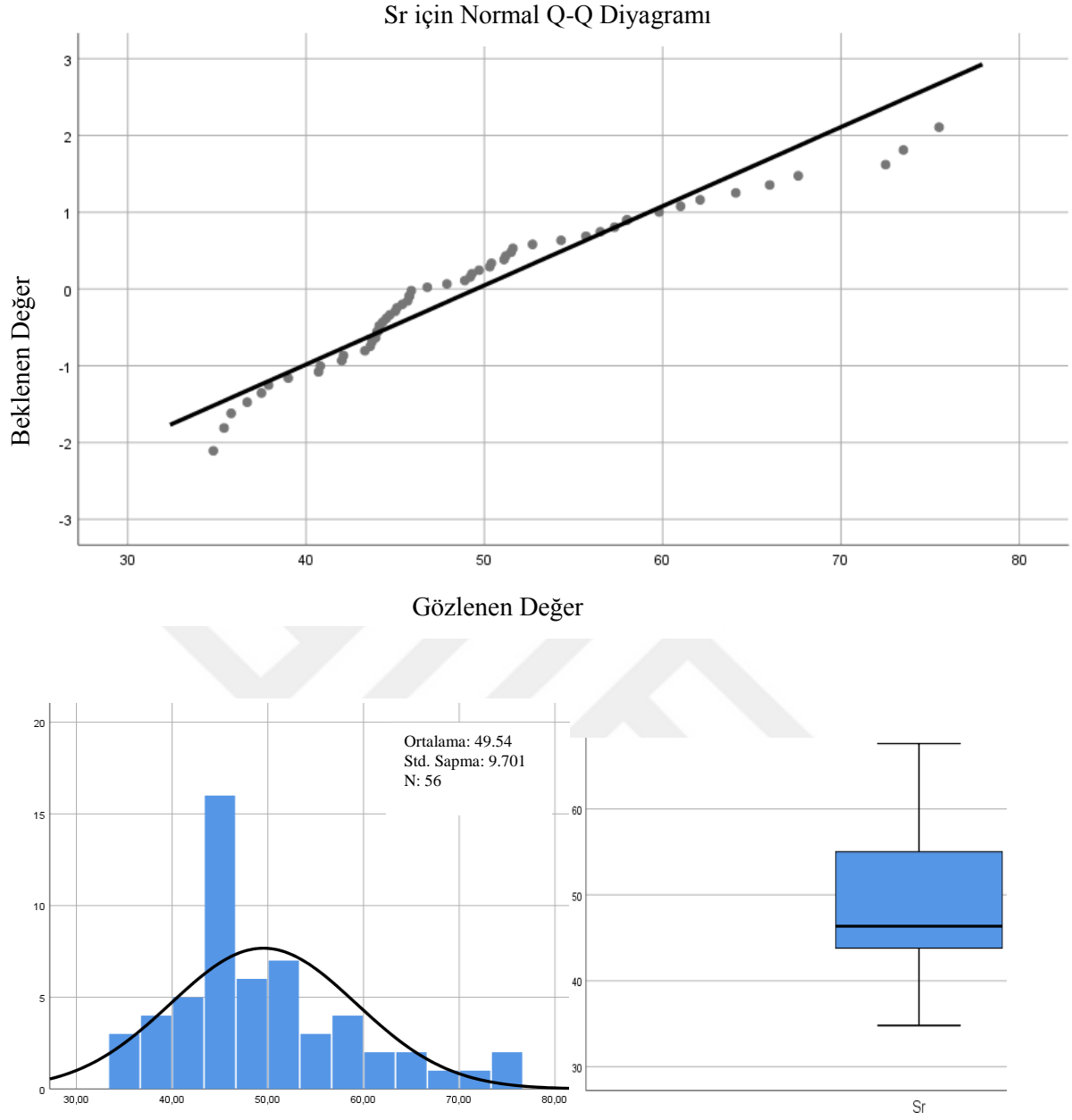
Şekil 3.31. As elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

As elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, As elementinin Q-Q grafiğinde 8-14 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sağa çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. As elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermemiştir.



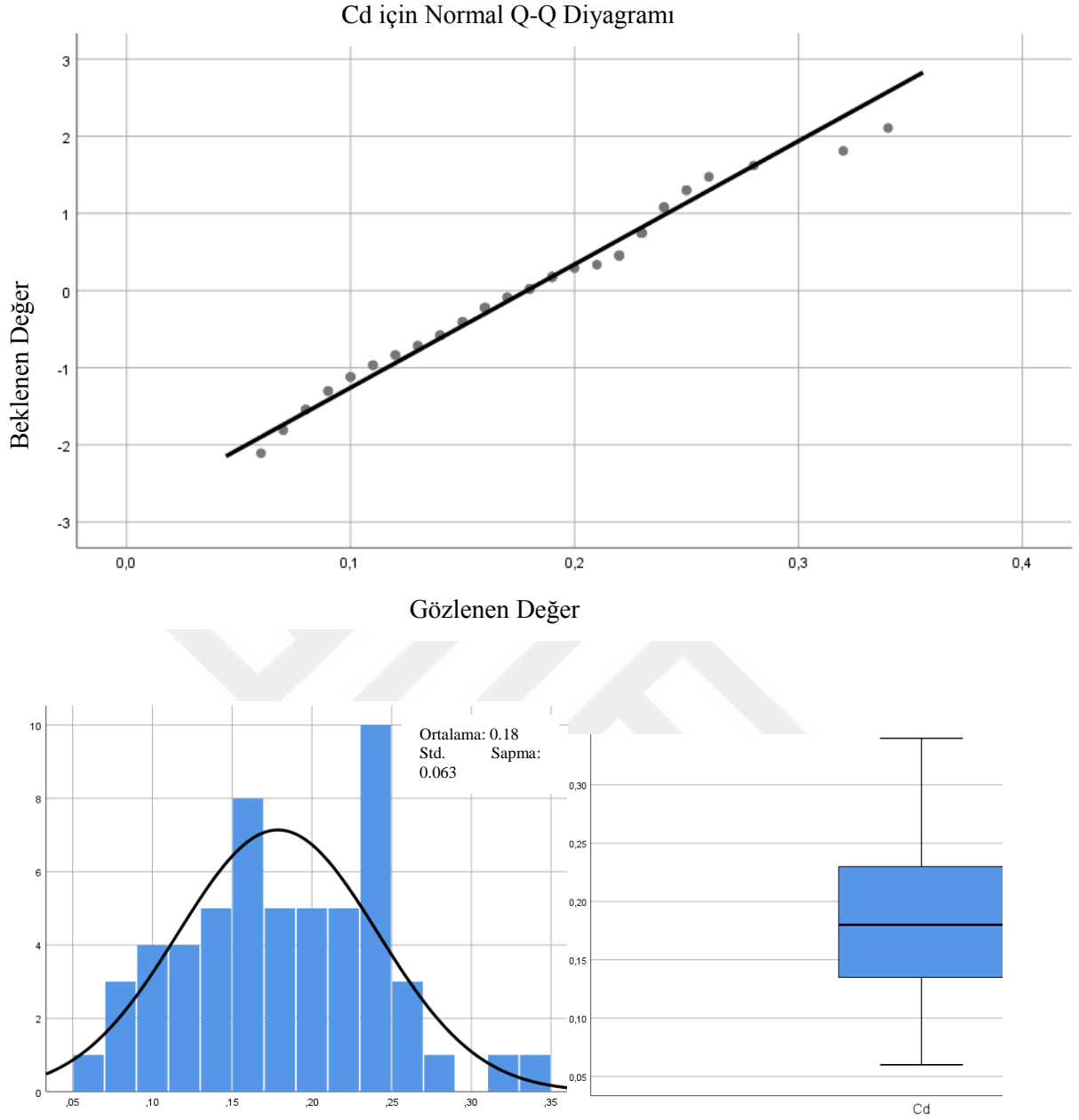
Şekil 3.32. Au elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Au elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Au elemetinin Q-Q grafiğinde 2-6 ppb aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagramına göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Au elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermediğini desteklemektedir.



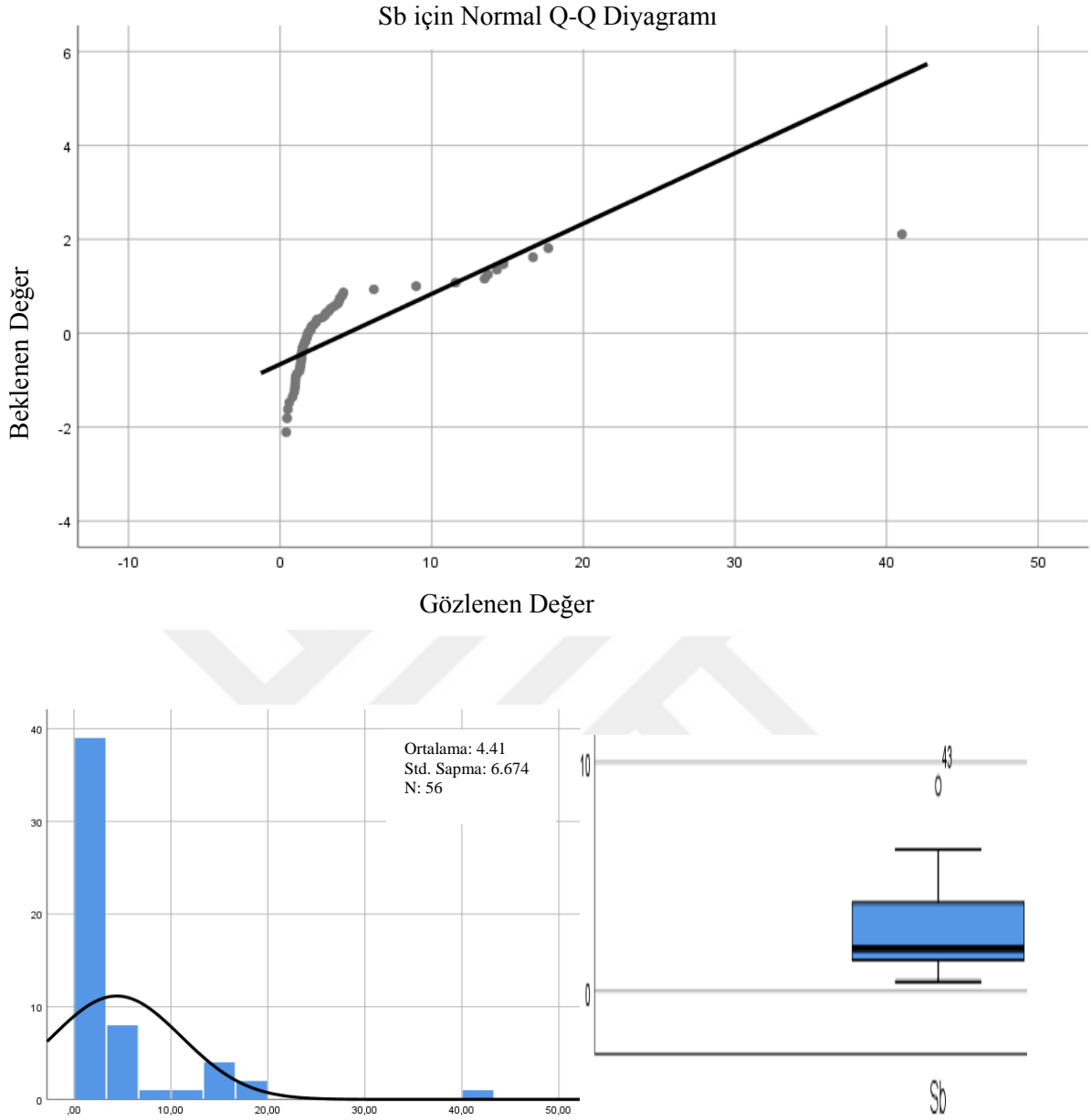
Şekil 3.33. Sr elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Sr elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Sr elemetinin Q-Q grafiğinde 40-58 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Sr elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermediğini göstermiştir.



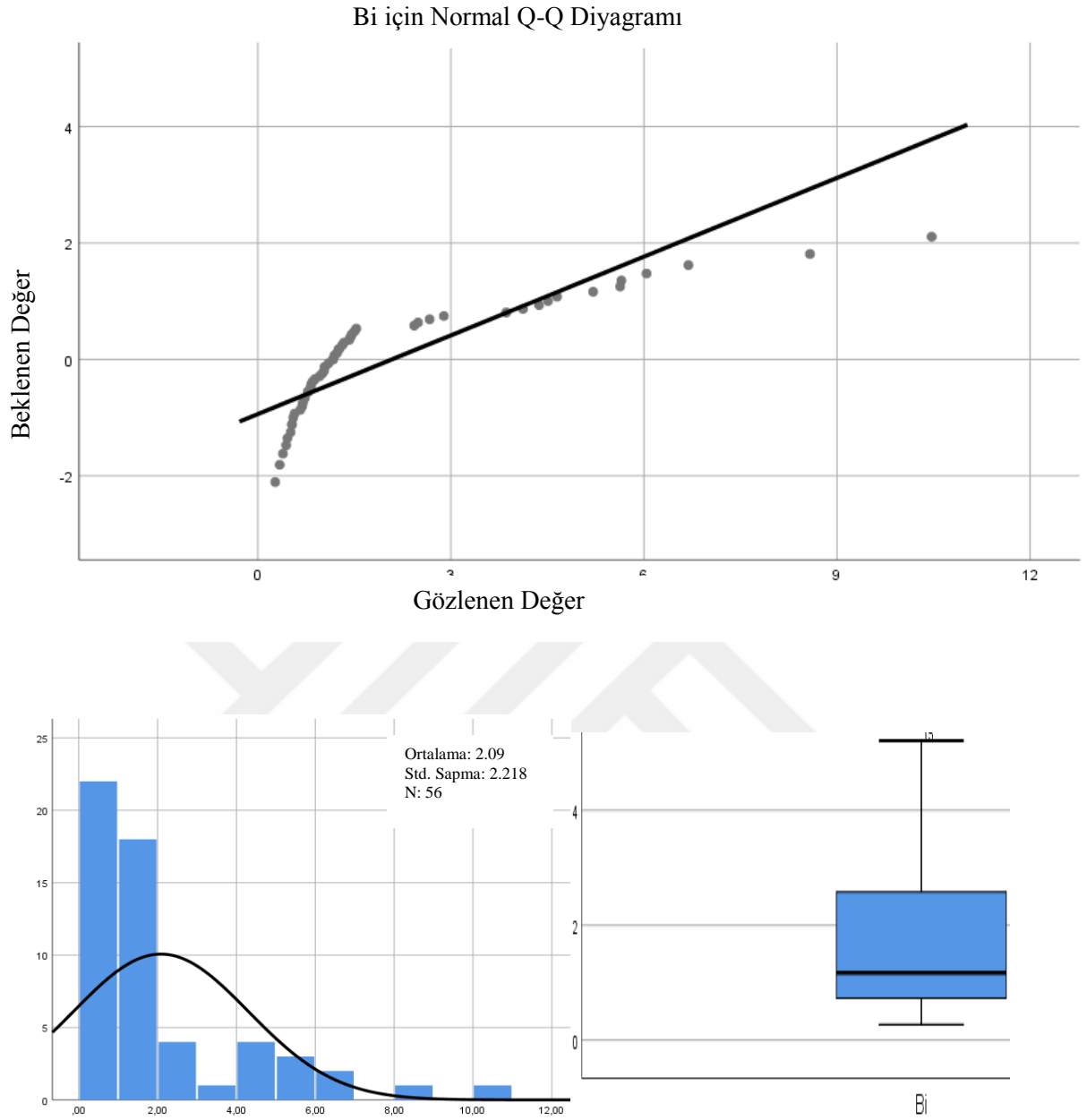
Şekil 3.34. Cd elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Cd elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Cd elemetinin Q-Q grafiğinde 0.1-0.25 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sağa çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu olduğu görülmektedir. Kolmogrov-Simornov normallik testinde Cd elementi veri seti içinde normal dağılım göstermemiştir.



