

KÜTAHYA-CEBRAİL ANTİMON OCAĞININ KAYNAK KESTİRİMİ

RESOURCE ESTIMATION OF KÜTAHYA-CEBRAİL ANTIMONY MINE

MERT GENÇAY ÖZDOĞAN

DR. ÖĞRETİM ÜYESİ FIRAT ATALAY

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Biricik Eşime

ÖZET

KÜTAHYA-CEBRAİL ANTİMON OCAĞININ MADEN KAYNAK KESTİRİMİ

Mert Gencay ÖZDOĞAN

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Fırat ATALAY

Haziran 2021, 87 sayfa

Tez çalışmasını amacı, Kütahya ili Gediz ilçesi CebraİL köyü sınırında bulunan antimon sahasına ait Maden Kaynak kestiriminin yapılmasıdır. Bu amaçla sahada yapılan jeolojik etüd verileri, sondajlar, yüzey numuneleri ve sondaj karot analizleri kullanılarak veri tabanı oluşturulmuştur. Jeolojik veriler yorumlanarak katı model çizilmiştir. Daha sonra variogram analizi yapılarak Maden Kaynak kestirimi için gerekli parametreler bulunmuştur. Blok modeli takiben ortalamasız kriging yöntemi kullanılarak kestirimi blok merkezine değer atanmasıyla Maden kaynak Kestirimi yapılmıştır. Bir sonraki aşamada tenör-tonaj eğrisi çizilmiş ve Maden Kaynağı bakımından potansiyel alanlar elde edilmiştir. Bu tez sonucunda CebraİL sahasındaki potansiyel alanlar tahmin edilmeye çalışılmıştır. Maden kaynağını, Maden Rezerv'ine dönüştürmek için daha fazla sondaj ve analiz yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeostatistik, Maden Kaynak Kestirimi, Ortalamasız Krigleme

ABSTRACT

RESOURCE ESTIMATION OF KÜTAHYA-CEBRAİL ANTIMONY MINE

Mert Gencay ÖZDOĞAN

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Dr. Firat ATALAY

June 2021, 87 pages

The aim of this thesis study is to estimate Mineral Resource of the antimony field located on the border of the CebraİL settlement in Gediz, Kütahya. In order to make the estimations, a database was created by using geological survey data, drillings, surface samples and drilling core analyzes made in the field. A solid model was drawn by interpreting the geological data in the field. Then, the necessary parameters for Mineral Resource estimation were found by performing variogram analysis. Following the block modelling, Mineral Resource estimation is made by assigning attributes in block centroids by ordinary kriging. In the next step, grade tonnage curves are plotted and the resource potential areas are obtained.

As a result of this thesis, resource estimation processes were made in the CebraİL area and the potential of the area was tried to be estimated. More drilling and analysis should be done to convert the found Mineral Resource into a Mineral Reserve.

Keywords: Geostatistics, Ordinary Kriging, Mineral Resource Estimation

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmalarım sırasında sabrı ve bilgisiyle bana her konuda destek veren, madencilik ile ilgili ufkumu geniŐleten, kılavuzluk eden ve çalıŐmama hevesle yaklaŐmamı sağlayan değerli Tez DanıŐmanım Dr. Öğr. Üyesi Fırat Atalay'a;

Olumlu görüşleri, fikirleri ve eleŐtirileri ile tezimin son halini almasına katkıda bulunan jüri üyeleri Prof. Dr. Abdullah Erhan Tercan, Prof. Bahtiyar Ünver, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Erkayaoğlu, Dr. Öğr. Üyesi GüneŐ Ertunç'a;

Tez çalıŐmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen arkadaŐlarım Naciye Kara'ya, Burak Günay'a, BarıŐ Koç'a ve SavaŐ AlkuŐ'a;

Jeoloji alıŐmaları sırasında katkılarından dolayı Gökhan Kadıncız, Memet Pekgöz ve Bedirhan Erdener'e;

Yardım ve destekleri ile her zaman yanımda olan öncelikle eŐim iğdem Kara Özdoğan'a, kıymetli annem Gülseren Özdoğan'a, eğitimime her zaman destek veren kıymetli babam Cemal Özdoğan'a, kardeŐim Merve Özdoğan'a

TeŐekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1.GİRİŞ	1
2.ANTİMON TANIMI.....	3
2.1.Antimon Minerali	3
2.2.Antimon Kullanım Alanları	5
2.3.Antimon Fiyatı	6
2.4.Ülkelere Göre Maden Kaynak Bilgileri	6
2.5.Antimon Kaynaklarının Jeolojik Oluşumları	10
2.6.Türkiye Antimon Tüketimi	12
3.ÖNCEL ÇALIŞMALAR.....	13
4.JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEM	14
4.1.Bölgesel Değişkenler.....	14
4.1.1.Jeoistatistiğin Temel Varsayımları	15
4.2.Uzaklığa Bağlı İlişki Fonksiyonu (Variogram).....	16
4.2.1.Variogram Fonksiyonun Özellikleri.....	17
4.2.2.Deneysel Variogram.....	17
4.2.3.Variogram Parametreleri	19
4.2.4.Variogram Modelleri.....	21
4.2.5.Yuvalı yapılar	23
4.2.6.Anizotropi.....	23
4.2.7.Yönelim Analizi	24

4.3.Krigleme (Kriging)	25
4.3.1.Kriging Yöntemi ile Kestirimin Özellikleri.....	27
4.3.2.Çapraz Doğrulama	29
5.CEBRAİL SAHASI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	30
5.1.Çalışma Alanının Coğrafik Konumu	30
5.2.Bölgesel Jeoloji.....	33
5.3.Stratigrafi	34
5.3.1.Paleozoyik.....	35
5.3.2.Mesozoyik.....	35
5.3.3.Tersiyer	36
5.3.4.Kuvaterner	37
5.4.Ruhsat Sahası Jeolojisi.....	39
5.4.1.Şistler	39
5.4.2.Mermerler	39
5.4.3.Karşaka Tepe Çökelleri	39
5.4.4.Mermer Çakılı Yığılımları.....	39
5.4.5.Kolüvyonlar	39
5.4.6.Alüvyonlar	40
5.5.Yapısal Jeoloji.....	40
5.6.Maden Jeolojisi	42
5.7.Cevherleşmenin Yerleşim Şekli.....	44
5.7.1.Alterasyonlar.....	44
5.7.2.Cevherleşmenin Mineral Parajenezi	45
5.7.3.Gang Mineralleri.....	45
5.7.4.Cevherleşme.....	45
6.CEBRAİL SAHASININ MADEN KAYNAK KESTİRİMİ.....	48
6.1.Sondaj Verilerinin Özellikleri ve Konumları.....	48
6.2.Tanımlayıcı İstatistiksel Bilgiler.....	50
6.3.Aykırı Değer Tespiti	53
6.4.Veri Tabanı Oluşturma	53
6.4.1.Kompozitleme.....	54
6.5.Jeolojik Yorum ve Modelleme	56

6.6.Variogram Analizi.....	59
6.7.Blok Modelleme ve Tenör kestirimi	62
6.7.1.Blok Modelin Doğrulanması.....	66
6.8.Ekonomik Üretimin Değerlendirilmesi-Kaynak Model.....	67
6.9.Yönelim Analizi	67
6.10.Tenör -Tonaj Eğrisi	68
7.SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	70
8.KAYNAKLAR.....	72
EKLER	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Avrupa Birliği'nin ithal ettiği antimon miktarı	5
Şekil 2. Rotterdam 'daki aylık ortalama 1 metrik ton metal antimon fiyatı [11]	6
Şekil 3. Dünya Genelinde Raporlanan Antimon Kaynak Miktarı (Ton) [12]	7
Şekil 4. 2013-2020 Yılları Arasında Dünya Geneli Antimon Üretimi (Ton) [12,13,14] .	8
Şekil 5. Plütonun çevresinde çeşitli sıcaklık derecelerinde zonlanması [16]	10
Şekil 6. Türkiye Antimon Yatakları için genelleştirilmiş bir kesit [17]	11
Şekil 7. İki nokta arasındaki adım uzaklığı.....	14
Şekil 8. Kömür damarı kalınlık verileri	18
Şekil 9. Örnek Variogram Parametreleri	20
Şekil 10. Örnek çifti seçim konisi [37]	20
Şekil 11. Küresel Model Örnek Model Variogram Grafiği	21
Şekil 12. Örnek Üssel Model Variogram Grafiği	22
Şekil 13. Örnek Gauss Modeli Variogram Grafiği	23
Şekil 14. Geometrik Anizotropi örneği.....	24
Şekil 15. Zonal Anizotropi Örneği	24
Şekil 16. Yönelim örneği	25
Şekil 17. Tenör değerlerinin jeolojik devamlılık ile karşılaştırılması [28,39].....	26
Şekil 18. Krigleme örneği verileri	27
Şekil 19. Çalışma alanı yer bulduru haritası [42]	30
Şekil 20. Kütahya İli'ndeki Antimon Yatakları [43]	31
Şekil 21. Sicil 34412 numaralı ruhsata ait Google Earth görüntüsü.....	32
Şekil 22. Ruhsat Alanı ve Çevresinin Yükselti Haritası [44]	32
Şekil 23. Batı Anadolu'nun ana yapısal öğelerini gösteren jeoloji haritası [45,46]	33
Şekil 24. Simav grabeni boyunca görülen faylar ve alan üzerindeki sınıf ayrımı olmaksızın maden ocakları [55].....	34
Şekil 25. Genel jeolojik stratigrafik istifi gösteren stratigrafik kesit [56,57,58]	38
Şekil 26. Ruhsat sahasındaki faylar [55]	40
Şekil 27. Cebrail yöresi KB-GD yönlü ana tektonik hatlar [44]	41
Şekil 28. Cebrail yöresi KB-GD yönlü ana tektonik hatların Google görüntüsü	41
Şekil 29. Cebrail yöresi antimon cevherleşmesi şematik oluşum modeli [44].....	43
Şekil 30. Sıyrıлма faylarının oluşturduğu zonlardaki cevherleşme modeli [44]	43

Şekil 31. GD-KB yönlü sıyrılnma fay zonunu gösterir şematik kesit [44]	44
Şekil 32. Cebrail yöresi jeoloji haritası [44]	45
Şekil 33. Dokanak zonundaki antimon cevherleşmesi	46
Şekil 34. Sahada Üretilen Stibnit Cevheri.....	46
Şekil 35. Sahada üretilen oksitli cevher	47
Şekil 36. Sahada görülen farklı türdeki cevherleşmeler.....	47
Şekil 37. Yapılan sondajların plan görünümü	49
Şekil 38. Sondajların YZ eksenindeki görünümü	49
Şekil 39. Örnek sondaj görüntüsü	50
Şekil 40. Ham verilere ait 0-2000 ppm aralığındaki tenör değerlerinin histogramı	52
Şekil 41. Ham verilere ait tenör değerlerinin histogramı (>2.000 ppm)	52
Şekil 42. Ham verilere ait kalınlık değerlerinin histogramı	53
Şekil 43. Katı model içinde kalan kompozitlere ait tenör değerlerinin histogramı.....	55
Şekil 44. Yüksek tenörlü zona ait tenör değerleri histogramı	55
Şekil 45. Düşük tenörlü zona ait tenör değerleri histogramı	56
Şekil 46. Litoloji ve analiz değerlerini gösterir örnek görüntü	57
Şekil 47. Örnek kesit	57
Şekil 48. Katı modelin plan görünümü	58
Şekil 49. Katı Modele ait YZ eksenı görüntüsü	58
Şekil 50. Yüksek tenörlü zona ait katı modelin YZ ekseninde görüntüsü	59
Şekil 51. Düşey variogram modeli	60
Şekil 52. Yatay variogram modeli.....	61
Şekil 53. Blok Modele ait plan görünüm	62
Şekil 54. XZ ekseninde örnek katı model ve blok kesiti.....	62
Şekil 55. Yüksek tenörlü zona ait YZ eksenindeki görüntü.....	64
Şekil 56. Yüksek tenörlü zona ait görüntü	64
Şekil 57. Blok modelin YZ ekseninde görüntüsü	65
Şekil 58. Y yönündeki yönelim analizi	67
Şekil 59. Z yönündeki yönelim analizi.....	68
Şekil 60. Tenör-Tonaj Eğrisi	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. Antimon Mineralleri	3
Çizelge 2. Antimon Ürün Tanımları	4
Çizelge 3. Avrupa Birliği Kritik Hammaddeler Tablosu [8]	4
Çizelge 4. Dünya Geneli 2019 ve 2020 yılındaki antimon üretimleri [12]	8
Çizelge 5. Dünya Geneli Antimon Kaynaklarına Potansiyel Eklenebilecek Yerler.....	9
Çizelge 6. Türkiye’de antimon üretimi yapan firmalar ve üretim yerleri.....	12
Çizelge 7. Adım aralığına karşılık gelen variogram değerleri.....	19
Çizelge 8. Ham verilerin tenör istatistikleri.....	51
Çizelge 9. Ham verilerin kalınlık istatistikleri.....	51
Çizelge 10. Katı Model içinde kalan kompozit verilerine ait tenör istatistikleri.....	54
Çizelge 11. Düşey variogram parametreleri	59
Çizelge 12. Yatay variogram parametreleri.....	60
Çizelge 13. Çapraz doğrulama sonuçları	61
Çizelge 14. Arama elipsoidlerine ait parametreler	63
Çizelge 15. Kestirim parametreleri	65
Çizelge 16. Blok model istatistikleri.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Sb Antimon

Cu Bakır

Hg Civa

Mo Molibden

$Z(x)$: x noktasına karşılık gelen rassal değişken

$f(h)$: Uzaklığa bağlı ilişkinin fonksiyonu

$E[.]$: Beklenen değer işlemcisi

$\gamma(h)$: h mesafesindeki variogram

$N(h)$: h uzaklığına karşılık gelen örnek çifti sayısı

C_0 : Külçe etkisi

C : Eşik değeri

a : Yapısal uzaklık

σ^2 : Varyans

σ : Standart sapma

e : Üssel değer

λ : Ağırlık

Kısaltmalar

USGS United States Geological Survey

DPT Devlet Planlama Teşkilatı

MÖ Milattan Önce

IDW Mesafenin Ters Yöntemi

1.GİRİŞ

Antimon, çok eski zamanlardan beri kullanılan ve günümüzde arz riski bulunan stratejik bir yarı metaldir [1]. Bir antimon minerali olan stibnitin toz hali, MÖ 2500 yıllarında Antik Mısır'da genel olarak dini ve kozmetik amaçlı ürün olarak kullanılmış; metal antimon ise MÖ 4000'lerde Güney Irak'taki Tello antik kentinde keşfedilen vazo yapımında kullanılmıştır [2,3,4]. Antimon, metalik bir elementtir ve periyodik tablonun nitrojen grubunda yer almaktadır. Çok farklı kristal formlarda bulunabilmektedir. Parlak, gümüş ve mavimsi beyaz renkli, kırılmalı ve tabakalı bir yapıdadır [2,3]. Antimon hem metal hem de metal olmayan özellikleri beraberinde barındırdığı için yarı metal olarak tanımlanmaktadır [2,5]. Metal antimon formunun Mohs sertliği 3-3,5 arasındadır. Antimon elementinin ısı ve elektrik iletkenliği zayıftır. Metal olarak kırılabilmesine rağmen alaşımlara sağlamlık ve korozyon direnci gibi özellikler kazandırır. Doğada en yaygın minerali stibnit (Sb_2S_3) olup yüzü aşkın mineral formu bulunmaktadır [6]. Antimon 2015 yılından beri Avrupa'da kritik hammaddeler listesinde yer almaktadır. Avrupa ekonomisindeki anahtar konumu, yüksek ekonomik önemi, arz riskinin yüksekliği, mevcut ve gelecekteki uygulamalarda eşsiz ve güvenilir özellikleri nedeniyle ikamesinin bulunmayışı ile bu tanımlamaya girmiştir [7].

United States Geological Survey (USGS) tarafından 2021 yılı için hazırlanan rapor dikkate alındığında Dünya toplam antimon kaynağı 1.900.000 ton iken Çin, Rusya ve Bolivya'nın antimon kaynağı bakımından öne çıktığı, Türkiye'nin ise yaklaşık 100.000 ton ile azımsanmayacak miktarda antimon kaynağına sahip olduğu görülmektedir. Türkiye'nin en eski antimon yataklarının Batı Anadolu'da 1800'lü yıllardan Cumhuriyetin ilanına kadar yabancı girişimciler tarafından işletildiği bilinmektedir. İzmir/Ödemiş/Cinli Kaya'da bulunan 'Emirli Ocağı', Kütahya/Gediz/Cebrail'de bulunan 'İngiliz Ocağı' ve Kütahya/Dağardı/Gılmanlar mevkinde yeraltı çalışmaları örnek olarak verilebilir. Yapılan araştırmalara göre işletilen antimon yatakları Van Edremit, Balıkesir İvrindi ve Kapıdağ Yarımadası, Kütahya Simav, Gediz ve Dağardı, İzmir Ödemiş, Tokat Turhal, Hatay Dörtöyöl ve Niğde Bor ilçesinde bulunmaktadır. Antimon Kaynak Kestirimi hesaplanması konusunda ülkemizde halka açık bir çalışma bulunmamaktadır. Halka açık çalışmalar toplumun bilgiye ulaşmasında önemli rol oynamaktadır. Bilgi paylaşımı sadece iyi örnekleri başka sektörlerde uygulamak için değil, büyük hataların tekrarını önlemek veya çözüm yollarının artırılması açısından da önemlidir.

Bu çalışma Suda Maden A.Ş. firmasına ait Kütahya ili Gediz ilçesinde bulunan işletme izinli sahada yapılan 95 adet sondaj ve 3002 adet analiz değeri kullanılarak Antimon Kaynak Kestirimi'ni konu edinmiştir. Sahada yapılan jeolojik etüd verileri, sondajlar, yüzey numuneleri ve sondaj karot analizleri kullanılarak veri tabanı oluşturulmuştur. Daha sonra variogram analizi yapılarak yapısal uzaklık ve Kaynak Kestirimi için gerekli parametreler bulunmuştur. Yapısal uzaklık değeri ve jeolojik veriler yorumlanarak katı model oluşturulmuştur. Jeostatistiksel yöntemlerle katı model bloklara ayrılarak değer ataması yapıldıktan sonra her bir katı model için ayrı arama elipsoidi tanımlanmış ve Kaynak Kestirimi yapılmıştır. Tenör tonaj eğrileri elde edilerek sahanın potansiyeli ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

2.ANTİMON TANIMI

2.1.Antimon Minerali

Doğada yüzü aşkın antimon içeren mineral bulunmasına rağmen, Metal antimon üretiminde hammadde olarak başta stibnit (Sb_2S_3) olmak üzere, senarmontit (Sb_2O_3), valentinit (Sb_2O_3), servantit (Sb_2O_4) ve kermesit ($2 Sb_2S_3 \cdot Sb_2O_3$) mineralleri kullanılmaktadır. Başlıca antimon mineralleri, kimyasal formülleri ile Çizelge 1’de verilmiştir [1].

Çizelge 1. Antimon Mineralleri

Antimonit (Stibnit)	Sb_2S_3	Tetrahedrit	$3Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	Livingstonit	$HgSb_4S_7$
Servantit	Sb_2O_4	Jamesonit	$Pb_2Sb_2S_5$	Metastibnit	Sb_2S_3
Senarmontit	Sb_2O_3	Burnoit	$PbCu SbS_3$	Kermezit	Sb_2S_2O
Valentinit	Sb_2O_3	Gudmundit	$MoSb_5$	Bertiyerit	$FeS \cdot Sb_2S_3$
Ailemontit	$AsSb$	Stibikonit	$Sb_2O_4 \cdot H_2O$		

Antimon gümüş beyazı renkte, kolay kırılabilen, elektrik ve ısı iletkenliği çok zayıf bir elementtir. Antimonun atom ağırlığı 121,8’dir. 630 °C’de kaynar. Özgül ağırlığı 6,7 gr/cm olan antimon metalinin Mohs sertliğine göre 3-3,5 arasındadır. Antimonun yer kabuğundaki miktarı 0,2 ile 0,5 ppm arasında değişmektedir [1].

Antimon ticari ürünlerinin genel olarak beş çeşidi bulunmaktadır. Antimon ürünlerine ait ticari isimler Çizelge 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Antimon Ürün Tanımları

%Sb tenörü	Verilen Ticari İsim
1-8	Tüvenan cevher
50-65	Konsantre
70	Ham antimon
99-99.8	Regülüs
>99.8	Rafine antimon

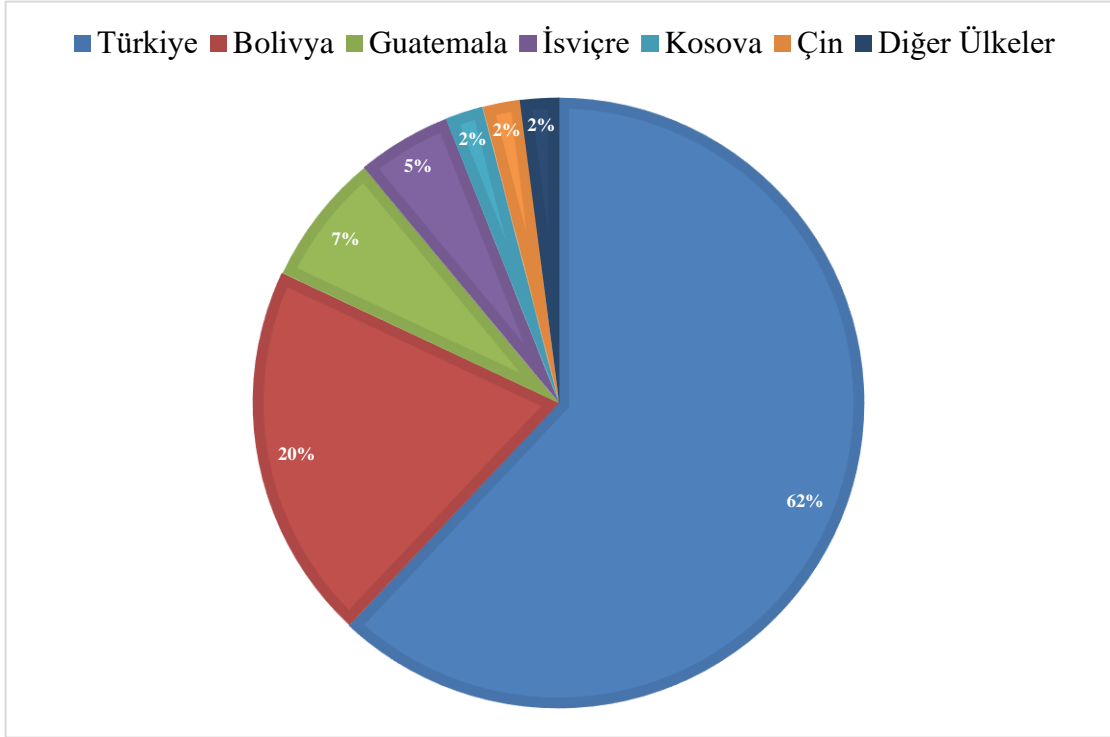
Ticari antimon üretiminde istenmeyen safsızlıklar arsenik, civa, demir ve kurşundur. Arsenik en kritik safsızlıkların başında gelmektedir [1]. Antimon ürünlerinde arsenik miktarının %0,001 değerinden düşük olması istenir.

2020'deki kritik hammaddeler raporunda Avrupa komisyonu antimon mineralini temin riski olan listeye eklemiştir (Çizelge 3). Birincil antimon üretimi Avrupa'da yapılmamaktadır. Ham antimonun tamamı ithal edilmektedir.

Çizelge 3. Avrupa Birliği Kritik Hammaddeler Tablosu [8]

Ağır Nadir Toprak Elementleri	Fosfat Kayaç	Magnezyum
Antimon	Fosfor	Niyobyum
Barit	Galyum	Platin Grubu Metaller
Berilyum	Germanyum	Skandiyum
Bizmut	Hafif Nadir Toprak Elementleri	Strontiyum
Boksit	Hafniyum	Tantalyum
Borat	İndiyum	Titanyum
Doğal Grafit	Kobalt	Tungsten
Doğal Kauçuk	Kok Kömürü	Vanadyum
Florit	Lityum	

Avrupa Birliği son yıllarda antimon ihtiyacının %62 gibi büyük bir bölümünü Türkiye'den ithal etmiştir [8]. Avrupa Birliği ülkelerine yakın olan Türkiye'nin üretim kapasitesini arttırmasıyla Avrupa pazarında daha büyük pay sahibi olabilir (Şekil 1).



Şekil 1. Avrupa Birliği'nin ithal ettiği antimon miktarı

Avrupa Birliği'nin antimonu kritik hammaddeler listesine ekleme sebepleri [9];

- Dünya genelinde yüksek temin riski
- %100 ithal edilmektedir.
- Ekonomik önem, alev geciktirici, kurşun asit batarya, kurşun alaşım, plastik, cam ve seramikte kullanılması
- Uygun alternatif maddenin olmaması
- Geri dönüşüm veriminin az olmasıdır.

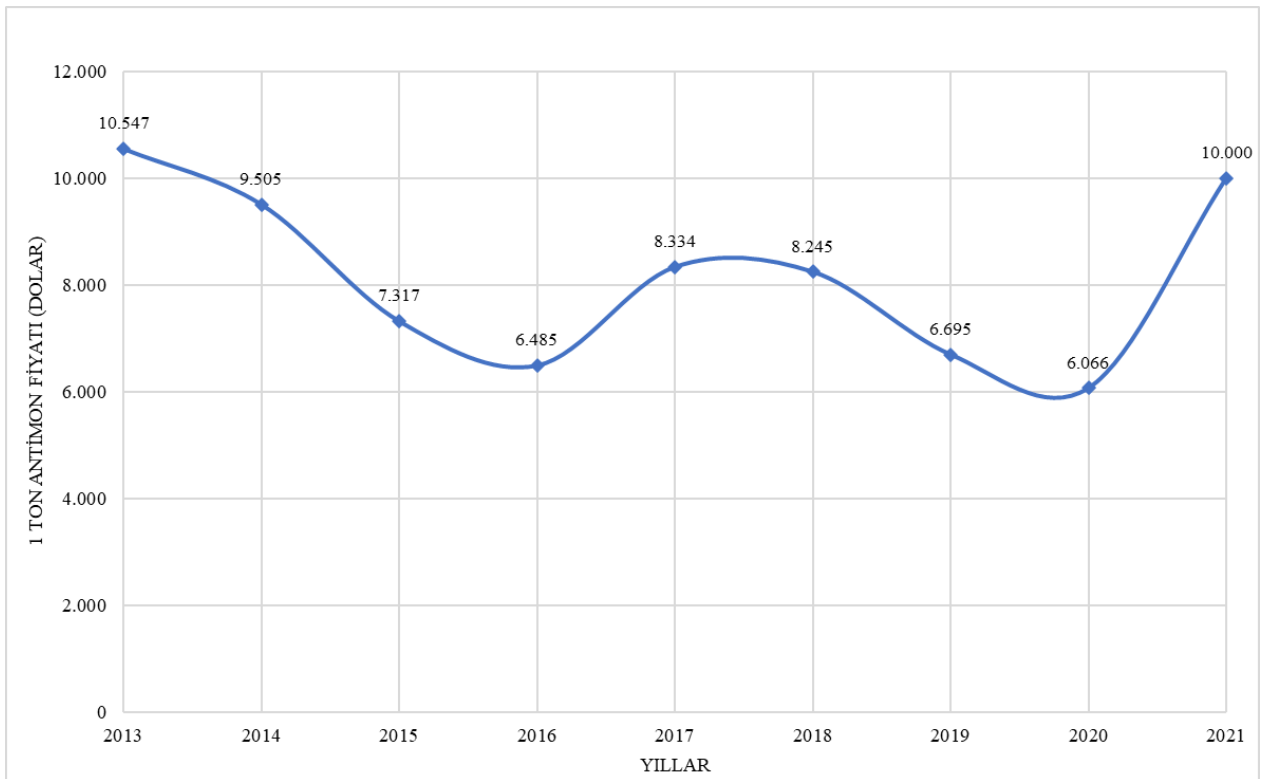
2.2. Antimon Kullanım Alanları

Yangın geciktiricilerde, metal alaşımlarda mukavemeti arttırmada, akü sanayinde kurşun ile şarj özelliklerini güçlendirmede, cam ve seramik sanayide ürünlerin sağlamlaştırılması

ve boyama işlemlerinde, boya ve lastik üretiminde ve daha birçok sanayi dalında hammadde olarak kullanılmaktadır.

