

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Altın Madenlerinde Dinamik Arama Elipsoidinin Tenör ve
Tonaj Üzerinde Etkisinin İncelenmesi**

Elnur SHAHBAZOV

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs, 2026

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

**Altın Madenlerinde Dinamik Arama Elipsoidinin Tenör ve
Tonaj Üzerinde Etkisinin İncelenmesi**

Elnur SHAHBAZOV

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 15/05/2026 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çoğunluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Suphi URAL (Danışman)
: Doç. Dr. Ali Can ÖZDEMİR
: Doç. Dr. Bayram Ali MERT

**Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Tez No:**

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki
hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Maden Kaynak Kestirimi	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	3
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Tülallar Altın Sahası İle İlgili Yapılan Çalışmalar	5
2.2. Arama Elipsoidi İle İlgili Yapılan Çalışmalar	8
3. MATERYAL VE METOD	11
3.1. Tülallar/Azerbaycan Altın Sahası	11
3.1.1. Bölgesel Jeoloji, Stratigrafi ve Tektonik.....	11
3.1.2. Ocak Sahası ve Civarının Jeolojisi.....	13
3.1.3. Madencilik Faaliyetlerinin Tarihçesi	15
3.1.4. Üretim Teknikleri, Maden Makine ve Ekipmanları	15
3.1.5. Veri Seti	16
3.2. Yöntem.....	17
3.2.1. Jeostatistik.....	17
3.2.2. Maden Kaynak Kestiriminde Arama Elipsoidi	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. Veri Tabanının Oluşturulması.....	33
4.2. Katı Modelin Oluşturulması	34
4.3. Blok Modelin Oluşturulması.....	35
4.4. Kompozitleme.....	36
4.5. Hacim Yoğunluğu Ataması.....	40
4.6. Variogram Modellerinin oluşturulması.....	40
4.6.1. Doğrultu Açısının Teşkili.....	40
4.6.2. Eğim Açısının Teşkili	41
4.6.3. Dalma Açısının Teşkili	42
4.7. Maden Kaynak Kestirimi	42
4.7.1. Arama Elipsoidi ve kestirim parametreleri	42

4.7.2. Sabit Arama Elipsoidi Kullanılarak Ordinary Kriging (OK) ve Mesafenin Ters	
Ağırlıklandırma (IDW) Yöntemleri ile Maden Kaynak Kestirimi.....	47
4.7.3. Dinamik Arama Elipsoidi Kullanılarak Ordinary Kriging (OK) ve Mesafenin	
Ters Ağırlıklandırma (IDW) Yöntemleri ile Maden Kaynak Kestirimi	51
4.8. Maden Kaynak Kestirim Sonuçlarının Karşılaştırılması	58
4.9. Blok Model Kestirimleri ile Fiili Üretim Tenör-Tonaj Sonuçlarının Karşılaştırılması	62
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	69



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Altın Madenlerinde Dinamik Arama Elipsoidinin Tenör
ve Tonaj Üzerinde Etkisinin İncelenmesi**

Elnur SHAHBAZOV

Danışman: Prof. Dr. Suphi URAL

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Bu çalışmada altın cevherleşmesine ait kaynak kestirimi amacıyla statik ve dinamik arama elipsoidi yaklaşımlarının blok model sonuçları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında sondaj verileri kullanılarak cevherleşme zengin ve düşük tenörlü zonlar şeklinde katı modellere ayrılmıştır. Zengin tenörlü zon için Mesafenin Tersisi Ağırlıklandırma (IDW) yöntemi, düşük tenörlü zon için ise Ordinary Kriging (OK) yöntemi kullanılarak Maden Kaynak kestirimi yapılmıştır. Elde edilen statik ve dinamik blok modeller istatistiksel parametreler, tenör dağılımı ve tenör-tonaj eğrileri açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar her iki modelin de benzer bir tenör dağılımı ve tonaj davranışı gösterdiğini ortaya koymuştur. Blok model sonuçlarının fiili üretim verileri ile karşılaştırılması sonucunda tonaj dağılımlarının genel olarak benzer olduğu, metal içeriği açısından ise statik model sonuçlarının fiili üretime daha yakın değerler verdiği izlenmiştir. Çalışma sonucunda heterojen tenör dağılımına sahip altın yataklarında zengin ve düşük tenörlü zonların ayrı katı modeller halinde modellenmesinin daha uygun sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Maden Kaynak kestirimi, Ordinary Kriging, Mesafenin Tersisi Ağırlıklandırma, arama elipsoidi.

Investigation of the Effect of Dynamic Search Ellipsoid on Grade and Tonnage in Gold Mines

Elnur SHAHBAZOV

Advisor: Prof. Dr. Suphi URAL

Department of Mining Engineering

ABSTRACT

In this study, the effects of static and dynamic search ellipsoid approaches on block model results were investigated for the purpose of resource estimation of gold mineralization. Within the scope of the study, drillhole data were used to divide the mineralization into solid models representing high-grade and low-grade zones. Mineral Resource estimation was carried out using the Inverse Distance Weighting (IDW) method for the high-grade zone and the Ordinary Kriging (OK) method for the low-grade zone. The obtained static and dynamic block models were compared in terms of statistical parameters, grade distribution, and grade-tonnage curves. The results revealed that both models exhibited similar grade distribution and tonnage behavior. Comparison of the block model results with actual production data showed that the tonnage distributions were generally similar, while in terms of metal content, the static model results provided values closer to the actual production data. As a result of the study, it was concluded that modeling high-grade and low-grade zones as separate solid models provides more appropriate results in gold deposits characterized by heterogeneous grade distribution.

Keywords: Block model, resource estimation, Ordinary Kriging, Inverse Distance Weighting, search ellipsoid.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması sürecinde bilgi, deneyim ve değerli yönlendirmeleri ile çalışmanın her aşamasında bana yol gösteren sayın danışmanım Prof. Dr. Suphi URAL'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca değerli bilgi ve görüşlerinden faydalandığım, önerileri ile tezime katkı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir ÜRÜNVEREN ve Doç. Dr. Ali Can ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince saha çalışmaları ve teknik konularda bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, değerli destekleri ile çalışmama katkı sağlayan Rashad ALIYEV ve Emil GULIYEV'e teşekkür ederim.

Son olarak, eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan, destekleri ve anlayışları ile bana güç veren aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Tülallar Altın madeninde kullanılan Maden Makine ve Ekipmanları aşağıdakilerdir.	16
Çizelge 3.2. Ham Verilerin tanımlayıcı istatistik analizleri	16
Çizelge 3.3. Dinamik arama elipsoidinin akım şeması.....	31
Çizelge 4.1. Tez çalışmasında kullanılan blok model parametreleri	36
Çizelge 4.2. Düşük cevher zonu içerisinde oluşturulan 1 m kompozitlere ait ham tenör değerlerinin istatistikleri	37
Çizelge 4.3. Üst kesme uygulanmış düşük cevher zonu kompozit verilerine ait tenör değerlerinin istatistikleri	38
Çizelge 4.4. Zengin cevher zonu içerisinde oluşturulan 1 m kompozitlere ait ham tenör değerlerinin istatistikleri	39
Çizelge 4.5. Üst kesme uygulanmış Zengin cevher zonu kompozit verilerine ait tenör değerlerinin istatistikleri	40
Çizelge 4.6. Arama Elipsoidi ve Kestirim Parametreleri.....	43
Çizelge 4.7. Mesafenin Tersİ Ağırlıklandırma yöntemi ile zengin zon için elde edilen kestirim istatistikleri	49
Çizelge 4.8. Sabit açılı elipsoid ve OK yöntemi ile düşük tenörlü zon için elde edilen kestirim istatistikleri	50
Çizelge 4.9. Ordinary Kriging ve Mesafenin Tersİ Ağırlıklandırma Yöntemleri ile Elde Edilen Blok Modelin İstatistiksel Değerleri	51
Çizelge 4.10. Mesafenin Tersİ Ağırlıklandırma yöntemi ile zengin zon için elde edilen kestirim istatistikleri	56
Çizelge 4.11. Dinamik açılı elipsoid ve OK yöntemi ile düşük tenörlü zon için elde edilen kestirim istatistikleri	57
Çizelge 4.12. Dinamik arama elipsoidi kullanılarak Ordinary Kriging ve Mesafenin Tersİ Ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen blok modelin istatistik değerleri	57
Çizelge 4.13. Dinamik ve Statik açılı elipsoid ve OK yöntemi ile elde edilen blok sayısı	58
Çizelge 4.14. Tenör dağılımı	59
Çizelge 4.15. Dağılım istatistikleri	59
Çizelge 4.16. Modele ait Sivrilik ve çarpıklık değerleri.....	59
Çizelge 4.17. Tenör sınıflarına göre fiili üretim ile statik ve dinamik blok model sonuçlarının tonaj ve yüzdesel olarak dağılımının karşılaştırılması.....	63
Çizelge 4.18. Tenör sınıflarına göre fiili üretim ile statik ve dinamik blok model sonuçlarının tonaj ve metal içeriği açısından karşılaştırılması	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Maden Kaynakları ve Maden Rezervleri arasındaki genel İlişki.....	3
Şekil 3.1.	Azerbaycan'ın jeoloji haritası, Chovdar bölgesinin güneydoğusunda yer alan Küçük Kafkasları göstermektedir (TUNAHAN K ve ark. 2023.).....	12
Şekil 3.2.	Zengin zona ait oksitleşmiş ve yoğun cevherleşmiş kuvarsit görünümü.....	14
Şekil 3.3.	Fakir zona ait oksitlenmiş kuvarsit görünümü.....	14
Şekil 3.4.	Rastgele bir lokasyona ait bölgesel değişkenler	18
Şekil 3.5.	Temsili farklı lag aralıkları (Özbek, 2023).....	19
Şekil 3.6.	Farklı mesafe (adım aralığı) değerleri dikkate alınarak oluşturulmuş dağılım diyagramları (Özbek, 2023).....	20
Şekil 3.7.	Farklı mesafe aralıklarında (kısa ve uzun) etkileşim ortaya koyan verilerin temsili variogram grafiği (Özbek, 2023)	21
Şekil 3.8.	Variogram parametreleri (Özbek, 2023)	22
Şekil 3.9.	Variogram Modelleri (Özbek, 2023)	23
Şekil 3.10.	Ana eksenleri gösterilmiş temsili bir arama elipsoidi (Özbek, 2023).....	28
Şekil 3.11.	Sabit ve Değişken Açılı Arama Elipsoidlerinin Temel Çalışma Mekanizması (Özbek, 2023).....	30
Şekil 3.12.	Blok model kesitinde, dinamik arama elipsoidine esas teşkil eden eğim açılarının gösterimi.....	31
Şekil 3.13.	Blok model kesitinde, dinamik arama elipsoidine esas teşkil eden dalım açılarının gösterimi.....	32
Şekil 4.1.	Tülallar Altın Sahası sondaj lokasyonu görünümü.....	33
Şekil 4.2.	Tülallar Altın Sahası güney yatağına ait üç boyutlu katı modelin plan görünümü.....	34
Şekil 4.3.	Tülallar Altın Sahası güney yatağına ait üç boyutlu katı modelin yan görünümleri	35
Şekil 4.4.	Boş blok modelin plan görünümü	36
Şekil 4.5.	Düşük cevher zonu içerisinde oluşturulan 1 m kompozitlere ait ham tenör değerlerinin histogramı.....	37
Şekil 4.6.	Üst kesme uygulanmış düşük cevher zonu kompozit verilerine ait tenör dağılım histogramı.....	38
Şekil 4.7.	Zengin tenörlü cevher zonu içerisinde oluşturulan 1 m kompozitlere ait ham tenör değerlerinin histogramı.....	38
Şekil 4.8.	Üst kesme uygulanmış zengin cevher zonu kompozit verilerine ait tenör dağılım histogramı.....	39
Şekil 4.9.	Doğrultu (azimut) açısında incelenen variogram haritası.....	41

Şekil 4.10.	Eğim açısı incelenen variogram haritası.....	42
Şekil 4.11.	Farklı doğrultular için hesaplanan deneysel variogramlar ve bu doğrultulara uyarlanmış üstel (exponential) variogram modeller	44
Şekil 4.12.	Ana süreklilik doğrultusunda hesaplanan deneysel variogram ve üstel (exponential) variogram modeli	44
Şekil 4.13.	Ana, yarı ana ve küçük eksen doğrultularında hesaplanan deneysel variogramlar ve üstel variogram modeli.....	45
Şekil 4.14.	Çapraz doğrulama sonucunda gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki grafiği	46
Şekil 4.15.	Çapraz doğrulama tahmin hatalarına ait histogram	46
Şekil 4.16.	Yüksek ve düşük tenörlü cevher zonlarının görünümü	47
Şekil 4.17.	Zengin ve düşük tenörlü cevher zonlarının blok model görünümü	48
Şekil 4.18.	Blok modelin kesit görüntüsü A-A.....	49
Şekil 4.19.	Mesafenin Tersî Ağırlıklandırma yöntemi ile zengin zon için elde edilen kestirimin tenör-tonaj eğrisi.....	50
Şekil 4.20.	Sabit açılı elipsoid ve OK yöntemi ile düşük tenörlü zon için elde edilen tenör-tonaj eğrisi.....	50
Şekil 4.21.	Ordinary Kriging ve Mesafenin Tersî Ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen blok görünümü.....	51
Şekil 4.22.	Blok model kesitinde, dinamik arama elipsoidine esas teşkil eden eğim açılarının gösterimi	52
Şekil 4.23.	Blok model kesitinde, dinamik arama elipsoidine esas teşkil eden dalma açılarının gösterimi	52
Şekil 4.24.	Yüksek tenörlü cevher zonu (zengin cevher)	53
Şekil 4.25.	Düşük tenörlü cevher zonu görünümü.....	54
Şekil 4.26.	Zengin ve düşük tenörlü cevher zonlarının blok model görünümü	55
Şekil 4.27.	Dinamik açılı elipsoid ile yapılan blok model kesit görüntüsü A – A.....	56
Şekil 4.28.	Mesafenin Tersî Ağırlıklandırma yöntemi ile zengin zon için elde edilen kestirimin tenör-tonaj eğrisi.....	56
Şekil 4.29.	Dinamik açılı elipsoid ve OK yöntemi ile düşük tenörlü zon için elde edilen blok modelin tenör-tonaj eğrisi.....	57
Şekil 4.30.	Dinamik arama elipsoidi kullanılarak Ordinary Kriging ve Mesafenin Tersî Ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen blok modelin tenör-tonaj eğrisi	58
Şekil 4.31.	Ordinary Kriging ve Mesafenin Tersî Ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen blok görünümü.....	60
Şekil 4.32.	Dinamik arama elipsoidi kullanılarak Ordinary Kriging ve Mesafenin Tersî Ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen blok modelin tenör-tonaj eğrisi	60

Şekil 4.33. Dinamik açılı elipsoit ile yapılan blok model kesit görüntüsü A – A.....	61
Şekil 4.34. Statik açılı elipsoit ile yapılan blok model kesit görüntüsü A – A	61
Şekil 4.35. Tenör sınıflarına göre fiili üretim ile blok model sonuçlarının tonaj ve yüzdesel dağılımının karşılaştırılması	64
Şekil 4.36. Tenör sınıflarına göre fiili üretim ile statik ve dinamik blok model sonuçlarının tonaj ve metal içeriği açısından karşılaştırılması grafiği	64



SİMGELER VE KISALTMALAR

A_i	: i. Örneğe Verilen Ağırlık Katsayısı
$f(h)$	: h Mesafesine Bağlı Fark Fonksiyonu
h	: Lag Mesafesi (Adım aralığı)
$N(h)$	: h Mesafesiyle Ayrılmış Nokta Çifti Sayısı
V	: Tahmin Alanı / Hacim
X	: Konum Koordinatı
X_i	: i. Veri Noktasının Konumu
$Z(x)$	: x Konumundaki Tenör Değeri
$Z(x+h)$	: x+h Konumundaki Tenör Değeri
Z^*	: Tahmin Edilen Blok Tenörü
$\gamma(h)$	: h Mesafesindeki Yarı-Varyans (semivaryans)
σ^2	: Varyans
BLUE	: En İyi Doğrusal Yansız Tahmin Edici
IDW	: Mesafenin Ters Ağırlıklandırma
NS	: Boş değer (No Sample)
OK	: Ordinary Kriging

1. GİRİŞ

1.1. Maden Kaynak Kestirimi

Maden kaynak kestirimi, bir maden yatağında bulunan ekonomik değere sahip minerallerin miktarını ve tenör dağılımını belirlemek için yapılan bir değerlendirmedir. Bu süreç, maden planlaması, işletme tasarımı ve yatırım kararları açısından kritik öneme sahiptir. Kaynak kestirimi, sondaj verileri ve jeoistatistiksel yöntemler aracılığıyla gerçekleştirilir.

Modern Kaynak kestirimi çalışmalarında, jeoistatistiksel teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler, verilerdeki uzamsal korelasyonu değerlendirerek daha güvenilir tahminler yapılmasını sağlar. Özellikle Ordinary Kriging (OK) yöntemi, hem jeolojik modelin hem de ekonomik değerlendirme sürecinin doğruluğunu artırmaktadır (Erel, 2010).

Maden Kaynak kestirimi çalışmalarından sonraki aşama Maden Rezervi kestirimidir. Maden Rezervi, belirlenen maden kaynağının ekonomik olarak üretilebilir kabul edilen kısmını ifade etmektedir. Bir Maden Kaynağının Rezerv olarak değerlendirilebilmesi için yalnızca jeolojik süreklilik ve tenör dağılımı yeterli olmamakta, aynı zamanda çeşitli dönüştürücü faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu faktörler, madencilik yöntemi, metalurjik kazanım, ekonomik koşullar, kesme tenörü , işletme maliyetleri, cevher kayıpları, seyrelme, şev açıları, çevresel etkiler ve yasal kısıtlamalar gibi teknik ve ekonomik parametreleri kapsamaktadır. Bu nedenle Maden Rezervi kestirimi, Maden Kaynak modelinin mühendislik ve ekonomik kriterlerle değerlendirilmiş son aşaması olarak kabul edilmektedir.

Maden Kaynak ve Rezerv modellerinin temelini sondaj çalışmalarından elde edilen veriler oluşturmaktadır. Sondaj yoğunluğunun yeterli seviyede olması, karot veriminin yüksekliği ve numunelerin uygun örnekleme prosedürleriyle alınması, yapılan kestirim çalışmalarının doğruluğunu doğrudan etkilemektedir. Ayrıca numunelerin analiz süreçlerinin uluslararası kabul görmüş standartlara uygun şekilde gerçekleştirilmesi, elde edilen verilerin güvenilirliğini artırmaktadır. Veri kalitesinin yüksek olması, oluşturulan blok modelin sahadaki gerçek cevher dağılımını daha doğru temsil etmesini sağlamaktadır.

Üretim aşamasına geçildiğinde ise blok model kestirim sonuçları ile gerçek üretim verileri arasında belirli farklılıklar oluşabilmektedir. Bu farklılıklar belirli oranlarda normal kabul edilmekle birlikte, yüksek sapmalar modelin yeniden değerlendirilmesini gerekli kılabilir. Böyle durumlarda ek sondaj çalışmaları yapılarak veri yoğunluğunun artırılması ve modelin güncellenmesi gerekmektedir. Kestirim sonuçlarının gerçek üretim değerlerinden farklılık göstermesinin önemli nedenlerinden biri de kullanılan jeoistatistiksel yöntemlerin matematiksel yapısından kaynaklanmaktadır. Özellikle kriging tabanlı kestirim yöntemleri, yüksek ve düşük uç değerlerin etkisini azaltarak sonuçları ortalama değere yaklaştırma eğilimindedir. Bu durum, ham verilere kıyasla daha yumuşatılmış bir tenör dağılımı

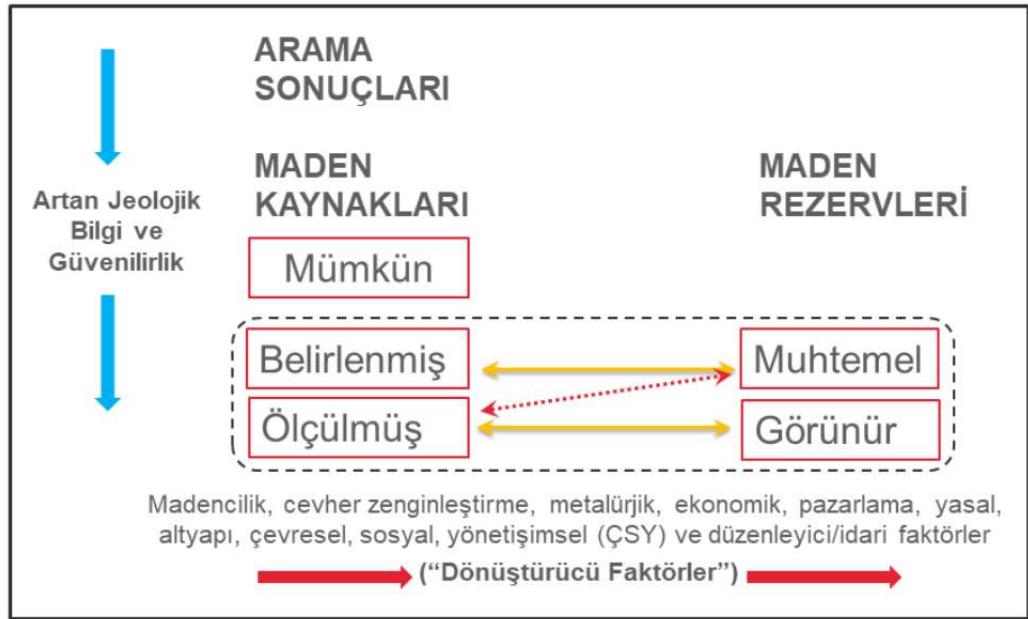
oluşmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak kestirim verileri, ham verilere göre daha düşük varyansa sahip olmakta ve daha dar bir dağılım aralığında temsil edilmektedir(Özbek, 2023).

Özellikle jeolojik yapısı karmaşık olan sahalarda sabit açılı arama elipsoidi yaklaşımı bazen gerçek uzamsal sürekliliği temsil etmekte yetersiz olmaktadır. Bu nedenle çalışmanın yürütüldüğü Tülallar altın Sahası, yapısal olarak karmaşık ve çok fazlı bir tektonik gelişime sahip olmasıyla dikkat çekmektedir. Sahada KD-GB doğrultulu derin kırık sistemleri, sık deformasyon zonları ve farklı yaş köken ilişkilerine sahip kaya kitleleri bir arada bulunmaktadır. Subvolkanik breşler, metavolkanik lavlar ve tüf kökenli kuvarsitlerin(töreme kuvarsitler) yaygınlığı, altın mineralleşmesinin çoğunlukla bu litolojik birimler içerisinde geliştiğini göstermektedir.

Sahanın kuzey ve güney kesimleri genel litoloji açısından benzer bir ardalınamaya sahip olsa da, altın tenörlerinin dağılımı bakımından belirgin bir farklılık sunmaktadır. Kuzey bölüm daha düşük tenörlü mineralizasyonla temsil edilirken, güney bölümde yer yer çok yüksek tenörlere ulaşan zenginleşme zonları bulunmaktadır. Bu durum, cevherleşmenin tek bir evrede oluşmadığını farklı jeodinamik koşullar altında gelişen birden fazla mineralizasyon sürecinin etkili olduğunu göstermektedir.

Ayrıca sahada çok sayıda kırık zonu, breşleşmiş alanlar, lokal tektonik parçalanmalar ve farklı yönelimlerde gelişmiş damar sistemleri bulunmaktadır. Bu yapısal heterojenlik, süreklilik doğrultularının kısa mesafelerde değişmesine sebep olmakta ve sabit açılı arama elipsoidiyle tutarlı bir geometrik model oluşturmayı zorlaştırmaktadır.

Bu nedenle, Tülallar Sahası'nda gözlenen yapısal ve litolojik karmaşıklık, bu tez çalışmasında dinamik arama elipsoidi yönteminin ayrıntılı olarak incelenmesini gerekli hale getirmiştir. Bu yöntemin, her blok elipsoidin yönelimini yerel jeolojik eğilimlere (eğim ve dalım açılarına) göre düzenleyerek süreklilik doğrultularının ne ölçüde daha doğru takip edilebildiğini ortaya koyması beklenmektedir. Böylece, sahadaki karmaşık jeolojik yapıların blok modele daha uygun açılarla yansıtılıp yansıtılamayacağı ve bunun tenör ile tonaj kestirimlerinin güvenilirliğine nasıl bir katkı sağlayacağı bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Aşağıda Şekil 1.1'de, Maden Kaynakları, Dönüştürücü faktörler ve Maden Rezervleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Maden Kaynakları ve Maden Rezervleri arasındaki genel ilişki

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın temel amacı, jeolojik açıdan oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan Tülallar Sahası'nda dinamik arama elipsoidi yaklaşımının uygulanabilirliğini ve kaynak kestirimine olası katkılarını incelemektir. Sahada gözlenen yoğun kırık-fay sistemleri, breşleşme zonları, damar yönelimlerindeki değişkenlik ve tenördeki bölgesel farklılıkların, sabit açılı arama elipsoidiyle yapılan tahminlerin ne ölçüde yeterli olduğunu belirsizleştirdiği ve bu yaklaşımın saha koşullarına uygunluğunun ayrıca değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu nedenle, dinamik arama elipsoidi yönteminin yerel jeolojik eğilimlerle ne ölçüde uyum sağlayabildiği ve bu uyumun tenör, tonaj kestirimleri üzerindeki etkisinin nasıl olabileceği bu çalışma kapsamında değerlendirilecektir.

Çalışmanın kapsamı, Tülallar Sahası'na ait sondaj verilerinin analizi, veri setinin istatistiksel ve jeostatistiksel değerlendirilmesi, varyogram modellerinin oluşturulması, sabit ve dinamik açılı arama elipsoidi kullanılarak yapılan enterpolasyon sonuçlarının karşılaştırılması adımlarını içermektedir. Bu kapsamda hem sabit hem de dinamik elipsoid yaklaşımlarının model performansı üzerindeki etkileri ele alınacak, özellikle dinamik yöntemin süreklilik doğrultularını takip etme kapasitesi ve bunun kaynak hesaplanmasına yansımaları araştırılacaktır.

Arama elipsoidi, blok modelleme sürecinde veri noktalarının uzamsal etkisini tanımlayan temel bir parametre olup, özellikle yönlü variogram yapılarının bulunduğu sahalarda modelleme doğruluğu açısından kritik rol oynamaktadır. Geleneksel olarak kullanılan elipsoid, tüm saha için sabit bir yapı tanımlarken, dinamik elipsoid, variogram yönelimi, veri yoğunluğu ve jeolojik yapı gibi faktörlere göre değişkenlik göstererek daha esnek ve yerel bir yaklaşım sunar.

Bu kapsamda çalışmada, statik ve dinamik arama elipsoitlerinin kullanıldığı modelleme senaryoları oluşturularak, bu iki yaklaşımın tenör ve tonaj tahminlerine etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilecektir. Araştırma sonucunda, dinamik elipsoit kullanımının kestirim doğruluğunu ne ölçüde artırdığı değerlendirilecek ve kaynak modelleme süreçlerinde bu yöntemin uygulanabilirliği tartışılacaktır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Tülallar Altın Sahası İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Küçük Kafkas bölgesinin cevherleşme özellikleri eski dönemlerden bu yana araştırmacıların ilgisini çekmiş, altın yataklarına yönelik çalışmalar 19. yüzyılın ilk yarısında başlamıştır (Babazade, 1986; Babazade, 1990; Azerbaycan Jeolojisi, 2003). Bu dönemde A. Mussin ve Puşkin'in girişimiyle kurulan Kafkas Dağ İdaresi, Azerbaycan'ın altın potansiyelini araştırmak amacıyla maden mühendisleri T.S.Karpinsk, S.V.Guryev, N.İ.Voyskovoynikov ve S.Q.Komarov'u görevlendirmiştir. Bu mühendisler, Küçük Kafkaslar'ın kuzeydoğu yamaçlarındaki dağ derelerinin alüvyon çökellerinde yaptıkları incelemeler sonucunda Dağkesemen bölgesinde serbest altın varlığını tespit etmiştir (Babazade, 1986).

1829–1830 yıllarında N.İ.Voyskovoynikov ve S.V.Guryev, Genceçay ile Xramçay havzaları arasında gerçekleştirdikleri keşif çalışmaları sırasında kuvars damarlarında serbest altın tanelerini belirlemiştir (Babazade, 1986; Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

1914 yılında N.Lednev ve İ.Xaustev'in yürüttüğü jeolojik incelemeler sonucunda Mirzik köyünün güneybatı kesiminde bakır mineralizasyonu tespit edilmiştir (Azerbaycan Jeolojisi, 2003). 1915 yılında F.F.Osfald tarafından Küçük Kafkaslar'ın tektonik şeması hazırlanmış; bu çalışma 1926'da V.V. Bogaçev tarafından doğrulanmıştır (Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

1923–1929 ve 1935–1940 yılları arasında K.N.Paffenhols, Küçük Kafkaslar'ın kuzeydoğu yamacında kapsamlı jeolojik araştırmalar yürütmüş; stratigrafik, tektonik ve petroğrafik veriler toplayarak bölgenin ilk 1:200.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamıştır (Babazade, 1990). Paffenhols ayrıca 1923–1924 yıllarında Daşkesen'i, 1924–1926 yıllarında Çıraqdərə'yi ve 1932 yılında Gedebey'i haritalamıştır (Babazade, 1990). 1929 yılında F.Osfald ve V.Bogaçev'in öne sürdüğü kubbemsi yapı modelini eleştirerek Jura yaşlı çökelleri farklı litolojik bölümlere ayırmıştır (Babazade, 1990).

1929–1932 yıllarında jeolog Rakitin, Çıraqdərə kükürt–pirit yatağında keşif çalışmaları yapmış aynı zamanda bölgenin tektonik ve stratigrafik özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiler elde etmiştir. Rakitin'e göre, arama alanı karmaşık bir tektonik yapıya sahip olup farklı yönlerde gelişmiş beş büyük fay yapısı ile karakterizedir. Kuzeybatı–güneydoğu doğrultulu faylar madenleşme ile ilişkilidir (Babazade, 1986; Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

Küçük Kafkaslar'ın kuzeydoğu yamacının sistematik olarak incelenmesine 1930'lu yıllardan sonra başlanmış, bu dönemde kurulan Jeoloji Komitesi'nin öncülüğünde K.N.Paffenhols'un yönetiminde stratigrafi, tektonik, petrografi ve madenleşme özellikleri detaylı şekilde araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda 1:42.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve raporda Çıraqdere maden bölgesinin metalojenik özelliklerine yer verilmiştir (Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

1931'de N.P. Filiznskiy ve G.P.Barsanov, Gence bölgesinin (günümüzde Göygöl sınırları içinde) jeolojik yapısı ve Maden Kaynaklarını incelemiş, raporlarında bölgenin kısa jeolojik tanımının yanı sıra Çıraqdərə yatağının oluşum özelliklerini de değerlendirmiştir (Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

1932 yılında K.N.Paffenhols'un yönetiminde ilk kez topoğrafik temel üzerinde Çıraqdere ve bitişik alanların 1:5.000 ölçekli haritası hazırlanmıştır. Bu harita, Genceçay ile Kürekçay nehirleri arasındaki Pantdağ silsilesinin yamaçlarını kapsamaktadır (Babazade, 1990; Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

1933 yılında A.M.Rakitin tarafından Çıraqdərə yatağında keşif çalışmaları yapılmış, alınan örneklerde 5–7 g/t altın ve 69–234 g/t gümüş tespit edilmiştir (Babazade, 1986; Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

1934 yılında Transkafkasya Altın Arama İdaresi tarafından M.M.Aliyev'in başkanlığında, Küçük Kafkaslar'ın kuzeydoğu yamaçlarındaki dağ derelerinde alüvyon altın yataklarının araştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda Ağstafaçay, Ceyirçay, Şemkirçay, Qoşqarçay ve Kürekçay havzalarında birkaç altın mineralizasyonu belirlenmiş ve bu bölgelerde keşif çalışmalarının başlatılması önerilmiştir (Babazade, 1986; Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

1934–1935 yıllarında M.M.Aliyev, Küçük Kafkaslar'ın kuzeydoğu yamaçlarındaki dere sistemlerinde şlix haritalama yöntemi ile jeolojik arama çalışmaları yürütmüştür. Bu çalışmalar sonucunda Qoşqarçay, Genceçay ve Şemkirçay havzalarının şlix haritaları hazırlanmış; ilk kez söz konusu derelerin alüvyon çökellerinde altın izlerine rastlanmıştır (Babazade, 1986).