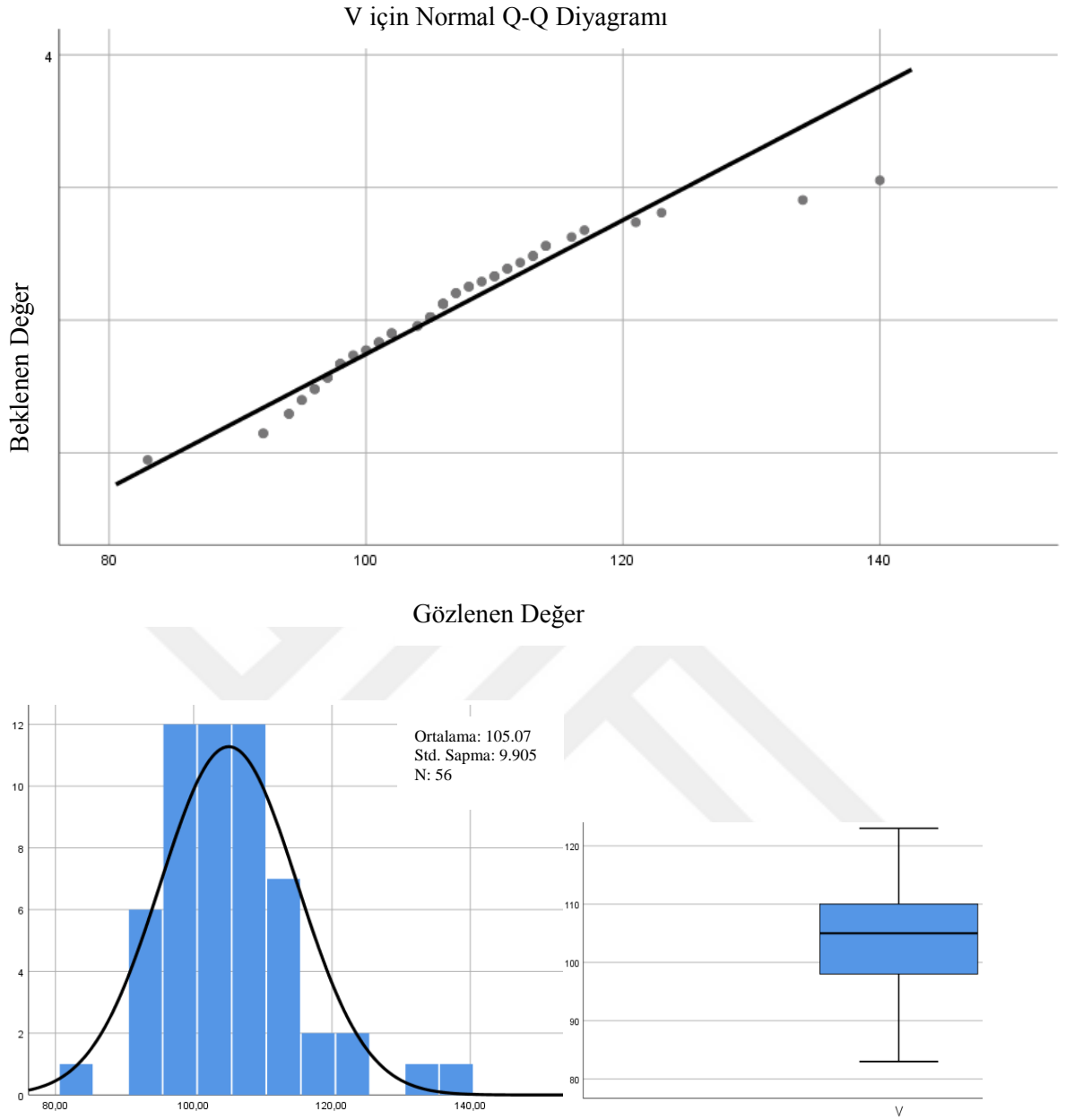
Şekil 3.35. Sb elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Sb elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Sb elemetinin Q-Q grafiğinde 0.75-5.65 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin aşırı şekilde sağa çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagramına göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Sb elementi için yapılan Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermediği görülmüştür.



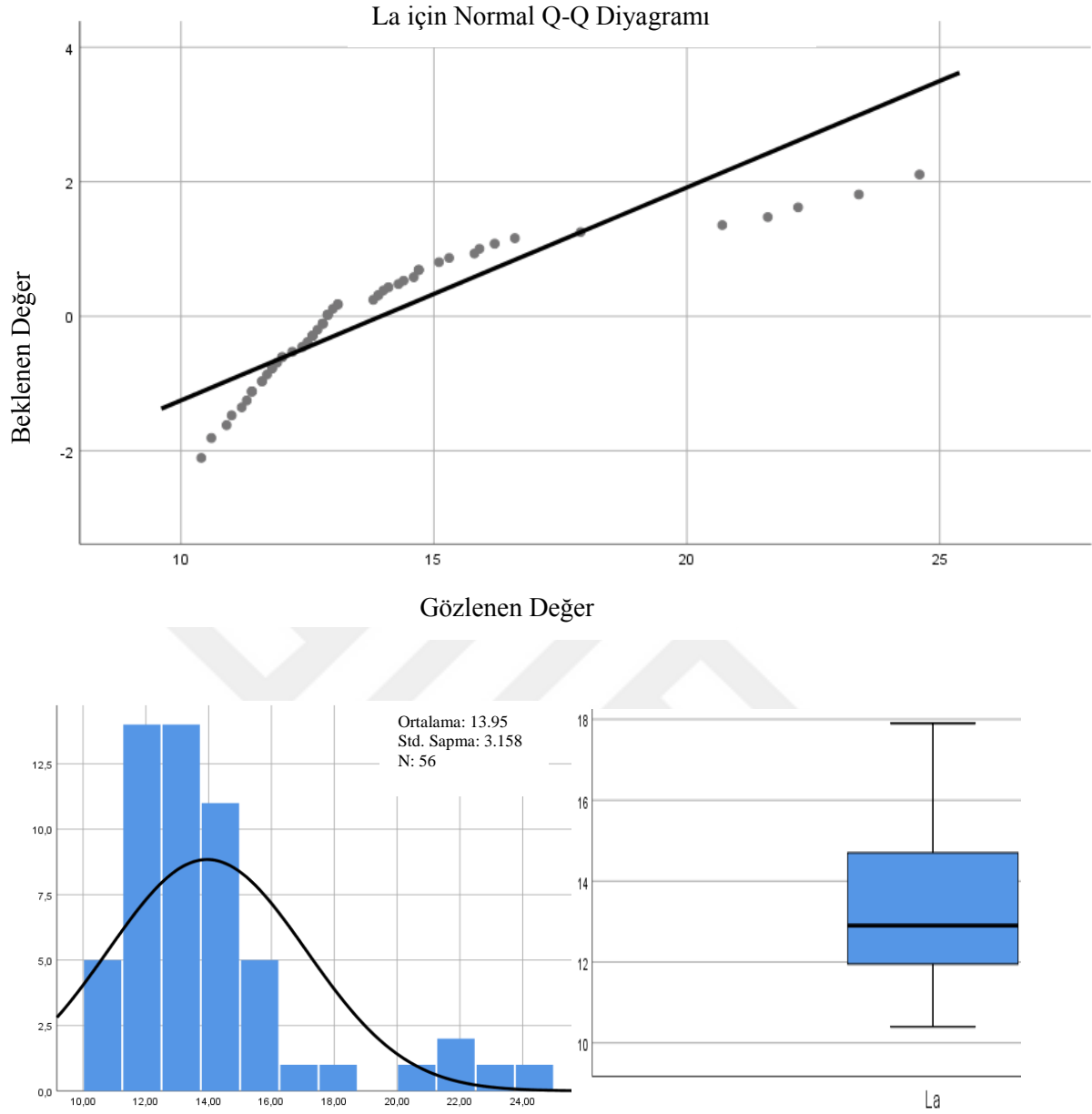
Şekil 3.36. Bi elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Bi elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Bi elemesinin Q-Q grafiğinde 1.00-2.75 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin aşırı derecede sağa çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagramına göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Bi elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermemiştir.



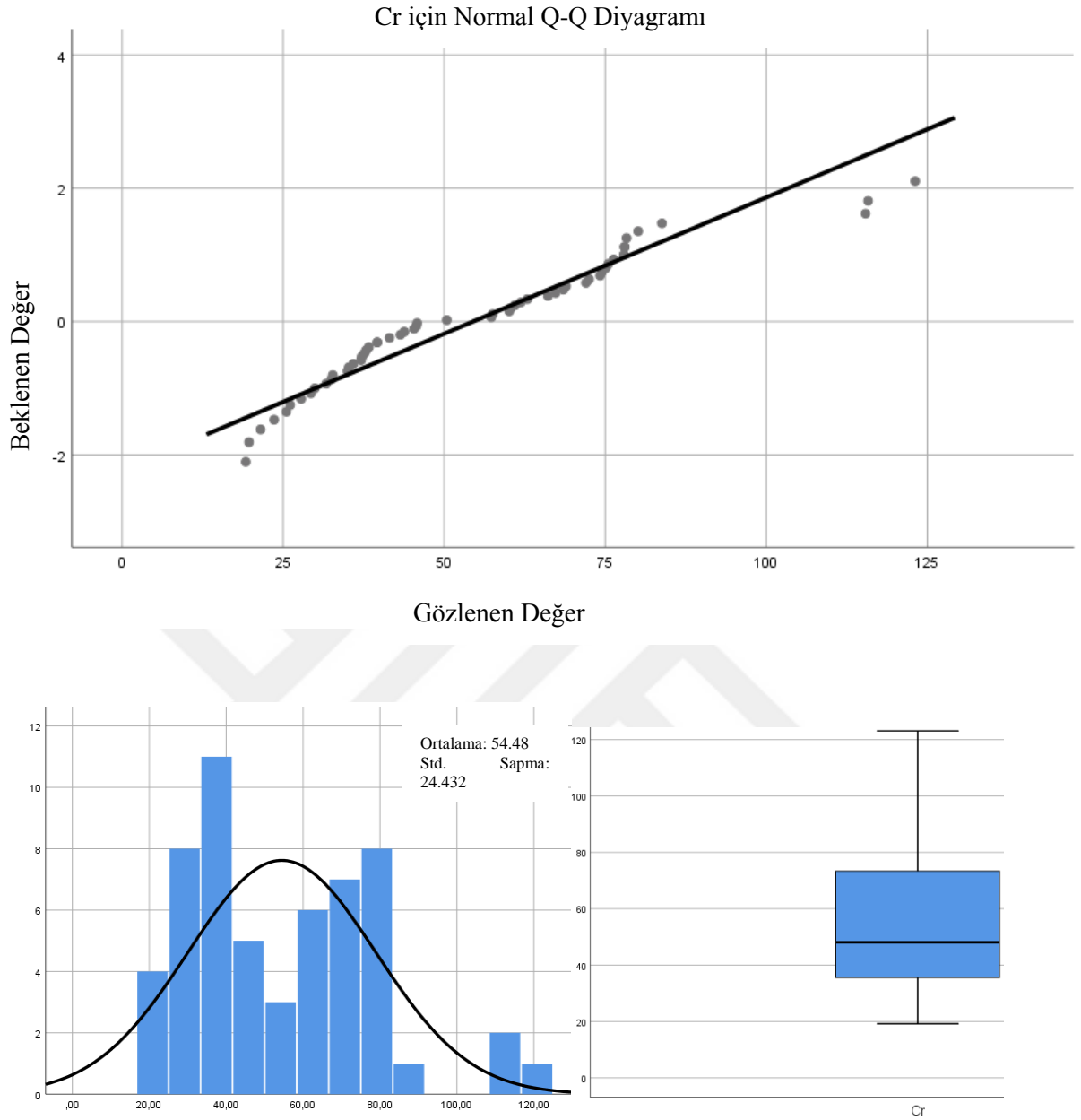
Şekil 3.37. V elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

V elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, V elementinin Q-Q grafiğinde 90-115 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. V elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermediğini desteklemektedir.



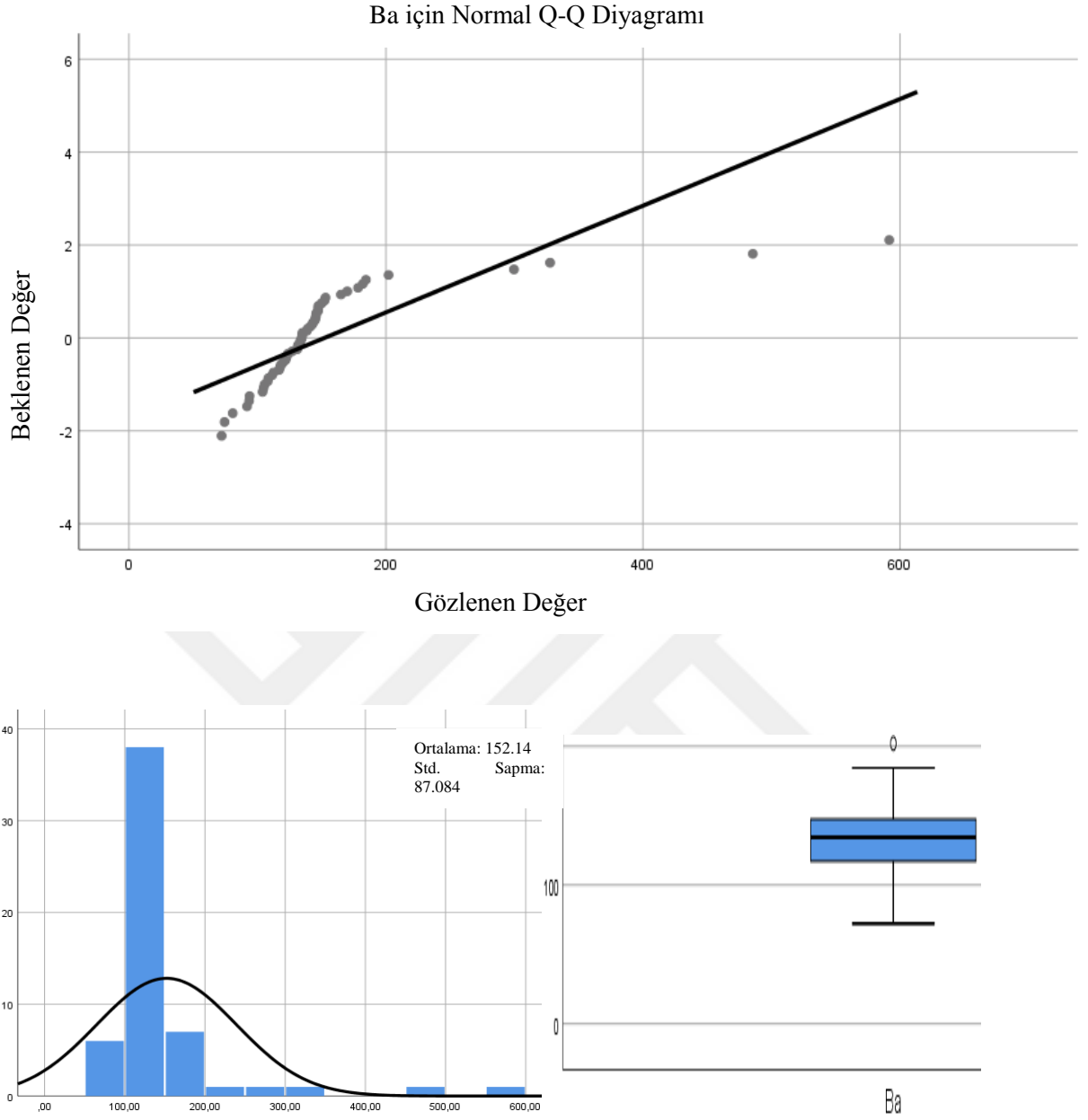
Şekil 3.38 La elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

La elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, La elemetinin Q-Q grafiğinde 11-15 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sağa çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagramına göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. La elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermediğini göstermiştir.



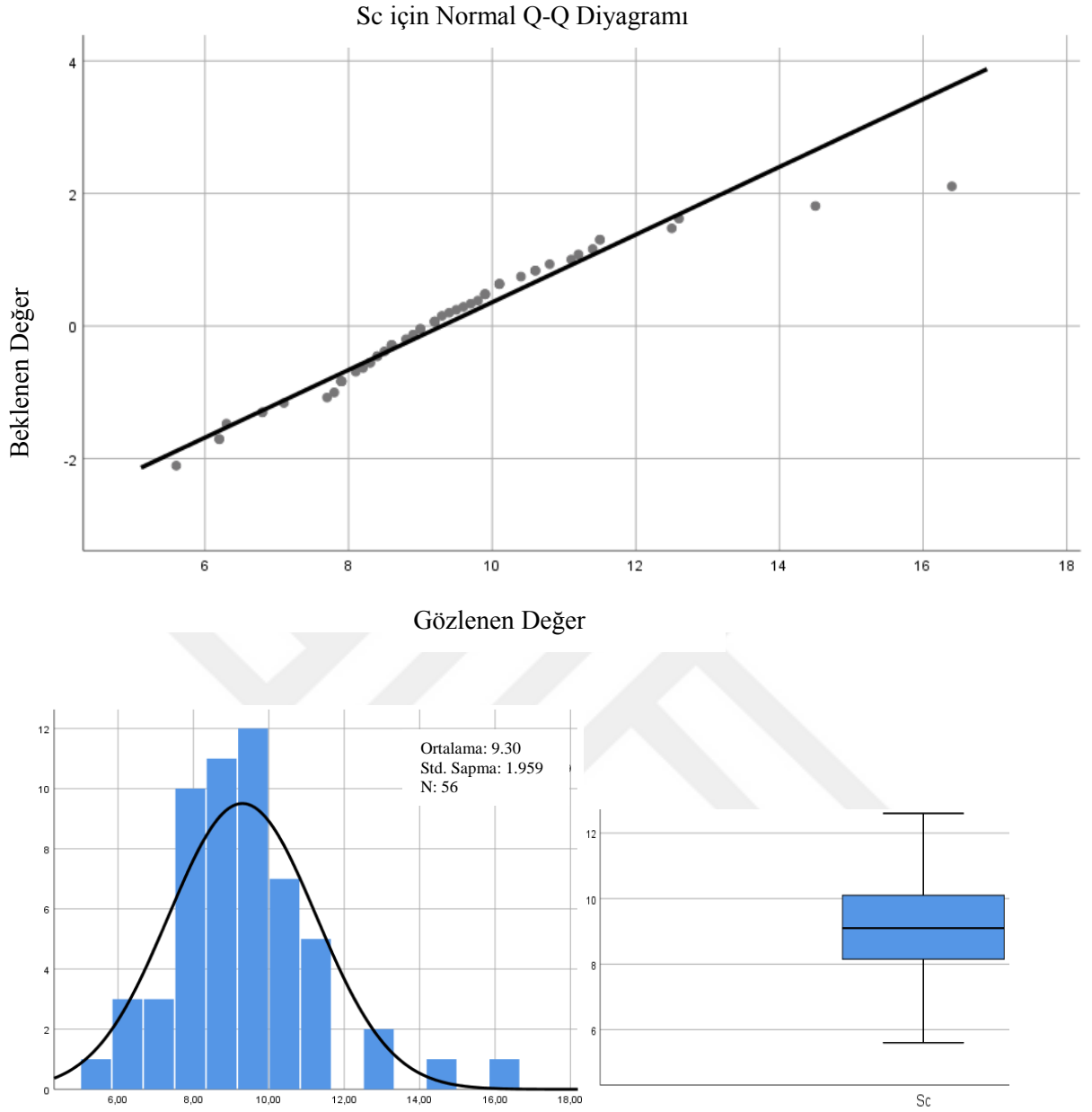
Şekil 3.39. Cr elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Cr elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Cr elemetinin Q-Q grafiğinde 25-75 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sağa çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Cr elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermediğini desteklemektedir.