2.3. Antimon Fiyatı

Antimon metal fiyatı 2004 yılında 1.300 Dolar/Ton civarında iken 2011 yılında 14.000 Dolar/Ton'a kadar çıkmıştır. Bunun sebebi 2010-2011 yıllarında Çin'deki antimon madenlerinin kapanması ve Çin'e uygulanan kısıtlamadır. Antimon fiyatları 2011 yılındaki pik yaptıktan hızla düşmüştür. 2016 yılında ise ton fiyatı 6.500 dolar seviyesinin altına düşmüştür [10]. 2021 yılı fiyatı tekrardan 10.000 dolar/ton civarına yükselmiştir.

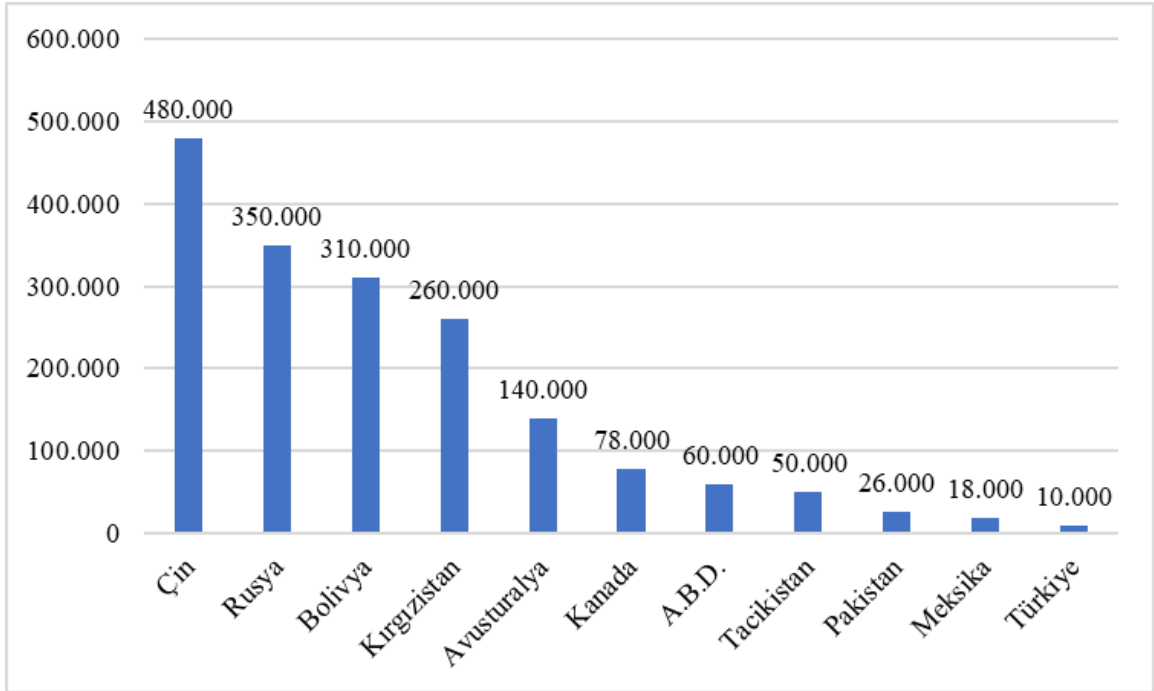


Şekil 2. Rotterdam 'daki aylık ortalama 1 metrik ton metal antimon fiyatı [11]

2.4. Ülkelere Göre Maden Kaynak Bilgileri

USGS 'in 2020 yılında hazırladığı raporda tahmini antimon üretimi Çizelge 4'te ve Maden Kaynağı ile ilgili bilgiler Şekil 3'te verilmiştir [12]. Şekil 3 incelendiğinde Türkiye antimon kaynağı bakımından 6. sıradadır. Çizelge 4'e göre 2019 ve 2020 yıllarında en çok antimon üretimini Çin yaparken ardından Rusya ve Tacikistan gelmektedir. 2019 ve 2020 yılında Türkiye metal antimon üretiminde 6. sırada

bulunmaktadır. Yeni kaynakların bulunması ve işletilmesi ile Türkiye antimon üretiminde daha üst sıralara yükselebilir.



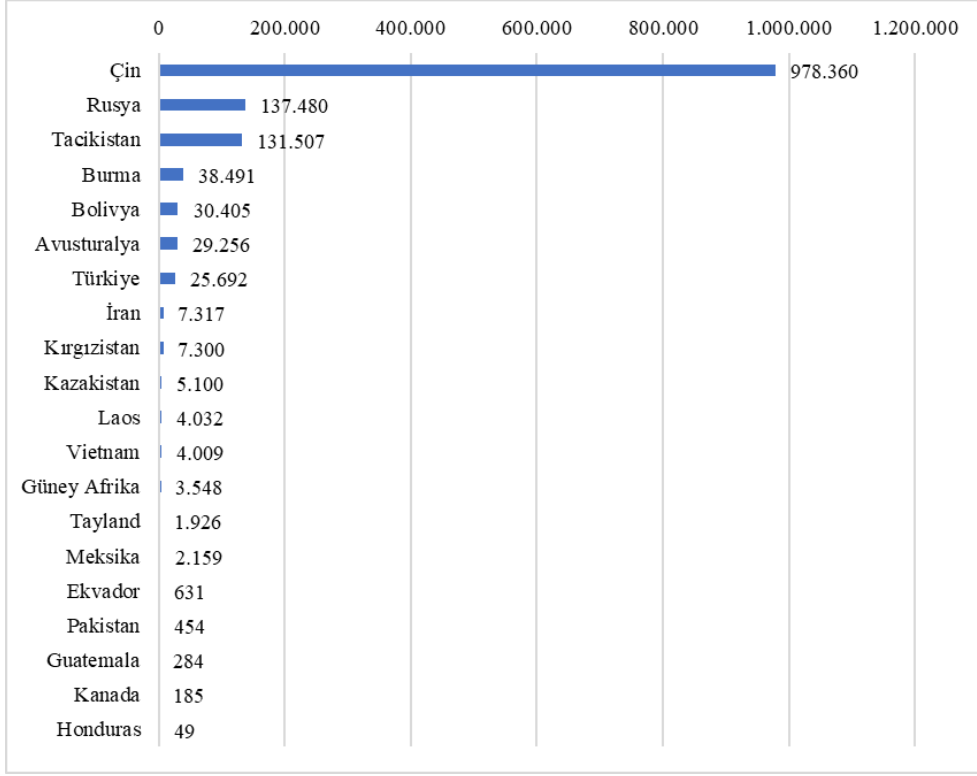
Şekil 3. Dünya Geneline Raporlanan Antimon Kaynak Miktarı (Ton) [12]

Şekil 3 incelendiğinde Kaynak miktarında ilk üç ülke Çin, Rusya ve Bolivya'dır. Türkiye Maden Kaynağı açısından 6. sırada olsa da son yıllarda ülkemizde hız kazanan antimon arama faaliyetleri sonucunda Maden Kaynak miktarını yükseltebilir.

Şekil 4 incelendiğinde 2013-2020 yılları arasında en çok antimon üretimi yapan ilk üç ülke sırasıyla Çin, Rusya ve Tacikistan'dır. Çin'den sonra en yüksek Maden Kaynağı'na sahip Bolivya üretim kapasitesi düşüktür. En düşük üretim miktarı Honduras tarafından yapılmıştır. Türkiye ise antimon üretiminde 7. sırada olduğu görülmektedir.

Çizelge 4 incelendiğinde 2019 ve 2020 yıllarında yapılan üretim miktarları incelendiğinde en çok üretim yapan ilk üç ülke Çin, Rusya ve Tacikistan'dır. En düşük üretim Ekvador ve Kanada tarafından yapılmıştır. Türkiye ise 6. sıradadır.

Şekil 4 ve Çizelge 4 incelendiğinde son yıllarda antimon üretimini domine eden ülkeler Çin ve Rusya'dır.



Şekil 4. 2013-2020 Yılları Arasında Dünya Geneli Antimon Üretimi (Ton) [12,13,14]

Çizelge 4. Dünya Geneli 2019 ve 2020 yılındaki antimon üretimleri [12]

Ülkeler	2019 Yılı Üretimler (Ton)	2020 Yılı Üretimler (Ton)
Avusturalya	2.030	2.000
Bolivya	3.000	3.000
Burma	6.000	6.000
Kanada	1	1
Çin	89.000	80.000
Ekvador	1	1
Guatemala	25	25
İran	500	500
Kazakistan	300	300
Laos	140	100
Meksika	300	300
Rusya	30.000	30.000
Tacikistan	28.000	28.000
Türkiye	2.400	2.000
Vietnam	310	300
Toplam	162.000	153.000

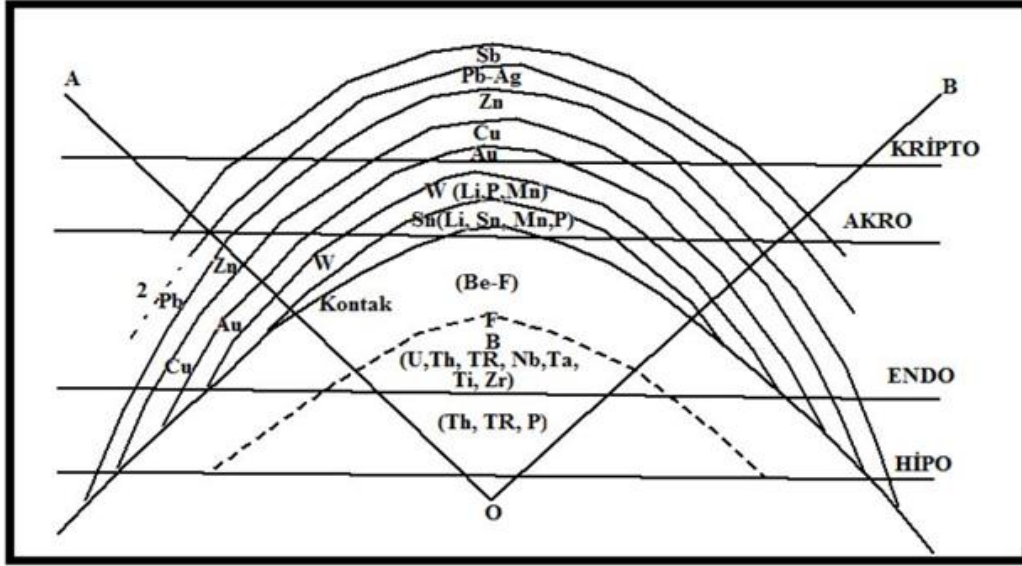
Chegwidden'e göre ülke bazında potansiyel eklenebilecek antimon cevher ve konsantre listesi Çizelge 5'te gösterilmektedir [15].

Çizelge 5. Dünya Geneli Antimon Kaynaklarına Potansiyel Eklenebilecek Yerler

Avusturalya	2015 yılında kapatılan Hillgrove madeni tekrar açılabilir. Yeni Güney Wales ve Batı Avusturalya'daki diğer maden yatakları değerlendirilmektedir.
Bolivya	San Antonia de Turiri Maden ocağı geliştirilebilir.
Burma	2002'de 1,200 metrik ton olan antimon konsantre ihracatı, 2011 yılında 14,100 metrik tona çıkmıştır. İleriki dönemde ürün artışı olabilir.
Kanada	En az üç firma Newoundland, Labrador, Yukon Bölgesi ve New Brunswick içinde antimon keşfi için çalışmaktadır.
Çin	Tibet ürün miktarını arttırabilir
Meksika	U.S. Antimony firması Coahlia eyaletindeki Los Juarez maden yatağında üretimin artacağını beklemektedir.
Rusya	Sentachanskoe ve Ilinskoe'da üretim artışı, Doğu Siberya'da bulunan Udereiskoe ve Zhipkoshinskoe gibi yeni maden yataklarında rezerv geliştirme çalışmaları devam etmektedir.
Güney Afrika	Murchison Madenindeki ikincil zenginleştirmedeki antimon üretimi artabilir
Tacikistan	30.000 metrik ton kapasiteli fabrikada 8000 metrik ton yıllık konsantre üretimi yapılmaktadır. İleride ürün miktarında artış potansiyeli bulunmaktadır. Cevherdeki civa miktarı önem arz etmektedir.
Türkiye	Niğde ve İzmir bölgelerindeki gibi Kütahya'daki Gediz bölgesi yakınlarında bulunan projelerde yeni üretimler başlamıştır.
A.B.D.	Merkez Idaho da Hanger Flat, Yellow Pine ve West End maden yataklarını içeren Midas Gold firmasına ait Stibnit altın projesi büyük hacimli düşük tenörlü altın-antimon varlığı barındırır

2.5. Antimon Kaynaklarının Jeolojik Oluşumları

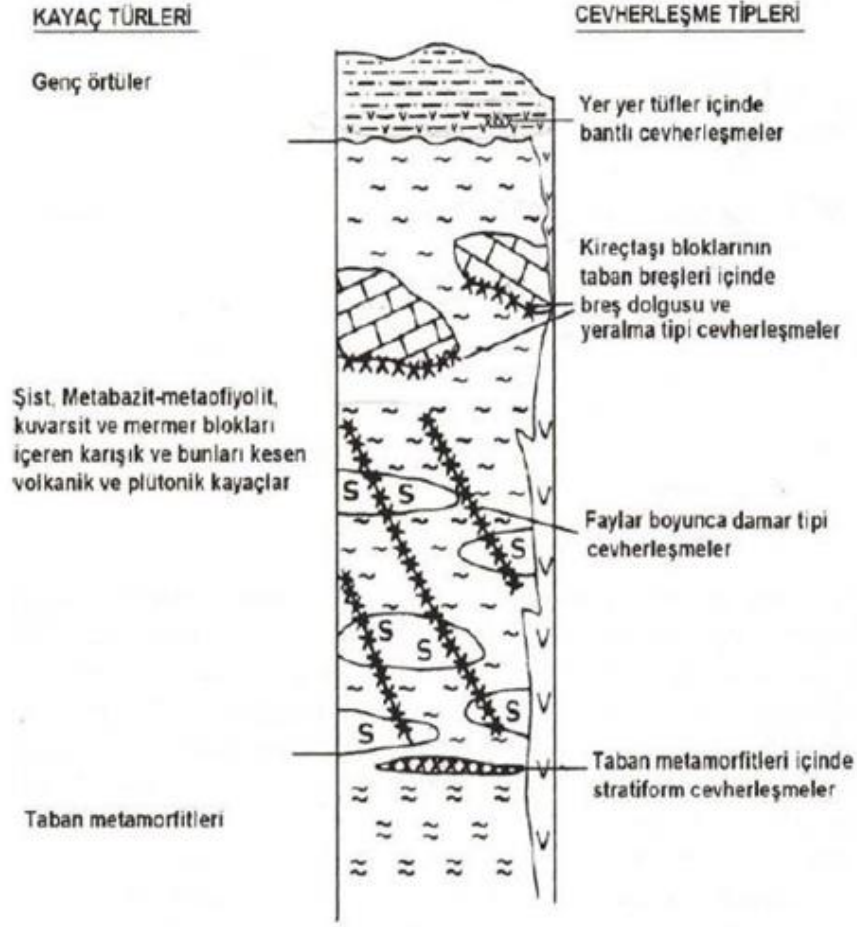
Cissarz [16] plüton çevresindeki çeşitli sıcaklık derecelerinde soğumaya bağlı oluşabilecek cevherlere ait çizimi Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmektedir. Bu şekle göre antimon cevherleşmeleri genellikle yüzeye yakın bölgelerde oluşmaktadır.



Şekil 5. Plütonun çevresinde çeşitli sıcaklık derecelerinde zonlanması [16]

Anadolu'daki antimon cevherleşmeleri [17];

- Tüfler içinde bantlı cevherleşmeler
- Kireçtaşı bloklarının taban breşleri içinde breş dolgu ve yer alma tipi cevherleşmeler
- Faylar boyunca damar tipi cevherleşmeler
- Taban metamorfileri içinde stratiform cevherleşmeler olarak Şekil 6'da tanımlanmıştır.



Şekil 6. Türkiye Antimon Yatakları için geliştirilmiş bir kesit [17]

Ülkemizdeki önemli antimon yatakları Balıkesir/İvrindi, İzmir/Ödemiş, Kütahya/ Gediz /Simav/Dağardı, Niğde/Çamardı ve Tokat/Turhal bulunmaktadır [18]. Balıkesir/İvrindi bölgesi cevherleşmeleri üç şekilde görülmektedir. Metamorfik kayalar içinde damar tipi cevherleşmeler, karbonatlı kayaların tabanlarında breşik ve boşluk dolgusu şeklinde, volkanik tüfler içindeki oluşumlar ise saçınım şeklinde gözlenmektedir [19,20,21]. Kütahya Bölgesinde Simav ve Gediz bölgelerinde karbonatlı kayaların tabanında breşik zonlarda cevherleşmeler gözlemlenmektedir [19,20,21]. Turhal yöresinde tabandaki kayacı içinde tabaklı cevherleşme, karbonatlı kayalar içinde saçınımlı antimon cevherleşmesi gözlemlenmiştir [21,22]. Niğde Çamardı bölgesindeki antimon oluşumları genel olarak kuvars damarları ile ilişkilidir [21,22]. Ülkemizde antimon üretimi yapan firma ve maden saha konumları Çizelge 6'da sunulmuştur.

Çizelge 6. Türkiye’de antimon üretimi yapan firmalar ve üretim yerleri

Firma İsmi	Konum
ADK Madencilik	Zorkun/Hatay
Anadolu Güçbirliği Maden	Balıkesir/İvrindi ve Manisa/Turgutlu
Devasa Madencilik	Balıkesir/İvrindi, Kütahya/Simav ve Dağardı
Eti Bakır	İzmir/ Ödemiş ve Halıköy
Global Antimuan	Kütahya/Gediz
Küçük Kral Antimon	Kütahya Gediz
Özdemir Antimuan	Tokat/Turhal
Suda Maden A.Ş.	Kütahya/Gediz
Tempo Teknik	Balıkesir/İvrindi
Üç Yıldız Antimon	Kütahya/Gediz ve Göynük
Yasin Aslan	Van/Edremit

2.6.Türkiye Antimon Tüketimi

Türkiye’deki talep miktarı ile ilgili net bir bilgi bulunmamaktadır. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT)’nin hazırladığı 5 yıllık kalkınma planında birincil antimon üretimine talebin 500 ton/yıl (Sb içeriği) civarında olabileceği varsayılabılır ibaresi yer almaktadır [23].

3.ÖNCEL ÇALIŞMALAR

Dünya çapında birçok madencilik firması antimon üretimi yapmaktadır. Bu sahalara ait kaynak raporları sadece NI43-101 ve JORC kapsamındadır. Mevcut raporlar incelendiğinde projelendirme genellikle stibnit-altın şeklinde yapılmaktadır. Bunun yanında bakır, gümüş, çinko, kadmiyum, civa gibi minerallerde yan ürün olarak üretilmektedir.

New Crest Mining firması Kanada'nın British Columbia eyaletinde bulunan Red Chris bölgesinde altın-bakır porfiri yatağında 2021 yılında yaptığı çalışmalarda JORC koduna göre raporlama yapılmıştır. Ölçülen kaynak olarak 9.800.000 ton ortalama 0,15 ppm altın ve ortalama % 0,23 bakır olarak hesaplanmıştır. 20x20x12 m blok boyutu seçilerek ortalamasız krigleme yöntemi ile kestirim yapılmıştır [24].

SRK Consulting firmasının 2017 yılında Kanada'nın Charlotte County, New Brunswick eyaletindeki Clarence Stream projesine ait altın sahasında NI 43-101 koduyla raporlama yapılmıştır. Altın-antimon kaynak kestirimi sonucunda 6.178 kton ortalama 1,96 ppm altın ve 2.736 kton %0,37 antimon hesaplanmıştır. 5x5x5 m blok boyutlarında IDW ve ortalamasız krigleme yöntemiyle kestirim yapılmıştır [25].

Emerald Resources NL firması 2017 yılında Kamboçya'da Mondulkiri bölgesinde Okvau sahasında yaptığı altın-polimetal sahasında altın için indikatör krigleme yöntemi ile 20x25x10 metre bloklar kullanılarak Maden Kaynak kestirimi yapılmıştır. Kestirim sonucunda 19.580.000 ton ortalama 1,74 ppm altın kaynağı hesaplanmıştır. İkincil ürün olarak ise bizmut, antimon, bakır ve teliryum ortalamasız krigleme yöntemi ile 250 ppm üzerindeki değerler için kestirilmiştir [26].

Öncel çalışmalar incelendiğinde metalik maden yataklarının çoğunda NI 43-101 veya JORC kodu standartlarına göre raporlama yapılmıştır. Maden Kaynak kestirim yöntemi olarak çoğunlukla ortalamasız krigleme yöntemi kullanılmıştır. Ülkemizde ise sadece 2007 yılında Tokat Turhal'da bulunan Özdemir Antimuan Madenleri A.Ş.'ye ait sahada A. Erhan Tercan tarafından endüstri projesi kapsamında Maden Kaynak kestirim çalışması yapılmıştır.

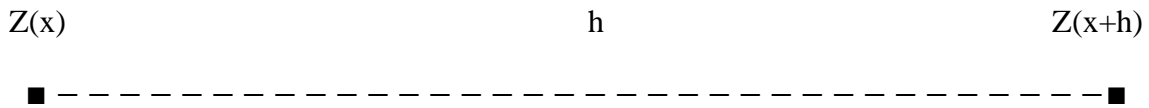
4.JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEM

Jeoistatistik, doğal olayların keşfi ve yorumlanması için rastgele bir fonksiyonun oluşturulması olarak tanımlanmaktadır [27]. Geoistatitiğin doğuşu ise Güney Afrika'da 19 yüzyıl sonuna doğru başlayan Witwatersrand havzasındaki altın madenciliğiyle bağlantılıdır [28]. Geoistatistik, başlangıçta maden endüstrisi için geliştirilse de günümüzde çevreden, toprağa, atmosferden deniz bilimlerine kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır.

Jeoistatistiksel yöntemlerde, değişkenlerin birbiriyle ilişkisi, uzamsal bir ilişki olabileceği gibi farklı madenlerin tenör değerleri arasında bir ilişki de olabilir. Örneğin, bir arazide yapılan maden arama sondajlarında elde edilen tenör değerleri, sondajlar arasındaki uzaklığına bağlı olarak değişir. Uzaklık değeri değeri azaldıkça tenör değerleri birbirine yaklaşacak, tam tersi durumda ise tenör değerleri birbirinden bağımsızlaşacaktır [29].

4.1.Bölgesel Değişkenler

Maden yataklarının değerlendirilmesinde kullanılan tenör, kalınlık gibi değişkenler kullanılmaktadır. Bu değişkenlerin temel özelliği ise belirli bir bölgeye özgü olmaları ve en azından bir koordinatla temsil edilebilmeleridir. Lokasyonları belirli olan değişkenler bölgesel değişkenler olarak adlandırılır. Bölgesel değişkenlerin aldığı değerler, maden yatağının yalnızca örnek alınan noktalarında bellidir. Örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerler ise bilinen değerleri kullanılarak yapılan kestirim işlemi ile hesaplanır. (Şekil 7) [30].



Şekil 7. İki nokta arasındaki adım uzaklığı

Bir maden yatağının x noktasındaki tenörü $Z(x)$, bu noktadan h mesafedeki tenör değeri $Z(x+h)$ ile gösterilmektedir. Bu iki nokta arasındaki tenör değerleri farkı $f(h) = Z(x) - Z(x+h)$ olur. Bu fark h mesafesinin bir fonksiyonu olup, $f(h)$ nin modellenmesi kaynak hesaplama işlemlerinde büyük önem taşır. Gerçekten $f(h)$ fonksiyonu bilindiğinde bilinen

değerler yardımıyla örneklenmemiş bir lokasyondaki değer hesaplayabilmek mümkündür. Tenör değerleri arasındaki farkın aradaki mesafe arttıkça artması, mesafe azaldıkça tenör değer farkının azalması beklenir [30].

Jeoistatistikte, bölgesel değişkenlerin mesafeye bağlı değişimlerini modelleyebilmek için durağan rastlantı fonksiyonları kullanılmaktadır. Maden yatağının her x noktasında bir $Z(x)$ rastlantı değişkeni tanımlandıktan sonra bu noktadaki değer, $Z(x)$ rastlantı değişkeninin bir değeri olduğu kabul edilir. Maden yatağı içinde tanımlanan rastlantı değişkenlerinin tümü kullanılarak bir rastlantı fonksiyonu oluşturulur ve bölgesel değışkende rastlantı fonksiyonunun bir değeri olarak görülür [30].

4.1.1.Jeoistatistiğin Temel Varsayımları

4.1.1.1.Durağanlık

Maden yatağının bir noktasından yalnızca bir defa örnek alınabilir ve bundan dolayı yalnızca bir gözlem değeri elde edilebilir. Tek bir gözlem değeri ile ortalama, varyans gibi istatistiksel bilgiler belirlenemeyeceğinden durağan rastlantı fonksiyonları altında bu istatistiklerin, yatağın bir noktasından diğer bir noktası değışmediğı varsayılır. Bu matematiksel olarak Eşitlik (4.1) ile ifade edilir.

$$E[Z(x)]=m \quad (4.1)$$

ile gösterilir. Burada m ; değışmeyen ortalamayı

$E(.)$ beklenen değeri işlemcisini ifade eder [30].

Durağanlık varsayımına örnek olarak kavanoz içindeki kum tanelerinin dağılımı verilebilir. Kavanoz içinde bulunan kum üç boyutta durağan rassal fonksiyonun eğer taneler iyi sıralanmışsa güzel bir görüntüsüdür aksi halde eğer kavanoz titreşirse ince taneler birdenbire aşağı doğru akar, bu da durağan olmayan bir dikey boyut oluşturur [31].

Jeoistatistikte kullanılan diğer varsayım ise $Z(x)$ ve bundan h kadar mesafede tanımlanan $Z(x+h)$ rastlantı değışkenleri arasındaki ilişkinin, x ve $x+h$ lokasyonlarına değil de bunlar

arasındaki h uzaklığına bağlı olduğu varsayımdır. Bu ilişkiyi tanımlamada kovaryans kullanıldığında bu varsayım Eşitlik (4.2)'de ifade edilir.

$$\text{Cov}(h)=E[Z(x+h), Z(x)]-m^2 \quad (4.2)$$

Burada $\text{Cov}(h)$; Kovaryans değerini ifade eder.

İlk hipotez “Durağanlık”tır. Durağanlık hipotezinde mesafeye bağlı değişkenliğin olasılığı etkilemediği varsayılmaktadır. $Z(x)$ için beklenen değerler tüm lokasyonlar için aynıdır ve değişmez [32].

İkinci hipotez İkinci Dereceden Durağanlık'tır (Order 2 Stationarity). Bu hipoteze göre rastlantı fonksiyonu $Z(x)$ 'in beklenen değerine ek olarak $Z(x)$ 'in varyansı hesaplanabilir ve her nokta için aynıdır [32]. Bu iki varsayım ikinci dereceden durağanlık varsayımı olarak bilinir. Kovaryansın sadece mesafeye bağlı oluşu, varyans ve variogramın da mesafeye bağlı olmasını gerektirmektedir [33].

4.2.Uzaklığa Bağlı İlişki Fonksiyonu (Variogram)

Variogram, mineralizasyonun devamlılık derecesini gösteren bir fonksiyondur. Variogram adım aralığı arttıkça yükselen bir fonksiyondur. Variogram eğrisinin hızlı yükselişi, cevherin gittikçe uzaklaşan bölgelerinde örneklerin etki kaybını göstermektedir [33].

