

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Ayten ESER

**SİVAS ALTIN YATAĞINA KRİGING VE JEOİSTATİSTİKSEL
SİMÜLASYON YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2016

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİVAS ALTIN YATAĞINA KRİGING VE JEOİSTATİSTİKSEL
SİMÜLASYON YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI**

Ayten ESER

DOKTORA TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 16/12/2016 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Suphi URAL
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Adem ERSOY
ÜYE

.....
Prof. Dr. Mahmut ÇETİN
ÜYE

.....
Prof. Dr. Ergül YAŞAR
ÜYE

.....
Prof. Dr. Ahmet DAĞ
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MMF2010D13**

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.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

SİVAS ALTIN YATAĞINA KRİGING VE JEOİSTATİSTİKSEL
SİMÜLASYON YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

Ayten ESER

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Suphi URAL

Yıl: 2016, Sayfa: 151

Jüri : Prof. Dr. Adem ERSOY

: Prof. Dr. Suphi URAL

: Prof. Dr. Mahmut ÇETİN

: Prof. Dr. Ergül YAŞAR

: Prof. Dr. Ahmet DAĞ

Bu çalışmada Evliya Tepe (Sivas) altın yatağının altın (Au) ve gümüş (Ag) rezervlerinin ve tenörlerinin kriging yöntemiyle tahmin edilmesi ve jeostatistik simülasyon yöntemiyle tenör modelinin oluşturulması amaçlanmıştır.

Veri tabanı oluşturmak için sahada önceden yapılmış jeolojik ve kimyasal analiz çalışmaları derlenmiştir. Au ve Ag veri analizleri sonucunda sondaj verileri 4 m aralıklı kompozitlere dönüştürülerek jeostatistik analize hazır hale getirilmiştir. Sondaj loglarını içeren kesitler çizilerek kafes sistemi oluşturulmuş ve bu sistem içerisine blok model tanımlanmıştır. Kriging tahmini için tenör verilerinin variogram analizi yapılmış, her iki grupta da anizotropi bulunmamıştır. Variogram modellerinin uygunluğu ve yeterliliği çapraz doğrulama yöntemiyle test edilmiştir. Ordinary Kriging ile blok model içerisinde Au ve Ag tahmini yapılmıştır. Belirli sınır tenör (cut-off) aralıklarında rezerv ve tenör hesaplanmıştır. Gerçek ve tahmin edilmiş verilerin istatistikleri ve grafikleri karşılaştırılarak, tahminler doğrulanmıştır. Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) ile tanımlanan model parametreleri kullanılarak iki ve üç boyutlu tenör modeli oluşturulmuştur. Histogram, variogram ve özet istatistiklerinin geri üretimi ile simülasyon modellerinin doğruluğu test edilmiştir.

Ordinary Kriging ve AGS uygulaması sonunda, cevher dağılımının geometrik pozisyonları üç boyutlu ve iki boyutlu haritalar ile temsil edilmiştir. AGS sonuçları için ayrıca standart sapma haritaları hazırlanarak, modeldeki belirsizlikler ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Jeostatistik, Ordinary Kriging, Ardışık Gauss Simülasyonu, Altın, Gümüş

ABSTRACT

PhD THESIS

IMPLEMENTATION OF KRIGING AND GEOSTATISTICAL SIMULATION METHODS TO SİVAS GOLD DEPOSITS

Ayten ESER

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING**

Supervisor : Prof. Dr. Suphi URAL
Year: 2016, Pages: 151
Jury : Prof. Dr. Adem ERSOY
: Prof. Dr. Mahmut ÇETİN
: Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Ergül YAŞAR
: Prof. Dr. Ahmet DAĞ

In this study, Evliya Tepe (Sivas) gold (Au) and silver (Ag) reserves of gold deposits are estimated by kriging and grade model is constructed by geostatistical simulation method.

To create a a database, previous geological and chemical analysis are compiled. As a result of Au and Ag data analyses, drilling data is brought to be ready for geostatistic analyze by converting into 4 m spaced composites. Wireframe is produced by drawing sections containing drilling logs and block model is defined within this system and no anisotropy is seen in both groups. Appropriateness and adequacy of the variogram models were tested by cross-validation. Au and Ag are estimated in the block model by Ordinary Kriging. Reserve and grade are calculated in certain range of cut-off grade. By comparing statistics and graphics of real and estimated data, predictions are confirmed. Grade model is created with Sequential Gauss Simulation (SGS) and local grade changes are examined. Accuracy of simulation models have been tested with reproduction of histogram, variogram and summary statistics.

At the end of Ordinary Kriging and SGS application, geometric positions of ore distribution are represented by three and two dimensional graphics, sections and maps. By preparing standard deviation maps for SGS results, the uncertainties in the model are revealed.

Key Words: Geostatistics, Ordinary Kriging, Sequential Gaussian Simulation (SGS), Gold, Silver

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Ülkemizde altın madenciliği gelişmekte olan alanlarından biridir. Yapılan çalışmalarda ülkemizdeki altın yataklarının rezerv ve tenör bakımından önemine dikkat çekilmektedir. Günümüzde madencilik sektöründeki girişimciler, altın madenciliğine eskisinden daha çok ilgi göstermektedirler. Üretim ve zenginleştirme Teknolojilerinin çok düşük tenörlü sahalarda bile karlı yatırımlar sağlayacak kadar gelişmesi bu durumun en önemli sebebidir.

Tüm madencilik çalışmalarında olduğu gibi altın madenciliğinde de en önemli sorun sahanın ekonomik olarak işletilebilirliğinin ortaya konmasıdır. Özellikle altın yataklarında olduğu gibi düzensiz cevherleşmeye sahip çalışma sahalarda cevher tenör ve rezervlerinin doğru bir şekilde ortaya konması, tabakalı yataklanma gösteren sahalardan çok daha fazla çaba ve hassasiyet gerektirmektedir. Günümüzde, güçlü yazılım desteği ve görsel sunularının anlaşılabilir olmasının yanı sıra, hesaplama hatalarının ölçülebilmesi ve jeolojik değişimlerin istenen hassasiyette ortaya konması bakımından da jeostatistik teknikler avantajlı yöntemler haline gelmişlerdir. Söz konusu gelişmelere karşın, yapılan literatür araştırmalarında altın yataklarının rezerv, tenör analizleri, yer altı modellemeleri, yatağın 3 boyutlu modellenmesi için çok az sayıda kriging uygulaması ile karşılaşmıştır. Bunun yanı sıra ülkemizde altın yataklarına uygulanan simülasyon çalışması bulunmamaktadır. Bu nedenle tez kapsamında Evliya Tepe (Sivas) altın yatağının Au ve Ag rezervlerinin Kriging yöntemiyle tahmin edilmesi ve jeostatistik simülasyon yöntemiyle tenör modelinin oluşturulmasına karar verilmiştir.

Çalışma sahası ile ilgili literatür araştırması yapılarak, altın yatağına ait madencilik ve jeolojik bilgiler toplanmıştır. Sondaj verileri; kesilen cevher kalınlığı, cevher tenörü, formasyon bilgileri, derinlik, sondaj lokasyon koordinatları, sondaj eğimi gibi bilgilerden oluşmaktadır. Derlenen bilgilere göre sahada nispeten zayıf bir cevherleşme mevcuttur. Altın yatağı iyi korunmuş yüksek sülfidasyonlu epitermal (HSE) altın damarı türüdür.

Sahanın GD bölümünde yoğunlaşan ve belli bir grid düzeninde olmayan 59 adet sondaj verisi tez çalışması için kullanılmıştır. Öncelikle tahmin ve simülasyon işlemleri için kullanılacak çalışma alanı sınırları belirlenmiştir. Sondaj koordinatları, numunelerin kimyasal analiz sonuçları ve örneklem aralıkları birleştirilerek altın ve gümüş için veri tabanı oluşturulmuştur. Tahmin ve simülasyon çalışmaları için önde gelen madencilik kuruluşlarının kullandığı DATAMINE yazılımı kullanılmıştır. Özet istatistikleri, histogram ve olasılık grafikleri incelendiğinde aşırı sağa çarpık bir yapı sergileyen altın ve gümüş verileri aykırı değer analizi ile değerlendirilmiş, altın verisinde 5 ppm ve üzeri değerler ile gümüş verisindeki 0.001 ppm'den küçük ve 20 ppm'den büyük değerler, veri setlerinden uzaklaştırılmıştır. Her iki veri setinde kompozit mesafesi 4 m seçilerek veri tabanı üç boyutlu sondajlar halinde programa aktarılmıştır. Program içerisinde sondajları üç boyutlu olarak kapsayacak şekilde kafes sistemi çizilmiştir. Kafes sistemi boyutları 10 m x10 m x10 m olacak biçimde bloklar ile doldurulmuştur

Au ve Ag verileri için yarıvariogram analizleri yapıldığında belirgin bir anizotropi gözlenmediğinden, variogramlarına küresel modeller uydurulmuştur. Çapraz doğrulama tekniği ile variogramlar ve komşuluk parametreleri test edilmiş ve bu doğrultuda tahmin için Ordinary Kriging tekniği uygulanmıştır. Yapılan tahminler haritalar ve kesitlerle iki ve üçboyutlu olarak incelenmiştir. Yapılan

tahmin çalışması sahadaki altın cevherleşmesinin 0.4 ppm sınır değerinin altında olduğuna işaret etmiştir. Saha genel olarak 1 ppm altında gümüş cevherleşmesi göstermiştir. Altın için işletme sınır tenörü (0.4 ppm) zerindeki toplam rezerv 9,425,625 ton, bu rezervin ortalama tenörü 0.688 ppm olarak bulunmuştur. Gümüş için 2 ppm sınırının üzerindeki toplam rezerv 119,580,090 ton, bu rezervin ortalama tenörü 2.690 ppm olarak hesaplanmıştır. Yapılan alışma, belirlenen sınır tenrler üzerindeki tüm rezervin üretilmesiyle; 6484.8 kg altın, 32167.3 kg gümüş (metal içeriği) kazanılacağını ortaya koymuştur.

Çalışma sahasına 25 m x 25 m x 10 m grid parametreleri kullanılarak Ardışık Gauss Simülasyon tekniği ile Au ve Ag verileri 100'er kez simüle edilmiştir. Histogram, variogram ve zet istatistiklerinin geri üretimi ile simülasyon modellerinin doğruluğu test edilmiştir. Simülasyon haritaları ile cevherlerinin tenör modelleri oluşturulmuştur. Blok sistemindeki her bir blok için Au ve Ag simülasyon değerlerinin standart sapması hesaplanarak sahanın belirsizlik haritaları oluşturulmuştur. Altın simülasyonuna ait belirsizlik haritalarında genelde düşük standart sapma değerleri gözlenirken, gümüş haritalarında belirsizliğin yüksek olduğu grlmştir.

TEŞEKKÜR

Doktora tezimin hazırlanmasında her türlü desteğini esirgemeyen, bana fikirleriyle yol gösteren, büyük bir sabır ve özveriyle bu tezin hazırlanmasında yardımcı olan saygıdeğer hocalarım Sayın Prof. Dr. Adem ERSOY'a ve Sayın Prof. Dr. Suphi URAL'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Doktora çalışmam boyunca, uygulama sahası olarak seçilen Evliya Tepe (Sivas) Altın sahası için teknik veri sağlayan Eurasia Madencilik Şirketine ve Sayın Mesut SOYLU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Özellikle tezin her bölümünde engin bilgi ve birikimlerini paylaşan, fikir alış verişi ile ışık tutan sayın hocam Prof. Dr. Mahmut ÇETİN'e teşekkür ederim.

Gerek teknik gerekse donanımsal sorunların üstesinden gelmeme yardımcı olan Doç. Dr. Tayfun Yusuf YÜNSEL'e ayrıca teşekkür ederim.

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde görevli tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve bölüm sekreterimiz Mustafa DOĞANTİMUR'a tez çalışmam boyunca gösterdikleri hassasiyet ve özveri için içtenlikle teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında olduğu gibi bu çalışmada bana destek olan aileme, eşim Tarık ESER'e, sabırla tezimin bitmesini bekleyen küçük kızım Güneş ESER'e ve tezin oluşmasında büyük emeği olan kardeşim Ebru GÜLMEZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET.....	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVIII
1. GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Araştırma Sahası ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	5
2.2. Jeostatistik ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	6
3. MATERYAL VE METOD.....	11
3.1. Materyal.....	11
3.1.1. Çalışma Sahasının Coğrafik Durumu.....	11
3.1.2. Çalışma Sahasının Jeolojik Durumu.....	14
3.1.3. Sivas, Evliya Tepe Altın Cevherleşmesi.....	17
3.1.4. Sondaj Bilgileri.....	20
3.2. Metot.....	27
3.2.1. Kullanılan Yazılım.....	27
3.2.2. Veri Tabanı ve Verilerin Analize Hazır Hale Getirilmesi.....	27
3.2.3. Veri Analizi.....	28
3.2.3.1. Aykırı Değer Analizi.....	29
3.2.3.2. Kompozit Analizi.....	31
3.2.3.3. Kümelene Etkisinin Dağıtılması (Declustering).....	33
3.2.4. Blok Model.....	34
3.2.5. Jeostatistik Analiz.....	37

3.2.5.1. Variogram Analizi	38
3.2.5.2. Çapraz Doğrulama	41
3.2.5.3. Kriging Tahmini	43
3.2.5.4. Simülasyon	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	51
4.1. Veri Tabanı Doğrulaması	51
4.2. Veri Analizi	54
4.2.1. Altın Verilerinin Analizi.....	55
4.2.1.1. Altın Ham Verilerinin Değerlendirilmesi	55
4.2.1.2. Altın Verilerinin Aykırı Değer Analizi.....	57
4.2.1.3. Altının Kompozit Analizi	60
4.2.1.4. Altın Verilerinde Kümelenme Etkisinin Dağıtılması (Declustering)	62
4.2.1.5. Altın Veri Analizinin Değerlendirilmesi	64
4.2.2. Gümüş Verilerinin Analizi	65
4.2.2.1. Gümüş Ham Verilerinin Değerlendirilmesi.....	65
4.2.2.2. Gümüş Verilerinin Aykırı Değer Analizi	68
4.2.2.3. Gümüşün Kompozit Analizi	71
4.2.2.4. Gümüş Verilerinde Kümelenme Etkisinin Dağıtılması	72
4.2.2.5. Gümüş Veri Analizinin Değerlendirilmesi.....	74
4.3. Kafes Sistemi ve Blok Model.....	75
4.4. Altının Variogram Analizi.....	85
4.4.1. Altın için Çapraz Doğrulama Testleri	89
4.5. Ordinary Kriging Yöntemiyle Altının Rezerv ve Tenör Tahmini	92
4.5.1. Altın Tahmininin Doğrulanması.....	98
4.6. Gümüşün Variogram Analizi.....	100
4.6.1. Gümüş için Çapraz Doğrulama Testleri	104
4.7. Ordinary Kriging Yöntemiyle Gümüşün Rezerv ve Tenör Tahmini	106
4.7.1. Gümüş Tahmininin Doğrulanması	112

4.8. Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) İle Altının Modellenmesi.....	114
4.8.1. Altın Verilerinin Normal Dağılıma Dönüştürülmesi.....	115
4.8.2. Normal Dağılımlı Altın Verilerinin Variogram analizi	116
4.8.3. Altının Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS).....	117
4.8.4. Altının Ardışık Gauss Simülasyonunun Doğrulanması.....	118
4.8.5. Altının Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) ile Tenör Modeli.....	121
4.9. Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) İle Gümüşün Modellenmesi	127
4.9.1. Gümüş Verisinin Normal Dağılıma Dönüştürülmesi	127
4.9.2. Normal Dağılımlı Gümüş Verilerinin Variogram Analizi.....	128
4.9.3. Gümüşün Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS)	129
4.9.4. Gümüşün Ardışık Gauss Simülasyonunun Doğrulanması	130
4.9.5. Gümüşün Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) ile Tenör Modeli	132
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	139
5.1. Sonuçlar.....	139
5.2. Öneriler.....	143
KAYNAKLAR.....	145
ÖZGEÇMİŞ.....	151