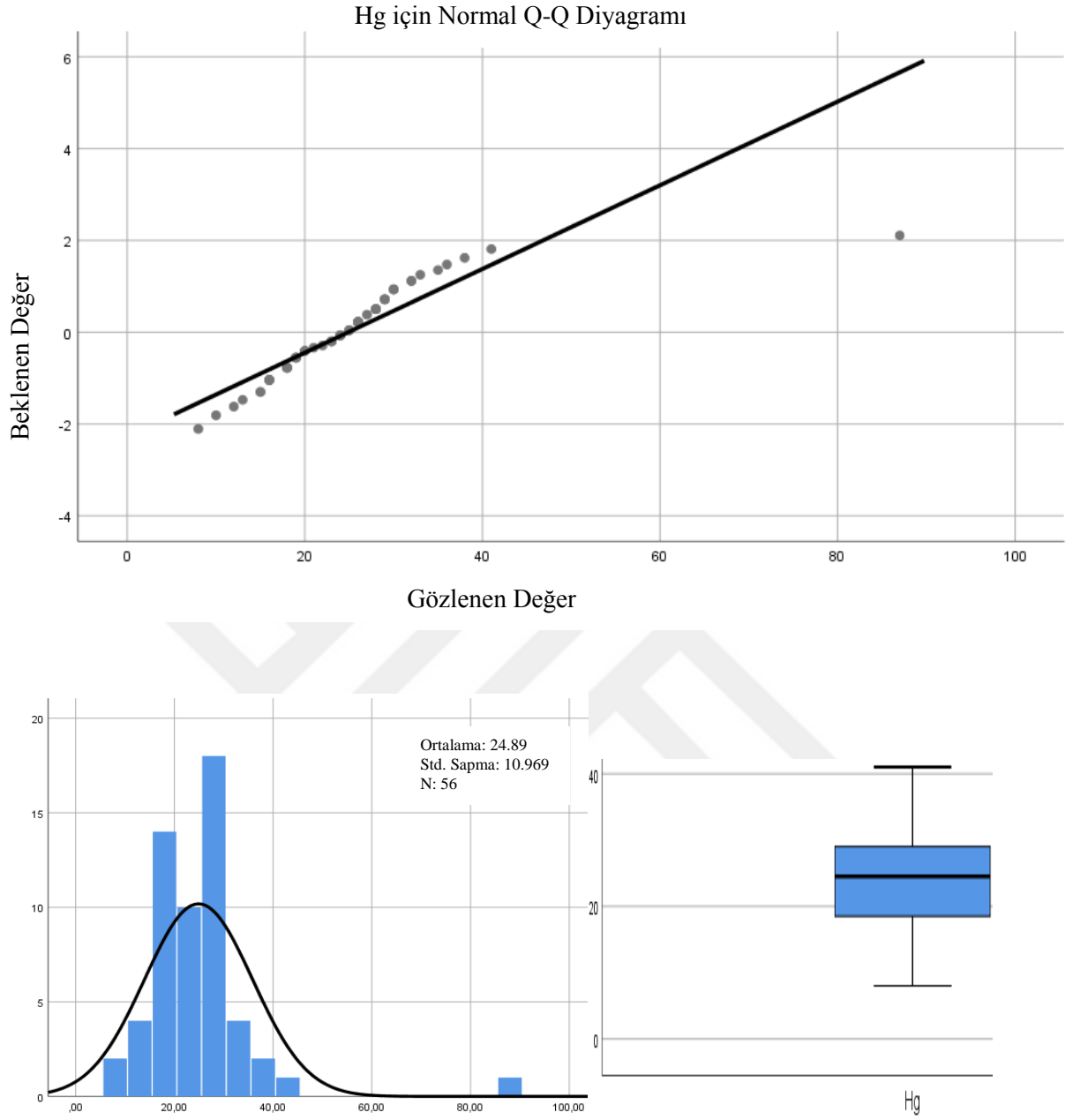
Şekil 3.40. Ba elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Ba elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Ba elemetinin Q-Q grafiğinde 75-200 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Ba elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermediğini desteklemektedir.



Şekil 3.41. Sc elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Pb elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Pb elemetinin Q-Q grafiğinde 8-13 ppm aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sağa çarpık olduğu, normal dağılıma yakın dağılım sunduğu, kutu diyagrama göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu olduğu görülmektedir. Pb elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım sunmadığı görülmüştür.



Şekil 3.42. Hg elemetine ait dağılım oranları, histogram ve kutu diyagramı.

Hg elementi için Q-Q Grafiği, Histogram ve Kutu diyagramları hazırlanmış, Hg elemetinin Q-Q grafiğinde 18-30 ppb aralıkta normal dağılım gösterdiği, bu aralık dışında ise normal dağılımdan sapmaların geliştiği, histogram diyagramına göre veri setinin bir miktar sola çarpık olmakla birlikte normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, kutu diyagramına göre sağa ise daha çok sağa çarpık bir karakterde olduğu görülmektedir. Hg elementi için Kolmogrov-Simornov normallik testi de veri setinin normal dağılım göstermediğini desteklemektedir.

3.6.4. Korelasyon Analizi

Sahadaki element konsantrasyonları için korelasyon katsayıları Pearson'a ve Spearman'a göre hesaplanmıştır (Tablo 7.7 ve 7.8). Elementler arasındaki korelasyon katsayıları değerlendirilirken, normal dağılım gösteren elementler arasındaki korelasyon katsayıları için Pearson korelasyon katsayıları, normal dağılım göstermeyen elementler arasındaki korelasyon katsayıları için ise Spearman korelasyon katsayıları dikkate alınmakla birlikte, verilerin çoğunluğu normal dağılım göstermediği için Spearman korelasyon katsayılarına göre değerlendirme yapılmıştır. Hesaplanan korelasyon katsayıları dikkate alındığında; 0.50 ile 1.00 arasındaki korelasyon katsayıları zayıf-güçlü pozitif ilişkiye, -0.50 ile -1.00 arasındaki korelasyon katsayıları ise zayıf-güçlü negatif bir ilişkiye karşılık gelir.

Elementler arasındaki korelasyon katsayıları dikkate alındığında; Mo ile Cu, Co, Mn elementleri arasında pozitif korelasyon, Sb arasında ise negatif korelasyon görülmüştür. Cu ile Zn, Ag, Co, Mn, As, Au ve Bi arasında pozitif korelasyon görülmüştür. Pb ile Zn, Ag, Co, Cd ve Bi arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Zn ile As, Cd ve Sb arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Ag ile Co, As, Au, Cd ve Bi arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Co ile Mn ve B arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Mn ile Bi arasında; As ile Au ve Sb arasında; ve Au ile Bi arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir.

Tablo 3.7. Pearson Korelasyon katsayıları.

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Co	Mn	As	Au	Cd	Sb	Bi
Mo	1											
Cu	0,605**	1										
Pb	0,320*	0,642**	1									
Zn	-0,160	0,266*	0,597**	1								
Ag	0,419**	0,709**	0,706**	0,365**	1							
Co	0,581**	0,928**	0,573**	0,198	0,618**	1						
Mn	0,346**	0,637**	0,321*	0,258	0,389**	0,722**	1					
As	-0,206	0,266*	0,338*	0,585**	0,371**	0,143	0,203	1				
Au	0,017	0,463**	0,195	0,307*	0,535**	0,400**	0,341*	0,649**	1			
Cd	0,080	0,479**	0,848**	0,656**	0,481**	0,422**	0,287*	0,308*	0,01	1		
Sb	-0,429**	-0,235	-0,116	0,200	0,060	-0,364**	-0,313*	0,545**	0,422**	-0,132	1	
Bi	0,629**	0,753**	0,557**	0,028	0,779**	0,672**	0,476**	0,101	0,349**	0,333*	-0,218	1

** 0.01 önemlilik katsayısı için hesap edilmiş korelasyon katsayısı.

* 0.05 önemlilik katsayısı için hesap edilmiş korelasyon katsayısı.

Tablo 3.8. Spearman korelasyon katsayıları

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Co	Mn	As	Au	Cd	Sb	Bi
Mo	1,00											
Cu	0,466**	1,00										
Pb	0,24	0,476**	1,00									
Zn	-0,23	0,18	0,591**	1,00								
Ag	0,25	0,672**	0,704**	0,415**	1,00							
Co	0,623**	0,838**	0,457**	0,14	0,486**	1,00						
Mn	0,487**	0,610**	0,332*	0,18	0,344**	0,792**	1,00					
As	-0,17	0,459**	0,409**	0,545**	0,580**	0,20	0,24	1,00				
Au	-0,01	0,590**	0,22	0,288*	0,606**	0,385**	0,342**	0,686**	1,00			
Cd	0,03	0,364**	0,842**	0,631**	0,505**	0,335*	0,301*	0,347**	0,04	1,00		
Sb	-0,719**	-0,21	0,03	0,571**	0,15	-0,370**	-0,311*	0,552**	0,284*	0,12	1,00	
Bi	0,369**	0,830**	0,546**	0,09	0,662**	0,708**	0,549**	0,383**	0,584**	0,387**	-0,24	1,00

** 0.01 önemlilik katsayısı için hesap edilmiş korelasyon katsayısı.

* 0.05 önemlilik katsayısı için hesap edilmiş korelasyon katsayısı.

3.6.5. Eşik Değer Hesabı

Tez sahasındaki elementlerin eşik değerleri (ED), detayları material method bölümünde verildiği üzere; ortalama, geometrik ortalama, harmonik ortalama, medyan ve konsantrasyon-sayı (C-N) metotları kullanılarak hesaplanmıştır. Normal dağılım göstermeyen veriler için ortalama kullanılarak hesaplanan eşik değerlerin daha uygun olduğu bilinmektedir. Uç değerlerin etkisinin en aza indirildiği medyan+2 medyan mutlak sapma değeri yardımıyla elde edilen eşik değerlerin daha isabetli olduğu bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir. Eşik değer hesaplanmasında daha farklı yöntemler de kullanılmaktadır.

Diğer yöntemler kullanılarak çalışma alanının ayrıntılı olarak değerlendirmesi ve kullanılan yöntemlerin birbiri içinde mukayese edilerek daha sağlıklı yorumlamamızı sağlar. M+MMS yönteminde verilerin değerlendirilmesi ve çalışma alanı hakkında fikir vermesi açısından çok kullanışlıdır. Medyan Mutlak Sapma aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Medyan mutlak sapma aşağıdaki formülle hesap edilir.

$$MMS = Mi(|xi - Mj(xj)|)$$

burada xi örneklem içindeki her bir elemanı, xj n sayıdaki orijinal gözleme karşılık gelmekte, Mi ise serinin medyanını ifade etmektedir.

Konsantrasyon Numara (C-N) yöntemi, özellikle bir kaç jeokimyasal sürecin birlikte geliştiği elementlerin temel değerlerinin ve eşik değerlerin çokca etkilenmeye maruz kaldığı durumlarda, fraktal metotlarla belirlenen eşik değerlerin düşük anamoli kontrastlarının olduğu arazilerde ve düşük eşik değerlerin söz konusu olduğu durumlarda işe yaradığı bilinmektedir (Mandelbrot 1983, Hasanpour ve Afzal 2013, Angberg 1995,

Monecke 2005, Deng vd., 2010; Sadeghi vd., 2012).

Tablo 3.9. Değişik metotlarla hesap edilmiş ED'ler.

Element	Ortalama	O+2SS	Geometrik Ortalama	GeO+ 2SS	Harmonik Ortalama	HO+ 2SS	Medyan	M+2SS	C-N
Mo	1.05	1.28	0.95	2.85	0.87	1.22	0.95	1.82	2.24
Cu	81.01	77.16	71.46	77.15	64.01	98.01	60.60	153.46	77.24
Pb	25.46	23.20	23.98	24.10	22.44	28.49	25.31	39.27	38.18
Zn	75.90	76.42	74.78	70.22	73.59	78.27	76.40	96.87	88.64
Ag	108.0	105.15	92.97	90.85	78.43	137.25	98.50	200.69	164.44
Co	28.20	25,22	26.07	20.14	24.29	32.06	23.70	47.91	36.23
Mn	0.083	1598.28	0.08	1617.24	0.08	1660.49	0.08	1637.03	1564.88
As	11.0	12.16	10.19	12.22	9.35	12.62	20.20	17.19	16.16
Au	3.70	4.18	3.23	3.02	2.74	4.74	3.45	7.01	6.18
Sr	49.50	54.24	48.67	45.15	47.87	51.20	46.35	64.61	55.15
Cd	0.18	0.22	0.17	0.16	0.15	0.21	0.18	0.28	0.33
Sb	4.41	4.88	2.42	2.04	1.64	7.17	1.85	12.57	10.80
Bi	2.09	2.96	1.36	1.18	0.98	3.19	1.17	5.44	3.74
Sc	9.30	8.72	9.11	8.72	8.93	9.67	9.10	12.18	10.18
Hg	25.0	22.40	23.18	25,62	21.62	28.17	24.50	38.33	24.26

Eşik değer çalışmalarında elementlerin ortalama, geometrik ortalama, harmonik ortalama, konsantrasyon alan ve bu değerlere ait standart sapmaların da dikkate alınarak elde edilen standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Bu değer hesaplamalarıyla elementlerin standart sapmalarıyla birlikte sonuçların sağlıklı bir şekilde yorumlamaları yapılmıştır.

Bulunan değerlerin karşılaştırılmaları yapıldığında birbirine yakın değerler sunduğu görülmektedir.

Elementlere ait dağılım haritaları oluşturulurken eşik değer üzerinin anomali olarak kabul edilerek haritaların yorumlanmasının yanı sıra elementler için belirlenen yüzde değerler de (% 25, 50, 75, 90; Tukey's Hinge' e göre yüzde değerler: %25, 50 ve 75.) dağılım haritalarının yorumlanmasında/değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bilindiği üzere elementlerin fizikokimyasal koşullara göre davranışları farklılık göstermekte, bazı elementler bu bağlamda birbirleri ile benzer fizikokimyasal koşullarda benzer davranışlar gösterirken, diğerleri de değişen koşullara göre farklılaşarak kendi içlerinde benzer davranışlar sergilemektedir. Bu farklılaşma fizikokimyasal koşulları etkileyen faktörlere bağlı olarak gelişmektedir. Jeokimyasal çalışmalarda farklı faktörlere göre birliktelik gösteren elementlerin belirlenmesinde en etkin olarak kullanılan yöntemlerden birisi de faktör analiz yapmaktır. Veri seti içinde çok fazla parametrenin birlikte incelendiği

durumlarda ve/veya altın gibi doğada düşük konsantrasyonlarda bulunan elementlerin aranmasında etkin olan iz bulucu elementlerin tespit edilmesi amacıyla faktör analiz yaygın olarak gerçekleştirilmektedir.