Variogramlar jeostatistik biliminin temel araçlarıdır ve $\gamma(h)$ olarak ifade edilir. Variogram cevherleşmenin devamlılık derecesini temsil eder. Bölgesel değişkenlerin uzaklık ve yönle değişimini açıklar. Temel olarak birbirine yakın numuneler arasındaki korelasyon uzak mesafe numunelerine göre daha yüksektir. İki numune arası mesafe arttıkça değerler arasındaki korelasyon azalır öyle bir mesafe gelir ki bu korelasyon sıfırlanır. Variogram numuneler arası ilişkinin hangi mesafede sıfır olacağını göstermektedir [34].

$$2\gamma(h)= \text{Var}[Z(x)-Z(x+h)] \quad (4.3)$$

Eşitlikte;

h : Veri çiftleri arasındaki mesafeyi,

$\gamma(h)$: Variogramı

$N(h)$: Veri çifti sayısını göstermektedir.

İkinci dereceden durağanlık varsayımı dikkate alındığında variogram, beklenen değer cinsinden Eşitlik (4.4)'de gösterildiği gibi yazılır.

$$2\gamma(h) = E[Z(x) - Z(x + h)]^2 \quad (4.4)$$

4.2.1. Variogram Fonksiyonun Özellikleri

Bir fonksiyonun variogram olarak tanımlanabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler aşağıda sıralanmaktadır;

Variogramın $h=0$ uzaklığındaki değeri sifira eşittir.

$$\gamma(0)=0 \quad (4.5)$$

Variogram iki rastlantı değişkeni arasındaki farkın varyansı olarak tanımlanmaktadır Dolayısıyla hiçbir zaman negatif değer alamaz [30].

$$\gamma(h) \geq 0 \quad (4.6)$$

Variogram simetrik bir fonksiyondur

$$\gamma(h) = \gamma(-h) \quad (4.7)$$

4.2.2. Deneysel Variogram

Variogram değerlerini çeşitli uzaklık sınıflarına ayırıp, her bir uzaklık sınıfı içinde ortalama değeri hesaplayarak deneysel variogram elde edilir [30]. Deneysel variogram değerlerine bir fonksiyon uyarlanıp variogram modeli oluşturulur. Bu variogram modeli ise bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Variogramlar, Eşitlik (4.3) ve Eşitlik (4.4)'de verilen kuramsal ifadelerin yanında deneysel olarak Eşitlik (4.8) ile hesaplanır.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x) - Z(x_i + h))^2 \quad (4.8)$$

Tenör değerlerindeki farkların uzaklığa bağlı değişimi:

Eğer uzaklığa bağlı ilişki $f(h)$ analitik olarak biliniyorsa örneklenmemiş bir noktadaki değeri bilinen değerler yardımı ile hesaplamak mümkündür. $f(h)$ fonksiyonu jeostatistikte deneysel variograma karşılık gelir:

Ölçüm noktaları üç boyutlu, iki boyutlu ya da bir boyutlu olabilirler. Variogram modeline ulaşabilmek için örnekleme kullanarak deneysel variogram değerlerini hesaplamak gerekir. Deneysel variogramın hesaplanması örneklerin alınma düzenine göre farklılık gösterir. Eğer örnekler, düzenli aralıklarda alınmış ise Eşitlik (4.8)'de gösterilen formülün kullanılması yeterlidir [35].

Buna ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir:

1 metre aralıklarla alınan kömür damarı kalınlıkları Şekil 8'de verilmiştir.

1,5	1,7	1,9	2,1	1,8	1,6	1,5	1,6	1,4	1,7	1,8	1,9	2,2	2,3	1,9	1,6	1,7	1,8
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Şekil 8. Kömür damarı kalınlık verileri

Bu veriler kullanılarak h (adım aralığı) 9 metre olana kadar deneysel variogram değerleri hesaplanmıştır.

$h=1$ için

1,5	1,7	1,9	2,1	1,8	1,6	1,5	1,6	1,4	1,7	1,8	1,9	2,2	2,3	1,9	1,6	1,7	1,8
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

$\gamma(1)$	0,04	0,04	0,04	0,09	0,04	0,01	0,01	0,04	0,09	0,01	0,01	0,09	0,01	0,16	0,09	0,01	0,01
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

$$\sum_{i=1}^{17} [z(x) - z(x+h)]^2 = 0,79$$

$$\gamma(1) = \frac{0,79}{2 \times 17} = 0,023 \text{ olarak bulunur.}$$

Aynı işlemler diğer adım aralıkları içinde hesaplanmıştır ve Çizelge 7’de bu değerler sunulmuştur.

Çizelge 7. Adım aralığına karşılık gelen variogram değerleri

Adım aralığı (h)	Variogram değeri ($\gamma(h)$)
1	0,023
2	0,058
3	0,082
4	0,088
5	0,088
6	0,074
7	0,062
8	0,049

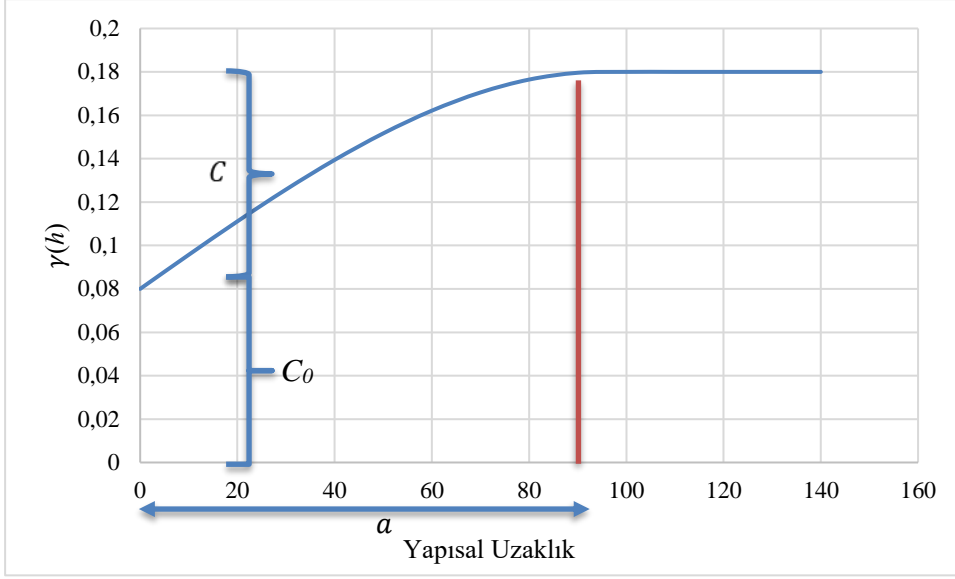
4.2.3.Variogram Parametreleri

Variogramda üç ana parametre vardır. Bunlar yapısal uzaklık (a), eşik (sill) ve külçe (nugget) değeridir (Şekil 9).

C_0 = Uzaklığa bağlı değişimin verilerden belirlenebileceği sınır bir uzaklık vardır. Pratik olarak, bu uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda, değerler arasındaki farkın değişimi, veri olmadığından belirlenemez ve bu durum variogramın orijininde bir süreksizliğe (sıfırdan farklı pozitif bir değer almasına) yol açar. Orijindeki süreksizliğin diğer bir nedeni de örnekleme ve analiz hatalarıdır. Eğer aynı bir noktadan iki örnek almak mümkün olsaydı, bu örneklerin değerleri arasında, örnekleme ve analiz hatalarından dolayı değer farkı oluşacaktır. Variogramda bu durum külçe etkisi (C_0) şeklinde ortaya çıkar [36].

C = Variogramın eşik (C) değeri, varyansa eşittir.

a = Yapısal uzaklık, bu mesafe aşıldıktan sonra örnek değerleri arasında hiçbir ilişki kalmaz. Yapısal uzaklık, bir örneğin etki mesafesine karşılık gelir [36].



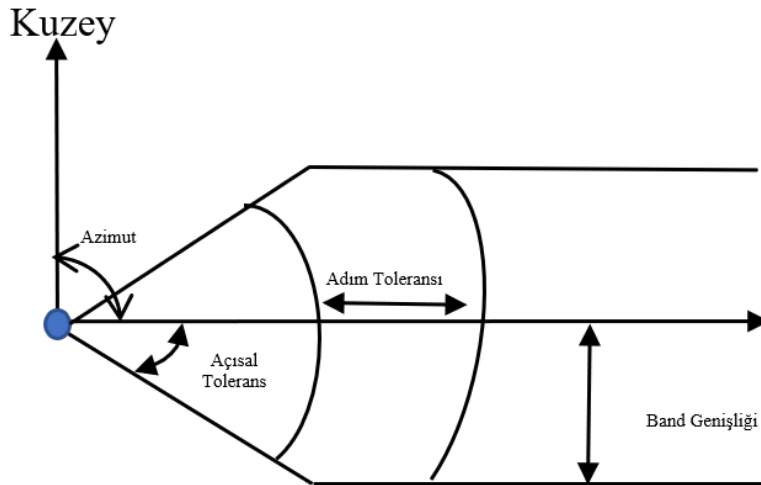
Şekil 9. Örnek Variogram Parametreleri

Yönel variogramlar adım toleransına bağlı olarak farklı yön ve açisal toleranslar seçilerek hesaplanmalıdır (Şekil 10).

Azimet: kuzey ile yapılan açıdır.

Açisal tolerans: belirlenen tolerans açısında bir koni üzerinde bir alan oluşturur. Bu durumda $Z(x)$ ve $Z(x+h)$ veri çiftleri variogram değerlerinin hesaplanmasında kullanılır [27].

Adım toleransı: variogram birim bir uzaklık ve bunun katları için hesaplanır. Bu birim uzaklık adım (lag) uzaklığı olarak bilinir [37].



Şekil 10. Örnek çifti seçim konisi [37]

4.2.4. Variogram Modelleri

Bölgesel değişkenlerin sürekliliği ve düzenliliği variogramın orjine yakın davranışı ile ilişkilidir.

Külçe etki modeli

Bu modelde variogram fonksiyonu Eşitlik (4.9) ve (4.10)'de verilmiştir.

$$\gamma(h)=0 \quad h=0 \quad (4.9)$$

$$\gamma(h)=C_0 \quad h>0 \quad (4.10)$$

Bu model, bir lokasyondan diğerine ani olarak değişen bir bölgesel değişkenin davranışını temsil eder [36].

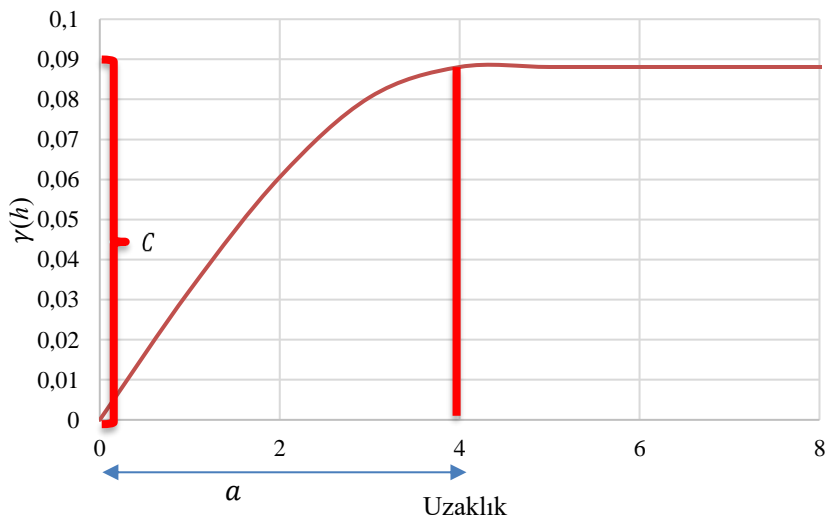
4.2.4.1. Küresel Modeller

Yaygın bir şekilde kullanılan variogram modelidir. Eşitlik (4.11) ve (4.12)'de verilmiştir.

$$\gamma(h) = C \cdot \left[1,5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0,5 \cdot \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad h \leq a \quad (4.11)$$

$$\gamma(h) = C \quad h > a \quad (4.12)$$

Küresel variogram, orjinden başlayarak artan adım toleransı ile artar. Yapısal uzaklık değerine ulaşıldığında artışını durdurur. Bu uzaklıkta variogramın değeri eşik değerine (C) eşittir. Örnek variogram grafiği Şekil 11'de gösterilmiştir.

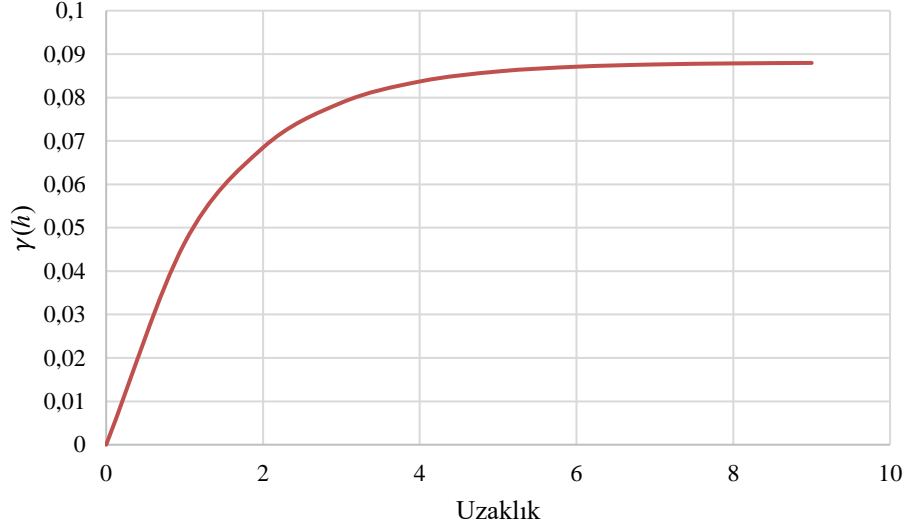


Şekil 11. Küresel Model Örnek Model Variogram Grafiği

4.2.4.2.Üssel Model

Bu modelde variogram fonksiyonu Eşitlik (4.13)'de olduğu gibi hesaplanır.

$$\gamma(h) = C. (1 - e^{-\frac{h}{l}}) \quad (4.13)$$



Şekil 12. Örnek Üssel Model Variogram Grafiği

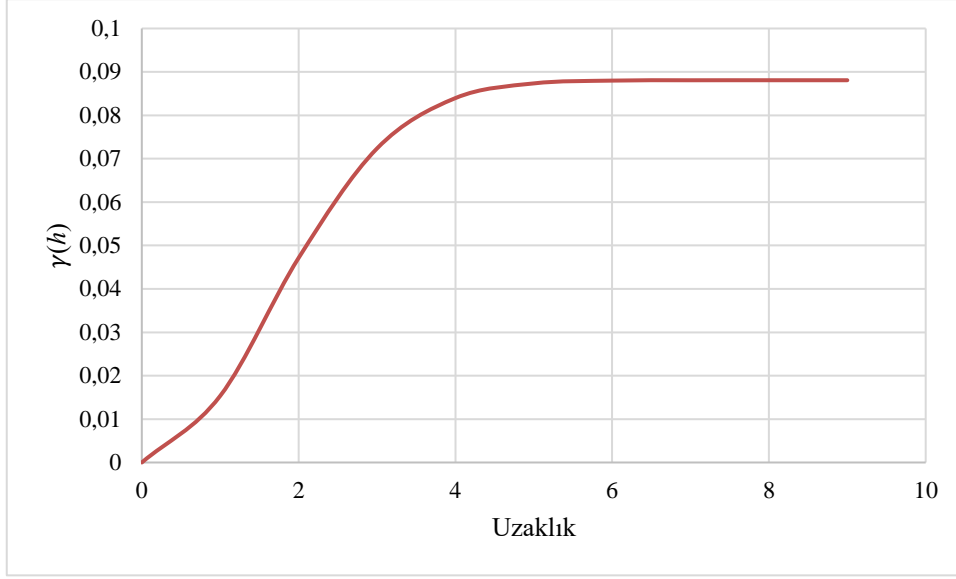
Yapısal uzaklık $a=3l$ 'ye eşittir.

4.2.4.3.Gauss Modeli

Bu modelde variogram fonksiyonu

$$\gamma(h) = C. (1 - e^{-\frac{h^2}{l^2}}) \quad (4.14)$$

ile verilir. Yapısal uzaklık $a = 7l/4$ olarak tanımlanır [30].



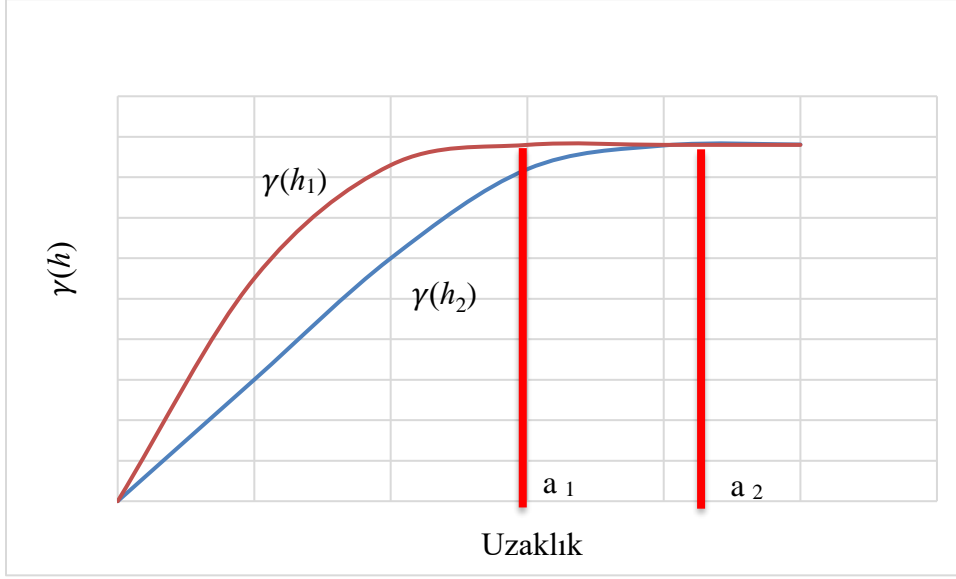
Şekil 13. Örnek Gauss Modeli Variogram Grafiği

4.2.5. Yuvalı yapılar

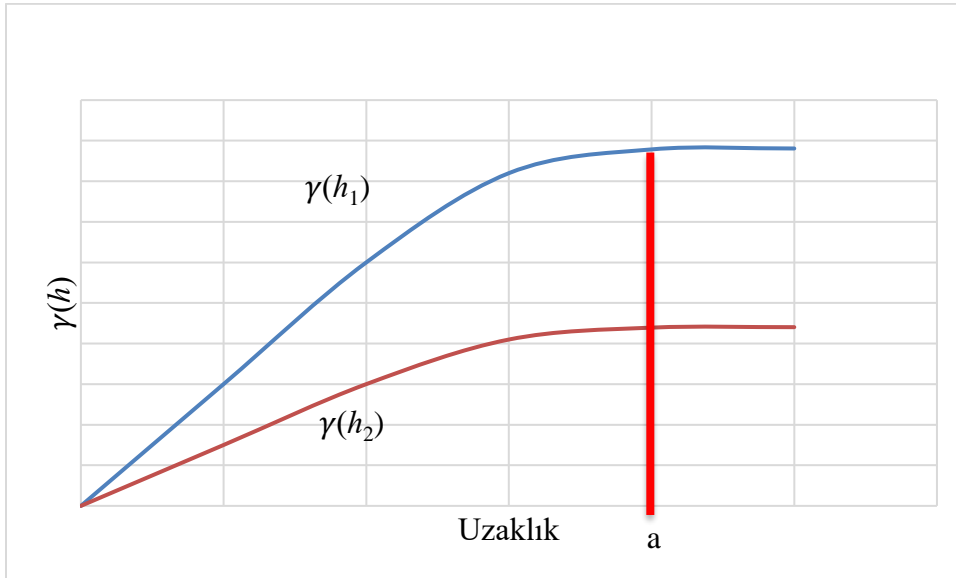
Bölgesel değişkenin değerleri arasındaki fark gözlem ölçeğine bağlı olarak birçok nedenden kaynaklanabilir. Bir maden yatağında değerler arasındaki farklılık, maden yataklarının farklı bir şekilde dağılımlarından kaynaklanmaktadır. Değerler arasındaki farklılığın bütün bu kaynakları aynı anda ve bütün uzaklıklar için etkili olur. Bu kaynaklar ya da yapılar yuvalı yapılar olarak adlandırılır [30].

4.2.6. Anizotropi

Uzaklığa bağlı değişkenlik yöne bağlı değişkenlik gösterebilmektedir. Eğer farklı yönlerde hesaplanan variogramlarda yapısal uzaklık yönün fonksiyonu olarak değişiyorsa geometrik anizotropi vardır (Şekil 14). Eğer deneysel variogramlar farklı yönde farklı eşik değerleri gösteriyorsa bu durum zonal (bölgesel) anizotropi olarak tanımlanır (Şekil 15) [30].



Şekil 14. Geometrik Anizotropi örneği

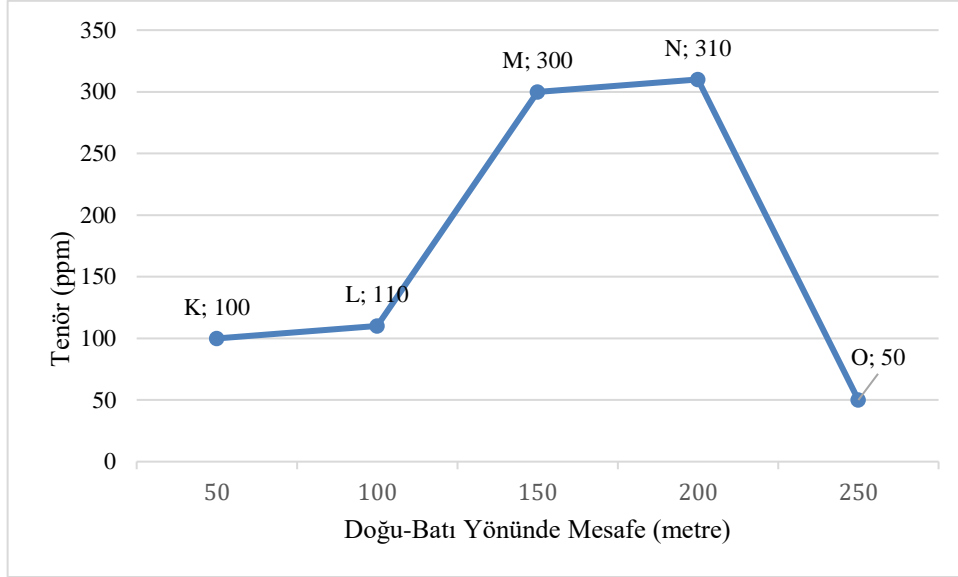


Şekil 15. Zonal Anizotropi Örneği

4.2.7.Yönelim Analizi

Yönelim analizi, incelenen özneliğin saha genelinde yönlere bağlı ortalamasının nasıl değiştiğini ortaya koymaktadır. Saha, incelenmek istenen yönde birbirine eşit dilimlere bölünür ve bu dilimler içine düşen örnek ortalamaları hesaplanır. Son aşamada dilimlerin orta noktasına karşı ortalamalar grafik haline getirilir.

Şekil 16 incelendiğinde K ve L noktaları ile M ve N noktaları arasında bir tenör trendi bulunmadığını N ve O noktaları arasında azalan tenör trendi olduğu görülmektedir [38].



Şekil 16. Yönelim örneği

4.3.Krigleme (Kriging)

Danie Krige hareketli ortalama tekniği ile altın değerlerini regresyon etkisi olmadan kestirmeyi başarmıştır. Georges Matheron ise bu yöntemi daha da geliştirerek yeni bir yöntem üretmiş ve bu yöntemin adını krigleme koymuştur. Krigleme, en iyi doğrusal yansız kestirici (Best Linear Unbiased Estimator – BLUE) olarak tanımlanmaktadır. Bu da seçtiğimiz ağırlıklı ortalama örnek değerlerinin minimum varyansa sahip olmasına neden olmaktadır [39].

Kestirimin doğruluğu birkaç faktöre bağlıdır bunlar [39];

- Her noktadaki örnek sayısı ve veri kalitesi
- Cevherleşmenin içindeki örneklerin konumu (eşit aralıklı örnekler daha iyi cevherleşmeyi kapsayabilir ve kümelenmiş örneklere göre maden yatağı hakkında daha fazla bilgi verebilir)
- Kestirim yapılacak örnek, nokta veya blok arasındaki mesafe. Komşu örneklere, uzak örneklere göre daha fazla güveniriz.

$$\begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x_1) & \gamma(x_1 - x_2) & \dots & \gamma(x_1 - x_j) & 1 \\ \gamma(x_2 - x_1) & \gamma(x_2 - x_2) & \dots & \gamma(x_2 - x_j) & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_i - x_1) & \gamma(x_i - x_2) & \dots & \gamma(x_i - x_j) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_i \\ m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_0 - x_1) \\ \gamma(x_0 - x_2) \\ \vdots \\ \gamma(x_0 - x_i) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Bu sistemde $\gamma(x_i - x_j)$; x_i ve x_j noktaları arasındaki variogram değerini, m; lagrange çarpanı ve $\gamma(x_0 - x_i)$ ise x_0 noktası ile x_i noktası arasındaki uzaklığa bağlı variogram değerini göstermektedir.

Kriglemenin ortalamaya bağlı olan bir yöntemine ortalamalı krigleme (simple kriging) denir. Bu yöntemde ağırlıklar, yansızlık koşuluna bağlı olmadan Eşitlik (4.17) ile verilen matris sistemi çözümlenerek elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x_1) & \gamma(x_1 - x_2) & \dots & \gamma(x_1 - x_j) \\ \gamma(x_2 - x_1) & \gamma(x_2 - x_2) & \dots & \gamma(x_2 - x_j) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \gamma(x_i - x_1) & \gamma(x_i - x_2) & \dots & \gamma(x_i - x_j) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_0 - x_1) \\ \gamma(x_0 - x_2) \\ \vdots \\ \gamma(x_0 - x_i) \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

4.3.1. Kriging Yöntemi ile Kestirimin Özellikleri

Kriging kestiricisi, değerler ve bu değerlere atanacak ağırlıkların toplamından meydana gelmektedir. Ağırlıklar, yansızlık ve en küçük varyans koşullarını sağlayacak şekilde oluşturulan doğrusal denklemler sistemi çözülerek elde edilir. Doğrusal denklemlerin katsayılarını variogram fonksiyonunun değerleri oluşturur. Dolayısıyla en uygun kriging ağırlıklarının seçiminde örnekler arası mesafe kadar kestirim işlemi yapılacak nokta veya bloğa olan mesafeleri de dikkate alınır [30].

Ordinary kriging yöntemi ile kestirim yapılmasına ilişkin örnek aşağıda verilmiştir.

$$\begin{array}{ccc} k(x_1)=1,7 \text{ m} & k(x_0) = ? & k(x_2)=1,9\text{m} \\ +-----1 \text{ m}-----o-----1 \text{ m}-----+ \end{array}$$

Şekil 18. Krigleme örneği verileri

Kömürde sürülmüş galerinin bir kesitini alalım. Amaç, damar kalınlıklarının bilindiği iki noktadan (x_1 ve x_2) damar kalınlığı bilinmeyen noktanın (x_0) kestirimi ve bu kestirime ilişkin hata varyansının hesaplanmasıdır. Kalınlığa ilişkin variogram modeli $C_0=0.0$,

$C=0.075$ ve $a=5m$ parametreleri ile küreseldir. Bu bilgilere göre $k(x_0)$ noktasındaki kömür kalınlığı ortalamasız kriging yöntemi ile hesaplanacaktır.