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Çalışma alanındaki sondajların adları, koordinatları, kotları ve derinlikleri	25
Çizelge 4.1. Ham altın verilerin tanımlayıcı istatistikleri.....	56
Çizelge 4.2. Au limit tenör değerleri ve tanımlayıcı istatistikleri.....	58
Çizelge 4.3. Au aykırı değer analizinde kullanılan veri sayıları ile oranları	58
Çizelge 4.4. Au kompozit verilerinin tanımlayıcı istatistikleri.....	62
Çizelge 4.5. Au kümelenme analizi sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.....	64
Çizelge 4.6. Ham gümüş verilerin tanımlayıcı istatistikleri	66
Çizelge 4.7. Ag limit tenör değerleri ve tanımlayıcı istatistikleri.....	69
Çizelge 4.8. Ag aykırı değer analizinde kullanılan veri sayıları ile oranları	69
Çizelge 4.9. Ag kompozit verilerinin tanımlayıcı istatistikleri.....	72
Çizelge 4.10. Ag kümelenme analizi sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.....	74
Çizelge 4.11. Kafes modele ait sorgulama sonuçları.....	79
Çizelge 4.12. Prototip için gerekli parametreler.....	81
Çizelge 4.13. Blok modele ait sayısal veriler	82
Çizelge 4.14. Altın küresel variogram modellerine ait parametreler.....	89
Çizelge 4.15. Altına ait komşuluk parametreleri	90
Çizelge 4.16. Altının çapraz doğrulama testi sonuçları.....	90
Çizelge 4.17. Au rezerv ve tenör tahmin sonuçları	97
Çizelge 4.18. Altının gerçek ve tahmin edilmiş değerlerinin istatistikleri	99
Çizelge 4.19. Gümüş küresel variogram modellerine ait parametreler	103
Çizelge 4.20. Gümüşe ait komşuluk parametreleri	104
Çizelge 4.21. Gümüşün çapraz doğrulama testi sonuçları.....	104
Çizelge 4.22. Ag rezerv ve tenör tahmin sonuçları	112
Çizelge 4.23. Gümüşün gerçek ve tahmin edilmiş değerlerinin istatistikleri	113
Çizelge 4.24. Standardize altın değerlerinin özet istatistikleri	116
Çizelge 4.25. Au (logaritmik) küresel variogram modeline ait parametreler	117

Çizelge 4.26. Simülasyon prototipi için gerekli parametreler	118
Çizelge 4.27. Au simülasyon istatistikleri	119
Çizelge 4.28. Standardize Gümüş değerlerinin özet istatistikleri.....	128
Çizelge 4.29. Ag (logaritmik) küresel variogram modeline ait parametreler	129
Çizelge 4.30. Ag simülasyon istatistikleri	130

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. Çalışma sahası yer bulduru haritası.....	12
Şekil 3.2. Bölgenin dikey stratigrafik kesiti	15
Şekil 3.3. Altın yatağının GB-KD kesiti.....	19
Şekil 3.4. Sondaj lokasyonlarını gösteren jeolojik harita ve çalışma alanı sınırı.....	22
Şekil 3.5. Çalışma alanındaki sondajların dağılımı	24
Şekil 3.6. Aykırı değer tespit yöntemleri.....	30
Şekil 3.7. Lag mesafeleri ve lag toleranslarının gösterimi	38
Şekil 3.8. Örnek bir variogram modeli ve ana parametreleri.....	39
Şekil 3.9. AGS uygulaması temel işlem basamakları.....	48
Şekil 4.1. Sahadaki sondaj lokasyonları	52
Şekil 4.2. D-B yönünde sondajların dikey kesiti	53
Şekil 4.3. K-G yönünde sondajların dikey kesiti	54
Şekil 4.4. Au ham verisinin histogram grafiği.....	56
Şekil 4.5. Au ham verisinin olasılık grafiği.....	57
Şekil 4.6. Au aykırı değer analizi sonrası histogram grafiği.....	59
Şekil 4.7. Au aykırı değer analizi sonrası olasılık grafiği	60
Şekil 4.8. Örneklem (numuneleme) aralıklarının histogramı	61
Şekil 4.9. Kümeleme ortalamalarına karşı hücre boyutu (Au)	63
Şekil 4.10. Altın kompozit analizi sonrası a) Histogram ve b) Olasılık grafiği	65
Şekil 4.11. Ag ham verisinin histogram grafiği.....	66
Şekil 4.12. Ag ham verisinin olasılık grafiği.....	67
Şekil 4.13. Ag aykırı değer analizi sonrası histogram grafiği	70
Şekil 4.14. Ag aykırı değer analizi sonrası olasılık grafiği.....	71
Şekil 4.15. Kümeleme ortalamalarına karşı hücre boyutu (Ag)	73
Şekil 4.16. Gümüş kompozit analizi sonrası a) Histogram ve b) Olasılık grafiği	75

Şekil 4.17. Çalışma (tahmin) alanı içerisinde tanımlanan dikey kesitler.....	76
Şekil 4.18. Kesit içerisinde kapalı alan çizimi.....	77
Şekil 4.19. Kafes sistemi plan görünüşü.....	77
Şekil 4.20. Kafes sistemi D-B kesit görünüşü	78
Şekil 4.21 Kafes sistemi K-G kesit görünüşü.....	78
Şekil 4.22. Kafes sistemi yüzeyinin üç boyutlu görünüşü.....	79
Şekil 4.23. Blok model plan görünüşü.....	83
Şekil 4.24. Blok model A-A' kesitinin görünümü.....	83
Şekil 4.25. Blok model kesit görünüşte hücrelerin incelenmesi.....	84
Şekil 4.26. Blok modelin üç boyutlu görünüşü	85
Şekil 4.27. Au D-B yönünde variogram grafiği	86
Şekil 4.28. Au KB-GD yönünde variogram grafiği.....	86
Şekil 4.29. Au K-G yönünde variogram grafiği	87
Şekil 4.30. Au KD-GB yönünde variogram grafiği.....	87
Şekil 4.31. Au yönsüz variogram ve teorik variogram modeli.....	88
Şekil 4.32. Au yönsüz logaritmik variogram ve teorik variogram modeli	88
Şekil 4.33. Au için Ordinary Kriging'e ait çapraz doğrulama test sonuçları a) Test noktalarını gösteren lokasyon haritası, b) Gerçek ve tahmin edilmiş değerler arasındaki ilişki, c) Standardize edilmiş değerlerin histogramı, d) Artık değerlerin dağılımı.....	91
Şekil 4.34. Au tahmin haritası (Plan).....	93
Şekil 4.35. Au üç boyutlu tahmin haritası	94
Şekil 4.36. Au tahmin haritası (AA' kesit görünüş)	95
Şekil 4.37. Au tahmin haritası (BB' kesit görünüş).....	95
Şekil 4.38. Altın ortalama tenörü ile işletme sınır tenörünün grafiği	96
Şekil 4.39. Altının işletme sınır tenörleri ile tonajları	96
Şekil 4.40 Au tahmin edilmiş değerlerinin a) Histogram ve b) Olasılık grafiği..	100
Şekil 4.41. Ag D-B yönünde variogram grafiği	100
Şekil 4.42. Ag KB-GD yönünde variogram grafiği.....	101

Şekil 4.43. Ag K-G yönünde variogram grafiği	101
Şekil 4.44. Ag KD-GB yönünde variogram grafiği.....	102
Şekil 4.45. Ag yönsüz variogram ve teorik variogram modeli.....	102
Şekil 4.46. Ag yönsüz logaritmik variogram ve teorik variogram modeli	103
Şekil 4.47. Ag için Ordinary Kriging'e ait çapraz doğrulama test sonuçları a) Test noktalarını gösteren lokasyon haritası, b) Gerçek ve tahmin edilmiş değerler arasındaki ilişki, c) Standardize edilmiş değerlerin histogramı, d) Artık değerlerin dağılımı.....	106
Şekil 4.48. Ag tahmin haritası (plan).....	107
Şekil 4.49. Ag üç boyutlu tahmin haritası	108
Şekil 4.50. Ag tahmin haritası (AA' kesit görünüş)	109
Şekil 4.51. Ag tahmin haritası (BB' kesit görünüş).....	110
Şekil 4.52. Ag tahmin haritası (CC' kesit görünüş).....	110
Şekil 4.53. Gümüşün ortalama tenörü ile işletme sınır tenörünün grafiği	111
Şekil 4.54. Gümüşün işletme sınır tenörleri ile tonajları	111
Şekil 4.55. Ag tahmin edilmiş değerlerinin a) Histogram ve b) Olasılık grafiği..	113
Şekil 4.56. Standardize Altın verilerinin frekans grafiği.....	115
Şekil 4.57. Au (logaritmik) yönsüz variogram ve teorik variogram modeli.....	116
Şekil 4.58. Au histogram geri üretimi (a-c), orijinal veri histogramı (d).....	120
Şekil 4.59. Au simülasyonu variogram grafiği	121
Şekil 4.60. Au üç boyutlu simülasyon haritası	122
Şekil 4.61. Au simülasyon haritası (Plan)	123
Şekil 4.62. Au simülasyon haritası (AA' kesit görünüş)	124
Şekil 4.63. Au simülasyon haritası (BB' kesit görünüş).....	124
Şekil 4.64. Au simülasyonu standart sapma plan haritası.....	125
Şekil 4.65. Au simülasyonu standart sapma haritası A-A' kesiti	126
Şekil 4.66. Au simülasyonu standart sapma haritası B-B' kesiti.....	126
Şekil 4.67. Standardize Gümüş verilerinin frekans grafiği.....	127
Şekil 4.68. Ag (logaritmik) yönsüz variogram ve teorik variogram modeli.....	129

Şekil 4.69. Ag histogram geri üretimi (a-c), orijinal veri histogramı (d).....	131
Şekil 4.70. Ag simülasyonu variogram grafiği.....	132
Şekil 4.71. Ag üç boyutlu simülasyon haritası	133
Şekil 4.72. Ag simülasyon haritası (Plan)	134
Şekil 4.73. Ag simülasyon haritası (A-A' kesiti)	134
Şekil 4.74. Ag simülasyon haritası (B-B' kesiti).....	135
Şekil 4.75. Ag simülasyonu standart sapma plan haritası.....	136
Şekil 4.76. Ag simülasyonu standart sapma haritası A-A' kesiti	136
Şekil 4.77. Ag simülasyonu standart sapma haritası B-B' kesiti.....	137

SİMGELER VE KISALTMALAR

Au	: Altın elementi
Ag	: Gümüş elementi
kg	: Kilogram
g	: Gram
km ²	: Kilometre kare
m	: Metre
m ²	: Metre kare
m ³	: Metre küp
ppm	: Milyonda bir
KD	: Kuzeydoğu.
GB	: Güneybatı
KB	: Kuzeybatı
GD	: Güneydoğu
D	: Doğu
B	: Batı
K	: Kuzey
G	: Güney.
c	: Doğrunun Y eksenini kestiği nokta
b	: Regresyon eğrisinin eğimi
Z _k	: Tahmin değeri
W _i	: i örneğinin ağırlığı
g _i	: i örneğinin gerçek değer
σ _e ²	: Tahmin varyansı
σ _k ²	: Kriging varyansı
μ	: Lagrange parametresi
AGS	: Ardışık Gauss Simülasyonu

XRD	: X ışını kırınımı yöntemi
Ge	Gerçek değer
N	Örnek sayısı
$\gamma_{(h)}$	Yarı variogram veya variogram
N_L	Lag aralığı içerisine düşen örnek çiftlerinin sayısı
f_{1i}	Örnek çiftinin baş değeri
f_{2i}	Örnek çiftinin son değeri
OF	Ortalama fark
YOF	Ortalamanın yüzdesel farkı
OMF	Ortalamanın mutlak farkı
σ_{ko}^2	Kriging varyanslarının ortalaması
KFO	Kareler farkının ortalaması
R	Oran
Z_{kln}	Logaritması alınmış değerlerin kriging tahmini
Z_{kn}	Geri dönüşümü yapılmış lognormal kriging tahmini

1. GİRİŞ

Ülkemizde altın madenciliği oldukça yeni olup, son 10 yılda büyük gelişme göstermiştir. Ülkemiz altın yatakları rezerv ve tenör açısından dünyada önemli bir yere sahiptir. Yabancı ve yerli firmalar tarafından ülkemizdeki altın yataklarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Yapılan literatür araştırmasına göre altın yataklarının rezerv, tenör analizleri, yer altı modellemeleri, yatağın 3 boyutlu modellenmesi için kriging uygulamaları çok sınırlıdır.

Tüm sanayi dalları için hammadde sağlayan madencilik sektörü, doğal kaynakların, günlük hayatı kolaylaştıran ürünlere dönüşmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Madencilik temelde pek çok disiplini içinde barındıran, oldukça komplike çalışmalar bütünüdür. Madencilik faaliyetleri hammaddenin aranması, bulunması, rezerv parametrelerinin belirlenmesi, uygun üretim yöntemi, tekniklerin geliştirilmesi ve seçilmesi, endüstriye hazırlanması gibi bir süreç gerektiren işlevleri kapsar (Ersoy ve Yünsel, 2008).

Maden kaynaklarının ekonomik olarak işletilebilmesi, cevher tenör ve rezervinin en doğru yaklaşımlarla ortaya konmasına bağlıdır. Geçmişte kullanım alanı bulan klasik rezerv hesaplama yöntemleri, temel, alan-hacim hesaplarının (çeşitli matematiksel ve geometrik yaklaşımlarla) her bir birim veya tüm yatak için hesaplanan ortalama tenör değerleriyle interpolate edilmesi esasına dayanmaktadır. Günümüzde, gelişen üretim teknolojisi ve zenginleştirme çalışmaları sayesinde, geçmişte ekonomik olarak işletilemeyen pek çok saha işletilebilir hale gelmiştir. Hassaslaşan üretim çalışmaları, daha hassas kaynak araştırması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Böylelikle madencilik çalışmaları daha organize ve disiplinli hale gelmiş ve elde edilecek kazanç hakkında daha fazla bilgi üretme ihtiyacı doğmuştur.

Özellikle cevherleşmesi tabakalı olmayan yataklarda, belirli hacimlerin ortalama tenör veya araştırılan değişkenlerinin matematiksel hesaplamalarının,

hassas sonuçlar vermesi beklenmemelidir. Jeolojik belirsizlikleri ve hesaplamadaki hata oranlarını da ortaya çıkaran jeoistatistik yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. İlk dönemlerde, karmaşık hesaplamalar ve yorumlanması zor çıktılar ürettiği düşünülen jeoistatistiksel teknikler; günümüzde gelişmiş bilgisayar yazılımları ile kolayca sonuç üreten ve en çok tercih edilen yöntemler haline almıştır. Jeoistatistik yöntemler, güçlü yazılım desteği ve görsel sunuların anlaşılabilir olmasının yanı sıra, hesaplama hatalarının ölçülebilmesi ve jeolojik değişimlerin istenen hassasiyette ortaya konması bakımından da avantajlı yöntemlerdir.

Jeoistatistik yaklaşımlarda, jeolojik özellikler başta olmak üzere maden yataklarına ait bir takım değişkenlerin (tenör, kalite, kalınlık ve jeokimyasal veriler), sayısal olarak modellenen, sistematik bir yerleşim gösterdiği farzedilmektedir. Yatağın özellikleri sayısal olarak modellenirken istatistik yaklaşımlardan faydalanılmaktadır. Böylelikle tahmindeki hatalar istatistikler yardımıyla ayırt edilebilmektedir. Bu yöntemlerle, maden yatağının geometrik yapısı, tenör, kalınlık, kalite ve daha pek çok özelliği modellenmektedir.