3.6.8. Faktör Analizi

Tez kapsamında çalışılan elementlerin birbirleri ile ilişkilerinin belirlenmesi ve dağılım haritası yapımında da ilişkili faktör yardımıyla dağılım haritası yapılması amacıyla faktör analizi gerçekleştirilmiştir. Faktör analizinde kullanılan değişik metotlar olmakla birlikte bu çalışma temel bileşen analizi metodu kullanılmıştır. Faktör analizinde IBM SPSS Statistics 22 Paket programı kullanılmıştır. Veri setinin faktör analizine uygunluğu KMO and Bartlett's testi ile incelenmiştir. KMO yöntemine göre 0,769 değeri elde edilmiş olup, bu değer 0,5 üzeri olduğu için faktör analizlerinin istatistik çalışmalarına uygun olduğu görülmüştür (Tablo 7.11.). Çalışmada toplam varyans, faktörlerle ilişkili olan yüzde varyans ve yüzde kümülatif değerleri hesaplanmıştır (Tablo 7.12.). Yapılan faktör analizinde özdeğerin (eigenvalue) 1'den büyük olan üç faktör tespit edilmiştir. Faktörlerin birbirleri ile ilişkilerini en aza indirmek için Varimax metodu ile faktörler birbirlerine dik yönde döndürmeye tabi tutulmuşlardır. Üç faktörün kümülatif varyans değerleri %79,55 olup (F1: 37,613+F2: 22,194+F3: 19,746), faktör analizi için uygun bir değer olduğu görülmüştür (Tablo 7.12.). Faktör analizi ile aynı faktör içinde yer alan elementler Tablo 7.13'de daire içine alınarak gösterilmiştir. Faktör-3, As, Au ve Sb elementlere ait hesap edilen özet istatistik değerleri Tablo 7.14.' te gösterilmiştir. Faktör değerlerine göre analize tabi tutulan elementlerin üç boyutlu gösterimi Şekil 7.43'te sunulmuştur.

Tablo 3.11. KMO ve Bartlett's Testi.

Kaiser-Meyer-Olkin yöntemi ölçümü.	0.769	
Bartlett's testi	Yaklaşık Ki-Kare	598.522
	Fark	66
	Sigma.	0

Tablo 3.12. Toplam varyans değerleri.

Toplam Varyans									
Değerler	İlk Değerler			Toplam Değerler			Son Değerler		
	Toplam	% Varyans	Kümülatif %	Toplam	% Varyans	Kümülatif %	Toplam	% Varyans	Kümülatif %
1	5.439	45.324	45.324	5.439	45.324	45.324	4.514	37.613	37.613
2	2.580	21.499	66.824	2.580	21.499	66.824	2.663	22.194	59.806
3	1.527	12.729	79.553	1.527	12.729	79.553	2.370	19.746	79.553
4	0.898	7.480	87.033						
5	0.378	3.149	90.182						
6	0.304	2.535	92.717						
7	0.277	2.312	95.029						
8	0.240	1.999	97.028						
9	0.124	1.031	98.059						
10	0.109	0.909	98.968						
11	0.085	0.705	99.674						
12	0.039	0.326	100.000						

Ekstraksiyon yöntemi temel bileşen analizi

Tablo 3.13. Faktörlerin birbiri açısından ilişkisi.

Çevirilmiş Bileşen Analizi			
	Bileşen		
	1	2	3
Mo	0,768	-0,107	-0,326
Cu	0,896	0,289	0,102
Pb	0,479	0,806	0,024
Zn	-0,004	0,824	0,363
Ag	0,714	0,367	0,325
Co	0,892	0,233	-0,011
Mn	0,681	0,168	0,053
As	0,070	0,383	0,816
Au	0,436	-0,034	0,830
Cd	0,232	0,928	-0,071
Sb	-0,352	-0,037	0,807
Bi	0,866	0,112	0,029

Bu verilere göre;

Faktör 1= Mo, Cu, Ag, Co, Mn, Bi

Faktör 2= Pb, Zn, Cd

Faktör 3= As, Au, Sb

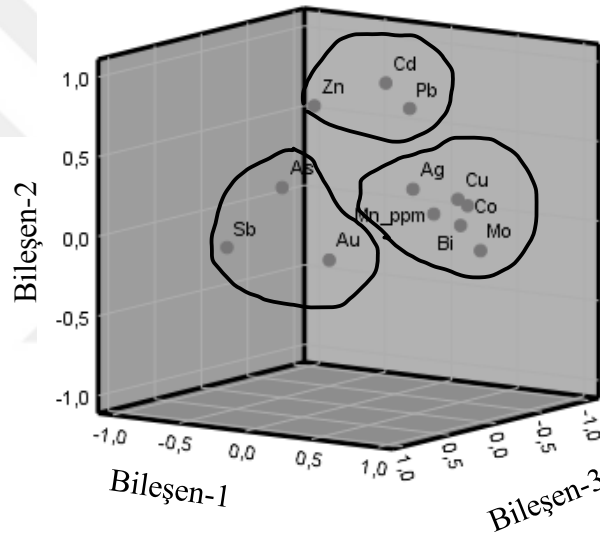
olarak tespit edilmiştir.

Oluşturulacak dağılım haritası için her bir örnek alım noktasına ait faktör değeri için aşağıdaki formülasyon ile hesaplama yapılmıştır.

Faktör 1= $0,768*Mo+0,896*Cu+0,714*Ag+0,892*Co+0,681*Mn+0,866*Bi$

Faktör 2= $0,8206*Pb+0,824*Zn+0,928*Cd$

Faktör 3= $0,816*As+0,830*Au+0,807*Sb$



Şekil 7.13. Bileşenlerin üç boyutta gösterilmesi

Tablo 3.14.'da Faktör-3(F3), As, Au ve Sb' ye ait özet istatistik değerler verilmiştir.

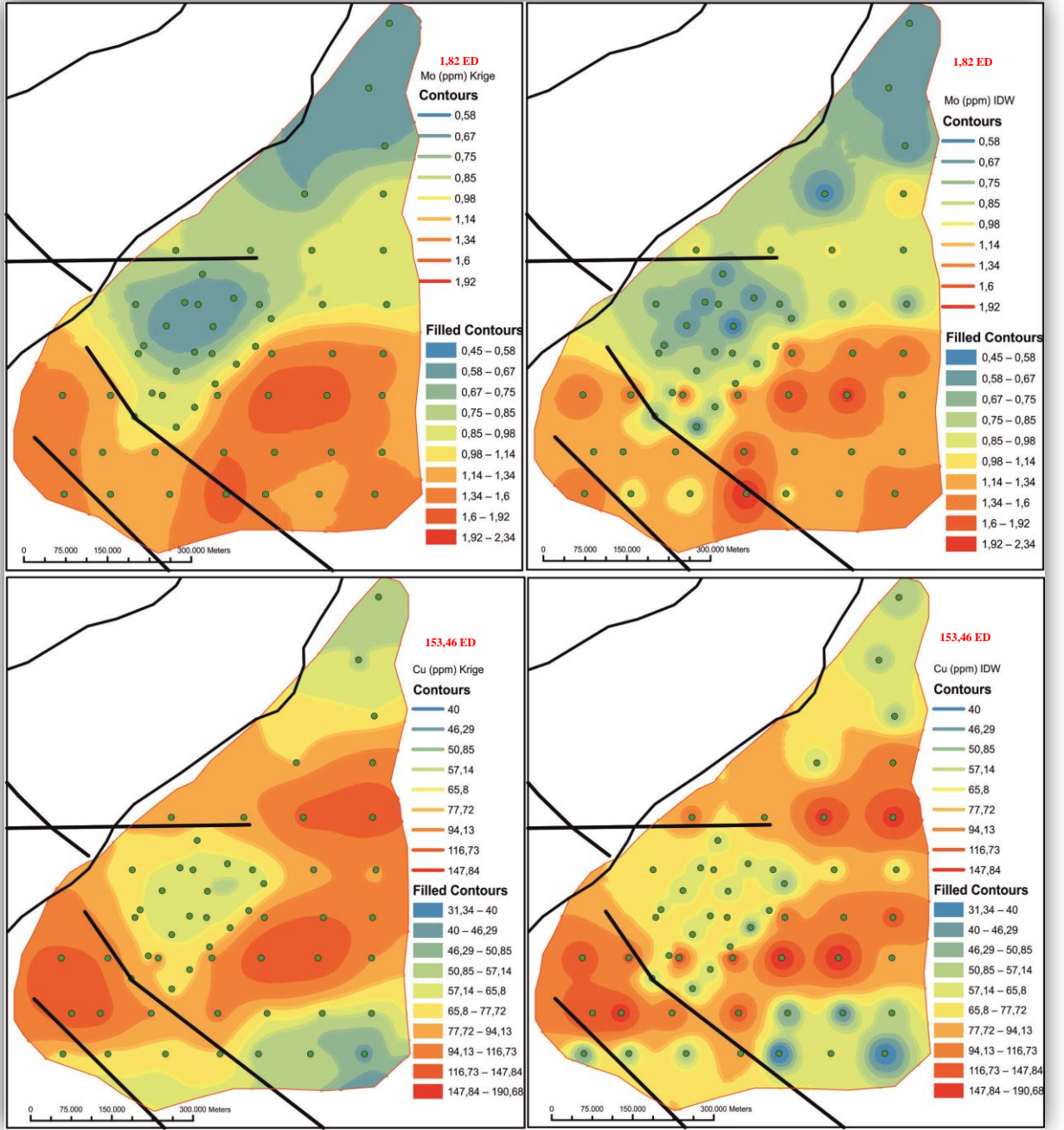
Tablo 3.14. F3, As, Au ve Sb Özet İstatistik değerleri

İstatistik Değerler	As(ppm)	Au(ppb)	Sb(ppm)	F3
Ortanca Değer	3,739	10,984	4,406	6,376
Değişim (Varyans)	17,159	3,691	44,540	21,8
Maksimum	20,50	8,50	41,02	23,34
Minimum	3,70	0,90	0,40	1,67
Standart Sapma	4,142	1,921	6,674	4,24
Medyan Mutlak Sapma	17,190	7,006	12,573	12,25

3.7. Dağılım Haritaları

Elementlerin dağılım haritaları maden arama amaçlı toprak jeokimya çalışmalarında verilerin değerlendirilmesinde en yaygın ve nihai olarak kullanılan veri değerlendirme aşamasıdır. Element dağılım haritalarının oluşturulmasında kullanılan temel modeller iki ana başlık altında toplanabilir: Deterministik modeller ve olasılık (doğrusal istatistik) modeller. Deterministik modeller içinde en çok uygulanan Ters Mesafe Ağırlıklandırma (TMA) (Inverse Distance Weighting, IDW) enterpolasyon metodu, olasılık modelleri içinde ise Krigleme metodudur. Yapılan istatistiksel çalışmalarda elde edilen eşik değer (Medyan+2MMS) baz alınarak üretilen element dağılım haritaları ve faktör verilerinden elde edilerek üretilen dağılım haritaları hem ters mesafe ağırlıklandırma hem de krigleme metotları kullanılarak ArcGIS v.10.2 paket programındaki hazır algoritmalarla çizdirilmiştir (Şekil 7.44-7.52).

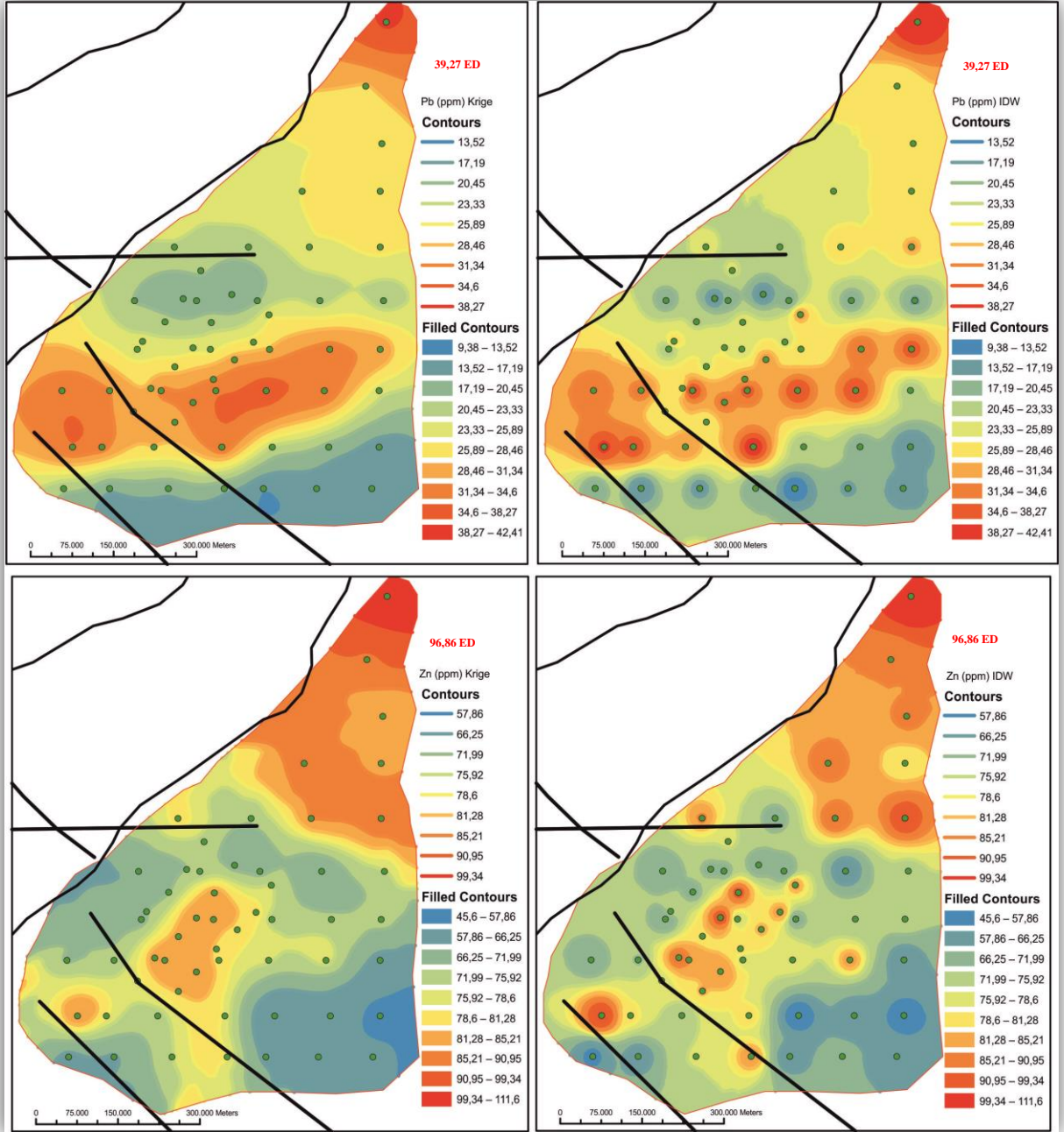
Mo ve Cu elementleri için yapılan dağılım haritalarında, krigleme yöntemine göre Mo elementinin inceleme alanının Güneybatı ve Güneydoğu bölümlerinde yoğunlaştığı TMA yöntemine göre de benzerlik arz ettiği görülmektedir. Cu elementi için yapılan krigleme yönteminde sahanın Doğu ve Batı bölümlerinde yoğunlaştığı TMA' ye göre de paralellik arz ettiği görülmüştür. Mo elementi için M+2MSS değeri: 1,82 C-N: 2,24; Cu elementi için M+2MMS: 153,46 C-N:77,24 tür.



Şekil 3.46. Mo ve Cu elementine ait dağılım haritaları

Pb ve Zn elementleri için yapılan dağılım haritalarında, Krigleme yöntemine göre Pb elementinin inceleme alanının Kuzey ve merkeze yakın güney bölümlerde yoğunlaştığı TMA yöntemine göre de benzerlik arz ettiği görülmektedir. Zn elementi için yapılan Krigleme yönteminde sahanın Kuzey-Kuzeydoğu ve Güneybatı bölümlerinde yoğunlaştığı TMA'ye göre de paralellik arz ettiği görülmüştür.

