

**BURSA-BİLECİK-ESKİŞEHİR ARASINDAKİ BÖLGEDEKİ
JEOKİMYASAL ANOMALİLERİN JEOİSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF GEOCHEMICAL ANOMALIES IN THE
REGION AMONG BURSA-BİLECİK-ESKİŞEHİR USING
GEOSTATISTICAL METHODS**

ÇAĞATAY ALP ARSLAN

PROF. DR. MURAT ERCANOĞLU
Tez Danışmanı

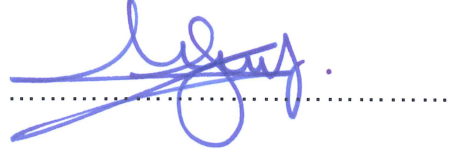
Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

ÇAĞATAY ALP ARSLAN'ın hazırladığı “**Bursa-Bilecik-Eskişehir Arasındaki Bölgedeki Jeokimyasal Anomalilerin Jeostatistiksel Yöntemlerle İncelenmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Dr. Şükrü KOÇ



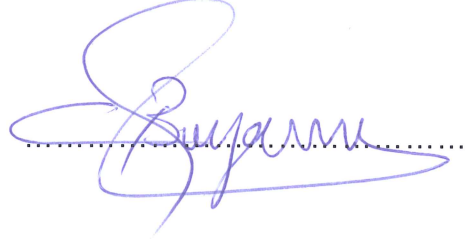
Danışman

Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU



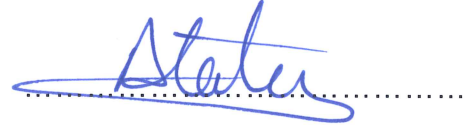
Üye

Prof. Dr. Serdar BAYARI



Üye

Dr. Öğr. Üyesi Fırat ATALAY



Üye

Dr. Öğr. Üyesi Güneş ERTUNÇ



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

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

- ☐ Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- ☒ Tezimin/Raporumun 06.06.2018 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- ☐ Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- ☐ Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

26 / 06 / 2018

(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

Cefadey A. ARSLAN

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlerle bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

21/05/2018


ÇAĞATAY ALP ARSLAN

ÖZET

BURSA-BİLECİK-ESKİŞEHİR ARASINDAKİ BÖLGEDEKİ JEOKİMYASAL ANOMALİLERİN JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

Çağatay Alp ARSLAN

Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU

Mayıs 2018, 51 Sayfa

Bilecik-Bursa-Eskişehir arasındaki bölgede MTA tarafından yapılan jeokimyasal anomali çalışmaları yüksek miktarda numune ve veriyle gerçekleştirilmiş ancak jeoistatistiksel değerlendirme gerçekleştirilmemiştir. Bu çalışmada, bölgedeki potansiyel maden yataklarının jeoistatistiksel yöntemlerle tespit edilmesi amaçlanmıştır. Tez çalışması kapsamında, çalışma sahası olarak Bilecik-Bursa-Eskişehir arasındaki 1/25000 ölçekli H23-c1, c3, c4, d3, H24-c3, c4, d2, d3, d4, H25-c4, d3, d4, İ23-a2, b1, b2, İ24-a1, a2, b1, b2, İ25-a1, a2, b1, b2 topoğrafik harita paftalarını içeren bölge seçilmiştir. MTA tarafından yaklaşık 3500 km²'lik alandan alınan, 2896 adet dere sedimanı örneği, 22 adet kayaç ve ağır mineral tespiti amacıyla 178 adet bate örneği üzerinde gerçekleştirilen genel jeokimya çalışmaları sonucunda ortaya çıkan anomaliler, jeoistatistiksel yöntemlerle incelenmiştir. Araziden alınan toprak ve kayaç örnekleri, Cu, Pb, Zn, As, Ag, Sb, Mo elementleri için analiz edilmiştir. Dere sedimanı örnekleri km²'ye 1 örnek düşecek şekilde ve bate örnekleri genellikle 10 km²'de 1 örnek olacak şekilde bölgedeki derelerden alınmıştır. Belirlenen anomali sahalarındaki değişkenlerin korelasyonları tespit edilerek Cu, Pb ve Zn elementlerine ait verilerin kullanılması uygun bulunmuştur. Gamlib Gs+ ve Surfer programları kullanılarak varyogramlar dört ana yönde hesaplanmış ve

deneysel varyogramlar çizilmiştir. Hesaplamalar sonucu bölgesel değişkenlerin alansal dağılımının izotrop olduğu tespit edilmiş, daha sonra elde edilen deneysel verilere SGeMS programıyla küresel modelleme uygulanmıştır. Son olarak Gs+ programı üzerinde krigleme yöntemi kullanılarak kestirim yapılmış ve bu sonuçlarla alansal korelasyon derecelerini gösteren haritalar üretilmiştir.

Elde edilen haritalara göre Cu, Pb ve Zn anomalileri bölgenin batısında ve güneydoğusunda yoğunlaşmıştır. Bu üç element birlikte ele alındığında H23-c-4, İ25-b-1 ve İ25-b-2 paftalarında ortak olarak yüksek değerler göstermektedir. Üretilen haritalar, potansiyel kaynaklara işaret edebilecek bu üç paftada detaylı etütlerin yapılmasıyla ilgili ön fikir vermektedir.

Anahtar Kelimeler:

Maden yatağı, jeokimyasal anomali, jeostatistik, varyogram, modelleme, krigleme.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF GEOCHEMICAL ANOMALIES IN THE REGION AMONG BURSA-BİLECİK-ESKİŞEHİR USING GEOSTATISTICAL METHODS

Çağatay Alp ARSLAN

Master of Science, Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU

May 2018, 51 Pages

Considerable amount of specimen and data were used in the geochemical anomaly studies which were performed by MTA in the region among Bursa-Bilecik-Eskişehir, yet geostatistical analyses were not included in the studies. In this study, determining potential ore deposits of the relevant region by the geostatistical analyses are aimed. In the scope of this thesis, the region among Bursa-Bilecik-Eskişehir, where involves 1/25000 scale H23-c1, c3, c4, d3, H24-c3, c4, d2, d3, d4, H25-c4, d3, d4, İ23-a2, b1, b2, İ24-a1, a2, b1, b2, İ25-a1, a2, b1, b2 topographic map sections, is selected as studying field. The anomaly results of geochemical studies on 2896 each of stream sediment, 22 each of rock and 178 each of washbowl specimens for heavy mineral analysis, which were taken by MTA from 3500 km² area, were analyzed with geostatistical methods. The soil and rock specimens were analyzed for Cu, Pb, Zn, As, Ag, Sb, Mo elements. Stream sediment specimens were taken as 1 each in 1 km² area and heavy mineral specimens were generally taken as 1 in 10 km² from the streams in the area. Variables' correlations on the specified anomaly field were determined and the data of Cu, Pb ve Zn were approved to be used in the geostatistical analyses. Variograms were calculated in cardinal points and their experimental variograms were plotted with Gamlib Gs+ and Surfer. Areal distribution of regional variables were found isotropic as conclusion and global modeling was

applied on these data. Finally, estimations were made with the Kriging method on Gs+ software, and maps were created with these results to show regional correlations, in order to estimate and plot the areal extent of the possible ore deposits.

Cu, Pb ve Zn anomalies are centred upon the west and southeast of the site according to the created maps. As these three elements are paired with, they indicate common high anomaly values on H23-c-4, İ25-b-1 ve İ25-b-2 sections. Created maps provide pre-understanding about making detailed research on these three scaled sections which can indicate potential sources.

Key Words:

Ore deposits, geochemical anomaly, geostatistics, variogram, modeling, kriging.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans yapmaya karar vermem de dahil olmak üzere tezimin her aşamasında emeği olan, bilgisi, tecrübesi, ilgisi ve nezaketi ile en zor zamanlarda dahi yanımda olarak fikirlerimi ve çalışmalarımı şekillendiren, vizyonumu ve ufkumu genişleten çok değerli hocalarım ve tez danışmanlarım Sayın Prof. Dr. Cem Saraç ve Sayın Prof. Dr. Murat Ercanoğlu'na;

Tezimin çalışma bölgesine ait veri tabanının oluşturulmasında ve jeolojik raporların hazırlanmasında bilgi, kaynak ve önerilerini paylaşan MTA Jeoloji Etütleri Daire Başkanı Sayın Dr. M. Bahadır Şahin'e;

Mesleki birikimimin oluşmasını sağlayan ve bana mesleğimi bir kat daha sevdiren Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü hocalarıma;

Lisans ve yüksek lisans hayatımda her daim yanımda ve yardımcı olan kadim dostum Kemal Cem Solak'a,

Hayatımın her anında ilgiyle, sabırla, maddi ve manevi her anlamda yanımda olan, sevgili aileme ve eşime,

SONSUZ TEŞEKKÜRLERİMİ SUNARIM.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER	viii
ÇİZELGELER ve EŞİTLİKLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Çalışma Alanının Genel Özellikleri.....	2
1.3. Önceki Çalışmalar.....	4
2. BURSA-BİLECİK-ESKİŞEHİR ve YAKIN ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ	9
3. ÇALIŞMA SAHASININ JEOLJİSİ.....	12
3.1. Stratigrafi.....	12
3.1.1. Söğüt Metamorfikleri	12
3.1.1.1. Mermer	12
3.1.1.2. Gnays ve Granit	12
3.1.1.3. Yeşil ve Mavi Şistler.....	12
3.1.2. Karatepe Karmaşığı	13
3.1.3. Bayırköy Formasyonu	13
3.1.4. Dağköplü Karmaşığı.....	13
3.1.5. Bilecik Kireçtaşı	14
3.1.6. Arifler Melanjı	14
3.1.7. Muratdere Granitoyiti.....	14
3.1.8. Çokköy Formasyonu	14
3.1.9. Gümele Formasyonu.....	14
3.1.10. Traverten	14
3.1.11. Alüvyon.....	15
3.2. Magmatizma	15
3.3. Metamorfizma	17
3.4. Yapısal Jeoloji.....	17
3.5. Cevherleşme	18

4. JEOKİMYA	20
4.1. Materyal ve Yöntemler	18
4.1.1. Atomik Absorbsiyon Spektrometrisi	21
4.1.2. Kolorimetrik Analiz Metodu	21
4.2. Kayaç Jeokimyası	21
4.3. Sediman Jeokimyası	22
5. VERİ ANALİZİ.....	25
5.1. Tanımlayıcı İstatistik.....	25
5.1.1. Kümeleme Analizi	25
5.1.2. Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi.....	25
5.1.3. Faktör Analizi	25
5.1.4. Korelasyon Analizi	26
6. JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER	28
6.1. Varyogram	28
6.1.1. Varyogram Fonksiyonu.....	28
6.1.2. Varyogram Modelleri	29
6.1.2.1. Gauss Modeli	31
6.1.2.2. Üssel Model	32
6.1.2.3. Küresel Model	32
6.1.2.4. Doğrusal Model	33
6.1.2.5. Logaritmik Model	33
6.2. Verilerin Modellenmesi ve Modellerin Geçerliliği	34
6.3. Krigleme	37
6.3.1. Blok Krigleme	39
6.3.2. Nokta Krigleme	39
6.3.3. Evrensel Krigleme	40
6.4. Krigleme Yönteminin Cu, Pb ve Zn Cevherleşmeleri İçin Kullanılması	40
7. SONUÇLAR.....	46
8. KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	52
EKLER.....	53
EK-1 Çalışma Sahasının Jeolojik Haritası.....	54
EK-2 Küresel Varyogram Durumunda Bloklara Ait Temsil Varyansı	55
EK-3 Küresel Varyogram Blok Merkezinden Sondaj İle Örnek Alınmasına Ait Temsil Varyansı	56

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1.1. Çalışma alanı 1/25000 ölçekli harita paftaları.....	3
Şekil 1.2. Çalışma alanı yer bulduru haritası	4
Şekil 2.1. Kuzeybatı Anadolu'nun Jeotektonik Haritası.....	9
Şekil 3.1. Çalışma sahasının jeolojik haritası	12
Şekil 3.2. Stratigrafik İstif	16
Şekil 3.3. Bilecik ili maden kaynakları	19
Şekil 4.1. Alınan numunelerin çalışma bölgesindeki dağılımı	20
Şekil 6.1. Varyogram modeli	31
Şekil 6.2. Gauss modeli	31
Şekil 6.3. Üssel model	32
Şekil 6.4. Küresel model.....	32
Şekil 6.5. Doğrusal model.....	33
Şekil 6.6. Logaritmik model.....	33
Şekil 6.7. Bölgedeki Cu cevherleşmesine ait deneysel ve model varyogramı	36
Şekil 6.8. Bölgedeki Pb cevherleşmesine ait deneysel ve model varyogramı	36
Şekil 6.9. Bölgedeki Cu cevherleşmesine ait deneysel ve model varyogramı	37
Şekil 6.10 Cu blok krigleme.	43
Şekil 6.11. Pb blok krigleme	44
Şekil 6.12. Zn blok krigleme	45

ÇİZELGELER ve EŞİTLİKLER

Sayfa

Çizelge 4.1. Analizi gerçekleştirilen elementler ve ölçülebilirlik sınırları.....	21
Çizelge 4.2. Çalışma sahasından toplanan önemli kayaç numuneleri.....	22
Çizelge 4.3. Dere sedimanı numunelerinin litolojik sınıflandırılması.....	22
Çizelge 4.4. Cu, Zn, As, Pb, Sb ve Mo elementleri derişim ve eşik değerleri	22
Çizelge 5.1. Tanımlayıcı İstatistikler	27
Çizelge 5.2. Korelasyonlar.....	27
Çizelge 6.1. Varyogram modelleri	30
Çizelge 6.2. Cu, Pb ve Zn elementleri için küresel model verileri	35
Çizelge 6.3. Blok krigleme ile elde edilen sonuçlar	42
Çizelge 6.4: Cu, Pb ve Zn için elde edilen modellere uygulanan çapraz doğrulama teknîği sonuçları	
Eşitlik 5.1. Pearson's korelasyon katsayısı	26
Eşitlik 6.1. Varyogram fonksiyonu	29
Eşitlik 6.2. Deneysel varyogram hesabı	34
Eşitlik 6.3. Kestirim hesabı.....	38
Eşitlik 6.4. Krigleme varyansı	38
Eşitlik 6.5. Blok krigleme varyansı	39
Eşitlik 6.6. Kestirim hataları	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler:

Cu	Bakır
Pb	Kurşun
Zn	Çinko
As	Arsenik
Ag	Gümüş
Sb	Antimuan
Mo	Molibden
Au	Altın
Hg	Civa
W	Tungsten (wolfram)
m	Faktör analizinde değişken sayısı
p	Faktör analizinde aralarında ilişki olmayan faktör sayısı
r	Pearson's korelasyon katsayısı
$2\gamma(h)$	Varyogram fonksiyonu
Co	Külçe etkisi (Nugget effect)
C	Varyogramın yapısal bileşenleri için düşey ölçek değeri
a	Yapısal uzaklık

Kısaltmalar:

MTA	Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü
KD	Kuzeydoğu
GB	Güneybatı
KB	Kuzeybatı
GD	Güneydoğu
D	Doğu
B	Batı
ppm	Milyonda bir (Part per million)
KAVAP	Kuzey Anadolu Volfram Arama Projesi
AAS	Atomik Absorbsiyon Spektrometrisi (Atomic Absorption Spectroscopy)
SGeMS	The Stanford Geoistatistical Modeling Software

1. GİRİŞ

Bir maden yatağının ekonomik olarak işletilebilmesi için, güncel ekonomik şartlar kapsamında üretim maliyetinin en az, tenör ve üretim veriminin ise, en yüksek olduğu cevherleşme bölgelerini tespit etmek gerekmektedir. Zira bir maden yatağının aranması, projelendirilmesi ve işletmeye açılması büyük yatırımlar gerektirir. Cevherleşmenin özelliklerini tanımlamak ve ekonomik açıdan sınırlarını çizebilmek için projenin planlama aşamasındaki en önemli kısım prospeksiyondur. Arama yöntemleri arasından en uygun olanının seçimi, uygun bölgenin seçimi, işletilebilirlik, güvenilirlik ve maliyet analizi bu kısımda ele alınmaktadır [1,2].

Maden arama projelerinde jeokimyasal prospeksiyon çalışmalarının yapılması günümüzde daha da yaygınlaşmıştır. Fakat, bu prospeksiyonların yorumlanmasında öznel değerlendirmelerin bulunması nedeniyle insan faktörüne bağlı olarak farklılıklar olabilmektedir. Bu durum, hedef bölgenin kesinliğini ve sonuçların hassasiyet derecesini düşürmekle birlikte, ölçülebilir net sonuçlar ortaya konulamaması ve hata oranının belirlenememesi gibi olumsuz sonuçlar yaratabilmektedir. Bu olumsuzluklar yatırım riskini artmasına ve işletmeciler tarafından prospeksiyon gerektiren maden yataklarından uzaklaşarak, derin olmayan yataklara yönelmesine neden olabilmektedir.

Bir maden yatağı modelinin konumu, boyut ve diğer özellikleriyle birlikte öngörülebilirlik durumu, cevherleşme sahasının belirlenmesinde, projenin temelini oluşturmaktadır. Günümüzde birçok kaynak hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemler genel olarak, geometrik ve jeostatistiksel yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Geometrik yöntemlerin içerisinde poligon, kesit, üçgen, izopak vb. yöntemler bulunmaktadır. Kaynak hesabı, plan ve kesitler üzerine çizilen geometrik şekiller yardımıyla yapılmaktadır. Jeostatistiksel yöntemler kapsamında ise, nokta krigleme, blok krigleme, indikatör krigleme, koşullu ve koşulsuz simülasyon gibi yöntemler bulunmaktadır. Matematik ağırlıklı olan bu yöntemde, maden yatakları bloklarla temsil edilerek her bloğun tenör ve tonaj eğrileri modeller üzerinden hesaplanmaktadır [3].

Jeostatistik, 1951'de Danie G. Krige tarafından ortaya atılan ve 1971 yılında George Matheron tarafından geliştirilen, uygulamalı istatistiğin bir alt dalıdır. Bölgesel değişkenler deterministik ve rastgele değişkenler arasındaki özellikleri gösterir ve

rastgele değişkenlerin aksine noktalar arasında süreklilik ihtiva ederler [2, 4]. Jeostatistik, maden yatağındaki bir değişkene ait verileri bağıl olarak ele alarak, verilerin otokorelasyon özelliğini, etki alanını ve örneğe ait değişkenin yöne bağlı değişimini hesaplar. Bu da, klasik istatistiksel yöntemlere kıyasla, daha hassas ve detaylı sonuçların elde edilmesini sağlar. Ayrıca, jeostatistikle herhangi bir kaynak kestiriminde kullanılan kestirim varyansı da hesaplanmakta ve böylece kaynak sınıflandırmaları yapılabilmektedir [5].