1934 yılında N.A. Preobrajenski'nin Azerbaycan Petroğrafyası adlı kitabı yayımlanmış; bu eserde Daşkesen, Gedebe, Zeylik, Çıraqdere ve diğer sahalardaki Jura ve Kretase çökelleri hakkında ayrıntılı bilgiler sunulmuştur (Preobrajenski, 1934).

1934 yılında M.D.Zairi, Yukarı Hacikend köyü yakınlarında alçıtaşı üzerine keşif çalışmaları yürütmüş ve sonuçlarını 1935'te yayımlamıştır. Aynı yıl, Kürekçay ve Qaraçay nehirlerinin orta ve yukarı kesimlerinde yaptığı jeoloji haritalama ve arama çalışmaları sonucunda birkaç barit, pirit ve bakır–pirit göstergesi tespit etmiştir (Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

1936–1937 yıllarında V.Y.Khain ve A.A.Elizade, Küçük Kafkaslar'ın kuzeydoğu eteklerinde 1:100.000 ölçekli jeoloji planlama çalışmaları gerçekleştirmiş; bölgenin tektoniği, petroğrafisi ve litolojisi hakkında ayrıntılı ve güvenilir veriler toplayarak stratigrafik şemasını hazırlamışlardır. Aynı dönemde V.Y. Khain ve V.V. Tikhomirov, Genceçay–Terterçay arası bölgede 1:100.000 ölçekli jeolojik çalışmalar yapmış; stratigrafi, litoloji ve tektonik özellikleri detaylı olarak incelemişlerdir (Kaşkay, 1965; Abdullaev, 1963).

1938'de Ə. Şıxelibeyli, Göygöl ilçesinin Murut köyü yakınlarında yapı malzemelerine yönelik araştırma–keşif çalışmaları yürütmüş ve Genceçay'ın sağ kıyısını kapsayan 1:168.000

ölçekli ayrıntılı harita hazırlamıştır. Aynı yıl, M.D. Dorfman ve E.M. Uşaçox, Çıraqdere maden sahasında yaptıkları jeolojik araştırmalar sonucunda yatağın kökeni üzerine değerlendirmelerde bulunmuşlardır (Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

1940'ta E.Ş. Şıxelibeyli ve R.N.Abdullayev, Murovdağ silsilesinin kuzey ve kuzeydoğu yamaçlarının 1:50.000 ölçekli jeoloji haritasını oluşturmuş; Jura ve Kretase çökellerinin petroğrafik bileşimini ilk kez ayrıntılı şekilde tanımlamışlardır. 1941'de aynı araştırmacılar, İnceçay ve Kürekçay havzaları arasında 650 km²'lik alanda 1:42.000 ölçekli haritalama yapmıştır (Abdullaev, 1963; Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

1941'de S.M.Süleymanov, H.H.Kerimov ve A.N.Solovkin, Başqışlaq barit yatağında ayrıntılı keşif çalışmaları yürütmüş; 1:5.000 ölçekli jeoloji harita hazırlamışlardır. Aynı yıl M. Elizade ve A.D. Kerimov, Şemkir ile Başqışlaq arasındaki bölgede barit araştırmaları gerçekleştirmiş; Zeylik, Bayan, Azad, Sarısu ve Çaykend sahalarını ayırmıştır. 1943-1944'te E.Ş. Şıxelibeyli ve H.H.Kerimov, barit, pirit ve ikincil kuvarsitler üzerine arama-keşif çalışmaları yapmış; Çıraqdere pirit yatağındaki keşifler tamamlanmıştır (Azerbaycan Jeolojisi, 2003).

1945'te İ.N. Sitkovski, Azerbaycan'ın Altın Göstergeleri ve Potansiyelleri adlı çalışmasında Çıraqdere pirit yatağını köklü altın yatakları tipine dahil etmiştir (Baba-zade, Ramazanov & Mamedov, 2005). 1948-1949'da K.N.Paffenhols, uzun süreli araştırmalar sonucunda Küçük Kafkaslar'ın stratigrafi ve tektonik şemasını hazırlamış; aynı dönemde A.A.Elizade ve V.Y.Khain, bölgenin güncel stratigrafik şemasını oluşturmuştur. 1957'de H.X.Efendiyev, Küçük Kafkaslar'ın Kuzeydoğu Kesiminin Hidrotermal Cevher Kompleksi adlı monografisini yayımlamıştır (Babazade, Musaev, Nasibov & Ramazanov, 2003; Baba-zade, Ramazanov & Mamedov, 2005).

1958'den itibaren Murovdağ silsilesi ve kuzeydoğu yamaçlarında 1:50.000 ölçekli sistematik araştırma-planlama çalışmaları başlatılmış; A.A.Abdullayev, A.Y.İsmayılov, T.A.Hasanov ve diğerleri tarafından bölgenin jeoloji haritası hazırlanmıştır. 1959-1962'de S.M. Süleymanov ve N.M. Selimkhanov, Qoşqarçay ve Kürekçay arası alanda alüvyon çökellerin altın içeriğini araştırmış ve şlik haritalarını oluşturmuştur (Azerbaycan Jeolojisi, 2003; Baba-zade ve ark, 2003).

1963'te M.R. Ebdülqasımzade, "Küçük Kafkaslar'ın Kuzeydoğu Yamacının Üst Jura Çökellerinin Stratigrafi ve Faunası" adlı çalışmasında Kellovey, Oksford ve Kimeric evrelerini ayırt etmiştir. 1967'de Mirzik, Topalhesenli ve Sarıyal'daki mineral boya göstergelerinde aramalar yapılmıştır (Abdullaev, 1963; Baba-zade ve ark, 2003; Baba-zade ve ark, 2005) .

1967-1969'da A.S. Memmedzade ve ekibi, Genceçay, Kürekçay ve Xeyreçay vadilerinde jeofizik çalışmalar yaparak Daşkesen ve Kepez çöküntüleri ile Şemkir ve Göygöl yükselimlerinin sınırlarını netleştirmiştir. 1968'de A.Y. İsmayılov, Buzluqçay-Genceçay arasında 1:50.000 ölçekli çalışmalarla birkaç küçük intrüzif ve subvulkan kütlesi belirlemiştir.

Aynı yıl A.Y. İsmayılov, A.A. Mesimov ve A.M. Ağakışiyev, Çaykənd topografiya sayfasında 0,2–1,2 g/t altın içeren damarlar tespit etmiştir (Baba-zade ve ark, 2005).

1968–1974 arasında H.M. Hesenov ve Y.R. Şirinov, Göygöl, Daşkəsən, Gədəbəy və Şəmkir ilçelerinin 1:50.000 ölçekli jeoloji haritalarını hazırlamıştır. 1976–1979’da T.M. Memmedov ve S.D. Nebiyev, Pantdağ’da kuvars damarlarında 7,6 g/t’a kadar altın tespit etmiştir. 1979–1981’de A.S. Yusifov ve diğerleri, Çıraqdere, Çovdar, Pant ve çevresinde anomal alanlar belirlemiş; aynı dönemde E.F. Heyderov ve A.İ. İsgenderov, Tülallar–Hacıkənd kesiminde “Gence Altın Göstergeleri” grubunu tanımlamıştır (Baba-zade ve ark, 2003; Baba-zade ve ark, 2005; Yusifov ve ark, 2003).

1982–1984’te Heyderov ve İsgenderov, Çıraqdere bölgesinde altın açısından umut vadeden sahalar belirlemiş; 20 g/t’a varan değerler tespit edilmiştir. Tülallar ve Toğanalı’da molibden içeriği %0,01–0,03 aralığında bulunmuştur (Baba-zade ve ark, 2003; Baba-zade ve ark, 2005).

1988–2002’de H.Hesenov, Murovdağ bölgesinde 1:50.000 ölçekli araştırmalar yapmış; Çıraqdere ve Mixaylovka sahalarında 1,0–2,9 g/t altın tespit etmiştir. 1991–2002’de Göygöl arama ekibi, Tülallar, Sarıçuxurbaşı ve Sarıyal zonalarında 0,4–4,8 g/t arası altın değerleri belirlemiştir (Gasanov ve ark, 2003; Yusifov ve ark, 2003) .

1993–1999’da “Azerqızıl” ekibi, Kürekçay alüvyonlarında serbest altın ve platin tespit etmiş 1999–2005’te Buzluq–Başqışlaq ve Kepez sahalarında detaylı araştırmalar yürütmüştür. 2003–2006’da Yeni Zərdəy və Sarıçuxur bölgelerindeki çalışmaların sürdürülmesi kararlaştırılmış; 2004–2006’da Tülallar’da altın içeren kompleks cevherler araştırılmıştır (Hesenov ve ark, 2006; Yusifov ve ark, 2006; Aliyev ve ark, 2007).

2.2. Arama Elipsoidi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Jeostatistiksel kestirim çalışmalarında standart sabit arama elipsoidi methodu yaygın olarak kullanılmakla birlikte, dinamik arama elipsoidlerinin kullanımı son yıllarda yeni bir yaklaşım olarak öne çıkmıştır. Arama elipsoidi, jeostatistiksel kaynak ve rezerv tahminlerinde, verilerin hangi mesafe ve yönlerde kullanılacağını belirleyen temel bir parametredir. Statik arama elipsoidleri, modelin her yerinde sabit yönelim (egim ve dalım açısı) kullanmakta olup, farklı dalım-egim ilişkilerine sahip damar sistemlerinin, bir diğeriyle kesişen fay ve kırık sistemlerinin, süreklilik doğrultusunda yer-yer görülen belirgin yön değişimlerinin, litolojik birimler arasındaki yapısal süreksizliklerin ve alan içinde heterojen dağılım gösteren anisotropi koşullarının hakim olduğu karmaşık jeolojik ortamlarda bu yerel yönelim farklılıklarını temsil edememektedir. Bu, jeolojik sürekliliğin farklı dalım ve eğimlerde değişkenlik gösteren ortamlarda tahmin hatalarının artmasına neden olabilmektedir.

Bu tür sınırlamaları azaltmak ve ya ortadan kaldırmak için kullanılan dinamik arama elipsoidi yöntemi, arama elipsoidinin dalım ve eğim açılarını her tahmin noktasında o bölgedeki

jeolojik şartlara göre yeniden tanımlar. Damar tipi altın yataklarında sıkça görülen, doğrultu ve eğimleri birbirinden farklı damarları, çeşitli açılarla kesişen fay takımları, süreksiz kırık zonları ve cevherleşmenin yer yer yön değiştirmesi gibi yapısal unsurlar, sabit elipsoitlerin bu yerel değişimleri yakalamasını zorlaştırmaktadır. Dinamik anizotropi ise bu yapısal karmaşıklığı dikkate alarak, her blok çevresinde damarların yönünü, eğimini, sürekliliğini ve cevherleşmeyi kontrol eden yapısal çizgisellikleri esas alır, böylece yapılan tahmin, sahadaki gerçek jeolojik düzen ile daha uyumlu hale gelir.

Tunç Özbek'in 2023 yılında yaptığı çalışmada, dinamik arama elipsoidinin özellikle kömür damarlarının değişken yapısını yansıtmada sağladığı katkılar ön plana çıkarılmıştır. Özbek'in değerlendirmelerine göre, çalıştığı sahada kömür damarları çoğu zaman kısa mesafelerde bile doğrultu, eğim ve kalınlık bakımından değişiklik gösterdiği için, sabit yönelimli statik elipsoidlerin bu değişimleri yeterince takip edemediği vurgulanmıştır. Dinamik elipsoit yaklaşımının farkı ise, her tahmin noktasında elipsoid parametrelerini ilgili damarların yerel geometrik özelliklerine göre uyarlayabilmesidir. Böylece, özellikle düzensiz kalınlık, farklı doğrultu setleri veya parçalı damar yapılarına sahip sahalarda, jeolojik koşullarla daha tutarlı hale gelmekte ve yapılan tahminlerin bütünlüğü güçlenmektedir. Özbek'in tezinde ortaya koyduğu bu sonuçlar, dinamik arama elipsoidinin karmaşık jeolojik düzen gösteren maden sahalarında önemli bir avantaj sağladığını göstermektedir (Özbek, 2023).

Ruskov, Ivanov ve Kostadinov'un (2020) Pisani Skali altın sahasında yaptıkları çalışmada, dinamik arama elipsoidinin performansı değerlendirilmiştir. Çalışılan bölge, Rila-Rodop masifindeki granit kütlesi içinde gelişmiş ve doğrultu-eğim özellikleri yer yer değişen kuvars damarlarından oluşan damar tipi bir altın yatağıdır. Damar kalınlıklarının ve yönlerinin kısa mesafelerde bile değişmesi, bu sahayı dinamik anizotropi için uygun bir örnek haline getirmiştir. Araştırmada önce sabit yönelimli klasik elipsoidlerle bir model kurulmuş, daha sonra damarların yerel yönelimlerini dikkate alan dinamik elipsoid uygulanmıştır. Dinamik yaklaşımda, her blok için damarların bulunduğu kesimdeki yön bilgisi kullanılarak elipsoidin yönü ve boyutları otomatik olarak güncellenmiştir. Böylece elipsoid, cevherleşmenin sahadaki gerçek davranışını daha iyi takip edebilmiştir. Karşılaştırma sonucunda, dinamik arama elipsoidinin hem altın dağılımını daha dengeli modellediği hem de tahmin hatalarını belirgin şekilde azalttığı görülmüştür. Özellikle bazı kesitlerde iki model arasındaki farkların oldukça yüksek olduğu ve dinamik yöntemin örnek veriye daha yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Bu sonuçlar, damar tipi altın yataklarında dinamik elipsoit kullanımının önemli bir avantaj sağladığını göstermektedir (Ruskov ve ark, 2020).

Benzer biçimde, Afonseca (2021), düşük veri yoğunluğuna sahip sahalarda dinamik anizotropi ile doğrusal olmayan jeostatistik yöntemlerini birleştirerek zon sınırlarının daha hassas şekilde belirlenebildiğini göstermiştir (Afonseca, 2021).

Tembo'nun 2019'da gerçekleştirdiği çalışma, dinamik anizotropinin kriging tahmin sürecine entegrasyonu üzerine yapılmış ve yöntem Zambiya'daki Konkola bakır yatağı üzerinde test edilmiştir. Bu sahada tabakalanma kıvrımlı ve dalgalı bir geometrik yapıya sahip olduğundan, yönelimi sabit kabul eden klasik arama elipsoitleriyle doğru sonuçlar elde etmek oldukça güçtür. Özellikle eğimin kısa mesafelerde hızla değiştiği kıvrım kolları, katman içi bükülmeler, dalgalı tabaka yapısı ve yerel faylanmalar, statik elipsoitlerin cevher sürekliliğini sağlıklı biçimde takip edememesine neden olmaktadır. Tembo'nun çalışmasında dinamik anizotropi, her blokta tabakanın bulunduğu noktadaki yerel doğrultu ve eğime göre tanımlanan arama elipsoidleriyle uygulanmış, böylece sabit bir global yönelim yerine cevherleşmenin gerçek yapısal çizgiselliğine uyum sağlayan bir tahmin geometrisi elde edilmiştir. Araştırmanın sonuçları dinamik elipsoid kullanımının kıvrımlı stratiform bakır katmanlarının sürekliliğini daha doğru yansıttığını, kriging verimliliğini artırdığını, regresyon eğimlerinin iyileştiğini ve statik elipsoitlere kıyasla daha düşük hata ve daha az yapay süreksizlik oluşturduğunu göstermiştir. Ayrıca yerel yönelim değişimlerine duyarlı olması nedeniyle özellikle kıvrım eksenini çevresinde örnek seçiminde önemli bir avantaj sağladığı, cevher geometrisini daha gerçekçi modellediği için mevcut veriyle daha fazla bloğun tahmin edilebildiği ve toplam metal içeriğinin daha yüksek hesaplandığı belirtilmiştir. Bu bulgular, dinamik anizotropi yaklaşımının kıvrımlı ve dalgalı stratiform bakır yataklarında sabit elipsoit kullanımına göre belirgin bir üstünlük sunduğunu ortaya koymaktadır (Tembo,2019).

Her ne kadar elde edilen bulgular umut verici olsa da, kaynak tahmininde dinamik arama elipsoitlerinin uygulanması halen gelişmekte olan bir araştırma alanıdır. Bu yöntemin avantajlarının daha iyi anlaşılabilmesi ve farklı geometrik özelliklere sahip cevherleşmelerde uygulanabilirliğinin değerlendirilebilmesi amacıyla, gelecekte kapsamlı durum çalışmaları ve akademik araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

3. MATERİYAL VE METOD

3.1. Tülallar/Azerbaycan Altın Sahası

Tülallar Altın Yatağı, Küçük Kafkaslar'ın kuzeydoğu yamacında, Göygöl ilçesi sınırları içinde yer almaktadır. Arazi genel olarak engebeli, eğimli ve kırıklı bir topoğrafyaya sahiptir ve deniz seviyesinden ortalama 1350-2065 m yükseklikte bulunmaktadır. Maden sahası Göygöl şehir merkezine 22 km, Gence şehrine ise 40 km uzaklıktadır. En yakın yerleşimler Tülallar köyü (2-3 km) ve Hacıkend yerleşimidir (6-7 km). Sahaya yıl boyunca karayolu ile ulaşım mümkündür.

Bölge dağ-yan iklim tipine sahiptir. Kış ayları soğuk ve karlı geçmekte olup ocak ayı sıcaklıkları -3-15 °C aralığındadır. Yaz ayları genellikle serin olup sıcaklık 16-20 °C arasında değişmektedir. Yıllık yağış miktarı 550-750 mm civarında olup yağışlar özellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında yoğunlaşır. Yüksek nemlilik, sisli günler ve hakim kuzeybatı rüzgarları bölgenin belirgin iklim özelliklerindendir. Bu koşullar kış aylarında çalışma temposunu azaltabilecek düzeydedir.

Hidrolojik açıdan saha, Küçük Kafkaslar'ın sık akarsu ağının içinde yer almaktadır. Sahaya yakın bölgelerden Kürekçay, Genceçay ve bu çayların yan kolları geçmektedir. Akarsular yağış ve kar erimeleri ile beslenmekte, mevsimsel olarak akım miktarı değişmektedir. Ayrıca bölgede küçük pınarlar, mevsimsel dereler ve yeraltı su sızıntıları yaygındır. Bu hidrolojik yapı hem arazi şekillenmesine hem de maden işletmeciliğinde drenaj sistemlerinin önem kazanmasına neden olmaktadır.

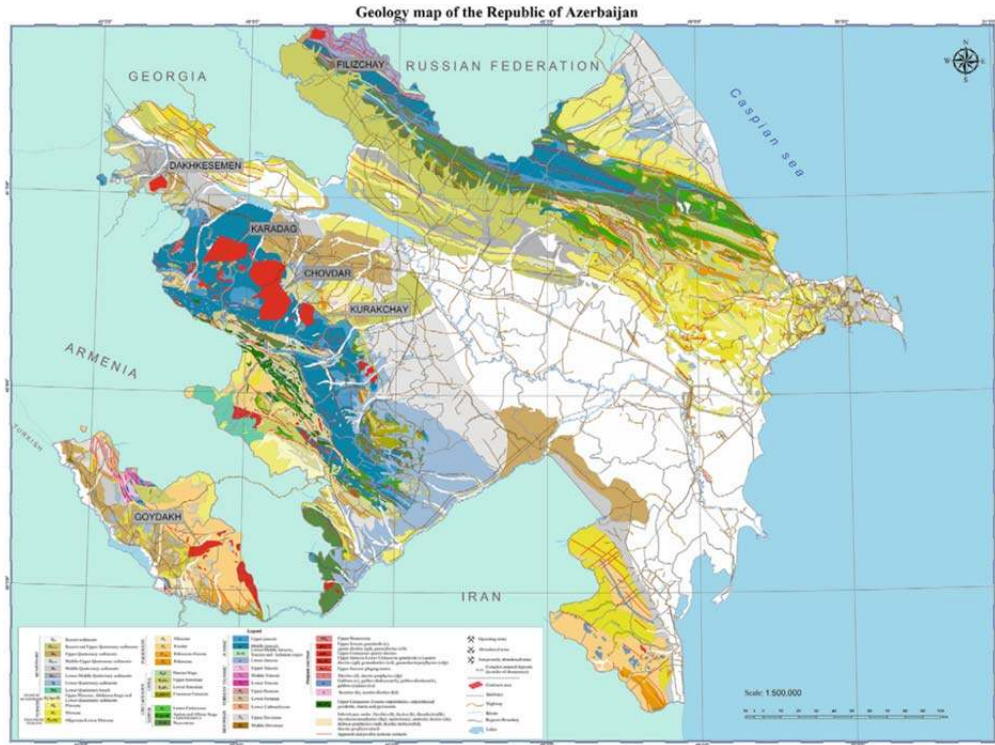
3.1.1. Bölgesel Jeoloji, Stratigrafi ve Tektonik

Jeomorfolojik olarak saha, derin vadiler, dalgalı ve kırıklı topoğrafya, yer yer sarp eğimler (25-35°) ve aşınmış yamaç yüzeyleri ile karakterizedir. Bölge tektonik açıdan aktif bir zonda yer aldığından kıvrım ve fay yapıları arazi genelinde açık bir biçimde izlenmektedir. Yüksek eğimli alanlarda lokal ölçekli şev hareketleri görülebilmektedir. Bitki örtüsü büyük ölçüde dağ-orman zonu olup palamut, fındık, göknar ve karışık meşe türleri geniş alan kaplamaktadır. Toprak örtüsü çoğunlukla kahverengi dağ-orman toprakları olup ince bir profile sahiptir ve aşınma duyarlıdır. Küçük Kafkaz'ın kuzeydoğu yamacı, Güney Kafkasya orojenik kuşağının önemli bir bölümünü oluşturmakta olup, karmaşık tektonik ve litolojik özellikler sergilemektedir (Aliyev, 1984). Bölge temel olarak Paleozoik, Mezozoik ve Senozoyik yaşlı volkanosedimanter ve magmatik kayalardan meydana gelmektedir. Litolojik birimler içerisinde bazalt, andezit, dasit, tüf, kireçtaşı ve filiş türü kayalar geniş yayılım göstermektedir. Stratigrafik istif, farklı jeodinamik evrelerin izlerini yansıtmakta olup, sedimanter ve volkanik süreçlerin ardalanması bölgenin tektonik evrimi ile doğrudan ilişkilidir (Hüseynov, 1992).

Stratigrafik açıdan bölge, Devoniyen'den Kretase'ye kadar uzanan kayaç serilerini içermektedir. Alt Devoniyen yaşlı kuvarsit, şist ve kireçtaşları üzerine uyumsuz olarak gelen Üst Karbonifer ve Permien yaşlı volkanosedimanter istifler, eski tektonik olayların ürünüdür. Mezozoik istif içerisinde Jura yaşlı bazalt, andezit, dasit ve tüfler ile bunların arasına sokulmuş sedimanter seviyeler yer almaktadır. Kretase yaşlı kireçtaşı ve marnlar ise bölgenin geç Mezozoik dönemine ait denizel ortam koşullarını yansıtmaktadır. Bu litolojik ve stratigrafik çeşitlilik, bölgedeki maden potansiyelinin yüksek olmasında önemli rol oynamaktadır (Aliyev, 1984; Mustafayev, 2000).

Tektonik bakımdan bölge, kıvrım ve fay sistemlerinin yoğun olarak geliştiği bir kuşakta konumlanmaktadır. Kuzeydoğu yamaç boyunca farklı doğrultu ve eğimlerde gelişmiş bindirme, ters fay ve doğrultu atımlı faylar yaygındır. Bu yapısal unsurlar, cevherleşme zonlarının oluşumunda belirleyici olmuş; hidrotermal akışkanların dolaşımını ve mineralizasyon süreçlerini kontrol etmiştir (Kazımov, 2005). Kıvrım sistemleri çoğunlukla kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanmakta olup, yapısal deformasyonlar farklı jeolojik dönemlerde gerçekleşen çok evreli tektonik olayların izlerini taşımaktadır (Hüseynov, 1992).

Sonuç olarak, Küçük Kafqaz'ın kuzeydoğu yamacının jeolojik yapısı, çok evreli tektonik deformasyonlar, karmaşık stratigrafik dizilim ve çeşitli litolojik bileşenlerin etkisiyle şekillenmiş olup, bu özellikler bölgenin cevherleşme potansiyelini doğrudan etkilemektedir (Aliyev, 1984; Hüseynov, 1992; Mustafayev, 2000; Kazımov, 2005).



Şekil 3.1. Azerbaycan'ın jeoloji haritası, Chovdar bölgesinin güneydoğusunda yer alan Küçük Kafkasları göstermektedir (TUNAHAN K ve ark. 2023.)

3.1.2. Ocak Sahası ve Civarının Jeolojisi

Tülallar altın yatağının bulunduğu Ocak Sahası ve yakın çevresi, Küçük Kafkasların kuzeydoğu yamacında yer alan ve genel olarak volkanik-çökel kökenli kayalardan oluşan karmaşık bir jeolojik yapıya sahiptir. Ocak sahası ve çevresindeki altın mineralizasyonu başlıca kuvarşlaşmış ve hidrotermal değişime uğramış riyodasitik, riyolitik, dasitik ve andezit-dasit bileşimli volkanik kayalar içerisinde izlenmektedir. Bu kayaların kırık sistemleri boyunca gelişmiş çatlaklar, kırık zonları, breşleşmiş alanlar ve kuvars damarları, altın cevherleşmesinin taşıdığı temel yapısal unsurları oluşturmaktadır.

Sahanın kuzey ve güney kesimleri arasında hem litolojik hem de mineralojik özellikler bakımından belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Kuzey kesimdeki cevherleşme düşük sülfidasyonlu (low-sulfidation) altın-kuvars tipindedir ve damarlar daha dar, daha sürekli, sülfid minerallerinin oranı genellikle %5'in altındadır. Güney kesimde ise yüksek sülfidasyonlu (high-sulfidation) cevherleşme belirgindir ve altın hem serbest halde hem de sülfid mineralleriyle birlikte düzensiz bir dağılım gösterir. Bu bölümdeki kuvarsitlerin daha yoğun breşleşmesi, hidrotermal akışkanların özellikle bu bölgede daha etkili şekilde toplandığını göstermektedir. Güneyde yer yer çok zengin (high-grade) altın zonlarının oluşması da bu yapısal ve hidrotermal koşullarla ilişkilidir.

Ocak sahasının temel yapısal kontrolü kuzey-güney ve kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu kırık ve fay sistemleri tarafından sağlanmaktadır. Bu kırıklar litolojik blokların yerlerini değiştirmiş, hidrotermal akışkanların hareket yollarını belirlemiş ve cevherleşmenin yoğunlaştığı yapısal hatları oluşturmuştur. Kuzeydeki ana blokların yaklaşık 150-200 metre kadar doğuya itilmiş olması, sahadaki tektonik hareketliliğin en belirgin göstergelerinden biridir.

Sahada yapılan jeokimyasal ve jeolojik çalışmalar sonucunda yaklaşık 800 × 40 metre boyutlarında geniş bir altın anomalisi belirlenmiştir. Bu anomalinin kuzeyden güneye doğru devamlılık göstermesi, mineralizasyonun sahada uzun bir zon boyunca yayıldığını göstermektedir. Jeokimyasal olarak yüksek değerlere sahip kayalar genellikle hidrotermal olarak değişmiş, kuvarşlaşmış ve kısmen kaolinleşmiş asidik volkanik kayalardır.

Tüm bu özellikler Ocak Sahasını kuvars-hidrotermal breş tipinde, yapısal kontrolle gelişmiş, zonlanma gösteren bir altın yatağı olarak tanımlamayı mümkün kılmaktadır. Sahada kırık sistemlerinin çokluğu, litolojik çeşitlilik ve sülfidasyon derecesinin değişkenliği jeolojik açıdan belirgin bir karmaşıklık yaratmakta, bu da kaynak modelleme çalışmalarında yönelime duyarlı (anizotropik) yaklaşımların önemini artırmaktadır. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te sırasıyla zengin ve fakir zonlara ait örnekler sunulmuştur.



Şekil 3.2. Zengin zona ait oksitleşmiş ve yoğun cevherleşmiş kuvarsit görünümü



Şekil 3.3. Fakir zona ait oksitlenmiş kuvarsit görünümü

3.1.3. Madencilik Faaliyetlerinin Tarihçesi

Tülallar Altın Madeni, Azerbaycan'ın başkenti Bakü'nün yaklaşık 310 kilometre batısında, Küçük Kafkasya Dağları'nın kuzey kesiminde yer almaktadır. Bölgedeki altın mineralizasyon potansiyeli, ilk kez 1980'li yıllarda tespit edilmiş ve o dönemde yürütülen ön araştırmalarla cevherleşmenin varlığı doğrulanmıştır. 2017 yılından bu yana AzerGold CJSC tarafından yürütülen detaylı jeolojik ve teknik çalışmalar ile sahanın maden potansiyeli daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiş ve ortaya konmuştur.

Tülallar Altın Madeni'ni işletme aşamasına taşıyan en önemli adım, AzerGold CJSC tarafından 11 Şubat 2023 tarihinde üretim faaliyetlerine başlanması olmuştur. Söz konusu tarihin, şirketin kuruluşunun sekizinci yıl dönümüne denk gelmesi ise ayrı bir anlam taşımaktadır. Bu süreçle birlikte, sahanın yaklaşık 79.755 ons seviyesinde belirlenen ve yüksek piyasa değeri bulunan ekonomik altın rezervi, resmi bir kaynak olarak literatürdeki yerini almıştır (AZERGOLD CJSC, TUNAHAN K ve ark. 2023).

3.1.4. Üretim Teknikleri, Maden Makine ve Ekipmanları

Bir maden sahasında hangi işletme yönteminin uygulanacağı, cevherin derinliği, rezerv büyüklüğü, tenör durumu, jeoteknik koşullar ve çevresel etkiler dikkate alınarak belirlenir. Eğer maden yatağı yüzeye yakın ve örtü tabakası ince ise, kazı maliyetleri düşük olacağından genellikle açık ocak yöntemi tercih edilir. Buna karşılık cevher yatağı derinde ve örtü kalınsa yeraltı madenciliği uygulanır.

Tülallar Altın Yatağı yüzeye yakın ve örtü tabakası oldukça incedir. Bazı bölgelerde doğrudan cevhere yüzeyde olmuş, herhangi bir pasa kaldırılmamıştır. Bu nedenle saha ekonomik açıdan açık ocak işletmeciliği için uygundur. Yüzeydeki ortalama 0,2 m kalınlığındaki toprak tabakası vardır, buda ileride kullanılmak üzere özel depolama alanına taşınmaktadır.

Üretimde kamyon nakliyatlı sistem kullanılmaktadır. Örtü ve atık kayaçlar ekskavatör veya yükleyicilerle kamyonlara yüklenmekte ve kuzeydeki Aık sahasına taşınmaktadır. İşletme sona erdiğinde bu alan rekultivasyon olunacaktır.