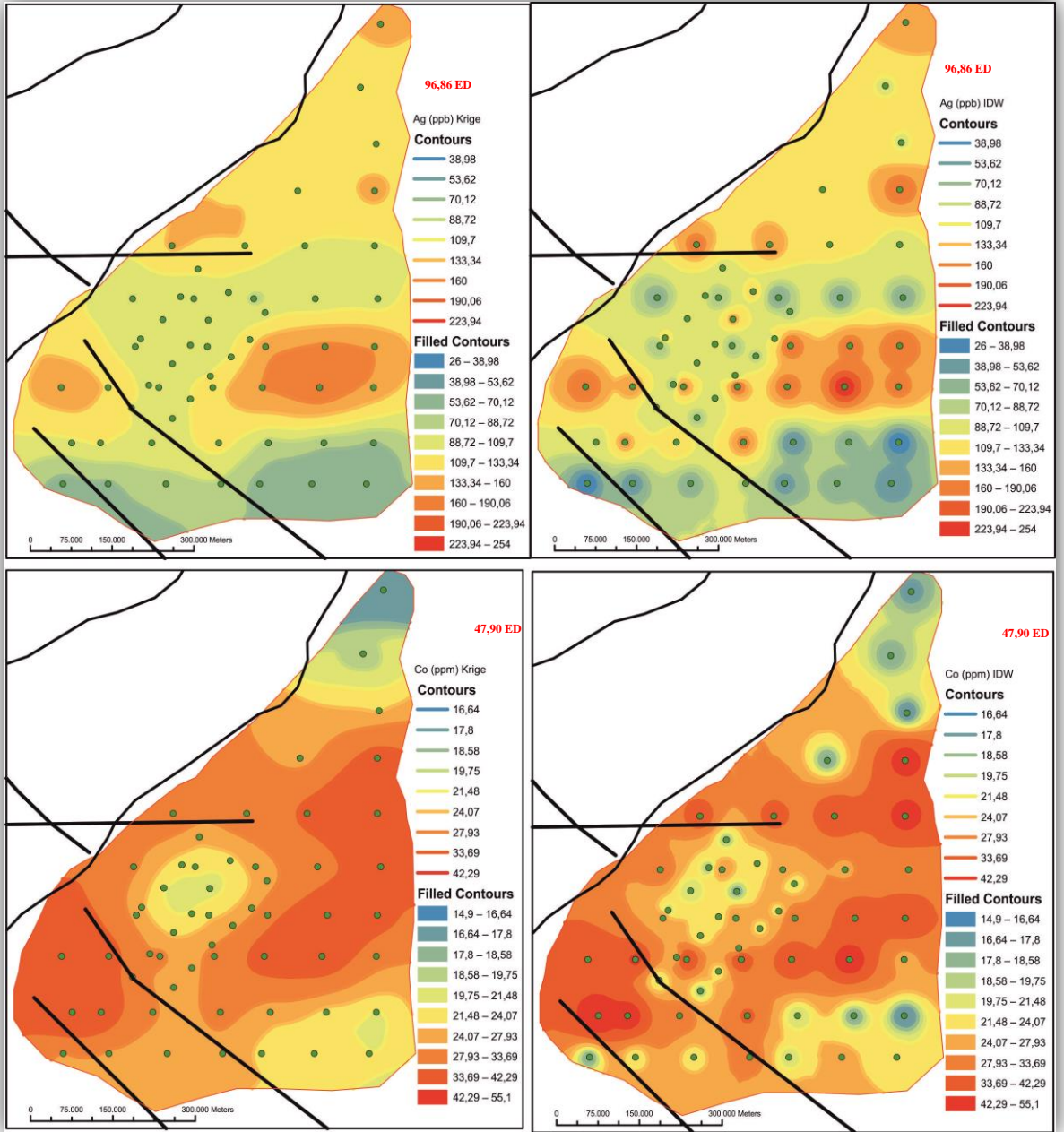
Pb elementi için M+2MMS: 39,27 C-N:38,18; Zn elementi için M+2MMS: 96,86 C-N: 88,64 tür.



Şekil 3.47. Pb ve Zn elementlerine ait dağılım haritaları.

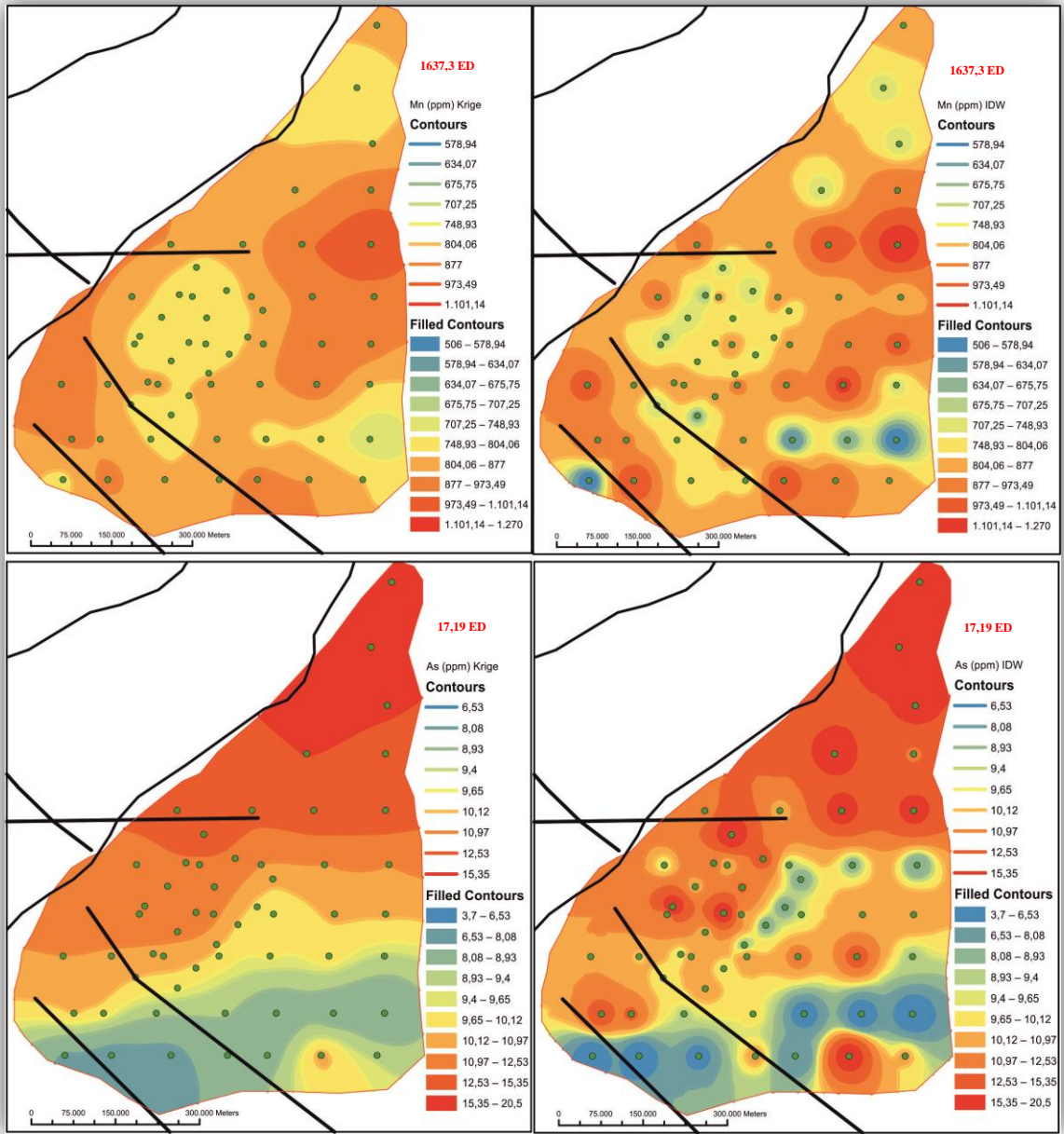
Ag ve Co elementleri için yapılan dağılım haritalarında, Krigleme yöntemine göre Ag elementinin inceleme alanının Doğusunda ve merkeze yakın Batı bölümlerde ve Kuzey kısımda lokal olarak yoğunlaştığı, TMA yöntemine göre de benzerlik arz ettiği

görülmektedir. Co elementi için yapılan Krigleme yönteminde çalışma alanının Doğu ve Güneybatı bölümlerinde yoğunlaştığı TMA' ye göre de aynı bölgelerde dağıldığı ancak TMA yönteminde biraz daha geniş alan sunduğu görülmüştür. Ag elementi için M+2MMS: 200,68 C-N: 164,44; Co elementi için M+2MMS: 47,90 C-N: 36,23 tür.



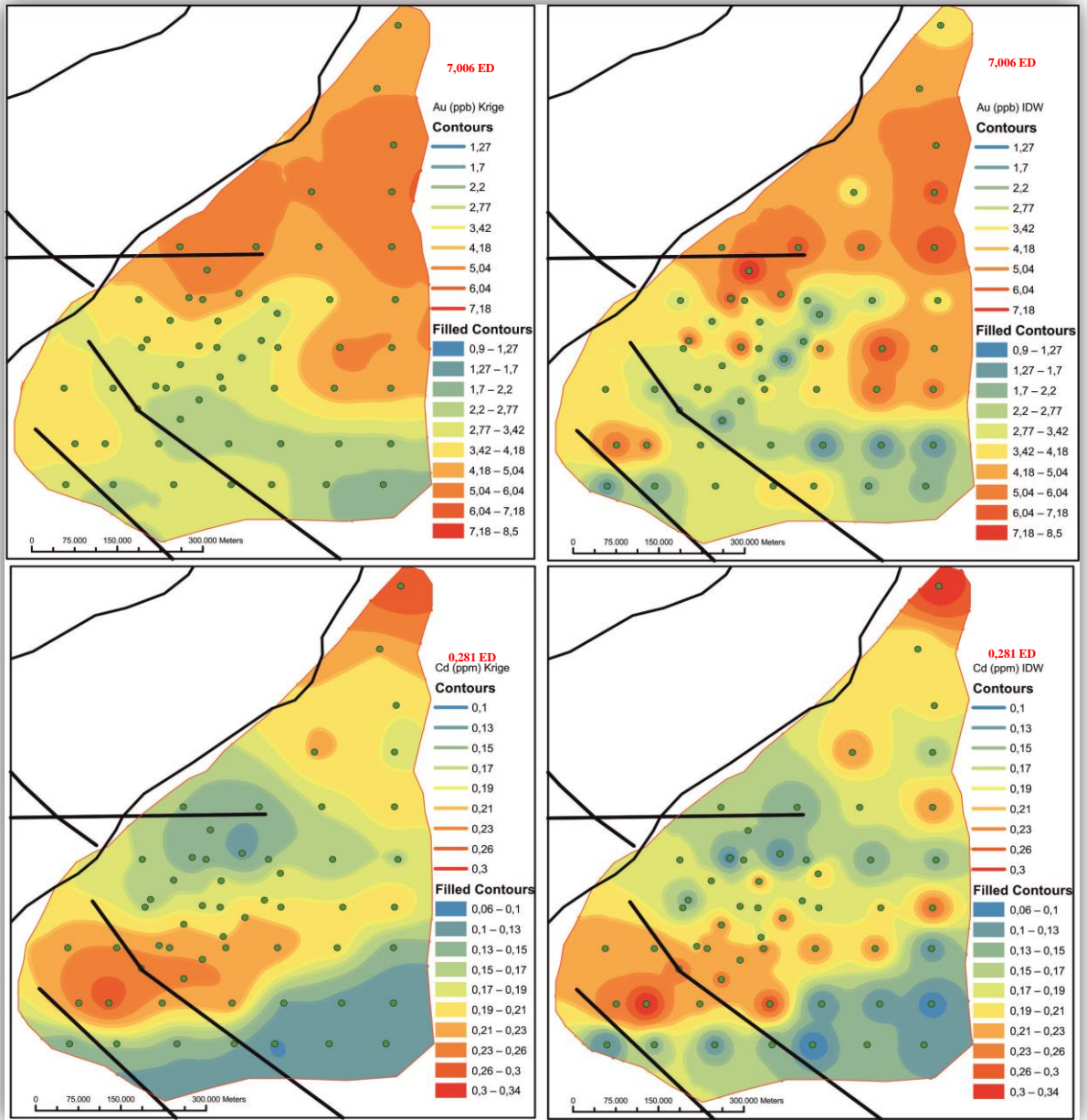
Şekil 3.48. Ag ve Co Elementine ait dağılım haritaları.

Mn ve As elementleri için yapılan dağılım haritalarında, Krigleme yöntemine göre Mn elementinin inceleme alanının genel olarak sahada yoğunlaştığı Kuzey-Güneydoğu ve merkez bölümlerde dağılımın azaldığı, TMA yöntemine göre de benzerlik arz ettiği görülmektedir. As elementi için yapılan Krigleme yönteminde sahanın merkezde Kuzeye doğu yoğunlaştığı TMA' ye göre Kuzeyde bölgesel, Güney ve batıda loka olarak yoğunlaştığı görülmektedir. Mn elementi için M+2MMS: 1637,03 C-N: 21564,88; As elementi için M+2MMS: 17,190 C-N: 16,16 dır.



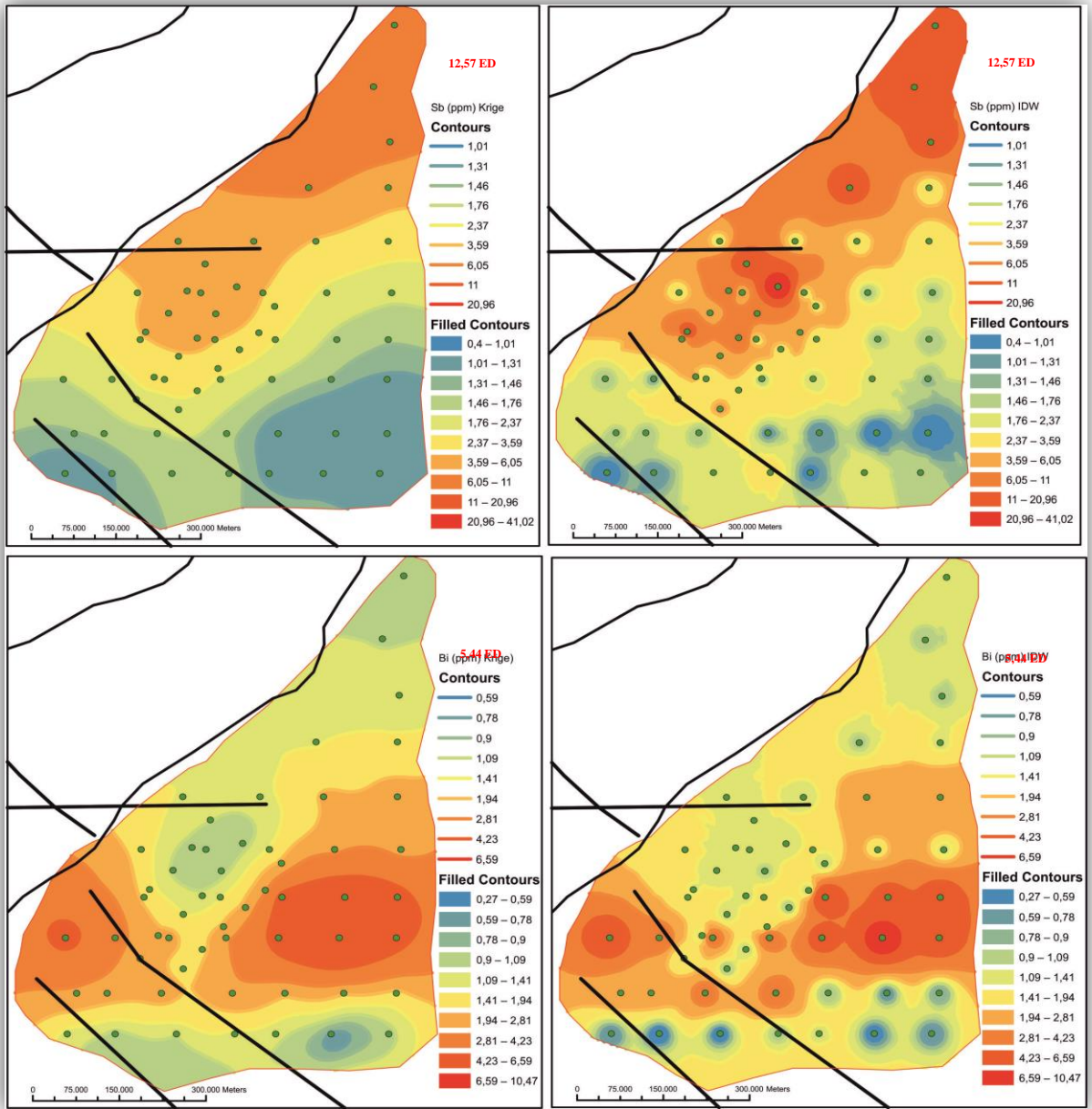
Şekil 3.49. Mn ve As Elementinin Dağılım haritaları.

Au ve Cd elementleri için yapılan dağılım haritalarında Krigleme yöntemine göre Au elementinin inceleme alanının genel olarak sahada yoğunlaştığı Kuzey-Kuzeydoğdoğu bölümlerde yoğun dağılım sunduğu, TMA yöntemiyle benzerlik arz ettiği görülmektedir. Cd elementi için yapılan Krigleme yönteminde sahanın merkezde Kuzeyde yoğunlaştığı ve lokal olarak bulunduğu görülmüştür. TMA' ye göre Kuzeyde, Güney ve batıda lokal olarak yoğunlaştığı görülmektedir. Au elementi için M+2MMS: 7,006 C-N: 6,18; Cd elementi için M+2MMS: 0,281 C-N: 6,18 dir.