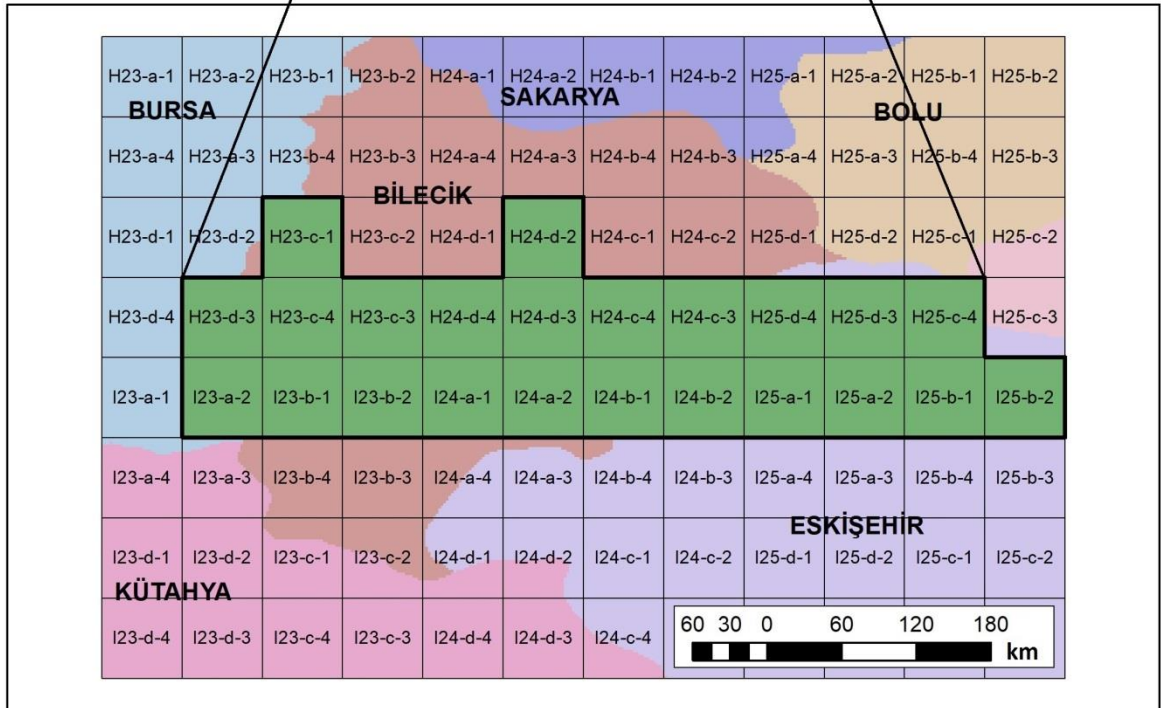
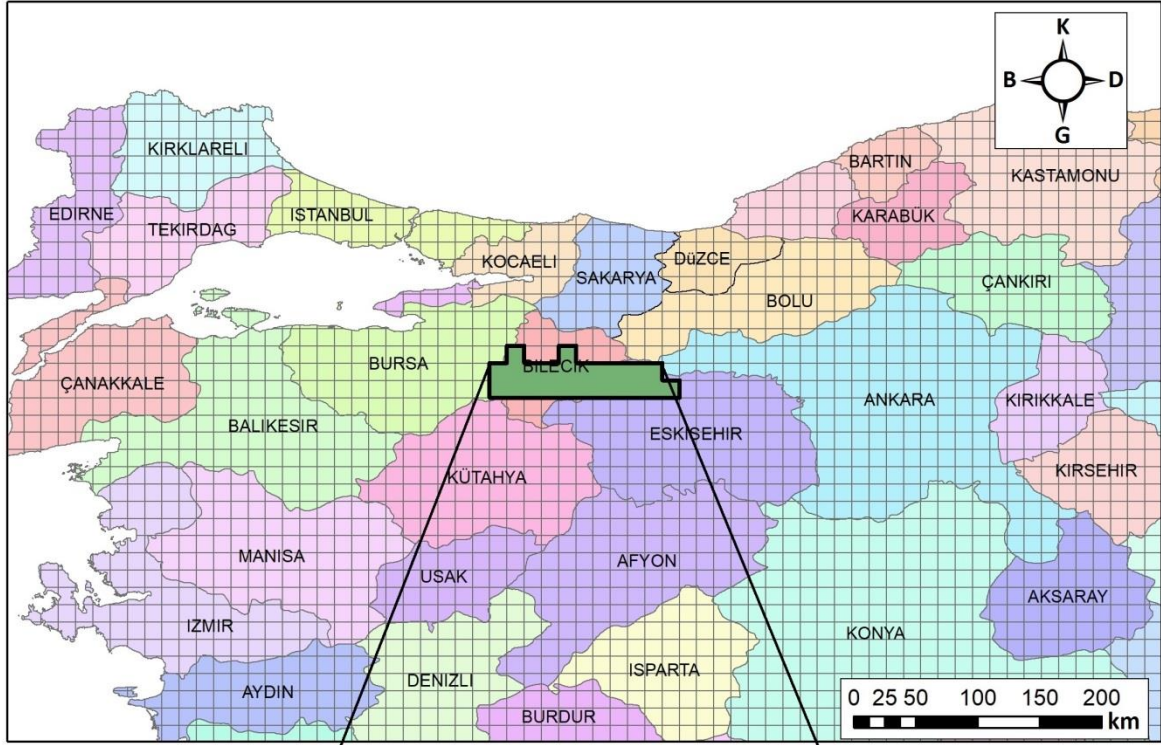
1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada MTA'nın 2013 yılında Bursa-Bilecik-Eskişehir Arasının Genel Jeokimya ve Ağır Mineral Prospeksiyon Çalışması [1] kapsamında Bilecik-Bursa-Eskişehir arasındaki bölgeden alınan dere sedimanı, kayaç ve bate örneklerinden jeokimyasal çalışmalar sonucu elde edilen verilerle bir veritabanı oluşturulmuş ve bu verilerden Cu, Pb ve Zn elementleri değerlendirilmek üzere uygun bulunmuştur. Elementlerin istatistiksel özelliklerinin, birbirleriyle uzaklığa ve yöne bağlı korelasyonunu, alansal dağılımını ve alansal bağlantı derecelerini gösteren haritaların oluşturulması; böylece, bölgedeki olası cevherleşmelerin konumlarını belirleyerek, gelecekte yapılacak çalışmalara katkı sağlanması temel amaç olarak belirlenmiştir.

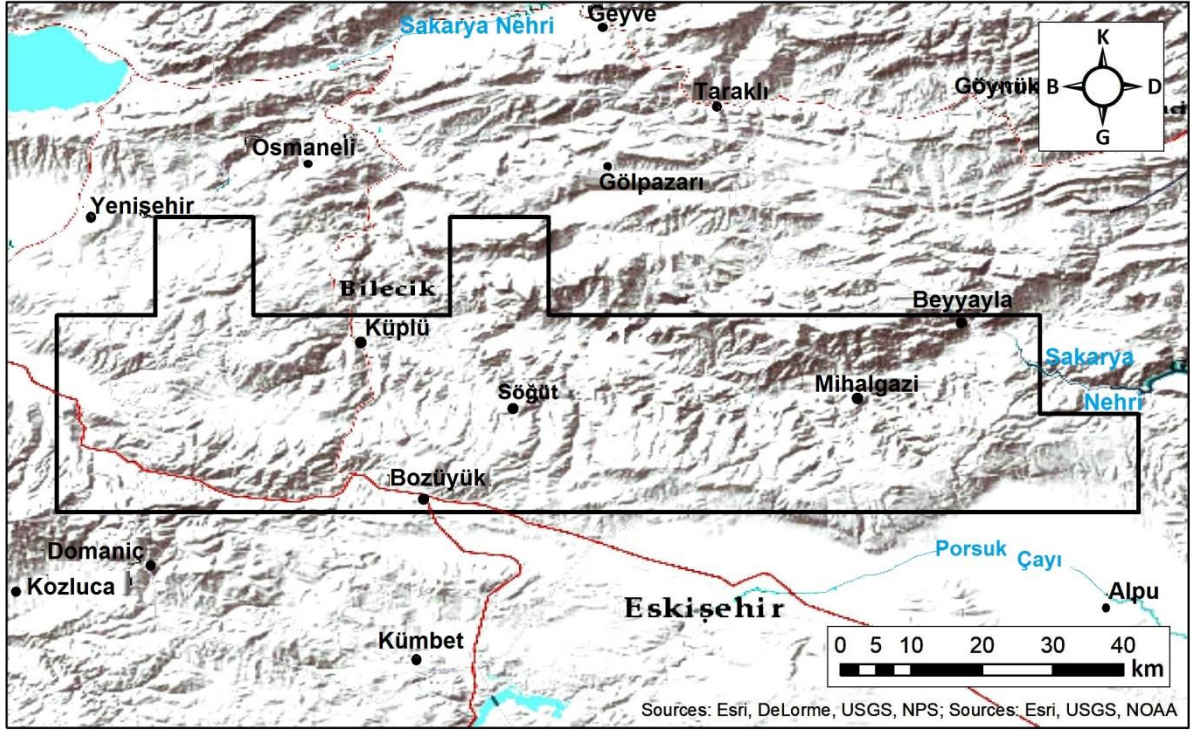
1.2. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Çalışma alanı, 1/25.000 ölçekli Bilecik-Bursa-Eskişehir H23-c1, c3, c4, d3, H24-c3, c4, d2, d3, d4, H25-c4, d3, d4, İ23-a2, b1, b2, İ24-a1, a2, b1, b2, İ25-a1, a2, b1, b2 paftalarında yer almaktadır (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2).

Arazi oldukça engebeli olup akarsu ağının iyi geliştiği bölgede, en önemlisi Sakarya Nehri olmak üzere, Porsuk Çayı ve Mezit Çayı,gibi önemli akarsular bulunmaktadır. Bunlara ait kollar bölgenin drenajını sağlamaktadır. Oldukça geniş olan çalışma sahasının içinde Eskişehir, Bilecik illeriyle birlikte, Bozüyük, Domaniç, Gölpazarı, Söğüt, Mihalgazi ilçeleri gibi birçok yerleşim merkezi bulunmaktadır. Bilecik ve Söğüt yöresinde mermer, kil, feldispat, kaloen madenciliği gelişmiştir [1].



Şekil 1.1: Çalışma alanı 1/25000 ölçekli harita paftaları



Şekil 1.2: Çalışma alanı yer bulduru haritası

1.3. Önceki Çalışmalar

Domanic ve çevresinde yapılan jeokimyasal prospeksiyon çalışmaları sonucunda bölgenin batısındaki Uludağ dışında ekonomik olabilecek tungsten cevherleşmesinin bulunmadığı belirtilmektedir. Uludağ'daki cevherleşmenin, Geç Paleozoyikte gerçekleşen tektonik entrüzyon sonucunda granitin içine sokulan mermer senklinalinin yatağında bulunduğu belirtilmektedir [6].

MTA projesi [7] kapsamında gerçekleştirilen, Bilecik'in Söğüt İlçesi ve Dudaş Köyü güneyindeki Sb ve W cevherleşmesi araştırması neticesinde bölgedeki kaynağın küçük ve ekonomik açıdan önemsiz olduğu belirtilmektedir. Yapılan araştırma neticesinde cevherleşmenin KD-GB doğrultulu ve 15-70° eğimli bir zonda olduğu belirtilmektedir [7].

MTA projesi [8] kapsamında gerçekleştirilen, Söğüt-Dudaş çevresinde Orhan TUĞRUL' a ait altın ruhsatı bulunan sahada yapılan incelemelerde kalkerlerin kırık-çatlak sistemlerini dolduran kil ve kum tipi dolgunun içerisinde 2-10 ppm arasında altın tespit edildiği belirtilmektedir [8].

İnegöl-Eymir köyünün kuzeydoğusundaki Kızıltaşlık bölgesinde yapılan incelemeler neticesinde K60D/45KB konumlu hidrotermal damar tipinde Sb cevherleşmesi olduğu belirtilmektedir [9]. Aynı bölgede yapılan bir başka çalışmada önceden işletilmiş bir hidrotermal Sb cevherleşmesinin olduğu belirtilmektedir [10].

Orta ve Batı Anadolu'daki Sb cevherleşmeleri üzerine yapılan araştırmada, bunların çoğunlukla W-Sb-As-Ag-Au-Hg elementlerini içeren Paleozoyik metamorfiklerden, magmatik ısıtıcıların etkisiyle çözünerek ve uygun tektonik ve litolojik bölgelere taşınarak çeşitli stratigrafik seviyelerde meydana geldikleri belirtilmektedir. Oldukça geniş bir alana yayılmış olması nedeniyle bu zenginleşme bir jeolojik provens olarak tanımlanmaktadır [11].

Bilecik-Söğüt bölgesinde yapılan incelemeler neticesinde iki tip Au cevherleşmesi tespit edilmiştir. Bunların ilkinin kalkerlerde sekonder olarak tabakalanma halinde veya çatlaklar boyunca kloritleşmiş ve silisleşmiş damarlardaki antimonit ve şelitle birlikte olduğu; ikinci oluşumun karstik boşlukları dolduran kil ve kumların içerisinde ortalama 80 ppm tenör ile bulunduğu tespit edilmiştir. Yatağın küçük olması nedeniyle ekonomik olmayacağı belirtilmektedir [12].

Boğazova-Domaniç, Uludağ ve Topuk granodiyoritlerinde yapılan prospeksiyon çalışmalarında, Cu, Pb, W, Zn, Mo mineralizasyonlarının birçok alanda bulunduğu ve detaylı çalışma yapılması gerektiği belirtilmektedir. Boğazova-Domaniç granodiyoriti kenar zonlarında porfiri damar kayaçlarının bulunduğu, hidrotermal alterasyonun yaygın olduğu ve buradaki porfiri granitlerde cevherleşmelerin bulunduğu belirtilmektedir [13].

MTA projesi [14] kapsamında Sülüklüköy bölgesinde gerçekleştirilen jeokimya çalışmaları neticesinde hidrotermal kökenli olan Sb cevherleşmelerinin kalkıştırdolomit ile ilişkili olduğu belirtilmektedir. Bu cevherleşmenin GB-KD doğrultulu KB eğimli faylarda yer alan kısmında limonitleşme ve silisleşmeye de rastlandığı belirtilmektedir. Cevherleşmenin en büyük kısmının Anaocak'ta bulunduğu ve %6,5 tenöre sahip yaklaşık 15 bin ton görünür ve muhtemel rezerv hesaplandığı belirtilmektedir. Ayrıca daha sonra örnekler üzerinde altın için yapılan analizler neticesinde ortalama 22 ppm tenör ile Au tespit edildiği belirtilmektedir [14].

MTA tarafından, KAVAP (Kuzey Anadolu Volfram Arama Projesi) Projesi kapsamında Bursa ve Kütahya'da gerçekleştirilen polimetal arama etütleri neticesinde, Gelemiş'te

bulunan Cu-Pb-Mo cevherleşmesinin porfiri granitler ve skarn zonlarıyla ilişkili olduğu ve bununla birlikte bölgede yaygın bir hidrotermal alterasyon bulunduğu belirtilmektedir [15]. Aynı proje kapsamında Aşağı Gürgenyayla Cu ve Çatalçamtepe Cu-Pb cevherleşmelerinin sahada yüzeylenen ve granodiyorit, granot-diyopsid fels (skarn) olarak tanımlı numunelerden yararlanılarak kontak metasomatik olduğu belirtilmektedir. Boğazova-Domaniç granodiyoriti çevresinde bulunan cevherleşmelerin ise sahada yüzeylenen ve granat karbonat fels olarak tanımlanan numunelerden yararlanılarak kontak metamorfik tipte oluşumlar olduğu belirtilmektedir [16].

MTA tarafından, KAVAP Projesi kapsamında Söğüt bölgesinde gerçekleştirilen jeokimya çalışmaları neticesinde, Mayıslar Pb-W-Sb-Mo-As, Dudaş As-Sb ve Tozman Sb anomalileri tespit edilmiştir. Bu anomalilerin genellikle KD-GB uzanımlı olduğu, Yeniköy-Mayısar bölgesinde bulunan Pb-W-Sb-Mo-As anomalilerinin daha önceden bilinen cevherleşmeler olmaması nedeniyle önem arz ettiği belirtilmektedir [17].

MTA projesi [18] kapsamında Sülüklüköy bölgesinde AR.24434 no'lu MTA altın ruhsat sahasında gerçekleştirilen ön etüt çalışmaları neticesinde Çamurbaca, Yeniçamlık ve Anaocak cevherleşmelerinden alınan numunelerde 0,6 - 28,5 ppm aralığında Au tespit edildiği belirtilmektedir. Au-Sb cevherleşmesinin, bölgedeki şist içindeki K20-40D/20-30KB konumlu faylarla ilişkili olan ezilmiş limonitik ve breşik zonlar içinde 4 km uzunluğunda kesikli bir hat şeklinde bulunduğu belirtilmektedir [18].

Bilecik ve Bursa arasındaki bölgenin temel jeolojisi üzerine yapılan çalışmalar neticesinde, Paleozoyik yaşlı Sorgundere Metamorfiklerinin glokofanşist, kireçtaşı, metabazik, metaultrabazik, radyolarit ve asidik bileşimli şistlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Permien yaşlı kırıntıların Orhaniye Formasyonu, kireçtaşlarının ise Yörüktepe formasyonu altında incelendiği belirtilmektedir. Triyas yaşlı Karakaya Grubunun farklı boyutlarda Permien yaşlı bloklardan oluştuğu; Jura-Kuvaterner yaşlı çökellerin ve volkanitlerin ise kuzey bölgelerinde geniş bir alanda yer aldığı belirtilmektedir. Metamorfikler ile tektonik dokanaklı olan granodiyoritlerin Liyas yaşlı kumtaşları ile örtülü olduğu belirtilmekte ve Permien yaşlı olduğu düşünülmektedir.

Sorgundere Metamorfitlerinin genellikle tektonik dokanaklı olduğu ve dokanaklarda yer yer lisvenitleşmenin tespit edildiği belirtilmektedir [19].

MTA-Birleşmiş Milletler Altın Arama Projesi kapsamında Sülüklüköy bölgesinde ön inceleme yapılmıştır. Sahada şist-serpantin tektonik dokanakların bulunduğu; bu dokanaklarda silisleşme, breşleşme, lisvenitleşme, limonitleşme ve karbonatlaşmanın yaygın bir şekilde görüldüğü belirtilmektedir. Au ve Sb cevherleşmeleri bu altere olmuş tektonik zonlara yerleşmiştir. Çalışma sonucunda bilinen Sb yataklarının dışında beş farklı alanda daha Au anomalisine rastlandığı belirtilmektedir [20].

Domaniç Granodiyoritinin Topukdere - Sarıçayırıyayla bölgesinde yapılan çalışmalar neticesinde, porfiri Mo-Cu cevherleşmesinin varlığı ilk kez tespit edilmiştir. Altere granodiyoritlerdeki Mo ve Cu değerlerinin genellikle yüksek olduğu ve bu bölgelerde 1-2 mm boyutlarında pirit, kalkopirit ve molibdenite rastlandığı belirtilmektedir. Aynı bölgede epitermal Au cevherleşmesinden de söz edilmektedir. [21]. Bu bölgede yapılan bir diğer çalışmada ise Domaniç sahasında detay çalışma ve sondajlı arama yapılarak porfiri Mo-Cu potansiyel kaynağı araştırılmıştır [22].

Söğüt'ün güneyinde bulunan Dudaş ve Korudanlık bölgelerinde altı ayrı alanda bulunan Au-W-Sb cevherleşmeleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde Au ve Sb'nin KB-GD doğrultulu kırıklar, W'nin KD-GB doğrultulu kırıklar boyunca yayıldığı belirtilmektedir [23].

Sülüklüköy sahasında Au-Sb cevherleşmesinin detay etüdü yapılarak ve bölgede bulunan dokuz ayrı ocak ve çevrelerindeki jeokimyasal anomali dağılımı değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme neticesinde cevherleşmenin epitermal lisvenit tipinde olduğu ve bazı bölgelerdeki Au anomalilerinde detay etüdü yapılması gerektiği belirtilmektedir [24].

MTA tarafından Domaniç bölgesinde Cu ve Mo arama çalışmaları kapsamında yapılan sondajlardan elde edilen karotlarda yapılan inceleme neticesinde derinlik ve damar tipi olmak üzere iki tip kayaç tespit edilmiştir. Cevherleşmeyle birlikte bulunan bu kayaçlarda biyotit-kuvars, serisit-kuvars, kuvars-kil-klorit ve klorit-epidot-kuvars olmak üzere dört tip alterasyona rastlanmıştır. Ayrıca yüzeye yakın yerlerde limonitleşme, hematitleşme ve killeşme gibi yüzey alterasyonları gözlenmiştir. Cevherleşme mineralojisi, tipi, yan kayaç ilişkisi ve alterasyon özellikleriyle porfir tipi Cu-Mo yataklarıyla benzerlik gösterdiği belirtilmektedir [25].