Çözüm:

Variogram modeli

$$\gamma(h) = 0 \quad h = 0$$

$$\gamma(h) = C \cdot \left[1,5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0,5 \cdot \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad h \leq a$$

$$\gamma(h) = C \quad h > a$$

$$\begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x_1) & \gamma(x_1 - x_2) & \dots & \gamma(x_1 - x_j) & 1 \\ \gamma(x_2 - x_1) & \gamma(x_2 - x_2) & \dots & \gamma(x_2 - x_j) & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_i - x_1) & \gamma(x_i - x_2) & \dots & \gamma(x_i - x_j) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_i \\ m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_0 - x_1) \\ \gamma(x_0 - x_2) \\ \vdots \\ \gamma(x_0 - x_i) \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\gamma(x_1 - x_1) = \gamma(x_2 - x_2) = \gamma(0) = 0$$

$$\gamma(x_2 - x_1) = \gamma(x_1 - x_2) = \gamma(2) = C \cdot \left[1,5 \left(\frac{2}{5} \right) - 0,5 \cdot \left(\frac{2}{5} \right)^3 \right] = 0,042$$

$$\gamma(x_2 - x_0) = \gamma(x_1 - x_0) = \gamma(1) = C \cdot \left[1,5 \left(\frac{1}{5} \right) - 0,5 \cdot \left(\frac{1}{5} \right)^3 \right] = 0,029$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0,042 & 1 \\ 0,042 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,029 \\ 0,029 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$0 \cdot \lambda_1 + 0,042 \cdot \lambda_2 + 1 \cdot m = 0,029$$

$$0,042 \cdot \lambda_1 + 0 \cdot \lambda_2 + 1 \cdot m = 0,029$$

$$1 \cdot \lambda_1 + 1 \cdot \lambda_2 + 0 \cdot m = 1$$

Denklem sistemi çözüldüğünde;

$$\lambda_1 = 0,5 \quad \lambda_2 = 0,5 \quad \text{ve} \quad m = 0,016 \text{ değerleri bulunur.}$$

x_0 noktasındaki kalınlık değeri ise

$$k^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i k(x_i)$$

$$k^*(x_0) = 0,5 \times 1,7 + 0,5 \times 1,9 = 1,8 \text{ metre olarak kestirilmiş olur.}$$

Hata varyansı ise

$$\sigma_K^2(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \gamma(x_0 - x_i) + m$$

= 1,7x0,029+1,9x0,029+0,008=0,112 olarak hesaplanır.

4.3.2.Çapraz Doğrulama

Çapraz doğrulama testi variogramın en uygun model parametrelerinin belirlenmesi için kullanılır. Öncelikle deneysel variogram fonksiyonuna ait parametreler seçilir. Sonraki adımda veri kümesinden bir örnek uzaklaştırılarak bu lokasyondaki değer, seçilen variogram modeli ve geri kalan veriler kullanılarak yeniden tahmin yapılır. İleri aşamada tahmin yapılan lokasyon da gerçek değerlerle, tahmin edilen değer arasındaki fark (tahmin hatası) hesaplanır. Bu işlem veri içeren tüm lokasyonlar ve aday variogram modelleri için tekrar edilir. Tahmin hatalarının istatistikleri hesaplanır ve çapraz doğrulama işlemi tamamlanır [41].

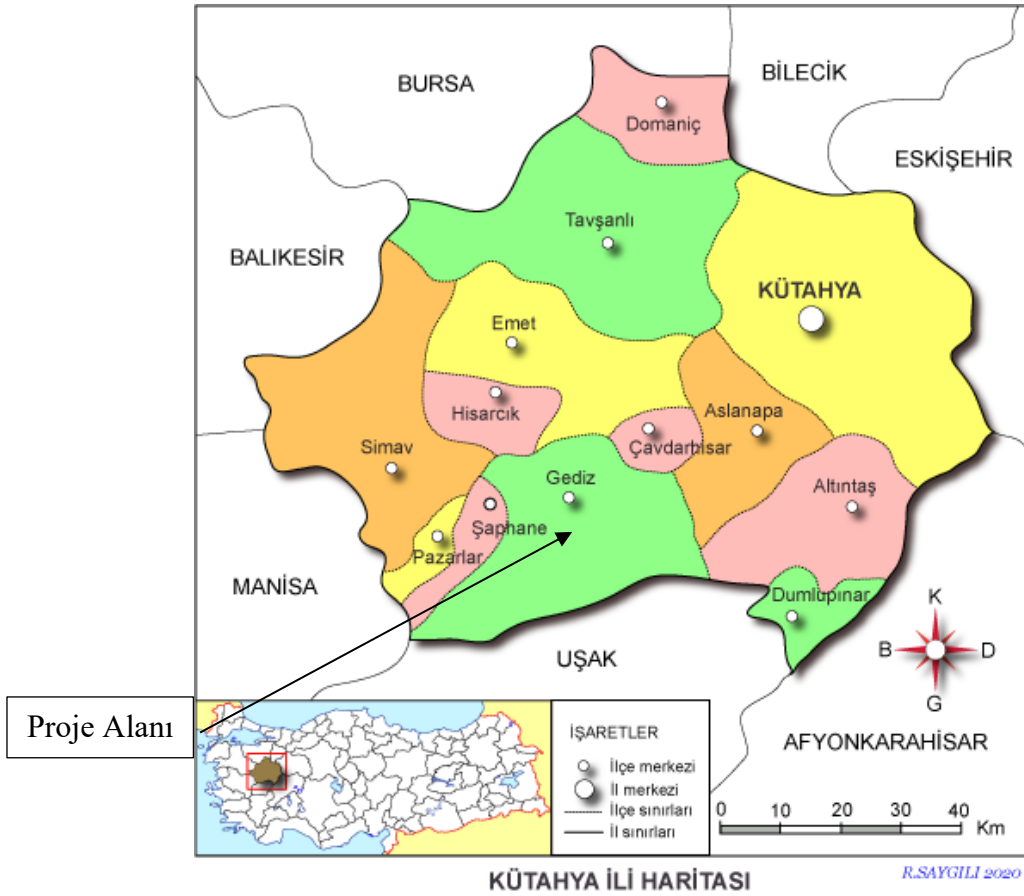
5.CEBRAİL SAHASI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

5.1.Çalışma Alanının Coğrafik Konumu

1994 yılında Etibank tarafından işletmeye alınan ruhsat, 1999 yılında Metsan Metal Tic. San. A.Ş.'ye devredilmiştir. Daha sonra 26 Ağustos 2010 tarihinde Metsan Met. Tic ve San. A.Ş.'den devir alınmıştır. Sahada devir alındığı tarihten itibaren üretimle birlikte arama çalışmaları devam etmektedir.

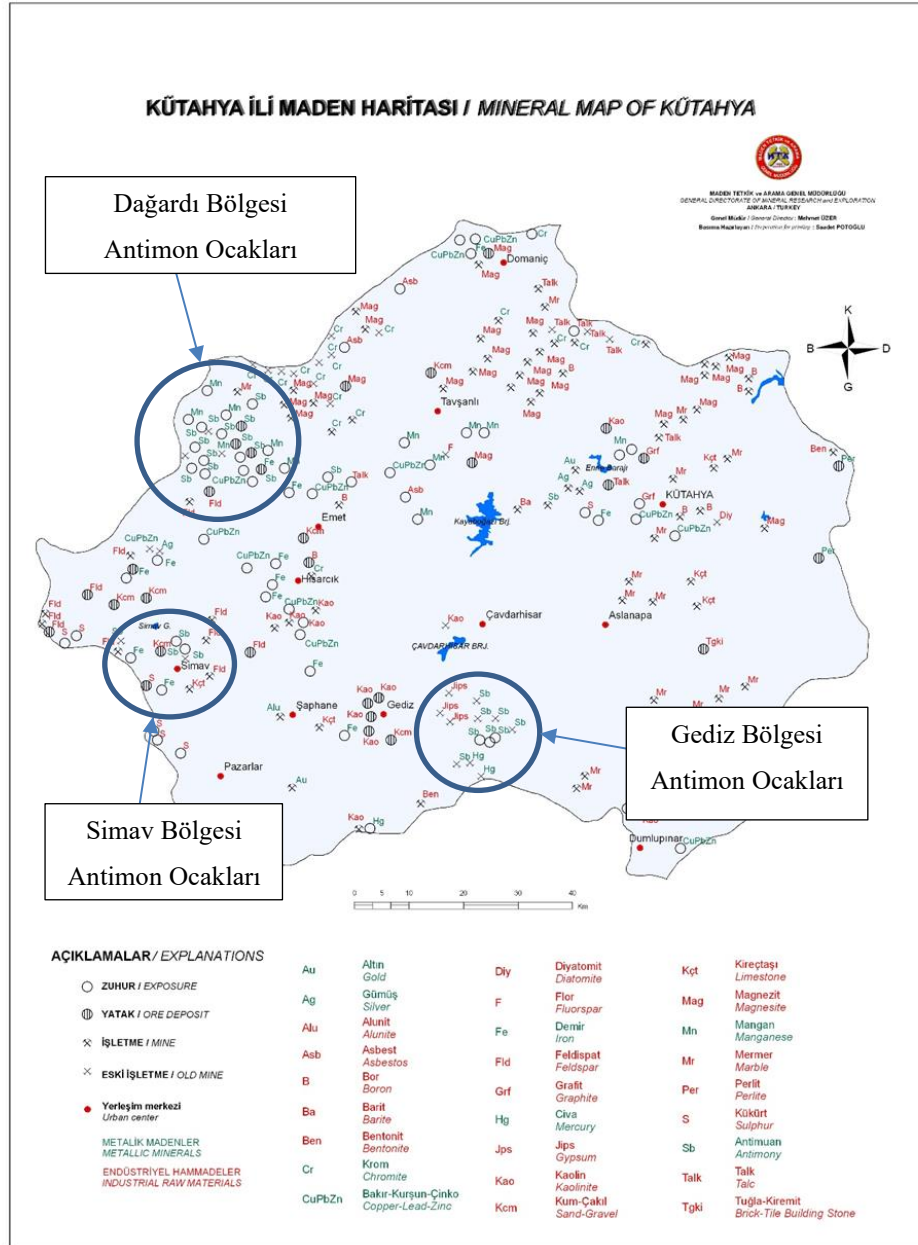
Ruhsat sahasının bulunduğu yer Kütahya ili, Gediz İlçesi, Cebrail mahallesi civarındadır. Kütahya ili merkezine yaklaşık 80,1 km, Gediz ilçesi merkezine ise yaklaşık 32 km uzaklıktadır. Cebrail mahallesi yolunu kullanarak Kütahya Uşak Yolu/D240 üzerinden Kütahya merkeze ulaşım sağlanmaktadır. İlin Ankara'ya uzaklığı ise ortalama 381 km dir.

Sahanın yer bulduru haritası Şekil 19'da verilmiştir.



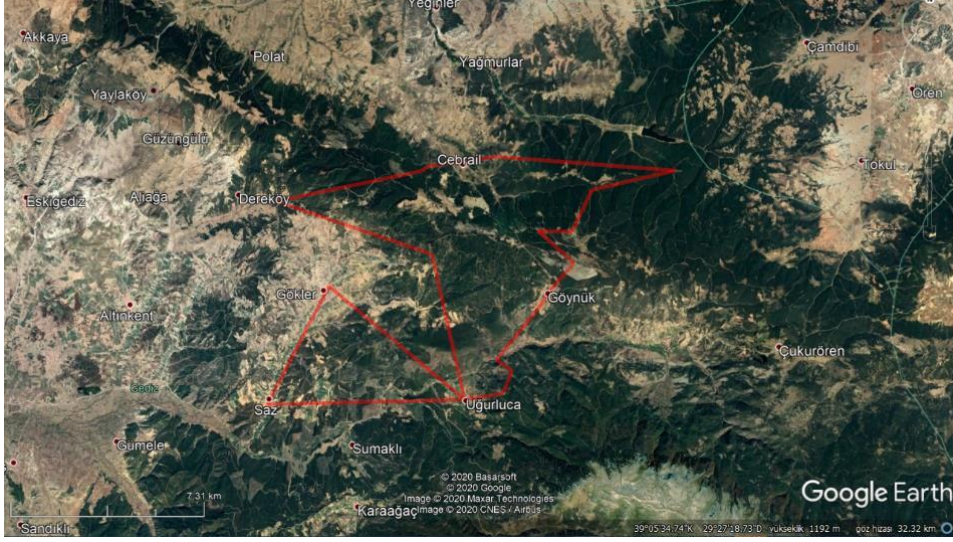
Şekil 19. Çalışma alanı yer bulduru haritası [42]

Kütahya ilinde antimon ocaklarının bulunduğu üç önemli bölge bulunmaktadır. Bunlar Dağardı bölgesi, Gediz bölgesi ve Simav bölgesidir (Şekil 20).



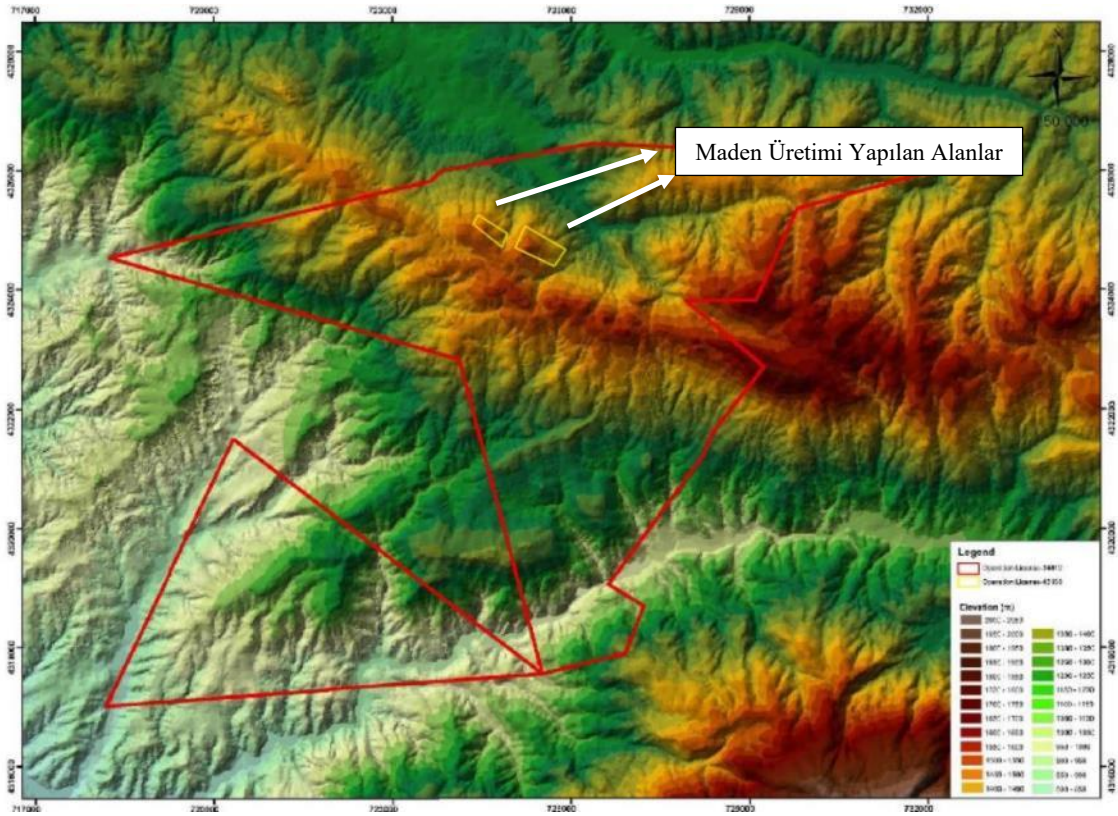
Şekil 20. Kütahya İli'ndeki Antimon Yatakları [43]

Ruhsat sahasında (Şekil 21) üretilen tüvenan cevher işlenerek yurt içi ve yurtdışındaki antimon talebini karşılamaktadır. Ruhsat alanı 5940,77 hektardır.



Şekil 21. Sicil 34412 numaralı ruhsata ait Google Earth görüntüsü

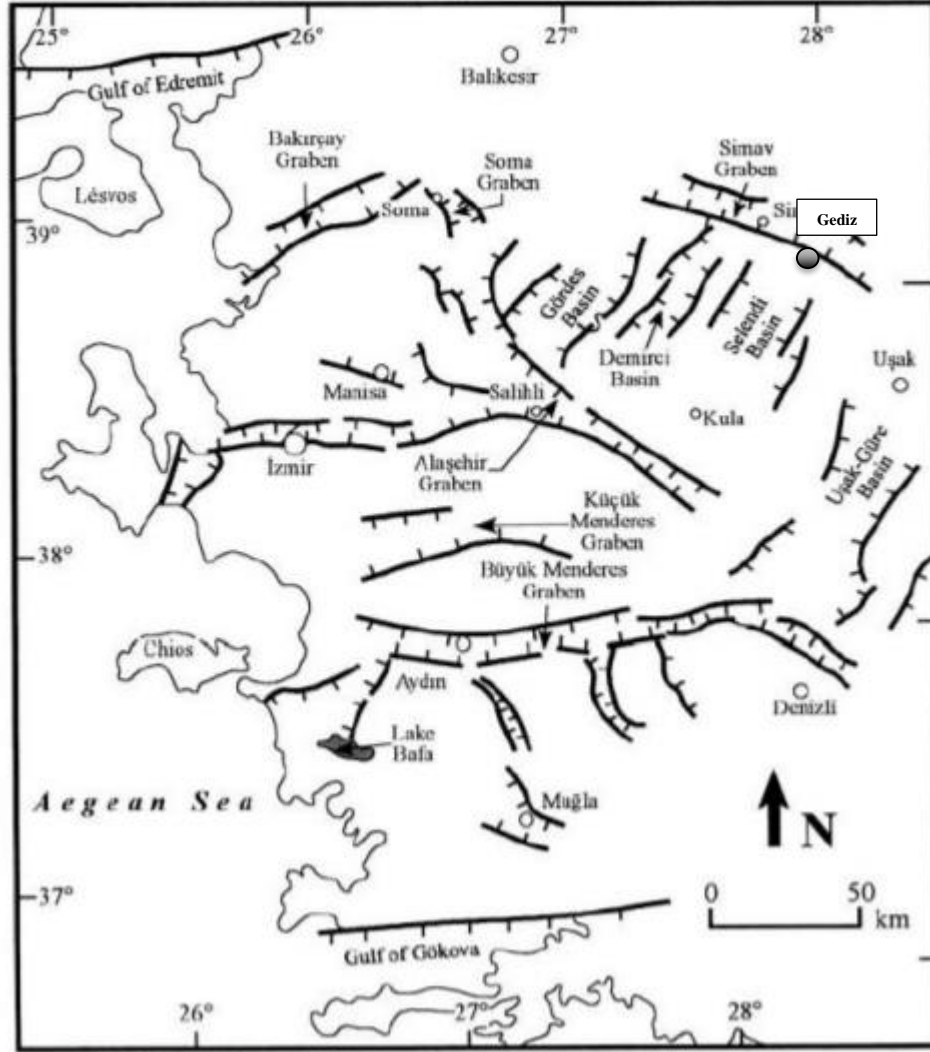
Ruhsat sahası yükselti haritası incelendiğinde (Şekil 22) ruhsat alanı engebeli araziden oluşmaktadır. Yükselti ise 800 ile 2150 kotu arasında değişmektedir. Cevher üretiminin yapıldığı yerler genel olarak tepelerin yamaçlarındadır. Üretim çalışmalarının yürütüldüğü alanlar Şekil 22’de sarı poligon içerisinde gösterilmektedir.



Şekil 22. Ruhsat Alanı ve Çevresinin Yükselti Haritası [44]

5.2.Bölgesel Jeoloji

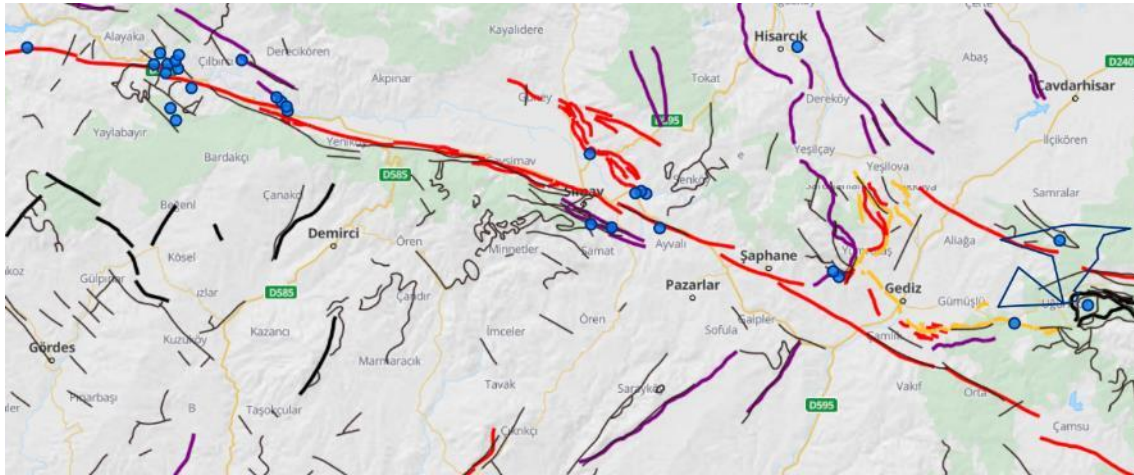
Cebrail ruhsat sahası Batı Anadolu grabenlerinden biri olan Simav grabeninin doğu kesiminde yer alır. Simav grabeni, batıda Sındırgı'dan doğuda Murat Dağı'na kadar Simav nehri boyunca KB-GD yönünde yaklaşık 150 km uzanır (Şekil 23).



Şekil 23. Batı Anadolu'nun ana yapısal öğelerini gösteren jeoloji haritası [45,46]

Menderes Masifi bölgesinde temel birimleri yeşil şist-amfibolit fasiyesi gnaysşist-mermer ardalanmaları ile metagranitler oluşturmaktadır [47]. Temel birimler üzerine kumtaşı, kıltaşı, şeyl ve yer yer dolomitize kireçtaşlarından oluşan daha yaşlı birimler gelmekte ve bu birimler, Dağardı melanjı tektonik olarak üzerlenmektedir [48-53].

Simav grabeni boyunca, bol miktarda ve çok çeşitli cevherleşmeler görülür. Epitermal oluşumlu metal, civa ve antimon cevherleşmeleri, damar tipi metalik cevherleşmeler, porfiri Cu-Mo cevherleşmeleri, hidrotermal oluşumlu kaolen ve alunit yatakları örnek olarak verilebilir. Metalik cevherleşmelerin kökeni Simav fayına yarı paralel kırklar içerisine yerleştiği düşünülmektedir. Bölgedeki birçok epitermal cevherleşme, transfer fayları üzerinde depolanma yeri bulmuştur [54]. Simav grabeni boyunca uzanan diri fay Şekil 24’te gösterilmektedir.



Lejand	
	Deprem Yüzeği Kırığı
	Holosen Fayı
	Kuvaterner Fayı
	Olası Kuvaterner Fayı veya Çizgisellik
	Sınıf Ayırmaksızın Maden Ocağı

Şekil 24. Simav grabeni boyunca görülen faylar ve alan üzerindeki sınıf ayırımı olmaksızın maden ocakları [55]

5.3.Stratigrafi

Çalışma alanı temel olarak içinde şist, kuvarsit, kireçtaşı ve fillitleri barındıran Baybuyan Formasyonu’ndan oluşmaktadır. Baybuyan Formasyonu üzerinde mermerlerden ve dolomitik mermerlerden meydana gelen Arıkaya Formasyonu yer almaktadır. Arıkaya Formasyonu üzerinde çakıltası, kumtaşı, şeyl ve kireçtaşlarından meydana gelen Kırkbudak Formasyonu bulunmaktadır. Kırkbudak Formasyonu üzerinde dolomitik kireçtaşları ve rekristalize kireçtaşlarından meydana gelen Çiçeklikaya Formasyonu yer almaktadır. Çalışma alanında, özellikle cevher barındıran lisvenitik zonlarıyla dikkati

eken Murat Dağı Melanjı, ieklikaya Formasyonu üzerinde yer almaktadır (Şekil 25) [56].

Murat Dağı'nın güney yamaçlarında mostra veren Baklan graniti yukarıda bahsedilen tüm birimleri kesmektedir. Murat Dağı Melanjı üzerinde çakıl ve bloklarını içeren Kllcetepe (Krtky) Formasyonu yer alır. Kumtaşı, akıltaŐı, marn, killi kireçtaşlarından meydana gelen Yeniköy Formasyonu, Kllcetepe Formasyonu üzerinde bulunur. Aglomera, andezit vb. birimlerden meydana gelen Karacahisar Volkanikleri, yamaç molozu ve alüvyon birimlerin meydana gelir ve tüm birimlerin üzerini rtir [56].

5.3.1.Paleozoyik

Sahadaki Paleozoyik birimler, Baybuyan formasyonu olarak adlandırılan Şistlerle, bunların üzerinde yer alan Arıkaya formasyonu olarak adlandırılan kristalize kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır [57,58].

5.3.1.1.Baybuyan formasyonu

Formasyon adını Murat Dağı'na yakınındaki Baybuyan Deresi'nden almıŐtır. Őistlerin yoğunlukta olduğu ve kıvrımlı bir yapı gösteren kuvarsit ve fillit ara seviyeli yaygın muskovitŐistlerden oluŐmuŐtur [58].

5.3.1.2.Arıkaya Formasyonu

Bu Formasyon, kristalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşmaktadır. İlk olarak Akdeniz ve Konak isimlendirilmiştir [58].

5.3.2.Mezozoyik

Sahadaki Mesozoyik birimler Bingöl [57]'e göre, yeşil Şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiŐ birimlerden oluşan Kırkbudak formasyonu ile dolomitik kireçtaşlarından oluşan Çiçeklikaya formasyonudur [58].

5.3.2.1.Kırkbudak Formasyonu

Günay ve diğ. [58] Murat Dağı bölgesinde yaptıkları çalışmada bu formasyonu incelemiş, litolojisinin metaçakıltası, metakumtaşı, metagrovak, şeyl ve kireçtaşı mercceklerinden oluştuğunu belirtmişlerdir.

5.3.2.2.Çiçeklikaya Formasyonu

Çiçeklikaya formasyonu, kristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitlerden meydana gelmektedir. Birimi ilk olarak, Bingöl [59] “Çiçeklikaya kireçtaşı” adıyla incelemiştir [58].

5.3.2.3.Muratdağı Melanjı

Murat Dağı melanjı, ilk olarak Bingöl [59] tarafından isimlendirilip incelenmiştir. Birim başlıca serpantinit yoğunlukta olmak üzere, dunit ve granatamfibolitlerden oluşmaktadır. Muratdağı melanjında yaygın olarak bulunan serpantinitler yeşilden gri ve siyaha, kahverengiden kırmızı tonlarına kadar değişik renklerde bulunabilir. Yer yer masif görümlü olup, yer yer de ince ya da kalın yapraklanma gösterirler, genellikle yağimsi parlaklıktadırlar [44,58].

5.3.3.Tersiyer

5.3.3.1.Baklan Graniti

Baklan Graniti ilk kez Bingöl [57] tarafından isimlendirilmiştir. Baklan Graniti'nin birçok cevherleşmeye neden olduğu eski çalışmalarda belirtilmiştir. Muratdağı çevresinde bulunan tek plütonik kayaç Baklan Graniti'dir [56].

5.3.3.2.Küllücestepe formasyonu

Küllücestepe formasyonu, Muratdağı melanjına yakın bölgelerde gözlemlenmiştir. Bu formasyon farklı renklerde ofiyolitik kökenli çakıllardan oluşmaktadır [60].

5.3.3.3Yeniköy Formasyonu

Yeniköy formasyonu temel olarak konglomera, kumtaşı, killi kumtaşı, kumlu kiltası ve kiltası birimlerinden meydana gelmiştir [60].

5.3.3.4.Karacahisar Volkanitleri

İlk olarak Bingöl [59] tarafından Karacahisar volkanitleri olarak isimlendirilmiş ve incelenmiştir. Bu birim temel olarak riyolit, dasit ve tuf/tüfitlerden oluşmaktadır.

Ruhsat sahası içinde mostrası bulunmayan bu volkanikler, antimon cevherleşmesinin oluşumu ile ilişkili olmaları nedeniyle önemlidir. Yeniköy formasyonunu üzerinde bulunan bu birim bölgedeki antimon ve cıva oluşumları, bu volkanizmanın riyolitik fazı ile ilişkilendirilmektedir [44].

5.3.3.5.Hisarcık Formasyonu

Killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Ruhsat sahasının en batı sınırında mostra vermektedir.