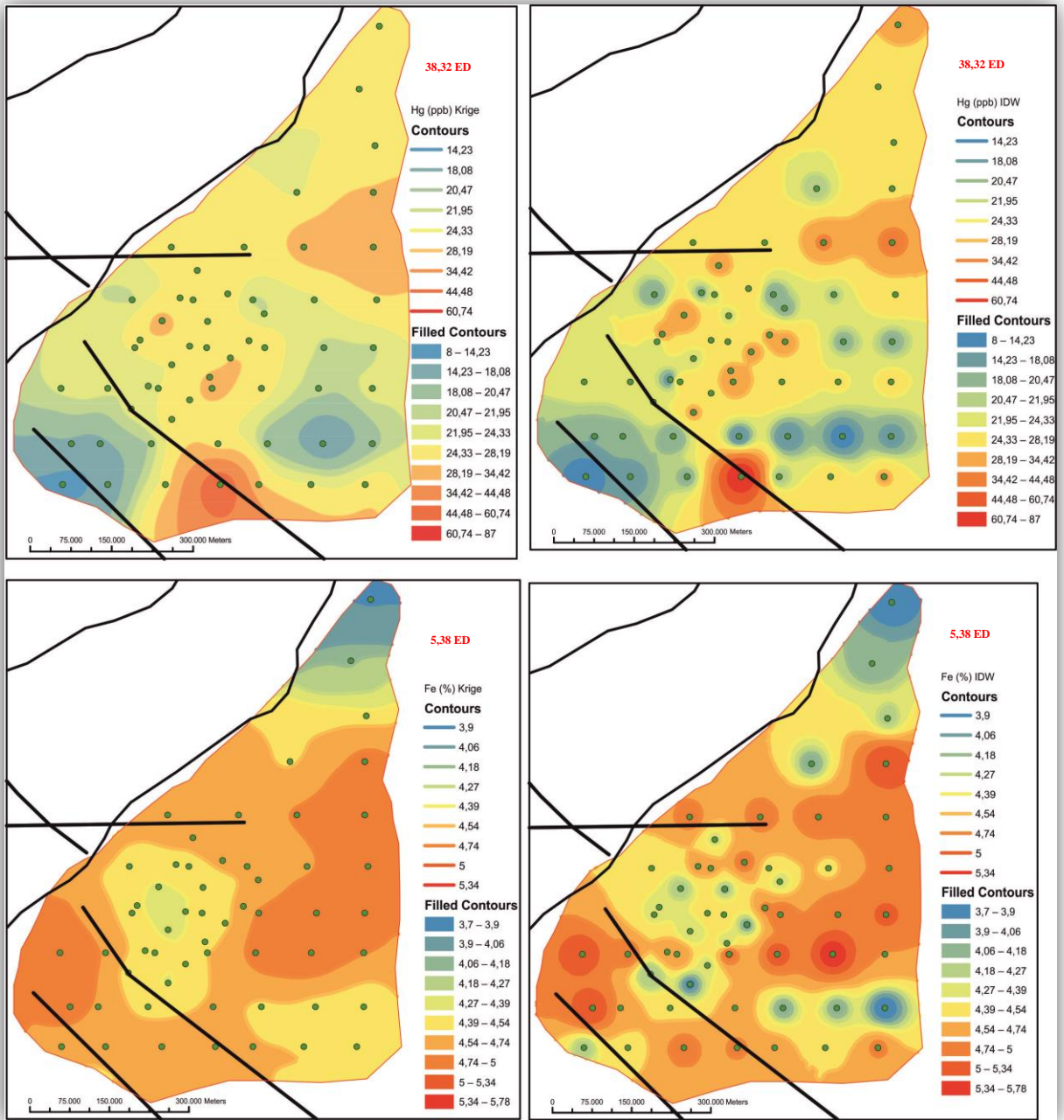
Şekil 3.50. Au ve Cd elementlerinin dağılım haritası.

Sb ve Bi elementleri için yapılan dağılım haritalarında Krigleme yöntemine göre Sb elementinin inceleme alanının genel olarak orta Batı ve Kuzey bölümlerde yoğun dağılım sunduğu, TMA yöntemiyle benzerlik arz ettiği ancak sahanın merkez Batısında değerlerin yüksek dağılım sunduğu görülmektedir. Bi elementi için yapılan Krigleme yönteminde sahanın merkezde Doğuda ve Batıda yoğun dağılım sunduğu görülür. TMA' ye göre dağılım Krigleme yöntemine benzerlik sunmaktadır. Sb elementi için M+2MMS: 12,57 C-A: 10,80; Bi elementi için M+2MMS: 5,44 C-A: 3,74 'tür.



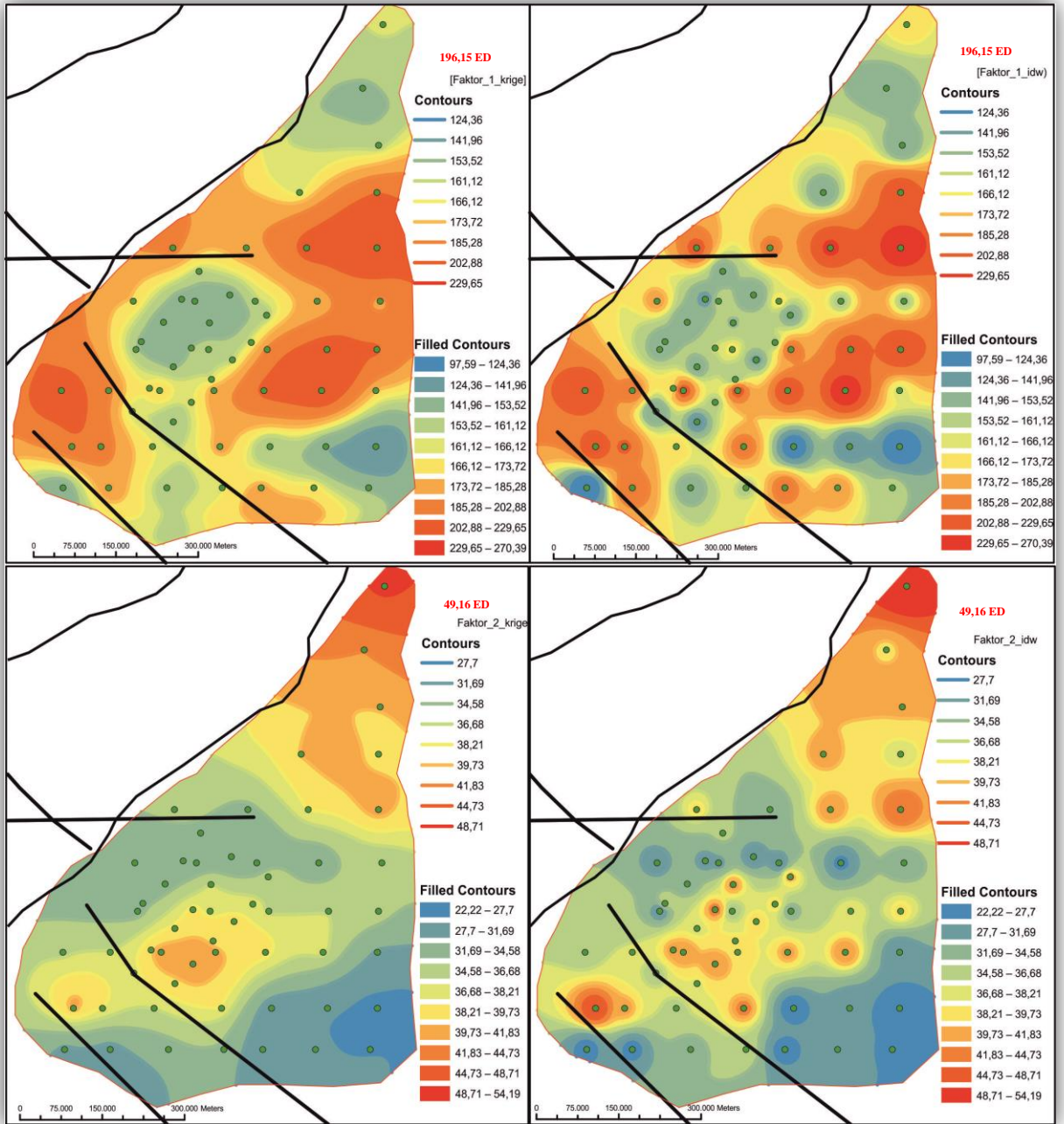
Şekil 3.51. Sb ve Bi elemetlerinin dağılım haritaları.

Hg ve Fe elementlerine için yapılan dağılım haritalarında Krigleme yöntemine göre Hg elementinin inceleme alanının genel olarak Kuzeybatı ve Güneydoğu bölümlerde dağılımının olduğu, TMA yöntemiyle benzerlik arz ettiği görülmektedir. Fe elementi için yapılan Krigleme yönteminde sahanın Doğu ve Batıda yoğunlaştığı TMA' ye göre de benzerlik arz ettiği ancak yer yer lokal dağılımlar sunduğu görülmüştür. Hg elementi için M+2MMS: 38,32 C-A: 24,26; Fe elementi için M+2MMS: 5,38 'dir

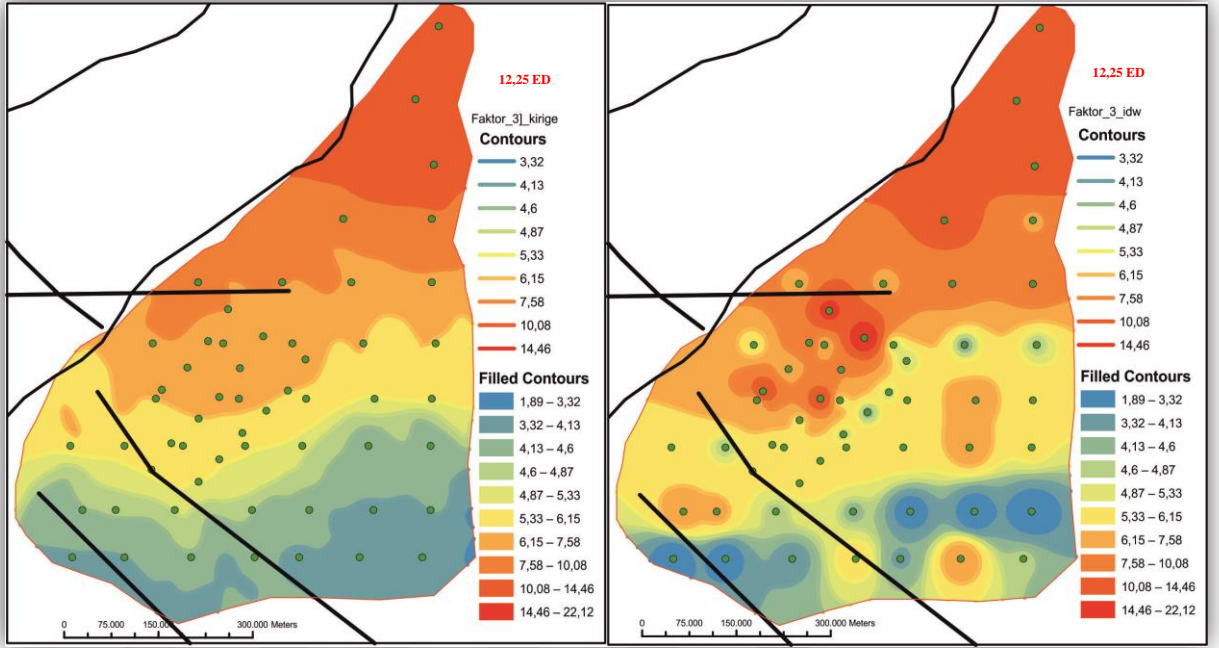


Şekil 3.52. Hg ve Fe elementlerine ait Dağılım haritaları.

Tez sahası için faktör analizi ile üç faktörde incelenen ve elementlerin değerlerine göre TMA ve Krigleme yöntemiyle hazırlanan dağılım haritaları irdelenmiş her iki modele ait anomali alanları faktör 1'e ait alanlar, çalışma alanının merkezi ve GB kesimlerinde yoğun dağılım sunmaktadır. Faktör 2' ye ait dağılım haritalarında, çalışma alanı kuzeyinde ve merkezde yoğunluk gösterir. Faktör 3' e ait dağılım haritalarına bakıldığında dağılımın çalışma alanının merkez kesiminde, ve merkez kesimin batısında çok az oranda da KB kesiminde yoğunlaştığı görülür.



Şekil 3.53. Faktör 1 ve Faktör 2' ye ait Dağılım haritaları



Şekil 3.54. Faktör 3' e göre dağılım haritası

Burada yapılan değerlendirmelere göre Eşik değeri hesaplanan Faktör-3 elementlerinden Au ve Sb elementleri dağılım haritalarında eşik değere paralel bir şekilde normal dağılım sunarken As elementi fraktal şekilde dağılım sunar. Bu bağlamda F3' e ait C-N yöntemi ile elde edilen eşik değerler arasındaki orantı görülmektedir. C-N yöntemi ile F3 elementlerinin elementler birbirleri ile ilişkilendirildiğinde elementlerin konsantrasyonlarında meydana gelen artışların bu elementlerin dağılım haritalarındaki yüzeyel alanlarında da azalma olduğunu göstermektedir. Önceki bölümlerde F3 elementlerine ait gösterilen kutu diyagram ve histogramlarda incelenecek olursa C-N yöntemleri ile yapılan değerlendirmelere arasındaki ilişki konusunda paralellik arz ettiği görülmektedir (Tablo 7.10.).

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Gümüşhane, Torul İlçesi sınırları içinde bulunan Gümüştüğ antimonit cevherleşmesinin toprak jeokimyası çalışmaları ile iki boyutlu olarak dağılım-yöneliminin tespit edilmesi ve daha sonra yapılabilecek çalışmalara katkı vermesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla 25 km² 'lik bir alanda arazi çalışması gerçekleştirilmiş, cevherleşmenin geliştiği yaklaşık 15 km²'lik bir alanın detaylı jeolojik, mineraloji-petrografik ve toprak jeokimyası çalışmaları yapılmıştır. İnceleme alanı DKTB'nin Kuzey-Güney Zonu geçişine yakın Güney Zon içinde yer aldığı ve Paleozoyik'ten Tersiyer sonuna kadar değişik yaşta ve farklı litolojideki birimlerin sahada yüzeyleme verdiği görülmüştür.

Sahadaki cevherleşmenin Gümüştüğ Köyü'nün yaklaşık 2 km GB'sında Gümüştüğ granitoyidi ile tektonik açıdan ilişkili olan komşu kayacın çevresinde meydana gelen hidrotermal çözeltilerin etkileşimi şeklinde gelişmiştir. Cevherleşme alanında limonitleşme, serizitleşme, killeşme, silisleşme ve epidotlaşma şeklinde gözlenen yoğun alterasyon kuşakları görülmüştür. Yer yer 20-25 cm kalınlığa ulaşan cevher damarları da sahada gözlenmiştir. Cevherleşmeye yer yer barit, daha az miktarda ise kalsitleşmeler eşlik etmektedir.

Yapılan toprak jeokimyası çalışmaları değerlendirildiğinde; antimonit elementi ile Ag ve Au elementi arasında çok güçlü olmamakla birlikte doğru orantılı bir ilişki olduğu ve Sb cevherleşmesinin yoğunlaştığı kesimde Clark değerlerine göre bir miktar yüksek Ag ve Au değerlerinin olduğu tespit edilmiştir.

Toprak jeokimyası çalışmaları kapsamında 56 noktadan alınan toprak örneklerinin incelenmesiyle jeostatistiksel değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu haritalara ilişkin yapılan değerlendirmeler şöyledir. Faktör 1 , Faktör 2 ve Faktör 3 için dağılım haritaları incelendiğinde Faktör 1'e ait olan Mo, Cu, Ag, Co, Mn ve Bi elementlerinin krigleme ve TMA yöntemine göre oluşturulan haritalara bakıldığında faktör 1 için Krigleme yönteminde alanın doğu ve batısında yoğunlaştığı TMA yönteminde de benzer şekilde dağıldığı görülmüştür. Pb, Zn ve Cd elementlerin birlikte olduğu faktör 2 ye göre Krigleme yönteminde inceleme alanının Kuzeyinde yoğunlaştığı, TMA yönteminde ise kuzey de ve güneybatı yönlerde yoğunlaştığı görülmektedir. As, Au ve Sb elementine ait faktör 3'te Krigleme yönteminde sahanın kuzeyinde yoğunlaştığı TMA yöntemine göre kuzeyde ve

batı/güneybatı yönlerinde de yoğunlaştığı dağılım görülmektedir. Antimon elementine ait eşik değerin (M+2MMS) 12,57 olduğu bu değere göre konturlara bakıldığında, yapılan krigleme yönteminde dağılımın çalışma alanının merkez Batı kısımlarında ve Kuzey bölümlerde yoğunlaştığını, TMA yönteminde de bu dağılıma benzer dağılım sunduğu görülmüştür.