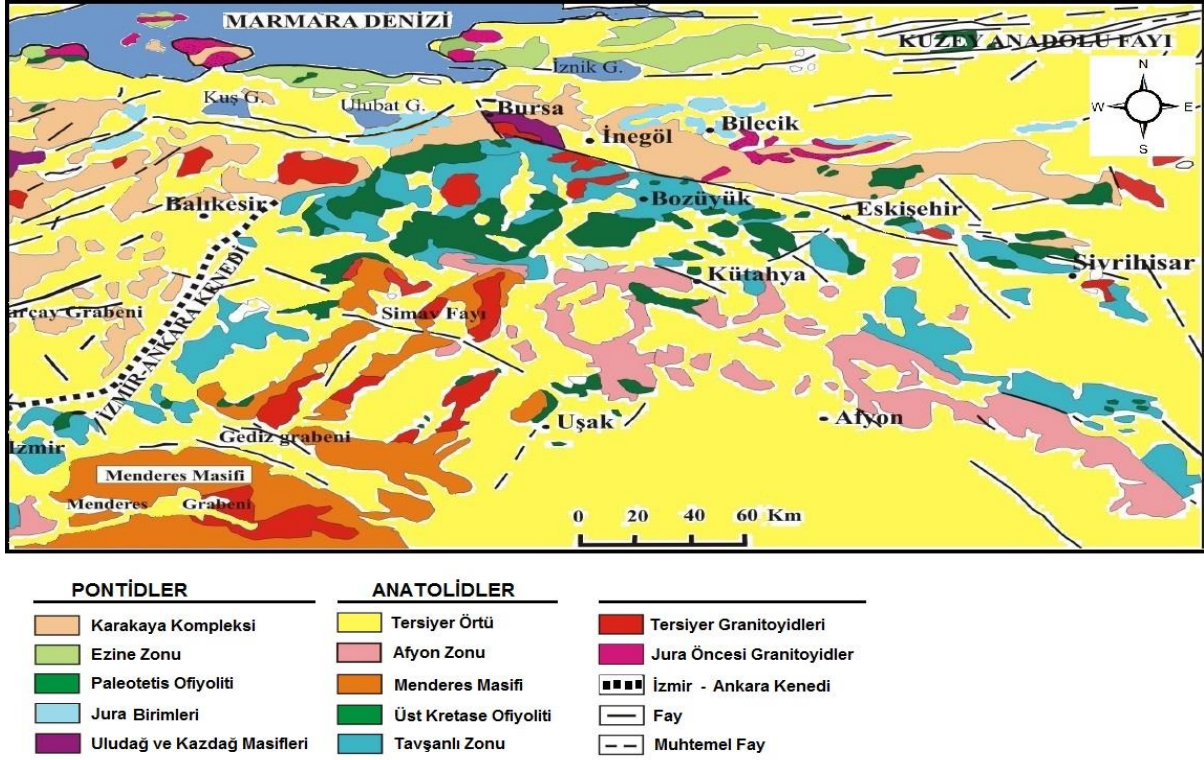
MTA'nın İllerin Maden Kaynakları çalışmasında, Söğüt ve Bozüyük ilçeleri çevrelerinde yaklaşık 16.000 ton Au görünür rezervi, yaklaşık 5.000.000 ton Cu-Mo görünür rezervi, 10.000 ton tungsten mümkün rezerv varlığı belirtilmektedir [26].

Eskişehir Sarıcakaya'a bağlı Mayıslar Köyü bölgesindeki polimetalik cevherleşmelerin, Eosen yaşlı Meyildere andezitik kayalar ve Kretase yaşlı Dağküplü melanjında bulunan ultramafik kayalar içerisinde evreler halinde yerleştiği; bunun da yan kayalarda alterasyona sebep olduğu belirtilmektedir [27].

Bilecik Bozüyük'te Muratdere bölgesinde 2 tip cevherleşme olduğu belirtilmektedir. Bunlardan ilkinin genellikle kuvars-serisit-pirit (fillik) alterasyonunun etkili olduğu, kuvars diyorit - kuvars diyorit porfiri intrüzif kayalara bağlı gelişen porfiri Cu-Mo cevherleşmeleri olduğu; ikincisinin ise silisleşme ve karbonatlaşma alterasyonlarının eşlik ettiği lisvenitler içerisinde gelişen epitermal Au cevherleşmelerinin olduğu belirtilmektedir [28].

2. BURSA-BİLECİK-ESKİŞEHİR ve YAKIN ÇEVRESİNİN JEOLojİSİ

Bu bölümde, tez çalışmasına konu olan alanın ve yakın civarının genel jeolojik özellikleri özetlenmiş olup, bu özellikler, Şekil 2.1’de sunulmaktadır.



Şekil 2.1: Kuzeybatı Anadolu’ nun jeotektonik haritası (önceki çalışmalardan yararlanılarak ve değiştirilerek hazırlanmıştır [29, 30, 31, 32]).

Kuzeybatı Anadolu’da, farklı metamorfizma koşulları altında ve farklı zamanlarda gelişen, İzmir-Ankara Kenedi ile ayrılan Pontid ve Anatolid tektonik kuşaklarına ait metamorfik birlikler yer almaktadır. Kuzeyde Pontid kuşağına ait metamorfik bir zon olan Sakarya Zonu; güneyde ofiyolitler ve Anatolid kuşağına ait Menderes masifiyle metamorfikler bulunmaktadır. İzmir-Ankara Kenedinin Eskişehir-Bursa arasında kalan kısmında KD doğrultulu ofiyolitlerle ortaya çıkan doğu-batı uzanımlı hat Eskişehir Fay Zonu olarak adlandırılmaktadır [29].

Kuzeybatı Anadolu’nun en yaşlı formasyonları olan, yüksek dereceli metamorfizma geçirmiş, Kazdağ ve Uludağ masiflerine ait mermer, gnays ve amfibolitler, Sakarya zonunun alt kısımlarında tektonik bölgeler halinde bulunmaktadır [1].

Sakarya Zonunu oluşturan metamorfikler Biga ile Bursa-Bilecik-Eskişehir-Ankara çevresi arasında bir yay meydana getirmektedir. Biga'daki Permiyen öncesi epimetamorfikler, Söğüt ve Bozüyük metamorfikleri bu zonun en yaşlı birimleridir. Bu bölgedeki metamorfikler yüksek basınç koşullarında yeşil şist fasiyesinde metamorfizmalarını tamamlamıştır ve genel olarak şistlerle temsil edilmektedirler. Bu şistlerin içinde blok, mercek ve bant konumlu metaultramafik, mermer ve metabazikler bulunmaktadır [1].

Sakarya Zonunda bulunan en genç matamorfikler Karakaya Grubunu oluşturur [33, 19]. Karakaya Grubu grovak, mercekli kireçtaşı, spilit, bazik volkanit ve kumtaşından oluşan bir matriksi ve bu matriks içinde genellikle Permo-Karbonifer yaşlı blokları bulunduran, Triyas yaşlı bir birimdir. Kuzeybatı Anadolu'da neritik ve kırıntılı kireçtaşı birimleri birkaç metreden birkaç kilometreye kadar boyutlarda bloklar halinde Triyas yaşlı birimler içinde görülür. Karakaya Grubu düşük-orta basınç ve düşük sıcaklık altında düşük yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiştir [34].

Bozüyük Metamorfikleri ve Karakaya Grubu tektonik ilişkilidir ve bloklaşma, fay ve bindirme olayları sonucunda stratigrafisi tamamen bozulmuştur [33, 19]. Bozulan ilksel stratigrafi sebebiyle bu metamorfiklerin ayırt edilmesi oldukça zor olmakla birlikte metamorfizmanın yönü ve şiddeti konusunda ortak bir görüşe varılamamıştır [1].

Sakarya Zonu metamorfikleri, Bayırköy kumtaşlarıyla (Liyas) başlayan ve Bilecik kireçtaşlarıyla (Orta Jura-Alt Kretase) devam eden sığ deniz çökelleri tarafından örtülmektedir. Liyas'tan genç olan birimler Orta Sakarya'da üç kilometre kalınlığa erişmektedirler [19, 33].

Anatolidler, İzmir-Ankara Kenedinin güney kısmında iki farklı metamorfik zon oluştururlar. Kuzeyde Tavşanlı Zonu olarak bilinen, yüksek basınç ve düşük sıcaklık koşullarında mavişist ve yeşilşist metamorfizması geçirmiş volkanosedimanter istif bulunmaktadır. Bu istif güneye gidildikçe Afyon Zonuna ait metamorfikler üstüne doğru itilmiştir. Üst Kretase yaşlı ofiyolitli melanj ve ultramafikler, daha yaşlı metamorfiklerin üzerinde tektonik konumlu olarak bulunmaktadır [1].

Edremit-Manyas-Bursa-Bozüyük-Eskişehir hattının kuzeyinde yer alan granitler Jura öncesi; güneyinde yer alan granitler ise Üst Kretase – Paleosen yaşlıdır. Bu plütonikler genellikle granitten monzonite kadar değişen petrokimyasal bileşime sahip

ve kalkalkalen özellikli olup, yer yer pegmatit, porfirik ve aplit dayklarıyla kesilmiştir [1].

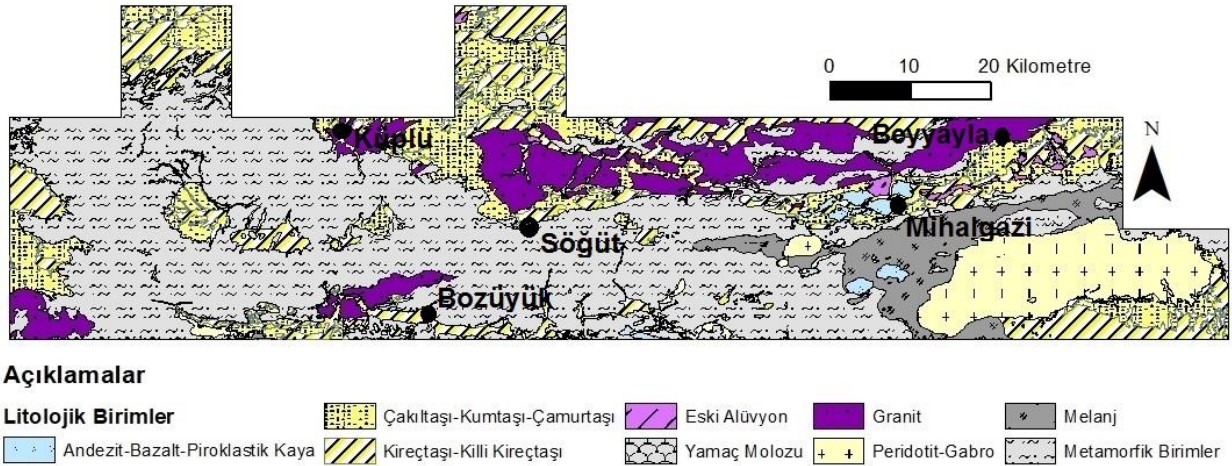
Çalışma sahasını ve çevresini içine alan Kuzeybatı Anadolu'nun bu bölgesinde magmatik ve metamorfik kayalarla ilişkili birçok cevherleşme bulunmaktadır. Uludağ-Domaniç granitlerinin kenar zonlarında skarn tipi W, Pb, Zn, Cu, Mo ve Fe cevherleşmeleri tespit edilmiştir [13, 35]. Son araştırmalarda Domaniç granodiyoritinde porfiri Au-Cu-Mo cevherleşmelerinin varlığı anlaşılmaktadır [21]. Sülüklüköy Au-Sb, Dudaş W-Sb, Dudaş-Korudanlık Au ve İkizce, Güde Yenicemüslüm bölgelerinde bulunan Mn cevherleşmelerinin metamorfikler içinde tektonik hatlarla ilişkili cevherleşmeler olduğu bilinmektedir [1].

Batı ve Orta Anadolu'da Sb cevherleşmelerinin incelenmesinde, bu yatakların genellikle W-Sb-As-Hg-Ag-Au mineral ve metallerini içeren Paleozoyik metamorfiklerden çözülerek oluştukları düşünülmektedir. Araştırmacılar bu elementlerin yüzey suları (meteorik sular) tarafından magmatik ısıtıcıların etkisiyle çözülerek uygun tektonik ve litolojik ortamlara çöktildiği görüşündedirler [11].

3. ÇALIŞMA SAHASININ JEOLJİSİ

3.1. Stratigrafi:

Pontid ve Anatolid Kuşakları, çalışma sahasının sınırlarını oluşturarak çevreler ve bu kuşaklar Eskişehir fayı tarafından tektonik olarak sınırlanmaktadır. Bölgede karmaşık bir jeoloji hakim olduğunda birçok kayaç isimlendirmesi kullanılmıştır. Bu araştırmalarda önceki çalışmalardan faydalanılmıştır [34, 36, 37, 38].



Şekil 3.1: Çalışma sahasının jeolojik haritası (MTA 1/25000'lik jeolojik harita paftalarından değiştirilerek ve sadeleştirilerek hazırlanmıştır).

3.1.1. Söğüt Metamorfikleri:

3.1.1.1. Mermer:

Mavimsi beyaz, siyahımsı ve gri renkli, yer yer eklemli ve kalsit bandı içeren mermerler, şistlerin üstünde ve içinde mercek, bant ve yer yer tabakalar halinde bulunur. Mermer-şist geçişlerinin olduğu yerlerde ince-orta tabakalı kalkışist seviyeleri gözlenmektedir. Yaş tayini için bir fosile rastlanılamayan bölgede, Permiyen birimlerinin metamorfik birimler üstünde uyumsuz olarak bulunması sebebiyle bu metamorfikler Permiyen'den yaşlı olarak kabul edilmektedir [1].

3.1.1.2. Gnays ve Granit:

Bozüyük yakınlarında, Söğüt'ün kuzeyinden başlayarak Mihalgazi'ye uzanan

yeşil mavi şistler ve granitlerle dokanak yapılan yerlerde gnaysik doku mevcuttur. Bozüyük'ün kuzeyinde granitler aplit damarlarıyla kesilmektedir [1].

3.1.1.3. Yeşil ve Mavi Şistler:

Bilecik-Bozüyük'ten başlayarak Mihalgazi'ye kadar uzanmaktadır. Aynı tektonik ve metamorfizma etkisinde kalarak magmatik ve pelitik kayalardan oluşmuş ve birbirleriyle yatay-düşey geçişleri olan veya tektonik ilişkisi bulunan metavolkanik, metapelitik, metabazik, kalkışist ve mermer topluluğu halinde bulunur. Şistozite bazı yerlerde iyi gelişmiş olup şistler gri, açık kahve ve yeşil renklidir. Yeşil şistlerin içerisinde kuvars, serisit, epidot, biyotit, klorit, feldspat, muskovit ve kalsit mineralleri bulunmaktadır. Mavi şistler ise yeşil şistlerin üstünde dar bir şerit olarak gözlemlenir. Lavsonit, granat, piroksen, kuvars, glokofan, epidot, kalsit ve klorit minerallerini içinde bulundurmaktadır [1].

3.1.2. Karatepe Karmaşığı:

Bilecik yakınlarında karakteristik mostralara veren karmaşık, içinde yer yer çört, kırmızı deniz kili, pelajik arakatki, sığ deniz kökenli kireçtaşı, radyolarit, kalkışist ve diyabaz blokları içermektedir. Rekristalizasyona uğrayan kireçtaşı Üst Permiyen yaşlı ve Bilecik'in doğusunda kalan alglı kireçtaşı Triyas yaşlıdır. Karmaşık ve metamorfikler arasında genellikle tektonik bir ilişki vardır [1].

3.1.3. Bayırköy Formasyonu:

Doğuya gidildikçe değişken, batıya doğru tek tip kayalık türünden meydana gelen bu formasyon genellikle kumtaşı özelliklerindedir ve yer yer kumlu kireçtaşı, kireçtaşı ve kila taşı içermektedir. Kendisinden yaşlı birimlerin üzerine uyumsuzlukla gelen formasyonun yaşı fosillere dayanılarak Liyas olarak tayin edilmiştir [1].

3.1.4. Dağköplü Karmaşığı:

Orta Sakarya bölgesinin batısında başlayarak Sakarya nehrinin güneyinden doğuya devam eden karmaşık içerisinde saksonit blokları, peridotit ve dünit bulunmaktadır. Ayrıca radyolarit ve radyolaritle geçişli olarak yer yer çamurtaşı, mavi-yeşil şist, metaandezit, metakila taşı, metadasit, metakumtaşı, mermer ve pelajik kireçtaşı blokları yer alır. Bu bloklar karmaşık içinde hamur olmadan yığılmış halde bulunur. Blokların birbirleriyle tek dokanağı tektoniktir ve karmaşığın yaşı Jura olarak tahmin edilmektedir [1].

3.1.5. Bilecik Kireçtaşı:

Alanda tipik ve yaygın olarak mostralar sunmakla birlikte çevreleri genellikle dik ve üstü düz tepelerden oluşmuştur. Bayırköy formasyonu üstüne aşıl uyumsuzlukla gelen birimin yaşı bulunan fosillere bağılı olarak Üst Jura-Alt Kretase olarak tayin edilmiştir [1].

3.1.6. Arifler Melanjı:

Çalışma sahasının güneybatısında Bozüyük ve Domaniç arasında kalan, içinde gabro, mermer, çamurtaşı, diyabaz, serpantin şist ve kireçtaşı blokları bulunduran birimdir. Bölgesel olarak Söğüt Metamorfiklerinin üzerine tektonik olarak itilmiştir. İçindeki kireçtaşı bloklarında Triyas-Jura yaşı fosiller gözlenmiştir. Melanjın yaşı diğer birimlerle olan dokanak ilişkilerinden yola çıkılarak Üst Kretase olarak tahmin edilmektedir. [1].

3.1.7. Muratdere Granitoyiti:

Çalışma alanının güneybatısında yer alan oldukça altere olmuş, magmatik bir kayadır. Bu intrüzyon bağımsız bir tektonik sisteme ait veya magmatizma ürünü olabileceği gibi, porfiri cevherleşmeleri olan Paleosen-Eosen yaşı Domaniç Granodiyoriti'nin apofizi de olabileceği düşünülmektedir [1].

3.1.8. Çokköy Formasyonu:

Çalışma sahasının genellikle güneybatısında İnegöl-Bozüyük arasında gözlenmektedir. Kumtaşı, kilitaşı, killi kireçtaşı, tuf, marn ve polijenik konglomeradan meydana gelir. İçindeki fosillerden yola çıkılarak Alt-Orta Pliosen yaşı olduğu düşünülmektedir [1].

3.1.9. Gümele Formasyonu:

Bu formasyon çalışma sahasının doğusunda kalmakla beraber Sakarya vadisi boyunca D-B doğrultusunda uzanmaktadır. Çoğunlukla volkanik, daha az miktarda ise çökel kayalardan oluşmaktadır [1].

3.1.10. Traverten:

Traverten mostraları çalışma bölgesinin güneybatısında lokal olarak görülmektedir. Yer yer sık dokulu, gözenekli, yer yer gevşek, orta-kalın tabakalı, krem, sarı, beyaz

ve kahverengi renklidir. Birimin ana bileşeni olarak karbonatlı, kumlu ve çakıllı seviyeler gözlenmektedir [1].

3.1.11. Alüvyon:

Bölgede Kuvaterner ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı gevşek kıltaşı-silttaşı boyutlu kırıntılı çökeller, kum ve çakıltaşı gözlenmektedir. Bu malzeme çoğunlukla Porsuk, Sakarya nehirleri ve kollarında gözlenmektedir [1].

3.2. Magmatizma:

Çalışılan sahada volkanik, asidik, bazik ve ultrabazik kayalar bulunmaktadır. Dağküplü ve Karatepe Karmaşığı içinde bulunan diyabaz, spilit, metaserpantin ve metabazikler, Bozüyük Metamorfikleri bölgede yayılmış bir denizaltı magmatizmasına ait ürünlerden. Yaygın alterasyon ve metamorfizma sonucunda ilksel özelliklerini kaybetmiş olan bazik magmatikler Triyas ve Paleozoyik yaşlıdır [1].

Asidik magmatikler bu bölgede genç ve yaşlı olmak üzere ikiye ayrılır. Genç asidik magmatikler Paleosen yaşlı Domaniç ve Muratdere Granitoyitidir. Paleosen yaşlı asidik magmatikler Au, Cu ve Mo cevherleşmeleri açısından önem arz etmektedir [1].