5.3.4.Kuvaterner

Dere alüvyonları ve yamaç molozlarından oluşur.

5.4.Ruhsat Sahası Jeolojisi

5.4.1.Şistler

Yörede en altta bulunan ve en yaşlı gözükten litolojik birimlerdir. Genellikle gevşek dokulu, şistozite düzlemleri iyi gelişmiş, mavimsi renkli kayalardır. Fay zonlarının ve özellikle cevherleşmelerin yakınlarında ileri derecede bozdukları ve sarı- kahverengi renkli, toprağımsı görünümlü tamamen kalsitten ibaret bir bozunma ürününe dönüştükleri gözlemlenmektedir. Bu bozunma ürünleri içinde yer yer hapsolmuş antimonit kristalleri gözlemlenmektedir [61].

5.4.2.Mermerler

Topoğrafik olarak yüksek yerlerde, şistler üzerinde güzel dağılmış bloklar şeklinde gözlemlenmektedir. Genellikle ince bantlı, iyi kristallenmiş, sert ve grimsi beyaz renkli kayalardır [59,61].

5.4.3.Karşaka Tepe Çökelleri

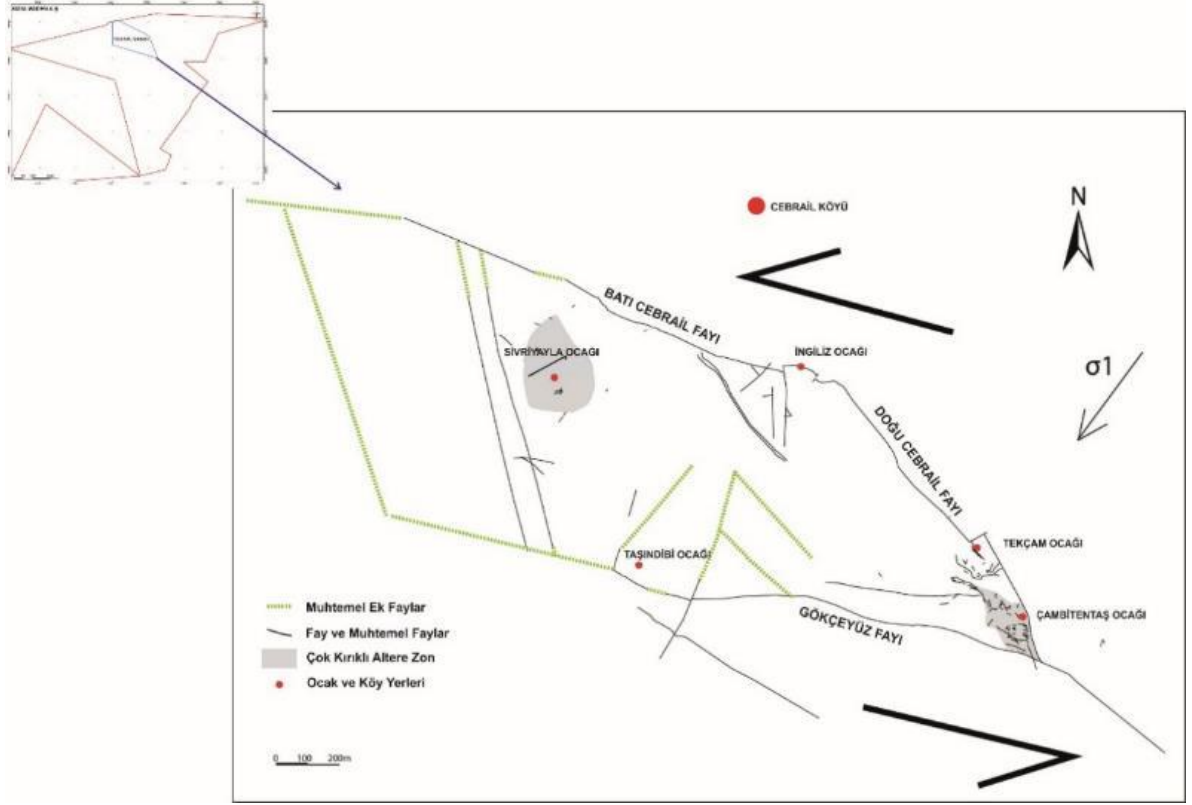
İnceleme alanının kuzey kesiminde gözlenen daha kuzeye gidildikçe genişleyerek yayılan kirlili beyaz renkli çökellerdir. Genellikle ince ve tabakalı yataya yakın konumlu, marn-kiltaşı araldanması ile kireçtaşı ve tuf oluşmuşlardır [61].

5.4.4.Mermer Çakılı Yığılımları

Bu tür yığılımlar inceleme alanı içindeki mermer bloklarının önlerinde ve altlarında görülmektedir. 5-20 cm büyüklükte ve köşeli mermer çakıllarının gelişi güzel bir şekilde bir araya yığılması ile oluşmuşlardır. Taneler arası çimentolanma çok az ve/veya hemen hemen hiç yoktur gibidir [61].

5.4.5.Kolüvyonlar

Silisli travertenlerin önünde gelişen az eğimli yerlerde özellikle travertenden ve mermerlerden oluşan, 2 metreye varan büyüklüklerde, herhangi bir boylanma ve tabakalanma göstermeyen yamaç döküntüleridir [61].



Şekil 27. CebraİL yöresi KB-GD yönlü ana tektonik hatlar [44]



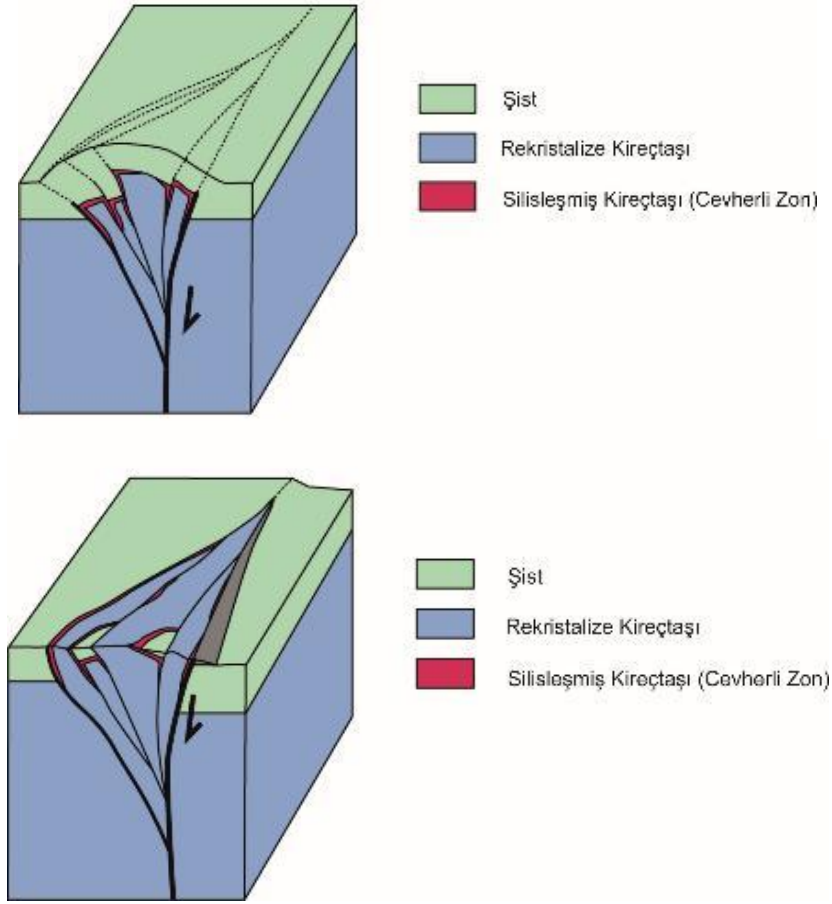
Şekil 28. CebraİL yöresi KB-GD yönlü ana tektonik hatların Google görüntüsü

5.6.Maden Jeolojisi

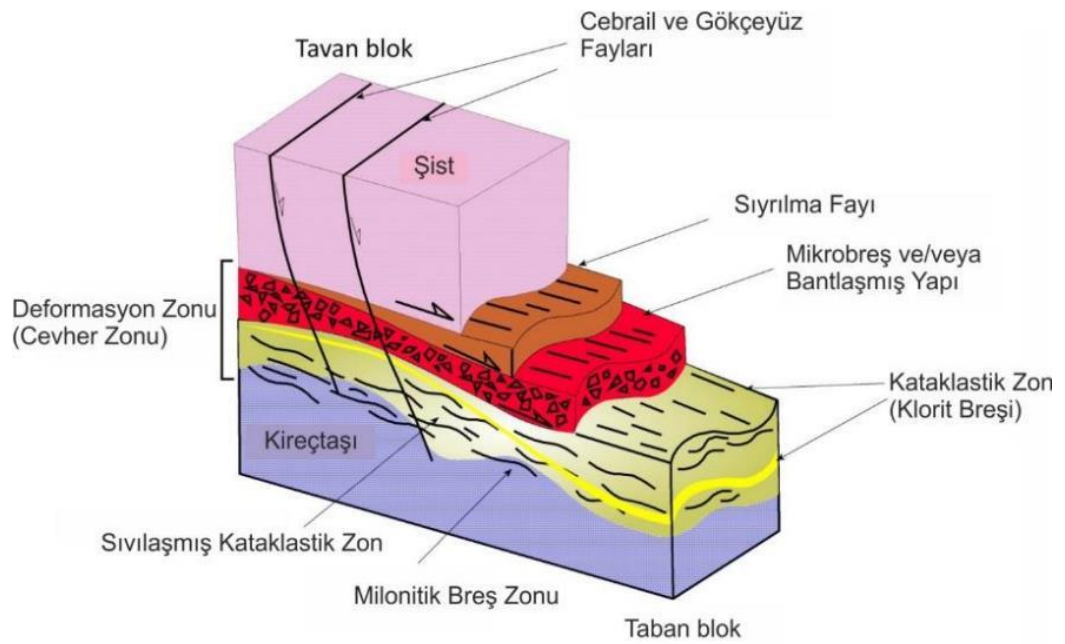
Ruhsat sahasının içinde bulunduğu Muratdağı bölgesi, Türkiye'nin önemli antimon yataklarını barındırmaktadır. Ruhsat sahasındaki antimon cevherleşmesi, ana graben fayları ve bunlarla kesişen tali faylarla ilişkilidir. Sahada doğu-batı ve kuzeybatı-güneydoğu yönlü kırıklar ile yaklaşık kuzey-güney yönlü kırıklar cevherleşmeyi kontrol eden önemli kırık hatları olarak ortaya çıkmaktadır. Ruhsat sahasının kuzey kısmında, Cebrail köyü yöresinde yaklaşık KB-GD yönlü uzanan Cebrail fayı ve yaklaşık D-B yönlü uzanan Gökçeyüz fayı, bu yöredeki cevherleşmeyle ilişkili ana faylardır. Ayrıca, sahadaki Muratdağı Melanjının yerleşimi ve daha sonraki grabenleşmeye kadar olan süreç içinde yörede gelişen düşük açılı fay zonları da (sıyrıma fayları, ters faylar) cevherleşmenin yoğun olduğu yapılarıdır [44].

Yöredeki antimon cevherleşmeleri, graben tektoniği ile ilişkili olarak, asidik volkanik faaliyetler sonucunda oluşan, yüzeye yakın ve düşük ısıli hidrotermal (epitermal) cevherleşmedir. Cevher derinden gelen akışkanlarla yüzeye taşınmış olabileceği gibi, gelen akışkanların yan kayaçları yıkayıp, çok düşük değerlerdeki antimonu konsantre etmeleri ile de oluşabilmektedir [44].

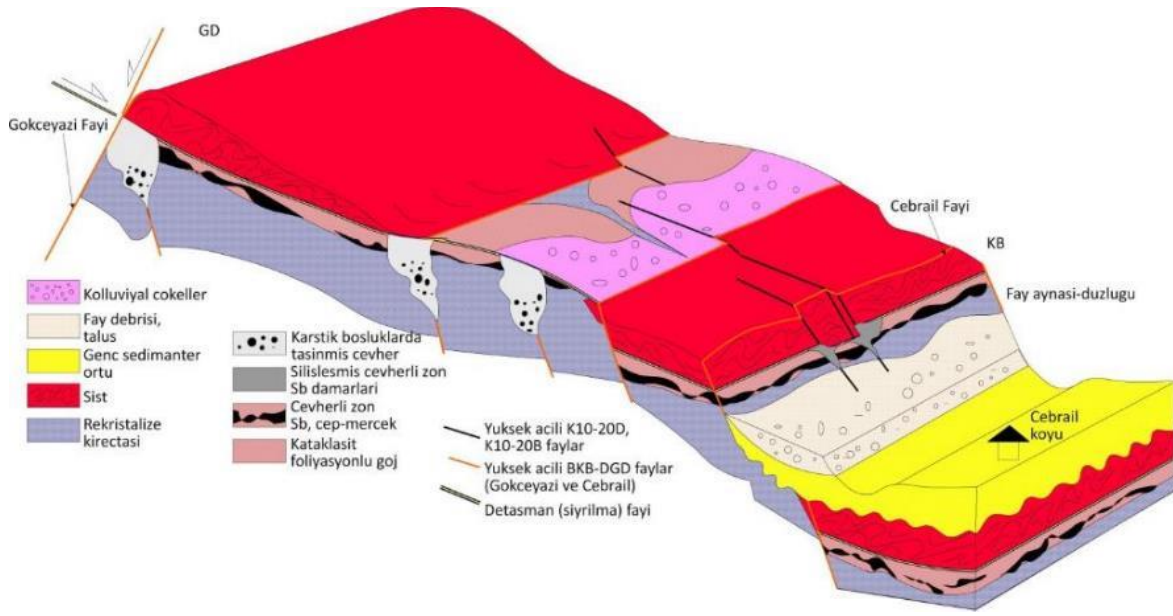
Cevherli hidrotermal çözeltiler faylar boyunca yükselerek, yapısal ve litolojik kontroller ile sahaya yerleşmiştir. Genelde çökelme için karbonatlı kayaçları tercih eden cevherli çözeltiler, yer yer de diğer litolojik birimler içindeki çok kırıklı zayıflık zonlarını tercih etmiştir. Ayrıca, yükselen çözeltiler geçirimsiz bir ortam ya da geçirimsiz bir litolojik birime rastladıklarında bu alanlara da yerleşebilmektedirler. Bu tür yerleşim yerlerindeki cevherler, genelde üstlerindeki birimin veya üstteki silisleşmiş zonun kapak görevi görmesi ile, oldukları yerlere yayılarak, buralarda cevherli geniş yayımlı, değişken tenörlü zonlar oluştururlar. Antimon cevheri bu zonlarda çoğunlukla santimetre çapından, metre boyutuna kadar ulaşabilen yüksek tenörlü yumrular şeklindedir. Şekil 29,30 ve Şekil 31 'de verilen şematik oluşum modellerinde, cevherli zonlar gösterilmiştir. Kireçtaşı içindeki kırık ve çatlaklara yerleşen cevherleşmelerin oluşturduğu zonlar genelde sahadaki ana doğrultulara (KB-GD, D-B ve K-G) paralel hatlar üzerindedir [44].



Şekil 29. Cebrail yöresi antimon cevherleşmesi şematik oluşum modeli [44]



Şekil 30. Sıyrıma faylarının oluşturduğu zonlardaki cevherleşme modeli [44]



Şekil 31. GD-KB yönlü sıyrılma fay zonunu gösterir şematik kesit [44]

5.7.Cevherleşmenin Yerleşim Şekli

Kırık ve çatlaklarda silisli, kalsitli ya da baritli zonlarda, saçınımlar şeklinde olan cevherleşmeler ve geçirimsiz dokanak zonu veya tektonik ortamlarda da yüksek tenörlü blok ya da yumrular şeklindeki cevherleşmelerde yaygındır. Yüzeğe yakın kırıklarla çatlaklarda, cevher yerleşiminden sonra tekrar hareket etmiş ortamlarda, kataklastik dokulu bloklarda, daha çok oksit mineralleri şeklinde görülmektedir. Ayrıca, antimom cevherleşmesi, yerleştiği kırıklar ya da dokanaklar içinde, düzensiz ve devamsız saçınımlar şeklindedir [44].

5.7.1.Alterasyonlar

Cevherleşmenin yan kayacı olan, metamorfik kayalarda (şistler ve kristalize kireçtaşlarında) hidrotermal alterasyonlar çok sınırlı gelişebilmektedir. Daha çok fay zonları, kırık ve çatlaklar ile dokanaklar boyunca alterasyonlar görülmektedir. Sahadaki alterasyonlar genelde silisleşme, karbonatlaşma, limonitleşme, hematitleşme ve killeşme şeklindedir.

5.7.2.Cevherleşmenin Mineral Parajenezi

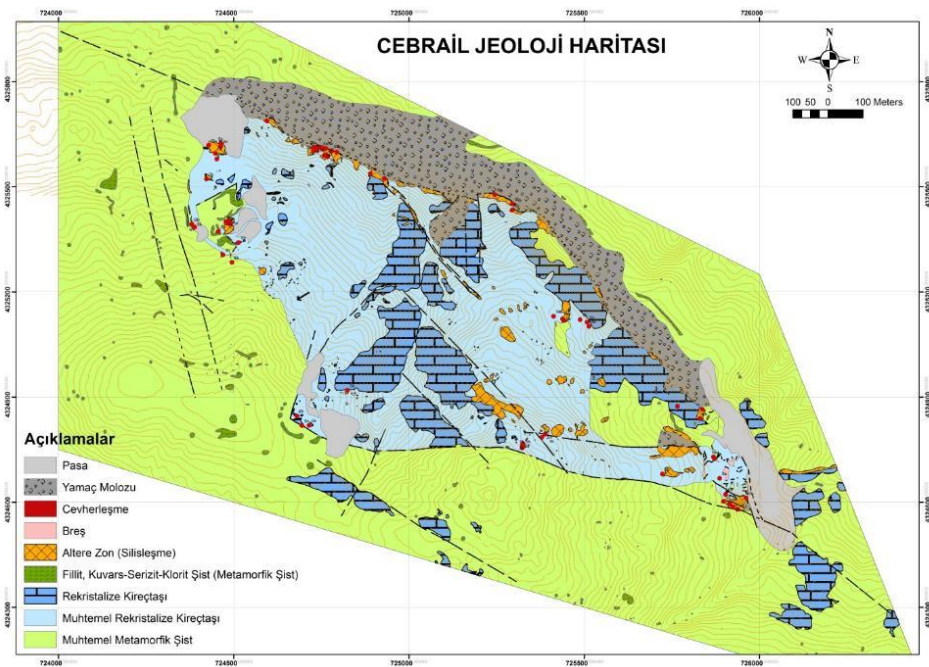
Mineral parajenezi; antimonit, az pirit ve markazitten ibarettir. İkincil oluşumlar olarak da antimon oksit mineralleri görülür. Yer yer cıva mineraline (zinober) rastlanır. Nadiren de bakır minerallerinden enarjit, tenantit, kovellin, malahit ve azurit vardır.

5.7.3.Gang Mineralleri

Gang mineralleri; kuvars, kalsit ve barittir. Gang mineralleri, antimon cevherleşmesi için farklı fazların göstergesi olabilmektedir. Örneğin, kuvars gangli cevher, ana fay zonlarında geniş yüzeylemeler verirken, barit gangli cevher daha çok ince kırık dolgularında görülür.

5.7.4.Cevherleşme

Antimon cevherleşmesi, kristalize kireçtaşlarındaki fay zonlarında, kırık ve çatlaklar ile, şistlerle olan dokanaklarında yer alır. Cevherleşme, silisli, kalsitli ve baritli ganglar içinde saçılmış, düzensiz ve devamsız kütleler veya kırık-çatlak dolguları/sıvamaları şeklinde yerleşmiştir. Antimonit minerali yanı sıra, karstik yerlerde ve dokanak zonlarına yerleşmiş cevherleşmelerde oksit antimon mineralleride yaygın olarak görülür [44]. Cebrail bölgesine ait jeolojik harita Şekil 32’de gösterilmektedir.



Şekil 32. Cebrail yöresi jeoloji haritası [44]

Ruhsat sahasında yapılan sondaj çalışmalarının çoğu Sivriyayla bölgesinde yapılmıştır. Bu alanda belirli aralıklarla sistematik şekilde yapılan sondajlar ile, şistler altındaki kireçtaşı dokanağı ve kireçtaşlarının üst zonları araştırılmıştır. Sondaj çalışmaları sonucunda, dokanaktaki antimon cevherleşmesinin tenör dağılımı ortaya çıkarılmış ve yüksek tenörlü yerler belirlenmiştir.

Cevher, kireçtaşındaki fay zonlarına ve üstte kapak görevi gören şistler altına (kireçtaşı dokanağına) yerleşmiştir. Dokanak boyunca, kireçtaşlarında silisleşmeler gelişmiştir ve bu silisleşmelerde cevher için kapak görevi görmüştür (Şekil 33-36).



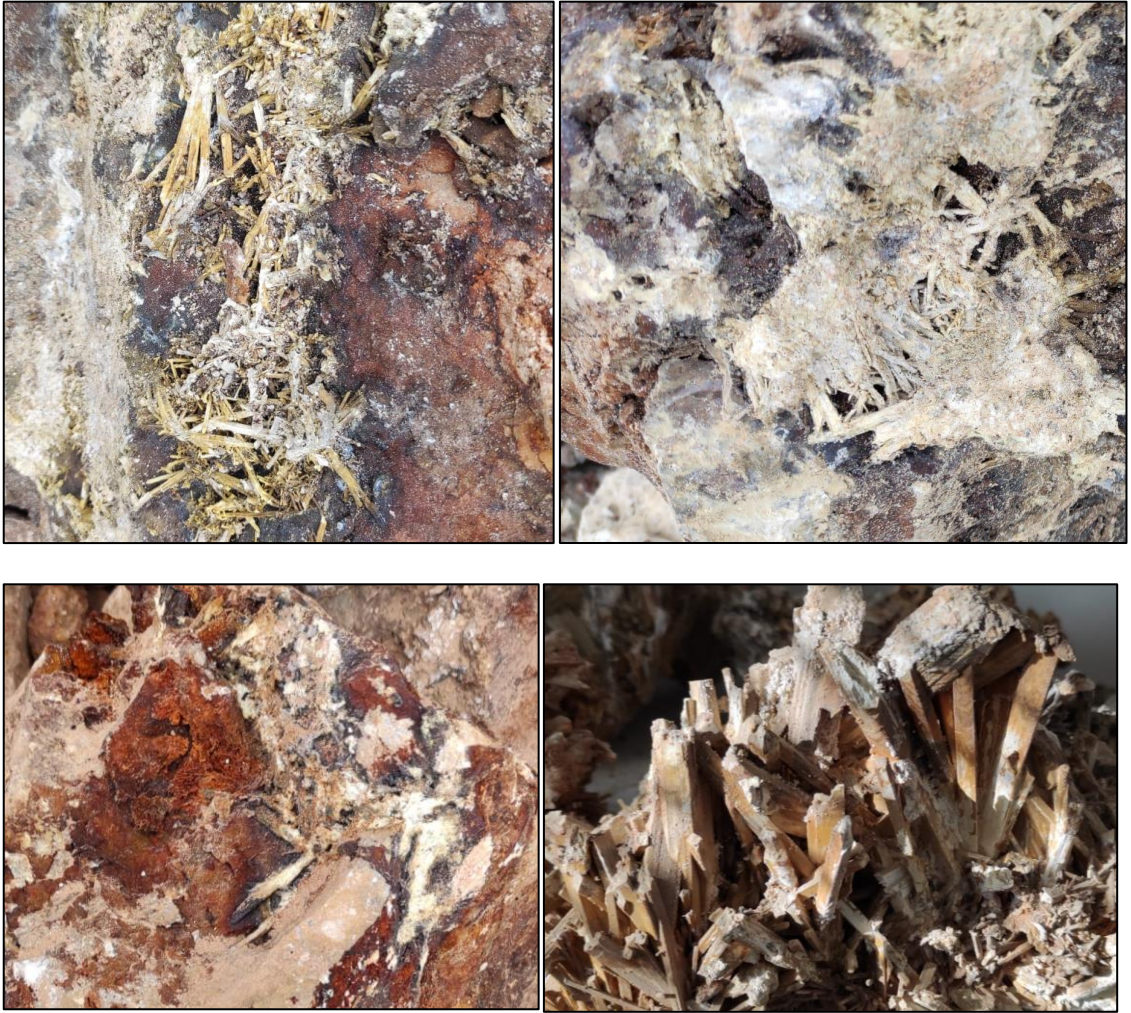
Şekil 33. Dokanak zonundaki antimon cevherleşmesi



Şekil 34. Sahada Üretilen Stibnit Cevheri



Şekil 35. Sahada üretilen oksitli cevher



Şekil 36. Sahada görülen farklı türdeki cevherleşmeler

6.CEBRAİL SAHASININ MADEN KAYNAK KESTİRİMİ

Maden Kaynak modelleme süreci dört temel aşamaya ayrılabilir:

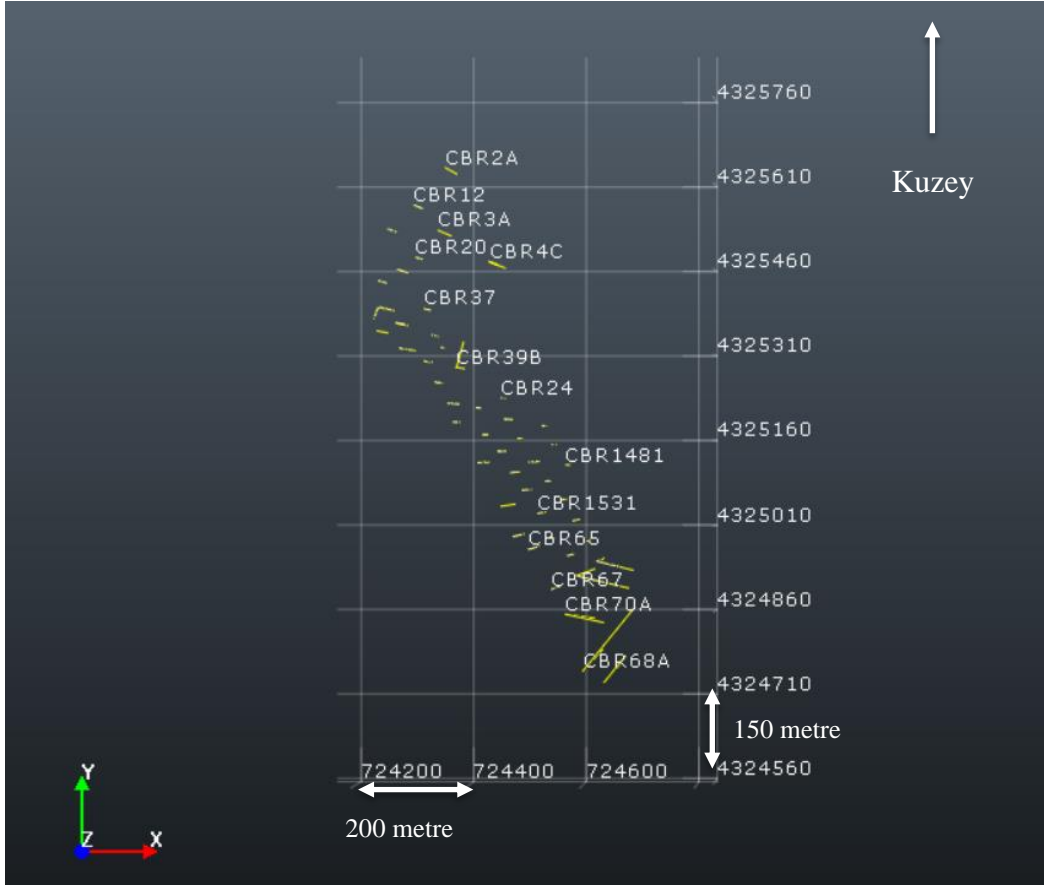
- 1) Veri tabanı oluşturma,
- 2) Jeolojik katı modelleme,
- 3) Blok modelleme-tenör kestirimi
- 4) Ekonomik üretimin değerlendirilmesi-kaynak model [62]

Sahada yapılan 95 adet sondajdan alınan karotlardan 3002 adet kimyasal analiz yapılmıştır. Bu bölümde belirlenen alan içindeki sondajlara ait verilerin tanımlayıcı istatistiksel analizi yapıldıktan sonra, variogram analizi, jeolojik katı model oluşturma, blok model oluşturma, çapraz doğrulama testi, ortalamasız krigleme yöntemi ile tenör kestirimi ve son olarak tenör tonaj eğrisi hesaplanacaktır. Tanımlayıcı istatistiksel analiz işleminde ham ve kompozit verilerinin özet istatistiği (en düşük, en yüksek, ortanca, standart sapma vb.) hesaplanır. Verilerin dağılımı (basıklık ve çarpıklık vb.) incelenir. Sonraki aşamada ham veriler, kalınlık verilerine uygun uzunluk seçilerek kompozitleme işlemi yapılır. Ham veriler ile kompozit istatistikleri karşılaştırılır. Eğer kompozit ortalaması ile ham örnekler ortalama tenör değerinde büyük fark varsa yapılacak kestirim işlemi hatalı olur ve yeniden kompozitleme işlemi yapılması gerekir. Kompozitlemeden sonra variogram analizi yapılır. Deneysel ve model variogram grafikleri çizilerek külçe, eşik ve yapısal uzaklık değerleri düşey ve yatay yönde hesaplanır. Sınır tenörün üzerinde kalan cevherli alanlar yapısal uzaklık değeri dikkate alınarak kesitler çizilir. Kesitler birleştirilerek jeolojik katı model oluşturulur. Cevherleşme sınırlarına göre blok boyutlarına karar verilir daha sonra katı model sınırları içerisinde kalacak şekilde blok model oluşturulur. Variogram değerleri (Eşik değeri, külçe değeri ve yapısal uzaklık) dikkate alınarak ortalamasız krigleme ile kestirimi yapılır ve çapraz doğrulama işlemi ile kestirim işlemi doğrulanır. Kestirim yapıldıktan sonra kestirilen cevherin hacmi ve ortalama tenörü bellidir. Bu verilerden tenör-tonaj eğrileri türetilir.