Gerçeğe yakın modeller yardımıyla yatağın rezervi üretilebilecek cevher tenörü ve çıkarılacak yantaş miktarı en doğru yaklaşımlarla tahmin edilmektedir. Doğru tahmin, maden planlamasında maddi ve üretim kayıpların önlenmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Bugün jeoistatistik yaklaşımlarla modellenen bir yatakta mümkün olan en düşük hata oranlarıyla üç boyutlu tanımlamalar yapılabilmekte; üretim, nakliye ve zenginleştirme yöntemleri rahatlıkla seçilebilmektedir. Cevherleşme şekli stockwork olan yataklarda klasik teknikler tercih edilmemesi gereken yöntemlerdir. Nitekim bu tür yataklardaki bölgesel değişimler, istatistik yöntemlerle modellenen, komplike özellikler sergilemektedir. Dünyada altın yatakları için jeoistatistik yaklaşımlarla yapılan tahmin çalışmaları kabul görmektedir. Bu çalışma; altın yataklarının; üretim ve işletme planlamaları için gerekli rezerv ve tenör modellenmesinde jeoistatistik yöntemlerin uygulanmasını ele almaktadır.

Bu çalışmada Evliya Tepe (Sivas) altın yatağı, jeostatistik tahmin ve simülasyon teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Tahmin ve simülasyon işlemleri ve sonuçların grafik gösterimleri DATAMINE madencilik yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırması ile elde edilen altın ve gümüş verileri kullanılarak aşağıdaki hedeflere ulaşılacak amaçlanmıştır.

1. Datamine yazılımı için veri tabanı oluşturulması, veri tabanının sayısallaştırılması ve programa aktarılması sırasında oluşacak hataların sorgulanması,
2. Verilerin rahatça organize edilebilmesi ve sayısal olarak yorumlanabilmesi için tanımlayıcı istatistik analizlerinin yapılarak, veri setinin jeostatistik çalışmaya uygun hale getirilmesi. Verilerdeki aykırı değerlerin tespit edilerek ayıklanması, verilerin istatistiki yorumlanmasını kolaylaştırmak için kompozit ve kümelenme analizlerinin yapılması,
3. Çalışma sahasına ait blok modelin üretilmesi,
 - Sondajları çevreleyen kesitler hazırlanması, bu kesitlerin birleştirilmesiyle blok modeli oluşturacak kafes sisteminin yapılması,
 - Optimum blok parametrelerinin belirlenmesi ve kafes sisteminin bloklar ile doldurulması,
4. Verilerin mesafeye karşı değişiminin incelenerek teorik yarıvariogram modellerinin ve parametrelerinin tespit edilmesi,
5. Tahmin model parametrelerinin çapraz doğrulama testleriyle sorgulanması,
6. Çalışma sahasına Kriging tekniğinin uygulanarak rezerv ve tenör tahmini yapılması

- Tahmin haritalarının üretilmesi, tenör dağılımlarının kesitlerle incelenmesi,
 - Rezerv – Tenör eğrilerinin oluşturulması,
 - Belirli sınır değerlerde rezervin, ortalama tenörün ve sınır tenör üzerinde kazanılacak altın ve gümüş miktarının belirlenmesi,
 - Kriging tahminin doğrulanması,
7. Cevher tenörünün modellenmesi için çalışma sahasına Ardışık Gauss Simülasyon tekniğinin uygulanması.
- Similasyon için grid sistemi oluşturulması ve model parametrelerin belirlenmesi,
 - Orijinal verilerin variogram modelleri esas alınarak ardışık gauss simülasyonun sahaya uygulanması,
 - AGS sonuçlarının, tanımlayıcı istatistik, histogram ve variogram geri üretimleriyle doğrulanması,
 - Simülasyon uygulaması sonucunda her bloğun tanımlayıcı istatistiklerinin hesaplanması, böylece standart sapma haritaları üretilerek belirsizliklerin değerlendirilmesi.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Araştırma Sahası ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Çalışma sahası, Türkiye'nin Kuzeydoğusunda uzanan Doğu Pontidler Maden kuşağında yer almaktadır. Doğu Pontidler Maden kuşağı, uzun ve verimli madencilik tarihi olan bir bölgedir. Bu bölgede birçok maden için araştırma yapılmış olup, özellikle metal madenlerinin işletmesi ve üretimi yapılmıştır. Bu bölgede yapılmış çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Stchepinsky (1945), bölgede bilimsel olarak ilk jeolojik çalışmayı yapmıştır. Bu çalışma sırasında Pb-Zn-Cu damarlarının bir kısmını saptamıştır.

Ovalıoğlu (1964a), Koyulhisar-Sisorta-Muradinköy yöresindeki cevherleşmenin detay incelemesini gerçekleştirmiştir. Bu çalışma sonucunda cevherleşmenin tanımını, yerleşimini ve yan kayaçlarla ilişkisini ortaya koymuştur.

İldız (1965), Koyulhisar-Sisorta-Şebinkarahisar arasında yaptığı çalışmada, cevherleşmenin yerleşimi, kökeni incelemiştir. Bunun yanı sıra cevher ve gang minerallerini tanımlamıştır.

Kaptanoğlu (1968), bölgedeki cevherleşmenin kökeni, yerleşimi ve cevher damarlarının jeolojik konumu ile ilgili çalışmalar yapmıştır.

Dilek ve Aşıcı, 1979 yılında yaptıkları çalışmalarında sahadaki kaya birimlerini ve cevherleşmenin bu birimlerle olan jeolojik ilişkilerini incelemişlerdir.

Gökçe ve Özgüneylioğlu (1988), Sisorta-Kurşunlu yöresindeki, Pb-Zn-Cu yataklarını, oluşum ve köken yönünden incelemişlerdir. Bölgedeki cevher damarlarının konumları ve cevherin yatakladığı kırıklara yerleşimi konusunda çalışmalarda bulunmuşlardır.

Toprak (1989), Koyulhisar-Suşehri arasındaki bölgenin stratigrafisi, tektonik özellikleri ve jeolojik birimleri üzerine çalışmalar yapmıştır.

Gökçe, 1990 yılında yapmış olduğu iki çalışmada, Sisorta-Kurşunlu yöresindeki damar tipi yataklarda jeokimyasal çalışmalar yapmış ve bulunan elementlerin kökenini incelemiştir.

MTA çalışmaları ile bu bölgedeki altın yatakları incelenmiştir. Koyulhisar, Sivas altın yatağı MTA tarafından bulunmuş bir yataktır. MTA sahada 1995-1998 yılları arasında değişik ölçeklerde jeoloji haritaları, jeokimyasal çalışmalar ve 10 adet sondaj yapmıştır. Yapılan sondajların karotlarından jeokimyasal analiz için 1164 adet karot örneği alınarak, kimyasal analizleri yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında, Çakır ve Kesgin (1999) Evliya Tepe altın yatağı maden jeoloji raporunu oluşturmuşlardır.

MTA sonrasında Sivas altın sahası fizibilite çalışmaları, Eurasia Madencilik şirketi tarafından yürütülmüştür. 2007 yılı itibari Chesser Resources Limited şirketi ile ortaklıklarından sonra Sivas altın sahası Sisorta Projesi adını almıştır. Vigar ve arkadaşları (2009), Sisorta projesi için sondaj bilgileri esas alınarak bölgenin jeolojisi, altın aramaları ve mineral kaynaklarının incelendiği teknik bir rapor hazırlamışlardır.

Yünsel ve Ersoy (2011), Sivas altın yatağı ile ilgili yaptıkları çalışmalarında plurigaussian simülasyon yöntemi kullanarak sahanın jeolojik modelini oluşturmuşlardır. Maden yatağının karmaşık geometrik tenör değerlerini tenör değişkenlerini farklı uzaysal yapılarıyla yeniden üreterek, uyguladıkları yöntemin kabul edilebilirliğini göstermişlerdir.

2.2. Jeostatistik ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Tez çalışması boyunca, maden yataklarına yönelik jeostatistik yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu alanda daha önce gerçekleştirilmiş belli başlı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Armstrong ve Boufassa (1988) yaptıkları çalışmada, ordinary ve lognormal kriging yöntemlerinin dayanıklılıkları karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma yapılırken outlier direnci göz önünde bulundurulmuştur. Lognormal kriging analizlerinde,

lognormal variogramlardaki eşik değerlerin değişimlerinin önemli olduğunu ancak tahmin ortalamalarının bu değişimden etkilenmediğini ortaya koymuştur.

Saraç (1994), jeostatistiksel simülasyon yöntemleri kullanarak Kızılyüksek Yataardıç (Karsantı /Adana) bölgesindeki krom cevherleşmesini incelemiştir. Cevherleşmeyi koşullu simule edilerek, sonuçlar ve tenor blok haritalarını hazırlamıştır.

Coombes (2002) yaptığı çalışmada, variogram modelleme teknikleri ile ilgili detaylı bir çalışma yapmıştır. Variogram analizi, analiz aşamaları ve variogram modelleme tekniklerini aşama aşama değerlendirmiştir. Yazar (2008) rezerv tahmini konusunda pratik bir rehber niteliğinde başka bir çalışma daha yapmıştır. Bu çalışmasında pratikte kullanılan tüm basamakları örneklerle ayrıntılı bir şekilde açıklamıştır.

Sinclair ve Blackwell (2002) çalışmalarında, rezerv tahmininde kullanılan jeostatistik yöntemleri ayrıntılı bir şekilde araştırmıştır. Her bölümü uygulamalarla desteklemiş ve sonuçlardaki değişimleri ortaya koymuştur.

Yünsel ve ark. (2002), yarı variogram analizi kullanılarak tuz yatağı kalınlık dağılımını jeostatistik yöntemle incelemişlerdir. Kalınlık verilerini kullanarak sahayı 2 ve 3 boyutlu olarak modellemişlerdir ve hata haritalarını da oluşturmuşlardır.

Ersoy ve ark. (2004) çalışmalarında, geçmişte ağır metal madencilik aktivitelerinde bulunmuş alanlardaki kirlilik üzerine çalışmışlardır. Geleneksel istatistik ve jeostatistik yöntemlerini kullanarak madencilik faaliyetlerinden dolayı kirlenmiş sahadan alınan örnekleri yorumlamış, kirlilik seviyesini uzaysal dağılım haritaları ile görselleştirmişlerdir.

Verly (2005) yapmış olduğu çalışmada, tahmin ve koşullu simülasyon yaklaşımlarına dayanan cevher ve atık sınıflamasında kullanılan tenör kontrol prosedürlerini ele almıştır. Çalışma sonucunda koşullu simülasyonun cevher ve atık sınıflaması tahminlerinde daha iyi sonuç verdiği kanaatine varmıştır.

Tercan ve Akcan (2005), Kalburçayırı (Kangal-Sivas) linyit sahasında yapmış olduğu çalışmada jeostatistiksel benzetim tekniğini kullanarak linyit kalitesi-rezerv eğrileri kestirilmiştir. Belirsizliği değerlendirmek amacıyla üst damar, her bir kalite değişkeni için yüz kez modellemiş her bir modelden kalite-rezerv eğrileri oluşturmuştur. Belirsizlik, elde edilen örneklem dağılımının standart sapması ve %95 güven aralığı ile sayısal olarak ölçümünü yapmıştır.

Emery (2006) yapmış olduğu çalışmada, blok tenör dağılımı tahmininde kullanılan iki önemli ordinary kriging yaklaşımını (Monte Carlo entegrasyonu ile Çoklu Guassian Modeli ve Ayrık Gaussian Modeli) ele almıştır. Ayrık gaussian modelin kullanımını daha basit olduğunu ancak daha sağlam hipotezlere gerek duyulduğunu belirtmiştir ayrıca her iki modelde de uygulanan ordinary multi gaussian kriging yönteminin tarafsız sonuç verdiğini gözlemlemiştir.

Ortiz ve Emery (2006) yaptıkları çalışmada, jeolojik sınır geçişlerinin keskin olmadığı durumlarda kullanılan birkaç jeostatistiksel metodu karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak kriging performansının daha iyi olduğu belirtmişlerdir.

Uyguçgil (2007) yaptığı doktora tezinde, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) üç boyutlu ortamda görsel analiz ve konumsal sorgulama yetenekleri ile jeostatistik kavramların bütünleştirilerek kullanılması amacıyla, MAŞ Beylikova Magnezit Ocağı'ndan alınan sondaj karot analiz değerleri ile çok değişkenli rezerv-tenör tahminini yapmıştır. Beylikova Magnezit Ocağı için üç değişkenli ordinary cokriging yönteminin, rezerv-tenör dağılımı hesaplamalarında uygun yöntem olduğunu, Simple Kriging yönteminin ise, magnezit cevherinde blok modeller üretilerek rezerv tahmini için uygun olmadığı, simple kriging'in noktasal değer tahminleri için daha uygun bir yöntem olduğu sonucuna varmıştır.

Yünsel (2007), maden yataklarının modern jeostatistik yöntemlerle modellenmesi ve tahmin sonucunda hata miktarlarına yönelik çalışmalar yapmıştır. Bu çalışma sonucunda, jeostatistik yöntemlerin kömür ve diğer maden yataklarına potansiyel olarak uygulanabileceğini ortaya koymuştur.

Ersoy ve ark. (2008), sıralı Gaussian simülasyonu yöntemi kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında, insan sağlığına ve çevreye zarar verebilecek kurşun ve çinko gibi ağır metallerin topraktaki uzamsal dağılımı ve belirsizliği konusunu olasılık yaklaşımını kullanarak ele almışlardır. Ağır metal madenciliği yapılmış sahalardan örnekler alarak kirlilik jeostatistiksel olarak modellenmiştir.

Emery ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmada, uzamsal olarak değişiklik gösteren kaya tipli alanlarda jeostatistiksel modelleme yöntemi üzerinde durmuşlardır. Bu çalışmayı Plurigaussian simülasyon yöntemi kullanarak porfiri bakır yatağına uygulamışlardır.

Ersoy ve Yünsel (2008), gerçekleştirdikleri çalışmada Ardışık Gaussian Simülasyon yöntemine dayalı bir çalışma yapmışlardır. Linyit kalite değişkenliğini değerlendirdikleri çalışmada olasılık yaklaşımı kullanarak Tufanbeyli (Adana) linyit yatağındaki uzamsal dağılımı ve kalite değişkenlerinin belirsizliğini ortaya koymuşlardır.

Erel (2010), yaptığı yüksek lisans tezinde Balya-(Balıkesir) Hastanetepe kurşun-çinko yatağının rezerv ve tenör analizlerinin jeostatistik yöntemle modellemiştir. Cevher dağılımlarını iki ve üç boyutlu tenör dağılım haritaları ile modellemiştir.

Ekici (2011), yapmış olduğu yüksek lisans tezinde polimetallik maden yatağının (Pb, Zn ve Ag) işletme tasarımı ve üretim planlamasına yönelik rezerv, tenör analizleri ve jeolojik modellemesini jeostatistik yöntemler kullanarak belirlemiştir. Belirli tenör aralıklarında rezerv ve ortalama tenör tahmini yapmış, sınır (cut-of) tenörü üzerindeki cevherin yeraltındaki dağılımı üç boyutlu olarak plurigaussian similasyon yöntemiyle modellemiştir.

Morgan (2011), yapmış olduğu doktora çalışmasında yarı variogram konusunu ele almıştır. Jeostatistiksel olasılık modelleme, geçerlilik tahmin ve yarı variogram modellemesi hakkında detaylı olarak çalışma yapmış, teorik bilgileri uygulamalarla desteklemiştir.