Yaşlı asidik magmatikler Bozüyük-Bilecik yakınlarından başlayarak Eskişehir-Sarıcakaya doğusuna uzanan ve metamorfizma etkisiyle kısmi bölgelerde gnays özelliği kazanması sebebiyle Söğüt Metamorfiklerinin içerisinde değerlendirilen, Permien öncesi yaşlı granitik kayalardır [1].

Volkanik kayalar ise Gümele formasyonu altında incelenmiştir. Paleosen-Eosen yaşlı bu birimler Sakarya vadisinde D-B doğrultulu yüzeylenir ve aglomera, dasit, bazalt, andezit, riyolit bileşimlidir [1].

Saha ve çevresinde geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde oluşturulmuş stratigrafi, Şekil 3.2 'de gösterilmiştir.

DÖNEM	DEVİR	YAŞ	BİRİM	AÇIKLAMA	LİTOLOJİ
Senozoyik	Kuvaterner		Kum ve çakıl.	Alüvyon	
	Neojen	Pliyosen	Traverten ve mermer	Traverten	
		Miyosen	Kumtaşı, Çakıltası	Gemiciköy F., Çökköy F.,	
	Paleojen	Oligosen			
		Eosen			Kireçtaşı, mermer
	Paleosen	Volkanik kayaçlar		Gümele Formasyonu	
		Mesozoyik	Kretase	Üst	Ultramafikler, Tektonik
Alt	Kireçtaşı, mermer			Arifler Melanjı, Bilecik Kireçtaşı	
Jura			Üst	Köyiçi Formasyonu, Dağküplü M.	
	Alt				
Triyas	Üst		Granitoyit, Açısal uyumsuzluk	Muratdere F., Yeşil ve Mavi Şistler, Bayırköy F.,	
	Alt				
Paleozoyik	Permien		Kalsit, Mermer, Şist, Granit, Gnays	Karatepe Karmaşığı	
	Permien Öncesi			Söğüt Metamorfikleri	

Şekil 3.2: Stratigrafik istif (Önceki çalışmalardan yararlanılarak hazırlanmıştır ([34, 36, 37, 38])).

3.3. Metamorfizma:

Çalışma alanında metamorfizmanın en belirgin gözlemlendiği birim, bölgesel metamorfizmanın etkili olduğu Söğüt Metamorfikleridir. Barrow tipi yeşilşist fasiyesinde ve glokofanlı yeşil şist fasiyesinde gerçekleşen bu bölgesel metamorfizma düşük-orta basınç ve düşük sıcaklıklarda gelişmiştir. Bu fasiyese ait alt seriler, kuvars-albit-epidot-almandin, kuvars-albit-epidot-biyotit ve kuvars-albit-muskovit-klorit alt fasiyesleridir [1].

Metamorfik kayalar içinde yer yer gözlenen, bir yüksek basınç minerali olan glokofanın varlığı ve lavsonitin eksikliği, metamorfizmanın yeşil şist fasiyesinde yüksek basınç şartlarında geliştiğine işaret eder [1].

Bozüyük-Söğüt bölgesinde, metamorfizma şiddetinin GD-KB veya tersi doğrultuda arttığı şeklindeki görüşlerin netleşememesinin sebebinin, Karatepe Karmaşığının ve Söğüt Metamorfiklerinin tam olarak ayırdının yapılamamış olması olarak gösterilmektedir [1].

3.4. Yapısal Jeoloji

Çalışma sahasında Eskişehir Fay Zonu, Pontid ve Anatolid kuşaklarıyla sınırları çizilen İzmir-Ankara Kenetinin en mühim yapısal ögesidir. Batıda Uludağ'dan doğuda Kaymaz'a uzanan bu zon, Kuzeydoğu-Orta Anadolu bloğuyla Ege-Batı Anadolu bloğunu birbirinden ayıran sağ yönlü doğrultu atımlı, normal bileşenli bir fay zonudur. Eskişehir çevresinde doğrultuları KB, GD ve D-B olarak değişen fay kısımları olarak temsil edilmektedir. Eskişehir Fay Zonunun en az Pleyistosen'den günümüze kadar aktif olduğu düşünülmektedir [1].

Formasyon içi çizgisel yapılar, küçük kıvrımlar, eklem yapıları, yapraklanma, bölgesel uyumsuzluklar, kıvrımlar, Dağküplü Karmaşığıyla Karatepe Karmaşığı arasındaki ve Karatepe Karmaşığıyla Söğüt Metamorfikleri arasındaki tektonik dokanakları meydana getiren düşük açılı bindirme fayları ile yüksek açılı normal faylar, bölgenin bir diğer önemli yapısal öğeleridir. Daha küçük ölçekteki bindirmeler ve faylar birimlerin kendi içlerinde belirgindir [1].

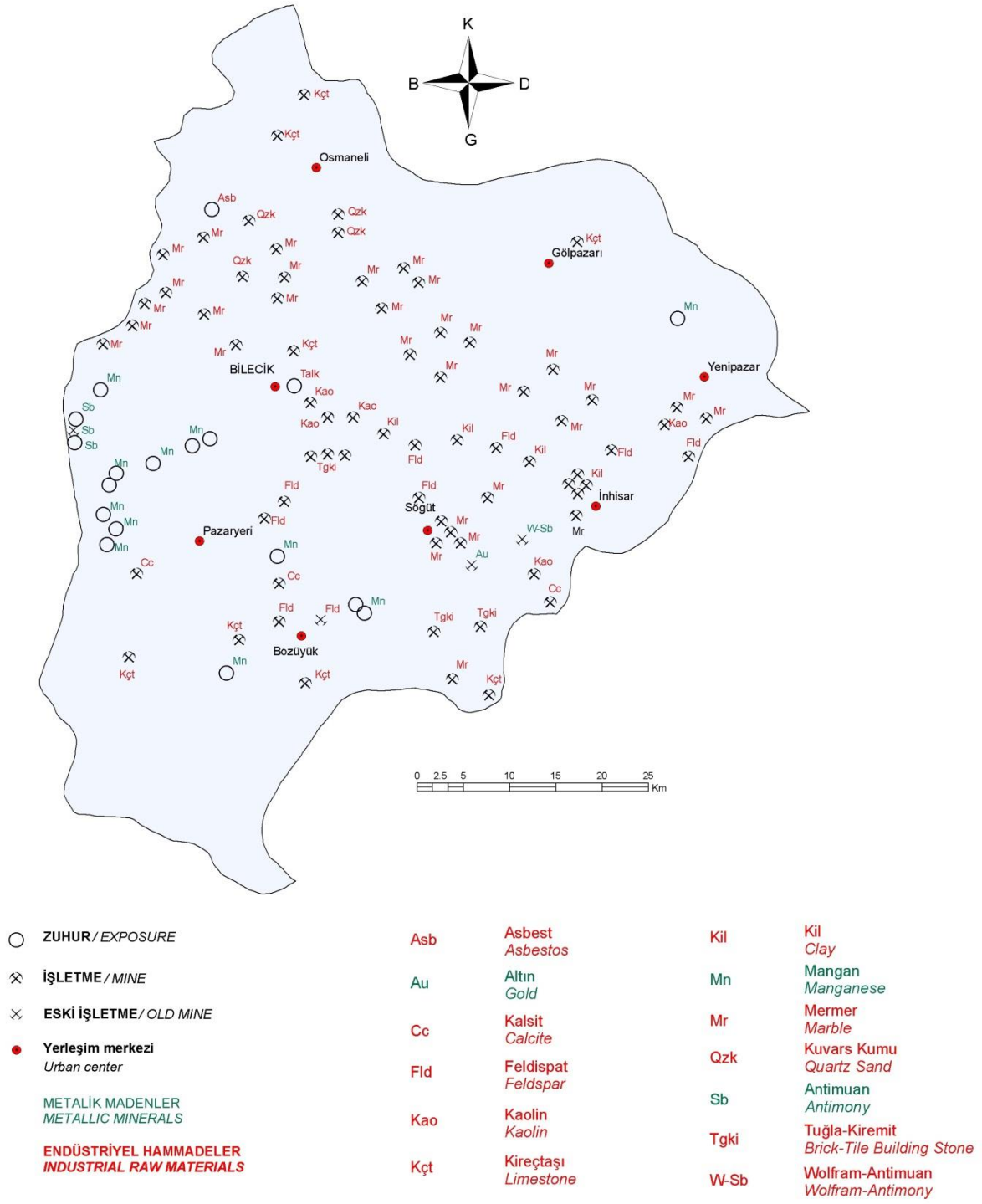
3.5. Cevherleşme

Çalışma alanındaki en önemli cevherleşmeler, Bilecik il sınırları içinde bulunmakta ve çalışma sahasının güneybatısında, özellikle Domaniç Granodiyoritlerine ait yan kayaç dokanaklarındaki skarn zonlarında skarn tipi Cu, Pb, Zn, Mo ve Fe cevherleşmeler yer almaktadır (Şekil 3.3). Güncel çalışmalar ile bölgede porfiri tipi cevherleşmelerin bulunduğu da belirtilmektedir [1].

İnegöl ve Sivrihisar arasında kalan bölgede epitermal tipte Au ve Sb cevherleşmelerinin olduğu belirtilmektedir [1].

Sivrihisar W-Fe cevherleşmesinin siyenogranit-metamorfik dokanaklarında oluşmuş skarn tipi bir cevherleşmesi olduğu belirtilmektedir [1].

Adatepe Fe-Ni cevherleşmesinin peridotitlerin ayrışmasıyla oluşan lateritik bir cevherleşme olduğu belirtilmektedir [1].

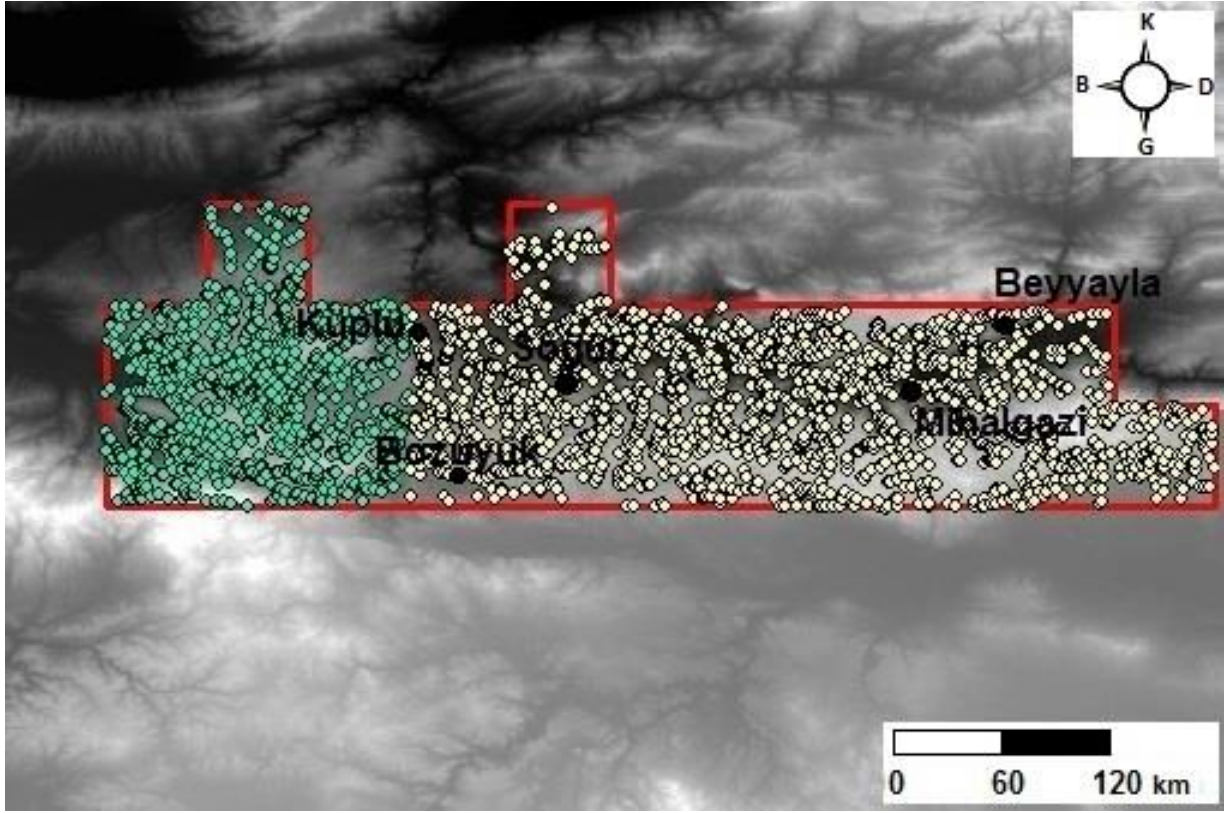


Şekil 3.3: Bilecik ili maden kaynakları [26].

4. JEOKİMYA

4.1. Materyal ve Yöntemler

MTA Genel Müdürlüğü' nün Bilecik-Eskişehir Polimetallik Maden Aramaları Projesi [1] kapsamında alınan numuneler MTA Laboratuvarlarında analiz edilmiştir. Proje kapsamında sahadan toplanan 2896 adet dere sedimanı, 22 adet kayaç ve 178 adet bate örneğinin harita üzerindeki dağılımı Şekil 4.1'de verilmiştir. Analizi gerçekleştirilen elementler ve ölçülebilirlik sınırları Çizelge 4.1' de belirtilmiştir.



Şekil 4.1: Alınan numunelerin çalışma bölgesindeki dağılımı

Harita üzerinde turkuaz renkli olan noktalar, alınan numunelerden UTM Prospeksiyonu 35. zonu içinde bulunanları, sarı renkli noktalar ise UTM Prospeksiyonu 36. zonda bulunan numuneleri ifade etmektedir.

Çizelge 4.1: Analizi gerçekleştirilen elementler ve ölçülebilirlik sınırları

Element	Ölçülebilirlik Sınırları (ppm)		Analiz Yöntemi
	Kayaç	Sediman	
Ag	3	-	AAS
Sb	2	2	Kolorimetri
As	5	5	Kolorimetri
Cu	5	5	AAS
Pb	10	10	AAS
Zn	10	10	AAS
Mo	4	4	Kolorimetri

4.1.1. Atomik Absorbsiyon Spektrometrisi

Atomik Absorbsiyon Spektrometrisi (AAS: Atomic Absorption Spectroscopy) malzemenin gaz haline veya temel enerji düzeyine getirildikten sonra içerisinde bulunan atomların görünür bölgedeki ve UV frekansındaki ışınlarına ait girişim renklerinin emilmesi ilkesine göre çalışmaktadır. Bu yöntemle metallerin hemen hemen hepsi tespit edilebilirken, ametallerin hepsi tespit edilememektedir.

4.1.2. Kolorimetrik Analiz Metodu

Kolorimetrik analiz optik yöntemlerden biri olup; bir reaktif ile oluşturulan rengin şiddetinin, değişimi bilinen bir renk ile karşılaştırılarak kantitatif olarak tayin edilmesini ifade etmektedir. AAS'den farklı olarak, bu metot çoğunlukla ametallerin tespitinde kullanılmaktadır.

4.2. Kayaç Jeokimyası

Sahadan 1998 yılında, değişik litoloji, alterasyon ve damarları temsil edecek şekilde alınan kayaç örneklerinden yalnızca dört tanesinde dikkate değer cevherleşme saptanmıştır. Bunlardan 98017, 98018 ve 98019 numaralı örnekler Ilıca Kaplıcaları mevkiinde bir yol yarmasındaki limonitize zondan alınmıştır. 98022 numaralı örnek ise Tozman Sb cevherleşmesinden alınmıştır. Toplanan diğer numunelerde cevherleşme açısından önem arz eden bir anomaliye rastlanmamıştır [1].

Çizelge 4.2: Çalışma sahasından toplanan önemli kayaç numuneleri.

Doğu	Kuzey	No	Pafta	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Ag	Mo	Au	Birim
294100	4429200	98017	İ25-a1	25	20	130	600	12	<3	<4	<40	ppm
294000	4429500	98018	İ25-a1	15	20	50	50	16	<3	<4	<40	ppm
294300	4429500	98019	İ25-a1	5	10	25	>1000	20	<3	4	<40	ppm
291400	4439100	98022	H25-d4	5	190	55	>1000	560	15	20	1800	ppm

4.3. Sediman Jeokimyası

Dere sedimanları litolojik özelliklerine göre ayrılarak Çizelge 4.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3: Dere sedimanı numunelerinin litolojik sınıflandırılması

Kayaç	Metamorfik	Sedimanter	Plütonik	Ultrabazik	Volkanik
Adet	1723	496	335	286	56

Elde edilen dere sedimanı numunelerine, Cu, Zn, As, Pb, Sb ve Mo elementleri için eşik değerler belirlenmiştir. Eşik değerler, jeokimyasal prospeksiyon çalışmalarında belirli bir bölgeyi temsil eden numunelerin elementel analizlerinden elde edilen temel değerlerin en üst sınırını ifade etmektedir. Bu sınırın üzerindeki değerler anomali olarak adlandırılmaktadır. Çizelge 4.1' de elementlerin, belirtilen yöntemler ile MTA laboratuvarlarında yapılan elementel analiz sonuçları ve eşik değerleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. [1].

Çizelge 4.4: Cu, Zn, As, Pb, Sb ve Mo elementleri derişim ve eşik değerleri

Cu	Ölçülebilirlik Sınırı (ppm)	En Küçük ve En Büyük Değer (ppm)	Ortalama (ppm)	Eşik Değer (ppm)	Eşik Değerin Üzerinde Kalan Numune (adet)	Genel Eşik Değer (ppm)
Sedimanter	3	3-680	36.27	85	6	70
Metamorfik		3-2600	51.29	85	25	
Plütonik		3-245	29.02	70	12	
Volkanik		3-60	25.46	60	2	
Ultrabazik		5-195	31.45	50	12	

Zn	Ölçülebilirlik Sınırı (ppm)	En Küçük ve En Büyük Değer (ppm)	Ortalama (ppm)	Eşik Değer (ppm)	Eşik Değerin Üzerinde Kalan Numune (adet)	Genel Eşik Değer (ppm)
Sedimanter	5	15-200	58.10	110	11	100
Metamorfik		20-280	72.71	130	11	
Plütonik		25-600	82.97	150	12	
Volkanik		15-125	56.78	90	5	
Ultrabazik		15-180	45.29	90	6	

As	Ölçülebilirlik Sınırı (ppm)	En Küçük ve En Büyük Değer (ppm)	Ortalama (ppm)	Eşik Değer (ppm)	Eşik Değerin Üzerinde Kalan Numune (adet)	Genel Eşik Değer (ppm)
Sedimanter	5	5-200	11.18	30	58	40
Metamorfik		5->1000	15.30	50	81	
Plütonik		5-1000	14.64	40	34	
Volkanik		5-75	7.85	20	6	
Ultrabazik		5-75	7.00	3	23	

Pb	Ölçülebilirlik Sınırı (ppm)	En Küçük ve En Büyük Değer (ppm)	Ortalama (ppm)	Eşik Değer (ppm)	Eşik Değerin Üzerinde Kalan Numune (adet)	Genel Eşik Değer (ppm)
Sedimanter	10	10-100	25.04	55	7	50
Metamorfik		10-1200	25.59	55	15	
Plütonik		10-550	29.76	60	15	
Volkanik		10-150	19.82	40	2	
Ultrabazik		10-100	20.70	40	17	

Sb	Ölçülebilirlik Sınırı (ppm)	En Küçük ve En Büyük Değer (ppm)	Ortalama (ppm)	Eşik Değer (ppm)	Eşik Değerin Üzerinde Kalan Numune (adet)	Genel Eşik Değer (ppm)
Sedimanter	2	2-16	1.17	5	26	5
Metamorfik		2-56	1.78	5	32	
Plütonik		2-16	1.39	4	14	
Volkanik		2-10	2.05	3	8	
Ultrabazik		2-16	1.30	3	10	

Mo	Ölçülebilirlik Sınırı (ppm)	En Küçük ve En Büyük Değer (ppm)	Ortalama (ppm)	Eşik Değer (ppm)	Eşik Değerin Üzerinde Kalan Numune (adet)	Genel Eşik Değer (ppm)
Sedimanter	4	4-12	<4	4	15	4
Metamorfik		4-16	<4	4	11	
Plütonik		4-20	<4	4	14	
Volkanik		<4	<4	4	0	
Ultrabazik		4-12	<4	4	2	

5. VERİ ANALİZİ

5.1. Tanımlayıcı İstatistikler

Bu çalışmada değerlendirilen Cu, Pb, Zn, Sb, As ve Mo elementlerine ait en küçük, en büyük ve ortalama değerler, standart sapma, varyans ve korelasyon değerleri Çizelge 5.1 ve 5.2' de sunulmaktadır.