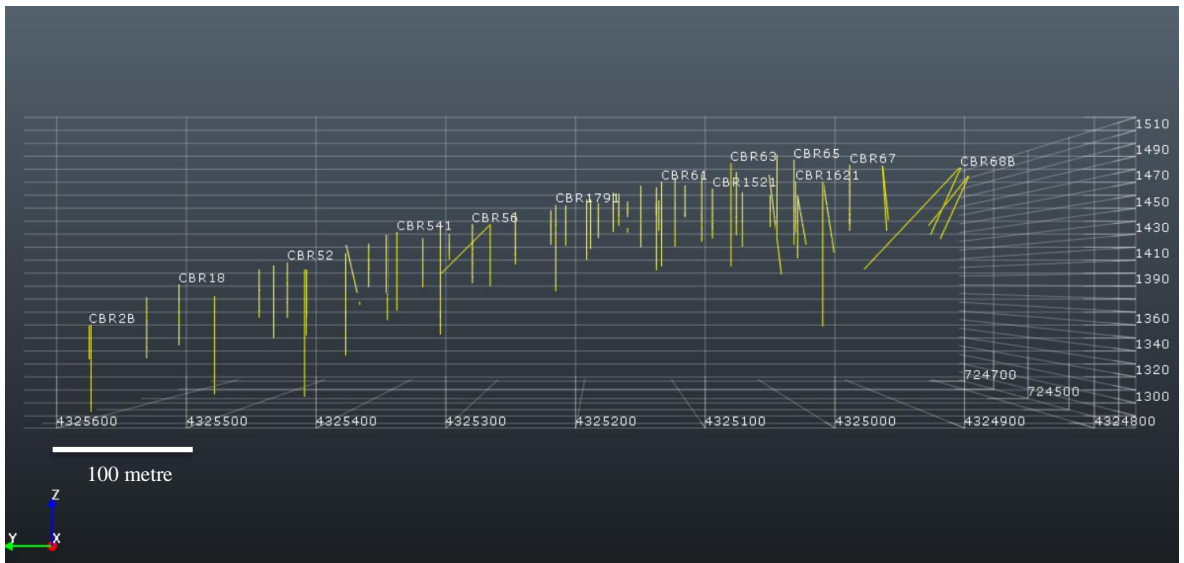
6.1.Sondaj Verilerinin Özellikleri ve Konumları

Ruhsat sahasının farklı bölgelerinde toplam 95 adet karotlu sondaj yapılmıştır. 7257 metre karot alınmıştır. Karotlardan alınmış toplam 3002 adet numune analiz edilmiştir.

Sondajlar arası ortalama mesafe 45-50 metre arasında değişmektedir (Şekil 37 ve Şekil 38).

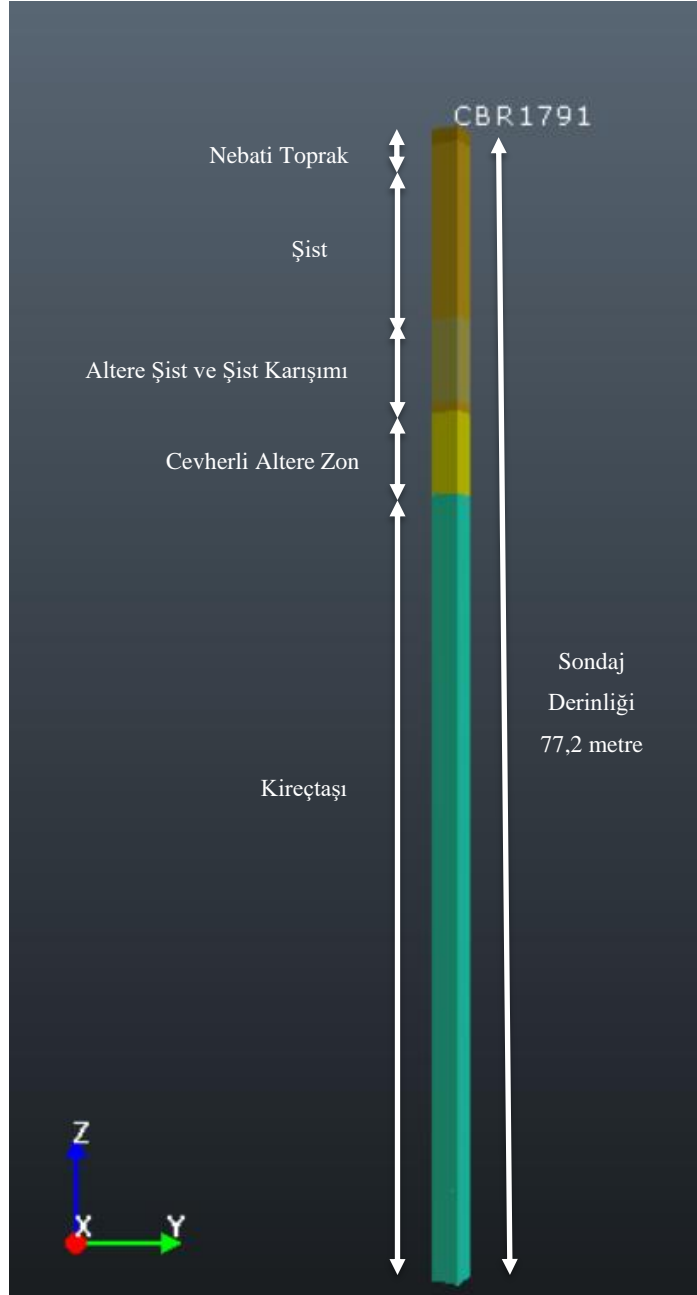


Şekil 37. Yapılan sondajların plan görünümü



Şekil 38. Sondajların YZ eksenindeki görünümü

Sahada dokanak zonu takibi yapılarak sondaj çalışması yapılmıştır. Bazı sondajlar litolojik birimleri daha net görebilmek için eğimli yapılmıştır. Topoğrafya orta derecede eğimlidir.



Şekil 39. Örnek sondaj görüntüsü

6.2.Tanımlayıcı İstatistiksel Bilgiler

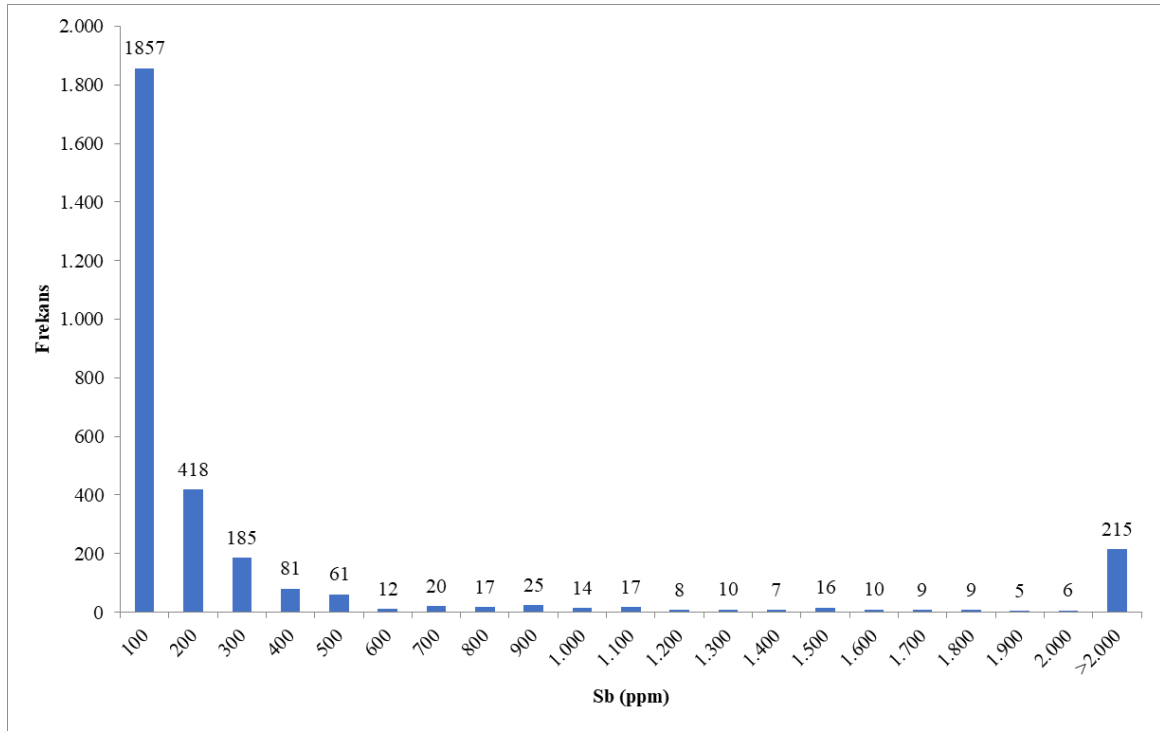
Yapılan analizler doğrultusunda ham örneklere ait istatistiksel bilgiler Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Ham verilerin tenör istatistikleri

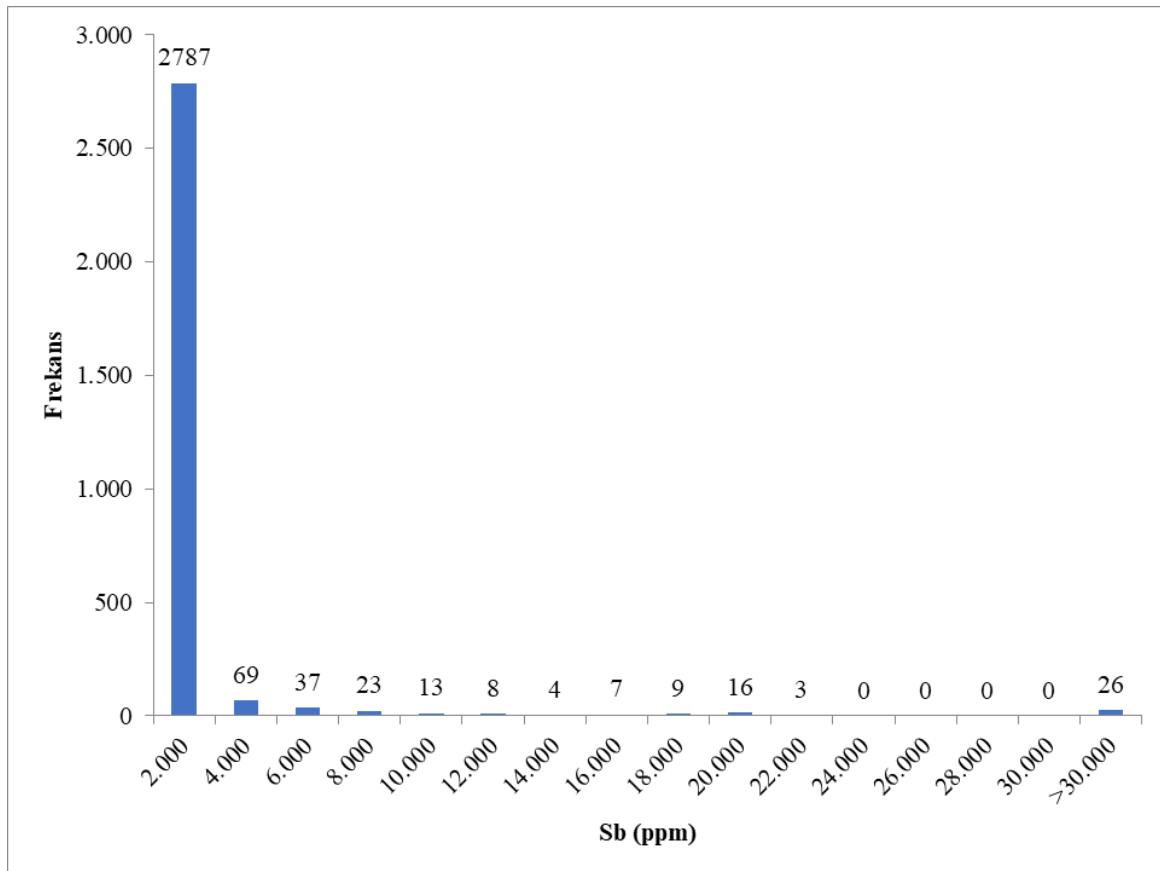
Ham verilerin Tenör İstatistikleri	
Veri sayısı (adet)	3.002
En düşük (ppm)	0,3
Ortalama (ppm)	1.881,8
Ortanca (ppm)	63
En yüksek (ppm)	576.800
Standart sapma	19.791,6
Varyans	391.707.430,56

Çizelge 9. Ham verilerin kalınlık istatistikleri

Ham veri Kalınlık İstatistikleri	
Veri sayısı (adet)	3.002
En düşük (metre)	0,15
Ortalama (metre)	1
Ortanca (metre)	1
En yüksek (metre)	22,2
Standart sapma	0,53

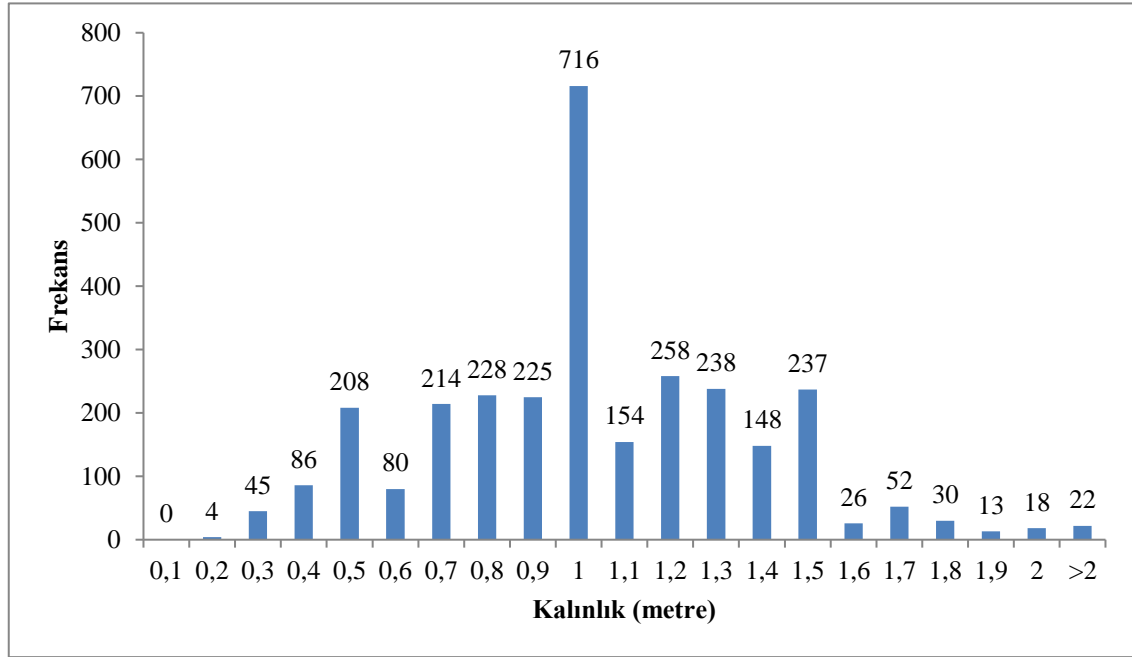


Şekil 40. Ham verilere ait 0-2000 ppm aralığındaki tenör değerlerinin histogramı



Şekil 41. Ham verilere ait tenör değerlerinin histogramı (>2.000 ppm)

Ham veri istatistikleri incelendiğinde sağa çarpık bir veri dağılımı olduğu görülmektedir. Verilerin büyük çoğunluğu 0-100 ppm arasında değişmektedir (Şekil 40 ve Şekil 41).



Şekil 42. Ham verilere ait kalınlık değerlerinin histogramı

Ham verilere ait numune kalınlık verileri incelendiğinde verilerin büyük çoğunluğu 1 metre civarında yoğunlaşmıştır (Şekil 42).

6.3. Aykırı Değer Tespiti

Ham verilere ait histogram incelendiğinde 30.000 ppm üzerinde 26 değer bulunmaktadır. Bu veriler, veri düzenini bozan çok yüksek değerlere sahiptir. Hesaplamalarda kaynak kaybı yaşanmaması için bu 26 değer 30.000 ppm değerine çekilmiştir.

6.4. Veri Tabanı Oluşturma

Maden kaynak kestiriminin ilk ve önemli bir aşaması birincil ve ikincil verilerin toplanması ve değerlendirmesidir.

Birincil veriler: jeolojik, jeokimyasal, jeofiziksel, topografik ve karot analiz verileri,

İkincil veriler: jeolojik projeksiyon, blok model ve sınır tenör gibi birincil verilerin yorumlanmasından türetilmiş veriler [62].

Veri tabanı oluşturma sırasında öncelikli olarak kaynak kestirimi yapılacak alan içindeki bu alandaki sondaj verileri kullanılarak NETPROMine programında kullanılmak üzere csv. uzantılı veri tabanı dosyası oluşturulmuştur.

Hazırlanan veritabanı için dört farklı ana başlıkta veriler hazırlanmalıdır. Bu dosyalar;

Sondaj Lokasyon Bilgileri (sondaj adı, x,y,z koordinatı, derinlik bilgileri)

Sondaja Ait Açık Bilgileri (sondaj adı, derinlik, azimut ve eğim bilgileri)

Litolojik Bilgiler (sondaj adı, formasyon giriş, formasyon çıkış, litoloji bilgileri)

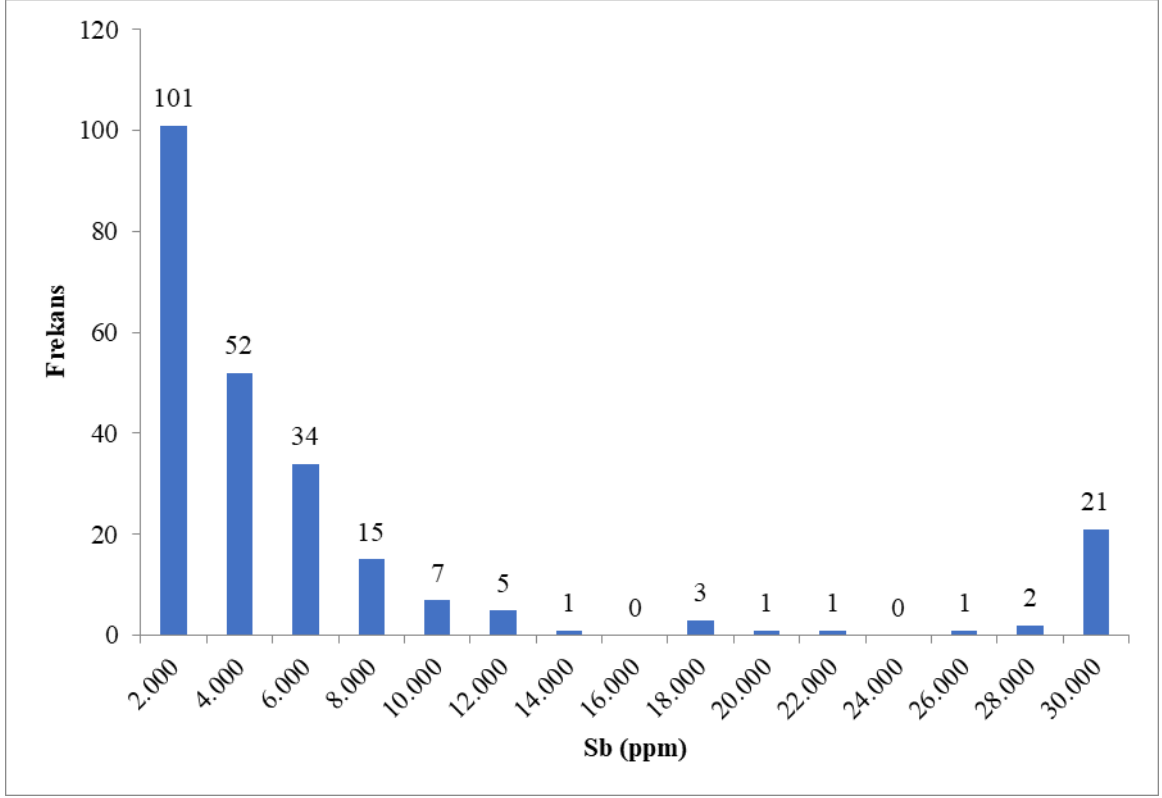
Ham Örneklem Bilgileri (Sondaj adı, örnek numarası, örnek derinliği giriş, örnek derinliği çıkış ve ppm değerleri)

6.4.1.Kompozitleme

Farklı uzunluktaki karotların analiz değerleri jeostatistiksel kestirimde doğrudan kullanılamaz. Uzunluk ağırlıklı ortalama kullanılarak analiz değerlerini eşit uzunluklara bölmek gerekmektedir. Bu işleme kompozitleme denir. Kompozit boyunun seçiminde öncelikli olarak ortalama örnek uzunluğu etkili olmaktadır [62,63]. Oluşturulan jeolojik model içindeki kompozitlerin istatistikleri ayrı olarak tutulmalıdır. Katı model içinde kalan kompozit istatistikleri ile blok model istatistikleri kestirimi doğrulamak için karşılaştırılacaktır. Ham verilerin istatistikleri incelendiğinde kalınlık değerleri ortalamasının 1 metre olduğu görülmektedir. Bu değer kompozit boyu olarak seçilmiştir. Katı model içinde kalan kompozitlere ait tenör verileri Çizelge 10'da gösterilmektedir.

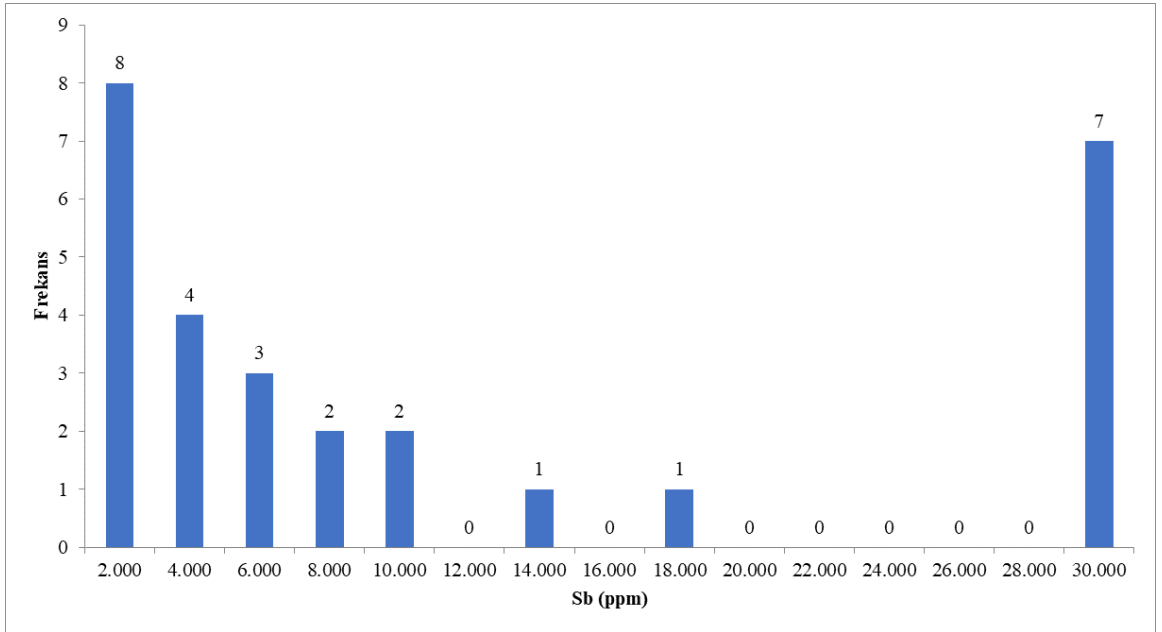
Çizelge 10. Katı Model içinde kalan kompozit verilerine ait tenör istatistikleri

	Tüm Zonlar	Yüksek tenörlü zon	Düşük tenörlü zon
Veri sayısı	244	28	216
En düşük (ppm)	3,8	597,2	3,8
Ortalama (ppm)	5.894,2	10.892,70	5.212,70
Ortanca (ppm)	2.500	4.490	2.405
En yüksek (ppm)	30.000	30.000	30.000
Standart sapma	838	1.445	815
Varyans	702.813	2.090.392	450.682



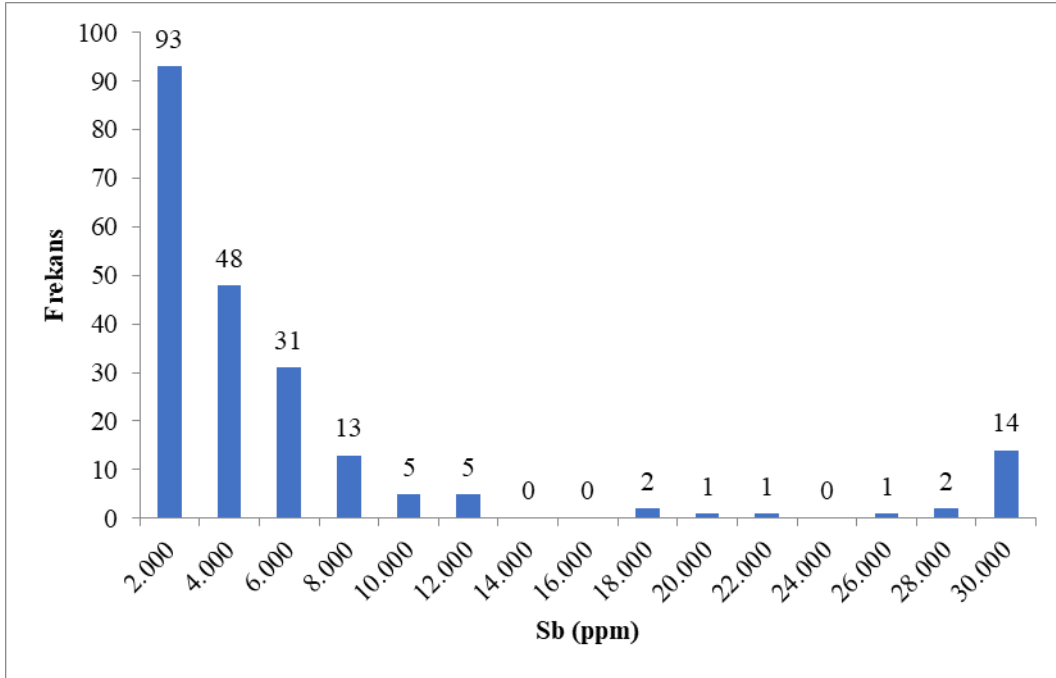
Şekil 43. Katı model içinde kalan kompozitlere ait tenör değerlerinin histogramı

Katı model içinde kalan kompozitlere ait tenör verileri incelendiğinde sağa çarpık bir dağılım gözlemlenmektedir (Şekil 43).