5. KAYNAKLAR

- Adamia, S., Lordkitanidze, M.B. ve Zakariadze, G.S., 1977. "Evolution of an Active Continental Margine as Exemplified by the Alpine History of Caucasus", Tectonophysics, 40, 183-189.
- Agterberg, F.P., 1995. Multifractal modeling of the sizes and grades of giant and supergiant deposits. Int Geol Rev 37:1-8
- Azizi, H., Moinevaziri, H., Mohajjel ve M., Yagobpoor, A., 2006. PTt path in metamorphic rocks of the Khoy region (northwest Iran) and their tectonic significance for Cretaceous-Tertiary continental collision. Journal of Asian Earth Science, 27, 1-9.
- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstanbul.
- Akaryalı, E., 2010. "Arzular (Gümüşhane Kd-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelenmesi", (Doktora Tezi), KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akçay, M., 1995. "Gümüşler (Niğde) yöresi Sb±Hg±W cevherleşmelerinin jeolojik , mineralojik ve altın potansiyeli yönünden incelenmesi", Türkiye Jeoloji Bülteni, 38 (2), 23-34.
- Akçay, M. ve Çavga, H., 1997, Geology, mineralogy and genesis of the auriferous quartz veins in the Olucak (Gümüşhane) area, Anniversary Geology Symposium, May University 20th 12-16, 1997, Konya, pp. 189-202.
- Akçay, M., Gündüz, Ö. ve Çoban, H., 1998 "A Multi-phase Intrusion Around the Gümüşhane Village (Artvin) and Associated Mineralisation Types: A Geologic and Geochemical Approach", Geosound, 33, 1-18.
- Akçay, M., Özkan, H.M., Moon, C.J. ve Spiro, B., 2006. "Geology, mineralogy and geochemistry of the gold-bearing stibnite and cinnabar deposits in the Emirli and Halıköy areas (Ödemiş, İzmir, West Turkey)", Ore Geol. Rev. 29, 19-51.
- Akçay, M., Gündüz, Ö., Yaşar, R. ve Gümrük, O., 2011. "Hazine mağara ve Kırkpavli (Gümüşhane) Polimetalik Pb-Zb-Cu-Au-Ag Madenlerinin Jeokimyasal ve Kökensel Özellikleri, 63. Jeoloji Kurultayı, MTA, Ankara, 110-111.
- Alp, D., 1972. Amasya Yöresinin Jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fak. Monografileri, 22, İstanbul, 135.
- Altherr, R., Topuz, G., Siebel, W., Şen, C., Meyer, H.P. ve Satır, M., 2008. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic characteristics of Paleocene plagioclitites from the Eastern Pontides (NE Turkey), Lithos, 105, 149-161.

- Altınkaynak, L., 2000. Ağvanis masifi doğu kesimi ve çevre kayaçlarının jeolojisi, petrografisi ve jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aliyazıcıoğlu, İ., 1999. “Kale (Gümüşhane) Yöresi Volkanik Kayaçlarının Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik incelenmesi”, KTÜ FBE. Trabzon.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997. Geochemistry and Petrogenesis of the Lastern Pontide Volcanic Rocks, Northeast Turkey. *Chemie Der Erde, Geochemistry* 57,157-187.
- Arslan, M. ve Aliyazıcıoğlu, İ., 2001. “Geochemical and Petrological Characteristics of the Kale (Gümüşhane) Volcanic Rock:Implications for the Eocene Evolution of Eastern Pontide Arc Volcanism, Northeast Turkey”, International Geology Review, 43, 595-610.
- Arslan, M. ve Aslan, Z., 2006. Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, NE Turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 27, 177-193.
- Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D. ve Şen, C., 2013. 40Ar-39Ar dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of post-collisional Eocene volcanic rocks in the southern part of the Eastern Pontides (NE Turkey): implications for magma evolution in extension-induced origin. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166, 113-142.
- Aslan, Z., 2010. U-Pb zircon SHRIMP age, geochemical and petrographical characateristics of tuffs within calc-alkaline Eocene volcanics around Gümüşhane (NE Turkey), Eastern Pontides, *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 187, 3, 329-346.
- Aslan, N. ve Akçay, M., 2011. “Mastra (Gümüşhane) Au-Ag Yatağı'nın Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri”, 63. Jeoloji Kurultayı, MTA, Ankara, 112-113.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ. ve Kaygusuz, A., 2014. K–Ar dating, whole-rock and Sr–Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey. *Mineral. Petrol.* 108, 245-267.
- Aslaner, M., 1977. “Türkiye Bakır-kurşun-çinko Yataklarının Jeolojik ve Bölgesel Sınıflamasıyla Plaka Tektoniği Yönünden İncelenmesi”, KTÜ Yerbilimleri Fakültesi, Yayın No: 12, Trabzon.
- Aydın, F., 2003. Değirmendere vadisi (Trabzon-Esiroğlu, KD-Türkiye) volkanitlerinin mineral kimyası, petrolojisi ve petrojenezi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydın, F., Karsli, O. ve Chen, B., 2008. Petrogenesis of the Neogene alkaline volcanics with implcations for post collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey, *Lithos*, 104, 249-266.

- Aydıncakır, E. ve Şen, C., 2013. Petrogenesis of the post-collisional volcanic rocks from the Borçka (Artvin) area: implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey), *Lithos*, 172-173, 98-117.
- Aydıncakır, E., 2014. The Petrogenesis of Early Eocene Non-adakitic Volcanism in NE Turkey: Constraints on the Geodynamic Implications, *Lithos*, 208/209, 361-377.
- Aydoğan, T., 1946. “Eski Gümüşhane (Gümüşhane) Kurşun ve Manganez Cevherleşmeleri Hakkında Rapor” MTA.
- Bartlett, M.S., 1954. “A Note On The Multiplying Factors For Various Chi Square Approximations”. *Journal Of The Royal Statistical Society*. 16, 296-298.
- Baykal, F., 1952. “Kelkit-Şiran Bölgesinde Jeolojik Araştırmalar”, MTA Raporu No: 2205, Ankara.
- Bektaş, O., Pelin, S. ve Korkmaz, S., 1984. “Doğu Pontid Yay Gerisi Havzasında Manto Yükselimi ve Polijenetik Ofiyolit Olgusu”, Türkiye Jeoloji Kurultayı, İhsan Ketin Sempozyumu, 175-189. Ankara.
- Bektaş, O. ve Güven, İ.H., 1995. “Alaskan Aphinitic Type Ultramafic and Mafic Complexes as the Root Zone of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE Turkey)”, Geology of the Black Sea Region, 189-196. Ankara.
- Boynukalın, S., 1990. Dereli (Giresun) baraj yeri ve göl alanının mühendislik jeolojisi ve çevre kayaçlarının jeomekanik özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Boztuğ, D., Jonckheere, R.C., Wagner, G.A. ve Yeğingil, Z., 2004. Slow Senonian and fast Paleocene-Early Eocene uplift of the granitoids in the Central Eastern Pontides, Turkey: apatite fission-track results. *Tectonophysics*, 382, 213-228.
- Boztuğ, D., Erçin, A.İ., Kuruçelik, M.K., Göç, D., Kömür, İ. ve İskenderoğlu, A., 2006. Geochemical characteristics of the composite Kaçkar batholith generated in a Neo-Tethyan convergence system, Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 286-302.
- Clayton, R.N. ve Mayeda, T.K., 1963. “The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis”. Geochim. Cosmochim. Acta. 27, 43-52.
- Cheng, Q., Agterberg, F.P. ve Ballantyn, S.B., 1994. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration* 51:109-130.
- Çağatay, A. ve Çopuroğlu, İ., 1990. “Gümüşhane Kurşun-Çinko Yatakları”, MTA dergisi, 111, 61-71.

- Çağatay, M.N. ve Eastoe, C.J., 1995. "A Sulfur Isotope Study of Volcanogenic Massive Sulphide Deposits of the Eastern Black Sea Province, Turkey", *Mineral. Deposita*, 30, 55-66.
- Çınar, S., Türk, O., Er, M., Güç, A., Musaoğlu, A., Gümüşel, A., Özdemir, M. ve Kurtoğlu, T., 1983. "Gümüşhane ili ve güneybatı yöresinin 1/25 000 ölçekli jeolojisi ile maden zuhurlarına ilişkin rapor", *MTA Rap.* No.7696, Ankara.
- Çiftçi, E., 2000. "Mineralogy, Paragenetic Sequence, Geochemistry and Genesis of the Gold and Silver Bearing Upper Cretaceous Mineral Deposits, North eastern Turkey", Ph. D Thesis, University of Missouri-Rolla, Missouri.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrografik ve Jeokronolojik Araştırmalar, İTÜ Kütüphanesi, 1034, İstanbul.
- Çubukçu, A., 1998. "Kaletaş (Gümüşhane) Epitermal Altın Cevherleşmesinin Jeolojisi, Jeokimyası ve Mineralojisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dandria, I., 1940. "Gümüşhane Kurşun Yatağı Hakkında Muhtıra", *MTA Raporu*, 999, Ankara.
- Demir, Y., 2005. "İstala ve Köstere (Zigana/Gümüşhane) Cu-Pb-Zn Madenleri ve Yan Kayaçlarının Mineralojisi ve Dokusal Özelliklerinin Karşılaştırılmalı İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Demir, Y., Uysal, I., Sadıklar, M.B. ve Sipahi, F., 2008. "Mineralogy, Mineral Chemistry, and Fluid Inclusion Investigation of Köstere Hydrothermal Vein-Type Deposit (Gümüşhane, NE-Turkey)", *N.Jb.Mineral.Abh.*, 185, 2, 215-232.
- Deng, J., Wang, Q.F., Yang, S.J., Liu, X.F., Zhang, Q.Z., Yang, L.Q. ve Yang, Y.H., 2010. Genetic relationship between the Emeishan plume and the bauxite deposits in Western Guangxi, China: constraints from U-Pb and Lu-Hf isotopes of the detrital zircons in bauxite ores. *Journal of Asian Earth Sciences* 37 (5-6), 412-424.
- Dixon, J.C. ve Pereire, J., 1974. "Plate Tectonics and Mineralization in the Tethyan Region", *Min. Deposita*, 9, 185-198.
- Dokuz, A., 2000. Yusufeli yöresinin jeolojisi, jeotektoniği, magmatik-metamorfik kayaçların jeokimyası ve petrojenezi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dokuz, A. ve Tanyolu, E., 2006. Gechemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of lower Jurassic and Upper Cretaceous clastic rocks from the Eastern Pontides, Yusufeli (Arvin), NE Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15, 181-209.
- Dokuz, A., 2011. "A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: The Köse composite pluton", *Gondwana Res.*, 19(4), 926-944.

- Erbayar, M. ve Ödevci, İ., 1979. “Gümüşhane-Eski Gümüşhane Cu, Pb, Zn, Ag Cevherleşmeleri Hakkında Rapor”, MTA Raporu, 2833, Ankara.
- Eren, M., 1983 Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes incelemesi, K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi Trabzon (Yayınlanmamış)
- Erentöz, C. ve Ketin İ., 1974. Explanatory text of the geological map of Turkey at 1/500.000 G scale (Kars). Special Publication of Mineral Research and Exploration, 57.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Seren, A., Nafız, M., Jacoby, W.R. ve Özer, R., 2006. “Three-directional Extensional Deformation and Formation of the Liassic Rift Basins in the Eastern Pontides (NE Turkey)”, Geol. Carp. 57, 5, 337-346.
- Eyüboğlu, Y., 2010. “Late Cretaceous High-K Volcanism in the Eastern Pontide Orogenic Belt: Implications for the Geodynamic Evolution of NE Turkey”, International Geology Review, 52, 142-186.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Dudas, F.O., Chung, S.L. ve Akaryalı, E., 2011. “Migrating Magmatism in A Continental Arc: Geodynamics Of The Eastern Mediterranean Revisited”, Journal of Geodynamics, 52, 2-15.
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S. ve Karataş, S., 1992. Rize-Fındıklı Çamlıhemşin arasında (Doğu Karadeniz) yer alan magmatik kayaların petrolojisi ve Doğu Pontidlerdeki bölgesel yayılımları, Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 15-38.
- Gedikoğlu, A., 1978, Harşit Granit Karmaşığı ve Çevre Kayaçları, Doçentlik Tezi, K.T.Ü. Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon.
- Gettinger, T.E., 1962. “1/500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Trabzon Paftası ve İzahnamesi”, MTA Yayını, Ankara.
- Güner, S., Er, M. ve Yazıcı, E., 1998. “Gümüşhane İli Maden Potansiyeli”, MTA Raporu, Trabzon.
- Güner, S., Er, M. ve Gümüşel, A., 1985. “Gümüşhane-Eski Gümüşhane Yöresindeki Cevherleşmelere Ait Jeoloji Raporu”, MTA Raporu, 8029.
- Güner, S., Yazıcı, E., Dursun, Ö. ve Akyürek, S., 2012. “Gümüşhane – Demirören Sahasının Maden Jeolojisi Raporu”, MTA, Ankara.
- Güngör, Y., Boztuğ, D. ve Yılmaz, O., 1997. Kaçkar Batoliti Altıparmak Dağı-Soğanlı Dağı arası (GD Çamlıhemşin-Rize) kesiminin petrografik, jeokimyasal ve petrojenetik incelenmesi. Çukurova Üniversitesinde Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu, 30 Nisan - 3 Mayıs 1997, Adana, Bildiri Özetleri, s. 223-224.
- Güven, İ.H., 1993. “Doğu Pontidlerin 1/25000 Ölçekli Kompilasyonu”, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Hamilton, W., 1842. "Some Account of Their Antique and Geology". In Two Volumes. Vol. 1. London.
- Hassanpour, S. ve Afzal P., 2013. Application of concentration-number (C-N) multifractal modelling for geochemical anomaly separation in Haftcheshmeh porphyry system, NW Iran. Arabian Journal of Geosciences, vol. 6, pp. 957–970.
- Jankoviç, S., 1980. "Ore Deposit Types and Major Copper Metallogenic Units in Europe in European Copper Deposits", Soc. Geology of Am., Spec. Publ., 1, 9-25.
- JICA., 1986. The republic of Turkey report on the cooperative mineral exploration of Gümüşhane area, consolidated report. Japan International Cooperation Agency, 146 pp.
- Kahraman, İ., Kansız, H., Dursun, A., Yılmaz, H. ve Erçin, A.İ., 1984. "Gümüşhane Yöresinin Jeolojisine ve Cevherleşmesine Ait Jeoloji Raporu", MTA Raporu, No: 1951.
- Kamitani, M., Candeğer, O., Van, A. ve Yılmaz, S., 1977. "Gümüşhane Madeni ile Bayburt Helva Madeni Üstüne Ön Rapor", MTA Raporu, No: 1520, Ankara.
- Kandemir, R., 2004. "Gümüşhane ve Yakın Yöresindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Zimonköy Formasyonunun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları", Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Karlı, O., Chen, B., Aydın, F. ve Şen, C., 2007. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sarıççek Plutons, Eastern Turkey: implications for magma interaction in the genesis of high-K calc-alkaline granitoids in a post-collision extensional setting, *Lithos*, 98, 67-96.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir R. ve Wijbrans 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.
- Karlı, O., Uysal, İ., Ketenci, M., Dokuz, A., Aydın, F., Chen, B., Kandemir, R. ve Wijbrans, J., 2011a. Adakite-like granitoid porphyries in Eastern Pontides, NE Turkey: potential parental melts and geodynamic implications, *Lithos*, 127, 354-372.
- Kaygusuz, A., 2000. Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen. Bil. Enst., 235 Sayfa, Trabzon.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C. ve Satır, M., 2008. "Petrochemistry And Petrology Of I-Type Granitoids In An Arc Setting: The Composite Torul Pluton, Eastern Pontides, NE Turkey", Int. J. Earth Sci. 97, 739–764.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C. ve Satır, M., 2008. Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: The composite Torul Pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 97, 739-764.

- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E., 2009. Mineralogy, Whole-Rock and Sr–Nd isotope geochemistry of mafic microgranular enclaves in Cretaceous Dağbaşı Granitoids, Eastern Pontides, NE Turkey: Evidence of magma mixing, mingling and chemical equilibration. *Chemie der Erde*, 69, 247-277.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., İlbeyli, N., Arslan, M., Satır, M. ve Şen, C., 2010. “Insight into Magma Genesis at Convergent Plate Margins – A Case Study From The Eastern Pontides (Ne Turkey)”, *N. Jb. Miner. Abh.* 187/3: 265–287.
- Kaygusuz, A. ve Şen, C., 2011. Calc-alkaline I-Type plutons in the Eastern Pontides, NE Turkey: U-Pb zircon ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions. *Chemie der Erde*, 71, 59-75.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W. ve Şen, C., 2011. Geochemical and Sr–Nd Isotopic Characteristics of Post-Collisional Calc-Alkaline Volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20, 137-159.
- Kaygusuz A. ve Aydınçakır, E., 2011b. U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions of Cretaceous Plutons in the Eastern Pontides (NE Turkey): the Dağbaşı Pluton. *Neues Jahrbuch Für Mineralogie*, 188/, 211-233.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Wolfgang, S., Sipahi, F. ve İlbeyli, N., 2012a. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, Eastern Pontides, Turkey. *International Geology Rew*, 54 (15), 1776-1800.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan. M., Chen, B. ve Aydınçakır, E., 2013. Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the Eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. *Geoscience Frontiers*, 4, 423-438.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F. ve Temizel, İ., 2016. U-Pb zircon Chronology and Petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution. *Gondwana Research*.
- Ketin, İ., 1966. “Anadolu'nun Tektonik Birlikleri”, *MTA Dergisi*, 66, 20-34.
- Ketin, İ., 1983. Türkiye jeolojisine genel bir bakış, İ.T.Ü. Kütüphanesi, 1259, 536.
- Ketin, İ. ve Canitez, N. Yapısal Jeoloji. İstanbul: İTÜ Kütüphanesi, 1972. 520 p.
- Kovenko, V., 1937. “Gümüşhane Madeni Hakkında Rapor”, *MTA Raporu*, No: 399, Ankara.
- Köprübaşı, N., Şen, C. ve Kaygusuz, A., 2000. Doğu Pontid ada yayı granitoidlerin karşılaştırılmalı petrografik ve kimyasal özellikleri, *Uygulamalı Yerbilimleri*, 1, 111-120.