Kazıya hazırlık ise iki şekilde yapılmaktadır: patlatma ve doğrudan kazı. Sert kayalarda patlatma yöntemi, yumuşak kısımlarda ise doğrudan kazı uygulanmaktadır. Bu yöntem hem maliyetleri azaltmakta hem de cevher kaybını düşürerek üretim verimliliğini artırmaktadır. Hangi yöntemin uygulanacağına ise delici makinelerden elde edilen veriler doğrultusunda karar verilmektedir. Eğer makine verileri ölçümleri kayaçların sert ve dayanıklı olduğunu gösterirse patlatma yöntemi uygulanır, kayaçlar yumuşak olarak değerlendirilirse doğrudan kazı yapılmaktadır.

Tülallar Altın Madeninde esas üretim ekskavatörler ve kamyonlar ile gerçekleştirilmektedir. Ancak yalnızca bu makineler yeterli olmamakta, verimliliğin artması ve çalışmaların kesintisiz devam edebilmesi için çeşitli yardımcı ekipmanlar da kullanılmaktadır. Bu makineler doğrudan kazı işlemlerinde görev almamakla birlikte; hazırlık, yol yapımı ve bakımı, toz kontrolü, saha düzenleme ve servis hizmetleri gibi alanlarda önemli sorumluluklar üstlenmektedir.

Tülallar Altın madeninde kullanılan Maden Makine ve Ekipmanları aşağıdakilerdir.

Çizelge 3.1. Tülallar Altın madeninde kullanılan Maden Makine ve Ekipmanları aşağıdakilerdir.

No	Makine / Ekipman	Model	Teknik Özellikler	Kullanım Amacı	Açıklama
1	Ekskavatör	SANY SY330H	31,5 ton; 212 kW Isuzu 6HK1 motor; 2,0 m ³ kova	Örtü ve cevher yükleme	Ana üretim ekskavatörü
2	Ekskavatör	Caterpillar 345 GC	42 ton; 258 kW motor; 2,4 m ³ kova; >7 m kazı	Kazı ve yükleme	Örtü ve cevherde kullanılır
3	Kaya Kamyonu	Howo Sinotruk 6×4	20 m ³ kasa; 380 HP motor; 25–33 ton taşıma	Cevher ve pasa nakliye	Günlük nakliyyede kullanılır
4	Dozer	SEM 822D	26,5 ton; 175 kW motor; 6,4 m ³ bıçak	Tesviye, basamak oluşturma	Riper + bıçak donanımlı
5	Ön Yükleyci	SEM 655D	18 ton; 164 kW motor; 3 m ³ kova	Yükleme	Kaldırma için kullanılmaz
6	Silindir	LiuGong 6614E	14 ton; 118 kW motor; 2130 mm en; 1555 mm çap	Sıkıştırma, kaya ezme	Yol ve pasa düzenleme

3.1.5. Veri Seti

3.1.5.1. Ham Verilerin Tanımlayıcı İstatistiksel Analizi

Çizelge 3.2. Ham Verilerin tanımlayıcı istatistik analizleri

Veri Sayısı	7,637
En Düşük Değer (ppm)	0.005
En Yüksek Değer (ppm)	759.83
Ortalama Değeri (ppm)	1.16
Ortanca Değeri (ppm)	0.11
Standart Sapma	12.44
Varyans	154.8
Varyasyon Katsayısı	10.70

Çarpıklık	39.2
Sivrilik	2,041

Çizelge 3.2’de ham altın tenör verisine ait tanımlayıcı istatistiksel analiz sonuçları sunulmuştur. Veri seti 7.637 örnekten oluşmakta olup ortalama tenör 1.16 ppm, ortanca değer ise 0.11 ppm olarak hesaplanmıştır. Ortalama ile ortanca arasındaki belirgin fark, dağılımın sağa çarpık olduğunu göstermektedir. Ayrıca maksimum değer 759.83 ppm gibi oldukça yüksek olması ve çarpıklık 39.2 ile sivrilik 2,041 değerlerinin yüksek çıkması, veri setinde uç değerlerin bulunduğunu ve dağılımın normal dağılımdan önemli ölçüde saptığını ortaya koymaktadır. Bu durum, altın tenör dağılımının heterojen bir yapı sergilediğini ve nugget etkisinin belirgin olabileceğini göstermektedir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Jeostatistik

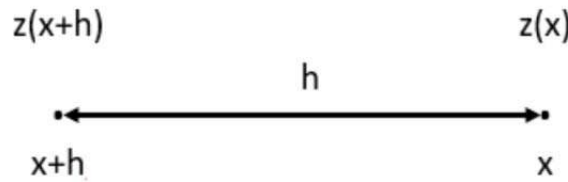
Jeostatistik, belirli mekansal özelliklerin tanımlanması ve değerlendirilmesinde kullanılan matematiksel yöntemler bütünüdür (Olea, 1999). Bu yöntemlerin temel bileşenleri arasında variogram, kriging ve simülasyon teknikleri yer almaktadır.

Jeostatistik, doğal kaynakların hem yüzeyde hem de yer altında bulunan jeolojik, geometrik ve miktarsal özelliklerini incelemeye yönelik kullanılan istatistiksel analiz yöntemlerinin genel adıdır. Bu yöntem özellikle maden, jeoloji, ve çevre mühendisliği disiplinlerinde yaygın şekilde uygulanmaktadır. Jeostatistiksel analizlerde temel amaç, elde edilen örnek veriler arasında mesafe ve yön ilişkisine bağlı olarak gözlenen değişimlerin matematiksel olarak bağlılığının belirlenmesidir. Böylelikle, mevcut verilerden yararlanılarak daha geniş sahalara yönelik güvenilir tahminler yapılabilmekte, aynı zamanda tahminlerin hata payı da istatistiksel güven aralıkları çerçevesinde değerlendirilebilmektedir (Erel, 2011).

Doğal ortamda değişkenliklerin matematiksel olarak farklı biçimlerde görülmesi mümkündür. Örneğin, bir maden yatağında tenör değerlerinin dağılımı, ölçüm noktalarının yönlerine ve uzaklıklarına bağlı olarak değişebileceği gibi, bazı durumlarda mesafeden bağımsız dalgalanmalar da gözlenebilmektedir. Bunun temel nedeni, her cevher yatağının kendine özgü jeolojik yapıya sahip olmasıdır, dolayısıyla uygulanacak jeostatistiksel yöntemler de çalışılan yatağın karakteristik özelliklerine göre uyarlanmak zorundadır. Genel anlamda, potansiyel maden sahası olarak belirlenen alanlarda gerçekleştirilen sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen tenör değerleri, sondajlar arası mesafeye göre farklılık göstermektedir. Sondajların birbirine yakınlığı arttığında değerler arasındaki varyasyonun azaldığı, mesafe büyüdüğünde ise bu varyasyonun belirgin şekilde arttığı istatistiksel olarak beklenen bir durumdur (Özbek, 2023).

3.2.1.1. Bölgesel değişken teorisi

Uzay boyunca dağılım gösteren değişkenler bölgeselleştirilmiş değişkenler olarak adlandırılmaktadır. Yer bilimlerinde birçok değişken bu mahiyette olup, özellikle madencilik pratik alanlarında önemli bir yere sahiptir. Cevher yataklarının incelenmesinde, tenör, kalınlık ve yoğunluk oranı gibi sahaya özgü birçok göstergenin analiz sonuçları değerlendirilmektedir. Bu parametrelerin her biri elde edildikleri bölgeye özgü özellik taşır. Bir cevherleşme kümesi içerisinde uzaysal düzlemde konumları bilinen noktalar bölgesel değişkenler olarak tanımlanmaktadır. Bölgesel değişkenlerin değerleri, yalnızca örnekleme yapılan X, Y ve Z koordinatlarında belirlenebilmektedir. Ancak, cevher yatağını temsil eden hacmin her noktasından doğrudan örnek almak olası değildir. Sonuç olarak, örnek alınmamış noktalardaki değerler, mevcut gözlemler arasındaki matematiksel ilişkilere dayanılarak öngörülmekte ve kaynak kestirim işlemi yapılmaktadır.



Şekil 3.4. Rastgele bir lokasyona ait bölgesel değişkenler

$$f(h) = Z(x) - Z(x+h) \quad \#1$$

Temsili cevher yatağının x koordinatındaki tenörü $Z(x)$, $Z(x)$ noktasından h mesafesi uzaklığındaki tenör değeri ise $Z(x+h)$ olarak ifade edilmektedir. Bu iki nokta arasındaki tenör değerleri $f(h) = Z(x) - Z(x+h)$ olarak ifade edilmektedir. Bilinmeyen noktalardaki tenör değerlerini temsil eden bu fark h mesafesine bağlı bir fonksiyondur. Bu anlamda $f(h)$ fonksiyonu kullanılarak ve bilinen değerlerden yola çıkılarak bilinmeyen koordinatlardaki tenör değerleri tahmin edilebilir.

Tenör değerleri arasındaki sapmanın h mesafesi arttıkça yükselmesi, h mesafesi azaldıkça düşmesi beklenmektedir. Bölgesel değişkenlerin mesafeye bağlı etkileşimlerini ortaya koymak amacıyla durağan rastgele fonksiyonlar esas alınmaktadır. Cevher yatağının belirli koordinatlarından bir $Z(x)$ rastlantı değişkeni tasvir edilir ve bu noktadaki değer, $Z(x)$ rastlantı değişkeninin bir değeri olduğu değerlendirilir. Cevher yatağı içinde tasvir edilen rastlantı değişkenlerinin tamamından faydalanılarak cevherleşme kümesini temsil edecek bir fonksiyon oluşturulur ve bu bölgesel değişkenlerde rastlantı fonksiyonunun bir değeri olarak tespit edilir (COLEMAN, 2021).

3.2.1.2. Variogram Analizi

Variogram, bir değişkenin mekansal bağımlılığını değerlendirmeye yarayan bir tekniktir. Belirli bir mesafe ya da adım aralığına (lag) bağlı olarak veri çiftleri arasındaki benzerlik düzeyini sayısal biçimde ortaya koyar. Jeostatistikte temel yaklaşımlardan biri olarak, veri kümesi içindeki mekansal ilişkiyi tanımlamak amacıyla kullanılır.

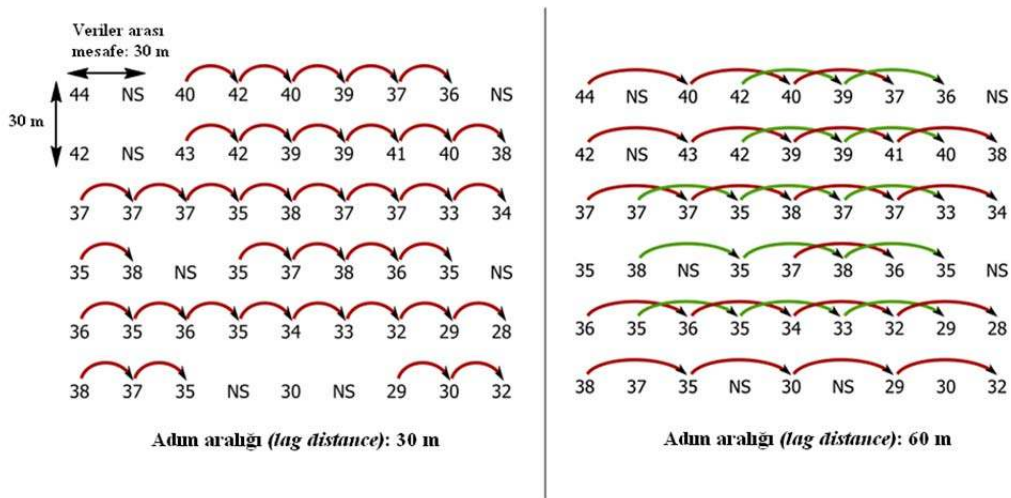
Variogramın hesaplanmasında, belirli mesafe ya da adım aralıkları dikkate alınarak tüm veri noktaları çiftleri arasındaki farklar hesaplanır. Bu farkların kareleri alınarak yarı-varyans değerleri elde edilir. Yarı-varyans, mesafeye bağlı olarak noktalar arasındaki değişkenliğin bir göstergesi niteliğindedir. Farklı mesafe veya lag değerleri için bu işlem tekrarlandığında, verinin mekansal düzenini yansıtan bir eğri elde edilir. Bu eğri deneysel variogram ya da kısaca variogram olarak adlandırılır (ISAACS, E. H., SRIVASTAVA, R. M, 1989.).

Variogram için kullanılan matematiksel ifade, Eşitlik (4)'te gösterilmektedir.

$$\gamma(h) = \left(\frac{1}{2N(h)} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \#2$$

Burada $\gamma(h)$, h uzaklığındaki yarı-varyansı (semivaryans) göstermektedir. $N(h)$, h mesafesiyle ayrılmış nokta çiftlerinin sayısını ifade eder. $Z(x_i)$, x_i konumunda değişkenin aldığı değeri, $Z(x_i + h)$ ise $x_i + h$ konumundaki değişkenin değerini temsil etmektedir.

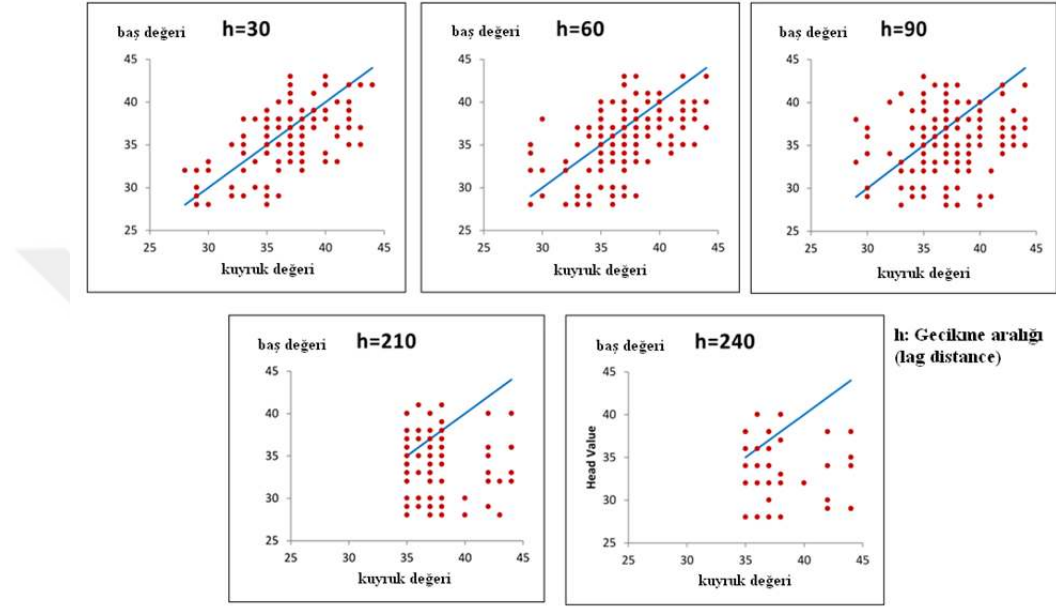
Variogram çoğunlukla adım aralığına bağlı olarak çizilir ve verilerin kümelenme konumuna göre farklı sonuçlar ortaya çıkarabilir. Hesaplama yapılırken, adım aralığı değerlerinin sahayı doğru yansıtacak biçimde, uygun yön ve aralıklarla seçilmesi gerekir. Şekil 3.5'de, iki boyutlu rastgele oluşturulmuş veriler kullanılarak farklı adım aralıklarına göre seçilen veri çiftleri gösterilmektedir (Özbek, 2023).



Şekil 3.5. Temsili farklı lag aralıkları (Özbek, 2023)

NS: No sample-Boş değerler temsil etmektedir.

Adım aralığının uygun mesafesini saptamak amacıyla, farklı adım aralıkları için elde edilen dağılım diyagramlarının analizi yapılır. Bu kapsamda, Şekil 3.5’de ve Şekil 3.6’daki temsili veriler kullanılarak 30 m, 60 m, 90 m, 210 m ve 240 m adım aralığı değerleri ile oluşturulan dağılım diyagramları sunulmaktadır (Özbek, 2023).

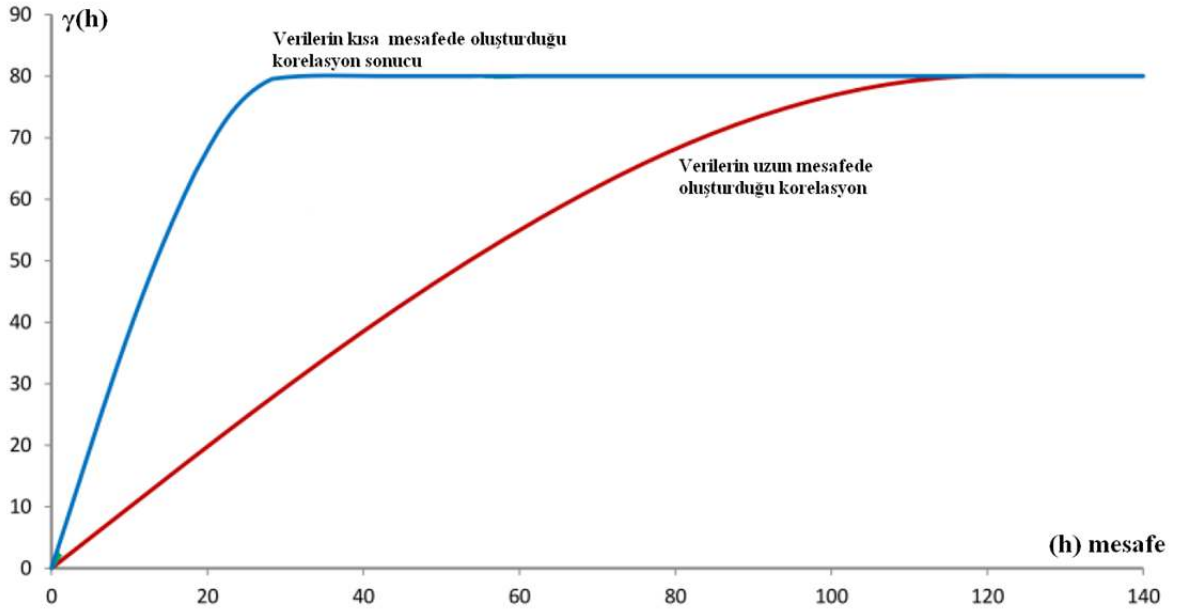


Şekil 3.6. Farklı mesafe (adım aralığı) değerleri dikkate alınarak oluşturulmuş dağılım diyagramları (Özbek, 2023)

Dağılım diyagramları, mesafenin artmasıyla birlikte veriler arasındaki uzamsal korelasyonun azaldığını göstermektedir.

Eğer veriler kısa mesafelerde yüksek düzeyde korelasyon sergiliyorsa, variogram başlangıçta hızlı bir artış göstermektedir. Uzun mesafelerde güçlü mekansal korelasyon gözlemlendiğinde, variogram fonksiyonu başlangıçta ani bir artış yerine daha yumuşak ve kademeli bir yükseliş eğilimi sergilemektedir. Eğer verilerde herhangi bir korelasyon söz konusu değilse, variogram düz ve sabit bir çizgi şeklinde devam edecektir. Dolayısıyla, verilerin farklı adım aralıklarında sergilediği korelasyonun belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Söz konusu ilişkinin en doğru biçimde incelenebilmesi için, maden sahasında gerçekleştirilecek sondajların jeostatistiksel çalışmalara uygun bir desen ile delinmesi gerekmektedir. Sondaj düzeni, aralıkları ve uzunlukları bakımından tutarlı olduğunda, jeostatistiksel yöntemlerin güvenilirliği ve uygulanabilirliği önemli ölçüde artmaktadır.

Şekil 3.7’de, 20 m ve 100 m mesafelerde etkileşim gösteren verilerin grafikleri sunulmuştur. Buna göre, mavi renkteki veriler 20 metreye kadar, kırmızı renkteki veriler ise 100 metreye kadar korelasyon göstermektedir.



Şekil 3.7. Farklı mesafe aralıklarında (kısa ve uzun) etkileşim ortaya koyan verilerin temsili variogram grafiği (Özbek, 2023)

Jeoistatistikte, değişkenlerin mekansal korelasyon özelliklerini belirlemek için külçe etkisi, eşik değeri ve yapısal uzaklık parametreleri kullanılmaktadır. Variogram grafikleri hazırlanırken bu parametreler esas alınır.

Külçe Etkisi (Nugget Effect): Külçe etkisi, değişkenin ölçüm ile açıklanamayan mekansal değişkenliği temsil eder. Bir numune iki farklı laboratuvara gönderildiğinde çoğu zaman farklı sonuçlar elde edilir. Dolayısıyla, numune ayırım mesafesi sıfır olduğunda dahi bir fark bulunmaktadır. Bu farka külçe etkisi (nugget) denir ve genellikle $c(0)$ ile gösterilir. Külçe etkisi, sıfır mesafede ölçülen bu farklılığı ifade eder. Külçe etkisi (nugget) kavramı, iri taneli altın yataklarında sıkça karşılaşılan bir durumdan türetilmiştir. Numune ikiye bölündüğünde, parçaların birinde altın bulunurken diğerinde hiç altın olmayabilmektedir. Yatak tipinin özellikleri, külçe değerini doğrudan etkilemektedir. Metal dağılımının düzensiz olduğu altın yataklarında külçe değeri yüksek olurken, ince taneli ve homojen dağılıma sahip demir cevheri yataklarında bu değer genellikle düşüktür. Külçe etkisi çoğu zaman numunenin bölünmesinden kaynaklansa da, örnekleme hataları, laboratuvar sürecindeki yanlışlıklar ya da veri girişinde yapılan hatalar da etkili olabilmektedir. Her ne kadar bu hususlar çalışmanın kapsamı dışında olsa da, külçe etkisine ve jeoistatistiksel değerlendirmelere olan yansımalarının dikkate alınması gerekir (DASSAULT SYSTEMES, 2019.).

Eşik Değeri (Sill): Yarıvariogram grafiğinde, değişimin durduğu ya da sabit bir şekilde ilerlediği noktada eksen kestiği değer sill olarak tanımlanır. Tepe varyansı adıyla da bilinen bu

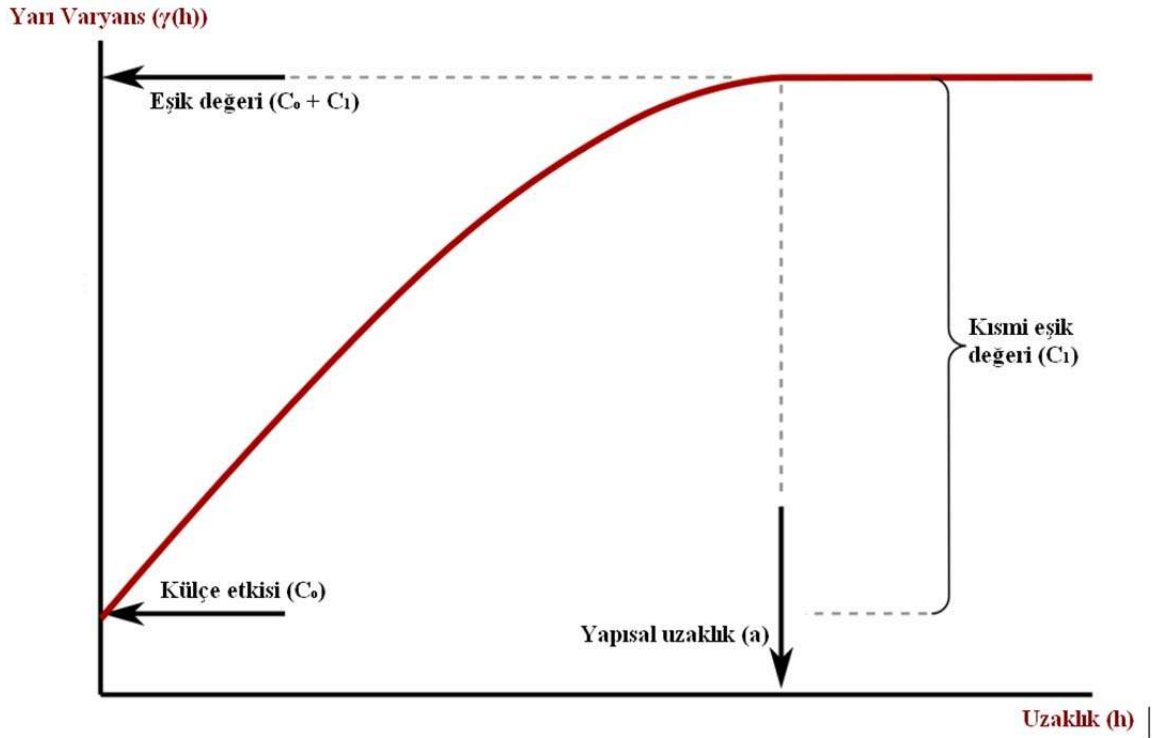
değerin kitle varyansına yakın çıkması beklenir aksi halde sahada yönelim bulunduğu düşünülür.

Birbirinden belirli bir uzaklıkta bulunan iki numune karşılaştırıldığında, aralarındaki farkın daha yakın numunelere göre daha büyük olması beklenir. Variogram grafiğinde, nugget noktasından başlayarak yukarı ve sağa doğru yükselen kısım bu durumu ifade eder. Ancak belli bir mesafeden sonra numuneler arasındaki farklılık daha fazla artmaz. Örneğin, en yüksek numune değeri ile en düşük numune değeri arasındaki fark, ulaşılabilecek en büyük farklılığı temsil eder. Variogramda bu durum grafiğin yataylaştığı bölümde görülür. Variogramın maksimum seviyesine ulaştığı bu noktayı tanımlayan iki parametre vardır: eşik (sill) ve etki mesafesi (range) (DASSAULT SYSTEMES, 2019.).

Yapısal Uzaklık (Range): Etki mesafesi (range), variogramın sill seviyesine eriştiği uzaklıktır. Bu mesafe aşıldıktan sonra örnek değerleri arasında herhangi bir korelasyon olmaz (Özbek, 2023).

Eşik değeri ($C_0 + C_1$)

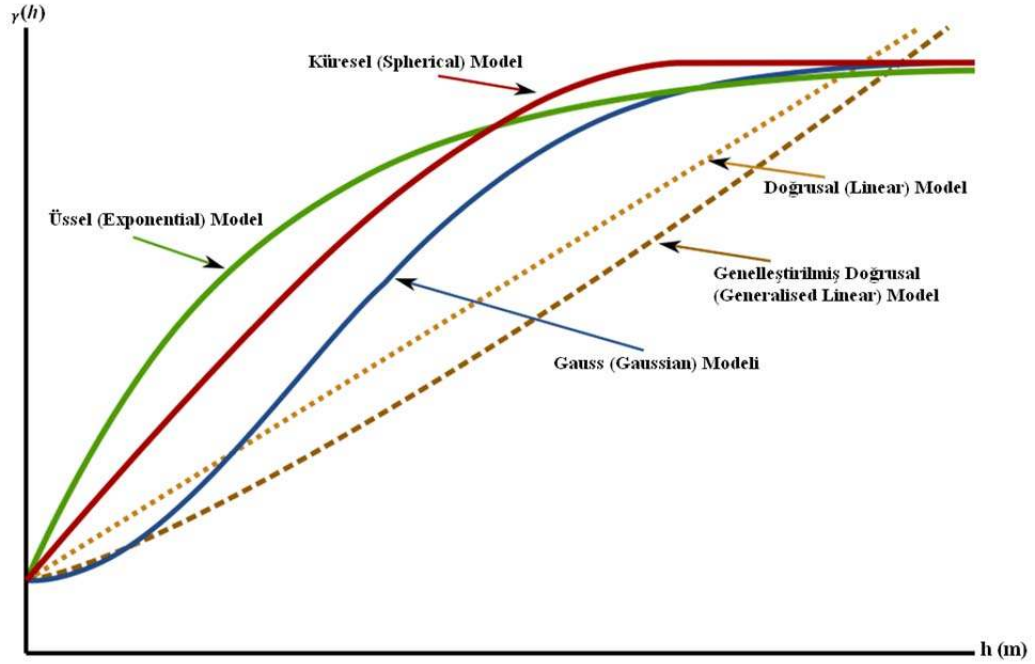
Şekil 3.8, variogram grafiği üzerinde parametrelerin nasıl yer aldığını göstermektedir.



Şekil 3.8. Variogram parametreleri (Özbek, 2023)

Variogram, bölgesel değişkenin uzaklığa bağlı yapısını yalnızca belirli mesafelerde ortaya koyabilmektedir. Fakat örnekleme yapılmamış noktaların tahmini için, bu fonksiyonun her mesafe için hesaplanması gerekir. Bu nedenle deneysel variogramdan elde edilen noktalara

bir model fonksiyonun uyarlanması önemlidir (Ertunç, 2013). Şekil 3.9’da yaygın olarak kullanılan beş farklı variogram modeline ait grafikler gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Variogram Modelleri (Özbek, 2023)

Küresel Model: Küresel modelde, veriler arasındaki uzaysal korelasyonun başlangıçta hızlı bir şekilde azaldığı ve belirli bir noktadan sonra eşik değerine ulaşarak sabit kaldığı kabul edilmektedir. Variogram eğrisi, belirli bir mesafeye kadar hızlı bir artış göstermektedir.

Küresel modele ait denklem Eşitlik 3’te verilmiştir.

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases} \quad \#3$$

$\gamma(h)$: h’daki variogram değerini, C: Eşik değerini, a: Yapısal uzaklık, C_0 : Külçe etkisi temsil etmektedir.

Üssel Model: Üssel modelde, veriler arasındaki uzaysal korelasyonun mesafe arttıkça üssel olarak azaldığı kabul edilmektedir. Bu modelde variogram eğrisi kısa mesafelerde hızlı bir artış göstermekte, daha sonra ise giderek yavaşlayarak düzleşmektedir. Ancak eğri, küresel modelde olduğu gibi belirli bir eşik değerine tam olarak ulaşmamaktadır

Üssel modele ait denklem Eşitlik 4’te verilmiştir.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-h/a\right) \right] \text{#####} \quad \#4$$

$\gamma(h)$: h'daki variogram değeri, C_1 : Eşik değerini, a : Yapısal uzaklık, C_0 : Külçe etkisi

Gauss Model: Gauss modelinde, örnekler arasındaki uzaysal korelasyonun mesafe arttıkça düzenli şekilde azaldığı ve belirli bir noktadan sonra eşik değerine yaklaştığı kabul edilmektedir. Variogram eğrisi başlangıçta daha yavaş ve düzenli bir artış göstermekte, daha sonra ise eşik değerine ulaşmaktadır.

Gauss modele ait denklem Eşitlik 5'te verilmiştir.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right)} \right] \text{#####} \quad 5$$

$\gamma(h)$: h'daki variogram değeri, C_1 : Eşik değerini, a : Yapısal uzaklık, C_0 : Külçe etkisi.

Doğrusal Model: Doğrusal model, örnekler arasındaki uzamsal korelasyonun mesafeyle doğrusal olarak azaldığını ve sabit bir değere veya eşiğe ulaşır - ulaşmayabileceğini varsayar. Mesafe dayalı olarak variogram eğrisinde eğimsiz sabit bir artış gözlenir. Stratigrafi özellik gösteren yataklanmalardaki tenör dağılımında bu model gözlemlenebilmektedir.

Gauss modele ait denklem Eşitlik 6'te verilmiştir.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(h/a \right) \text{#6}$$

$\gamma(h)$: h'daki variogram değeri, C_1 : Eşik değerini, a : Yapısal uzaklık, C_0 : Külçe etkisi

3.2.1.3. Anizotropi

Farklı yönlerde hesaplanan variogramlar, yapısal uzaklık veya eşik değer açısından değişkenlik gösterebilir. Bu durum literatürde anizotropi olarak tanımlanmaktadır. Jeostatistikte iki tür anizotropi tanımlanmaktadır geometrik ve zonal anizotropi.

Geometrik Anizotropi: Farklı yönlerde elde edilen variogram fonksiyonlarının eşik değere farklı yapısal uzaklıklarda ulaşması, geometrik anizotropi olarak tanımlanır. (Ertunç, 2013).