Şekil 44. Yüksek tenörlü zona ait tenör değerleri histogramı

Yüksek tenörlü zon verileri incelendiğinde sağa çarpık bir dağılım gözlemlenmiştir (Şekil 44). Tenör değerlerinde ani değişim gözlemlendiği için bazı düşük tenörlü veriler de yüksek tenörlü zon içinde kalmıştır ve düşük tenörlü verileri ayırma işlemi yapılamamıştır.



Şekil 45. Düşük tenörlü zona ait tenör değerleri histogramı

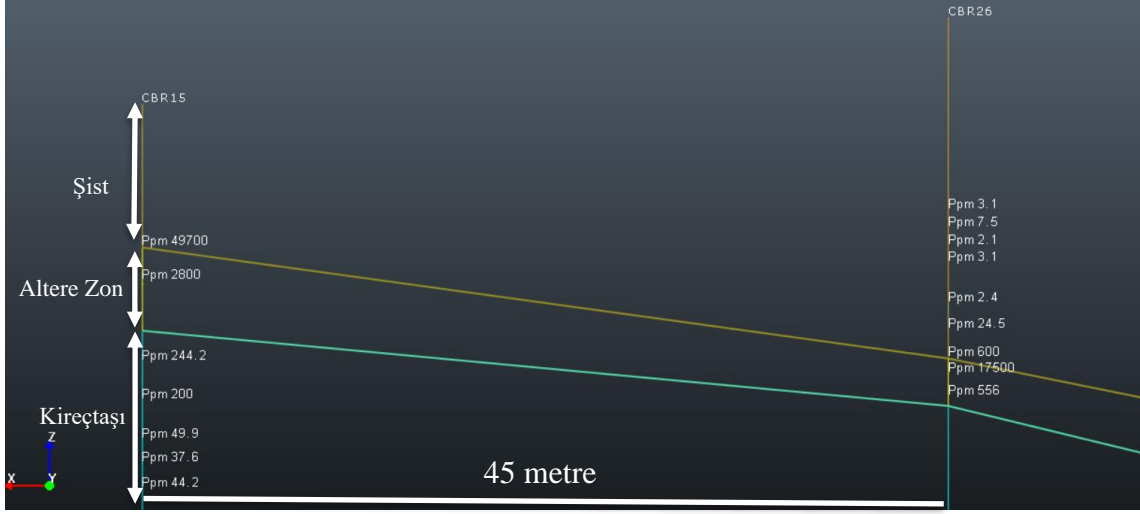
Düşük tenörlü zon verileri incelendiğinde sağa çarpık bir dağılım gözlemlenmiştir (Şekil 45). Tenör değerlerinde ani değişim gözlemlendiği için bazı yüksek tenörlü veriler de düşük tenörlü zon içinde kalmıştır.

6.5. Jeolojik Yorum ve Modelleme

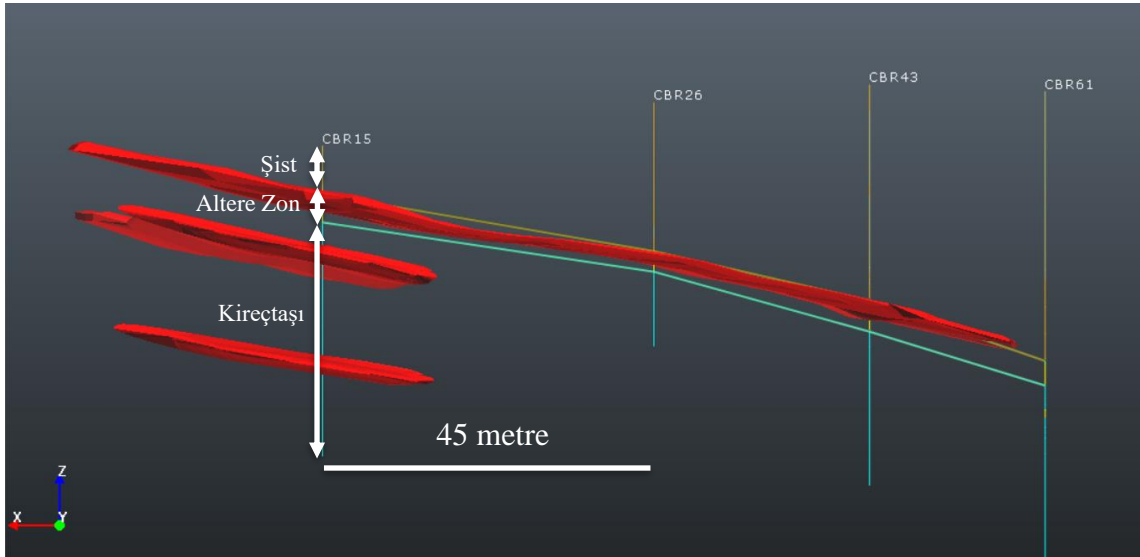
Öncelikli olarak litolojik veriler ışında sahadaki diğer tüm jeolojik bilgiler yorumlanarak kesitler oluşturulur. Daha sonra örneklem verileri programa eklenerek birbirine yakın tenör değerlerine sahip alanlar kestirim bölgesi olarak tanımlanır. Bu alanlardaki istatistiksel ve jeostatistiksel analizler ile desteklenir [63]

Sondaj logları ve analizler incelenmiştir. Öncel çalışmalardan cevherin genel olarak kireçtaşı ve şist dokanağındaki altere zonda ve kireçtaşı çatlaklarında yoğunlaştığı, genel olarak tabaka eğimlerinin ise 30-35 derece arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu bilgiler

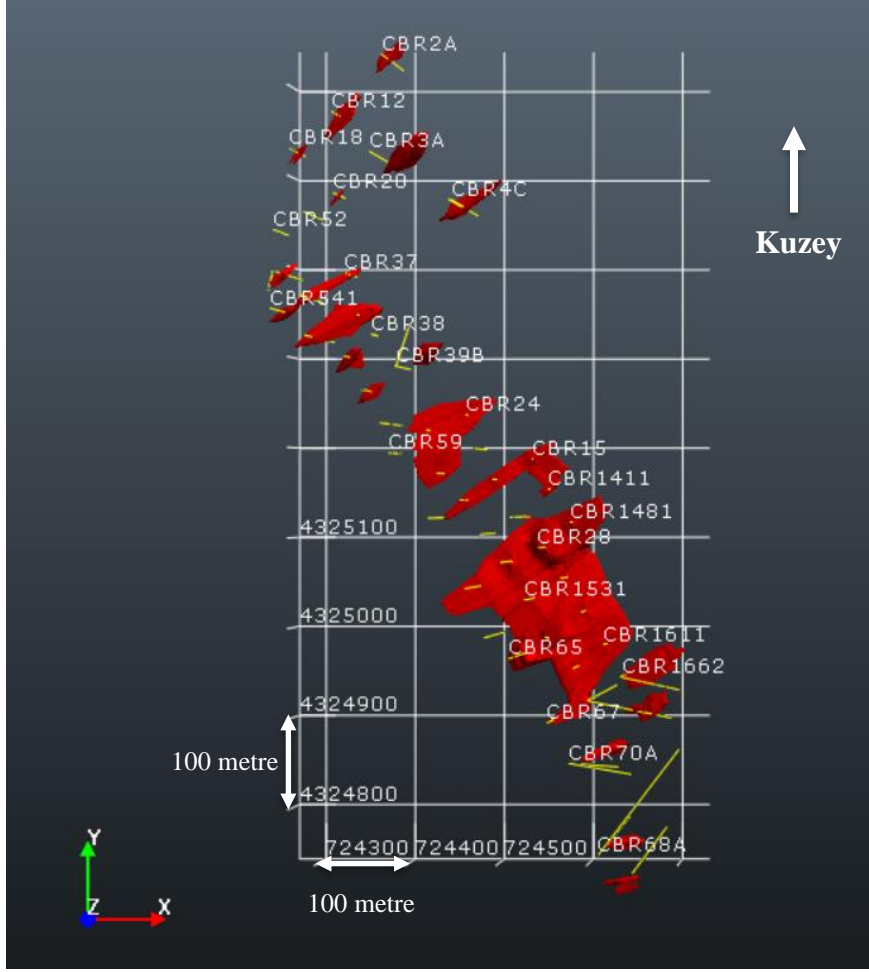
ışığında yüksek tenörlü bölgeler çizilerek kesitler alındıktan sonra katı model oluşturulmuştur (Şekil 46 ve Şekil 47).



Şekil 46. Litoloji ve analiz değerlerini gösterir örnek görüntü

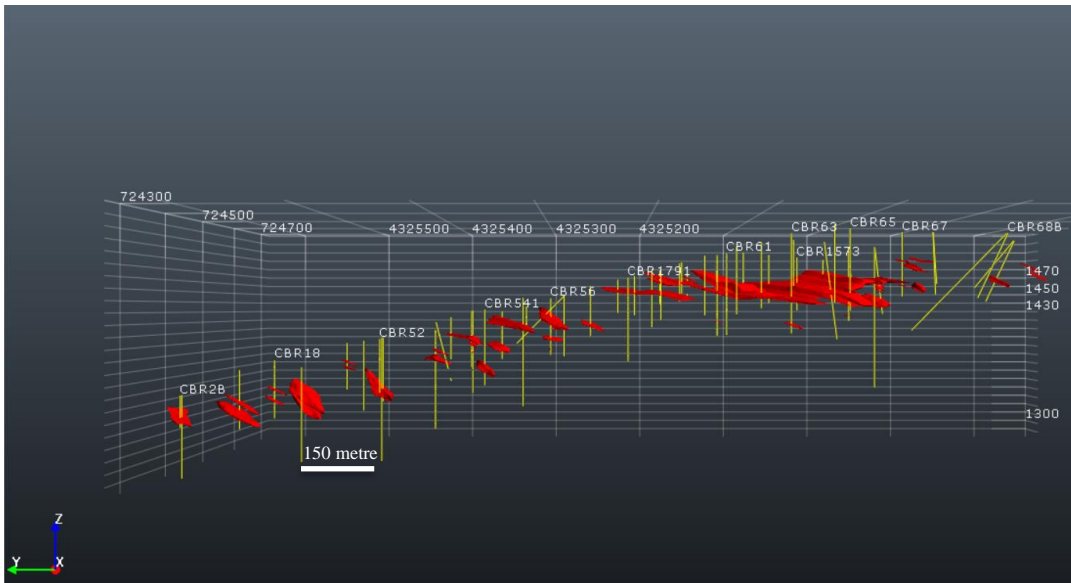


Şekil 47. Örnek kesit

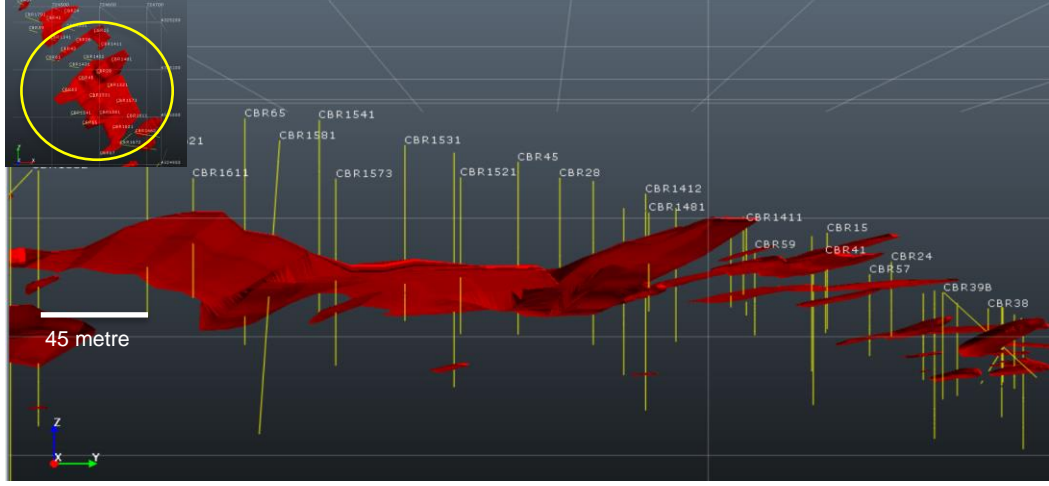


Şekil 48. Katı modelin plan görünümü

Kesitler kullanılarak 49 adet katı model oluşturulmuştur. Kesitlerin çiziminde yapısal uzaklık, analiz değeri ve jeolojik formasyon bilgileri dikkate alınmıştır (Şekil 48-50).



Şekil 49. Katı Modele ait YZ eksen görüntüsü



Şekil 50. Yüksek tenörlü zona ait katı modelin YZ ekseninde görüntüsü

6.6. Variogram Analizi

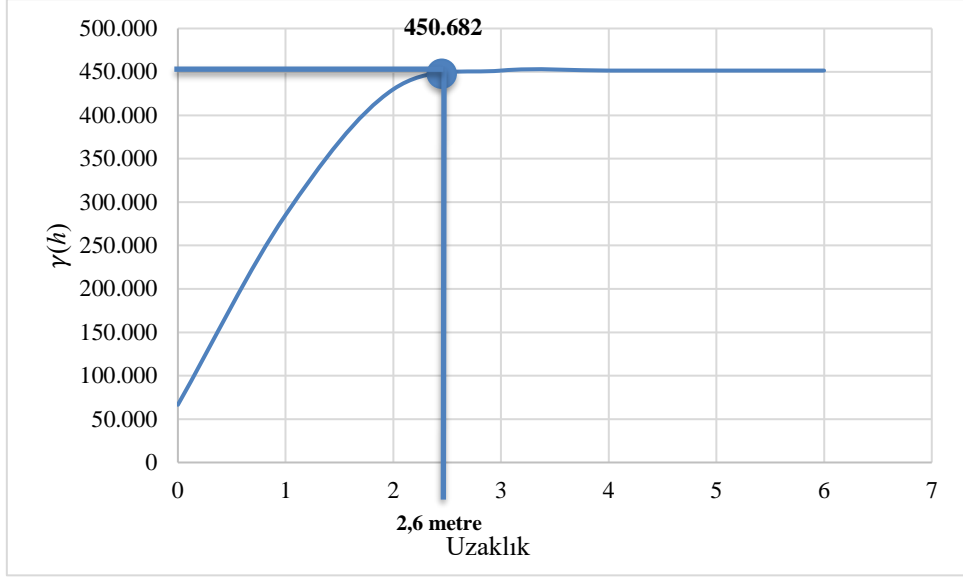
Variogram analizinde öncelikle düşey variogram hesaplanır. Külçe etki değeri, eşik değeri ve yapısal uzaklık belirlenir. Düşey yönde veri sayısı daha sık olduğu için kılavuz olarak bu yöndeki variogram değerleri kullanılarak yatay variogram hesaplanır. Daha sonra yatay yönlerde variogram hesaplanır ve türetilen variogramın doğrulama işlemi yapılır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda düşey variograma ait veriler Çizelge 11’te, bu parametreler kullanılarak oluşturulan model variogramlar Şekil 51 ve Şekil 52’de sunulmaktadır.

Yüksek zonda veri sayısının az olması nedeniyle variogramlar düşük tenörlü zonlar için hesaplanmıştır.

Çizelge 11. Düşey variogram parametreleri

Variogram Model Parametreleri	Düşey variogram
Model	Küresel
Külçe Etkisi	66.054
Eşik Değeri	384.628
Yapısal Uzaklık (m)	2,6

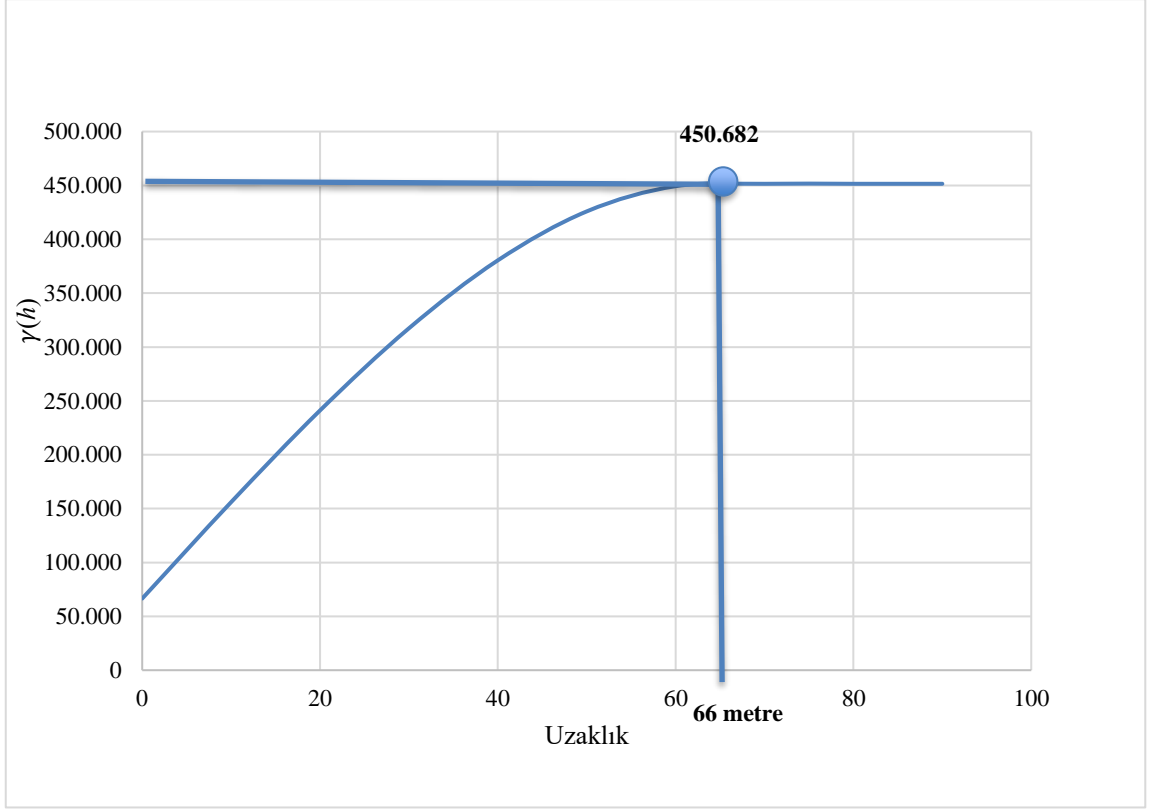


Şekil 51. Düşey variogram modeli

Yatay variogram hesaplamalarında anizotropi etkisine bakabilmek için genellikle 4 yönde variogram hesaplaması yapılır fakat bu sahada D-B yönünde sondaj sıklığının az olması sebebiyle sadece 130° yönünde yatay variogram hesaplanmış, anizotropi etkisi incelenememiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yatay variograma ait veriler Çizelge 12’de sunulmaktadır.

Çizelge 12. Yatay variogram parametreleri

Variogram Model Parametreleri	Yatay variogram
Model	Küresel
Külçe Etkisi	66.054
Eşik Değeri	384.628
Yapısal Uzaklık (m)	66 metre



Şekil 52. Yatay variogram modeli

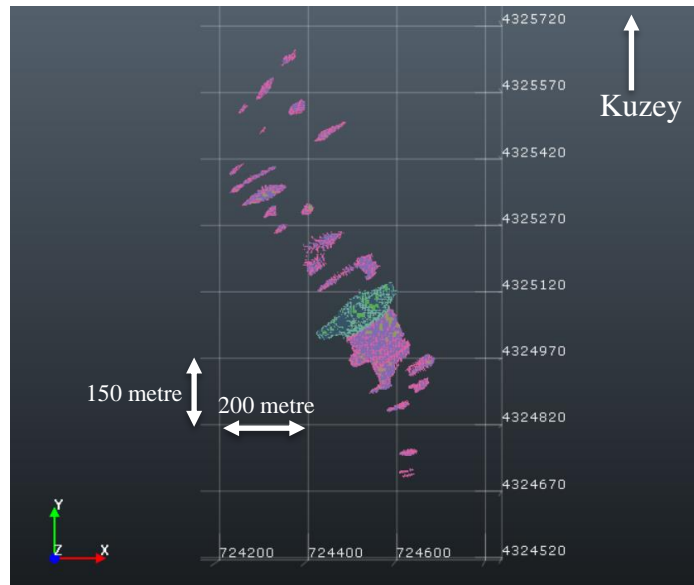
Hesaplanan yatay ve düşey variogramların doğrulanması gerekmektedir. Doğrulama işlemi için çapraz doğrulama testi yapılmıştır (Çizelge 13). Elde edilen sonuçlara göre yapılan çapraz doğrulama sonucu variogramın kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 13. Çapraz doğrulama sonuçları

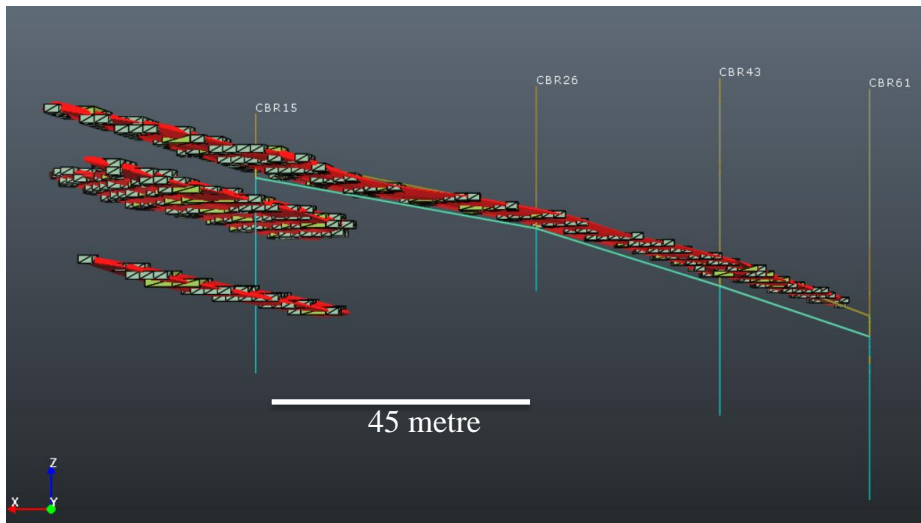
Parametre	Değer
Ortalama Hata	14,47
Hataların Varyansı	533.125
Ortalama Kriging Varyans	513.334,33
İki standart sapma arasında bulunması (%)	95,26

6.7.Blok Modelleme ve Tenör kestirimi

Blok boyutları üretim geometrisi ve kompozit boyutlarına göre belirlenir. Mevcut projede basamak genişliği ve yüksekliği 7 metre olarak belirlenmiştir. Blok boyutları en büyük boyutlar 7 x 7 x 2 m ve alt blok boyutları ise 1,75 x 1,75 x 1 m olacak şekilde seçilmiştir. Daha hassas bir kestirim yapabilmek için oluşturulan 49 adet jeolojik katı modelin her biri için blok eğimleri doğrultusunda ayrı ayrı arama elipsoidleri oluşturulmuştur. Arama elipsoidleri ile ilgili parametreler Çizelge 14’te verilmektedir. Bloklara ait görüntüler Şekil 53-57 ‘de sunulmaktadır.



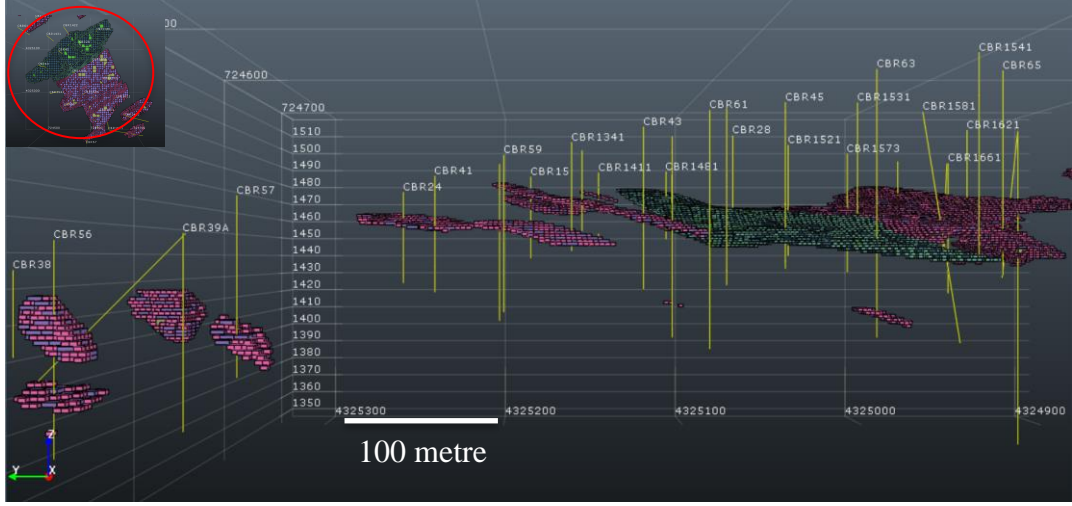
Şekil 53. Blok Modelle ait plan görünüm



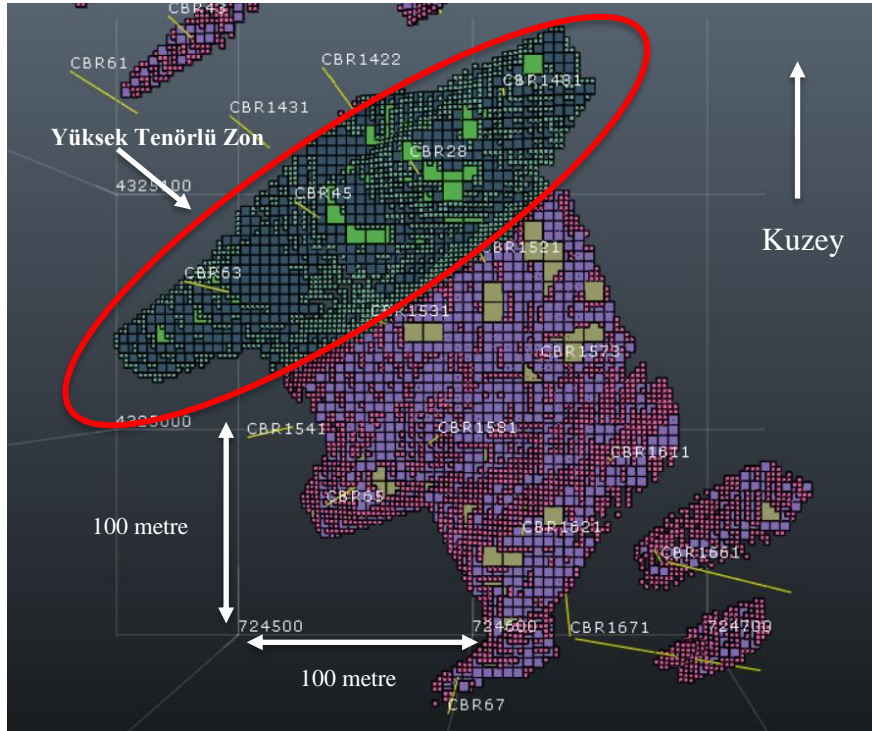
Şekil 54. XZ ekseninde örnek katı model ve blok kesiti

Çizelge 14. Arama elipsoidlerine ait parametreler

Elipsoid Numarası	Y	X	Z	Doğrultu	Dalım Açısı	Eğim Açısı
e1	4324745	724672	1470	30	20	3
e2	4324754	724667	1481	30	20	3
e3	4324791	724667	1465	30	20	3
e4	4324886	724649	1488	30	10	1
e5	4324888	724656	1479	30	10	0
e6	4324888	724656	1460	30	10	0
e7	4324986	724648	1432	50	20	10
e8	4324925	724680	1455	50	20	10
e9	4324927	724678	1459	30	20	10
e10	4324926	724674	1463	30	20	10
e11	4324968	724693	1446	50	20	10
e12	4324962	724668	1425	30	10	0
e13	4324964	724669	1459	30	10	0
e14	4324920	724602	1459	30	10	0
e15	4324919	724601	1,486	30	10	0
e16	4325031	724636	1,450	10	10	0
e17	4324932	724528	1458	10	10	0
e18	4325043	724533	1448	0	0	8
e19	4325052	724516	1417	0	0	8
e20	4325118	724615	1454	0	0	8
e21	4325125	724557	1419	0	0	8
e22	4325151	724592	1466	0	0	8
e23	4325175	724587	1462	0	0	8
e24	4325164	724539	1461	0	0	12
e25	4325185	724578	1450	0	0	12
e26	4325211	724481	1450	0	0	6
e27	4325256	724396	1420	0	0	14
e28	4325297	724455	1429	0	0	28
e29	4325290	724374	1426	0	0	28
e30	4325291	724374	1407	0	0	15
e31	4325291	724375	1397	0	0	15
e32	4325322	724364	1422	0	0	8
e33	4325333	724383	1400	0	0	12
e34	4325364	724344	1410	0	0	5
e35	4325354	724325	1404	0	0	8
e36	4325355	724326	1397	0	0	8
e37	4325341	724293	1387	0	0	15
e38	4325378	724288	1399	0	0	15
e39	4325380	724293	1395	0	0	12
e40	4325465	724481	1358	0	0	12
e41	4325465	724348	1387	0	0	12
e42	4325464	724348	1382	0	0	12
e43	4325515	724404	1357	0	0	30
e44	4325514	724417	1350	0	0	30
e45	4325515	724298	1367	0	0	10
e46	4325515	724300	1358	0	0	2
e47	4325555	724339	1352	0	0	2
e48	4325558	724339	1345	0	0	0
e49	4325629	724380	1334	0	0	10



Şekil 55. Yüksek tenörlü zona ait YZ eksenindeki görüntü



Şekil 56. Yüksek tenörlü zona ait görüntü

Çizelge 16. Blok model istatistikleri

	Ham veri istatistikleri	Tüm zon kompozit istatistikleri	Tüm Zonlardaki Blok Model İstatistikleri	Yüksek Tenörlü Zon Blok Model İstatistikleri	Düşük Tenörlü Zon Blok Model İstatistikleri
Veri sayısı	3002	244	14.845	3.652	11.193
En düşük (ppm)	0,3	3,8	18,25	1.503	18,25
Ortalama (ppm)	1881,8	5.894,2	6.482	10.343	5.398,9
Ortanca (ppm)	63	2.500	4.520,18	9.886	4.072,2
En yüksek (ppm)	576.800	30.000	30.000	30.000	30.000
Standart sapma	19.791,6	838	450	790	235
Varyans	391.710.778	702.813	202.645	624.953	55.620

Blok istatistikleri incelendiğinde düşük tenörlü zonda 72.106 m^3 ve yüksek tenörlü zonda 34.401 m^3 olmak üzere toplam 106.507 m^3 hacminde cevherli zon hesaplanmıştır. Önceki projelendirme çalışmalarında özgül ağırlık $2,3 \text{ ton/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında toplam $106.507,6 \text{ m}^3 \times 2,3 \text{ ton/m}^3 = 244.966 \text{ ton}$ ve ortalama 6.482 ppm tenöre sahip kaynak hesaplanmıştır.