5.1.1. Kümeleme Analizi

Kümeleme analizi (cluster analysis) gruplanmamış rasgele verilerin birbirleri ile benzerliklerine göre gruplandırılmasıdır. Kümeleme analizi sonunda elde edilen veri kümeleri kendi içlerinde homojen veya heterojen bir yapıdadır. Kümeleme yöntemleri kademeli kümeleme (hierarchial cluster) ve kademeli olmayan kümeleme (nonhierarchial cluster) olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır [39].

Kademeli kümeleme yöntemi, verilerin başlangıçta oluşturduğu küme sayısı ve kümeyi oluşturan değişkenlerin belirlenmesi esnasında seçilecek parametreye göre iki gruptan oluşmaktadır. Bunlar birleştirici (agglomerative) ve ayırıcı (divisive) kademeli kümeleme yöntemleridir. Birleştirici kademeli kümeleme yöntemi, değişkenlerin birbiriyle hangi kademede ve hangi benzerlik düzeyinde ortak özellikler sergilediklerini ele almaktadır. Ayırıcı kademeli kümeleme yönteminde ise tüm birim ve değişkenleri başlangıçta bir küme olarak kabul ederek bunları aşamalı olarak ayırmaktadır [40].

Bu tez çalışması kapsamında, değişkenleri birbirleriyle gösterdikleri en yüksek korelasyona göre gruplandırmak amacıyla birleştirici kademeli kümeleme yöntemi kullanılmıştır.

5.1.2. Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi

Çok boyutlu ölçekleme analizi, yüksek miktarda veri grubunu daha küçük bir veri kümesine dönüştürerek daha sade bir hale getirilmesini ve grafiksel olarak değerlendirilebilmesini sağlayan bir analizdir. Burada belirli bir sayıdaki örneklemin belirli sayıda değişkene göre olan ilişkilerini, birbirlerine olan konumlarını daha az boyuta indirgemeyi amaçlar [41].

5.1.3. Faktör Analizi

Faktör analizi anlamlılık testlerinin yapılmasında kullanılmaktadır. Birbirleriyle ilişkili

çok sayıdaki değişkenin bir araya getirilerek daha az sayıda anlamlı yeni faktör ve boyutlar üretmeye yarayan çok değişkenli bir istatistiksel analizdir. Faktör analizinde m sayıdaki değişkenin aralarındaki ilişkinin, aralarında ilişki olmayan p sayıdaki faktörden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumda $p < m$ ’ dir. Böylece faktör analizi değişken sayısını azaltırken, değişkenler arasındaki ilişkiyi kullanarak yeni yapıları ortaya çıkarmaktadır [40].

5.1.4. Korelasyon Analizi

Korelasyon analizi sayısal ölçümler arasında doğrusal ilişkinin varlığını, yönünü ve şiddetini belirlemek için kullanılmaktadır. Yerbilimlerinde en çok kullanılan analizler arasında yer almaktadır.

Korelasyon katsayısı Eşitlik 5.1 ile hesaplanmaktadır [42].

$$\text{Kovaryans (X,Y)} = \sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y}) / (n - 1) \quad \text{Eş. 5.1.}$$

$$\text{Pearson's korelasyon katsayısı } r = \frac{\text{kovaryans}(X, Y)}{[\text{varyans}(X) \text{varyans}(Y)]^{1/2}}$$

X ve Y: Değişkenler

$\bar{X}$ ve $\bar{Y}$: X ve Y değişkenlerinin aritmetik ortalaması

Korelasyon katsayısı değerlendirilirken, değişkenlerin biri artarken diğerinin de arttığı veya birinin azalırken diğerinin de azaldığı durumlarda korelasyon katsayısı pozitifdir. $r < 0.4$ ise zayıf korelasyon, $0.4 < r < 0.6$ ise orta dereceli korelasyon ve $r > 0.6$ ise yüksek korelasyon olduğu yorumu yapılmaktadır. $r = 0$ ise ilişki anlamsızdır [42].

Eğer değişkenlerden birinin sayısal olarak değeri artarken diğeri azalıyor ise korelasyon katsayısı negatiftir ve değişkenler arasında ters ilişki mevcuttur [42].

Bu çalışma ile ilgili istatistiki bilgiler ve korelasyon sonuçları Çizelge 5.1 ve 5.2’ de sunulmuştur.

Çizelge 5.1: Tanımlayıcı İstatistikler

	Numune Sayısı	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma	Varyans
Cu	2890	677	3	680	42.87	27.034	730.847
Pb	2888	540	10	550	25.01	20.884	436.137
Zn	2890	585	15	600	68.39	27.764	770.819
Sb	2890	55	1	56	1.70	2.171	4.714
As	2890	597	3	600	12.78	28.748	826.466
Mo	2890	18	2	20	2.07	0.717	0.514

Çizelge 5.2: Korelasyonlar

		Cu	Pb	Zn	Sb	As	Mo
Cu	Korelasyon						
	Katsayısı	1	0.144**	0.315**	0.076	0.034	0.140**
Pb	Numune Sayısı (N)	2890	2888	2890	2890	2890	2890
	Korelasyon						
Pb	Katsayısı	0.144**	1	0.396**	0.103	0.113	0.095
	Numune Sayısı (N)	2888	2888	2888	2888	2888	2888
Zn	Korelasyon						
	Katsayısı	0.315**	0.396**	1	0.087	0.125	0.135
Zn	Numune Sayısı (N)	2890	2888	2890	2890	2890	2890
	Korelasyon						
Sb	Katsayısı	0.076	0.103	0.087	1	0.415**	0.084
	Numune Sayısı (N)	2890	2888	2890	2890	2890	2890
As	Korelasyon						
	Katsayısı	0.034	0.113**	0.125	0.415	1	0.057
As	Numune Sayısı (N)	2890	2888	2890	2890	2890	2890
	Korelasyon						
Mo	Katsayısı	0.140**	0.095	0.135	0.084	0.057	1
	Numune Sayısı (N)	2890	2888	2890	2890	2890	2890

** . Korelasyon 0.01 seviyesinde %95-99 güven aralığında önem arz etmektedir.

6. JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

Maden yatakları değerlendirme yöntemleri jeoistatistiksel yöntemler ve geometrik yöntemler olarak ikiye ayrılır. Geometrik yöntemlerde değişkenler arasında tenör, uzaklık, kalınlık gibi parametreler rasgele değerler olabilir ve aralarında bir ilişki bulunmadığı varsayılmaktadır. Üçgen, çokgen, kesit ve kesit blok yöntemi geometrik yöntemler arasındadır [43].

Jeoistatistiksel yöntemlerde örnekler arasında mesafeye bağlı korelasyon aranmaktadır. Genellikle birbirine mesafe olarak daha yakın noktaların ölçülen değerleri de birbirlerine yakındır. Bölgesel değişkenler kavramına dayanan bu yöntem ile belirli bir bölgede örneklenmiş noktalara ait veriler kullanılarak kestirim adı verilen hesaplamalar ile örneklenmemiş noktalara ait veriler elde edilmektedir [43].

Bir maden yatağının ekonomik olarak işletilebilmesi için tenör ve rezerv hesaplarının yapılması gerekmektedir. Hesaplamalar için gerekli olan jeoloji ve sondaj verilerinin toplanması oldukça yüksek maliyetlidir. Bu alanda kestirim yöntemleriyle oluşturulan cevherleşme modelleri ile zaman ve maliyet konularında tasarruf sağlanmaktadır.

6.1. Varyogram

Varyogram, uzaklığa ve yöne bağlı ilişki fonksiyonudur. Konumsal verilere ait yapısal karakteristiğin analizi ve alansal korelasyon derecesini tanımlamak için kullanılmakta olup krigleme yönteminin de temelini oluşturmaktadır.

Bölgesel değişkenlere ait değerler yalnızca ilgili bölgenin örneklenmiş noktalarında belirlidir. Örneklenmeyen noktaları ise tahmin etmek gerekmektedir. Bilinmeyen değerlerin, bilinen noktalara ait değerler yardımıyla hesaplanması yöntemine kestirim denir [3].

Genellikle rastlantısal değişkenlerin tanımlandığı noktalar arası uzaklık ile bu noktalardaki değerler arasında bir ilişki vardır. Genel olarak uzaklık azaldıkça, değerlerin birbirine benzemesi; uzaklık arttıkça da benzerliğin azalması beklenmektedir. Özetle bölgesel değişkenlerin değerleri arasındaki fark, bu değerler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur [3].

6.1.1. Varyogram Fonksiyonu

Varyogram fonksiyonu $2\gamma(h)$ simgesi ile ifade edilir. Rastlantısal değişkenin değerleri

arasındaki farkın varyansı olarak Eşitlik 6.1 kullanılarak hesaplanmaktadır [4].

$$2\gamma(h) = \text{Var} [Z(x) - Z(x+h)] \quad \text{Eş. 6.1}$$

$2\gamma(h)$: varyogram fonksiyonu

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

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

Varyogram bölgesel değişkenler hakkında bilgi verir. Bir cevherleşmede incelenen bölgesel değişkenlerin izotropluğu, homojenliği, düzenliliği ve etki mesafesi gibi bilgiler varyogram fonksiyonu ile sayısal olarak belirlenebilir [43,44]. Örneğin iki boyutlu veriler üzerinde K-G (0°), KB-GD (45°), D-B (90°) ve KD-GB (135°) olmak üzere 4 ana yönde hesaplama yapılır. Varyogram yönleri göre değişim göstermiyorsa bölgesel değişken izotropdur denir. Bölgesel değişkenlerin düzenliliği ve sürekliliği varyogramın genel davranışına bağlıdır [39].

Varyogramın fonksiyonunun temel özellikleri şu şekildedir:

- Uzaklığın sıfır olduğu ($h=0$) durumlarda varyogram da sıfıra eşittir [45].
 $\gamma(0) = 0$
- Varyogram fonksiyonu, iki rastlantısal değişkenin arasındaki farkın varyansı olduğundan negatif değer alamaz. Eğer ifade negatif hesaplanıyorsa seçilen varyogram fonksiyonunun uygun olmadığı anlamına gelmektedir [45].
 $\gamma(h) \geq 0$
- Varyogram fonksiyonu simetrik özellik göstermektedir [45].
 $\gamma(h) \geq \gamma(-h)$

6.1.2. Varyogram Modelleri

Sahada ölçülmüş olan veya hesaplanan deneysel varyogramlara ait varyogram değerleri, noktalar arasındaki belirli uzaklıklar için hesaplanmaktadır. Bu sebeple bunların dışındaki uzaklık noktalarında varyogram değerleri bilinmemektedir. Ancak bölgesel değişkenlerin özelliklerinin belirlenmesi ve örneklenmemiş noktalara ait değerlerin kestirimi için varyogram değerlerinin bütün uzaklıklarda bilinmesi gerekmektedir [45]. Bu durum deneysel varyogram değerlerine belirli bir fonksiyon

uyarlayarak varyogram modellenmesini gerektirmektedir.

Varyogram fonksiyonu bölümünde belirtildiği üzere varyogramın her zaman pozitif değer alıyor olması, uyarlanacak fonksiyonun da pozitif tanımlı bir fonksiyon olmasını gerektirmektedir.

Günümüzde kullanılmakta olan varyogram modelleri (Çizelge 6.1) eşik değerinin (sill) bulunup bulunmamasına göre iki gruba ayrılmaktadır [4].

Çizelge 6.1: Varyogram Modelleri [43]

Varyogram Modeli		Parametreler	Durum	Grup
1	Gauss Modeli	$\gamma(h) = C_0 + C [1 - \exp (-h^2 / a^2)]$	-	Eşik Değerli
2	Üssel Model	$\gamma(h) = C_0 + C [1 - \exp (-h / a)]$	-	Eşik Değerli
3	Küresel Model	$\gamma(h) = C_0 + C [(3h / 2a) - (h^3 / 2a^3)]$	$0 \leq h \leq a$	Eşik Değerli
		$\gamma(h) = C_0 + C$	$h \geq a$	
4	Doğrusal Model	$\gamma(h) = C_0 + C.h$	-	Eşik Değersiz
5	Logaritmik Model	$\gamma(h) = C_0 + C \log(h)$	$h > 0$	Eşik Değersiz

C_0 : Külçe etkisi (nugget effect) olarak adlandırılır. Teorik eğrinin $h=0$ noktasında düşey eksenini kestiği noktadır.

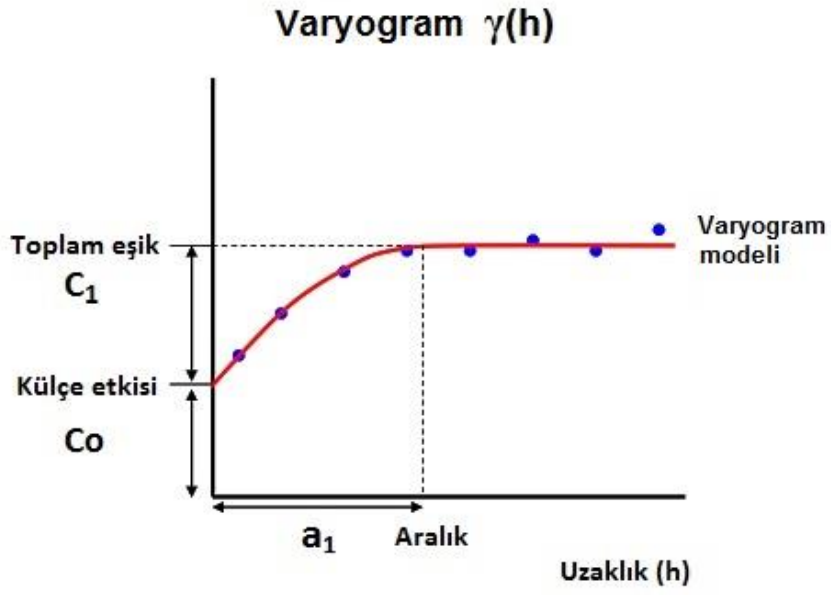
C : Varyogramın yapısal bileşenleri için düşey ölçek değeridir.

a : Yapısal uzaklık (range) olarak adlandırılır ve varyogramın uzaklığıdır. Bu uzaklık değerinden sonra verilerin birbirleri ile korelasyonu kalmamaktadır. Varyogram veya kovaryans değerleri, bu uzaklıktan sonra sabit kalmaktadır.

h : Örnek noktaları arası uzunluktur.

$C+C_0$: Eşik değer (sill) olarak adlandırılır. Varyogram fonksiyonunun toplam düşey ölçek değeridir. Örnek varyansına yaklaşık olarak eşittir ve kestirim değerini etkilememesine rağmen krigleme varyansında değişikliğe sebep olmaktadır [46].

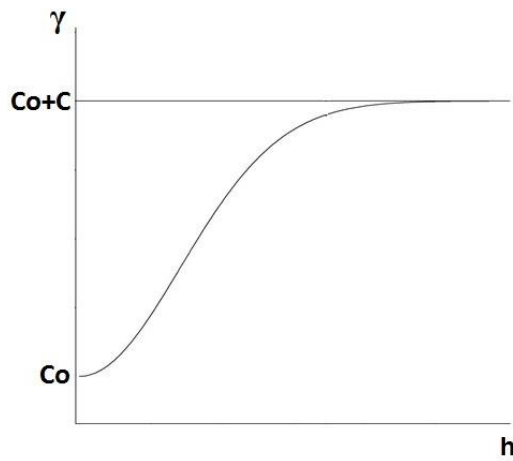
İdeal varyogram modeli Şekil 6.1' de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Varyogram modeli

6.1.2.1. Gauss Modeli

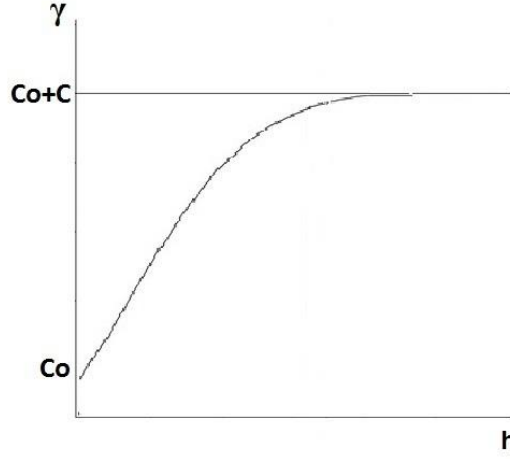
Gauss modeli orijinde parabolik davranış gösteren tek varyogram modelidir. Külçe etkisinin (C_0) olmadığı durumlarda değişkenlik göstermektedir [47].



Şekil 6.2. Gauss modeli

6.1.2.2. Üssel Model

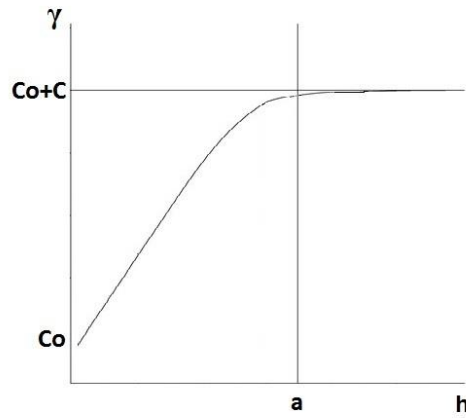
Bu modelde mesafe değerin artışına göre varyogram fonksiyonunun değeri daha yavaş artmaktadır. Küresel modele göre a değeri daha büyük bir değer almaktadır [47].



Şekil 6.3. Üssel model

6.1.2.3. Küresel Model

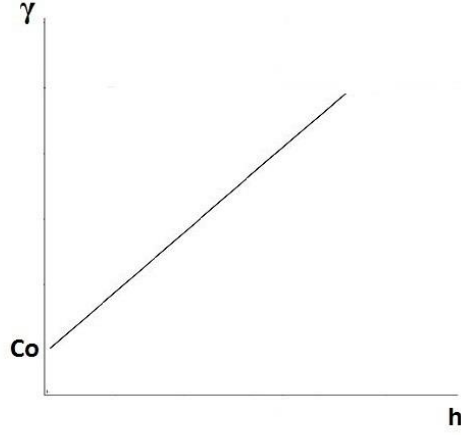
Küresel model en yaygın kullanılan varyogram modelidir. Bir saha, tenörüne göre nitelendirilirken en doğru sonuç veren varyogram modelidir. Küresel varyogram, artan h değerleri ile artarken, yapısal uzaklığa (a) ulaştığında artışını durdurur. Bu noktada varyogram değeri $(Co+C)$ 'ye eşittir [47].



Şekil 6.4. Küresel model

6.1.2.4. Doğrusal Model

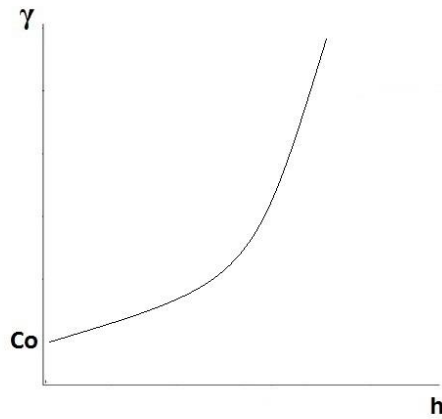
Doğrusal model varyogramın en basit modelidir. Uzaklık artıkça, belirli bir mesafeye denk gelen varyogram fonksiyonunun değeri de doğrusal olarak artar [47].



Şekil 6.5. Doğrusal model

6.1.2.5. Logaritmik Model

Logaritmik modelde uzaklık artıkça, belirli bir mesafeye denk gelen varyogram fonksiyonunun değeri logaritmik olarak artmaktadır [47].