Yupeng ve Miguel (2011), variogram modelleme yöntemi kullanarak yeni bir deneysel variogram tahmin yöntemi ortaya koyan jeostatistiksel bir çalışma yapmışlardır. Deneysel variogram hesaplarında kullanmak amacıyla esnek lag mesafesi tanımlama çalışması geliştirmişlerdir.

Özkan ve Akbaba (2013), örneklerden yararlanarak maden kaynak tahmini ve rapor edilmesini konu alan detaylı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Maden kaynak tahmini ve rapor edilmesi konusundaki en iyi uygulamaları tanıtmışlardır.

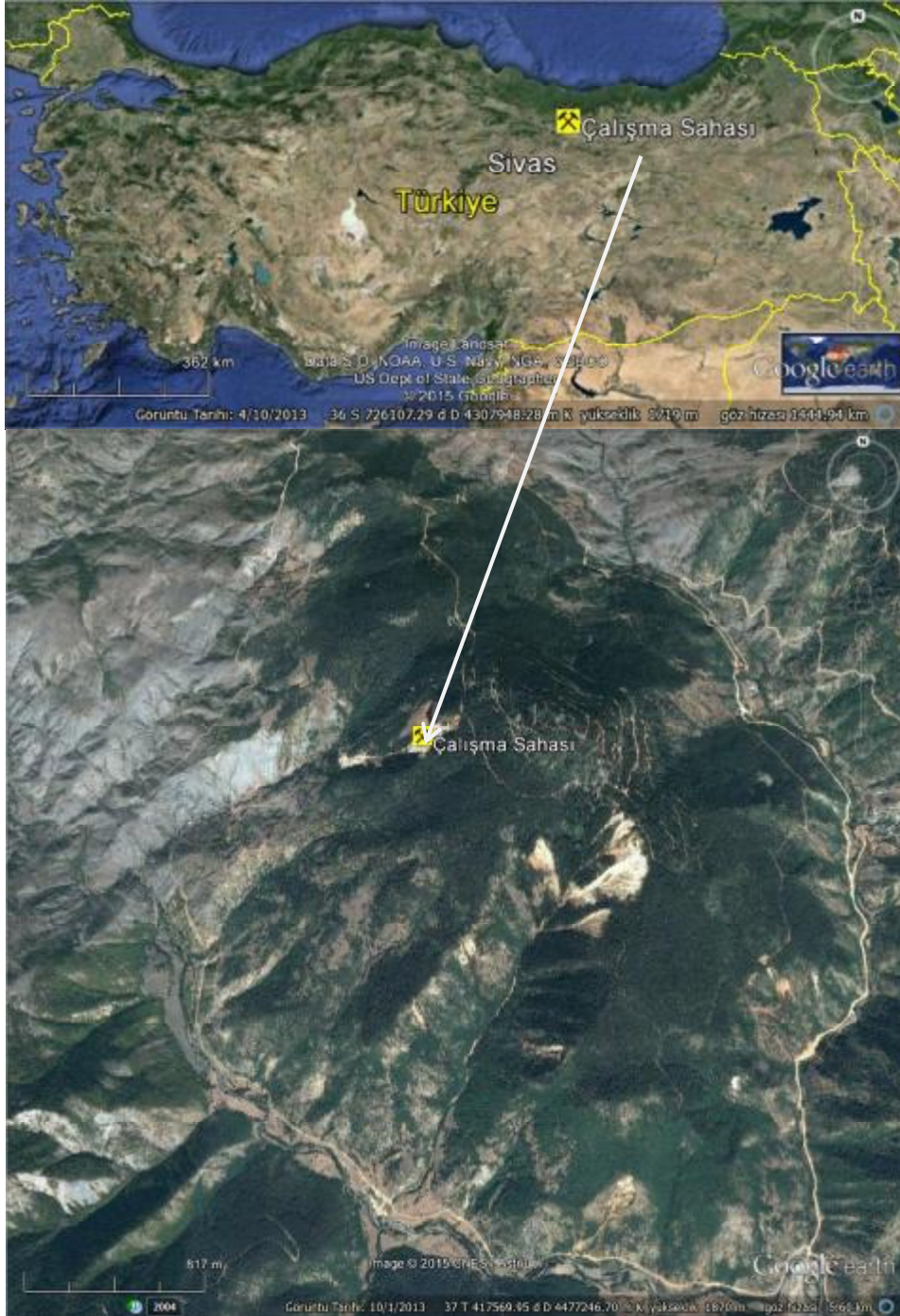
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmada hedeflenen amaçlara ulaşmak için çalışma sahası olarak Sivas ili, Koyulhisar ilçesi, Ortakent mevkiinde bulunan Evliya Tepe Altın Yatağı seçilmiş ve altın yatağından elde edilen sondaj verileri kullanılmıştır. Sondaj verileri; kesilen cevher kalınlığı, cevher tenörü, formasyon bilgileri, derinlik, sondaj lokasyon koordinatları, sondaj eğimi gibi bilgilerden oluşmaktadır. Araştırmada kullanılan veriler izleyen bölümlerde ayrıntılı bir biçimde sunulmuştur.

3.1.1. Çalışma Sahasının Coğrafi Durumu

Türkiye'nin Kuzeydoğusunda, Karadeniz bölgesinde, Doğu Pontidler sıra dağları üzerinde yer alan çalışma sahası, başkent Ankara'ya 445 km'dir (Şekil 3.1). Çalışma sahasının 60 km Kuzeyinde Ordu ili bulunmakta olup 120 km uzaklıkta bulunan Sivas il sınırları içerisinde yer almaktadır. Sivas gelişmekte olan bir sanayiye ve kırsal tabanlı alt yapıya sahip bir ildir. Sivas ilinin büyük bir kesimi yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve karlı geçen karasal İç Anadolu ikliminin etkisinde kalmaktadır. Fakat Kuzeyde Karadeniz, doğuda Doğu Anadolu yüksek bölge ikliminin etkileri bulunmaktadır. Sivas Çevre illere göre kendine has bir iklim karakterine sahiptir.



Şekil 3.1. Çalışma sahası yer bulduru haritası

Sivas çevresine göre bir mikroklima iklim bölgesindedir. Bu özelliği sağlayan temel faktörler;

- Çevre illere göre daha yüksek oluşu,
- Kuzey rüzgarlarına açık oluşu,
- Engebeli bir yapıya sahip oluşu,
- Yıl içinde değişen basınç farkı,
- İl topraklarının farklı coğrafi bölgelerde yer almasıdır.

Sivas, İç Anadolu Bölgesi'nin en soğuk ilidir. En soğuk ay ortalaması -4°C olup, zaman zaman -36.4°C 'ye düştüğü görülmüştür. Yaz aylarında sıcaklık genellikle 19°C üzerindedir. Ancak sıcaklığın 38°C 'yi aştığı da görülür. Buradan da anlaşılacağı gibi yıllık sıcaklık farkı 74°C gibi büyük bir değer alır. İklim ve yer şekilleri özellikleri bakımından Sivas doğal bir orman alanı olması gerekirken; yüzyıllar boyunca devam eden ormanların tahribatı yüzünden bugün orman alanları fazla geniş bir yer tutmaz. İlin Koyulhisar bölgesi zengin çam ormanı ile kaplıdır.

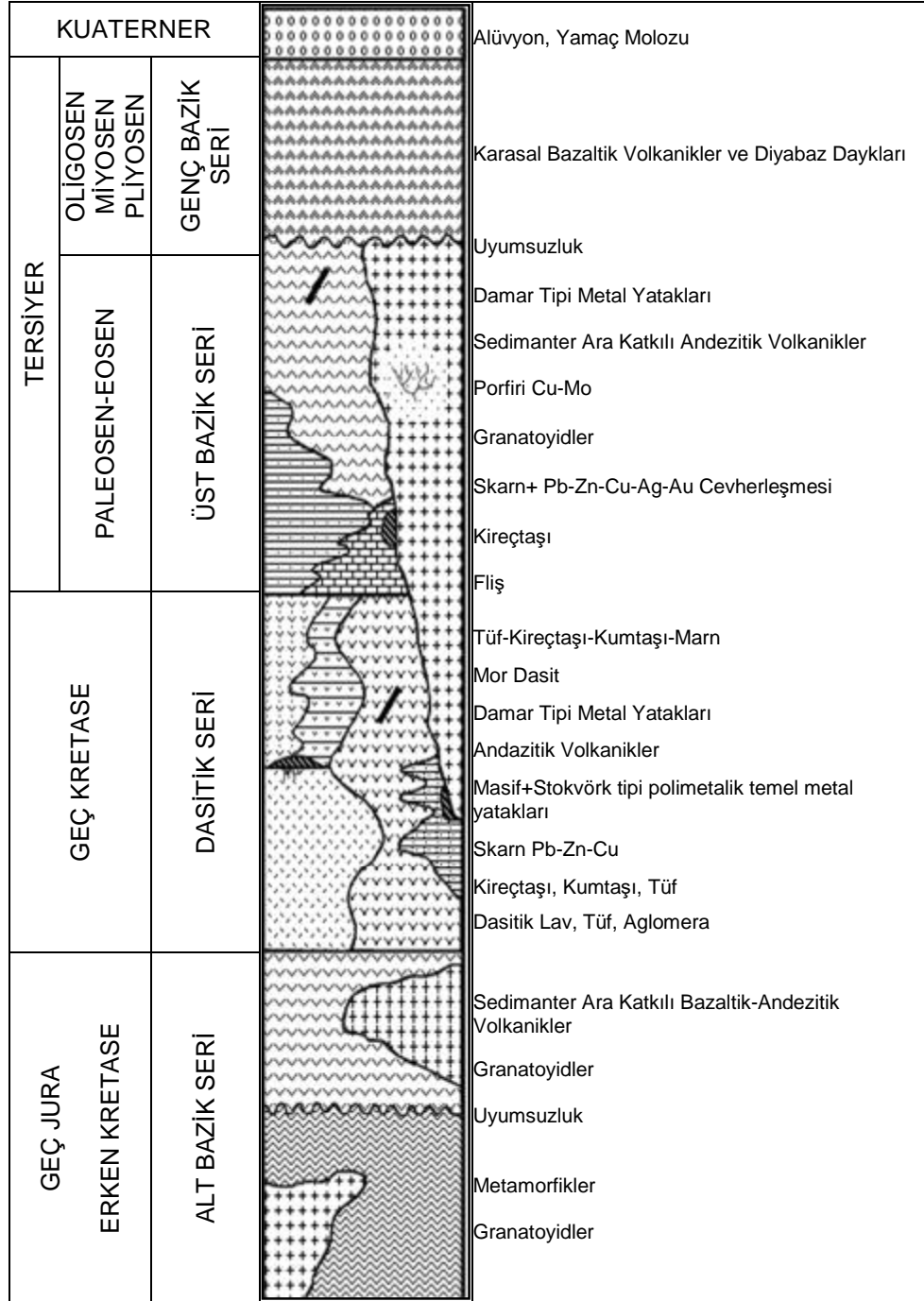
Sivas ili, Koyulhisar ilçesi, Ortakent mevkiinde yer alan Evliya tepede bulunan çalışma sahası, 40° - $47'$ doğu boylamı ve 38° - $03'$ kuzey enleminde merkezlenmiş olup deniz seviyesinden yüksekliği 1350-2750 m aralığındadır. Çalışma sahası, Pontid sıra dağlarının nispeten daha kurak tarafında bulunmakta olup, sarp ve dağlık bir alanda bulunmaktadır. Kış aylarında kar kalınlığı yükseklikle paralel olarak artış göstermektedir. Bu nedenle çalışma sahası gibi yüksek rakımlı bölgelere girişler, kış aylarında sınırlıdır. İklim şartları göz önüne alındığında sahada yapılacak madencilik çalışmaları genellikle Nisan–Kasım ayları arasında gerçekleştirilmektedir.

3.1.2. Çalışma Sahasının Jeolojik Durumu

Çalışma sahası Türkiye'nin Kuzeydoğusunun lito-tektonik bölümündeki Doğu Pontidlerinde yer alır. Doğu Pontidler, Paleo-Tetis'in Miyosen evrimiyle erken Jura boyunca şekillenmiş kompleks bir yakınsak plaka marjı ve ada yayı topluluğu olarak temsil edilirler (Akıncı, 1980; Şengör ve ark., 1980; Schneider ve Özgür, 1988; Tokel, 1972, 1977; Adamia ve ark., 1981; Khain, 1984). Doğu pontid kuşağının temel kayaçları, Palezoik metamorfiklerden (şistler, gnayslar, meta-granitler) ve tabakalar arasına sokulmuş genç granitik kayaçlardan oluşmaktadır (Akıncı, 1980). Jura-Tersiyer volkanik ve tortul ada yayını örten birimler; alt bazik seri, dasitik seri, üst bazik seri, tersiyer granitoidler, genç bazik seri ve genç dayklar olarak gruplanmaktadır (Schultze-Westrum, 1961; Akıncı, 1984). Söz konusu birimler bölgenin genelleştirilmiş dikey stratigrafik kesitinde gösterilmiştir (Şekil 3.2).

Doğu Pontid'ler tektonik kuşağında yer alan bölgede en yaşlı kayaçları, Permokarbonifer yaşlı metamorfik kayaçlar oluşturmaktadır. Metamorfik kayaçları granodiyoritler kesmektedir. Metamorfik kayaçlar, Jura (Lias) volkanitleri tabanında yer yer izlenmekte olup, taban konglomerasıyla örtülmektedir. Jura volkanitleri üzerine uyumlu olarak Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları gelmektedir (Gülibrahimoğlu ve ark., 1987).

Senomaniyen-Maastrichtiyen yaşlı volkano-sedimanter bir istif niteliğinde olan aglomera, tüf, tüfit, pelajik kireçtaşları, kumtaşı, bazaltik lav akıntısı, andezitik lav akıntısı, kıltaşı aralanmasından oluşan birim, Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Bölgede geniş alanları kaplayan bu birimlerde volkanik katkı fazla olduğundan, Üst Kretase denizaltı volkanizmasının bölgede ve Doğu Pontidlerde oldukça yoğun olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.2. Bölgenin dikey stratigrafik kesiti (Akıncı, 1984'den değiştirilerek alınmıştır.)

Volkanik aktivitenin az olduğu dönemlerde ise tortul birimler çökeltmiştir (Bedi, 1998). Üst Kretase yaşlı birimler, Lütesiyen yaşlı taban konglomerasıyla başlayıp, üste doğru kumlu kireçtaşları ardalanması, andezitik-bazaltik lav akıntısı ve piroklastiklerinden oluşan birimler tarafından transgressif olarak üstlenmektedir. Hersiniyen ve Alp Orojenez'inden etkilenmiş bu birimleri Pliyosen yaşlı volkanik karakterler uyumsuz olarak örtmektedir. Bu orojenezlere bağlı Kimmerik, Austrik, Laramik, Preneik ve Attik fazlarının etkisi ile bölgede uyumsuzluklar, kıvrım ve kırıklı yapılar oluşmuştur.