Zonal Anizotropi: Bazı sahalarda, farklı ortalamalara sahip bölgeler bulunabilmektedir. Bu tür durumlarda, variogramların yönler göre farklı eşik değerine ulaştığı görülür Bu özellik, zonal anizotropi olarak ifade edilmektedir (Ertunç, 2013).

3.2.1.4. Kriging

Jeoistatistiksel tahmin yöntemlerinden biri olan Kriging, 1960'lı yıllarda Fransız maden mühendisi ve matematikçi Georges Matheron tarafından geliştirilmiştir. Matheron, bu yönteme, 1950'li yılların başlarında Güney Afrika altın madenlerinde kaynak tahminlerini geliştirmek amacıyla ağırlıklı ortalamalar üzerine önemli çalışmalar yapmış olan Danie Krige'in adına atıfta bulunarak Kriging adını vermiştir (TEMBO, Z. 2019).

Kriging, literatürde "En İyi Lineer Tarafsız Tahmin Edici" (Best Linear Unbiased Estimator – BLUE) olarak tanımlanır. Bu yaklaşım, kullanılan ağırlıkların toplamının 1 olmasını sağlar ve aynı zamanda tahmin belirsizliğini en düşük düzeye indirmeyi amaçlar. Teorik olarak çok sayıda lineer ve tarafsız tahmin edici vardır, ancak bunlar arasında en iyi olarak kabul edilen, tahmin varyansı en küçük olanıdır (TEMBO, Z. 2019).

Bu yöntem, genellikle kriging denklemleri olarak adlandırılan bir sistemin çözülmesiyle uygulanır. Amaç, tahmin varyansını en aza indirerek en uygun ağırlıkları belirlemektir. Bu çözüm sonucunda elde edilen değer kriging tahmini, buna karşılık gelen belirsizlik ise kriging varyansı olarak adlandırılır (TEMBO, Z. 2019).

Matheron (1967), Kriging'i bir bloğun (panelin) tenörünü tahmin etmeye yönelik bir yöntem olarak açıklamaktadır. Bu yaklaşımda, panelin içinde ve dışında yer alan mevcut örneklerin ağırlıklı ortalaması dikkate alınır. Örneklerin değerleri $x_1, x_2, \dots, x_n$ şeklinde gösterildiğinde, bloğun bilinmeyen tenör değeri Z , doğrusal bir tahmin edici yardımıyla aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$Z^* = \sum a_i x_i \quad \#7$$

Burada a_i katsayıları, her bir örneğe verilen ağırlıkları temsil etmektedir (TEMBO, Z. 2019).

Matheron, örneklere verilecek ağırlıkların doğru şekilde belirlenebilmesi için yerine getirilmesi gereken iki temel şarttan söz etmektedir.

1. İlk koşul, tahmin edilen değer Z^* ile gerçek örnek tenörü z 'nin, geniş alan V içinde aynı ortalamaya sahip olmasını zorunlu kılar. Matematiksel olarak bu durum, örneklere verilen ağırlıkların toplamının 1 olması gerekliliğiyle ifade edilir: $\sum a_i = 1$, Burada a_i katsayıları, her bir örneğe verilen ağırlıkları temsil etmektedir.
2. İkinci koşul, örneklere verilen ağırlıkların a_i değerlerinin öyle seçilmesini gerekli kılar ki, Z^* tahmincisi kullanılarak elde edilen tahmin varyansı mümkün olan en düşük seviyeye ulaşsın. Bu en düşük varyans, literatürde kriging varyansı olarak bilinmektedir (TEMBO, Z. 2019).

3.2.1.5. Mesafenin Tersisi Ağırlıklandırma

Mesafenin Tersisi Ağırlıklandırma yöntemi, Maden Kaynak kestirimi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde bilinmeyen bir noktanın değeri, çevresindeki bilinen örneklerin değerleri dikkate alınarak tahmin edilmektedir.

IDW yönteminin temel mantığı, bilinen veri noktalarının bilinmeyen noktaya olan etkisinin mesafe ile ters orantılı olmasıdır. Başka bir ifadeyle, tahmini yapılacak noktaya yakın olan örnekler daha yüksek etkiye sahip olurken, uzak örneklerin etkisi daha düşük olmaktadır. Yöntemde ağırlıklandırma işlemi ise belirlenen bir güç faktörü kullanılarak gerçekleştirilmektedir(Özbek, 2023).

Eşitlik 4'te Mesafenin Tersisi Ağırlıklandırma yöntemine ait formül verilmiştir.

$$Z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Z(x_i)}{d_i^p} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^p} \right)} \quad \#8$$

Burada $Z(x_0)$ tahmin edilen noktadaki değeri, $Z(x_i)$ bilinen örnek değerlerini, d_i örnek noktası ile tahmin noktası arasındaki mesafeyi, p ise güç parametresini ifade etmektedir. Güç parametresi arttıkça yakın örneklerin etkisi artmakta, uzak örneklerin etkisi ise azalmaktadır.

3.2.1.6. Katı Model

Katı model, cevherleşmenin jeolojik sınırlarını, geometrisini ve hacmini göstermek amacıyla oluşturulan üç boyutlu sayısal modeldir. Katı model oluşturulurken sondaj verileri, jeolojik yorumlamalar ve cevher zonlarının sürekliliği dikkate alınarak mineralize yapıların sınırları belirlenmektedir. Bu model sayesinde cevherleşmenin üç boyutlu yapısı ortaya konulmakta ve Maden Kaynak kestirimi çalışmalarında kullanılacak blok model için temel oluşturulmaktadır (Gülmez, 2008).

3.2.1.7. Blok Model

Jeolojik cevher kütlesinin sayısal olarak modellenmesi blok model olarak ifade edilmektedir. Blok model, cevher kütlesinin belirli boyutlardaki küçük bloklara ayrılmasıyla oluşturulan üç boyutlu sayısal bir modeldir. Model içerisindeki her blok üç eksenli koordinat sistemi ile tanımlanmaktadır. Blok boyutları belirlenirken ise tenör değişimi, jeolojik süreklilik, üretimde kullanılacak ekipmanların kapasitesi, şev stabilitesi ve veri işleme kapasitesi gibi faktörler dikkate alınmaktadır (Mert, 2010).

3.2.1.8. Çapraz doğrulama

Jeoistatistikte çapraz doğrulama, oluşturulan variogram modelinin güvenilirliğini ve tahmin gücünü test etmek amacıyla kullanılan önemli bir tekniktir. Bu yöntemde, modelin kalitesi bilinen noktalarda elde edilen gözlem değerleri ile model tarafından üretilen tahminlerin karşılaştırılması yoluyla değerlendirilir (Özbek, 2023).

Veri kümesinden herhangi bir gözlem noktasının çıkarılması işlemi uzaklaştırma olarak adlandırılmaktadır. Kalan gözlem noktaları kullanılarak, külçe etkisi, eşik ve yapısal uzaklık gibi parametreler dikkate alınarak seçilen variogram modeli verilere uygulanır. Daha sonra uygun bir jeoistatistiksel enterpolasyon yöntemi aracılığıyla tahmin gerçekleştirilir ve elde edilen sonuç, uzaklaştırılan gerçek değerle karşılaştırılır. Bu karşılaştırma, modelin tahmin hatasının belirlenmesine olanak tanır (Özbek, 2023).

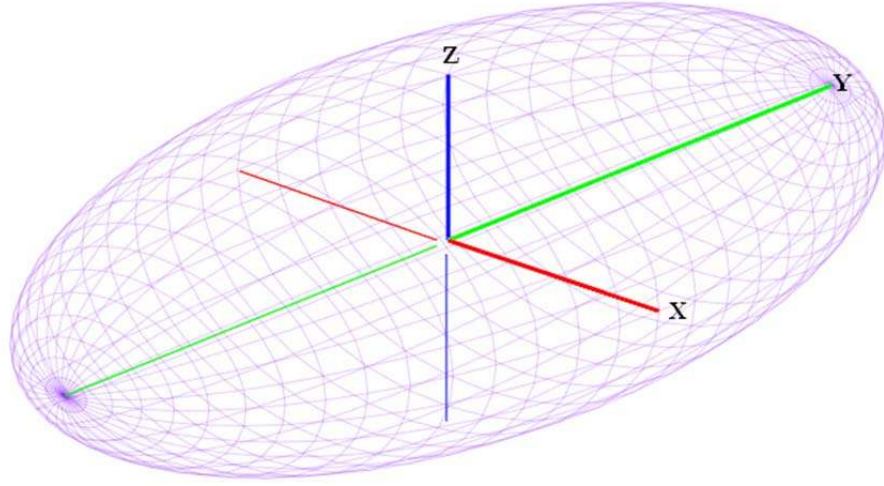
Bu işlem tüm veri noktaları için yinelenir ve elde edilen sonuçlar üzerinden ortalama hata, ortalama üssel hata gibi tahmin hatalarına ilişkin özet istatistikler hesaplanır. Böylece variogram modelinin genel performansı değerlendirilebilir. Hata değerlerinin düşük çıkması, modelin veriyle daha iyi uyum sağladığını ve tahminlerin doğruluğunun arttığını göstermektedir (Özbek, 2023).

Çapraz doğrulama bulgularına göre, variogram modelinin parametreleri yeniden düzenlenebilir veya alternatif bir teorik model tercih edilerek tahmin performansı geliştirilebilir. İstenilen doğruluk düzeyi elde edilene kadar bu süreç yinelenerek enterpolasyonun güvenilirliği artırılabilir (Özbek, 2023).

Çapraz doğrulama, seçilen variogram modelinin verilerin uzamsal yapısını doğru biçimde yansıtıp yansıtmadığını değerlendirmeye olanak tanır ve örneklenmemiş noktalarda güvenilir tahminler elde etmek amacıyla kullanılan temel bir yöntemdir. Bu yaklaşımın temel amacı, kaynak tahmininde hedef veri noktalarına aşırı yüksek ve ya düşük değer vermek yerine, veriyi genelleme kapasitesi yüksek bir model geliştirmektir. Çapraz doğrulama sayesinde aşırı değer atama riski azaltılarak tahminlerin genel doğruluğu ve güvenilirliği artırılabilmektedir (Özbek, 2023).

3.2.2. Maden Kaynak Kestiriminde Arama Elipsoidi

Madencilikte kaynak tahmini kapsamında arama elipsoidi, tahmin işlemlerinde dikkate alınacak veri örneklerinin, belirli bir nokta etrafındaki komşuluk alanını tanımlayan üç boyutlu bir geometrik yapı olarak ifade edilir (Şekil 3.10). Bu elipsoid, üç boyutlu uzayda örneklenmemiş bölgelerde tenör ya da mineral içeriğinin tahmininde, krigleme ve IDW gibi jeoistatistiksel enterpolasyon yöntemlerinin uygulanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Özbek, 2023).



Şekil 3.10. Ana eksenleri gösterilmiş temsili bir arama elipsoidi (Özbek, 2023)

Bir arama elipsoidi üç ana eksenenden oluşur bunlar ana eksen, küçük eksen ve dikey eksenidir. Bu eksenler, üç uzamsal boyutu temsil ederek elipsoidin boyutunu ve geometrik şeklini belirler. Elipsoidin boyutları, verilerde gözlenen uzamsal süreklilik derecesine ya da jeolojik yapıların yönelimlerine bağlı olarak farklılaştırılabilir. Ayrıca elipsoidin yönelimi, verilerdeki en yüksek uzamsal korelasyonun veya anizotropi doğrultusunun hizasına gelecek şekilde döndürülerek ayarlanmaktadır (Özbek, 2023).

Arama elipsoidinin kullanımı, kaynak tahmin sürecinde yalnızca jeolojik özelliklerin yönelimi ve süreklilik mesafesini değil, aynı zamanda veri noktaları arasındaki uzamsal ilişkileri de dikkate alır. Pratikte, belirli bir noktadaki tahmin işlemi için yalnızca arama elipsoidi içerisinde yer alan veri noktaları değerlendirilir. Bu yöntem, kaynak modelleme çalışmalarında tenör, birim hacim ağırlık gibi değişkenlerin daha güvenilir ve doğruluk düzeyi yüksek bir şekilde tahmin edilmesine katkı sağlamaktadır.

Ana eksen: Ana eksen, arama elipsoidinin en uzun boyutunu ifade eder. Bu eksen, çoğunlukla verilerdeki maksimum uzamsal süreklilik doğrultusuna ya da cevherleşmenin ve jeolojik yapıların en geniş ölçekte uzandığı yöne karşılık gelmektedir.

Küçük eksen: Küçük eksen, genellikle ana eksene dik doğrultuda yer alan ve elipsoidin en kısa boyutunu temsil eden eksenidir. Bu eksen, jeolojik yapıların ya da cevherleşmenin en az yayılım gösterdiği, yani minimum mekansal sürekliliğin gözlemlendiği yönü ifade etmektedir.

Dikey eksen: Dikey eksen, elipsoidin yüksekliğini ya da kalınlığını ifade eder ve ana eksen ile küçük eksenin oluşturduğu düzleme dik doğrultuda konumlanır.

Arama Yarıçapı: Arama yarıçapı, belirli bir bloğun tahmininde hangi örneklerin dikkate alınacağını belirlemek için kullanılan ve yukarıda bahsedilen kriging sisteminin temelini oluşturan bir parametredir. Arama yarıçapı, arama hacminin sınırlarını belirler ve çoğunlukla variogramın etki mesafesi esas alınarak tanımlanır. Bir cevher yatağındaki tüm örnek

kompozitleri blok/ nokta tahmini için kullanılamaz; tahmin edilecek bloğa en yakın örnekler seçilerek işlem yapılır ve bu seçim, maksimum arama sınırına veya belirlenen maksimum örnek sayısına ulaşana kadar devam eder. (TEMBO, Z. 2019)

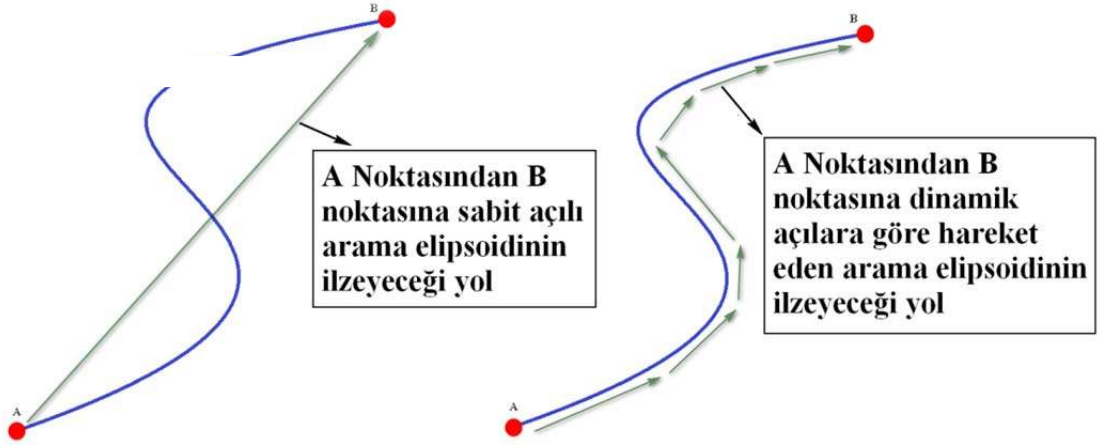
3.2.2.1. Statik arama elipsoidinin çalışma prensibi

Bir maden sahasında gerçekleştirilen kaynak tahmini çalışmalarında, kullanılan elipsoit parametrelerinin tanımlanması sürecin en kritik aşamalarından birini oluşturmaktadır.

Parametrelerin belirlenmesi sürecinde öncelikle açımlayıcı veri analizi gerçekleştirilir. Bu aşamada, cevher yatağına ilişkin jeolojik özelliklerin dağılımında mevcut olabilecek eğilimler, yapısal modeller veya yönlü süreklilikleri ortaya koymak amacıyla veriler görselleştirilir. Ardından, verilerin uzamsal sürekliliği ile anizotropi durumunu değerlendirebilmek için farklı yönlerde variogramlar hesaplanır ve variogram haritalarından yararlanılır. Elde edilen bu analizler, arama elipsoidinin ana ve küçük eksenlerinin tanımlanmasında kullanılır ve böylece maksimum ile minimum süreklilik doğrultuları belirlenmiş olur.

Üç eksenli variogram haritaları ve jeolojik veriler doğrultusunda, elipsoidin ana eksenini maksimum, küçük eksenini ise minimum uzamsal süreklilik yönüne hizalanır. Eksen uzunlukları yapısal mesafelere ve jeolojiye göre belirlenirken, dikey eksen genellikle tabaka kalınlığı veya cevherleşmenin düşey boyutuna göre ayarlanır. Arama elipsoidinin sabit açıları, tahmini yapılacak verilerin anizotropi yönüne göre tanımlanır ve bu açıların belirlenmesinde yapısal jeoloji bilgisinden de yararlanılır (Özbek, 2023).

Kaynak tahmin sürecinde çoğunlukla, cevher yatağını üç boyutlu olarak temsil edecek sabit açılı bir arama elipsoidi kullanılmaktadır. Yani tüm yatağın tek bir azimut, dalım ve eğim açısı üzerinden modellenmesi amaçlanır. Ancak yapısal özellikleri bölgesel ölçekte değişiklik gösteren büyük ölçekli yataklarda bu yöntem sınırlı kalabilmektedir. Çünkü sabit açılı bir elipsoid, cevherin kendi geometrisine uyum sağlayamadığında blok model içerisindeki değerlerin dağılımını yeterli doğrulukla yansıtmayabilir. Dinamik ve statik arama elipsoidlerinin çalışma mekanizmasını gösteren örnek bir görünüm Şekil 3.11’de sunulmaktadır.



Şekil 3.11. Sabit ve Değişken Açılı Arama Elipsoidlerinin Temel Çalışma Mekanizması
(Özbek, 2023)

3.2.2.2. Dinamik arama elipsoidinin çalışma prensibi

Dinamik Anizotropi özellikle karmaşık yapıya sahip, kıvrımlı ya da dalgalı cevher yataklarında enterpolasyon için tercih edilen yöntemlerden biridir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle, tenör değerlerinin uzamsal sürekliliğini yansıtan yerel anizotropi modelinin oluşturulması gerekir. Söz konusu model, sürekliliğin yönelim açılarını ve bazı durumlarda süreklilik mesafelerini de kapsayacak şekilde tasarlanır. Şekil 3.9 da, küresel yönelimli arama elipsoidi ile dinamik anizotropi tabanlı elipsoidin yönelim farkları karşılaştırmalı olarak verilmiştir (TEMBO, Z. 2019)

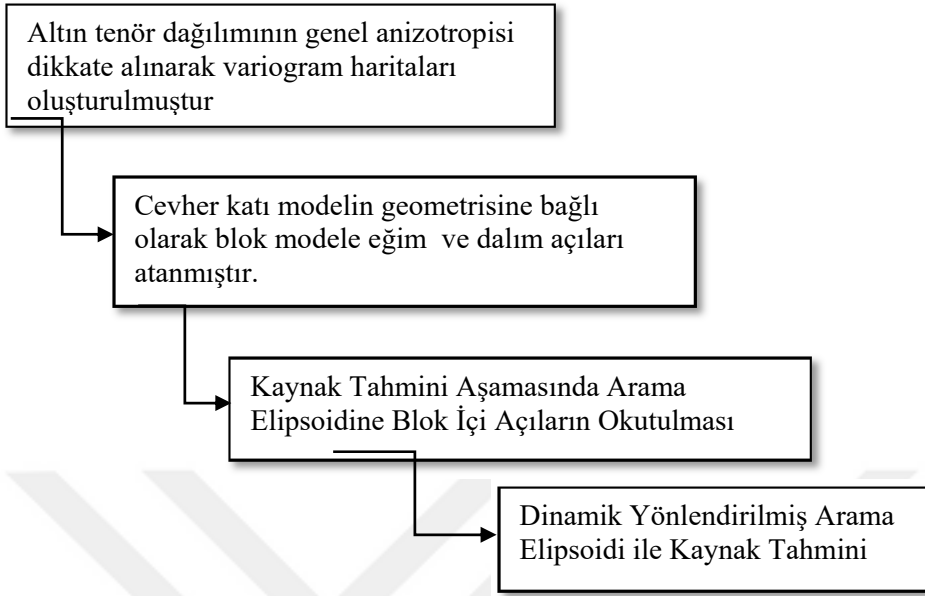
Kaynak tahmininde kullanılan arama elipsoidi, blok modelde tanımlanan açı bilgilerini esas alarak enterpolasyon yapar. Başka bir ifadeyle, elipsoidin dalım ve eğim açıları sabit değil, dinamik olarak belirlenmektedir.

Tez kapsamında incelenen Tülallar altın sahasına ait veriler analiz edilmiş ve tenör dağılımını incelemek amacıyla variogram haritaları hazırlanmıştır. Bu haritalar üzerinden yapılan değerlendirme sonucunda, tenörün üç boyutlu düzlemdeki dağılımını tanımlayan doğrultu (azimut), eğim (dip) ve dalım (plunge) açıları belirlenmiştir.

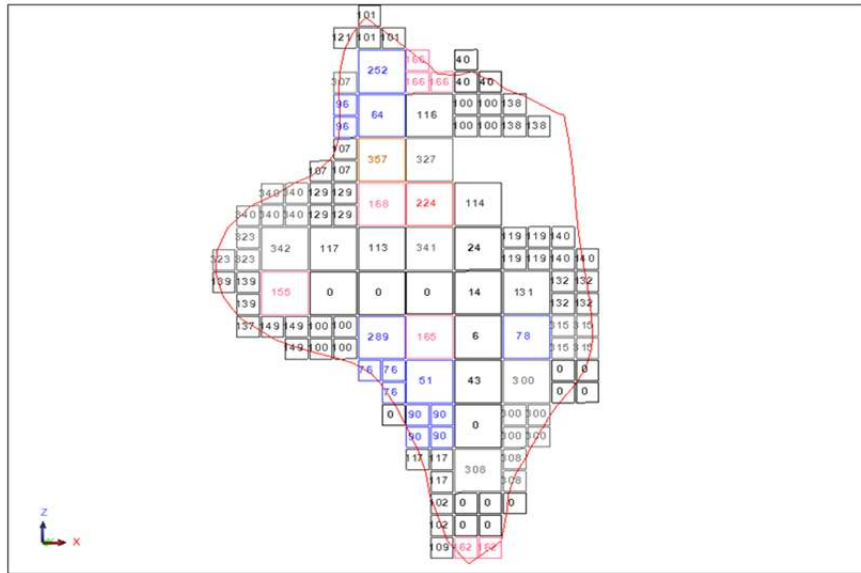
Elde edilen bu açılar, arama elipsoidinin yönelim parametrelerinin tanımlanmasında temel alınmış ve kaynak tahmin sürecinde kullanılan dinamik anizotropi yaklaşımı için referans olarak değerlendirilmiştir. Böylece blok model içerisinde tenörün uzamsal sürekliliği daha gerçekçi bir biçimde temsil edilmiştir.

Çalışmada izlenen adımlar, Çizelge 3.3’de verilen adım şemasında gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Dinamik arama elipsoidinin akım şeması

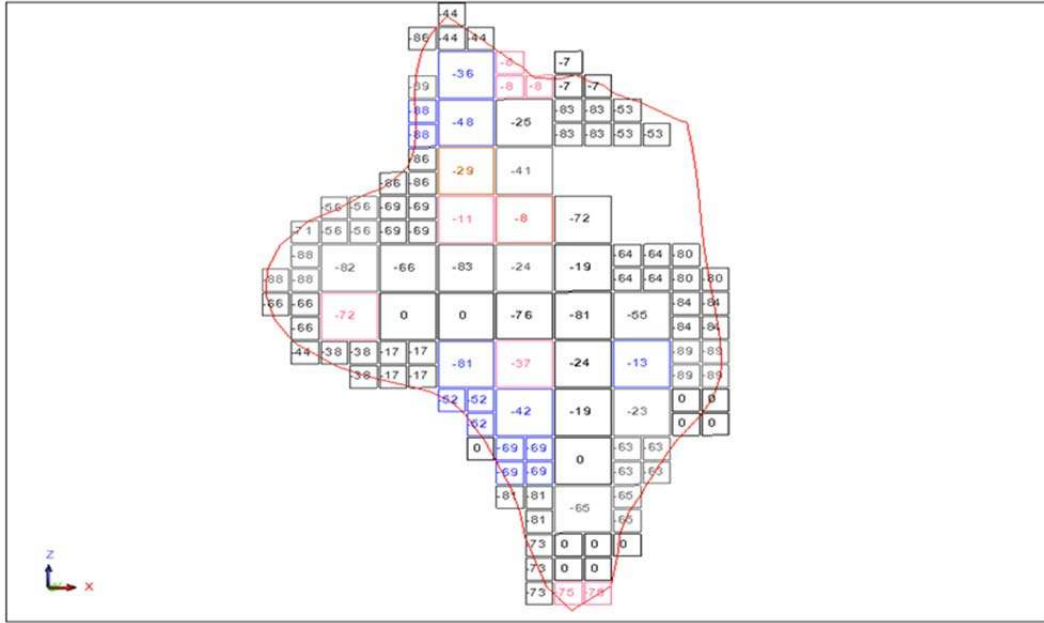


Şekil 3.12’de blok model kesiti üzerinde eğim açıları gösterilmektedir. Kesit boyunca bloklara atanmış eğim açıları renklendirme ile sunulmuştur. Eğim değişimlerinin model içerisindeki dağılımı bu şekilde gözlemlenmektedir.



Şekil 3.12. Blok model kesitinde, dinamik arama elipsoidine esas teşkil eden eğim açılarının gösterimi

Şekil 3.13’de blok model kesiti üzerinde dalım açıları gösterilmektedir. Kesit boyunca bloklara atanmış dalım açıları renklendirme ile sunulmuştur. Eğim değişimlerinin model içerisindeki dağılımı bu şekilde incelenebilir.



Şekil 3.13. Blok model kesitinde, dinamik arama elipsoidine esas teşkil eden dalım açılarının gösterimi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Veri Tabanının Oluşturulması.

Bu tez çalışmasında, Tülallar Altın Sahası'nın güney yatağında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarına ait veriler kullanılmıştır. Çalışma alanında toplam 77 adet sondaj bulunmaktadır. Sondajlara ait veri tabanı kuyu bilgisi, analiz, jeoloji ve açılı dosyası olmak üzere dört ana veri grubundan oluşturulmuştur. Kuyu ağzı verileri sondajların koordinat ve konum bilgilerini, analiz verileri sondajlardan alınan numunelere ait altın tenörlerini, jeoloji verileri sondaj boyunca belirlenen litolojik birimleri, açılı dosyası ise sondajların doğrultu ve eğim bilgilerini içermektedir.

Saha genelinde gerçekleştirilen sondajların toplam uzunluğu 8.966 metre olup, bu sondajlardan elde edilen toplam ölçülmüş numune sayısı 7637'dir. Sondaj çalışmaları sırasında ağırlıklı olarak HQ, bazı durumlarda ise NQ çaplı sondaj boruları kullanılmıştır. Sondaj çalışmalarında ortalama karot verimi %96 olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen tüm veriler jeolojik modelleme ve jeostatistiksel analizlerde kullanılmak üzere veri tabanı ortamına aktarılmıştır. Veri aktarımı sonrasında, veri tabanında yeralan olası hatalar (eksik kayıtlar, çakışan aralıklar ve tutarsızlıklar) kontrol edilerek giderilmiş ve veri seti analiz ve modelleme çalışmalarına uygun hale getirilmiştir. Oluşturulan ve düzenlenen sondaj lokasyonu görünümü Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



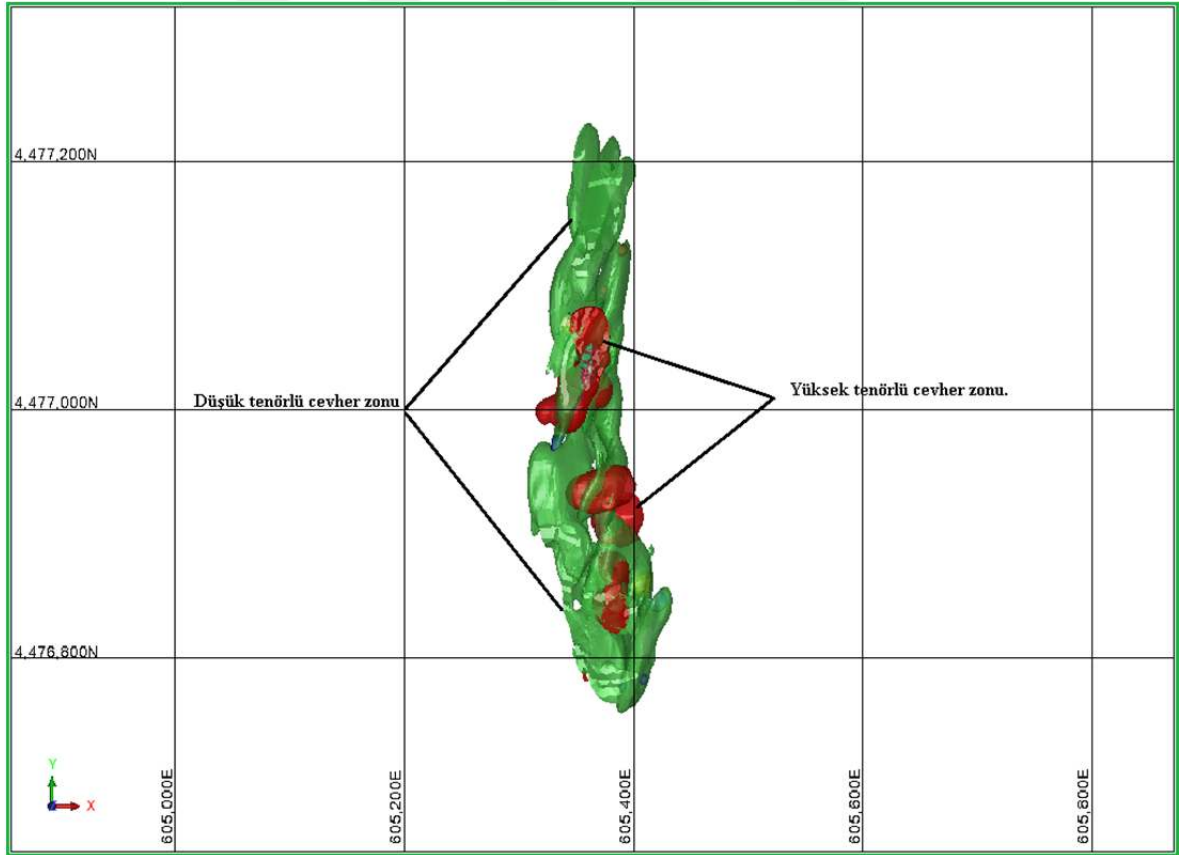
Şekil 4.1. Tülallar Altın Sahası sondaj lokasyonu görünümü

4.2. Katı Modelin Oluşturulması

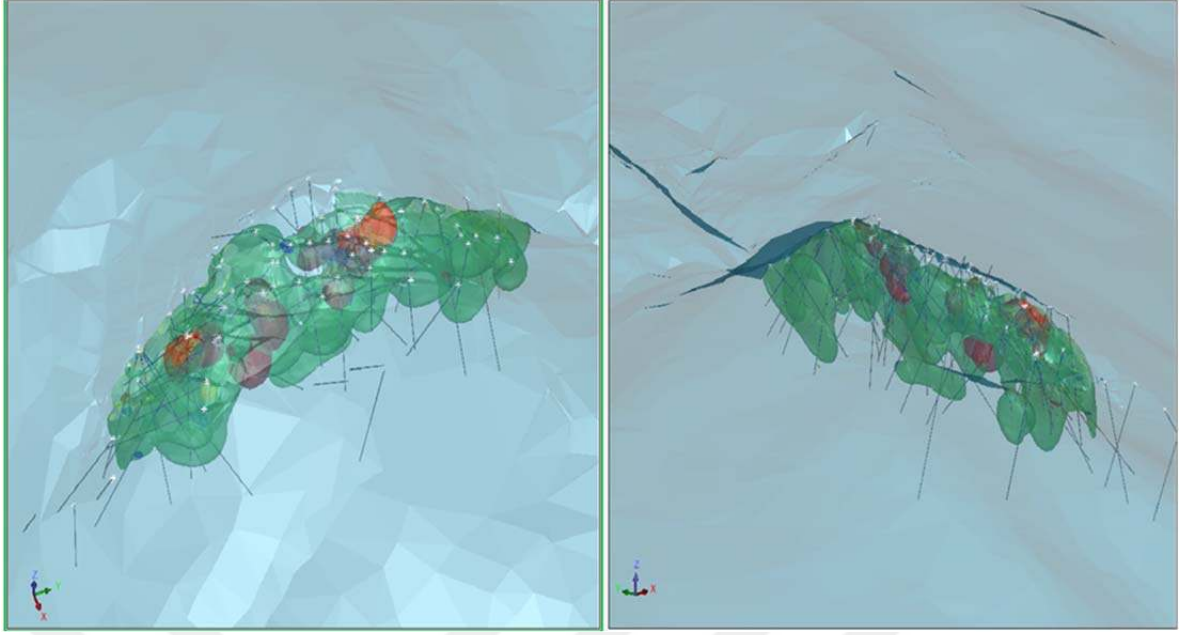
Tülallar sahasında altın tenörünün mekansal olarak belirgin değişkenlik göstermesi dikkate alınarak, tenör dağılımı esas alınmış ve yüksek tenörlü mineralizasyon ile düşük tenörlü mineralizasyonu temsil eden ayrı tenör katı modelleri tanımlanmıştır. Tülallar Altın Sahası güney yatağına ait katı modelleme çalışmaları, sondaj verilerinden elde edilen jeolojik ve tenör bilgilerinin birlikte değerlendirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, öncelikle sondajların üç boyutlu dağılımı incelenmiş ve altın mineralizasyonunun yoğunlaştığı zonlar belirlenmiştir.