Şekil 6.6. Logaritmik model

6.2. Verilerin Modellenmesi ve Modellerin Geçerliliği

Verilerin modellenmesi için SGeMS (The Stanford Geoistical Modeling Software) yazılımı kullanılmıştır. Varyogram, adım uzaklığı (lag) olarak adlandırılan birim uzaklık ve bunun katları için hesaplanmaktadır. Modelleme verilerinde örnekler belirli bir düzene sahip olmak üzere gridlerin üzerine denk düşüyorsa, grid aralığı adım uzaklığıdır. Örnekler gelişigüzel bir dağılıma sahipse, örnekler arası ortalama uzaklık adım uzaklığı olarak alınmaktadır. Ortalama uzaklık değeri, seçili örneklerin bulunduğu toplam alanın, örnek sayısına bölümünün karekökü alınarak hesaplanmaktadır. 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.

Çalışma sahasında düşey eksenindeki adım uzaklığı 2000 metre, uzaklık toleransı ise 1000 metre; yatay eksenindeki adım uzaklığı 2000 metre, uzaklık toleransı ise 1000 metredir. Bu çalışmada açılma toleransı 22.5° olarak alınmış olup, ortalama varyogram kullanılmıştır.

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 yalnızca eşik değeri (C) değişiyorsa zonal anizotropi vardır denir.

Hesaplanan varyogramlar neticesinde çalışma sahasındaki tenör değerlerinin, uzaklığa bağlı ilişkisi yöne göre değişkenlik göstermediğinden izotrop olduğu belirlenmiştir. Deneysel varyogramlar Eşitlik 6.2 ile hesaplanmıştır.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad \text{Eş. 6.2}$$

N(h): h uzaklığına denk gelen örnek çifti sayısı

Formül ile hesaplanan her bir h uzaklığı için deneysel varyogram değerlerinin grafikleri çizilmiştir. Hesaplanan varyogramlar için küresel modelleme kullanılmıştır. Cu, Pb ve Zn elementleri için oluşturulacak küresel modelde Co, C ve a değerleri Çizelge 6.2’ de sunulmuştur.

Çizelge 6.2: Cu, Pb ve Zn elementleri için küresel model verileri

Cu

Co	200	$\gamma(h) = 200 + 410 [(3h / 2(27000)) - (h^3 / 2(27000)^3)]$	$0 \leq h \leq 27000$
C	410	$\gamma(h) = 610$	$h > 27000$
a	27000	$\gamma(h) = 0$	$h = 27000$

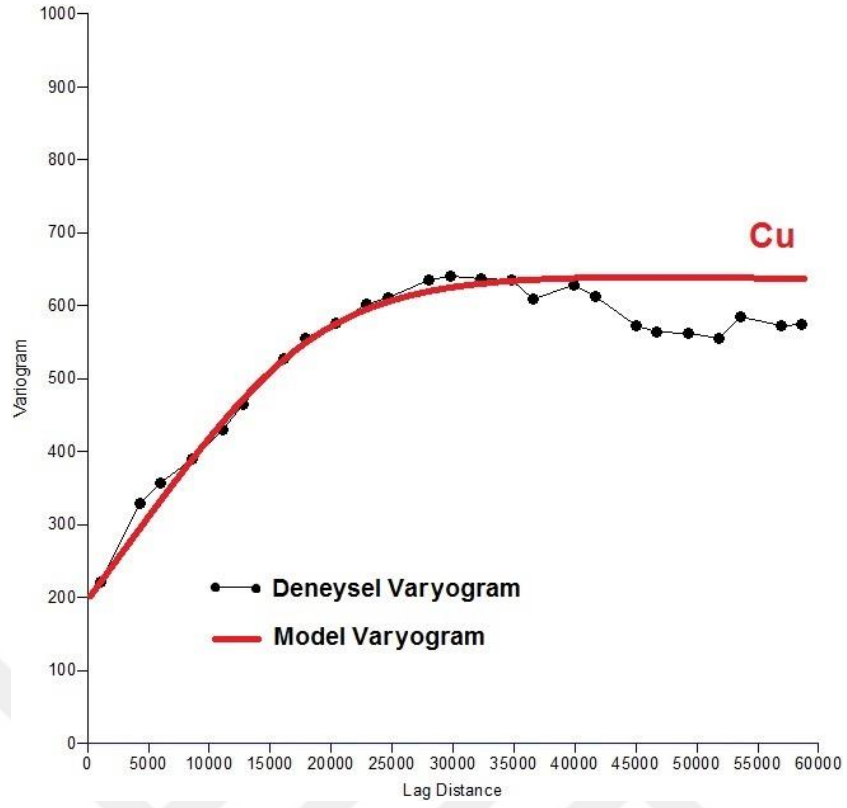
Pb

Co	160	$\gamma(h) = 160 + 180 [(3h / 2(12000)) - (h^3 / 2(12000)^3)]$	$0 \leq h \leq 12000$
C	180	$\gamma(h) = 340$	$h > 12000$
a	12000	$\gamma(h) = 0$	$h = 12000$

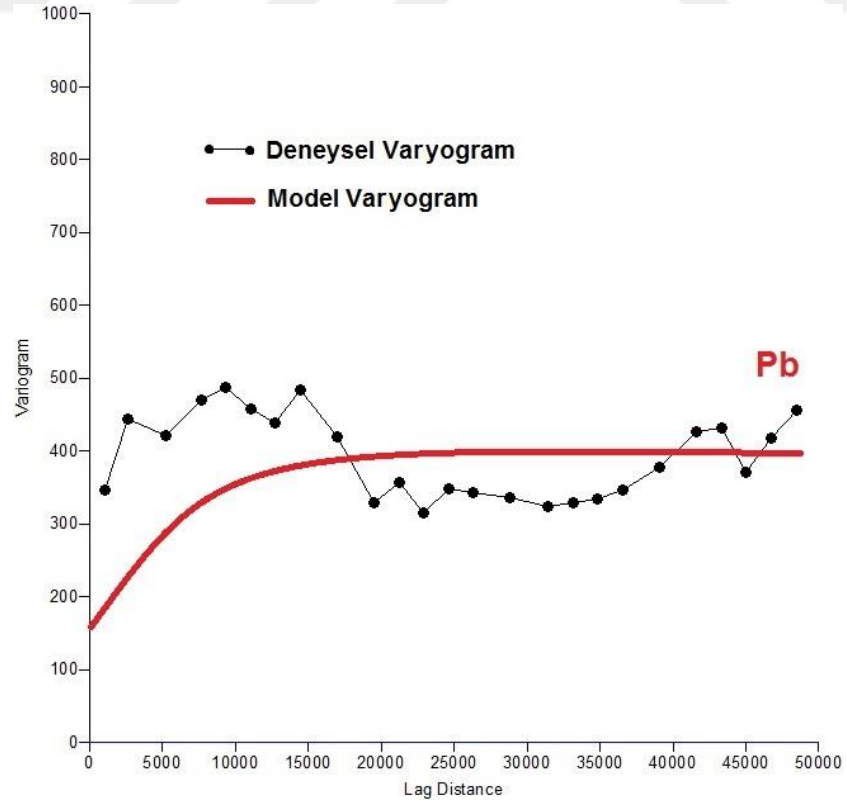
Zn

Co	320	$\gamma(h) = 320 + 400 [(3h / 2(10000)) - (h^3 / 2(10000)^3)]$	$0 \leq h \leq 10000$
C	400	$\gamma(h) = 720$	$h > 10000$
a	10000	$\gamma(h) = 0$	$h = 10000$

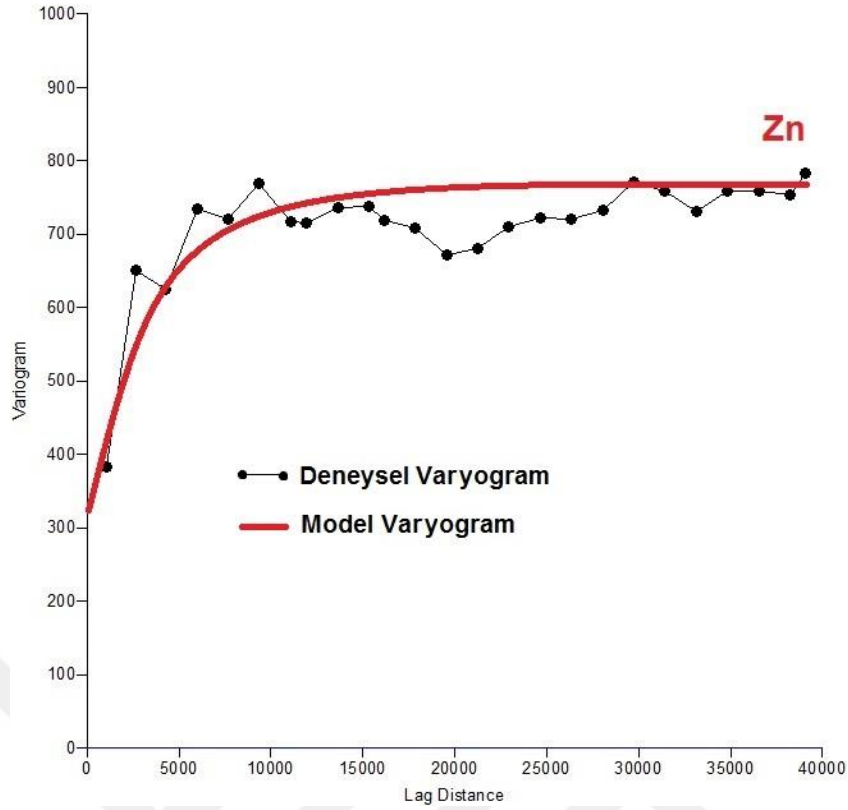
Bu çalışmada Cu, Pb ve Zn elementleri detaylı bir şekilde araştırılarak 0°, 45°, 90° ve 135° için belirlenen Co, C ve a parametreleri ile tenör dağılım varyogramları hesaplanarak Şekil 6.7, 6.8 ve 6.9’ da gösterilmiştir. Diğer elementlerin korelasyon derecelerinin düşük olması veya eşik değerin üzerinde olan numune sayısının, uygun bir varyogram elde etmek için yeterli olmaması nedeniyle değerlendirmeye dahil edilmemiştir.



Şekil 6.7. Bölgedeki Cu cevherleşmesine ait deneyel ve model varyogramı



Şekil 6.8. Bölgedeki Pb cevherleşmesine ait deneyel ve model varyogramı



Şekil 6.9. Bölgedeki Zn cevherleşmesine ait deneysel ve model varyogramı

Pb'ye ait deneysel varyogram, model varyogramla iyi derecede örtüşmemektedir. Araziden elde edilen verilerin, yüzeyden alınan toprak, bozunmuş kayaç vb. farklı tiplerde numunelerden elde ediliyor olması, eşik değerin üzerindeki Pb verisi miktarının yetersizliği deneysel varyogramda bu tip bozulmalara neden olmaktadır. Bazı metal olarak genellikle Cu, Pb ve Zn elementlerinin birlikte değerlendiriliyor olması nedeniyle Pb, bu varyogram ve krigeleme hesaplarına dahil edilmiştir.

6.3. Krigleme

Bir örneğe ait tahmini değerin, bu örneğin çevresinde bulunan ve değeri bilinen örneklerden yararlanılarak kestirilmesini amaçlayan yöntemlerden biri de krigleme'dir. Bu yöntemle, değeri bilinen örneklerin değerlerinin doğrusal kombinasyonu ile bilinmeyen değerler hesaplanmaktadır. Hata varyansını hesaplayan Eşitlik 6.3 koşulunun kullanılmasıyla enterpolasyon için en doğru denklem sisteminin oluşturulmasını sağlayan doğrusal denklem sistemidir [4]. Bu hesaplama esnasında krigleme varyansı ile belirsizlik değerleri, kestirim hataları ve her blok üzerindeki güvenilirlik derecesi de elde edilmektedir [39].

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad \text{Eş. 6.3}$$

$z^*(x_0)$: X_0 noktasında bilinmeyen, kestirilen değer

$z(x_i)$: X_0 noktasının kestiriminde kullanılacak veriler

λ_i : Verilere atanacak ağırlık katsayısı

Kestirim hesabında kullanılacak değişkenlerin değerleri belli olmakla birlikte bu değerlere atanacak ağırlıklar belli değildir ve hesaplanması gerekmektedir. Bu ağırlıklar, verilerin sistemli bir şekilde analiz edilmesiyle belirlenmektedir. Analiz neticesinde kestirim hatalarının ortalaması 0 ve varyansın en küçük olduğu durumda varyogram fonksiyonu ve kullanılacak ağırlıklar elde edilir. Krigleme varyansının verilere ait gerçek değerler ile bir ilişkisi bulunmamaktadır; veri adedi ve veriler arasındaki mesafenin bir fonksiyonudur [3, 4, 43].

Krigleme varyansının bu özelliği sayesinde, bu yöntem sondaj yapılmadan önce uygun sondaj noktalarının tespit edilmesi amacıyla kullanılabilir [43].

Krigleme metoduyla yapılan kestirim sonucunda ortaya çıkan kestirim hata varyansına krigleme varyansı denir. Krigleme varyansı Eşitlik 6.4 ile hesaplanmaktadır [4].

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_0 - x_i) + \mu \quad \text{Eş. 6.4}$$

σ_k^2 : Krigleme varyansı

λ : Yansızlık koşulu

γ : $X(0)$ ve $X(i)$ noktaları arasındaki uzaklığa bağlı varyogram

μ : Lagrange sabiti

Krigleme yöntemlerinin en yaygın olarak kullanılanları blok krigleme, nokta krigleme ve evrensel krigleme yöntemleridir.

6.3.1. Blok Krigleme

Blok krigleme yöntemi belirli bir alanda blokların ortalama değerlerinin kestirimidir. Kestirim yapılan her bir değer ilgili bloka tanımlanır. Bu değerlerin kestiriminde kullanılan veriler ise blok boyutuna göre değişmekte ve daha küçük olan veriler noktasal örnekler üzerinde tanımlanmaktadır [3]. Blok ile nokta arasındaki kovaryans hesaplanırken, blokun birçok noktadan oluştuğu düşünülmektedir. Bu noktalar ile dışarıdaki bir noktanın arasında bulunan kovaryansların ortalaması alınır. Her bir noktaya ait kovaryans, o noktaya olan uzaklığın fonksiyonu olarak varyogram hesabı ile bulunmaktadır [39].

Blok kriglemenin varyansı Eşitlik 6.5 ile hesaplanmaktadır:

$$\text{Eğer ortalama biliniyorsa;} \quad \sigma_K^2 = \sigma_B^2 - \sum K_i \times \sigma_{B,i}^2 \quad \text{Eş. 6.5}$$

$$\text{Eğer ortalama bilinmiyorsa;} \quad \sigma_K^2 = \sigma_B^2 - \sum K_i \times \sigma_{B,i}^2 + \mu$$

K_i : Değişkenin K-matrisindeki karşılığı

σ_B^2 : F-grafiklerinden hesaplanan blok varyansdır (Ek 1 ve 2).

$$\sigma_B^2 = C_1(1-F(h/a;1/a))$$

μ : Lagrange sabiti

6.3.2. Nokta Krigleme

Nokta krigleme yöntemi bölgesel değişkenin tüm noktalarda homojen olarak değiştiği durumlarda kullanılmaktadır. Bu yöntemde matris şeklinde belirtilen doğrusal eşitlik sistemlerinden faydalanılmaktadır [39, 52].

6.3.3. Evrensel Krigleme

Evrensel krigleme yöntemi bölgesel değişkenin her noktada homojen değişim göstermediği; belirli bir yönetime sahip olan veya ortalama değerin sistematik olarak değiştiği durumlarda kullanılmaktadır. Yönelim değeri ortalama değer veya bölgesel değişkenin beklenen değeridir. Bu yönelim değerleri ve gerçek değerler arasındaki farka ise artık değer adı verilmektedir. Evrensel krigleme yönteminde yönelim değeri ve artık değerleri, verilerin konumsal bağıllığı kullanılarak elde edilmektedir.

6.4. Krigleme Yönteminin Cu, Pb ve Zn Cevherleşmeleri İçin Kullanılması

Bu çalışma kapsamında Bursa-Bilecik-Eskişehir arasındaki bölgeden toplanan numunelerde Cu, Pb ve Zn' ye ait jeokimyasal anomali verileri üzerinde küresel model uygulanmış (Bölüm 6.2), ardından blok krigleme yöntemi ile kestirim hesapları gerçekleştirilmiştir. Diğer elementlerin korelasyon derecelerinin düşük olması; korelasyonu yüksek olan Mo'nun ise eşik değerin üzerinde kalan örnek sayısının model varyogramla örtüşen bir varyogram grafiği oluşturacak kadar yeterli olmaması nedeniyle krigleme hesaplarına dahil edilmemiştir.

Genellikle kestirimleri gerçekleştirilen verilerin litolojik birimlere göre ayrılarak ayrı ayrı değerlendirilmesi daha faydalı sonuçlar vermektedir. Ancak bu şekilde bir ayırım yapıldığında her bir elementin değerlendirilmesinde eşik değer üzerinde kalan numune sayısı sağlıklı bir varyogram ve krigleme hesabı için yeterli olmamaktadır. Bu sebeple her elemente ait eşik üzerindeki tüm veriler birlikte değerlendirilmiştir.