Bölgedeki metamorfikler içindeki granatoyidlerin yerleşimi, Hersiniyen Orojenez'inin Alt Kimmerik fazına bağlı olarak meydana gelmiştir. Hersiniyen Orojenez'ini takiben Triyas'a tekabül eden bir zaman süresinde, bölgede bir tortullaşma olmamış, Mesozoyik yaşlı tortul ve volkano-tortul oluşuklar, Paleozoyik temel üzerine gelmiştir. Bölgedeki önemli dağ oluşumu hareketlerinden ikincisi, Austrik fazdır. Bu faz sonucu, alt Kretase yaşlı çökeller yükselmiş ve aşınmaya uğramıştır. Üst Kretase yaşlı oluşuklar, aşınmaya uğrayan Alt Kretase yaşlı oluşukları uyumsuz olarak örtmüştür. Laramiyen fazı sonucunda aşınan Üst Kretase yaşlı birimler üzerine, Eosen yaşlı birimler uyumsuz olarak üzerlenmiştir. Preneik fazına bağlı olarak aşınmaya uğrayan Hersiniyen yaşlı oluşuklar üzerine, Miyosen yaşlı birimler uyumsuz olarak gelmiştir. Attik fazı sonucu daha yaşlı kayaçlar etkilenip aşınmaya uğramış, bu kayaçların aşınma materyalleri olan Pliyosen yaşlı konglomeralar bölgedeki kayaçları uyumsuz olarak örtmüştür (Çakır ve Kesgin, 1999)

Bölge jeolojisi; yoğun altere olmuş volkanik ve derinlik kayaçları ile birlikte hidrotermal breşleşme ve silisleşme zonları hakimdir. Bu altere volkanik birimler ve breşler, altın ve bakır mineralizasyonu için önemli seviyelere işaret ederler. Bölgedeki alterasyon ve jeokimyasal sistem, yüksek sülfidasyon altın madeni zenginleşmeleri için uygun bir ortam sağlamaktadır. Yapılan sondajlardan alınan sonuçlarına göre oksitli altın zonu yüzeyden 23 m derinlikte başlayarak 100 m derinliğe kadar devam etmekte ve bu aralıkta alınmış örnek analiz sonuçlarına

göre numunelerdeki altın miktarı 0.47 g/t ile 5 g/t arasında değişen altın değerlerine sahiptir. Buna ek olarak, yapılan sondajlarda bakır mineralizasyonu anomalisi ve porfiri tarzı alterasyonun keşiştiği derinliği yakalamak hedeflenmektedir. Üst Kretase-Eosen arasında değişik zamanlarda oluşmuş volkanik ve volkano-tortul kayalar ve yer yer bunları keserek yerleşmiş Eosen öncesi yaşlı olarak kabul edilen plutonik sokulumlar yüzeylemektedir. Bunlardan “bazalt ve aglomeralar”, mineralizasyon (kaldera) öncesi birimlerdir. Andezit lav ve tüfleri, kaldera içi volkanik birimleri temsil etmektedir. Sahanın güney kesiminde yüzeyleyen granodiyoritler, domlar/dayklarla aynı magmatizmayla ilişkili daha derin fasiyeler olarak yorumlanmaktadır. Sahada biri KB-GD, diğeri GB-KD gidişli olmak üzere başlıca iki sistemde faylar görülmektedir. Fayların kaldera ve mineralizasyonla ilişkileri açık değildir. Fayları, kaldera ile ilişkili ışımsal faylar şeklinde yorumlamak mümkündür (Eurasia Madencilik, 2011).

3.1.3. Sivas, Evliya Tepe Altın Cevherleşmesi

Altın yatağı, pek çok açıdan Filipinlerdeki Leponto yatağına benzerlik gösteren, iyi korunmuş yüksek sülfidasyonlu epitermal (HSE) alterasyon ve mineralizasyon sistemini barındırmaktadır (Hedenquist ve White, 2005).

Çalışma alanı içindeki ana yataklanma türü, daha derin bir porfir sistemle ilişkili olup yüksek sülfütlü, epitermal altın damarı türüdür. Epitermal ve ilişkili porfir sistemi, belirgin olarak zonlanmış altın mineralizasyonuna ev sahipliği yapmaktadır. Bu Zonlar;

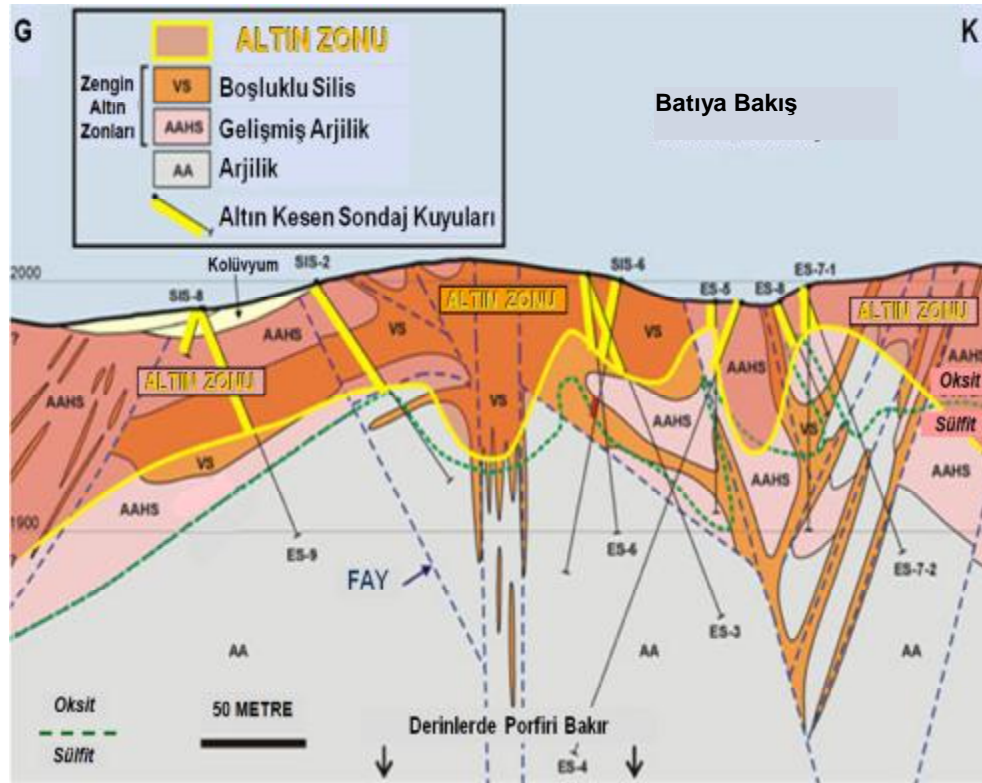
- Propilitik: Evliya Tepe'nin Propilitik değişimi büyük oranda çevreseldir ve dağın yamacında düşük seviyelerde görülmektedir. Propilitik olarak değişime uğramış kayalar yoğundur. Çeşitli bakır-kurşun-çinko potansiyeli ve aktif madenler, propilitik olarak değişmiş volkaniklerde yapısal olarak kontrol edilen breş, stockwork ve damar sistemlerindeki çevresel özelliklere yakın bir yerde bulunur.

- Arjilik: Evliya Tepe'nin çoğunluğu, HSE değişim sisteminde çevresel olarak meydana gelen, zayıftan güçlüye doğru sıralanan, arjilik değişimin temelini oluşturur. Arjilik değişim yoğun kil/beyaz mika değişimi tarafından karakterize edilir ve yüzey cephesinde beyazdan açık gri renklerine hakim alterasyon görülmektedir. Arjilitik alterasyona uğrayan kayalar kuvars/pirit stokworkleri ve limonitik karakterdeki mineral geçişleri ile belgindir. Arjilitik alterasyon zayıf mineralizasyona sahiptir.
- Fillik zon: Fillik alterasyon oldukça zengin silisli yapıya sahip olup %50-90 arasında kuvars, %1 ile %15 arasında kristalli pirit, beyaz mika ve kil içermektedir. Kuvars-pirit damarcıkları stockwork içerisinde nadir olarak bulunmaktadır.

Altın, yüksek sülfidasyonlu epitermal sistemin üst kısmında zenginleşmiş, silis şapkası ve gelişmiş arjilik yüksek sülfür alterasyon fasiyesi içinde lokalize olmuştur. Bakır, altın sisteminin okside olmuş ve altın içeren kısımlarında düşük konsantrasyonlarda oluşmaktadır. Epitermal sistem tabanı yakınlarında altın tenörü düşmektedir. Evliya Tepe'deki alterasyon, yüksek sülfidasyonlu, iyi korunmuş tipik bir epitermal sistemi karakterize etmektedir (Vigar ve ark., 2009). Bu sistemi oluşturan epitermal alterasyon topluluğu aşağıda verilmiş olup ilgili zonlar, altın yatağının GB-KD kesitinde işaretlenmiştir (Şekil 3.3).

- Gelişmiş arjilik alterasyonu (AA)
- Gelişmiş arjilik orta sülfid alterasyonu (AAMS)
- Gelişmiş arjilik yüksek sülfid alterasyonu (AAHS)
- Silis şapka alterasyonu
- Boşluklu silis alterasyonu (Vuggy silica: VS)
- Kataklastik silis (CS)
- Kuvars breş (QBX)

AAHS, AA-AAMS zonlarının üzerinde ve silis şapka zonlarının üst seviyelerinin altında oluşmakta ve yüksek altın mineralizasyonunun ana birimini karakterize eden bir geçiş alterasyon fasiyesi olarak yorumlanmaktadır. Yüksek altın mineralizasyonu silis zonları üzerinde de oluşmuştur. AAHS zonunun en iyi altın mineralizasyonunu barındırdığı belirlenmiştir (Vigar ve ark., 2009).



Şekil 3.3. Altın yatağının GB-KD kesiti (Vigar ve ark., 2009)

Epitermal sistemle ilişkili olarak merkezi kesimde kataklastik silis zonunun yer aldığı ve dışı doğru kil-alunit-profillit topluluğu ile yansıtılan ileri killeşme zonuna geçen bir zonlanma gözlenmiştir. Sahada, altın cevherleşmesinin dışında Pb-Zn-Cu cevherleşmeleri de izlenir. Bu cevherleşmeler hidrotermal damar tipte olup, Suludere mahallesi ile Güzelyurt köyü arasında ve Bağlıca mahallesi GB'sında görülür. Cevher damarlarının genel doğrultuları KB-GD olup kalınlıkları

2 cm- 1 m arasında, uzunlukları ise 3- 300 m arasında değişmektedir (Eurasia Madencilik, 2011). MTA petrografik tanımlama için ince kesit çalışmalarını yürütmüştür. İnce kesit çalışması ile kayaçların asidik volkaniklere ve intrüsilere (sokulumlar) ait olduğunu tespit edilmiştir. XRD pattern çekimleri kaolinit, alunit, kuvars ve diyapor-aliminyum hidroksit ve karışık tabakalı kil-illit smektit, bazı barit gelişimi ve yaygın sülfütlere açıkça göstermiştir. Parlak kesit incelemeleri sonucunda kristalli ve yarı kristalli piritler ile daha az oranda kalkopirit ve bu kalkopiritlere bağlı olarak tetraedrit-tennantit grubu mineralleri gözlenmiştir. Bazı kesitlerde enarjit-kovalit geçişi tespit edilmiştir (Vigar ve ark., 2009).

Çalışma alanı içerisinde birincil ve ikincil olarak oluşmuş altın, pirit, enarjit-luzonit grubu mineraller; titan grubu mineraller; hematit, limonit, sfalerit, galenit, kalkopirit, fahlerz, kalkozin, kovellin gibi cevher mineralleri gözlenmektedir. Gang mineralleri olarak kuvars, kalsit, barit, kil grubu mineraller, klorit izlenmektedir (Çakır ve Kesgin, 1999).

3.1.4. Sondaj Bilgileri

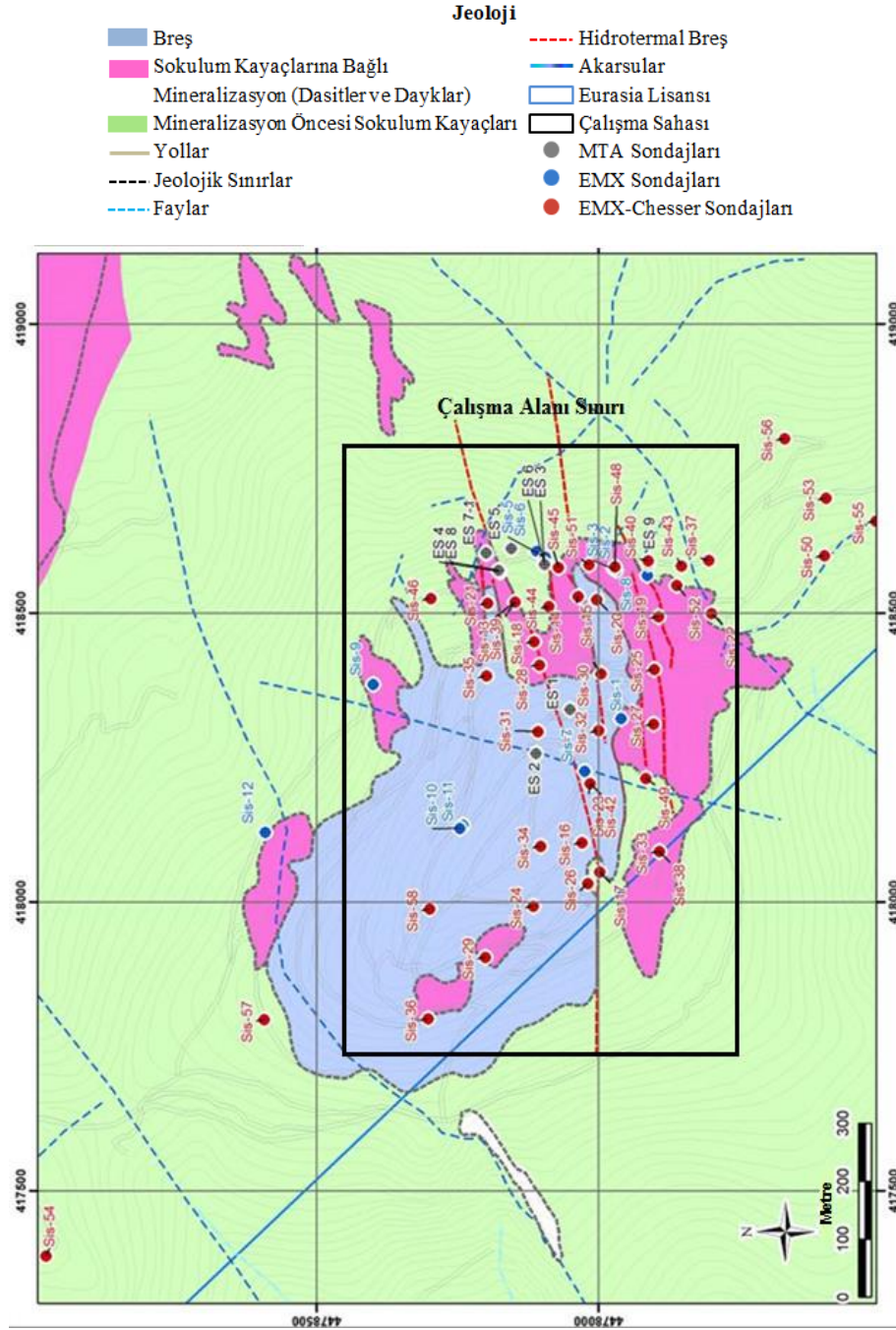
Çalışmada kullanılan veri seti, başta MTA olmak üzere, sahada faaliyet göstermiş şirketlerin arşivlerinden birleştirilerek oluşturulmuştur. Sondaj bilgileri, sahada daha önce gerçekleştirilmiş jeolojik çalışmalar ve etütlerden derlenmiştir.

MTA ile başlayan sondaj çalışmaları 1995-1998 yılları arasında sürdürülmüştür. Evliya tepe altın sahasında cevherleşmenin geometrisini ortaya çıkarmak ve geometrik yapı içerisinde tenör dağılımını belirlemek amacıyla, MTA tarafından sondajlı çalışmalar yapılmıştır. Sahada 8 ayrı lokasyonda 10 adet sondaj gerçekleştirilmiştir (ES-1 ile ES-9 arasındaki sondajlar). Toplam metraj 1459.95 metredir. Sondajlardan ikisi (ES-5 ve ES7-1) dik, diğer sondajlar ise eğik olarak yapılmıştır. Sondajların doğrultuları K42°, K60°, K222° ve K312°'dir. Eğimleri ise 55°-80° arasında değişmektedir. Karot yüzdesi ise %80'in üzerinde gerçekleştirilmiştir. Altın cevherleşmesiyle ilgili alterasyon mineralojisinin ve alterasyon zonlanmasının tespiti ve buna bağlı olarak cevherleşme modelinin

çıkarılmasına yardımcı olmak için, ayrıca diğer alterasyon zonlarından XRD analizi için örnek alınmıştır. Yapılan tüm sondajlardan 1164 adet karot numunesi alınarak Atomik Absorpsiyon analizi yine MTA tarafından yapılmıştır. Bu örneklerden Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, As ve Sb elementleri için kimyasal analiz yapılmıştır. Au değerleri 600 ppb'den büyük olanlar tekrar kantitatif olarak analiz edilmiştir (Çakır ve Kesgin, 1999).