6.7.1. Blok Modelin Doğrulanması

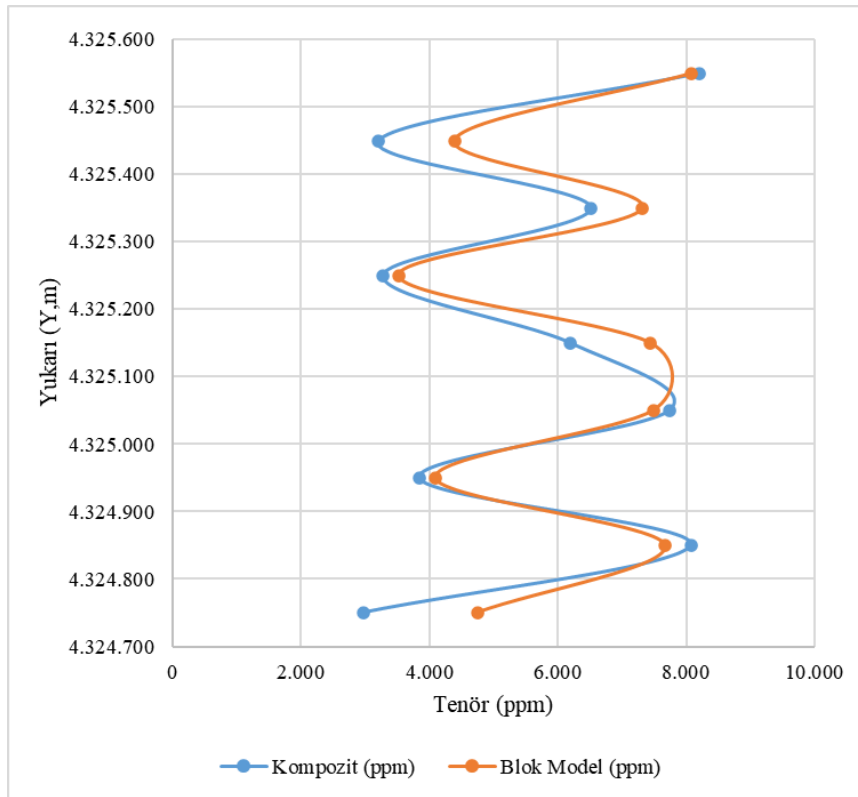
Kestirim yapıldıktan sonra blok model istatistikleri ile kompozit verilerinin istatistikleri karşılaştırılmalıdır. Genel olarak blok ortalaması, kompozit ortalamasının $\pm 10\%$ aralığında olması gerekir. Yapılan kestirimde tüm blokların ortalaması ile katı model içinde kalan tüm kompozit ortalaması yakın çıkmıştır. Dolayısıyla yapılan kestirim kabul edilebilir seviyededir.

6.8.Ekonomik Üretimin Değerlendirilmesi-Kaynak Model

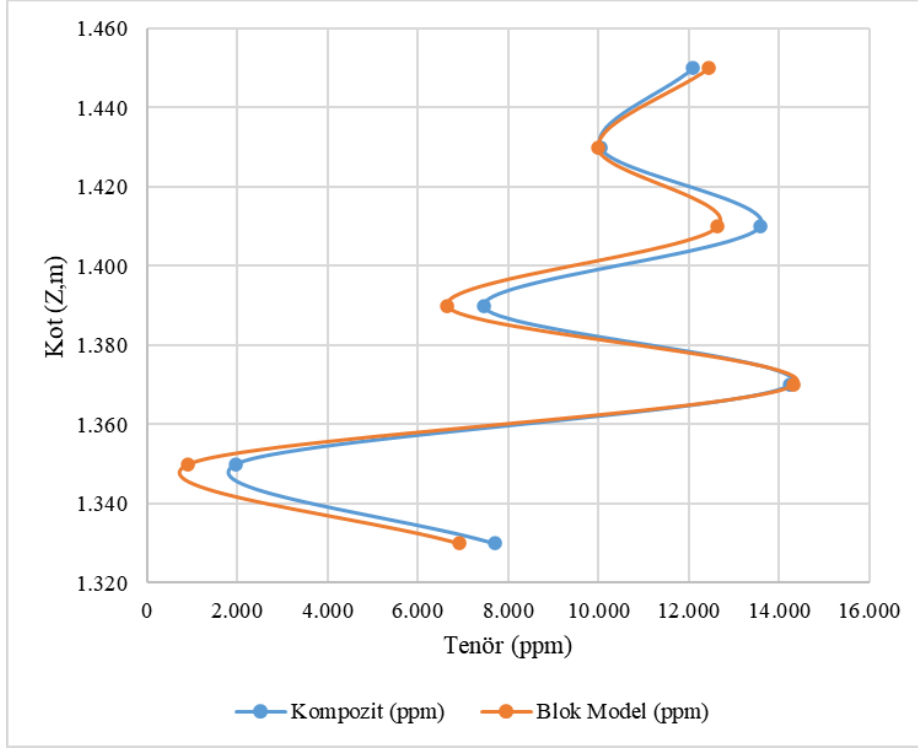
Kaynak Kestirimi çalışmaları sonucunda 244.966 ton ve ortalama 6.482 ppm tenöre sahip kaynak hesaplanmıştır. Cevher yüzeye yakın cevherleşme gösterdiğinden açık ocak yöntemi ile işletilmesi hem iş sağlığı ve güvenliği hem de ekonomiklik açısından uygun olacağı düşünülmektedir.

6.9.Yönelim Analizi

Tenör değerinin ortalamasının saha genelindeki değişkenliğini incelemek amacıyla Y ve Z yönünde yönelim analizi yapılmıştır. X yönünde yeterli veri bulunmadığı için bu yöndeki tenör değişkenliği hesaplanamamıştır. Z yönündeki yönelim analizi 20 metre dilimlere ayrılarak, Y yönündeki yönelim analizi ise 100 metre dilimlere ayrılarak hesaplanmıştır. Yönelim analizine ait sonuçlar Şekil 58 ve 59'da verilmiştir. Şekil 58 ve 59 incelendiğinde Y ve Z yönlerinde belirgin bir trend gözlemlenmemiştir. Şekil 59'da 1350 kotunda çift sayısı oldukça düşük olduğundan (4 adet), grafikte sapma olmuştur.



Şekil 58. Y yönündeki yönelim analizi

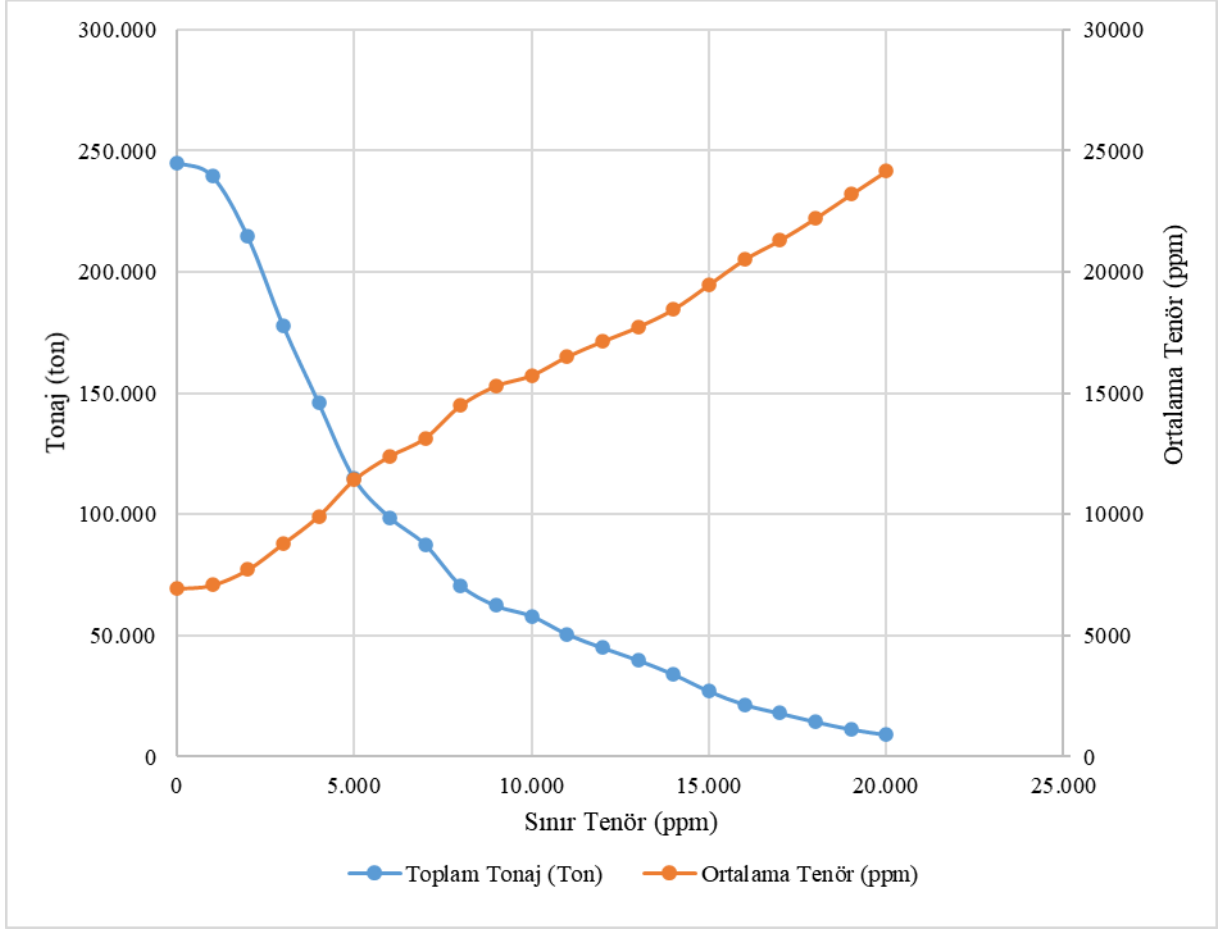


Şekil 59. Z yönündeki yönelim analizi

6.10.Tenör -Tonaj Eğrisi

Tenör tonaj ilişkisi maden planlamasında en önemli faktörlerden biridir. Bu eğriler blok büyüklüğü ve işletmeye ait sınır tenörün fonksiyonu olarak ortalama tenör ve kaynak miktarındaki değişimlerin incelenmesinde kullanılmaktadır. Bu değişimlere göre işletmenin açılıp açılmayacağına veya işletme açılmış ise hangi yöntem ile üretilmeye devam edileceği konusunda klavuz bilgiler içermektedir. Tenör-tonaj eğrisi, belli sınır tenör üzerinde kalan cevher miktarının ortalama tenörünü ve toplam tonajı göstermektedir. Bu eğride sınır tenör yükseldikçe toplam cevher miktarının azalması, ortalama tenör değerinin artması beklenir [30].

Tenör tonaj eğrisinde (Şekil 60) sınır tenör 10.000 ppm (%1) alındığında ortalama 15.748 ppm tenörlü ve 58.104 ton cevher hesaplanmıştır.



Şekil 60. Tenör-Tonaj Eğrisi

7.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında Kütahya/Gediz ilçesindeki Cebrail maden sahasında antimon kaynak kestirim çalışması yapılmıştır. Saha ziyaretleri, öncel çalışmalar, raporlar ve sondaj verileri incelenerek veritabanı oluşturulmuştur. Kompozitleme işlemi yapılarak temel istatistiksel veri analizi yapılmıştır. Kompozit verileri kullanılarak düşey ve yatay deneysel variogramlar hesaplanmıştır. Yatay yönde yapısal uzaklık 66 metre iken düşey yönde yapısal uzaklık 2,6 metre olarak belirlenmiştir. Deneysel variogramlar kullanılarak model variogramlar türetilmiştir. Variogram sonuçlarında külçe etkisi değeri 66.054, eşik değeri ise 384.628 değeri bulunmuştur. Çapraz doğrulama yöntemiyle variogramlar test edilmiştir ve variogram modellerinin kestirim için kullanılabilir nitelikte olduğunu görülmüştür. Sondaj verileri doğrultusunda jeolojik katı model oluşturulmuştur. Katı model incelendiğinde cevherleşmenin kuzey-doğu güney-batı doğrultusunda olduğu görülmüştür. Sahada cevherleşme bazı noktalarda mostra verirken en derin cevher bloğu topoğrafyanın 75 metre aşağısına kadar uzanmaktadır. 7x7x2 metre blok ve 1,75x1,75x1 metre alt bloklara bölünen katı model, ortalamasız kriging yöntemiyle yüksek ve düşük tenörlü zonlar için kestirimler yapılmıştır. Çalışma sonucunda düşük tenörlü zonda ortalama 5.398,9 ppm ve 165.843 ton cevher, yüksek tenörlü zonda ortalama 10.343 ppm ve 79.122 ton cevher kaynak olarak hesaplanmıştır. Sahada genel toplam 244.966 ton ve 6.482 ppm ortalama kaynak kestirimi yapılmıştır. Kestirim sonucu elde edilen verilerden faydalanılarak yönelim analizi ve tenör-tonaj eğrileri türetilmiştir.

Çalışma sahası ile ilgili öneriler aşağıda verilmektedir.

- Her ne kadar sondajlar arası ortalama mesafe 50 metre olsa da bazı bölgelerde bu mesafe aşılmaktadır. Ayrıca mevcut kaynağın geliştirilmesi için ek sondajlarla desteklenmesi gerekmektedir.
- Yüksek tenörlü zon (10.000 ppm) günümüz koşullarında, dönüştürücü faktörler göz önüne alınarak yapılacak rezerv kestirimleri, işletmenin üretim devamlılığı ve finansmanı için önemlidir. Bu yüzden, bu zonun jeolojik ve tenör sürekliliğinin sürekli güncellenmesi yönünde çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu zonun devamlılığının test edilmesi gerekmektedir.

- Antimon cevherinin tenörü çok değişken bir yapıda olması nedeniyle cevher hazırlama aşamalarında yapılan değişiklik sınır tenörü büyük oranda değiştirebilir. Kaynak miktarı aşırı derecede artabilir ya da azalabilir. Cevher hazırlama yöntemine göre doğru sınır tenör belirlemek kritik öneme sahiptir.
- Doğu-batı yönünde sondaj sayısı az olduğu için yatay yöndeki tenör değişkenliği tam tespit edilememiş, yönelim analizi ve anizotropi etkisi incelenememiştir.
- Kestirimi yapılan blok hacimlerin tonaja dönüştürülmesinde sabit birim hacim ağırlık (2,3 t/m³) kullanılmıştır. Veri tabanında analiz değerlerine ilişkin birim hacim ağırlık değerlerinin öznitelik olarak eklenmesi ve hesaplamalarda göz önünde bulundurulması kestirim kalitesini arttıracaktır.

8.KAYNAKLAR

- [1] mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/antimon, Erişim tarihi (26.9.2020).
- [2] Britannica, The Editors of Encyclopaedia, "Antimony", Encyclopedia Britannica, <https://www.britannica.com/science/antimony> (Erişim Tarihi: 10 Haziran 2021)
- [3] M.B. Yücel, Antik dönemden günümüze bir serüven:Antimuan, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 29:79-100, 2020.
- [4] A.J. Shortland, Application Of Lead Isotope Analysis To A Wide Range Of Late Bronze Age Egyptian Materials, *Archaeometry*, 48: 657-669, 2006.
- [5] W.C. Butterman and J. Carlin, Mineral Commodity Profiles Antimony Open File Report 03-019, USGS ,2004
- [6] R.R Seal, K.J. Schulz, J.H. DeYoung, Antimony , Professional Paper 1802– Chapter C of Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply, 30 p., 2017.
- [7] www.argusmedia.com/metals-platform/price/assessment/antimony-ingot-min-99-65-fob-china-PA00143670000], (Erişim tarihi 6.5.2021).
- [8] European Commission, Study on the EU's list of Critical Raw Materials – Final Report, 2020.
- [9] M. Bruggink, EU's Initiative to Promote More Investment in Antimony Mining Sites, Global Antimony Conference, Brussels, 2018, p.10.
- [10] <https://www.crmalliance.eu/antimony> (Erişim 8.10.2020).
- [11] <http://usantimony.com/pricing.htm> (Erişim 8.10.2020).
- [12] U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 200 p., 2021.
- [13] <https://perpetuaresources.com/wp-content/uploads/2021/05/Antimony-White-Paper.pdf> (Erişim Tarihi:10.06.2021).
- [14] T. J. Brown, N. E. Idoine, E. R. Raycraft, R. A. Shaw, E. A. Deady, S. F. Hobbs, and T. Bide, World Mineral Production 2011-15, British Geological Survey , 2017.
- [15] J. Chegwidden and J. Bedder, Antimony-Changes in the pattern of supply and demand, Roskill Information Services presentation, 2012, 33 p.,
- [16] A. Cıssarz, Einführung in die allgemeine und systematische Lagerstättenlehre. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchandlung, Stuttgart, 1965.
- [17] A. Gökçe, Geological and genetic similarities within the antimony deposits and prospects in Turkey, Second Int.TurkishGeology Workshop, Sivas, 1 -02 Ocak 1995. ss.43-45)

- [18] https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/5a28f81834b6df2_ek.doc?tipi=25&turu=X&sube=0 (Erişim tarihi 23.05.2021)
- [19] A. Gökçe, Muratdağı Bölgesi (Gediz-Kütahya) Antimon Cevherleşmelerinin Jeolojisi, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Seri. A – Yerbilimleri. Cild:4, sayı:1, s.65-85,1985.
- [20] A. Gökçe, A. Efe, Dağardı (Simav-Kütahya) ve İvrindi (Balıkesir) Bölgesi Antimon Yataklarının Jeolojisi, T.C. Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Fonu Proje No:M-15 (yayınlanmamış), 1995.
- [21] S.B. Karabel, Dağardı (Kütahya) Bölgesi Gömülü Antimon Birikimlerinin Toprak Jeokimyası Prospeksiyonu İle Saptanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- [22]. A. Gökçe, M. Köksoy, Turhal Antimon Yataklarının Jeolojisi ve Kökeni, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt 27, s. 131-140.,1984.
- [23] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu Diğer Metal Madenler Çalışma Grubu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı,2001
- [24] https://www.newcrest.com/sites/default/files/202103/210331_Newcrest%20announces%20its%20initial%20Mineral%20Resource%20estimate%20for%20Red%20Chris%20-%20Market%20Release.pdf (Erişim tarihi: 10.06.2021).
- [25] https://galwaymetalsinc.com/wp-content/uploads/2018/10/ClarenceStream_NI43-101_TRR_506900-010_Rev06_MLM.pdf (Erişim tarihi:12.06.2021).
- [26] www.emeraldresources.com.au/resources-reserves (Erişimtarihi:1.06.2021).
- [27] A.G. Journel and C.H. J Huijbregts, Mining geostatistics, Academic Press, 10 p.,1978.
- [28] D. Krige, W. Kleingeld, The genesis of geostatistics in gold and diamond industries, Lecture Notes in Statistics, vol 183. Springer, New York,2005, p 22-34.
- [29] A.G. Journel, Nonparametric estimation of spatial distribution, Mathematical Geology, Volume 15, Number 3, pp. 445–468, 1983.
- [30] A. E. Tercan ve C. Saraç, Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara,1998
- [31] J. P. Cliles, P. Delfiner, Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty (Wiley Series in Probability and Statistics), A Wiley-Interscience Publication, New York, 1999.
- [32] G. Ertunç, Kovaryans Eşlemeli Krıgileme Yöntemi ile Kaynak Kestirimi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [33] G. Matheron, Principles of Geostatistics. Economic Geology, 58, 1246-1266,1963.
- [34] K. Erarslan, Maden Değerlendirme Ders Notları,2008.

- [35] F. Atalay, Türkiye Tersiyer Kömürlerinin Jeostatistiksel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.
- [36] A. Tercan, Maden Yatakları Sınır Belirsizliğinin İndikator Kriging ile Değerlendirilmesi ve Sivas-Kangal-Kalburçayırı Kömür Yatağında Bir Uygulama, Bilimsel Madencilik Dergisi, Cilt 35, sayı. 4, ss. 3-11, 1996.
- [37] H. Uyguçgil, Çok Değişkenli Maden Yataklarında Rezerv Tenör Tahmininde Jeostatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Tekniklerinin Kullanımı, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2007.
- [38] A. Ersoy, T.Y. Yünsel, Maden Rezerv Hesapları Klasik ve Jeostatistik Yöntemler, Nobel Kitapevi, Adana, 2008
- [39] G. Matheron, and W.J. Kleingeld, The evolution of geostatistics, APCOM 87. Proceedings of the Twentieth International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries, Volume 3: Geostatistics, Johannesburg, SAIMM, 1987. pp. 9-12.
- [40] A. E. Tercan, Jeostatistiksel Yöntemler, Seminer Notları, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2011.
- [41] A. E. Tercan, Jeostatistiksel rezerv hesabı, Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeclığı El Kitabı (Ed: Ş. Eskikaya, C. Karpuz, M. A. Hindistan, N. Tamzok), TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 89-113, Ankara, 2005.
- [42] http://cografyaharita.com/haritalarim/41_kutahya_ili_haritasi.png (Erişim tarihi: 10.05.2021).
- [43] <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/maden-haritalari/kutahya.pdf> (Erişim tarihi: 15.05.2021).
- [44] A. Güngör, Suda Maden Temdit Projesi, 2014.
- [45] E. Bozkurt, Neotectonics of Turkey – a synthesis, *Geodinamica Acta*, 14:1-3, 3-30, 2001.
- [46] https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/deprem/pdf/izmir_rapor.pdf (Erişim tarihi: 15.06.2021).
- [47] N. Konak, Simav dolayının jeolojisi ve metamorfik kayaçlarının evrimi. *İstanbul Yerbilimleri*, 3, s. 313-337, 1982
- [48] N. Akdeniz, N. Konak, Simav-Emet Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi, MTA Derleme No: 6547, 108 s (Yayınlanmamış), 1979.
- [49] O. Delibaş, O. Parlak, F. Pekdemir ve C. Baran, Pınarbaşı Granitoidi (Gediz-Kütahya) Mo-Cu, Pb-Zn ve Sb±Ag Cevherleşmeleri: Polimetallik Cevherleşmelere Orta-Batı Anadolu'dan Bir Örnek, *Yerbilimleri*, cilt 33, sayı. 2, ss. 141-168, 2012.
- [50] N.B.W. Harris, S. Kelley, & A.I. Okay, Post-collision magmatism and tectonics in northwest Anatolia. *Contr. Mineral. and Petrol.* 117, 241–252, 1994.

- [51] Ş. Altunkaynak, Ş. C. Genç, Petrogenesis and time-progressive evolution of the Cenozoic continental volcanism in the Biga Peninsula, NW Anatolia (Turkey), *Lithos* 102, 316-340,2008.
- [52] Ş. Altunkaynak, Collision - Driven Slab Breakoff Magmatism in Northwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Geology*, 2007.
- [53] Y. Dilek, Syn-extensional granitoids in the Menderes core complex and the late Cenozoic extensional tectonics of the Aegean province. *Penrose Conference on Extending a Continent - Architecture, Rheology and Heat Budget*, Vol. 321, No. 1, s. 197-223,2007.
- [54] V. Oygür, A. Erler, Simav Grabeninin Metalojenisi (İç- Batı Anadolu, Türkiye), *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Sayı:43,ss 7-19,2000.
- [55] Ö. Emre, T.Y. Duman, S. Özalp, H. Elmacı, Ş. Olgun, ve F. Şaroğlu, Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara, 2013.
- [56] M. S. Aydoğan, Baklan Graniti (Murat Dağı, Banaz/Uşak) Civarındaki Baz Metal Cevherleşmesinin Mineral Parajenezi, Metal Zonlanması ve Kökenlerinin İzotop Jeokimyası İle Saptanması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [57] E. Bingöl, Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi, *MTA Dergisi*, 86, 14-35,1974.
- [58] E. Günay, N. Akdeniz, F. Şaroğlu, A. Çağlayan, Murat Dağı-Gediz Dolaylarının Jeolojisi, M.T.A. Jeoloji Etüdüleri Dairesi, 74 s,1986.
- [59] E. Bingöl, Muratdağı jeolojisi ve ana kayaç birimlerinin petrolojisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, c 20:ss 13-66,1977.
- [60] A. Öztürk ve M. Karadağ, Yukarıkaracahisar (Banaz – Uşak) Bölgesinin Stratigrafisi ve Petrografik Özellikleri, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, c. 24, sayı. 4, ss. 1-22, 2009.
- [61] A. GÖKCE, Cebrail (Gediz-Kütahya) Antimon Yatağının Jeolojisi, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi Seri A* , vol.3, no.1, pp.27-35, 1986.
- [62] A. E. Tercan, Maden Değerlendirme Ders Notu, 2019.
- [63] A. E. Tercan, Maden Kaynak Kestirimi Ders Notu, 2019.