Blok boyutları cevherleşme bölgesinin iki boyutlu sınırları dikkate alınarak, her üç element için, X yönünde 2500 metre ve Y yönünde 500 metre olarak alınmıştır. Bunun neticesinde X yönünde 206 adet blok, Y yönünde ise 86 adet blok elde edilmiştir. Blok boyutları belirlenirken yapısal uzaklıktan büyük olması gerekmektedir. Bu çalışmada sahanın X ve Y yönlerindeki uzanımı dikkate alınarak, blok boyutları bu orana yakın bir şekilde seçilmiştir. Kestirilen bloklara ait ortalama blok sayısı, tenör ve varyans değerleri Çizelge 6.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 6.3: Blok krigleme ile elde edilen sonuçlar

Cevherleşme	Cu	Pb	Zn
Kestirilen Blok Sayısı	17.716	17.716	17.716
Kestirilen Blokların Ortalama Tenörü	33.96	27.71	58.63
Kestirilen Blok Değerlerinin (Tenörün) Standart Sapması	13.10	6.40	15.86

İdeal bir örtüşme için kestirim hatalarının ortalamasının 0; varyansın ise en küçük olması gerekmektedir.

$$E [Z (x) - Z^* (x)] = 0 \quad \text{Eş. 6.6}$$

$$E [Z (x) - Z^* (x)]^* = \text{minimum}$$

Gerçek veriler ile kestirilen değerler arasındaki korelasyon 1' e yakın olmalıdır.

$$r Z (x), Z^* (x) \approx 1$$

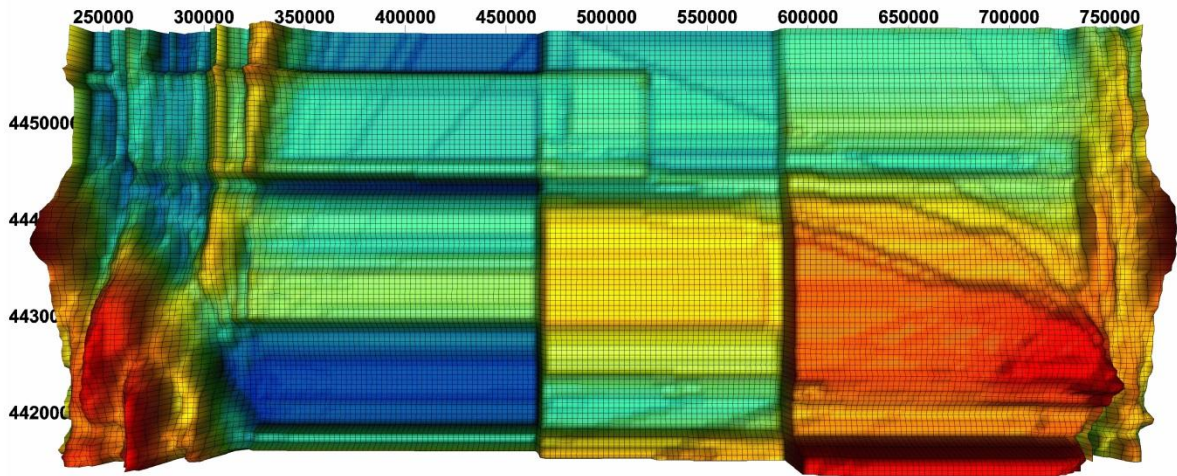
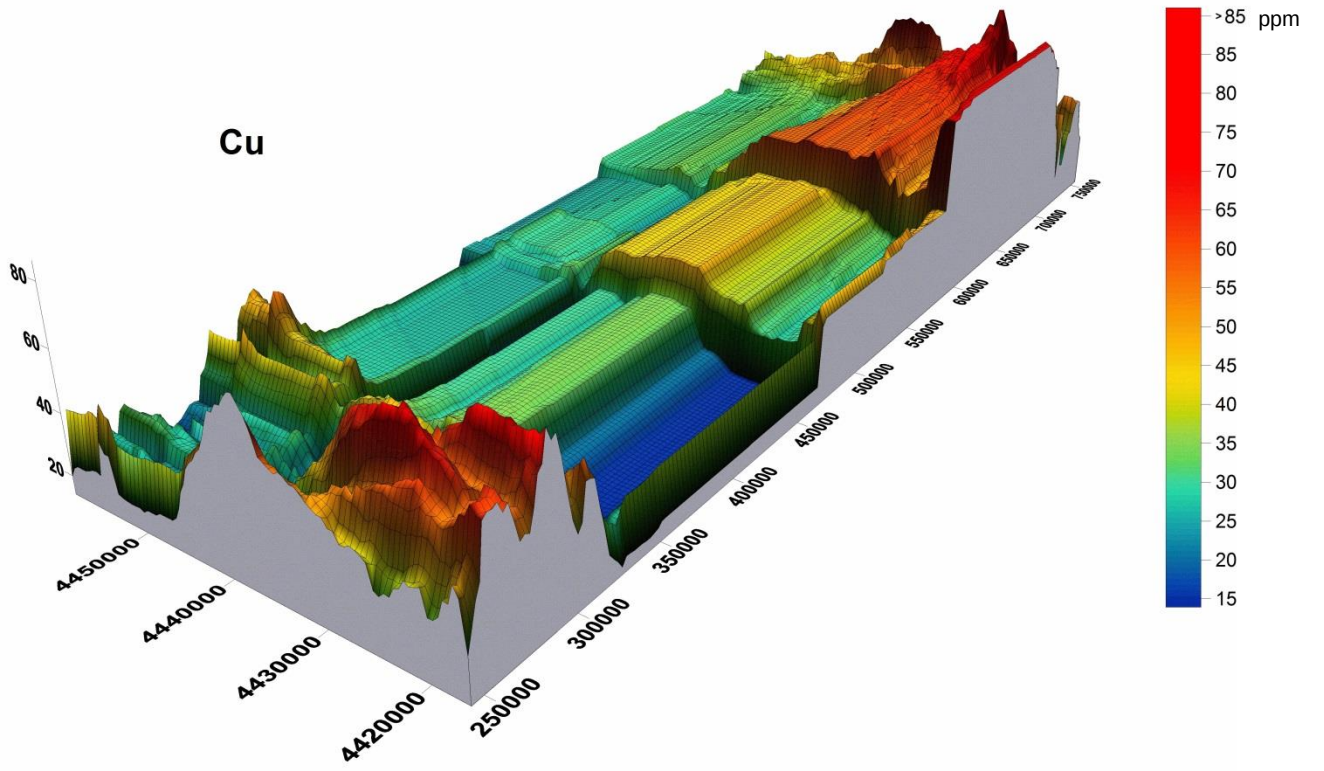
Elde edilen modellerin Cu, Pb ve Zn cevherleşmelerine uygunluğunun belirlenmesi amacıyla modellerin doğrulanması çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda varyogram modellerine çapraz doğrulama tekniği uygulanmıştır [3]. Bu teknikte varyogram fonksiyonuna ilişkin model ve model parametreleri seçildikten sonra, bütün veriler sırası ile tek tek veri setinden çıkarılır ve bu değer seçilen varyogram modeli ve kalan veriler kullanılarak tekrar hesaplanmaktadır. Bu şekilde hesaplanan/kestirilen değerler ile gerçek değerler arasındaki fark (kestirim hatası) bulunarak aşağıda belirtilen özellikler doğrultusunda incelenmiştir. Cevherleşme bölgesinden elde edilen modellere uygulanan çapraz doğrulama tekniği sonuçları Çizelge 6.4'te sunulmuştur.

Çizelge 6.4: Cu, Pb ve Zn için elde edilen modellere uygulanan çapraz doğrulama tekniği sonuçları

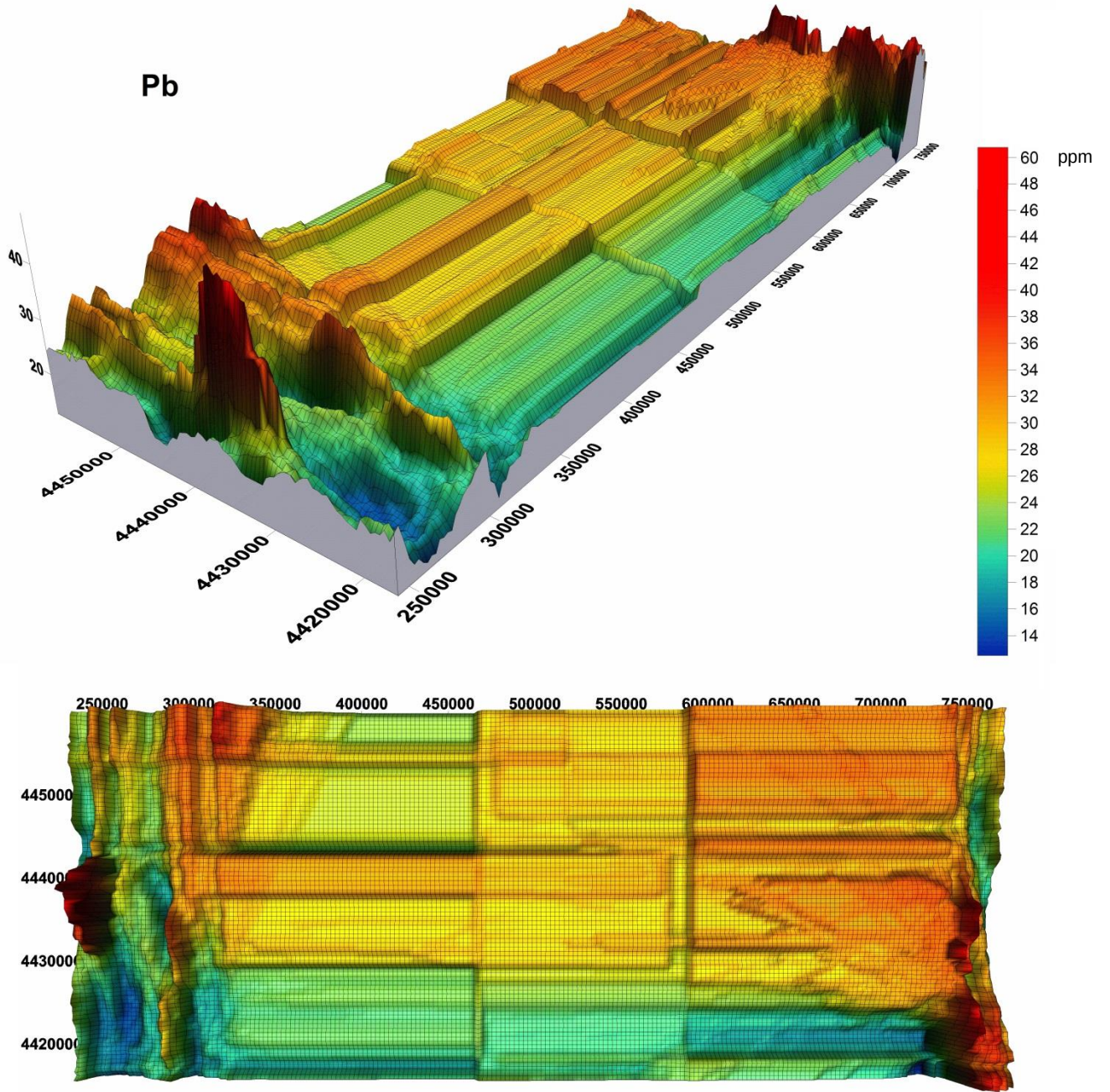
Cevherleşme	Cu	Pb	Zn
Kestirim Hatalarının Ortalaması	0.092	0.153	0.096
Kestirim Hatalarının Varyansı	0.89	1.32	0.99
Korelasyon (r)	0.61	0.42	0.55

Blok krigleme modelleme ve kestirimlerinde Golden Software Surfer 8 yazılımı kullanılmıştır. Her kestirim için en az 4 ve en fazla 16 arasında örnek alınmış ve tüm noktaların krigleme ağırlık katsayıları hesaplanmıştır. Kestirim işlemi neticesinde elde edilen grafikler Şekil 6.10, 6.11, 6.12’ de gösterilmiştir.

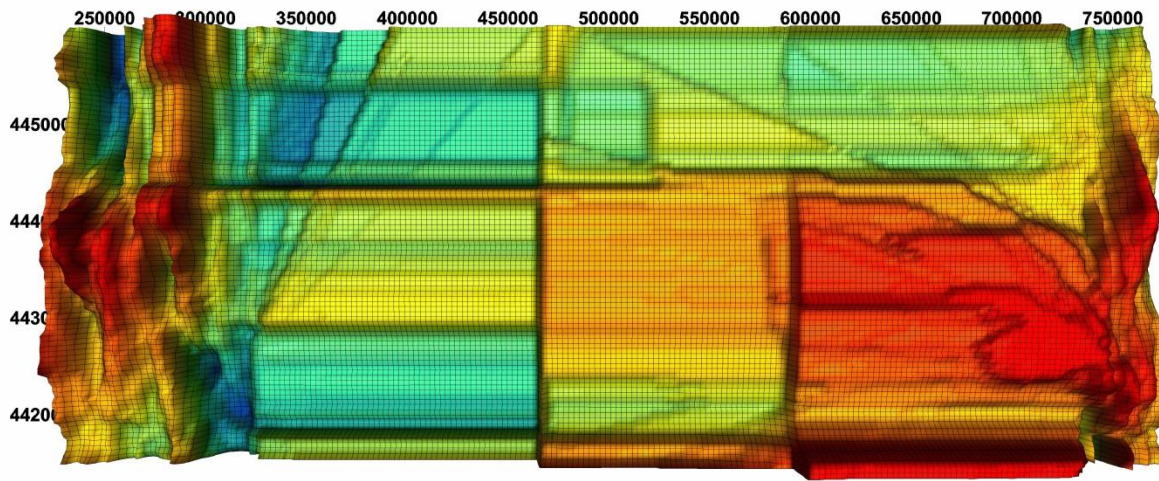
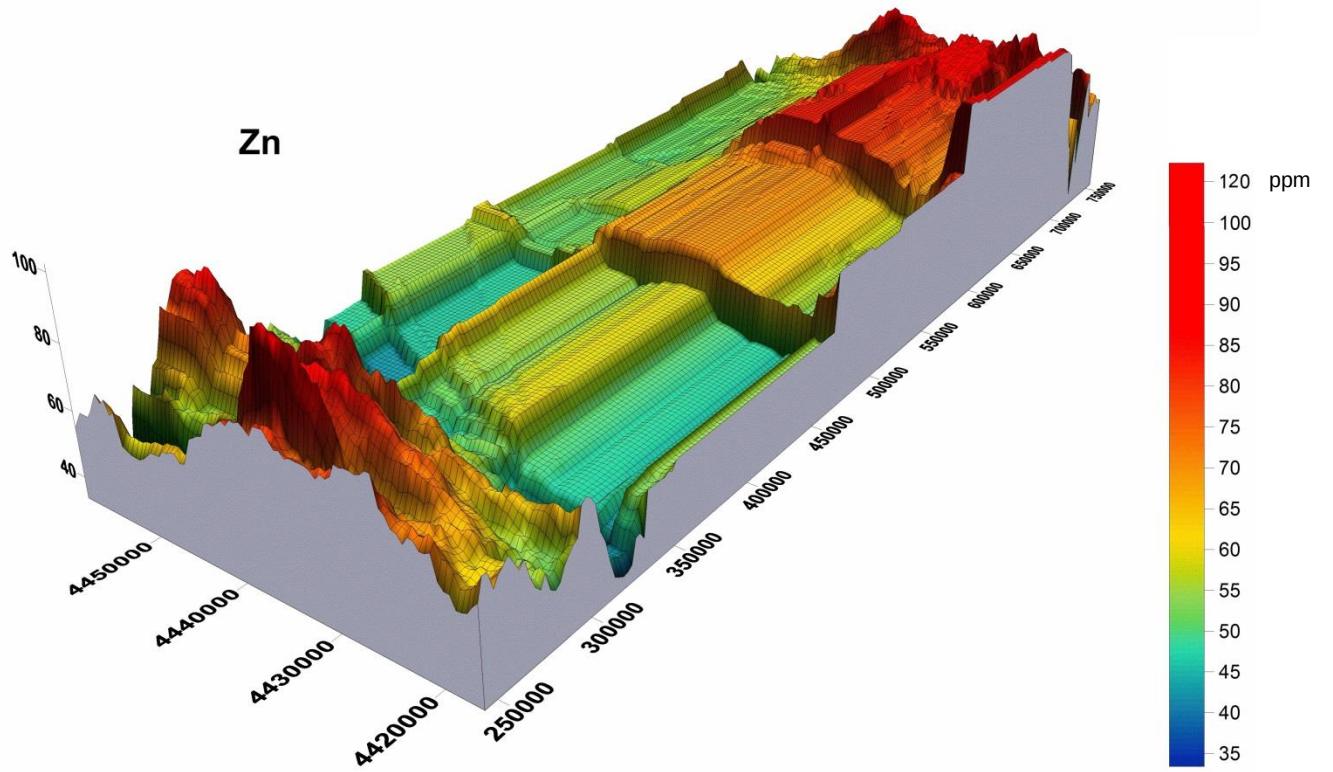
Oluşturulan kestirim haritalarına göre, her üç element için de anomaliler bölgenin batısı, doğusu ve güneydoğusunda yoğunlaşmıştır. Bölgenin kuzeyi, güneyi ve merkezinde daha düşük değerler elde edilmiştir. MTA’nın çalışma sahasında bulunan kuzeydeki H23-c-1 ve H24-d-2 paftaları, çevrelerinde kestirimde kullanılmak üzere veri bulunmadığından, krigleme hesaplarından çıkartılmıştır.



Şekil 6.10: Cu blok krigleme



Şekil 6.11: Pb blok krigleme



Şekil 6.12: Zn blok krigleme

7. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında, Bilecik-Bursa-Eskişehir arasındaki 1/25.000 ölçekli H23-c1, c3, c4, d3, H24-c3, c4, d2, d3, d4, H25-c4, d3, d4, İ23-a2, b1, b2, İ24-a1, a2, b1, b2, İ25-a1, a2, b1, b2 topoğrafik harita paftalarını içeren bölge seçilmiştir. Bölgede MTA tarafından yaklaşık 3500 km²lik alandan 2896 adet dere sedimanı örneği, 22 adet kayaç ve 178 adet bate örneği alınmıştır. Bu örnekler üzerinde yapılan jeokimyasal analizler ile Cu, Pb, Zn, As, Ag, Sb, Mo elementlerinin derişimleri tespit edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları neticesinde, baz metal olarak genellikle Cu, Pb ve Zn elementlerinin birlikte değerlendiriliyor olması nedeniyle, Pb'ye ait veriler de hesaplara dahil edilerek Cu, Zn ve Pb elementlerinin jeostatistiksel değerlendirme için uygun olduğu belirlenmiştir.

Veriler üzerinde gerçekleştirilen korelasyon analizinde Cu, Zn ve Pb elementleri arasında pozitif korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Veriler 2 boyutlu varyogramlar ile hesaplanmış olup, deneysel varyogramlarda küresel model uygulanmıştır. Buna göre Cu için Co: 200, C: 410, a: 27000; Zn için Co: 320, C: 400, a: 12000; Pb için Co: 160, C: 180, a: m sınırları içinde kalan bütün veriler (en az 8, en fazla 64 veri olacak şekilde) kestirim işleminde kullanılmıştır. Kestirim sonuçları Şekil 6.10-11-12'de sunulmaktadır.

İnceleme alanındaki değerlerde anizotropinin belirlenmesi için varyogramlar 0°, 45°, 90° ve 135° aralıklarla hesaplanmış ve ortalama varyogram kullanılmıştır. Buna göre her üç elementin de dağılımlarının izotrop olduğu, bir başka deyişle her elementin kendi veri kümesi içinde korelasyon bulunduğu belirlenmiştir.

Çalışma sahasının büyüklüğü nedeniyle kestirim metodu olarak blok krigleme kullanılarak, kestirim işlemi gerçekleştirilmiştir. Blok boyutları her üç element için de, X koordinat sisteminde 2500 metre ve Y koordinat sisteminde 500 metre olarak alınmıştır. Bunun neticesinde X yönünde 206 adet blok, Y yönünde ise 86 adet blok olmak üzere toplamda 17716 adet blok kestirim sonucunda elde edilmiştir. Kestirilen blokların ortalama tenörleri Cu için 33,96 ppm, Pb için 27,71 ppm ve Zn için 58,63 ppm olarak hesaplanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, çalışma sahasının oldukça büyük olması ve ortalama her kilometrekarede bir numune alınması sebebiyle, numune sayısının istatistiksel açıdan sahayı temsil edecek nitelikte olmaması sebebiyle bir kaynak hesabı

yapılmamıştır. Ancak gerçekleştirilen kestirimler ile oluşturulan blok krigleme haritalarının, arazide gerçekleştirilecek olan olası detay çalışmalarında faydalı olacağı öngörülmektedir.

MTA Genel Müdürlüğü'nün Bilecik-Eskişehir Polimetal Maden Aramaları Projesi [1] kapsamında “geometrik yöntemler” kullanılarak Cu için 70, Pb için 50 ve Zn için 100 ppm eşik değer saptanmıştır [1]. Bu tez çalışmasında MTA Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu çalışmaya [1] ek olarak uzaklığa bağlı ilişki değerleri (varyogram parametreleri) hesaplanarak, her bir bloğun Cu-Pb-Zn değerleri kestirilmiştir. Cu için 27000 m, Pb ve Zn için 12000 m sınırları içinde kalan bütün veriler (en az 8, en fazla 64 veri olacak şekilde) kestirim işleminde kullanılmıştır. Kestirim sonuçları Şekil 6.10-11-12'de sunulmaktadır. sınırları içinde kalan bütün veriler kestirim işleminde kullanılmıştır.

Oluşturulan kestirim haritalarına göre, her üç element için de anomaliler bölgenin batısı, doğusu ve güneydoğusunda yoğunlaşmıştır. Bölgenin kuzeyi, güneyi ve merkezinde daha düşük değerler elde edilmiştir. MTA'nın çalışma sahasında bulunan kuzeydeki H23-c-1 ve H24-d-2 paftaları, çevrelerinde kestirimde kullanılmak üzere veri bulunmadığından, krigleme hesaplarından çıkartılmıştır.

Kestirim sonuçları önceki çalışmalarla mukayese edildiğinde, kestirim haritalarında bölgenin batısında yoğunlaşan anomalilerin Boğazova-Domaniç, Uludağ ve Topuk granodiyoritlerinde tespit edilen Cu, Pb, W, Zn, Mo mineralizasyonları ile ilişkili olduğu görülmektedir. Bölgenin güneybatısındaki anomaliler ise Eskişehir'in Mayıslar Köyü ve dolayındaki polimetalik (Au, Cu, Pb, Zn, Cr) cevherleşmeler ile korelasyon içerisinde olduğu görülmektedir.