2004-2005 yılları arasında Eurasia madencilik, MTA verilerine dayanarak 12 adet sondaj yapmıştır (SIS-1 ile SIS-12 arasındaki sondajlar). Toplamda 1485 metre sondaj yapılmıştır. Doğrultuları K10°, K119°, K205°, K220°, K230°, K240°, K245°, K270° arasında, eğimleri ise 43°, 45°, 46°, 50°, 60°, 65° arasında değişmektedir. 2007 yılında 6 adet sondaj (SIS-13 ile SIS-18 arasındaki sondajlar) daha yapan şirket, 956 metre karot almıştır. Sondaj doğrultuları K90°, K140°, K170°, K265°, K270°, K330° arasında, eğimleri ise 60°, 65°, 70°, 75° arasında değişmektedir. Eurasia Madencilik 2008 yılında Chesser ortaklığında 40 adet sondaj (SIS-19 ile SIS-58 arasındaki sondajlar) yaparak, bölgedeki sondaj çalışmalarını tamamlamıştır. Bu dönemdeki çalışmalarda, sondajlardan zayıf karot yüzdesine sahip olanlar yeniden kazılmıştır ve toplam 5973 metre sondaj yapılmıştır. Yapılan sondajların doğrultuları 0°, K45°, K90°, K120°, K225°, K270° arasında, eğimleri ise -55°, -60°, 70°, 75°, 80°, -90° arasında değişmektedir. Söz konusu sondajlarda, karot yüzdesi genellikle çok iyi olup ortalaması %90'ın üzerindedir.

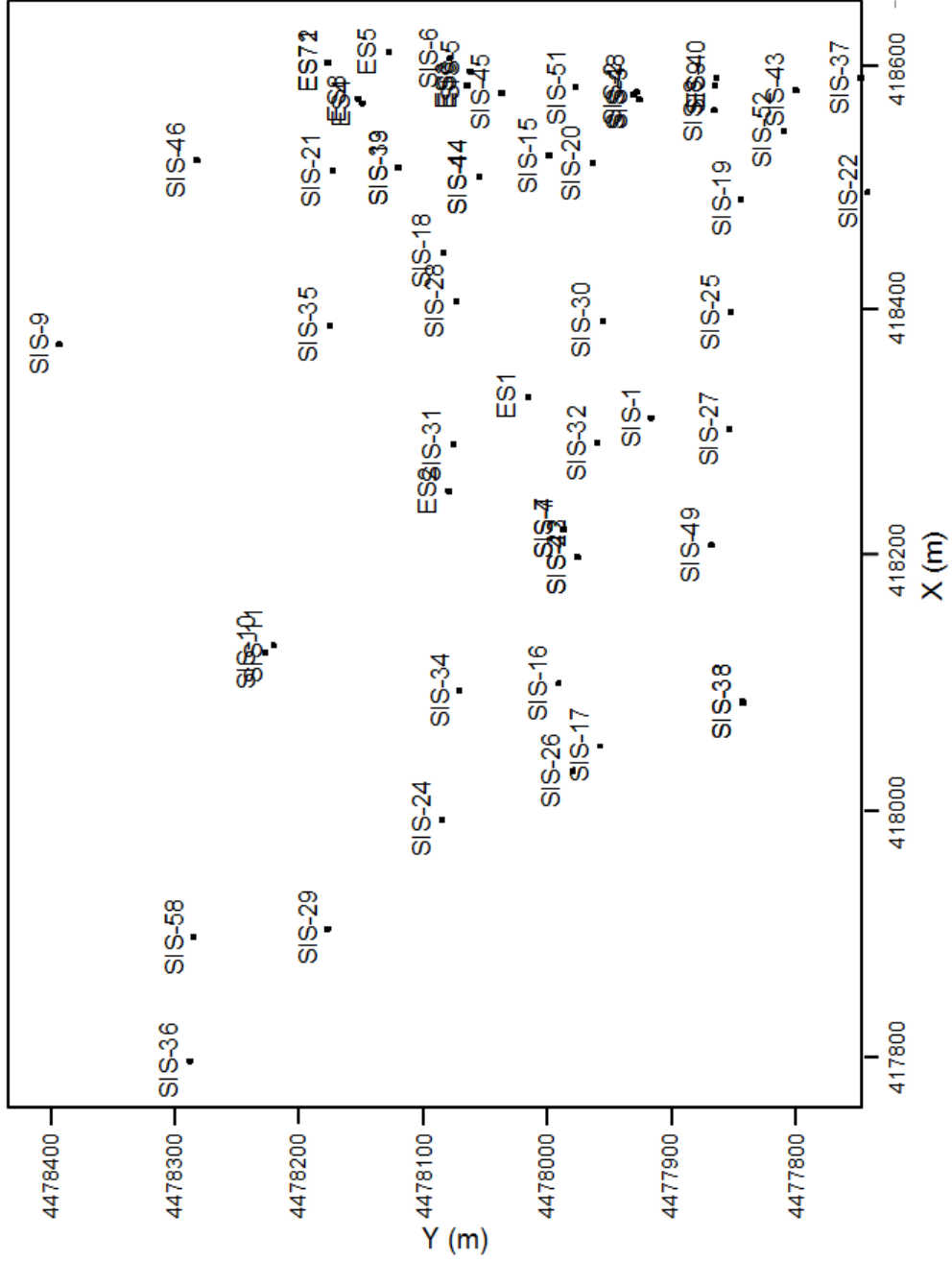
Adı geçen şirketler tarafından yapılan çalışmalarda, kimyasal analizlerin doğruluk derecesini arttırmak amacıyla standart, kör ve çift örnek alımı yapılmıştır. Etkili bir analiz için, ortalama olarak her 40 ile 80 sondaj örneği arasına bu örnekleme tiplerinden her biri yerleştirilmiştir. Sondaj örnek aralığı uzunlukları ortalama 1m olup, nadiren minimum örnek aralığı uzunluğu 0.2 m ve maksimum 2 m'dir. (Vigar ve ark., 2009). Sondaj verileri ile tahmin yapılırken sondajlar arası mesafenin etkisi çok önemlidir. Sondaj loglarının sahadaki dağılımını gösteren jeoloji haritası Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Sondaj lokasyonlarını gösteren jeolojik harita ve çalışma alanı (Vigar ve ark., 2009)

Şekil 3.4'ten anlaşıldığı gibi sondaj çalışmaları herhangi bir grid düzeninde yapılmamıştır. Kimi sondajların bir kısmı örneklemenin yoğun olduğu bölgeden oldukça uzak noktalarda yapılmıştır. Aynı şekilde sondajlardan bir kısmı incelendiğinde elde edilen verilerde belirgin bir Au veya Ag konsantrasyonu bulunmamaktadır. Bu sondajların; yatağın genişletilmesi durumunda hangi yönde ilerleme kaydedileceğini izlemek amacıyla yapıldığı düşünülmektedir.

Saha içerisinde tahminin yapılacağı çalışma alanı sınırı çizilmiş ve bu sınırlar dışında kalan sondaj noktaları veri setinden atılmıştır. Çalışma alanı sınırı içerisine düşen sondajların dağılımı Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Çalışma alanındaki sondajların dağılımı

Tez çalışması “N4477800 E417700” ile “N4476450 E418700” koordinatları arasında kalan alanda gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmaları sırasında elde edilen sondaj verileri koordinat (X, Y, Z), kalınlık bilgilerinin yanı sıra cevher tenör ve litoloji bilgilerini içermektedir. Çalışma alanı sınırları içerisinde kalan sondaj noktalarının isimleri ve bu noktalara ait X, Y ve Z koordinatları ile sondaj derinlikleri (sondaj girişinden çıkışına kadar olan dikey kot farkı değil, sondaj kuyusunun uzunluğudur) Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu aşamadan itibaren 59 sondaj noktasından elde edilen veriler ile çalışılmıştır. Veriler WGS 84 koordinat sistemine göre koordinatlandırılmıştır. Elde edilen bu sondaj bilgilerinden çalışmanın amacına uygun veri tabanı oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1. Çalışma alanındaki sondajların adları, koordinatları, kotları ve derinlikleri

Sondaj Adı	X (m)	Y (m)	Z (m)	Derinlik (m)
SIS-1	418317.157	4477960.252	2125.443	218.950
SIS-2	418577.680	4477973.440	1986.100	101.800
SIS-3	418574.080	4477969.350	1986.850	139.250
SIS-4	418226.300	4478024.990	2185.320	67.000
SIS-5	418596.850	4478094.750	1975.720	159.450
SIS-6	418607.050	4478109.870	1981.670	135.300
SIS-7	418226.300	4478024.990	2185.530	111.300
SIS-8	418565.440	4477913.440	1996.870	32.400
SIS-9	418376.320	4478400.350	2013.460	277.800
SIS-10	418127.110	4478246.660	2150.970	60.750
SIS-11	418132.660	4478240.710	2151.440	99.700
SIS-13	418519.110	4478148.510	2034.990	154.900
SIS-14	418511.280	4478088.390	2028.490	124.500
SIS-15	418528.820	4478036.070	2027.700	106.000
SIS-16	418102.410	4478029.340	2180.740	269.150
SIS-17	418051.450	4477998.160	2147.030	197.300
SIS-18	418450.350	4478114.420	2073.420	104.000
SIS-19	418493.930	4477893.800	2037.890	125.000
SIS-20	418522.940	4478003.630	2025.300	125.000
SIS-21	418517.080	4478196.820	2038.380	125.000
SIS-22	418499.080	4477799.540	2022.400	113.900
SIS-23	418204.560	4478014.850	2179.490	197.500

Çizelge 3.1. Devamı

SIS-24	417992.820	4478115.690	2161.030	211.500
SIS-25	418402.390	4477901.300	2077.530	125.000
SIS-26	418031.890	4478019.120	2142.640	166.500
SIS-27	418308.010	4477902.360	2087.710	125.500
SIS-28	418410.150	4478105.170	2099.860	125.800
SIS-29	417904.540	4478200.830	2119.910	279.000
SIS-30	418394.850	4477995.860	2102.160	149.500
SIS-31	418294.990	4478107.460	2155.840	177.800
SIS-32	418296.570	4478000.340	2147.240	123.500
SIS-33	418087.530	4477892.480	2078.610	183.000
SIS-34	418096.720	4478102.750	2191.240	248.000
SIS-35	418391.260	4478199.280	2111.020	197.000
SIS-36	417797.690	4478302.540	2086.960	138.600
SIS-37	418591.240	4477804.660	1976.510	134.000
SIS-38	418086.780	4477892.540	2078.600	172.500
SIS-39	418519.000	4478148.000	2034.990	109.500
SIS-40	418590.790	4477912.270	1977.590	136.000
SIS-42	418204.560	4478014.850	2179.490	187.500
SIS-43	418581.470	4477853.170	1979.960	70.000
SIS-44	418511.280	4478088.390	2028.490	86.600
SIS-45	418579.170	4478071.590	1938.120	90.000
SIS-46	418525.330	4478298.010	2033.200	90.000
SIS-48	418580.060	4477971.010	1987.570	92.500
SIS-49	418213.770	4477916.000	2123.270	112.500
SIS-51	418583.530	4478016.890	1975.490	70.500
SIS-52	418548.130	4477861.590	2000.650	112.500
SIS-58	417897.970	4478299.650	2152.530	260.000
ES1	418333.990	4478051.570	2144.900	276.400
ES2	418257.750	4478111.090	2173.830	224.250
ES3	418585.470	4478097.520	1986.670	155.150
ES4	418571.000	4478175.200	2008.000	227.000
ES5	418612.100	4478155.400	1984.900	88.850
ES6	418584.830	4478096.880	1986.670	102.050
ES71	418603.800	4478200.100	1983.620	90.650
ES72	418604.100	4478200.300	1982.930	114.950
ES8	418574.400	4478178.200	2000.830	74.700
ES9	418585.200	4477912.600	1973.300	115.100

3.2. Metot

3.2.1. Kullanılan Yazılım

Tez kapsamında, hedeflenen veri üretimi ve istatistiksel analiz teknikleri “Datamine Studio 3” yazılım programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla satın alınan yazılım gerek analiz aşamasında gerekse görsel sunu yetenekleri nedeniyle tercih edilmiştir. Jeolojik modelleme ve ocak dizaynı yanı sıra veri alışverişindeki kolaylıklar sağlayan yazılım ile “Kafes-Sistem Modellemesi (Wireframe Modelling)”, “Blok Modelleme (Block Modelling)”, “Jeoistatistik (Geoistatistics)” ve “Dinamik Anizotropi (Dynamic anisotropy)” gibi modüller bulunmaktadır. Bir CAD sistemine ihtiyaç duymaksızın kullanılabilen bu yazılım; yapısal yorumlama ve tonaj tahmini gerçekleştirmek için diğer yazılımlardan daha kullanılabilir özelliklere sahiptir. Güvenirlik hesaplamaları, sonuçların tekrarlanabilirliği, rezerv hesaplamaları ve raporlama kolaylıkları bulunmaktadır. Ocak dizaynı, planlaması ve üretime karar verme aşamalarında ortak görüntüleme seviyeleri sunmaktadır. İşletim donanımları tarafından; önerilen tasarım parametrelerini kullanarak gerçek boyutları ile güvenlik ve verimlilik değerlendirmeleri yapabilmektedir. Tüm bunların yanı sıra kullanıcı veya operatör hatalarından kaynaklanan veri bozukluklarını tespit edip sorgulayabilen parametrelere sahiptir. Yazılım (Datamine), uluslar arası bir program olup, gelişmiş ülkelerin üniversiteleri ve madencilik sektörü tarafından kullanılmaktadır.

3.2.2. Veri Tabanı ve Verilerin Analize Hazır Hale Getirilmesi

Rezerv tahmin çalışmalarına, sahadan elde edilen verilerin tasnif edilerek yazılıma uygun halde dijital ortama aktarılmasıyla başlanılmalıdır. Öte yandan kaynak tahminlerinde genellikle büyük hacimlerde verinin kısa süreler içinde bilgisayar ortamına aktarılması gerekmektedir. Bu noktada veri girişinde bazı hatalar (hatalı, eksik, tekrar eden, çelişkili veri girişleri) yapılması ihtimali olduğu unutulmamalıdır. Dolayısıyla veri tabanına girilen verilerin doğruluğunun ve bütünlüğünün teyit edilmesi, eksik verinin tamamlanması, hatalı verinin

düzeltilmesi ve tutarsızlıkların giderilmesi gerekmektedir. Veri doğrulama denilen bu işlemler, kaynak tahminlerinde kullanılan bilgisayar paket programları ile kolayca yapılabilmektedir (Özkan ve Akbaba, 2013). Bilgisayar programları, temelde tekrarlanan, koordinatları çakışan, eksiklik bulunan veri setlerinde kolaylıkla denetleme yapabilmektedir. Bunun yanı sıra kullanıcı da dışardan müdehale ederek giriş verisindeki tüm hataları yakalamalıdır. Veri doğrulama işlemleri işlem basamaklarının her aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır. Veri girişi esnasında karmaşık düzende gerçekleştirilecek birden fazla kontrol ile hatalar öncelikle ayıklanmalıdır.