- Leitch, C.H.B., 1981. "Mineralogy and Textures of the Lahanos and Kızılkaya Massive Sulfide Deposits, Northeastern Turkey, and their Similarity to Kuroko Ores", *Min. Deposita*, 16, 241-257.
- Lermi, A., 1996. "Kanköy (Yomra-Trabzon) Cevherinde Toprak-Bitki Jeokimyasının Uygulanması ve İndikatör Bitki Türü Tespiti", Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Lermi, A., 2003. "Midi (Karamustafa/Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensele İncelemesi", Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Mandelbrot, B.B., 1983. *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, San Francisco. 468 pp
- Mcdonough, W.F. ve Sun, S. S., 1995. "The composition of the Earth", *Chem. Geol.* 120, 223–253. doi:10.1016/0009-2541(94)00140-4
- Monecke, T., Monecke, J., Herzig, P.M., Gemell, J.B. ve Monch, W., 2005. Truncated fractal frequency distribution of element abundance data: a dynamic model for the metasomatic enrichment of base and precious metals. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 232: 363–378.
- MTA., 1985. "Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1", Türk-Japon Ekibi, MTA Raporu, No: 334, Ankara, 455.
- Okay, A.I., 1984. "Distribution and Characteristics Of The Northwest Turkish Blueschists. In: The Geological Evolution Of The Eastern Mediterranean (ed. J.E. Dixon & A.H.F. Robertson), Geological Society Special Publication No. 17, 455-466
- Okay, A.I. ve Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides, In: Robinson, A.G. (Editor), *Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region*, American Association Petroleum Geologists, 68, 291-311.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In "The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen" (eds. B. Durand, L. Jolivet, F. Horváth and M. Séranne), Geological Society, London, Special Publication 156, 475-515
- Ölsner, O., 1935. "Gümüşhane Vilayetinin Maden Yataklarına Ait Rapor", *MTA Raporu*, No: 408, Ankara.
- Özcan, A., Armağan, F., Keskin, E., Oral, A., Özer, S., Sümengen, M. ve Tekeli, O., 1980, Kuzey Anadolu Fayı ile Kirşi Masifi arasında kalan alanın temel jeolojisi: *MTA Rap.*, 6722 (yayımlanmamış), Ankara
- Özdoğan, K., 1992. "Karadağ (Torul-Gümüşhane) ve Yakın Çevresinin Jeolojisi-Mineralojisi-Petrografisi ve Maden Zuhurlarının Jenetik İncelenmesi", Doktora Tezi, Selçuk Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981. "Doğu Pontidler'de Kretase". *Karadeniz Teknik Üniversitesi Yer Bilimleri Dergisi*, 1, 2, 65-114. Trabzon.

- Pelin, S., 1977. "Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelemesi". K.T.Ü. Trabzon.
- Pejatoviç, S., 1979. "Pontid Tipi Masif Yataklarının Metalojeni", MTA Yayın No: 177. Ankara.
- Reis, A.P., Sousa, A.J. ve Cardoso Fonseca, E., 2001. Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal). *J. Geochemical Explor.* doi:10.1016/S0375-6742(01)00169-8
- Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R.G., 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Sci. Total Environ.*, 346, 1—16.
- Rojay, B., 1993. Tectonostratigraphy and neotectonic characteristics of the southern margin of Merzifon-Suluova Basin (Central Pontides, Amasya), Phd Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Sadeghi, B., Moarefvand, P., Afzal, P., Yasrebi, A.B. ve Daneshvar, L., 2012a. Application of fractal models to outline mineralized zones in the Zaghia iron ore deposit, Central Iran. *Journal of Geochemical Exploration .Special Issue "fractal/multifractal modelling of geochemical data"*, 122: 9–19.
- Schultze-Westrum, H.H., 1961. Giresun civarındaki Aksu Deresinin jeolojik profili, Kuzeydoğu Anadolu'da Doğu Pontus cevher ve mineral bölgesinin jeolojisi ve maden yatakları ile ilgili mütealalar, MTA Dergisi, 57, 63-71.
- Shepard, D., 1968. A two-dimensional interpolation function for 52 irregularly-spaced data, in: Blue, R.B.S., Rosenberg, A.M. (Eds.), *Proceedings of the 1968 ACM National Conference*. ACM 54 Press, New York, pp. 517–524.
- Sipahi, F., 2005. "Zigana Dağı (Torul–Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayrışmaların Mineraloji ve Jeokimyası, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, M.B., 2010. "Zigana (Gümüşhane, KD Türkiye) Volkanitlerinin Alterasyon Mineralojisi ve Kütle Değişimi", Türkiye Jeoloji Bülteni, 53, 2-3, 122-155.
- Sipahi, F., 2011. Formation of Skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey). *Neues Jahrbuch für Mineralogy-Abhandlungen*, 188, 2, 169-190.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, M. B., 2014. Geochemistry of Dacitic Volcanics in the Eastern Pontide (NE Turkey). *Geochemistry International*, 52, 4, 329-349.
- Sipahi, F., 2017. Kalınçam (Tonya-Trabzon, KD Türkiye) Yöresi Geç Kretase Yaşlı Volkanitlerin Jeokimyası ve Petrojenezi, 102-127.
- Sipahi, F., 2018. Zigana (Gümüşhane, KD-Türkiye) Volkanitlerinin Alterasyon Mineralojisi ve Kütle Değişimi. Cilt 53, Sayı,2-3, S. 97-128.
- Streckeisen, A., 1976. "To each plutonic rock its proper name", Earth Sci. Rev. 12, 1–33.

- Şahin, S. Y., Güngör, Y. ve Boztuğ, D., 2004. Comparative petrogenetic investigation of Composite Kaçar Batholith granitoids in Eastern Pontide magmatic arc, Northern Turkey. *Earth Planets Space*, 56, 429-446.
- Şen, C., Arslan, M. ve Van. A., 1998. Doğu Pontid (Kd Türkiye) Eosen (?) alkalin volkanik provensinin jeokimyasal ve petrolojik karakteristikleri, *Tübitak Yayınları*, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7, 231-239.
- Şen, C., 2007. Jurassic volcanism in the Eastern Pontides: Is it rift related or subduction related?, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 523-539.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. "Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach", *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Tabachnick, B.G. ve Fidell, L.S., 2013. *Using Multivariate Statistics*. Pearson, Boston.
- Taslı, K., 1984. "İkisu (Gümüşhane ile Hamsiköy (Trabzon) yörelerinin jeolojisi ve Berdiga formasyonunun biyostratigrafik denetimi". Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon (Yayımlanmamış).
- Taslı, K., 1990. "Gümüşhane-Bayburt Yörelerinde Üst Jura-Alt Kretase Yaşlı Karbonat İstiflerinin Stratigrafisi ve Mikropaleontolojik İncelemesi". Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü. Trabzon.
- Temizel, İ. ve Arslan, M., 2008. Petrology and geochemistry of Tertiary volcanic rocks from the İkizce (Ordu) area, NE Turkey: implications for the evolution of the eastern Pontide paleo-magmatic arc, *Journal of Asian Earth Sciences*, 31, 4-6, 439-463.
- Temizel, İ. ve Arslan, M., 2009. Mineral chemistry and petrochemistry of post-collisional Tertiary mafic to felsic cogenetic volcanics in the Ulubey (Ordu) area, Eastern Pontides, NE Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18, 29-53.
- Temizel, İ., Arslan, M., Ruffet, G. ve Peucat, J.J., 2012. Petrochemistry, geochronology and Sr-Nd isotopic systematic of the Tertiary collisional and post-collisional volcanic rocks from the Ulubey (Ordu) area, eastern Pontide, NE Turkey: implications for extension-related origin and mantle source characteristics, *Lithos*, 128, 126-147.
- Thompson, M. ve Howarth, R.J., 1978. A new approach to the estimation of analytical precision. *Journal of Geochemical Exploration* 9, 23-30.
- Tobler, W.R., 1970. A computer model simulation of urban growth in the detroit region. *Economic Geography* 46 (2): 234-240
- Tokel, S., 1972. "Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region". University College. London.
- Tokel, S., 1977. Doğu Karadeniz bölgesinde Eosen yaşlı kalk-alkalin andezitler ve jeotektonizma, *TJK Bülteni*, 20,1, 49-54.

- Topuz, G. ve Altherr, R., 2004. Pervasive rehydration of granulites during exhumation-an example from the Pular complex, Eastern Pontides, Turkey, *Mineralogy and Petrology*, 81, 165-185.
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Wemer, O. ve Schwarz, W.H., 2004a. Aluminous granulites from the Pular complex, NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallization, *Lithos*, 72, 183-207.
- Topuz, G., Altherr, R., Satır, M. ve Schwarz, W.H., 2004b. Low-grade metamorphic rocks from the Pular complex, NE Turkey: implications for pre-Liassic evolution of the Eastern Pontides, *International Journal of Earth Science (Geol Rundsch)*, 93, 72-91.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Satır, M. ve Dokuz, A., 2005. Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycik granodiorite (Eastern Pontides, Turkey), *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150, 441-455.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Dokuz, A. ve Meyer, H.P., 2007. Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex. Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey, *International Journal of Earth Sciences*, 96, 861-873.
- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasözbeç, A., Barth, M., Satır, M. ve Şen, C., 2010. "Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey)", *Lithos*, 116: 92-110.
- Topuz, G., Okay, A.I., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Zack, T., Satır, M. ve Şen, C., 2011. Post-collisional adakite-like magmatism in the Ağvanis massif and implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey), *Lithos*, 125, 131-150.
- Tume, P., Bech, J., Reverter, F., Bech, J., Longan, L., Tume, L. ve Sepulveda, B., 2011. Concentration and distribution of twelve metals in Central Catalonia surface soils. *J. Geochemical Explor.* 109, 92– 103. doi:10.1016/j.gexplo.2010.10.013
- Tüysüz, N., Er, M., Yılmaz, Z. ve Akıncı, A., 1995. Geology, Mineralogy and Alteration of the Mastra Epithermal Gold-silver Deposits, Gümüşhane NE-Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 4, 11-21.
- Tüysüz, O., 1996. Amasya ve çevresinin jeolojisi, Türkiye 11. Petrol Kongresi Bildirileri, 32-48.
- Tüysüz, N. ve Akçay, M., 2000. "Doğu Karadeniz Bölgesindeki Altın Yataklarının Karşılaştırmalı İncelemesi", Cumhuriyetin 75. Yılı Yer Bilimleri ve Madencilik Kongresi, Bildiriler Kitabı, MTA, Ankara. 625-645.
- Tüysüz, N., Er, M., Yılmaz, Z. ve Akıncı, A., 1995. "Geology, Mineralogy and Alteration of the Mastra Epithermal Gold-silver Deposits, Gümüşhane NE-Turkey", *Turkish Journal of Earth Sciences*, 4, 11-21.

- Tüysüz, N., 2000. "Geology, Lithochemistry and Genesis of the Murgul Massive Sulfide Deposit, NE Turkey", Chem. Erde, 60, 231-250.
- Tüysüz, N., Özdoğan, K., Er, M., Yılmaz, Z. ve Ağanoğlu, A., 1994. "Pontid Adayayında Carlin Tipi Kaletaş (Gümüşhane) Altın Zuhuru", Türkiye Jeoloji Bülteni, 37, 41-46.
- Ustaömer, T. ve Robertson, H.F.A., 2010. Late Paleozoic-Early Cenozoic development of the Eastern Pontides (Artvin area), Turkey: stages of closure of Tethys along the southern margin of Eurasia, Spacial Publications, Geological Society London, 340, 281-327.
- Vural, A., Çorumluoğlu, Ö. ve Asri, İ., 2011. "Gümüşhane (Hazine Mağarası-Deremadeni) Sahasında Litolojik Farklılıkların ve Alterasyonların Uzaktan Algılama Teknikleri İle Araştırılması", TUFUAB VI. Teknik Sempozyumu Programı, 21 Şubat, Antalya.
- Vural, A. ve Şahin, E., 2012. "Gümüşhane Şehir Merkezinden Geçen Karayolunda Ağır Metal Kirliliğine Ait İlk Bulgular", Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, 1, 21-35.
- Vural, A., Çorumluoğlu, Ö. ve Asri, İ., 2012. "Eski Gümüşhane (Süleymaniye) ve Yakın Çevresindeki Alterasyon Alanlarının Landsat Uydu Görüntüsü Kullanılarak Crosta Tekniği İle Araştırılması", Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, 1, 36-48.
- Vural, A. ve Erdoğan, M., 2013. "İz Bulucu Elementlerden Yararlanarak Toprak Jeokimyası İle Altın Cevherleşmesinin Araştırılması: Kırkpavli, Gümüşhane-Türkiye", 66.TJK Bildiri Özleri Kitabı, 1-5 Nisan 2013, Ankara. 424-425.
- Vural, A. ve Erşen, F., 2013. "Eski Gümüşhane (Argyropolis) Manganez Yataklarının Jeolojik Ve Jeokimyasal Özellikleri". 1-5 Nisan 2013. 66. TJK Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, 422-423.
- Vural, A., Kaygusuz, A. ve Dönmez, H., 2016. "Avliyana Antimonit Cevherleşmesinin Duraylı İzotop ve Sıvı Kapanım Verileriyle Değerlendirilmesi". 11-15 Nisan 2016. 69. TJK Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, 370-373.
- Vural, A., 2016. "The Use of K-Ar Dating Method for Determining the Age of Mineralization: Case Study of Gumushane Antimony Mineralization". 19-24 October, 3rd International Conference On Computational And Experimental Science And Engineering.
- Vural, A., 2017. K-Ar Dating for Determining the Age of Mineralization as Alteration Product :A Case Study of Antimony Mineralization Vein Type in Granitic Rocks of Gümüşhane Area , Turkey 132, 792-795. doi:10.12693/APhysPolA.132.792
- Vural, A., 2019. "Canca (Gümüşhane, Türkiye) toprak jeokimyası verilerinin ters mesafe ağırlıklandırma (Tma) ve krigleme enterpolasyon metotlarıyla değerlendirilmesi-ilk bulgular" MTA dergisi 158:197-219

- Yılmaz, S. ve Boztuğ, D., 1996. Space and time relations of three plutonic phases in the Eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review* 38, 935–956.
- Yılmaz, Y., Tuysuz, O., Yiğitbaş, E., Genc, Ş.C. ve Şengor, A.M.C., 1997. Geology and tectonics of the Pontides. In: ROBINSON, A.G. (ed), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*. American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Memoir 68, 183-226.
- Wagner, T. ve Cook, N.J., 2000. “Late-Variscan antimony mineralisation in the Rheinisches Schiefergebirge, NW Germany: evidence for stibnite precipitation by drastic cooling of high-temperature fluid systems”, *Miner. Depos.* 35, 206–222.
- Yalçınalp, B., 1992. “Güzelyayla (Maçka-Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası”, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yaylalı-Abanuz, G., Tüysüz, N. ve Akaryalı, E., 2012. Soil geochemical prospecting for gold deposit in the Arzular area (NE Turkey). *J. Geochemical Explor.* 112, 107–117. doi:10.1016/j.gexplo.2011.08.004
- Yılmaz, Y., 1972. “Petrology and Structure of the Gümüşhane granite and surroundings Rocks, North-Eastern Anatolia”, University of London.
- Yücel, C., 2013. Trabzon-Giresun Arasındaki Tersiyer Volkanitlerinin Petrografisi, 40Ar-39Ar Jeokronolojisi, Petrokimyası, Sr-Nd-Pb İzotop Jeokimyası ve Petrolojisi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 285 sayfa.
- Zankl, H., 1962. Magmatismus und Bauplan des Ostrpontischen Gebirges im Querprofil des Harşit-Tales, Bayerische Akademie der Wissenschaften. *Abhandlungen. Neue Folge*, Heft 109, 61-90.

ÖZGEÇMİŞ

Bilal ÇİÇEK, 14.09.1987 Erzurum'da doğdu. İlköğretimi Tatbikat İlköğretim Okulu ve Gazi Ahmet Muhtar Paşa İlköğretim Okulu'nda 2001 yılında tamamladı. Orta öğretimini Erzurum Lisesi'nde 2004 yılında tamamladı. 2005 yılında yerleştiği Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünden 2009 yılında mezun oldu. Yabancı dili İngilizce'dir. AutoCad, NetCad Corel X5, Freehand, Grapher ve Office programlarını bilmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