Cu, Pb ve Zn elementleri birlikte ele alındığında H23-c-4, İ25-b-1 ve İ25-b-2 paftalarında ortak olarak yüksek değerler göstermektedir. Belirtilen bu 3 adet 1/25000 ölçekli paftada detaylı etütlerin (örnek sayısı fazla olacak şekilde dere kumu ve toprak örnekleme, buradan elde edilecek sonuçlara göre hedef sahanın küçültülerek kayaç örnekleme) yapılması yararlı olacaktır.

8. KAYNAKLAR

- [1]. Yıldız ve Yıldırım, Bilecik-Eskişehir Polimetal Maden Aramaları Projesi, Bursa-Bilecik-Eskişehir Arasının Genel Jeokimya ve Ağır Mineral Prospeksiyon Raporu, Proje No: 1988-11K, Rapor No: 11597, **2013**.
- [2]. Matheron, Principles of Geostatistics. *Economic Geology*, Vol.58, p 1246-1266, **1963**.
- [3]. Tercan, ve Saraç, *Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, No: 48, ISBN 975-395-279-1, 137 s, **1998**.
- [4]. Journel and Huijbregts, *Mining Geostatistics*, Academic Press, 600 p, **1978**.
- [5]. Royle, How to Use Geostatistics For Ore Reserve Classification, *World Mining*, 52-56, **1977**.
- [6]. Kaaden, Bursa Uludağ Volfram Madeninin Jönez Ve Mineralizasyonu Hakkında, Maden ve Tetkik Arama Dergisi, 50, 33-43, **1959**.
- [7]. Kaaden, Bilecik Vilayetinin Söğüt Kazası Dudaş Köyü Güneyindeki Volfram Antimuan Zuhuru, MTA Rapor No: 2560, **1957**.
- [8]. Sezer, Bilecik Vilayetinin Söğüt Kazası Orhan Tuğrul'a Ait Altın Ruhsat Sahaları Hakkında, MTA Rapor No: 4087, **1969**.
- [9]. Aydoğanlı, Antimuan Envanteri, MTA Rapor No: 3947, **1968**.
- [10]. Sezer, Antimuan Envanteri, MTA Rapor No: 5527, **1975**.
- [11]. İleri ve Köksoy, Türkiye Antimon Yatakları Oluşum İlkeleri, Hacettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Dergisi, 3/1-2, **1977**.
- [12]. Yıldız, Altın, Yeryuvarı ve İnsan, Ağustos Sayısı, **1977**.
- [13]. Pehlivan, Uludağ (Bursa)-Orhaneli-Keles-İnegöl Yörelerinde Granit Kenar Zonlarındaki (W, Mo, Pb, Zn, Cu) Mineralizasyonları Ön Raporu, MTA Genel Müdürlüğü Maden Etüt ve Arama Dairesi Arşiv No:1621, **1979**.
- [14]. Taşkın ve Arısoy, Bursa-İnegöl-Sülüklüköy Yöresi, Antimuan Cevherleşmesine Ait Rapor, MTA Rapor No:6934, **1980**.
- [15]. Kara ve Pehlivan, Bursa-Keles-Gelemiş Mo-Cu-Pb Cevherleşmesi Jeoloji Raporu, (KAVAP VI), MTA Rapor No: 7651, **1983**.

- [16]. Taşkın, Bursa-İnegöl Yöresi Çatalçamtepe Cu-Pb Cevherleşmesi ve Aşağıgürgenyayla Cu Cevherleşmesine Ait Jeokimya-Jeoloji Raporu (KAVAP V), MTA Rapor No: 7666, **1983 a**.
- [17]. Arısoy, Bilecik-Söğüt Bölgesi Jeokimya Raporu (KAVAP-II), MTA Rapor No: 7679, **1985**.
- [18]. Pehlivan ve Alpan, Bursa-İnegöl-Sülüklüköy AR.24434 No'lu MTA Altın Ruhsat Sahası Ön Etüd Raporu, MTA Maden Etüt Arama Dairesi Arşiv No:1985, **1985**.
- [19]. Genç vd., İnegöl (Bursa) – Pazaryeri (Bilecik) Arasının Jeolojisi, MTA Rapor No: 7912, **1986**.
- [20]. Durgun, Sülüklüköy Mineral District of İnegöl/Bursa; "A Preliminary Study", MTA Balıkesir Bölgesi Arşivi, **1989**.
- [21]. Yıldırım ve Çelebi, Domaniç (Kütahya) – İnegöl (Bursa) AR.44858 No'lu MTA Ruhsat Sahası Porfiri Bakır Yatağı Ön Etüt Raporu, MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 9327, **1991**.
- [22]. Taşkın, Kütahya-Domaniç-Topukdere-Sarıçayırıyayla Yöresi Cu-Mo Cevherleşmesi Jeoloji Raporu, MTA Rapor No: 9373, **1992**.
- [23]. Yıldırım vd, Söğüt (Bilecik) Güneyi Altın-Antimuan-Wolfram Cevherleşmeleri Ön Etüd Raporu, MTA Rapor No: 9740, **1995**.
- [24]. Yıldırım ve Konya, Sülüklüköy (İnegöl-Bursa) Altın-Antimuan Sahasının Jeoloji ve Jeokimya Raporu, MTA Rapor No: 10081, **1997**.
- [25]. Cengiz ve Genç, Domaniç (Kütahya) Bakır-Molibden Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Alterasyon Özellikleri, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 27 (2), **2003**.
- [26]. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Bilecik İli Maden ve Enerji Kaynakları, MTA, **2010**.
- [27]. Parlak ve Sayılı, Mayıslar Sahası (Sarıcakaya-Eskişehir) Polimetal Cevherleşmeleri Alterasyon Zonları İçindeki Kuvars ve Kalsitlerde Sıvı Kapanım Verileri, Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 55, Sayı 2, **2012**.
- [28]. Duyar, Muratdere (Bozüyük-Bilecik)' deki Cu-Mo ve Au Cevher Oluşumlarının Maden Jeolojisi, **2018**.
- [29]. Okay, Kuzeybatı Anadoludaki Yer Alan Metamorfik Kuşaklar, Ketin Sempozyumu, *TJK Yayınları*, **1984**.
- [30]. Bingöl, Türkiye Jeoloji Haritası, MTA Genel Müdürlüğü, **1989**.

- [31]. Üşümezsoy, Kuzeybatı Anadolu Yığılma Orojeni; Paleotetis'in Batı Kenet Kusağı. *TJK Bülteni*, **1987**.
- [32]. Okay vd., Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik Evrimi. *TPJD Bülteni*, s. 63-121, **1990**.
- [33]. Şentürk ve Karaköse, Orta Sakarya Bölgesinde Liyas Öncesi Ofiyolitlerin ve Mavişistlerin Oluşumu ve Yerleşmesi, *TJK Bülteni*, 24/1, **1981**.
- [34]. Genç, Uludağ-İznik Gölü Arasının Jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 7853, **1986**.
- [35]. Taşkın, Bursa-İnegöl Yöresi Boğazova ve Domaniç Granodiyorit Masifleriyle İlgili W, Mo, Pb, Zn, Cu Cevherleşmelerine Ait Jeoloji Raporu (KAVAP III), MTA Rapor No: 7675, **1983 b**.
- [36]. Altınlı, Orta Sakarya Jeolojisi, Cumhuriyet'in 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, *MTA Yayınları*, **1973 a**.
- [37]. Şentürk ve Karaköse, Orta Sakarya Dolayının Temel Jeolojisi, MTA Rapor No: 6642, **1979**.
- [38]. Küçükayman, Bozüyük-Tavşanlı-Kütahya Arasının Jeolojisi, MTA Rapor No: 8356, **1987**.
- [39]. Tüysüz ve Yaylalı, *Jeostatistik: Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar*, 2. Baskı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 382 s, **2012**.
- [40]. Tüysüz ve Abanuz, Çayeli Bakır Yatağı Çevresindeki Toprak ve Bitkilerde Mevsimsel Değişimlerin İstatistiksel Olarak Belirlenmesi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36-2, **2012**.
- [41]. Borg ve Groenen, *Modern and Multidimensional Scaling Theory and Applications*, Springer Series In Statistics, ISBN 978-0-387-28981, **2005**.
- [42]. Till, *Statistical Methods For The Earth Scientist*, Macmillan, 147 p, **1995**.
- [43]. Saraç and Tercan, Grade and Reserve Estimation of Tulovasi Borate Deposit by Block Kriging. *International Geology Review*, USA, No: 9, pp 832-837, **1996**.
- [44]. Saraç ve Tercan, A Geostatistical Case Study of the Kızılyüksek-Yataardıç Chromium Orebody, *Geosound-Yerbilimleri*, No:20, pp. 212-229, **1992**.
- [45]. Isaacs and Srivastava, *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University press, 561p, **1989**.

- [46]. İnal ve Yiğit, Jeodezik Uygulamalarda Kriging Enterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 24-26 Eylül 2003, Konya, s.177-185, **2003**.
- [47]. Clark and Harper, *Practical Geostatistics*, Ecosse North America LLC, Columbus, Ohio, USA, 129 p, **2000**.
- [48]. Lark, Block Correlation and The Spatial Resolution of Soil Property Maps Made by Kriging, *ScienceDirect*, **2015**.
- [49]. Okay, Tavşanlı Zonu: Anatolid-Torid Bloku'nun Dalma-Batmaya Uğramış Kuzey Ucu, İstanbul, **2004**.
- [50]. Kuşcu, Kuşcu, Saraç, and Meinert, An Approach to Geochemical Characterization of Productive Versus Non-productive Granitoids In Terms of Iron in Central Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 24, No:3, pp 311-324, **2004**.
- [51]. Saraç, Geology and Ore Reserve Estimation at Sivrihisar Sepiolite Mine, Eskişehir, Turkey. *Transactions of the Institution of Mining & Metallurgy*, Section A-Mining Industry, England, Vol. 107, pp A6-A12, **1998**.
- [52]. Brus vd., Geostatistical Disaggregation of Polygon Maps of Average Crop Yields by Area-to-Point Kriging, *ScienceDirect*, **2018**.
- [53]. Oliver ve Webster, A Tutorial Guide to Geostatistics: Computing and Modeling Variograms and Kriging, *ScienceDirect*, **2012**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Çağatay Alp ARSLAN

Doğum Yeri : ESKİŞEHİR

Medeni Hali : Bekar

E-Posta : cagatayalparslan@gmail.com

Adresi : Yenibağlar Mh. Uludağ Sk. 9/4 Tepebaşı / ESKİŞEHİR

Eğitim

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2007-2012)

Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2012-2018)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce / İyi

İş Deneyimi

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ar-Ge Uzmanı, 2016-Devam ediyor.

Geodestek Zemar, Jeoloji Mühendisi, 2015-2016

Sebat Harita, Jeoloji Mühendisi, 2013-2014

İksa Mühendislik, Jeoloji Mühendisi, 2012-2013

Deneyim Alanları

Çimento, beton, çimento hammaddesi, agrega, öğütme, jeostatistik, jeoteknik, kaya mekaniği, zemin mekaniği.

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

Tezden Üretilmiş Yayınlar

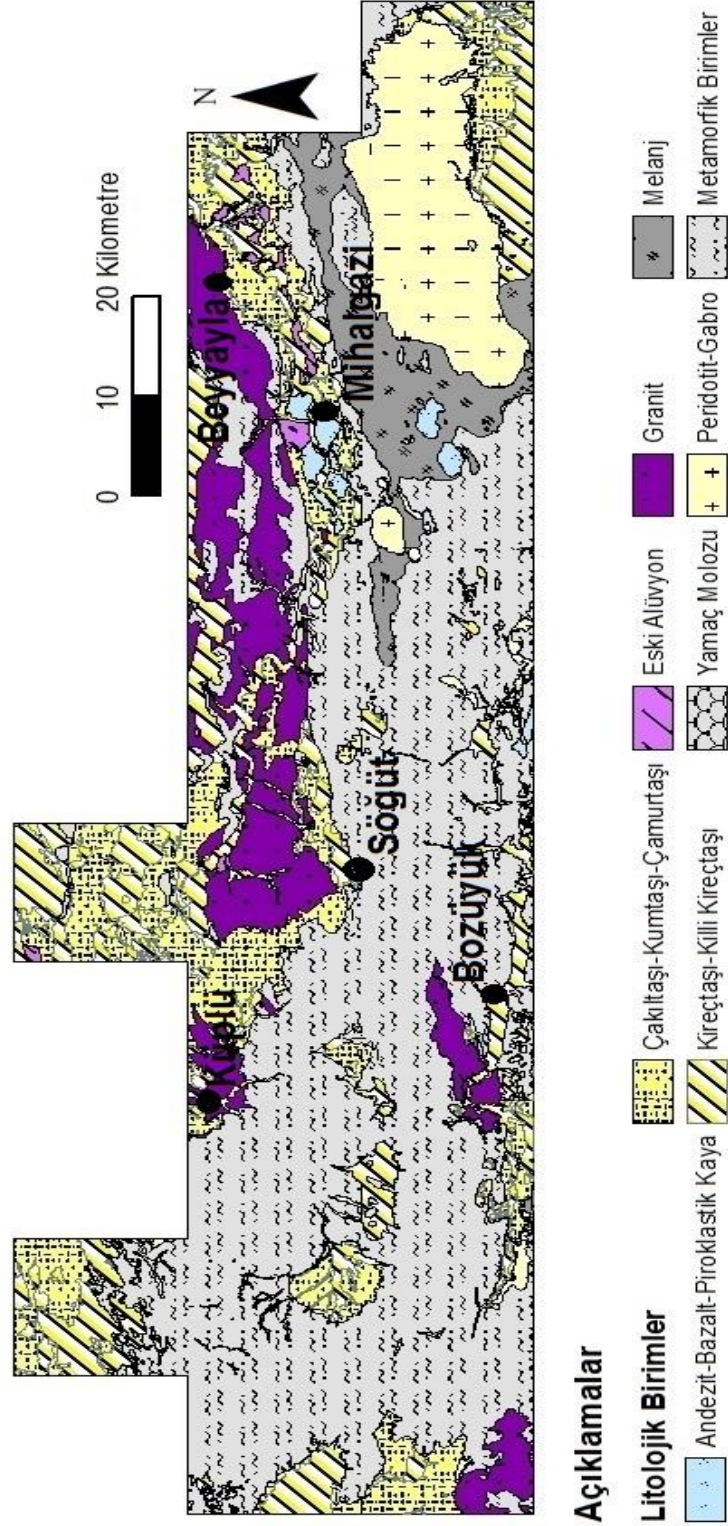
Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar



EKLER

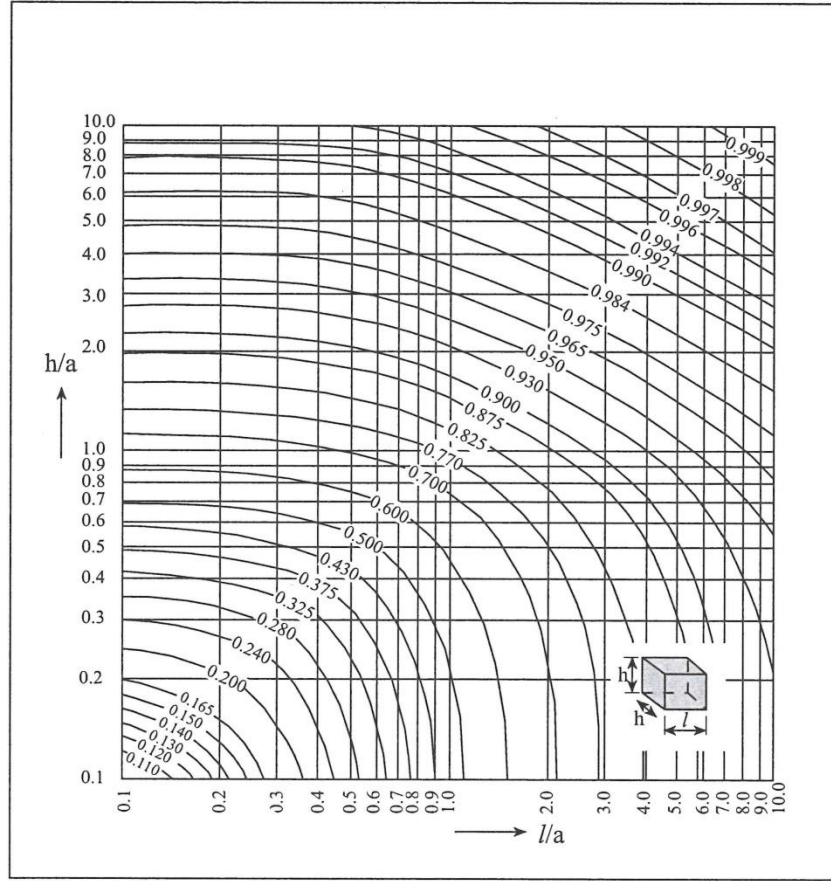
EK-1

ÇALIŞMA SAHASININ JEOLojİK HARİTASI



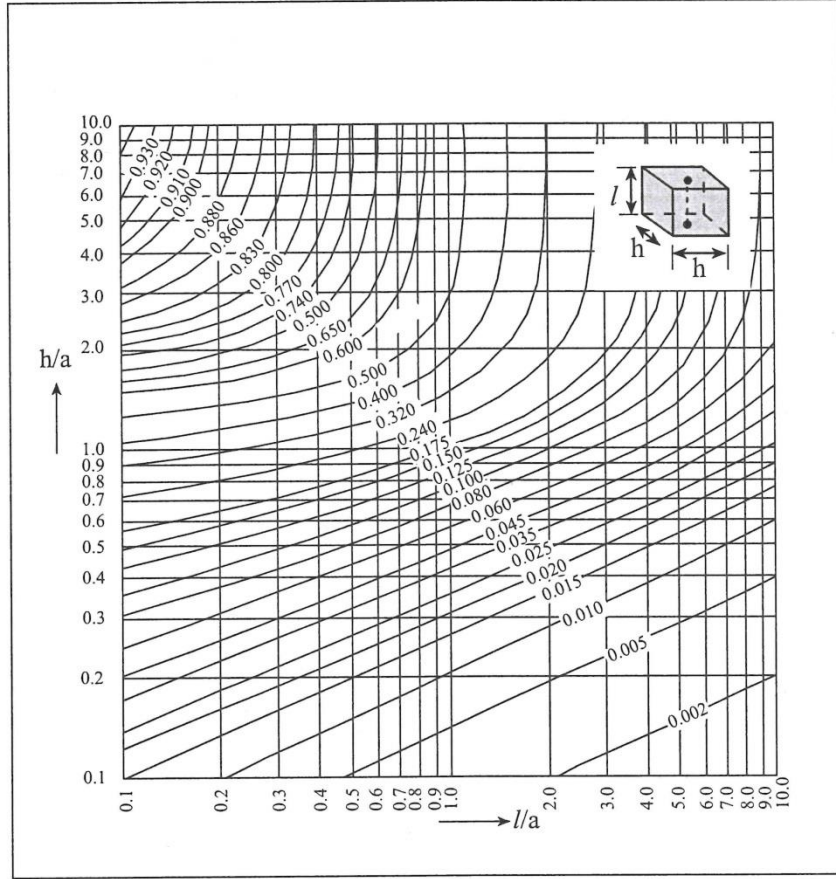
EK-2

KÜRESEL VARIÖGRAM DURUMUNDA BLOKLARA AİT TEMSİL VARYANSI



EK-3

KÜRESEL VARIÖGRAM DURUMUNDA BLOK MERKEZİNDEN SONDAJ İLE ÖRNEK ALINMASINA AİT TEMSİL VARYANSI





HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~ TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 26/06/2018

Tez Başlığı / Konusu: BURSA-BİLECİK-ESKİŞEHİR ARASINDAKİ BÖLGEDEKİ JEOKİMYASAL ANOMALİLERİN
JEOSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 48 sayfalık kısmına ilişkin, 26/06/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3'dür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza
26.06.2018

Adı Soyadı: Çağatay Alp Arslan
Öğrenci No: N12128309
Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği
Programı:
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

(Prof. Dr. Murat Ercanoğlu)