Modelleme aşamasında, sondajlardan elde edilen tenör ve litoloji verileri esas alınmış, mineralizasyon içeren aralıklar kesitler üzerinde tanımlanmıştır. Bu aralıklar kullanılarak mineralize zonları temsil eden tel kafesler oluşturulmuştur. Tel kafesler, farklı kesitler üzerinde çizilen poligonların birleştirilmesiyle üç boyutlu hale getirilmiştir.

Elde edilen katı model, ilerleyen aşamalarda gerçekleştirilecek blok modelleme ve kaynak tahmini çalışmalarında sınırlandırıcı bir yapı olarak kullanılmıştır. Bu sayede, hesaplamaların yalnızca mineralizasyon zonları içerisinde ve tanımlanan tenör katı modelleri kapsamında yapılması sağlanmış ve daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir. Oluşturulan katı modelin genel görünümü Şekil 4.2- 4.3’de verilmiştir



Şekil 4.2. Tülallar Altın Sahası güney yatağına ait üç boyutlu katı modelin plan görünümü



Şekil 4.3. Tülallar Altın Sahası güney yatağına ait üç boyutlu katı modelin yan görünüşleri

4.3. Blok Modelin Oluşturulması

Blok ve alt blok boyutlarının belirlenmesi sürecinde, üretim yöntemi, veri yoğunluğu, sondajlar arası mesafe, kompozit uzunluğu ve sahaya özgü diğer jeolojik ve teknik parametreler birlikte değerlendirilir. Tülallar sahasında sondajlar arası ortalama mesafenin yaklaşık 25 m olması dikkate alınarak, blok modelin ana blok boyutları bu mesafeye uygun şekilde belirlenmiştir.

Bu doğrultuda, mineralizasyonun geometrisini daha ayrıntılı temsil edebilmek ve yüksek tenör değişkenliğini daha iyi yansıtabilmek amacıyla ana blok boyutları 5 m × 5 m × 5 m olarak tanımlanmıştır..

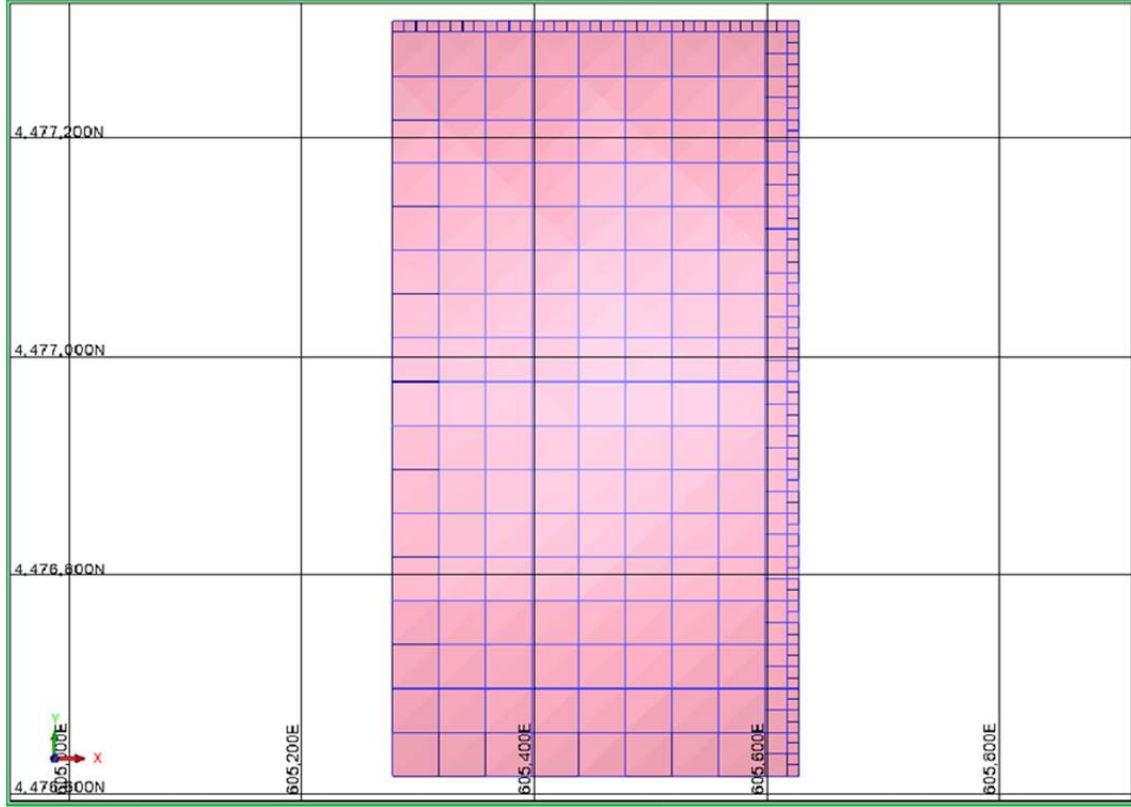
Düşey blok boyutunun 5 m olarak seçilmesinde, sahadaki jeolojik değişimlerin düşey yöndeki sürekliliği ve işletme basamak yüksekliği dikkate alınmıştır. Bu seçim, hem jeolojik yapının daha gerçekçi temsil edilmesine hem de kaynak tahmini sırasında düşey yönde aşırı genelleştirmeden kaçınılmasına olanak sağlamıştır.

Katı model sınırlarının blok modele daha iyi uyarlanabilmesi ve mineralizasyon sınırlarının daha hassas temsil edilebilmesi amacıyla alt bloklama (sub-blocking) uygulanmıştır. Alt blok boyutları, kullanılan kompozit uzunluğu ile uyumlu olacak şekilde 1,25 m olarak belirlenmiştir. Bu sayede, özellikle katı model sınırlarında ve mineralizasyonun düzensiz geometriye sahip olduğu bölgelerde blok modelin jeolojik gerçekliği daha doğru yansıtması sağlanmıştır.

Şekil 4.4 ve Çizelge 4.1’de tez çalışmasında kullanılan blok görünümü ve modelin parametreleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tez çalışmasında kullanılan blok model parametreleri

Blok Boyutları	5x5x5
En düşük Alt Blok Boyutları	1.25x1.25x1.25
Eğim Rotasyonu	0°
Dalım Rotasyonu	0°
Toplam Blok Sayı	3584



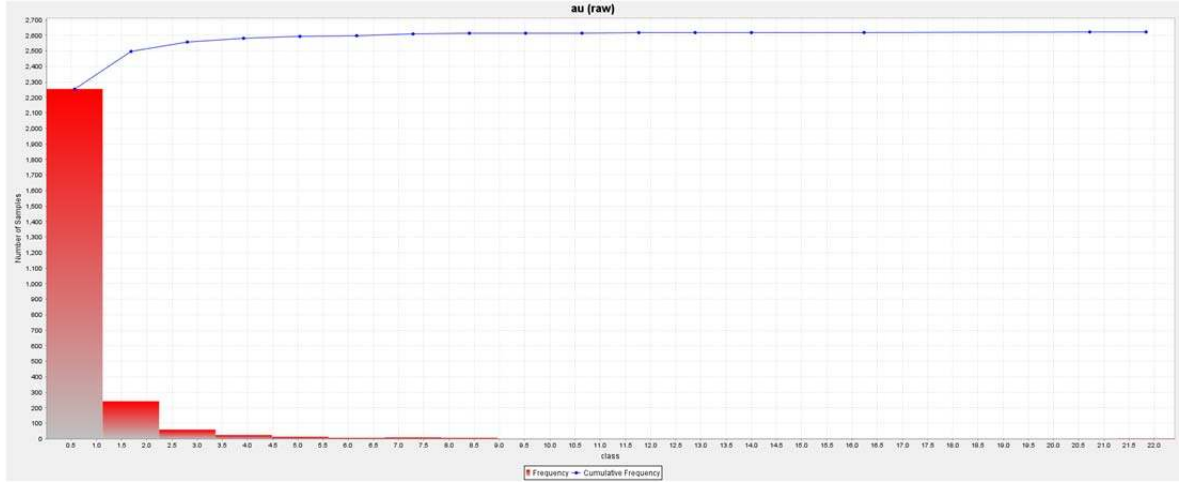
Şekil 4.4. Boş blok modelin plan görünümü

4.4. Kompozitleme

Örnek (karot) uzunluklarının birbirinden farklı olması durumunda, bu analiz değerlerinin kaynak kestiriminde doğrudan kullanılması hatalı sonuçlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, farklı uzunluklara sahip analiz sonuçlarının, örnek uzunlukları dikkate alınarak uzunluğa bağlı ağırlıklı ortalama yöntemiyle eşit uzunluklara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem kompozitleme olarak adlandırılmaktadır. Kompozit uzunluğu seçilirken, ham verilerin ortalama örnek boyundan çok fazla sapmamasına dikkat edilmelidir (Özbek, 2023).

Tülallar sahasında yapılan değerlendirmede, orijinal örnekleme sırasında kullanılan örnek uzunluklarının 0,5 m ile 3,8 m arasında değiştiği, mineralizasyon içindeki örneklerin büyük bir kısmının ise 1 m uzunluğunda olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, kompozit uzunluğu 1 m olarak seçilmiştir. Kompozitleme işlemi iki aşamada uygulanmış olup zengin ve düşük tenörlü zonlar için ayrı-ayrı gerçekleştirilmiştir. Blok modelleme ve kaynak tahmini çalışmalarında, her bir tenör katı modeli içerisinde yalnızca ilgili model sınırları içerisinde kalan

kompozitler değerlendirmeye alınmıştır. Belirlenen kompozit uzunluğuna uygun olarak mineralize aralıklar boyunca 1 m uzunluğunda sondaj içi (downhole) kompozitler oluşturulmuştur. Düşük cevher zonu içerisinde oluşturulan 1 m kompozitlere ait ham tenör değerlerinin histogramı ve istatistiksel parametreleri sırasıyla Şekil 4.5 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir



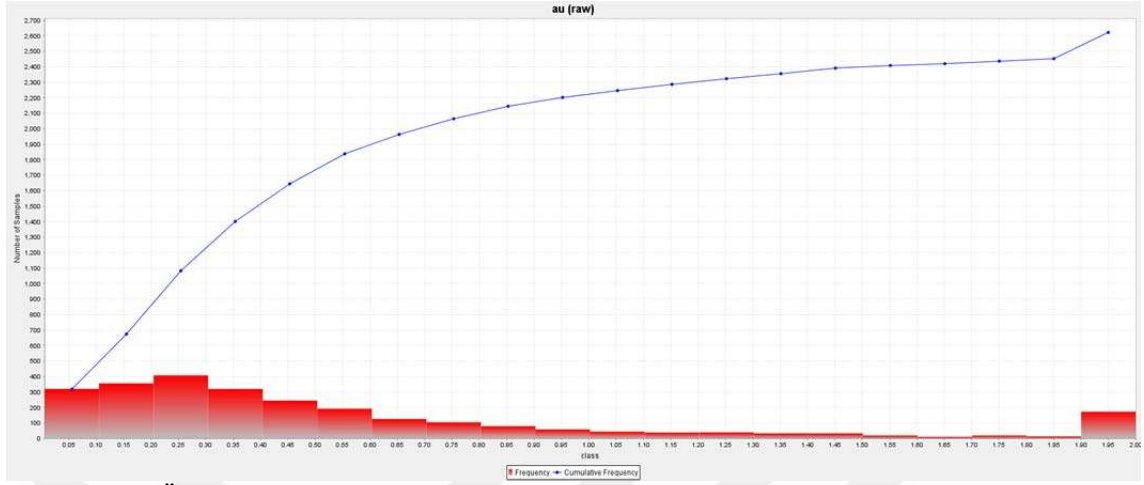
Şekil 4.5. Düşük cevher zonu içerisinde oluşturulan 1 m kompozitlere ait ham tenör değerlerinin histogramı

Çizelge 4.2. Düşük cevher zonu içerisinde oluşturulan 1 m kompozitlere ait ham tenör değerlerinin istatistikleri

Veri Sayısı	2.623
En Düşük Değer (ppm)	0,005
En Yüksek Değer (ppm)	22,4
Ortalama Değeri (ppm)	0,69
Ortanca Değeri (ppm)	0,37
Geometrik Ortalama Değeri (ppm)	0,34
Standart Sapma	1,3
Varyans	1,71
Varyasyon Katsayısı	1,87
Çarpıklık	8,23
Sivrilik	104,6

Şekil 4.5 ve Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere, veri setinde yer alan yüksek tenörlü değerlerin kaynak tahmini çalışmalarında ortalama tenörün yapay olarak yükselmesine ve kestirim sonuçlarının sapmasına neden olabileceği izlenmektedir. Bu nedenle, söz konusu yüksek değerlerin etkisini sınırlandırmak amacıyla veri setine üst kesme (top-cut) işlemi uygulanmıştır. Üst kesme değerinin belirlenmesinde öncelikle ortalama değer ve standart sapma dikkate alınarak %95 güven aralığına karşılık gelen üst limit hesaplanmıştır. Bununla birlikte histogram ve veri dağılımı detaylı olarak incelendiğinde, 2 ppm değerinin veri setini daha uygun temsil ettiği değerlendirilmiş ve üst kesme değeri olarak kabul edilmiştir. Bu kapsamda, 2 ppm’in üzerindeki tüm tenör değerleri 2 ppm’e sınırlandırılmıştır. Üst kesme uygulanmış

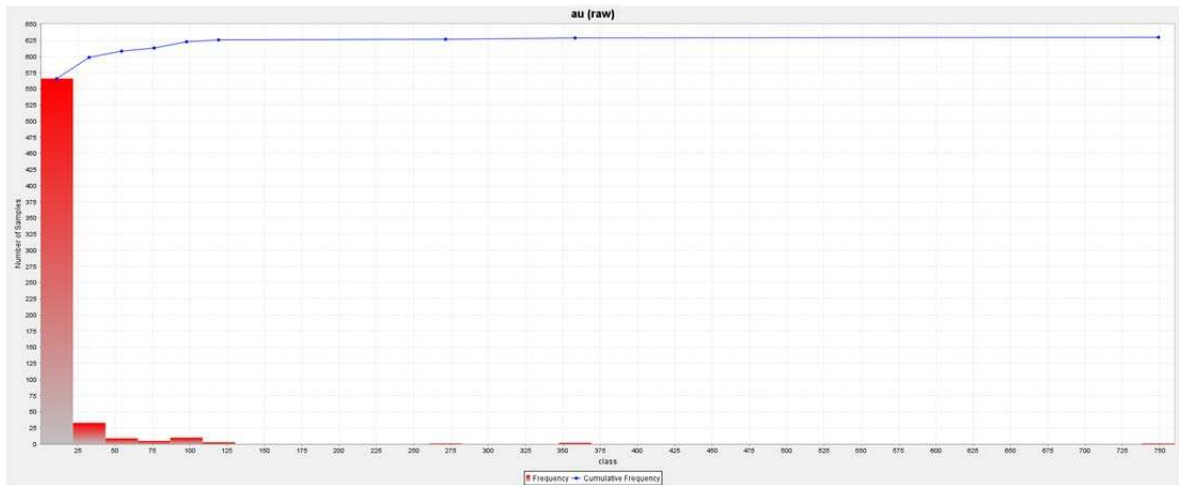
kompozite ait histogram Şekil 4.6’da, güncellenmiş istatistiksel parametreler ise Çizelge 4.3’te sunulmuştur.



Şekil 4.6. Üst kesme uygulanmış düşük cevher zonu kompozit verilerine ait tenör dağılım histogramı

Çizelge 4.3. Üst kesme uygulanmış düşük cevher zonu kompozit verilerine ait tenör değerlerinin istatistikleri

Veri Sayısı	2.623
En Düşük Değer (ppm)	0,005
En Yüksek Değer (ppm)	2
Ortalama Değeri (ppm)	0,55
Ortanca Değeri (ppm)	0,37
Geometrik Ortalama Değeri (ppm)	0,33
Standart Sapma	0.53
Varyans	0,28
Varyasyon Katsayısı	0,95
Çarpıklık	1,50
Sivrilik	4,43

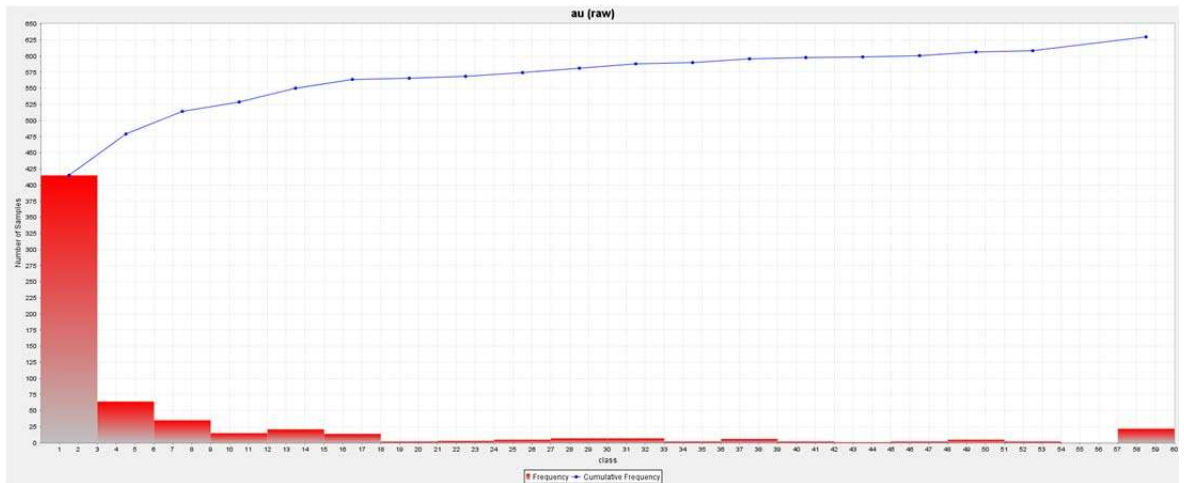


Şekil 4.7. Zengin tenörlü cevher zonu içerisinde oluşturulan 1 m kompozitlere ait ham tenör değerlerinin histogramı

Çizelge 4.4. Zengin cevher zonu içerisinde oluşturulan 1 m kompozitlere ait ham tenör değerlerinin istatistikleri

Veri Sayısı	630
En Düşük Değer (ppm)	0,005
En Yüksek Değer (ppm)	759,83
Ortalama Değeri (ppm)	10,37
Ortanca Değeri (ppm)	1,20
Geometrik Ortalama Değeri (ppm)	1,23
Standart Sapma	41,55
Varyans	1727,06
Varyasyon Katsayısı	4,00
Çarpıklık	11,94
Sivrilik	187,62

Şekil 4.7 ve Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere, zengin zona ait veri seti içerisinde sayıca az olmakla birlikte istatistiksel parametreleri etkileyen yüksek tenörlü aykırı değerler bulunmaktadır. Bu nedenle, söz konusu yüksek tenörlü değerlerin kaynak kestirimi üzerindeki etkisini sınırlandırmak amacıyla veri setine üst kesme uygulanması uygun görülmüştür. Üst kesme değerinin belirlenmesinde öncelikle ortalama değer ve standart sapma dikkate alınarak %95 güven aralığına karşılık gelen üst limit hesaplanmış ve yaklaşık 91.33 ppm değeri elde edilmiştir. Ancak histogram ve veri dağılımı detaylı olarak incelendiğinde, 60 ppm değerinin veri dağılımını daha dengeli temsil ettiği değerlendirilmiş ve üst kesme değeri olarak kabul edilmiştir. Üst kesme uygulanmış veriye ait histogram Şekil 4.8'de, güncellenmiş istatistiksel parametreler ise Çizelge 4.5'te sunulmuştur



Şekil 4.8.Üst kesme uygulanmış zengin cevher zonu kompozit verilerine ait tenör dağılım histogramı

Çizelge 4.5. Üst kesme uygulanmış Zengin cevher zonu kompozit verilerine ait tenör değerlerinin istatistikleri

Veri Sayısı	630
En Düşük Değer (ppm)	0,005
En Yüksek Değer (ppm)	60
Ortalama Değeri (ppm)	6,29
Ortanca Değeri (ppm)	1,20
Geometrik Ortalama Değeri (ppm)	1,20
Standart Sapma	13,66
Varyans	186,76
Varyasyon Katsayısı	1,97
Çarpıklık	2,76
Sivrilik	10,01

4.5. Hacim Yoğunluğu Ataması

Hacim yoğunluğu değerlerinin atanmasında, mineralizasyon zonları içerisinde hesaplanan ortalama yoğunluk değerleri kullanılmıştır. Yoğunluk atamaları oksit, geçiş ve sülfür zonlarına göre gerçekleştirilmiş olup, uygun alanlarda bölgesel ortalama SG değerleri dikkate alınmıştır.

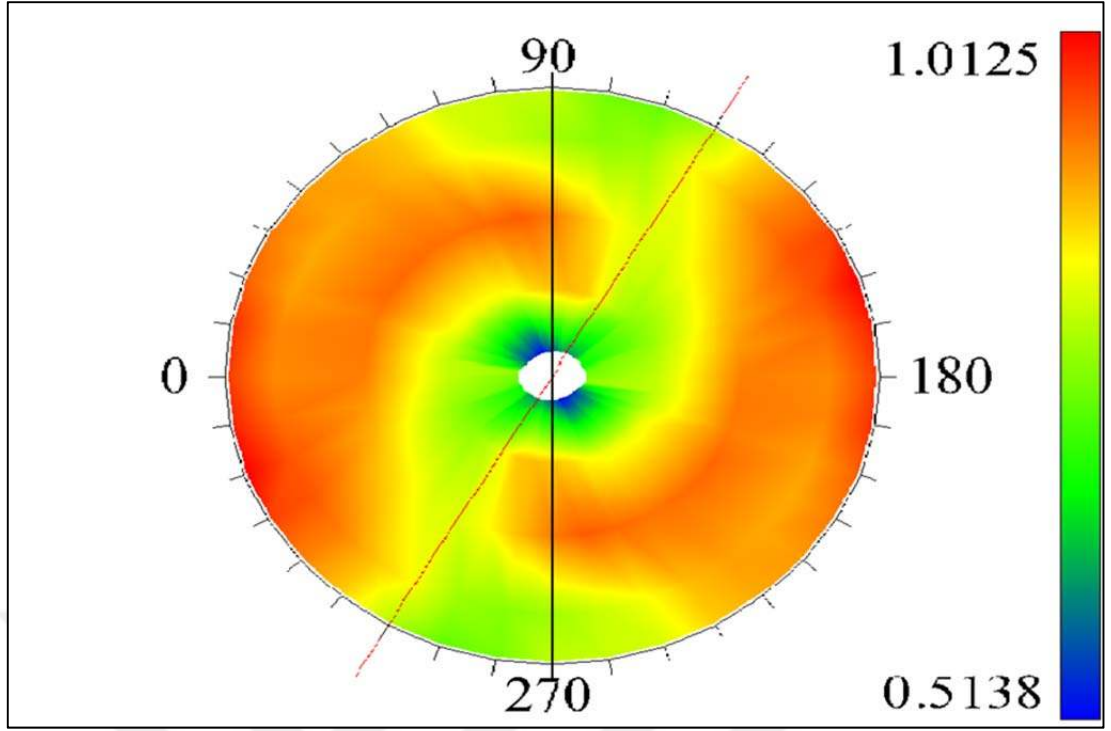
4.6. Variogram Modellerinin oluşturulması

Tez çalışmasında variogram haritaları, cevherleşmenin uzanım yönlerini belirlemek ve arama elipsoidinin yönelimini tanımlamak amacıyla kullanılmıştır. Variogram analizlerinden elde edilen sonuçlara göre arama elipsoidinin ana eksenleri ve azimut açısı belirlenmiştir. Böylece kaynak kestirimi sırasında kullanılan arama parametrelerinin cevherleşme geometrisine uygun olması sağlanmıştır..

4.6.1. Doğrultu Açısının Teşkili

Doğrultu açısı, variogram haritalarının analizi sonucunda belirlenmiştir. Primary variogram map üzerinde maksimum süreklilik (en uzun menzil) gösteren yön ana doğrultu olarak seçilmiştir.

Şekil 4.9’da Doğrultu (azimut) açısı incelenmiştir.

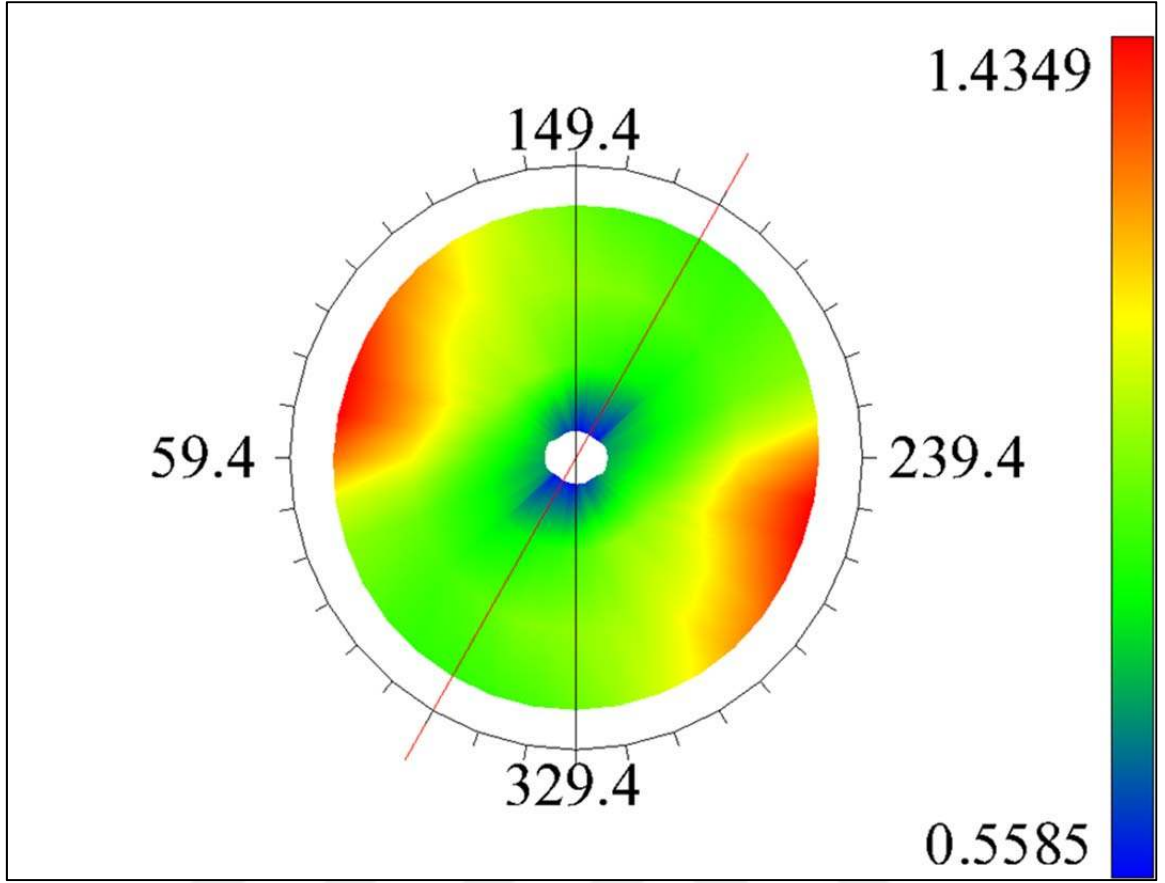


Şekil 4.9. Doğrultu (azimut) açısında incelenen variogram haritası

Verilerin doğrultu yönünde incelenmesi sonucunda, 149° doğrultu açısında bir eğilim sergilediği belirlenmiştir

4.6.2. Eğim Açısının Teşkili

Eğim açısının değerlendirilmesinde, ilk olarak belirlenen doğrultu açısına dik yön esas alınmıştır. Bu doğrultuda eğim açısı, 149° doğrultu açısına dik olacak biçimde incelenmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, doğrultu açısına ilişkin analizler program arayüzü üzerinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.10. Eğim açısı incelenen variogram haritası

4.6.3. Dalma Açısının Teşkili

Belirlenen eğim açısı dikkate alınarak, üç boyutlu uzaysal düzlemde bu eğime dik yönde tanımlanan dalma açısı analiz edilmiştir. Dalma açısının hesaplanması sürecinde doğrultu ve eğim açıları esas alınmış, eğime dik yön yazılımı tarafından otomatik olarak belirlenmiş ve dalma açısı 54° olarak elde edilmiştir.

4.7. Maden Kaynak Kestirimi

Bölüm 4.6'da bahsedildiği üzere, bu çalışmada kaynak kestirimi iki farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Zengin tenörlü zonlar için Mesafenin Tersisi Ağırlıklandırma yöntemi uygulanmış, düşük tenörlü zonlarda ise Ordinary Kriging yöntemi tercih edilmiştir.

Bunun yanı sıra, düşük tenörlü katı model içerisinde arama parametrelerinin kestirim sonuçları üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla hem statik hem de dinamik arama elipsoidi yaklaşımları uygulanmıştır.

4.7.1. Arama Elipsoidi ve kestirim parametreleri

Bu tez çalışmasında, dinamik arama elipsoidi ile sabit arama elipsoidi yaklaşımlarının tahmin performanslarının karşılaştırılabilmesi amacıyla tahmin işlemleri tek aşamada gerçekleştirilmiştir. Böylece, arama elipsoidi dışında kalan tüm tahmin parametreleri sabit

tutulmuş ve elde edilen sonuçların doğrudan arama elipsoidi yaklaşımından kaynaklanması sağlanmıştır.

Tahminlerde kullanılan arama elipsoidi parametreleri ve diğer kestirim girdileri Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Sabit arama elipsoidi yaklaşımında arama yarıçapları ve yönelim parametreleri tüm bloklar için değişmeden uygulanmıştır. Dinamik arama elipsoidi yaklaşımında ise arama elipsoidi, tahmin edilmesi istenen bloğun konumu ve çevresindeki veri dağılımı dikkate alınarak uyarlanmıştır.