Tez çalışmasına başlanırken veri tabanı dikkatlice oluşturulmuştur. Literatür derlemesi sonucu elde edilen yazılı bilgiler öncelikle bilgisayar yazılımına uygun dosya formatında dijital ortamda kaydedilmiştir. Dijital veriler programa tanıtılmış ve yükleme esnasında hatalar sorgulanmıştır. Sayısal verilerin programa yüklenmesinin ardından, farklı dosyalardaki veriler tek bir projede birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi sonrasında sondaj kodları kullanılarak veriler gruplanmıştır. Gruplanan veriler sondaj loglarına dönüştürülmüştür.

Sondaj loglarının lokasyonları, eğim ve doğrultu parametreleri, sayısal ve görsel çıktılar yardımıyla kontrol edilmiştir. Orijinal verilerin değişkenleri, oluşturulan sondaj kuyularının değişkenleri ile karşılaştırılarak veri tabanı doğrulaması tamamlanmış, veriler analize hazır hale getirilmiştir.

3.2.3. Veri Analizi

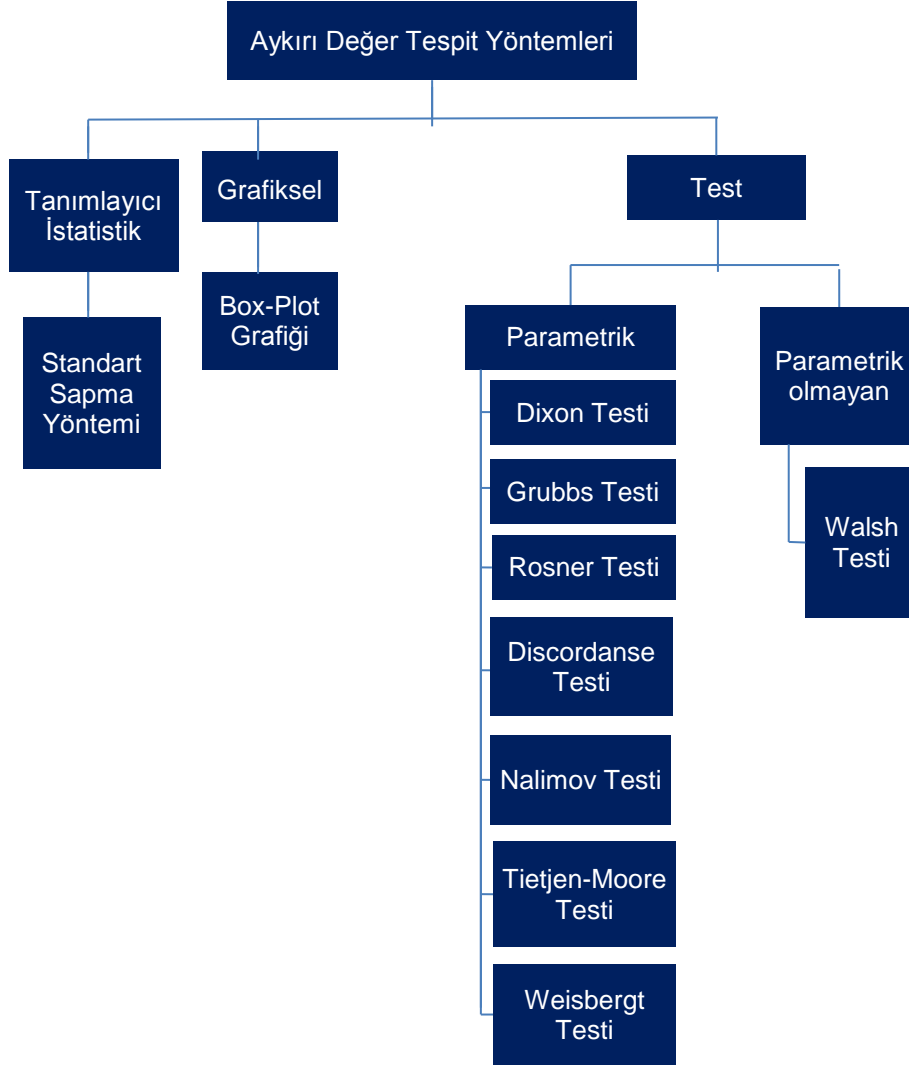
Araziden elde edilmiş ve herhangi bir düzenleme çalışması yapılmamış olan veriler “ham veri” olarak adlandırılmaktadır. Madencilik uygulamalarında kullanılan ham veriler; cevher yapısından, numuneleme işlemlerinden ve olası hatalardan kaynaklanan dağılım düzensizliklerine sahiptirler. Ham veriler özellikle istatistiki dağılım ölçütleri açısından merkezden sapma eğilimindedirler. Veri setindeki dağılım düzensizliklerini analiz etmek için temelde üç teknik bulunmaktadır. Bunlar; aykırı değerlerin analiz edilmesi, kompozitleme ve

kümelenme etkilerinin tespit edilmesi ve gerekiyorsa belirlenen etkilerin giderilmesi çalışmalarıdır. Tüm bu analizlerin öncesinde ve sonrasında istatistiki denetimler kullanılmıştır. Temel mantık; düzenleme işlemleri sonrasında, ana kitlenin temsil edilebilmesidir. Söz konusu düzenlemelerin verilere uygunluğu, kümülatif olasılık grafiklerinde seçilen dağılım eğrisiyle ve ilişkilerinin korelasyon katsayılarının hesaplanmasıyla değerlendirilmiştir.

3.2.3.1. Aykırı Değer Analizi

Herhangi bir veri setinde, tüm veriler ile karşılaştırıldığında belirgin şekilde farklılık gösteren değerlere, aykırı değer adı verilmektedir. Aykırı değerler geniş veri setlerinde iki şekilde bulunmaktadır. Birincisi, sapma gösteren değerler gerçekten hatalı bir örneklemden ileri gelmesidir ki bu durumda aykırı değerler veri setinden atılması gerekmektedir. İkinci durum ise aykırı özellik gösteren verinin gerçek popülasyondaki doğal değişkenliği göstermesidir. Popülasyon özelliklerinin korunması için ikinci durumdaki aykırı değerlerin saklanması gerekmektedir. Madencilik çalışmalarından elde edilen verilerin tüm yatağı temsil edebilmesi için aykırı değerlerin veri setinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bir adet aykırı değer bile dağılım özelliklerinin değişmesine ve hata varyansının yükselmesine neden olmaktadır. Aykırı değerler ile hesaplanacak variogramlar ve bunlara temel alan tahmin yöntemleri kullanıldığında tahmin hatalarının artması kaçınılmazdır. Kriging gibi blok tahmin prosedürlerinde, aykırı değer negatif bir ağırlıkla çarpılırsa ortaya çıkacak kriging tahmini son derece yanlış olacaktır. Aynı şekilde aykırı değer, tahmin yapılacak olan bloğun merkezine yakın konumlanmışsa, bloğa atanacak anormal yüksek medyan değerine yol açarak, hem yüksek tenörlü tonajda hem de o tonajın tenörünün tahmininde sorunlara neden olmaktadır (Sinclair ve Blackwell, 2004).

İstatistiksel açıdan bakıldığında veri seti içerisinde aykırı değer analizi için birçok yöntem vardır (Şekil 3.6). Ancak madencilik çalışmalarında elde edilen veriler pek çok nedenle aykırı olarak gözlemlenebilmektedir.



Şekil 3.6. Aykırı değer tespit yöntemleri (Ovla, 2014)

Standart aykırı değer analizleri, özellikle belirli dağılımlara uygun veriler üzerinde uygulanmasının yanı sıra jeolojik bilgiler ile örtüşmemektedir. Özellikle madencilik alanında, verilerin herhangi bir dağılıma tam olarak uymadığı düşünülürse, zaten standart bir yöntem tercih ederek normal veya log-normal dağılımlar üzerinden aykırı değerleri uzaklaştırmak yanlış olacaktır. Maden yataklarında, yataklanma şekli ve cevher yapısı nedeniyle doğal sapmalar zaten

mevcuttur. Yapılması gereken, tahmini olumsuz yönde etkileyecek örneklemelerin tespit edilmesidir. Madencilikte aykırı değer klasik istatistiki test teknikleri ile sorgulanmamalıdır.

Tez çalışmasında, grafiksel ve tanımlayıcı istatistikleri kullanan tespit yöntemleri ile üstten kesme metodu uygulanmıştır. Özellikle olasılık grafikleri, aykırı değerlerin fark edilmesinde oldukça kullanışlıdır (Sinclair ve Blackwell, 2004). Düşük konsantrasyon verilerinde ise güvenilirlik düşük ise alttan kesme de yapılmıştır. Bu amaçla veri dağılımları ve olasılık grafikleri ile incelenmiş, lineer doğrudan sapmanın başladığı düşünülen sınır değerler tespit edilmiştir. Bu sınır değerler altında kalan her bir veri grubu için tanımlayıcı istatistikler hesaplanmıştır. Aynı işlem uygun durumlarda alt sınır içinde yapılmıştır. Aykırı değere işaret eden en belirgin istatistik parametresi değişim katsayısı olup, normal dağılım gösteren verilerde %1'den küçük olması beklenir ve bu seviyede veride herhangi bir düzeltmeye gidilmesine gerek yoktur. 1.2'den büyük olması veri uzaklaştırılmasına gerek olduğunu göstermekle birlikte 3'ten büyük olması karma dağılım gösterdiğine işaret etmektedir (Coombes, 2008). Ayrıca aykırı değer analizi ardından ana veri setinin istatistiksel anlamda, özellikle ortalamasının, medyan ve çeyreklerinin en yakın değerlerle temsil edilmesi gereklidir (van der Loo, 2010). Analizde dağılımı normalize etmek yerine veriden sapmaları ayıklamak amaçlanmaktadır.

3.2.3.2. Kompozit Analizi

Maden yatağının üç boyutlu olarak modellenmesinde sondaj kuyu loglarının kompozitlere dönüştürülmesi temel bir aşamadır. Genellikle rezerv tahmini için kullanılan ham veriler çeşitli destekleyici yöntemlerle elde edilirler. Ham veriler yaygın olarak eşit kompozitlerin üretilmesi yoluyla birleştirilmesi veya bölünmesi şeklinde işlem görmektedirler. Bu bakımdan kompozitler gerçek verilerin ve analiz verilerinin bir karışımıdır. Rezerv tahminlerinde ise genellikle mevcut verilerin birleştirilmesini içermektedir (Sinclair ve Blackwell, 2004).

Kompozit; aynı kuyuda yer alan değişik kalınlığa sahip jeolojik birimleri ve cevheri temsil eden eşit kalınlıklara veya aralıklara bölünmüş loglardır. Temel prensip, bu eşit aralıklar boyunca cevher tenörü de aralıkların boyu ile ağırlıklandırılarak yeniden yapılandırılmaktadır. Genelde üniform bir uzunluk boyunca bitişik örneklerin, hesaplanan ağırlıklı ortalamaları, ayrı haldeki örneklerinkinden daha büyüktür (Sicclair ve Blackwell, 2004). Kompozit numune uzunluğu, genellikle ortalama numune uzunluğu veya en sık tekrarlanan orijinal numune uzunluğu tespit edilerek belirlenmektedir. Kompozit türetmek için orijinal numune uzunlukları, daha küçük uzunluklar hâlinde parçalara ayrılmamalıdır. Çünkü daha küçük uzunluklarda kompozitler halinde parçalara ayrılırsa, komşu kompozitler birbiriyle aynı değerlere sahip olacağından, yapay olarak daha küçük varyansa yol açacaktır (Özkan ve Akbaba, 2013). Kompozit aralıklarına karar verilirken sondaj karot kalınlıkları ve istatistiksel parametreler göz önüne alınmalıdır. Kompozit aralıkları orijinal örneklem aralıklarına mümkün olduğunca yakın olmalıdır. Kompozit aralıklarına karar verilirken örneklem uzunluklarının histogram grafikleri kullanışlıdır. Örneklem uzunluklarının frekans grafiğinde belirli bir kalınlıkta yığılma bulunmuyorsa kompozitleme yapılabilmektedir. Kompozit aralıkları, maksimum örneklem aralığının %50 altında veya üstünde seçilebilmektedir (Coombes, 2008).

Tez çalışmasında öncelikle, örneklem aralıklarının histogram grafiği incelenerek verilerin kompozitlemeye uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Uygun bulunan veriler için maksimum örneklem aralıkları dikkate alınmış ve bu değere göre farklı mesafeler belirlenmiştir. Belirlenen kompozit mesafeleri kullanılarak oluşturulan kompozit verilerinin tanımlayıcı istatistik değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar incelenerek ana veri setini olabildiğince iyi temsil edecek ve orijinal örneklem aralıklarına en yakın kompozit mesafesi bulunmuştur. Tespit edilen kompozit mesafesinde oluşturulan sondaj logları kontrol edilerek, komşu kompozitlerde tekrarlanma olup olmadığı kontrol edilmiştir. Kompozit analizinde, yüksek karot verimli sondajların kullanılması sağlanmış ve bunun yanı sıra

tenörsüz geçilen kalınlıklara dikkat edilmiştir. Seçilen kompozit aralıklarında tenörsüz geçilmiş (fay veya kırık/boşluk) zonlara değer atanmaması ve veri kayıplarının mümkün olduğunca düşük tutulması sağlanmıştır.

3.2.3.3. Kümelenme Etkisinin Dağıtılması (Declustering)

Veri analizinden önce ele alınıp çözülmesi gerekli bir başka problem de verilerin tercihli kümelenmesidir. Kümelenme analizleri, özellikle belirli bir grid dizaynı olmadan yapılmış sondaj işlemlerinden elde edilen verilerde kullanılmaktadır. Homojen olarak dağılmamış örnekleme lokasyonlarında belli bölgelerde kümelenme (cluster) gözlenmektedir. Mevcut bu kümelenmenin etkisini tüm arazi geneline dağıtmak ve homojen bir ağırlıklandırma gerçekleştirmek için dağıtma tekniği (declustering) kullanılmaktadır (Ersoy ve Yünsel, 2008).

Yüksek tenörlü yatak bölümlerine daha fazla sondaj yapma ve daha fazla numune alma eğilimi olduğundan dolayı, kümelenme veya numunelerin çok farklı hacimleri temsil etmesi sık karşılaşılan bir durumdur (Özkan ve Akbaba, 2013). Tez çalışmasında yapılan kümelenme analizinde; belirlenen ölçülerde grid oluşturulmuş ve her bir grid içerisinde kalan örneklerin ağırlıklı ortalamaları alınarak veri bulunan hücreler yeniden yapılandırılmıştır. Amaç verilerin sık olduğu bölgedeki yığılmaların etkisini, seyrek olan bölgelere dağıtmaktır. İşlemden önemli nokta en uygun hücre boyutlarının saptanmasıdır. Dağıtma tekniği, yanlış uzaysal dağılımların etkilerini en aza indirmek için kullanılan yöntemlere başvurmaktadır. En çok kullanılan yöntem hücre dağıtma tekniğidir (Sinclair ve Blackwell, 2004).