Her iki yaklaşımda da tahmin işlemleri aynı veri seti, aynı variogram modelleri ve aynı tahmin parametreleri kullanılarak yürütülmüş, yalnızca arama elipsoidinin yapısı farklılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra, zengin tenörlü zonlarda kaynak kestirimi Mesafenin Tersisi Ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. IDW uygulamasında da aynı arama elipsoidi parametreleri ve örnek seçim kriterleri korunmuş, yalnızca kestirim algoritması değiştirilmiştir.

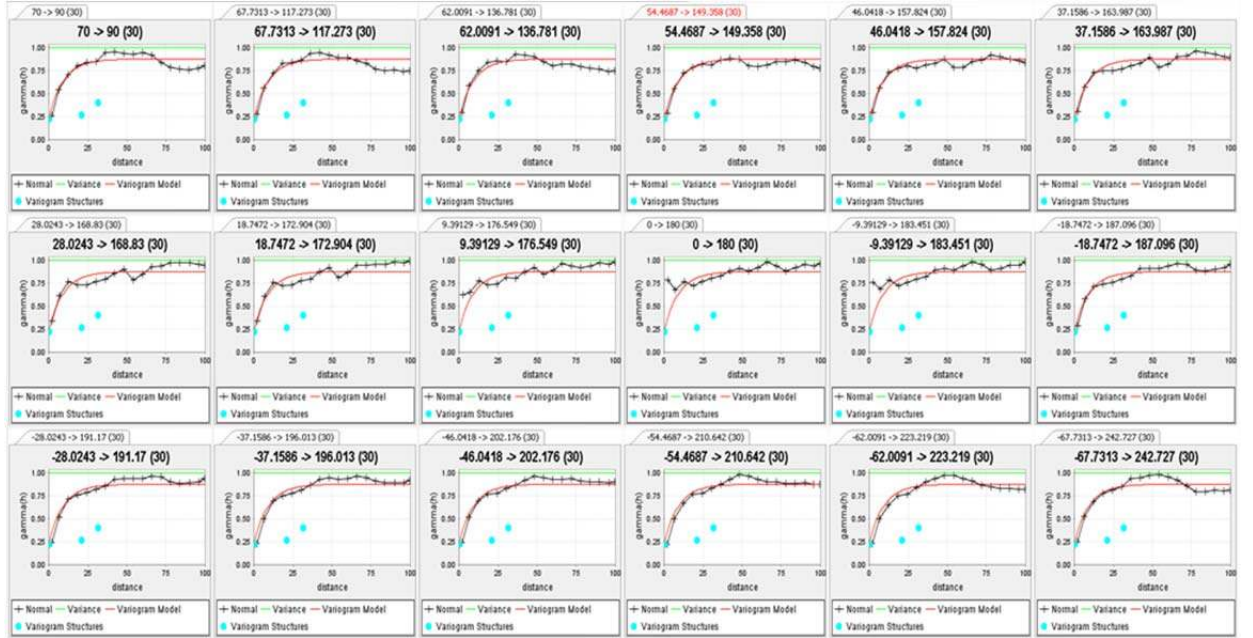
Sonuç olarak, bu çalışmada çok aşamalı tahmin yaklaşımlarının getirdiği ek parametre değişkenleri çalışma kapsamı dışında bırakılmış dinamik ve sabit arama elipsoidi yaklaşımları ile kriging ve IDW yöntemleri, kontrollü ve tek aşamalı bir kestirim ortamında uygulanmıştır.

Çalışma alanı litolojik açıdan benzer volkanik birimlerden oluşmasına rağmen tenör dağılımı homojen değildir. Sahada yapısal olarak kontrol edilen ve breş dokulu alanlarda gelişmiş, sınırlı hacimli ancak ekstrem yüksek tenörlü zonlar izlenmektedir. Bu lokal zenginleşmelerin, belirli jeodinamik koşullar altında gelişen yapısal kapanım alanlarında hidrotermal akışın yoğunlaşması sonucu oluştuğu ve bu nedenle çevresindeki daha yaygın düşük-orta tenörlü alanlardan ayrıldığı düşünülmektedir. Hacim olarak küçük olmalarına rağmen bu yüksek tenörlü zonlar genel tenör dağılımını belirgin şekilde etkilemektedir. Bu nedenle saha tek bir homojen popülasyon olarak değerlendirilmemiş, yüksek tenörlü lokal zonlar ile düşük-orta tenörlü alanlar ayrı katı modeller olarak modellenmiştir. Kestirim çalışmalarında kullanılan arama elipsoidi ve ilgili parametreler Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

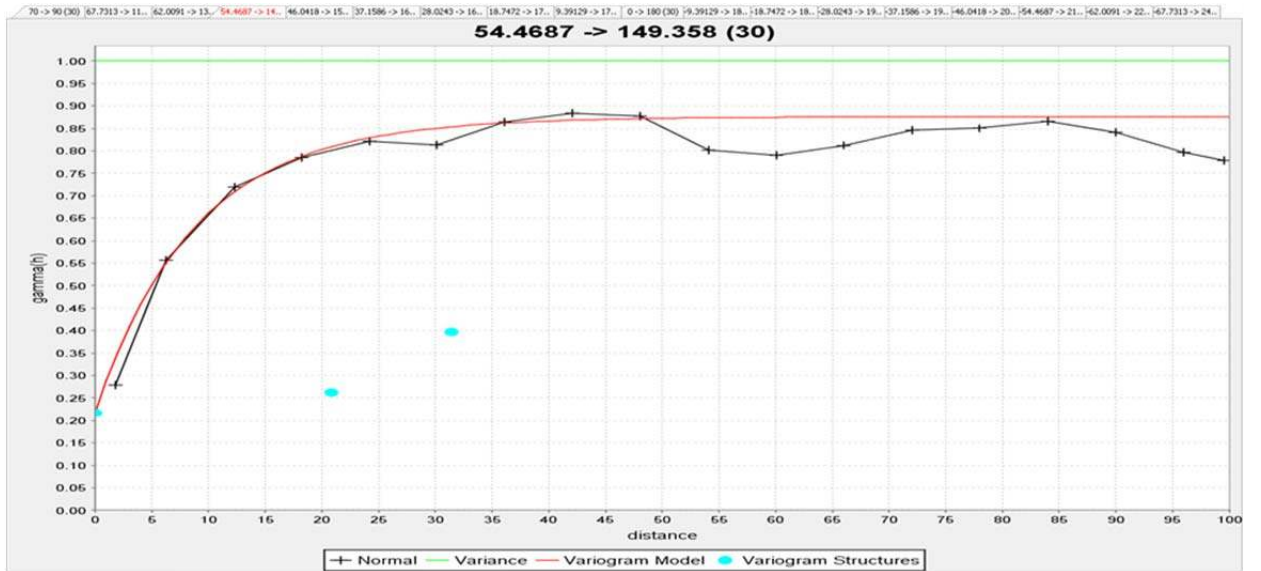
Çizelge 4.6. Arama Elipsoidi ve Kestirim Parametreleri

Ana eksen uzunluğu (1.eksen)	31.45 m
Küçük eksen uzunluğu (2.eksen)	21.5 m
Yükseklik Boyu (3.eksen)	19 m
Azimet Açısı	149°
Eğim Açısı(Dip)	-59°
Dalım Açısı (Plunge)	54°
Variogram Modeli	Üstel (Exponential)
Külçe etkisi(Nugget)	0.21
Yapı 1. (Sill-eşik değeri)	0.26
Yapı 1.(Range-yapısal uzaklık)	20.8 m
Yapı 2. (Sill-eşik değeri)	0.39
Yapı 2. (Range-yapısal uzaklık)	31.44 m
Anizotropi (major : semi-major)	1.65
Anizotropi (major : minor)	1.46

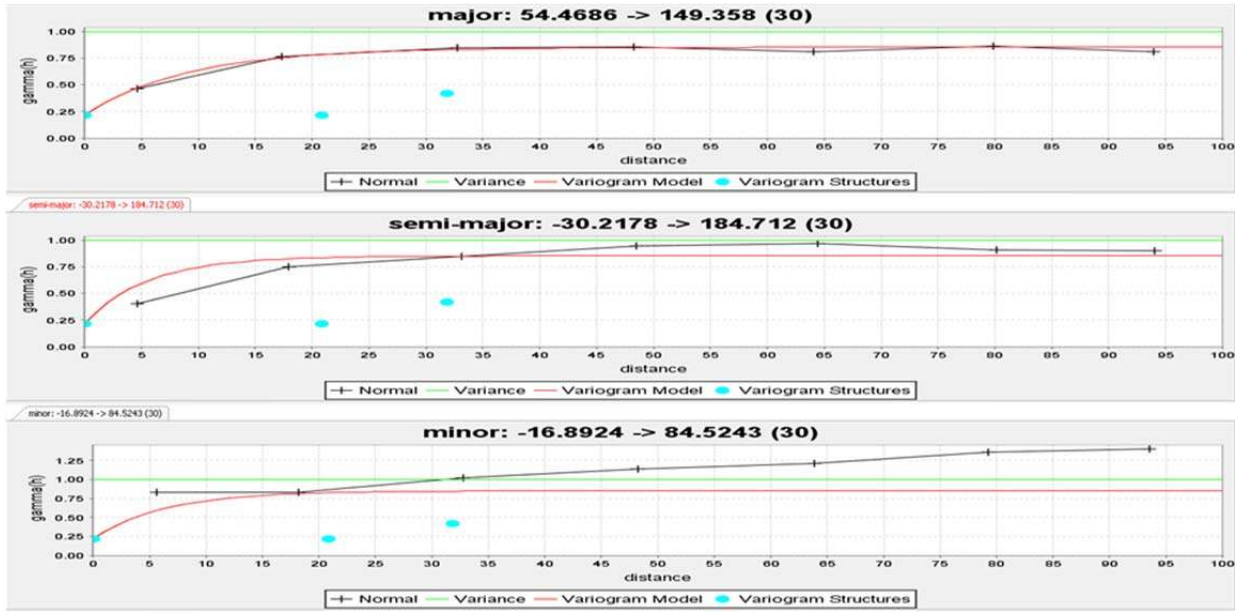
Arama elipsoidinin boyut ve yönelim parametreleri, variogram modelleme sonuçlarına göre belirlenmiş ve tüm bloklar için sabit tutulmuştur. Tahminlerde kullanılan variogram modelleri Şekil 4.11, 4.12 ve Şekil 4.13’de sunulmuştur.



Şekil 4.11.Farklı doğrultular için hesaplanan deneysel variogramlar ve bu doğrultulara uyarlanmış üstel (exponential) variogram modeller



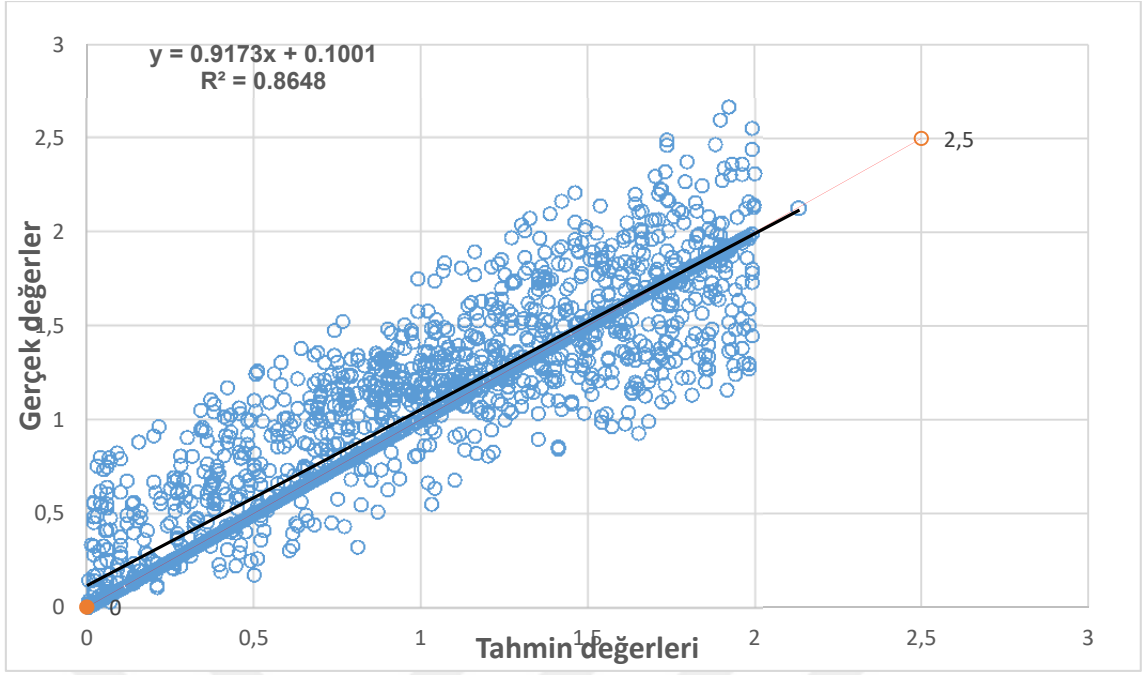
Şekil 4.12. Ana süreklilik doğrultusunda hesaplanan deneysel variogram ve üstel (exponential) variogram modeli



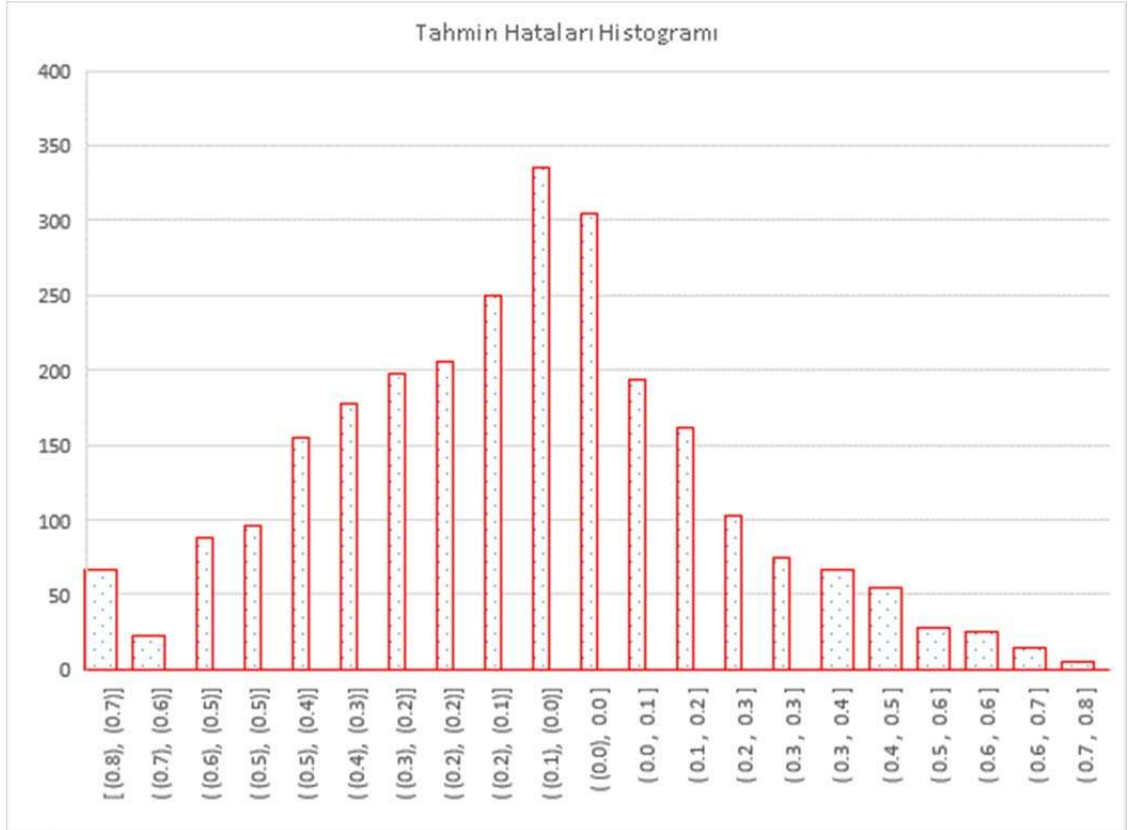
Şekil 4.13. Ana, yarı ana ve küçük eksen doğrultularında hesaplanan deneysel variogramlar ve üstel variogram modeli

Variogram modelinin geçerliliği çapraz doğrulama yöntemi ile test edilmiştir. Çapraz doğrulama sonuçlarına göre ortalama hata değeri 0.0018 olup sıfıra oldukça yakındır. Bu durum, modelin yansız olduğunu ve sistematik bir aşırı veya eksik tahmin eğilimi göstermediğini göstermektedir. Ortalama kriging varyansının 0.3239 olması, kestirim belirsizliğinin kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Ayrıca hataların %96.36'sının ± 2 standart sapma aralığında yer alması, oluşturulan variogram modelinin istatistiksel açıdan güvenilir olduğunu doğrulamaktadır.

Şekil 4.14'te verilen çapraz doğrulama grafiğinde, tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasında güçlü bir doğrusal ilişki gözlenmektedir. Regresyon denkleminde ait eğimin 0.9173 ve determinasyon katsayısının R^2 0.8648 olması, modelin veriyi yüksek düzeyde temsil ettiğini göstermektedir. Şekil 4.15'te verilen tahmin hataları histogramı incelendiğinde ise hata dağılımının büyük ölçüde sıfır etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Histogramın yaklaşık normal dağılım karakteri göstermesi, kestirim hatalarının dengeli dağıldığını ve variogram modelinin kaynak kestirimi açısından uygun sonuçlar verdiğini desteklemektedir. Çapraz doğrulama sonucunda elde edilen gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki grafiği ile tahmin hatalarına ait histogram sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Çapraz doğrulama sonucunda gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki grafiği

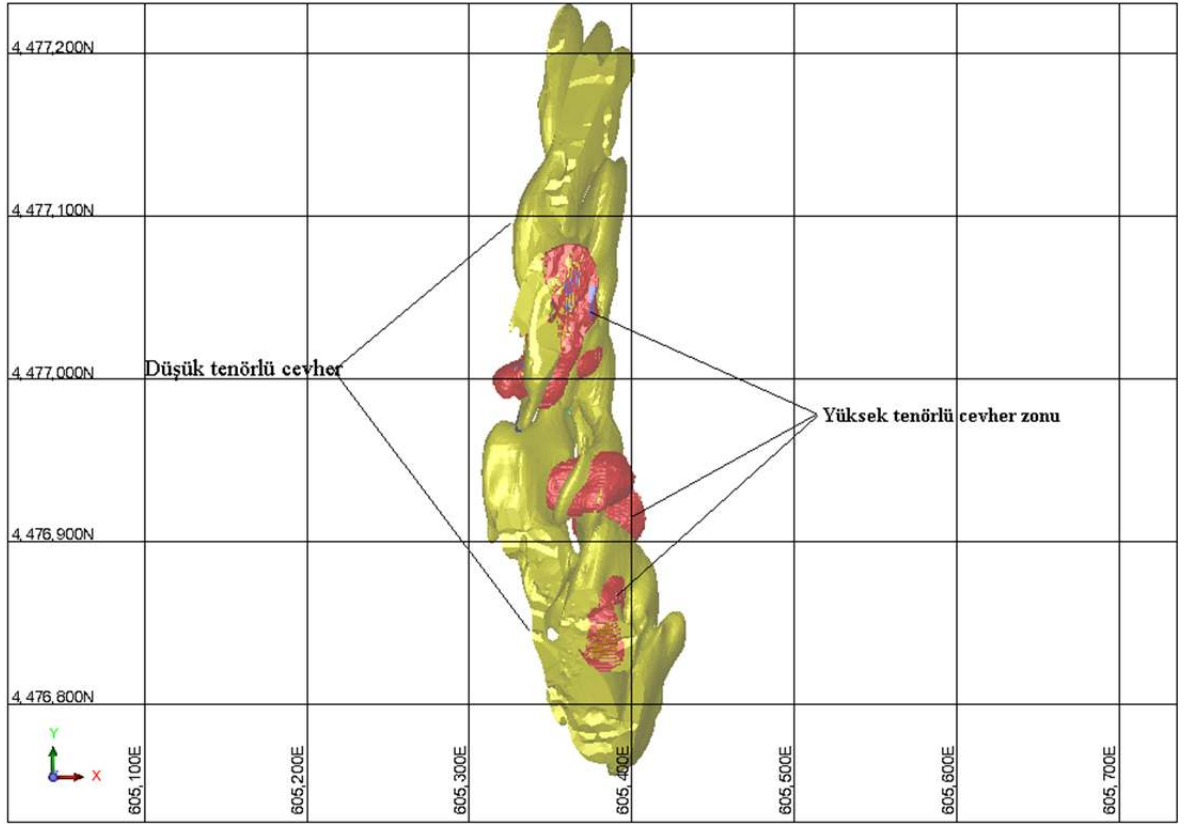


Şekil 4.15. Çapraz doğrulama tahmin hatalarına ait histogram

4.7.2. Sabit Arama Elipsoidi Kullanılarak Ordinary Kriging (OK) ve Mesafenin Tersi Ağırlıklandırma (IDW) Yöntemleri ile Maden Kaynak Kestirimi

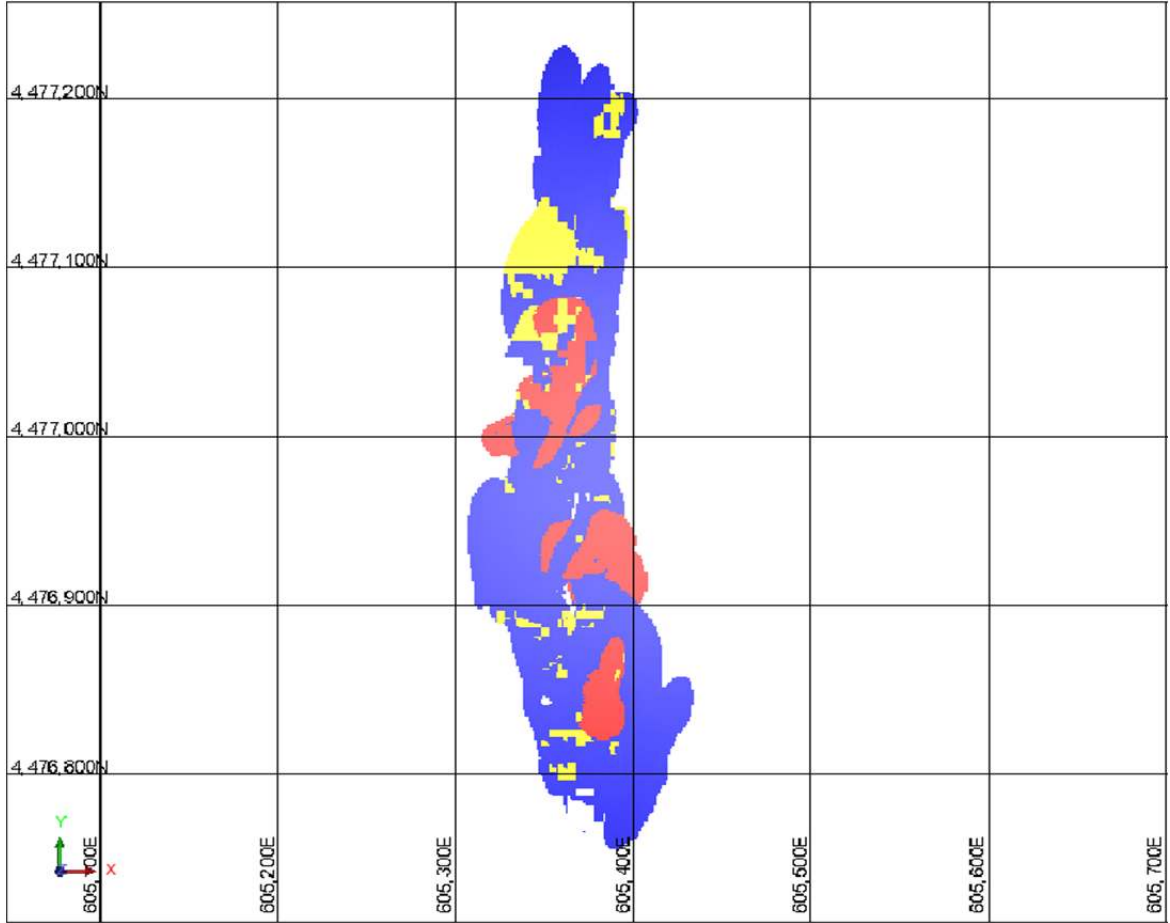
Bu bölümde kaynak kestirimi, sabit açılı arama elipsoidi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma iki aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada, zengin cevher zonu ayrı bir katı model olarak tanımlanmış ve bu zon için Mesafenin Tersi yöntemi kullanılarak kaynak hesaplaması yapılmıştır. İkinci aşamada ise düşük tenörlü cevher zonu için ayrı bir katı model oluşturulmuş ve bu zonda Ordinary Kriging yöntemi uygulanarak kaynak kestirimi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.16’de yüksek ve düşük tenörlü cevher zonlarının görünümü sunulmuştur.



Şekil 4.16. Yüksek ve düşük tenörlü cevher zonlarının görünümü

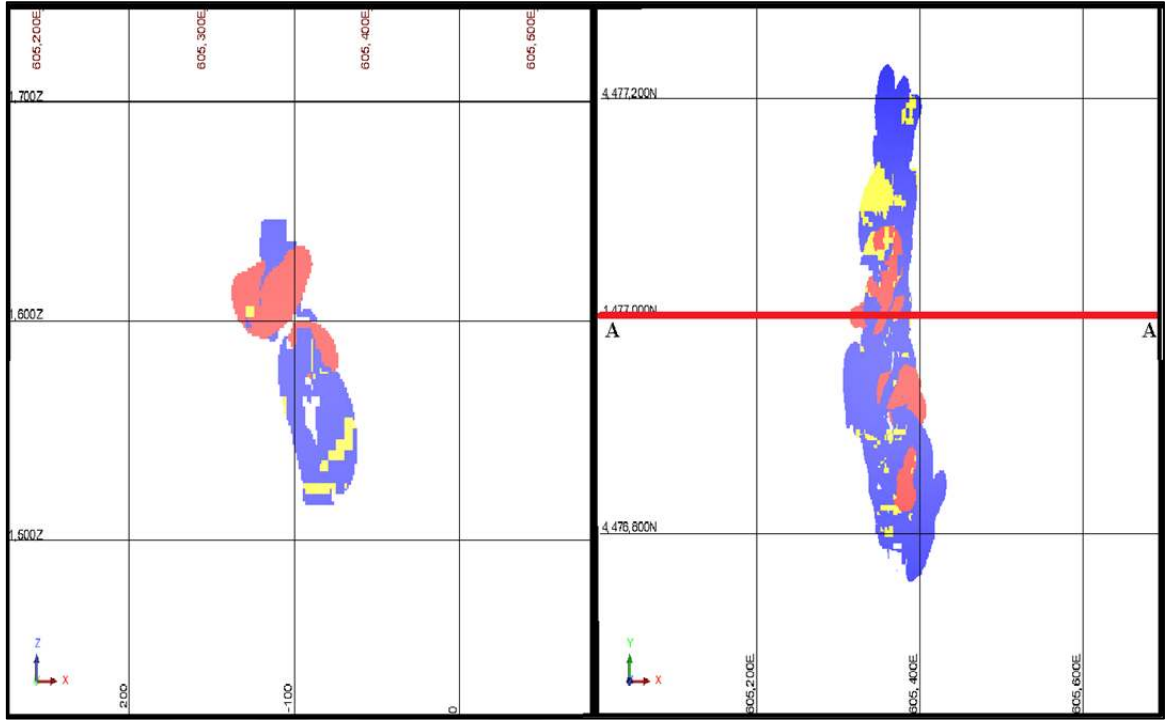
Zengin ve düşük tenörlü cevher zonlarına ait blok model görünümü Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Zengin ve düşük tenörlü cevher zonlarının blok model görünümü

- Mavi renk: 0.3–1 ppm arası tenör değerleri
- Sarı renk: 1–2 ppm arası tenör değerleri
- Kırmızı renk: 2 ppm ve üzerindeki tenör değerleri

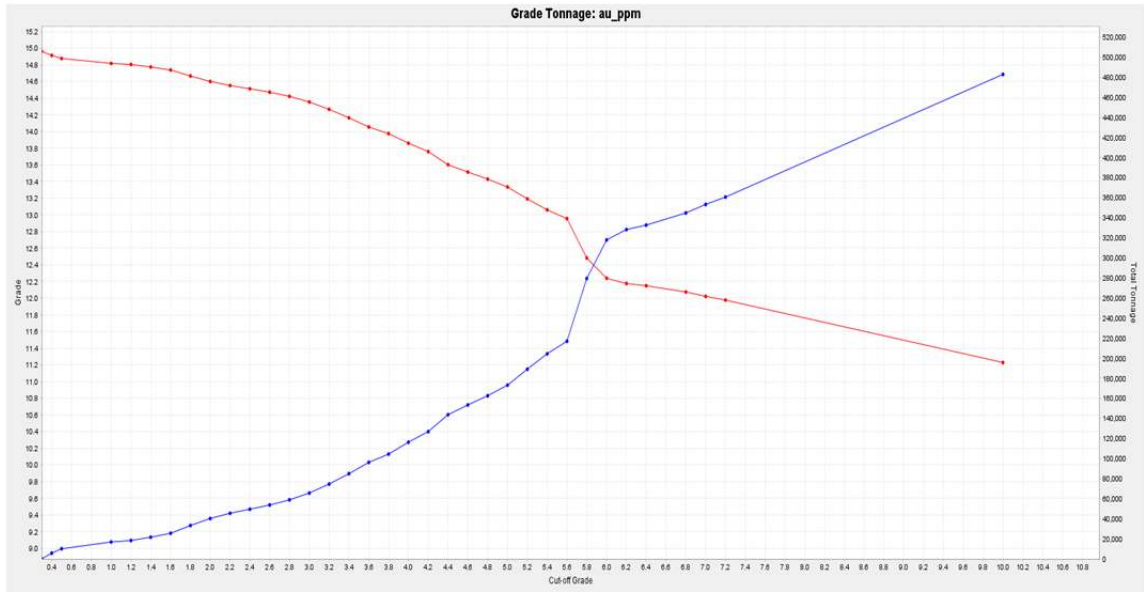
Zengin tenörlü zon için Mesafenin Tersisi yöntemi, düşük tenörlü zon için ise sabit arama elipsoidi parametreleri kullanılarak Ordinary Kriging yöntemi ile kaynak tahmin gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen blok model kesit görseli, istatistikleri ve buna ait tenör-tonaj eğrileri sırasıyla Şekil 4.18–4.21 ile Çizelge 4.7–4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.18. Blok modelin kesit görüntüsü A-A

Çizelge 4.7. Mesafenin Ters Ağırlıklandırma yöntemi ile zengin zon için elde edilen kestirim istatistikleri

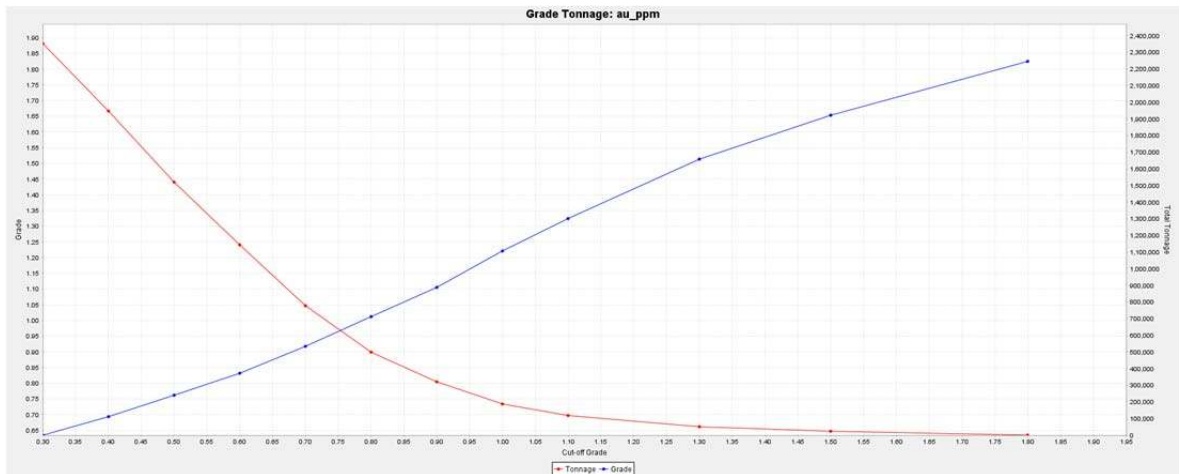
Blok sayısı	2,658
En Düşük Değer (ppm)	0.06
En Yüksek Değer (ppm)	32,95
Ortalama Değeri (ppm)	8,00
Ortanca Değeri (ppm)	5,94
Geometrik Ortalama Değeri (ppm)	5,96
Standart Sapma	5,27
Varyans	27,81
Varyasyon Katsayısı	0.65
Çarpıklık	0.91
Sivrilik	3.71



Şekil 4.19.Mesafenin Ters Ağırlıklandırma yöntemi ile zengin zon için elde edilen kestirimin tenör-tonaj eğrisi

Çizelge 4.8. Sabit açılı elipsoid ve OK yöntemi ile düşük tenörlü zon için elde edilen kestirim istatistikleri

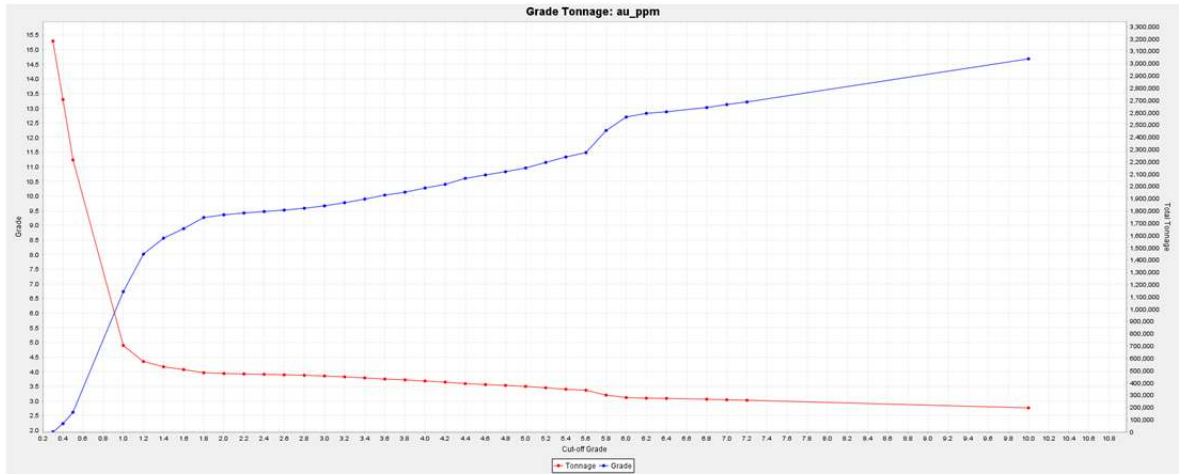
Blok sayısı	13,913
En Düşük Değer (ppm)	0,05
En Yüksek Değer (ppm)	1,84
Ortalama Değeri (ppm)	0,56
Ortanca Değeri (ppm)	0,52
Geometrik Ortalama Değeri (ppm)	0,50
Standart Sapma	0,26
Varyans	0,07
Varyasyon Katsayısı	0,47
Çarpıklık	1,02
Sivrilik	4,72



Şekil 4.20.Sabit açılı elipsoid ve OK yöntemi ile düşük tenörlü zon için elde edilen tenör-tonaj eğrisi

Çizelge 4.9. Ordinary Kriging ve Mesafenin Tersİ Ağırlıklandırma Yöntemleri ile Elde Edilen Blok Modelin İstatistiksel Değerleri

Blok sayısı	17,102
En Düşük Değer (ppm)	0.05
En Yüksek Değer (ppm)	32,95
Ortalama Değeri (ppm)	1,58
Ortanca Değeri (ppm)	0,58
Geometrik Ortalama Değeri (ppm)	0,71
Standart Sapma	3,22
Varyans	10,36
Varyasyon Katsayısı	2,03
Çarpıklık	3,87
Sivrilik	19,80



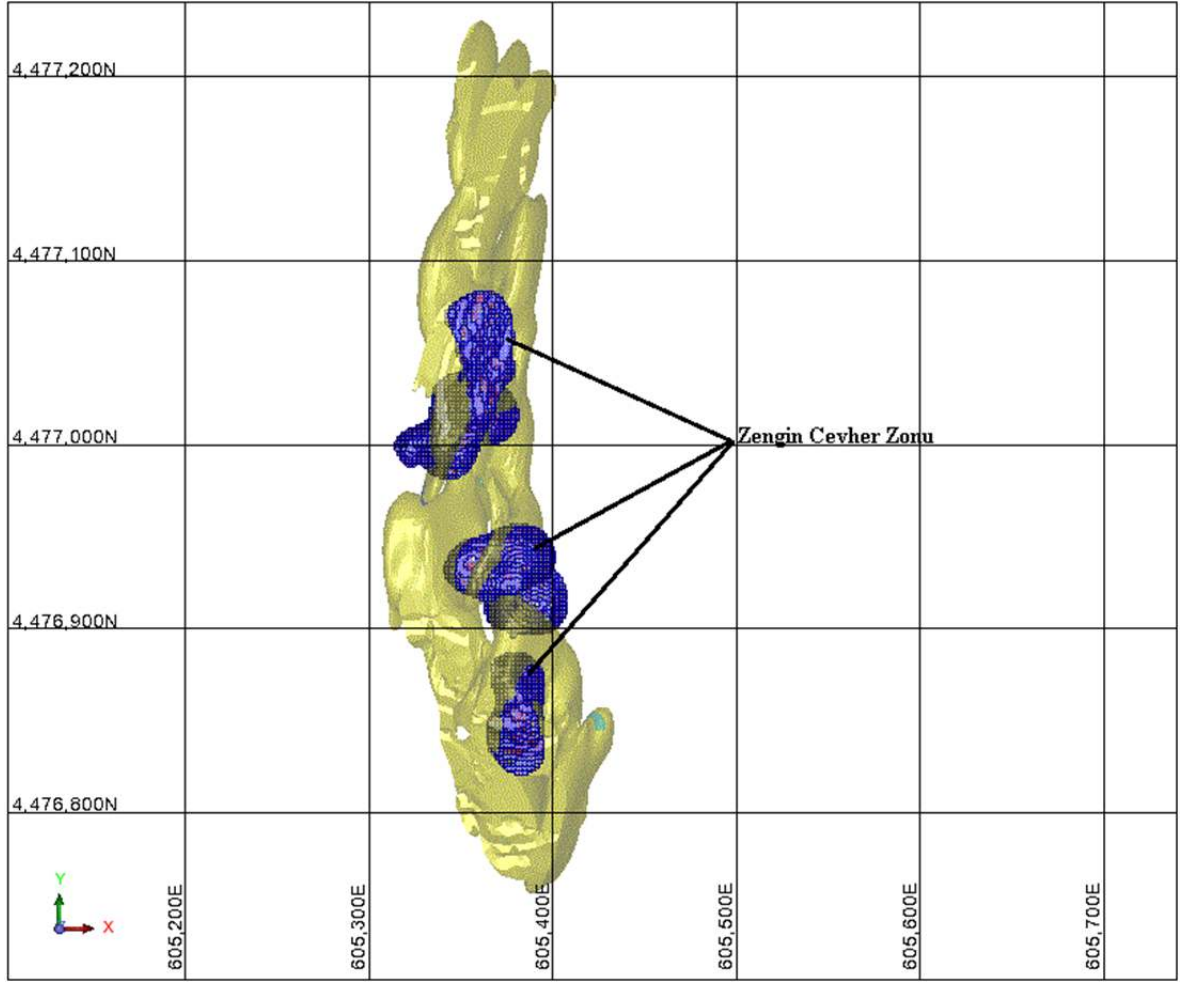
Şekil 4.21. Ordinary Kriging ve Mesafenin Tersİ Ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen blok görünümü

4.7.3. Dinamik Arama Elipsoidi Kullanılarak Ordinary Kriging (OK) ve Mesafenin Tersİ Ağırlıklandırma (IDW) Yöntemleri ile Maden Kaynak Kestirimi

Bu aşamada kaynak tahmini, dinamik arama elipsoidi yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Düşük tenörlü cevher zonu için Ordinary Kriging yöntemi uygulanmış, zengin tenörlü zon için ise Mesafenin Tersİ Ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır.

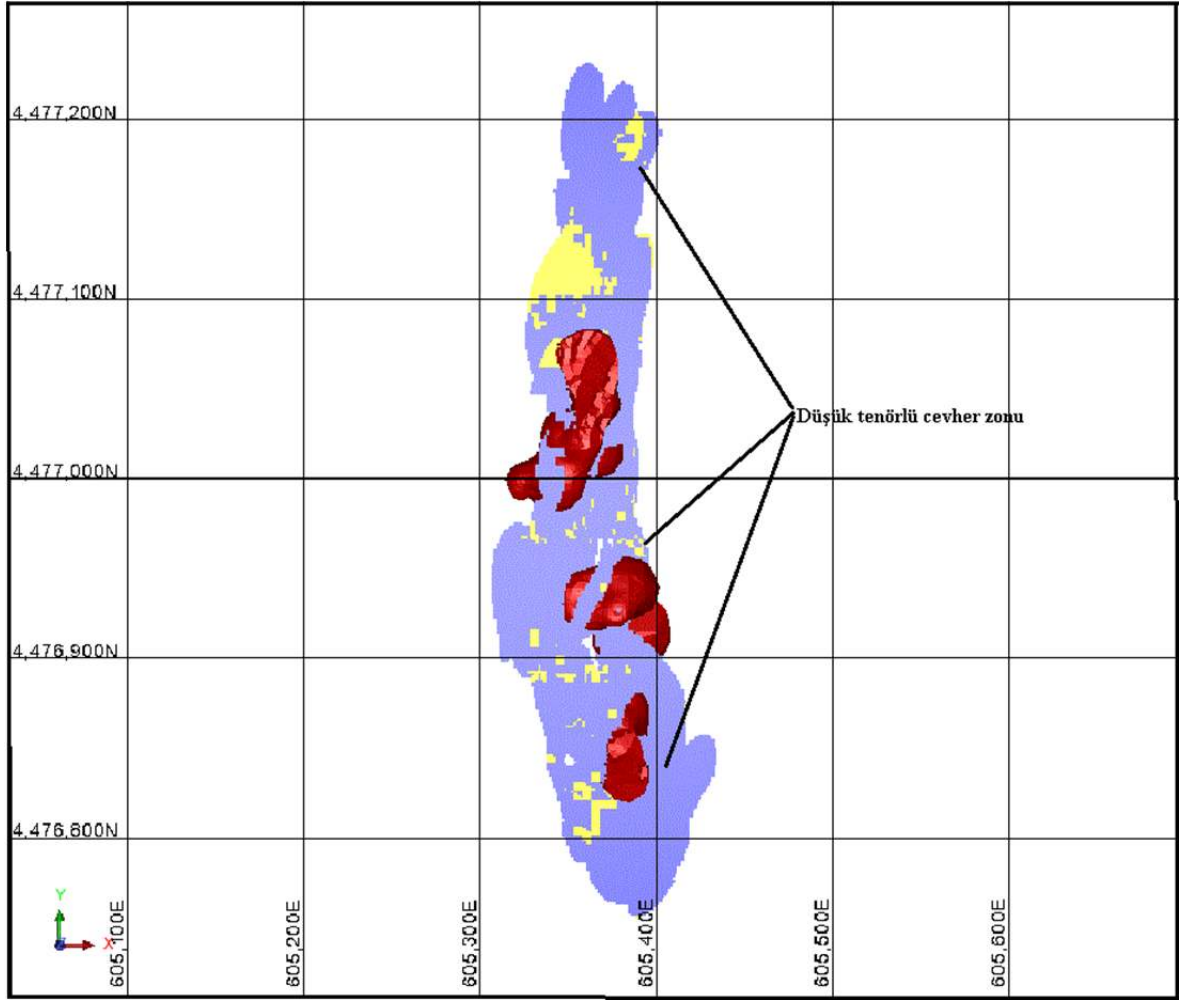
Zengin zon için arama elipsoidi sabit açı değerleri ile tanımlanmış, düşük tenörlü zon için ise arama elipsoidinin dalım ve doğrultu (azimut) açıları blok bazında değişken olacak şekilde dinamik olarak belirlenmiştir.

İlk olarak düşük ve yüksek tenörlü cevher zonlarına ait katı modellerden trend çizgileri oluşturulmuş, ardından bu geometrik yönelim bilgileri blok modele aktarılmıştır. Böylece her bloğa ait yerel eğim ve dalım açıları tanımlanmış ve dinamik arama komşuluğu altında kaynak tahmini gerçekleştirilmiştir. Dinamik arama elipsoidine esas teşkil eden eğim ve dalma açılarının blok model kesiti üzerindeki gösterimleri sırasıyla Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.24. Yüksek tenörlü cevher zonu (zengin cevher)

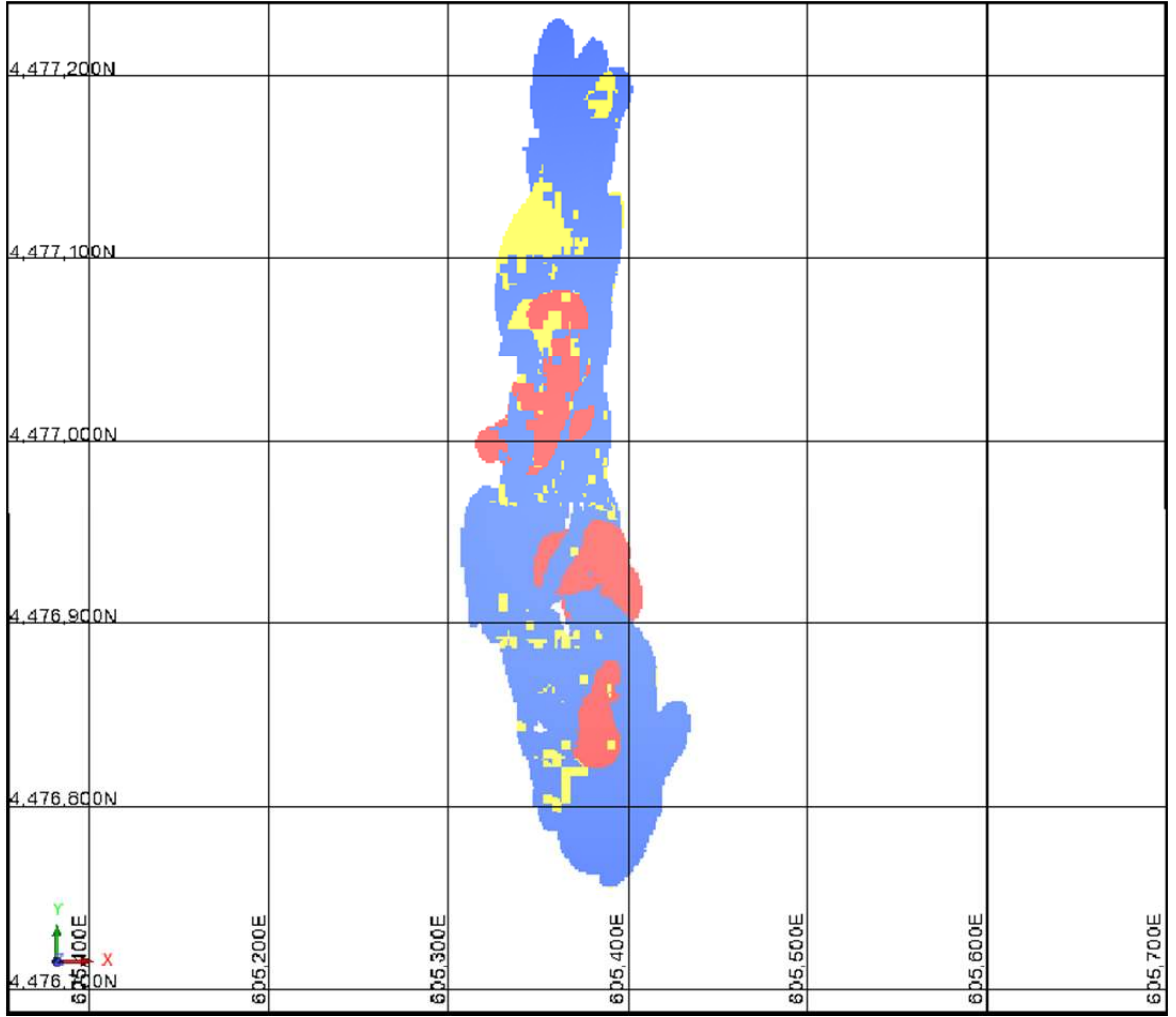
Şekil 4.24’de Zengin cevher zonunun üç boyutlu görünümü verilmiştir. Bu zon ayrı bir katı model olarak modellenmiş olup, kaynak kestirimi Mesafenin Tersisi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Görselde zengin cevher zonunun sınırları görülmektedir



Şekil 4.25. Düşük tenörlü cevher zonu görünümü

Şekil 4.25’de düşük tenörlü cevher zonunun üç boyutlu görünümü verilmiştir. Bu zon ayrı bir katı model olarak modellenmiş olup, kaynak kestirimi Ordinary Kriging yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Görselde düşük tenörlü cevher zonunun sınırları görülmektedir.

Zengin ve düşük tenörlü cevher zonlarına ait blok model görünümü Şekil 4.26’da verilmiştir.



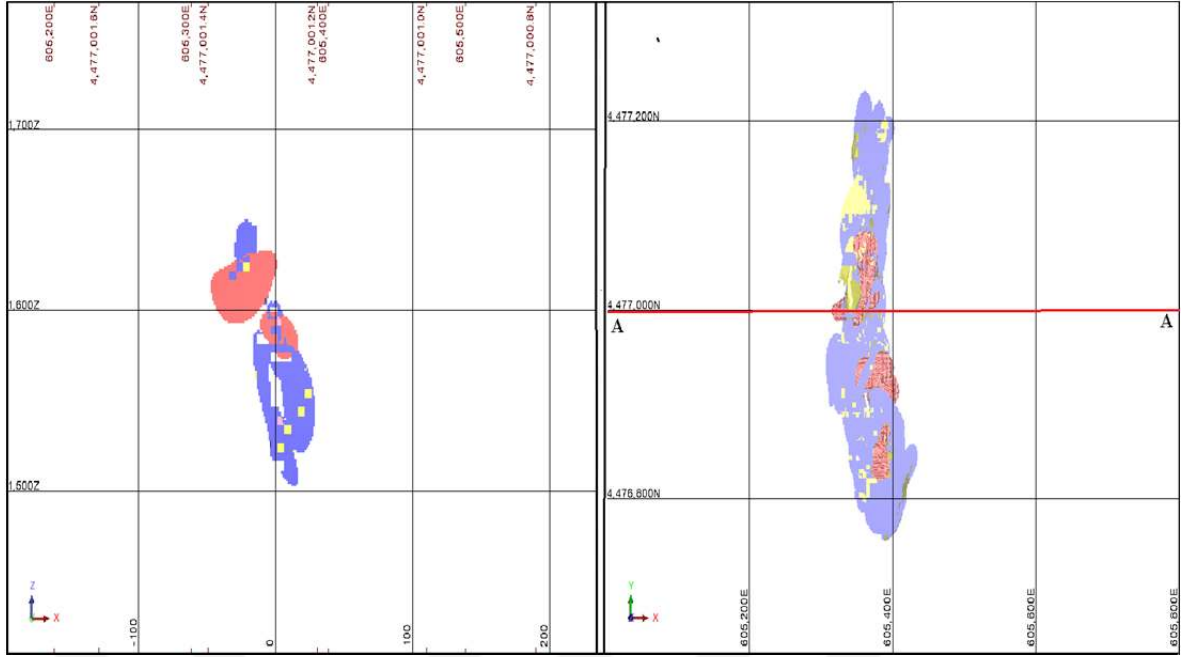
Şekil 4.26. Zengin ve düşük tenörlü cevher zonlarının blok model görünümü

Mavi renk: 0.3–1 ppm arası tenör değerleri

Sarı renk: 1–2 ppm arası tenör değerleri

Kırmızı renk: 2 ppm ve üzerindeki tenör değerleri

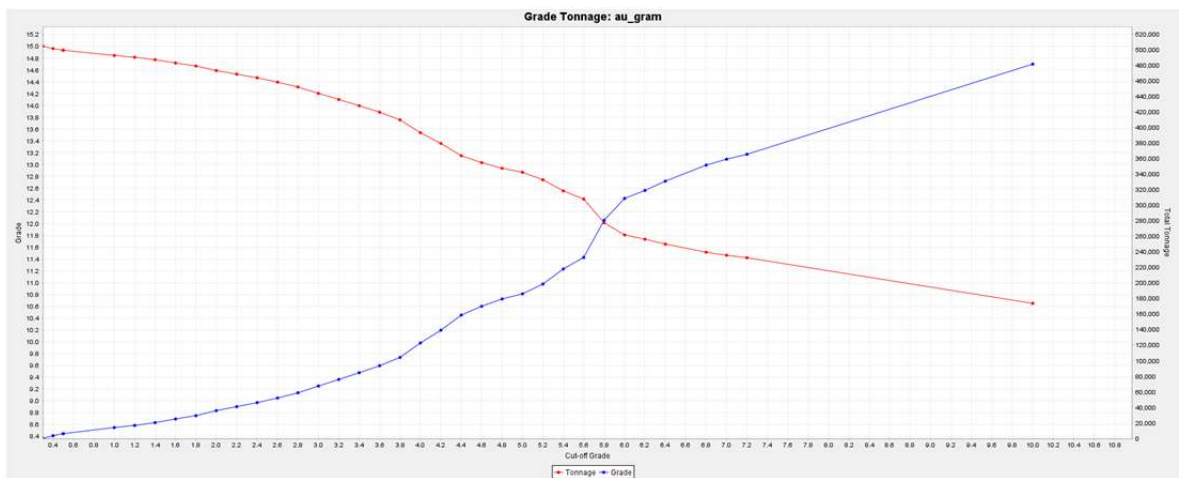
Dinamik arama elipsoidi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen kestirim sonucunda elde edilen blok model kesit görselleri, istatistiksel sonuçlar ve ilgili tenör–tonaj eğrileri sırasıyla Şekil 4.27–4.30 ve Çizelge 4.10–4.12’de verilmiştir..



Şekil 4.27.Dinamik açılı elipsoit ile yapılan blok model kesit görüntüsü A – A

Çizelge 4.10. Mesafenin Ters Ağırlıklandırma yöntemi ile zengin zon için elde edilen kestirim istatistikleri

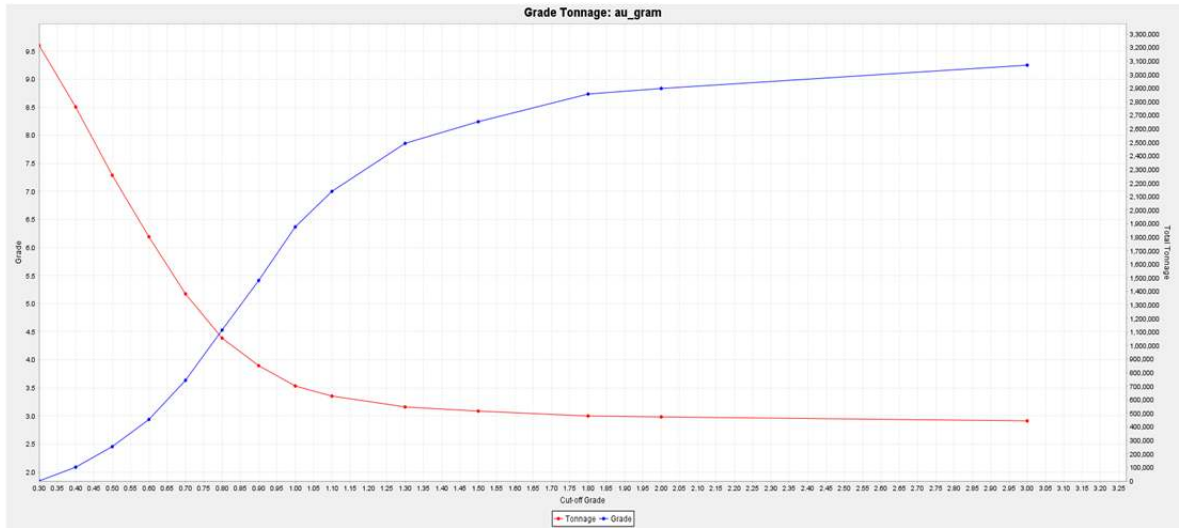
Blok sayısı	2,654
En Düşük Değer (ppm)	0,072
En Yüksek Değer (ppm)	34,35
Ortalama Değeri (ppm)	7,43
Ortanca Değeri (ppm)	5,71
Geometrik Ortalama Değeri (ppm)	5,43
Standart Sapma	5,19
Varyans	26,97
Varyasyon Katsayısı	0,69
Çarpıklık	1,03
Sivrilik	3.88



Şekil 4.28. Mesafenin Ters Ağırlıklandırma yöntemi ile zengin zon için elde edilen kestirimin tenör-tonaj eğrisi

Çizelge 4.11. Dinamik açılı elipsoid ve OK yöntemi ile düşük tenörlü zon için elde edilen kestirim istatistikleri

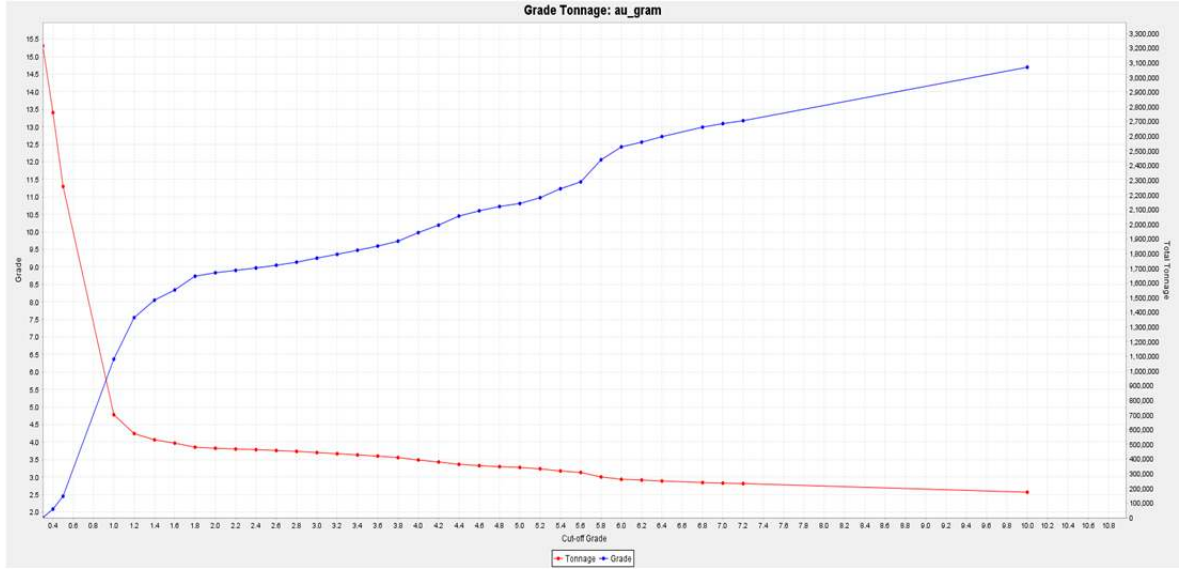
Blok sayısı	13.894
En Düşük Değer (ppm)	0,05
En Yüksek Değer (ppm)	1,87
Ortalama Değeri (ppm)	0,56
Ortanca Değeri (ppm)	0,52
Geometrik Ortalama Değeri (ppm)	0,50
Standart Sapma	0,26
Varyans	0,07
Varyasyon Katsayısı	0,47
Çarpıklık	1,10
Sivrilik	5,09



Şekil 4.29. Dinamik açılı elipsoid ve OK yöntemi ile düşük tenörlü zon için elde edilen blok modelin tenör-tonaj eğrisi

Çizelge 4.12. Dinamik arama elipsoidi kullanılarak Ordinary Kriging ve Mesafenin Ters Ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen blok modelin istatistik değerleri

Blok sayısı	17,082
En Düşük Değer (ppm)	0,04
En Yüksek Değer (ppm)	34,35
Ortalama Değeri (ppm)	1,50
Ortanca Değeri (ppm)	0,58
Geometrik Ortalama Değeri (ppm)	0,70
Standart Sapma	3,04
Varyans	9,27
Varyasyon Katsayısı	2,02
Çarpıklık	4,06
Sivrilik	21,74



Şekil 4.30. Dinamik arama elipsoidi kullanılarak Ordinary Kriging ve Mesafenin Tersi Ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen blok modelin tenör-tonaj eğrisi

4.8. Maden Kaynak Kestirim Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çizelge 4.13’de görüldüğü üzere dinamik ve statik arama elipsoidi kullanılarak gerçekleştirilen kestirimlerde blok sayılarının birbirine oldukça yakın olduğu izlenmektedir. Dinamik modelde blok sayısının statik modele kıyasla çok sınırlı bir farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu durumun, arama elipsoidi yöneliminin değişmesine rağmen model genelinde benzer sayıda blok için kestirim yapılmasına olanak sağladığını düşündürdüğü değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.13. Dinamik ve Statik açılı elipsoid ve OK yöntemi ile elde edilen blok sayısı

Yöntem	Dinamik arama elipsoidi kullanılarak OK ve IDW yöntemleri ile elde edilen kestirim istatistikleri	Statik arama elipsoidi kullanılarak OK ve IDW yöntemleri ile elde edilen kestirim istatistikleri
Blok sayısı	17.082	17.102
Blok Modelin Katı Modeli Temsil Oranı(%)	98	100

Çizelge 4.14’de görüldüğü gibi ortalama değer dinamik modelde statik modele göre bir miktar daha düşük hesaplanmıştır. Ortanca değerlerin her iki modelde de aynı olması, dağılımın benzer olduğunu göstermektedir. Geometrik ortalama değerlerinin de birbirine oldukça yakın olduğu izlenmektedir.

Çizelge 4.14. Tenör dağılımı

Parametre	Dinamik arama elipsoidi kullanılarak OK ve IDW yöntemleri ile elde edilen kestirim istatistikleri	Statik arama elipsoidi kullanılarak OK ve IDW yöntemleri ile elde edilen kestirim istatistikleri
Ortalama (ppm)	1,50	1,58
Ortanca (ppm)	0,58	0,58
Geometrik Ortalama (ppm)	0,70	0,71

Çizelge 4.15’de görüldüğü üzere dinamik modelde standart sapma ve varyans değerlerinin statik modele göre bir miktar daha düşük olduğu izlenmektedir. Buna karşın varyasyon katsayısının her iki modelde de birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, genel değişkenlik karakterinin büyük ölçüde benzer kaldığını düşündürmektedir.

Çizelge 4.15. Dağılım istatistikleri

Parametre	Dinamik arama elipsoidi kullanılarak OK ve IDW yöntemleri ile elde edilen kestirim istatistikleri	Statik arama elipsoidi kullanılarak OK ve IDW yöntemleri ile elde edilen kestirim istatistikleri
Standart sapma	3,04	3,22
Varyans	9,27	10,36
Varyasyon katsayısı(CV)	2,02	2,03

Çizelge 4.16’de görüldüğü gibi her iki modelde sivrilik ve çarpıklık değeri yüksektir bu her iki modelde yüksek sağa çarpıklık ve yüksek değer olduğu izlenimi bırakmaktadır. Bunun nedeni kaynağın heterojen ve tenör dağılımı oldukça değişken olmasıdır, özellikle biz zengin zonla düşük zona bu sebeple ayrı yaklaşım yapılması kanatine geldik. Genel olarak iki modeli karşılaştırdığımızda ise statik modelde dağılım biraz daha dengelenmiş görünmektedir.

Çizelge 4.16. Modele ait Sivrilik ve çarpıklık değerleri

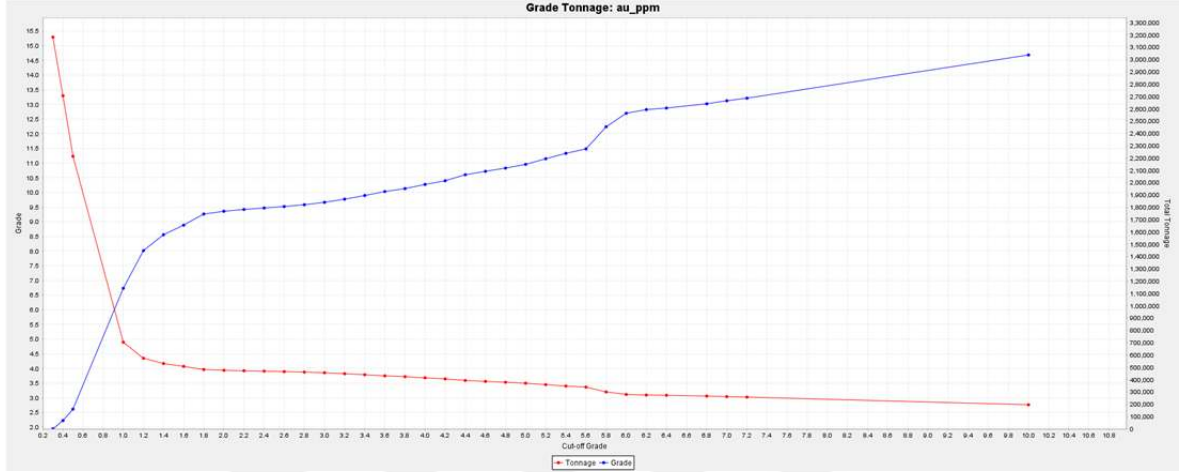
Parametre	Dinamik arama elipsoidi kullanılarak OK ve IDW yöntemleri ile elde edilen kestirim istatistikleri	Statik arama elipsoidi kullanılarak OK ve IDW yöntemleri ile elde edilen kestirim istatistikleri
Çarpıklık	4,06	3,87
Sivrilik	21,74	19,80

İki yöntem ile oluşturulan blok modellerin tenor-tonaj grafikleri incelendiğinde, her iki modelde de eşik tenöre bağlı olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Eşik tenör değeri arttıkça tonajın azaldığı izlenmektedir.

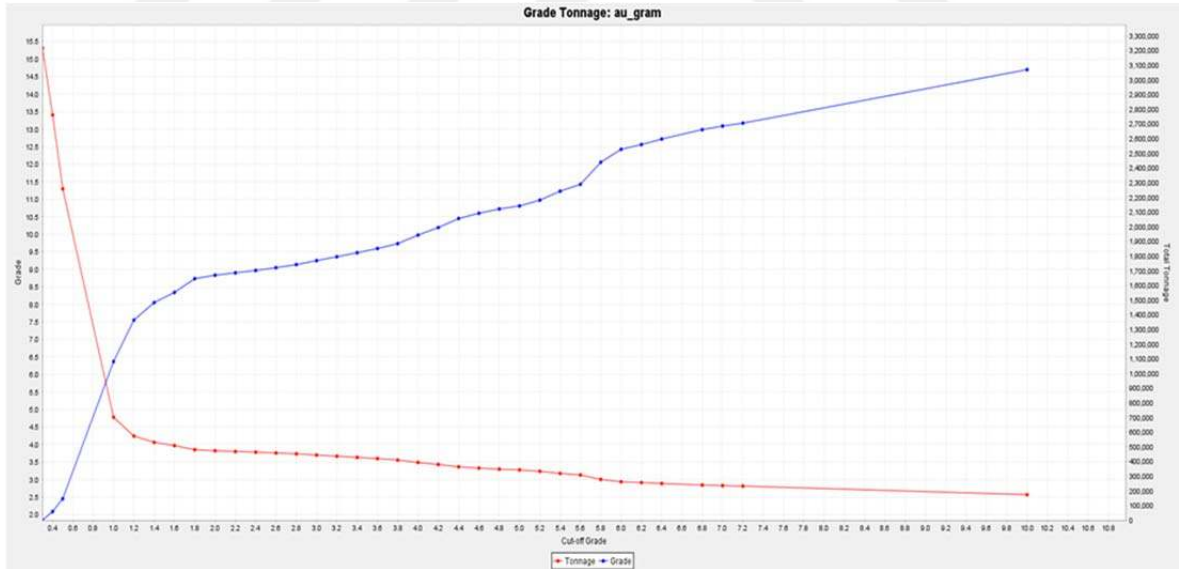
Elde edilen tenor-tonaj grafikleri incelendiğinde düşük eşik tenör seviyelerinde dinamik modelde tonajın statik modele göre bir miktar daha yüksek olduğu izlenmektedir. Buna karşılık eşik tenör değerinin arttığı seviyelerde statik modelin tonaj açısından nispeten daha yüksek

değerler verdiği görülmektedir. Ortalama tenör eğrilerine bakıldığında ise statik modelde tenör değerlerinin genel olarak biraz daha yüksek seyrettiği dikkat çekmektedir. Bununla birlikte her iki modelin de benzer bir tenör-tonaj eğilimi gösterdiği ve eğrilerin genel davranışı açısından aralarında belirgin bir fark bulunmadığı izlenmektedir.

Tenör-tonaj eğrileri için static model Şekil 4.30, dinamik model için Şekil 4.31'e bakınız.



Şekil 4.31. Ordinary Kriging ve Mesafenin Tersisi Ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen blok görünümü

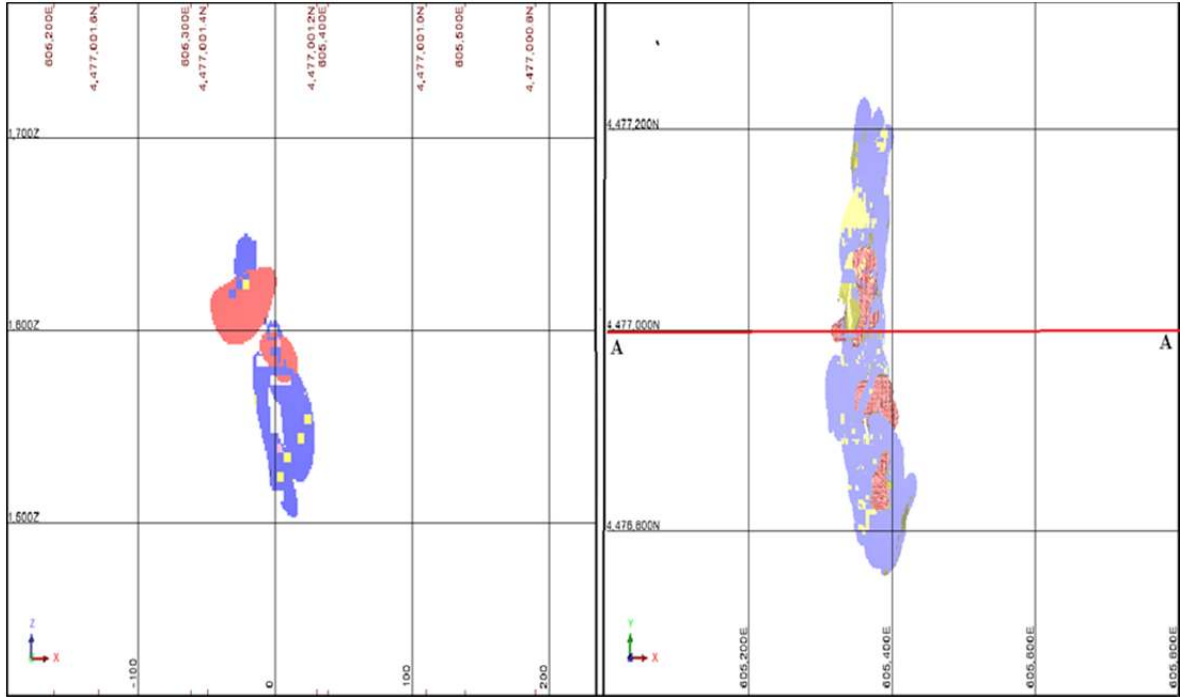


Şekil 4.32. Dinamik arama elipsoidi kullanılarak Ordinary Kriging ve Mesafenin Tersisi Ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen blok modelin tenör-tonaj eğrisi

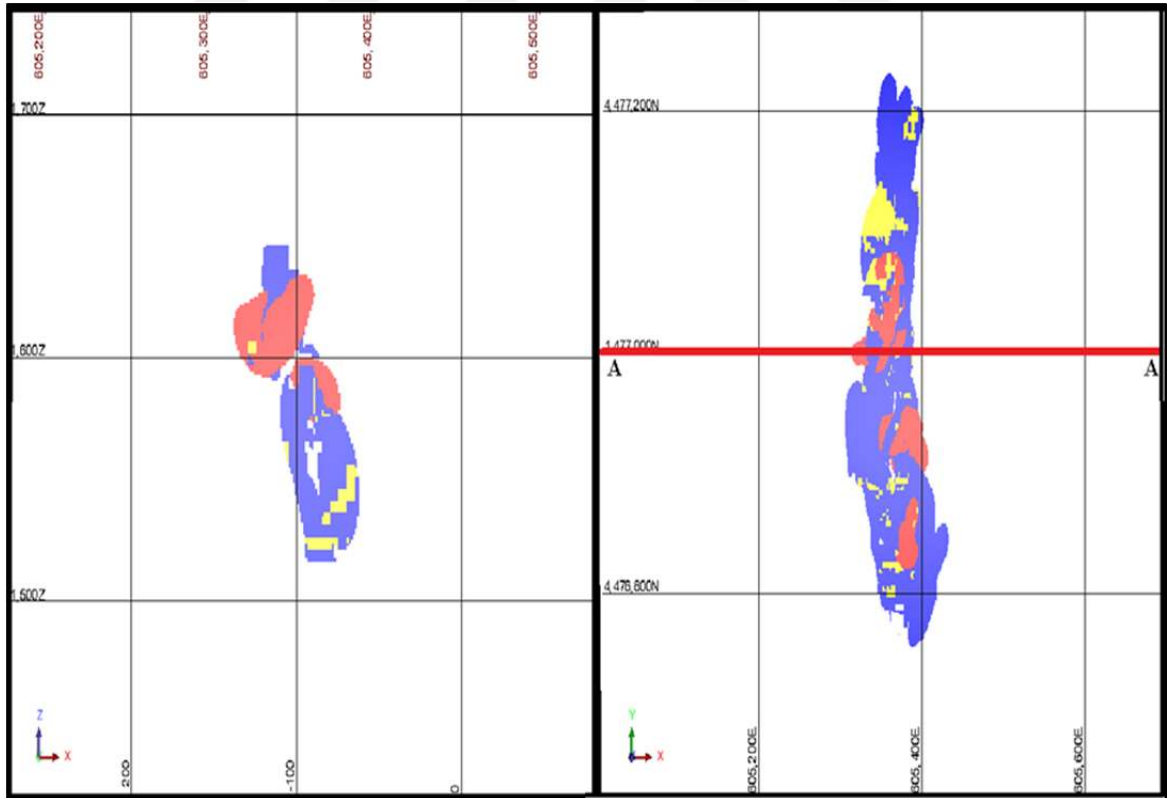
Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'de dinamik ve statik arama elipsoidi yöntemi ile OK yöntemi kullanılarak oluşturulan blok modellerin A–A kesitleri görülmektedir.

- Mavi renk: 0.3–1 ppm arası tenör değerleri
- Sarı renk: 1–2 ppm arası tenör değerleri

- Kırmızı renk: 2 ppm ve üzerindeki tenör değerleri



Şekil 4.33. Dinamik açılı elipsoit ile yapılan blok model kesit görüntüsü A – A



Şekil 4.34. Statik açılı elipsoit ile yapılan blok model kesit görüntüsü A – A

4.9. Blok Model Kestirimleri ile Fiili Üretim Tenör-Tonaj Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde oluşturulan blok model kestirimleri ile fiili üretim verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma amacıyla cevherleşmenin temsil edildiği aynı solid içerisinde bir alan seçilmiş bloklar değerlendirilmiştir. Bu alanda yer alan blok model sonuçları ile aynı alana ait fiili üretim verileri karşılaştırılmıştır. Sahada kullanılan kantar sistemi 80 ton kapasiteli olup ± 50 kg hassasiyete sahiptir.

Tenör sınıflandırılması aşağıdaki kimidir.

- Atık: 0-0,3 ppm arası
- Düşük tenörlü: 0,3-1 arası
- Orta tünörlü: 1–2 ppm arası
- Zengin: 2 ppm ve üzerindeki tenör değerleri.

Çizelge 4.17 ve Şekil 4.37 birlikte incelendiğinde, fiili üretim ile statik ve dinamik blok model sonuçlarının tenör sınıflarına göre genel olarak benzer bir dağılım gösterdiği izlenmektedir. Atık sınıfında her iki modelde hesaplanan tonaj değerlerinin fiili üretime oldukça yakın olduğu görülmektedir. Düşük tenörlü sınıfta ise blok modellerin fiili üretime göre nispeten daha yüksek tonaj kestirimi yaptığı dikkat çekmektedir. Orta tenörlü sınıfta model sonuçlarının fiili üretime göre daha yüksek bir dağılım gösterdiği izlenmektedir. Zengin tenörlü sınıfta ise fiili üretimdeki tonajın blok model kestirimlerine göre bir miktar daha yüksek olduğu görülmektedir.

Yüzdesel dağılımlar incelendiğinde de benzer bir eğilim gözlenmektedir. Atık sınıfında fiili üretim oranı modellerden bir miktar yüksek görünürken, düşük ve orta tenörlü sınıflarda blok model kestirimlerinin fiili üretime göre daha yüksek oranlar verdiği izlenmektedir. Zengin tenörlü sınıfta ise model sonuçlarının fiili üretime göre biraz daha düşük kaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.18 ve Şekil 4.38’de metal içeriği açısından değerlendirildiğinde ise statik model ile fiili üretim sonuçlarının birbirine daha yakın olduğu izlenmektedir. Dinamik modelde ise özellikle zengin tenörlü sınıfta metal içeriğinin diğer sonuçlara göre daha düşük kaldığı görülmektedir.

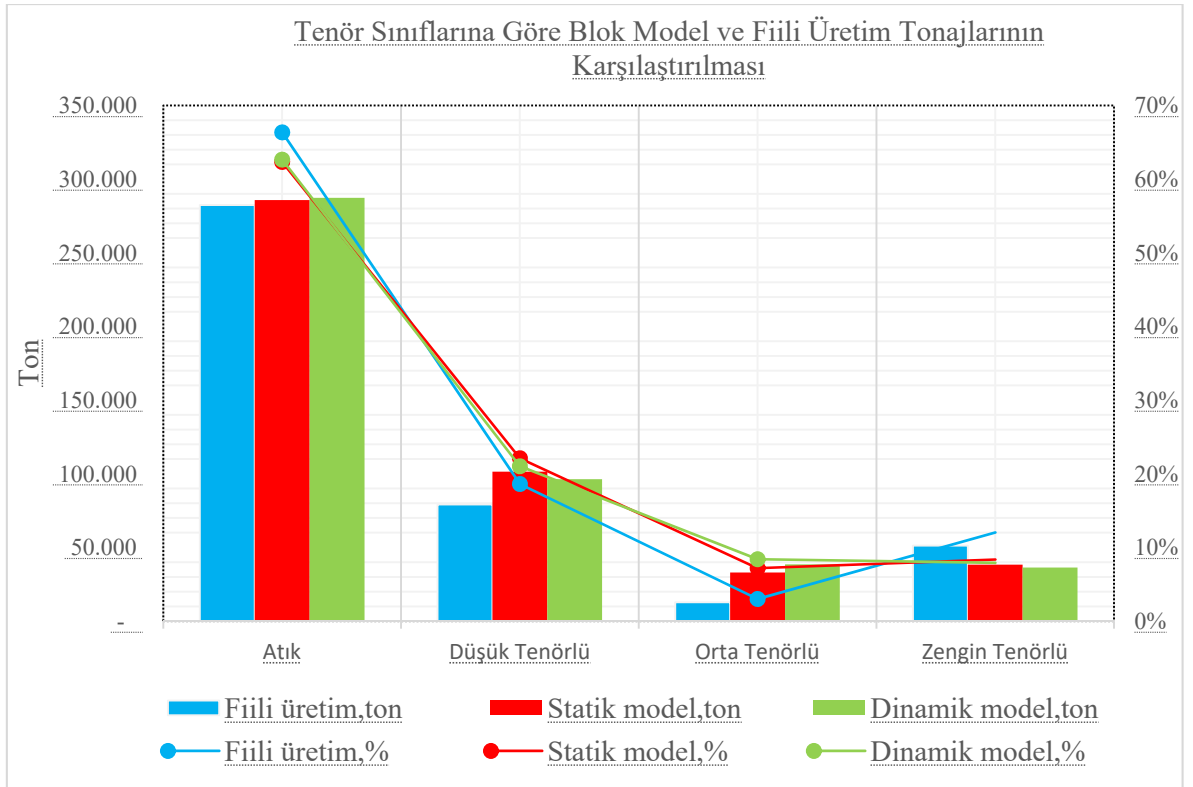
Genel olarak değerlendirildiğinde blok model kestirimleri ile fiili üretim sonuçlarının tonaj ve metal içeriği bakımından benzer bir eğilim gösterdiği, ancak bazı tenör sınıflarında sınırlı farklılıkların bulunduğu izlenmektedir. Fiili üretim ile statik ve dinamik blok model sonuçlarına ait tonaj dağılımları ile yüzdesel dağılımlar Çizelge 4.17 ve Şekil 4.37’de, metal içeriğine ilişkin karşılaştırmalar ise Çizelge 4.18 ve Şekil 4.38’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Tenör sınıflarına göre fiili üretim ile statik ve dinamik blok model sonuçlarının tonaj ve yüzdesel olarak dağılımının karşılaştırılması

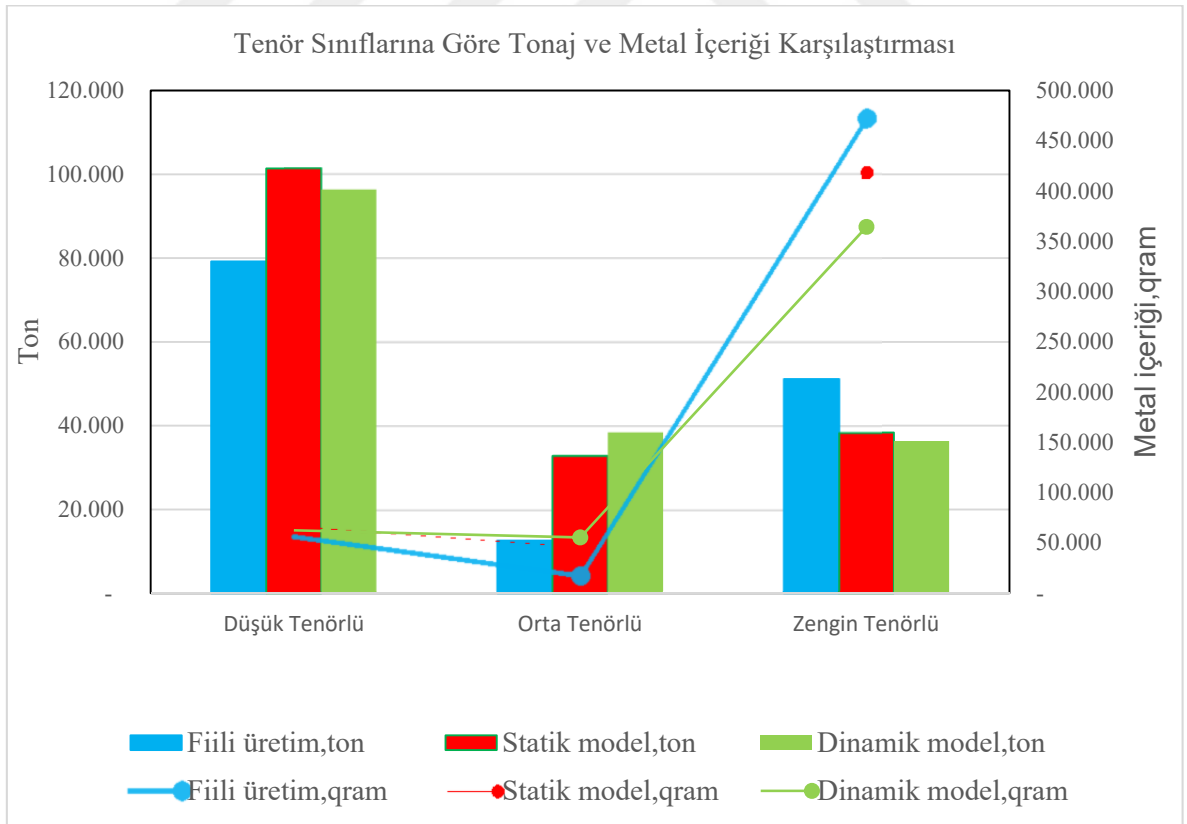
Tenör sınıflandırılması	Tenör Aralığı (ppm)	Fiili üretim (ton)	Statik model (ton)	Dinamik model (ton)	Fiili üretim (%)	Statik model (%)	Dinamik model (%)
Atık		282,388	285,811	287,253	66	62	63
Düşük Tenörlü	0.3-1	79,198	101,402	96,371	19	22	21
Orta Tenörlü	1-2	12,802	32,955	38,579	3	7	8
Zengin Tenörlü	≥2	51,233	38,363	36,328	12	8	8

Çizelge 4.18. Tenör sınıflarına göre fiili üretim ile statik ve dinamik blok model sonuçlarının tonaj ve metal içeriği açısından karşılaştırılması

Tenör sınıflandırılması	Tenör Aralığı (ppm)	Fiili üretim (ton)	Statik model (ton)	Dinamik model (ton)	Fiili üretim (gram)	Statik model (gram)	Dinamik model (gram)
Düşük Tenörlü	0.3-1	79,198	101,402	96,371	57,256	67,331	62,641.15
Orta Tenörlü	1-2	12,802	32,955	38,579	18,314	46,928	55,553.76
Zengin Tenörlü	≥2	51,233	38,363	36,328	472,218	418,617	364,369.84
Toplam		143,233	172,720	171,278	547,788	532,876	482,564.75
Fark (%)			20.60%	19.60%		-2.7%	-11.9%



Şekil 4.35. Tenör sınıflarına göre fiili üretim ile blok model sonuçlarının tonaj ve yüzdesel dağılımının karşılaştırılması



Şekil 4.36. Tenör sınıflarına göre fiili üretim ile statik ve dinamik blok model sonuçlarının tonaj ve metal içeriği açısından karşılaştırılması grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında sabit arama elipsoidi ve dinamik arama elipsoidi yöntemleri ile yapılan blok kestirimlerinin tenör ve tonaj üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

- Dinamik modelde 17.082 blok için kestirim yapılırken, statik modelde 17.102 blok için kestirim yapılmıştır. Bu durum arama elipsoidi yöneliminin değişmesine rağmen model genelinde benzer sayıda blok için kestirim yapılabilmesini göstermektedir.
- Tenör dağılımı incelendiğinde ortalama tenör dinamik modelde 1,50 ppm, statik modelde ise 1,58 ppm olarak hesaplanmıştır. Ortanca değer her iki modelde de 0,58 ppm, geometrik ortalama ise dinamik modelde 0,70 ppm, statik modelde 0,71 ppm olarak belirlenmiştir. Bu durum dağılım karakterinin büyük ölçüde benzer olduğunu göstermektedir.
- Dağılım istatistikleri incelendiğinde standart sapma dinamik modelde 3,04, statik modelde 3,22 varyans ise dinamik modelde 9,27, statik modelde 10,36 olarak hesaplanmıştır. Varyasyon katsayısı her iki modelde de birbirine oldukça yakın olup dinamik modelde 2,02, statik modelde 2,03 olarak belirlenmiştir.
- Çarpıklık ve sivrilik değerleri incelendiğinde çarpıklık dinamik modelde 4,06, statik modelde 3,87 sivrilik ise dinamik modelde 21,74, statik modelde 19,80 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler tenör dağılımının sağa çarpık ve heterojen bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.
- Tenör-tonaj eğrileri incelendiğinde her iki modelde de eşik tenör değeri arttıkça tonajın azaldığı görülmektedir. Düşük eşik tenör seviyelerinde dinamik modelde tonajın statik modele göre bir miktar daha yüksek olduğu izlenirken, yüksek eşik tenör değerlerinde statik modelin nispeten daha yüksek tonaj değerleri verdiği görülmektedir. Ortalama tenör değerlerinin ise statik modelde genel olarak biraz daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir.
- Blok model sonuçları fiili üretim verileri ile karşılaştırıldığında tonaj dağılımlarının genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Metal içeriği açısından ise statik model sonuçlarının fiili üretime daha yakın olduğu, dinamik modelde ise özellikle bazı tenör sınıflarında metal içeriğinin daha düşük kaldığı izlenmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde statik ve dinamik arama elipsoidi yöntemleri arasında belirgin bir farklılık bulunmadığı ve her iki modelin de benzer bir istatistiksel karakter ortaya koyduğu anlaşılmaktadır.

Bu çalışma ayrıca heterojen tenör dağılımına sahip altın yataklarında düşük ve yüksek tenörlü zonların ayrı katı modeller halinde modellenmesinin daha uygun sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu nedenle benzer özellikteki yataklarda zon bazlı modelleme yaklaşımının uygulanması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Afonseca, X., 2021. Integration of dynamic anisotropy and non-linear geostatistical methods for improved orebody modeling in sparse data conditions. *Journal of Mining Science*, 57(4), 654-668.
- Aliyev, H.A. (1984). Kiçik Qafqazın geoloji quruluşu və metalogeniyası. Bakı: Elm nəşriyyatı.
- Abdullaev, R. N. (1963). Küçük Kafkaslar'ın kuzeydoğu kesiminin Mezozoyik volkanizmi. Bakü: Azərbaycan SSC Bilimler Akademisi Yayınları.
- Aliyev, F. İ., Ağakışiyev, A. M., & Murtuzayev, N. S. (2007). 2004–2006 yıllarında Tülallar sahasında altın ve altın içeren kompleks cevher yataklarının arama çalışmaları sonuç raporu. Bakü.
- Babazade, V. M. (1986). Filiz ve filiz dışı maden yatakları. Bakü: Maarif Yayınları.
- Babazade, V. M. (1990). Azərbaycan'ın cevherleşme formasyonları. Bakü: Maarif Yayınları.
- Babazade, V. M., Musaev, Ş. D., Nasibov, T. N., & Ramazanov, V. G. (2003). Azərbaycan'ın altın yatakları. Bakü: Azərbaycan Milli Ansiklopedisi Yayınları.
- Babazade, V. M., Ramazanov, V. G., & Mamedov, M. M. (2005). Altın. İçinde: Azərbaycan'ın mineral hammadde kaynakları (s. 425–481). Bakü: Ozan Yayınları.
- Coleman ,JR, J. (2021). Implicit resources modelling with vector indicator kriging (Master's thesis). Politecnico di Torino, Department of Environment, Land and Infrastructure Engineering, Petroleum and Mining Engineering Program.
- DASSAULT SYSTEMES, 2019. Geostatistics tutorial. GEOVIA Surpac, Paris.
- Ertunç, G., 2013. Kovaryans eşlemeli krigleme yöntemi ile kaynak kestirimi. (Doktora Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Erel, Z., 2011. Balya (Balıkesir) polimetallik maden yatağı rezervinin jeostatistik yöntemle analizi. (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Gasanov, G. M., ve diğerleri. (2003). 1988–2002 yıllarında Murovdağ maden bölgesinde 1:50.000 ölçekli jeolojik araştırmaların sonuç raporu. Bakü.
- Gülmez, A., 2008. Bir Maden Yatağının Katı Modelinin Oluşturulması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Hüseynov, F.H., 1992. Azərbaycanın Tektonik Quruluşu. Elm, Bakı.
- Hesenov, A. İ., & Namazov, Q. N. (2006). 1999–2005 yıllarında Göygöl yükseliminin Buzluq–Başqışlaq sahasında altın içeren yatakların arama çalışmaları sonuç raporu. Bakü.
- Isaaks, E. H., SRIVASTAVA, R. M., 1989. Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.

- Jeoloji Azərbaycan. (2003). Cilt VI: Faydalı madenler. Bakü: Azərbaycan Milli Bilimler Akademisi.
- Kıvrak, H., 2018. g-ROKY: Maden kaynak kestiriminde homojen ortam modellenmesine yönelik yeni bir yöntemin geliştirilmesi. Madencilik, 57(4), 175-187.
- Kazımov, R.A., 2005. Azərbaycanın Fay Sistemləri və Seysmikliyi. Geologiya İnstitutu Nəşri, Bakı.
- Mustayev, R.S., 2000. Kiçik Qafqazın Stratigrafiyası və Paleocoğrafiyası. Nafta-Press, Bakı.
- MERT, B. 2010. Afşin-Elbistan kömür havzasındaki madencilik faaliyetlerinde coğrafi bilgi sistemleri ile küresel konumlama sistemlerinin kullanım olanaklarının araştırılması (Tez No. 256526) [Doktora tezi, ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.
- Olea, R. A. (2000). Geostatistics for engineers and earth scientists.
- Olea, R. A. (2006). A six-step practical approach to semivariogram modeling. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 20(5), 307-318..
- Özbek, T., 2023. Kömür kaynak kestiriminde dinamik arama elipsoidinin kalite-tonaj eğrisi üzerine etkisinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Preobrajenski, N. A. (1934). Azərbaycan petroğrafiyası. Moskova: Jeoloji Yayınları.
- Ruskov, T., IVANOV, I., KOSTADINOV, V., 2020. Applying of the dynamic anisotropy search method on the Pisani Skali ore body estimation. Review of the Bulgarian Geological Society, 81(3), 49-56.
- Tembo, Z., 2019. The Application of Dynamic Anisotropy in the Kriging Estimation Process to Improve Resource Estimation on a Folded and Undulating Stratiform Copper Deposit. (Yüksek Lisans Tezi), University of the Witwatersrand, School of Mining Engineering, Johannesburg.
- Kılıç, T., Turunç, O., & Quliyev, E. (2024). Mineral Resource Estimation of Tülallar (Göygöl, Azerbaijan) Gold Mineralisation. In Geomining: Systems and Decision-Oriented Perspective (pp. 79-97). Cham: Springer Nature Switzerland..
- Yusifov, Ş. H., Aliyev, F. İ., & Axundov, A. M. (2003). 1991–2002 yıllarında Göygöl bölgesinde altın ve altın içeren cevherlerin arama çalışmaları sonuç raporu. Bakü.
- Yusifov, Ş. H., & Memmedov, Z. (2006). 2003–2006 yıllarında Çıraqdərə cevher sahasında altın ve kompleks cevher yataklarının arama çalışmaları sonuç raporu. Bakü.

ÖZGEÇMİŞ

Elnur SHAHBAZOV, 2018 yılında Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2024 yılında Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. Meslek hayatını madencilik sektöründe sürdürmekte olup, halen AzerGold QSC’de maden alanında Genel Müdür Yardımcısı olarak görev yapmaktadır.