Kümelenme analizi temel olarak; belirlenecek ölçülerde grid oluşturulması ve her bir grid içerisinde kalan örneklerin ağırlıklı ortalamaları alınarak veri bulunan hücrelerin yeniden yapılandırılması işlemidir. Amaç verilerin sık olduğu bölgedeki yığılmaların etkisini, seyrek olan bölgelere dağıtmaktır. İşlemden önemli nokta en uygun hücre boyutlarının saptanmasıdır. Çok küçük boyutlarda tanımlanacak hücreler sonrasında veri dağılımında ve değişkenlikteki fark az

olacaktır. Çok büyük boyutlardaki hücre boyutları ise fazla düzleşme etkisi göstererek, veriye ait gerçek dağılım ve istatistiki parametreleri temsil edemeyecektir. Optimum hücre boyutunun saptanması için öncelikle belirli boyutlarda hücreler tanımlanır. Her bir hücre boyutu için alanın tamamı hücrelere bölünür ve içerisine veri düşen hücreler belirlenir. Belirlenen hücrelerin içindeki tüm örneklem noktalarının sayısı kadar yeni hücre oluşturulur ve bu hücrelere tüm örneklem verilerinin ortalaması atanır. Daha sonra hücre boyutlarına karşı kümelenmiş verilerin ortalamalarının yansıtıldığı dağılım grafiği çizilir. Dağılım grafiğinde azalan veya artan yapıda bir eğri oluşması beklenmekte olup, yapının bozulduğu noktadaki hücre boyutu, kümeleme için gerekli uzaklığı vermektedir. Verilerin kümelenmesi sadece istatistiksel analizi etkilemez; yanlı variografiye de yol açabilmektedir (Glacken ve Snowden, 2001). Bu nedenle kümelenme analizi sonucunda sadece istatistik parametreleri kontrol edilmemelidir, aksine doğru analizlerde istatistiki değişim çok azdır. Asıl değişim veri dağılımında gerçekleşerek, tahmin yöntemlerindeki güvenilirliği arttırmaktadır.

Tez çalışmasında verilerdeki kümelenme etkisinin ortaya çıkarılması amacıyla farklı boyutlarda ki hücreler için kümeleme işlemi gerçekleştirilmiş ve kümelenmiş verilerin ortalamaları alınmıştır. Ortalama değerlere karşılık gelen hücre boyutları grafiklenerek eğrinin bozulma gösterdiği boyutlar belirlenmiştir. Belirlenen boyutlarda ki hücrelerde kümeleme etkisinin dağıtılması işleminin gerekli olup olmadığı istatistikler ve dağılım özellikleri ncelendikten sonra karar verilmiştir.

3.2.4. Blok Model

Blok modelleme, analiz işlemleri tamamlanan verilerin üç boyutlu uzayda konumlandırılarak, belirli ebatlarda bloklarla temsil edilmesi işlemidir. Blok modelleme Datamine yazılımı ile belirli işlem basamaklarında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle veri setinin, bir sıra satır sütun halinden, üç boyutlu sondaj logları haline getirilmesi gerekmektedir. Sondaj verileri temelde üç ana gruba ayrılmıştır. Bu

gruplar, sondaj adları ve koordinat değerleri ile her sondajın herbir numune aralığını temsil eden kimyasal analiz değerlerinin eşleştirilmesinden oluşturulmaktadır. Özellikle kullanımda olan madencilik programları verileri pekçok dijital dosya formatından (csv, excel, text vb.) ayrı ayrı okuyabilmektedir. Her sondaja ait konumsal bilgiler ve analiz verileri bilgisayar ortamında birleştirildiğinde, artık veriler üç boyutlu uzayda sorgulanabilir ve izlenebilir sondaj logları haline gelmektedirler. Bu çalışmada da verilerin bağlı buldukları sondajlar gözönüne alınarak, her sondaj ilgili veri gruplarının birleştirilmesiyle üç boyutlu uzayda yerine taşınmıştır. Bu aşamada verilerin geçerlemesi ve tetkiki yapılarak sondaj noktaları ve logların arazi üzerindeki dağılımları incelenmiştir. Üç boyutlu veriler sondaj loglarına dönüştürüldüğünde uzaydaki duruşları kesitlerle kontrol edilmiş ve aykırı pozisyonlarda duran sondajların doğrultu ve eğimleri incelenmiştir. Sondaj logları üzerinde arazi/topografya sınır kontrolleri yapılarak, log uzunluklarının toplamları karşılaştırılmıştır.

İkinci aşama ise blok model sisteminin üç boyutlu sınırının tespit eden kafes sistemlerinin oluşturulmasıdır. Kafes sistemi, blok modelin kabuğunu oluşturmakta ve geometrik özellikleri, tahmin işlemi için gerekli komşuluk parametrelerine ışık tutmaktadır. Kafes sisteminin içi ise belirlenen blok parametreleri kullanılarak doldurulmaktadır. Blok boyutlarını belirlemek en önemli aşamadır. Nitekim bu blokların şekli, boyutları ve yönelimi, kaynak tahmininin kalitesi üzerinde etkilidir. Tarama elipsoidi parametrelerini optimize etmeden önce, blok boyutunu seçmek, ana blok boyutunu optimize etmek gerekmektedir. Modelin hassasiyeti her zaman hücre boyutlarının düşürülmesiyle artmamaktadır. Her saha ve cevher yapısı için minimum hücre boyutu değişmektedir.

Çözünürlüğü arttırmak (mineralize zon içindeki kısa mesafeli tenör değişimlerini algılayabilmek), cevher-yoztaş sınırlarını elverdiğince dar biçimde tanımlamak amacıyla, olabildiğince küçük boyutlu bloklar seçilmesi ve bu küçük bloklara tenör interpolate edilmesi istenmektedir. Ancak blok boyutu tahmin kalitesini büyük oranda etkilemektedir. Doğrusal tahmin yöntemleri, küçük bloklar

için elverişli değildir. Kriging formülüne bakıldığında bloklar ne kadar küçük ise, kriging hatasının o kadar büyük olacağı anlaşılabilir. Variogram etki mesafesine ve numune aralığına kıyasla küçük bloklara interpolasyonla bulunan sonuçlar gerçek durumdan büyük sapmalar gösterebilmektedir. Blok boyutu, variogram etki mesafesi ve kriging sonuçları incelendiğinde tahmin edilmek istenen en küçük ölçek (hacim) ile yataktaki değişkenliğin niceleyebileceği en büyük ölçeğin uzlaştırılması bu konuda genel ilkedir (Özkan ve Akbaba, 2013).

Teze konu olan saha gibi geniş bir alana yayılacak tahminler için çok küçük boyutlarda hücre tanımlamak hem model oluşturulurken hem de daha sonraki tahminlerde programı ve bilgisayar kapasitesini aşacaktır. Buna karşın çok büyük boyutlarda hücre tanımlamak, hücre çerçesine düşen verilerin sayısını arttırarak sahanın temsil edilebilirliğini negatif yönde etkileyecektir. Kriging gibi yumuşatma özelliğine sahip tahmin metodları, örnekleme bilgisinden uzak bloklarda, gerçekçi tahminler üretmek için uygun olmasada ne yazıkki sıklıkla bu amaç için kullanılmaktadır (Ravenscroft ve Armstrong, 1990; Sinclair ve Blackwell, 2004'den). Doğrusal tahmin, özellikle tahmin edilecek bloğun boyutuna göre geniş aralıklı verilere dayandığında, koşullu yanlılık ve yumuşatma gibi iki rakip etkiye maruz kalmaktadır. Bunlardan yumuşatma, etkili bir biçimde tahmin edilebilir blok boyutlarında sınırlama getirmektedir çünkü seyrek ve geniş aralıklı veriler, küçük blok tenörlerinin gerçek yerel değişkenliklerini yansıtmayan küçük bitişik bloklar için benzer tahminler yürütmektedirler (Sinclair ve Blackwell, 2004).

Tez çalışmasında, bilgisayar donanımının kaldırabileceği en küçük blok boyutları, sondajlar arası mesafe ve kompozit mesafesi göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Blok boyutları belirlendikten sonra, kafes sisteminin hacmi ile toplam blok hacmi kontrol edilerek blok modelin geçerlemesi yapılmıştır. Bir başka geçerleme işlemi olarak, ortalama yoğunluk kullanılarak toplam tonajlarla da karşılaştırılmıştır.

3.2.5. Jeostatistik Analiz

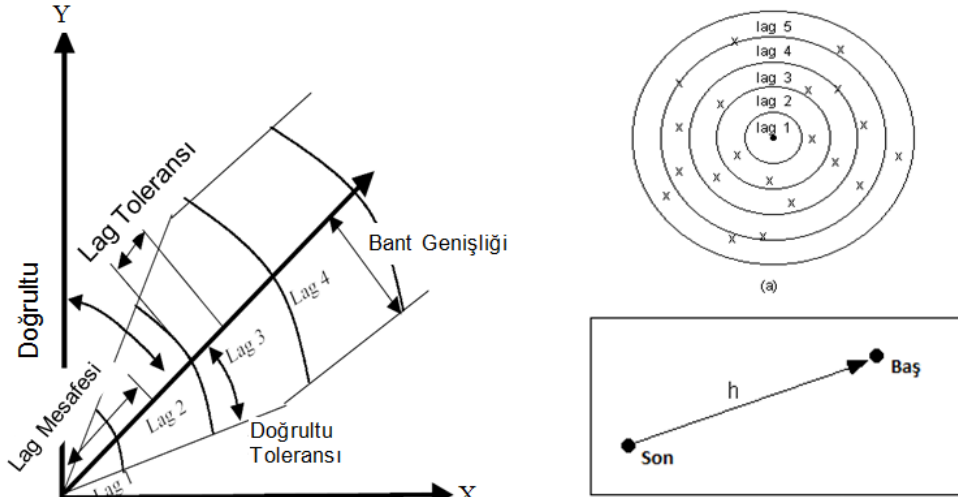
Aslında mineral kaynak/rezerv tahmini referansı ile geliştirilen jeostatistik, "bölgesel değişkenler teorisi uygulamaları" olarak tanımlanır (Matheron, 1971; Sinclair ve Blackwell, 2004'den). Yerbilimlerinde uzaysal değişkenlik, iki nokta arasındaki mesafeye karşı orantılanan değişkenliği ifade etmektedir. Jeostatistik, maden yatağının genel jeolojik durumunu, farklı nicelikte ve duyarlılıktaki veri örneklerinin birbiri arasındaki konumsal ilişkisini göz önünde bulunduran uygulamalı istatistik dalıdır (Uyguçgil, 2007).

Jeostatistik, tahmin için tesadüfiliği ve tenör dağılım modellerindeki değişimi tanımlayan yapısal bileşenleri hesaplar ve kullanır. Şayet sağlam bir veri tabanı mevcutsa, ileri dercede bir araştırmada başarıyla uygulanabilmektedir (Sinclair ve Blackwell, 2004). Jeostatistiksel yaklaşıma göre; yakın iki nokta arasındaki benzerlik (tenör, jeolojik yapı, yoğunluk, vs.), mesafe arttıkça azalacaktır. Aynı şekilde, iki nokta birbirine yaklaştıkça benzerlik artacaktır. Bu şekilde iki nokta arasındaki mesafeye göre bir korelasyon oluşturarak bilinmeyen noktalarda tahmin yapan yöntemler, jeostatistik yöntemler olarak adlandırılmaktadır.

Tahmin işlemi, yakın örneklerin arasındaki ilişkinin bir derecesi olarak ortaya çıkan ağırlıkların, tahmin yapılacak noktalara atanması ile gerçekleştirilmektedir. Kriging tahmin teknikleri ile jeostatistiksel simülasyon tekniklerinin amaçları farklıdır. Kriging ile maden yatağındaki istenilen her lokasyonda tahmin yapılırken, simülasyonda yeni bir değer üretilmez. Kriging ile bilinmeyen değerler tahmin edilirken tahmin varyansı, karesel hata ve yansızlık gibi istatistikler kullanılarak, tahminin doğruluğu ölçülmeye çalışılmaktadır. Simülasyonda ise gerçek değerlerin variogram ve istatistiksel dağılım parametrelerini kullanılmaktadır. Simülasyon ile jeolojik yapı, rezerv ve tenör parametrelerinin değişimi belirlenmektedir.

3.2.5.1. Variogram Analizi

Noktalar arasında kriging gibi bir enterpolasyon yapılmadan önce, bir variogram modeli tanımlanmalıdır. Yapılandırılmış bir variogram modeline dahil edilecek temel adımlar; deneysel bir yarıvariogram (bundan sonra deneysel variogram olarak anılacaktır) oluşturmak ve bu variograma uydurulmuş bir variogram modeli kurmaktır. Variogram analizi, temelde her örneklem çifti arasında belirlenen mesafeye bağlı olarak hesaplanan yarı variogram değerlerinin, yine mesafeye karşı konumlandırıldığı bir grafikdir. Variogram grafiğindeki bir nokta hesaplanırken, öncelikle mesafe belirlenmektedir. Deneysel variogram hesaplanırken dağılmış her noktayı diğer tüm noktalarla ilişkilendirmek kullanışsız olacaktır. Bu nedenle, her nokta için hesaplamada kullanılacak mesafeler; lag adı verilen, bir dizi aralıklara bölünmüştür (Şekil 3.7). Dağılmış her bir çift arasındaki mesafenin, hangi lag aralığında bulunduğu araştırılır. Aynı lag aralığı içerisine düşen, ayrılmış mesafelerdeki tüm nokta çiftlerinin varyansının ortalaması alınır. Sonuçta elde edilen ortalama; lag aralıklarıyla ilişkilendirilen mesafeye karşı grafiklenerek deneysel variogram adını alır (Deutsch ve Journel, 1998).

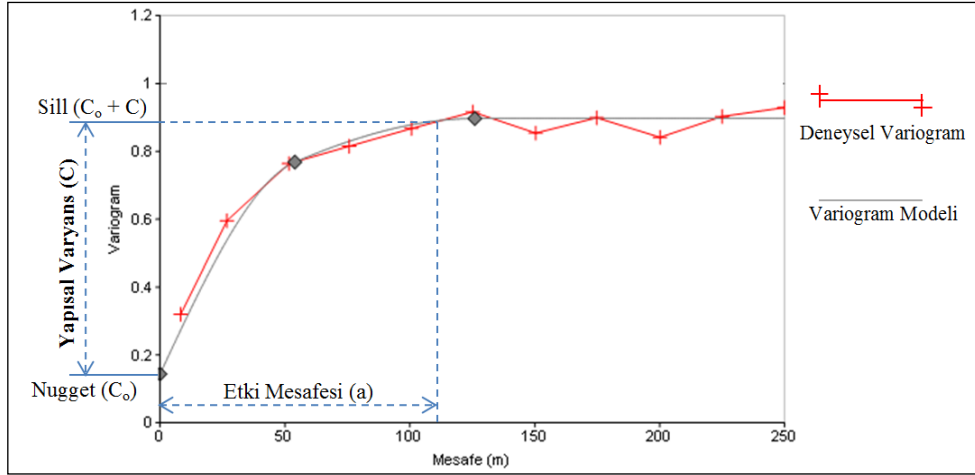


Şekil 3.7. Lag mesafeleri ve lag toleranslarının gösterimi (Deutsch ve Journel 1998'den değiştirilerek alınmıştır)

Böylece deneysel variogram grafiğinde her bir lag için bir adet nokta bulunur. Şekil 3.7’de gösterildiği gibi lag mesafeleri için belirli uzaklıklarda tolerans tanımlanabilir. Genelde lag mesafesinin yarısı kadar tolerans uygulanmaktadır. Tolerans arttıkça her mesafe içerisine düşen örnek çifti sayısı da artacaktır. Yarıvariogram değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Coombes, 2008).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N (f_{1i} - f_{2i})^2$$

Grafik oluşturulduktan sonra deneysel variogram eğrisinin hangi variogram modeline uyduğu belirlenmeli ve uydurulan modelin parametreleri tespit edilmelidir. Bu parametreler jeostatistik tahmin yöntemlerinin tümünde kullanılmakta olan ana bileşenlerdir. Örnek bir variogram modeli ve parametreleri Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Örnek bir variogram modeli ve ana parametreleri

Kontrolsüz Etki (Nugget, C₀): Variogram grafiğinde variogram eğrisinin y eksenini (γ) kestiği nokta ile orijin arası kontrolsüz etki varyansı (nugget) olarak

bilinir. Bu parametre, aynı noktadan alınacak iki örnek numunesi arasındaki doğal farkı ifade etmektedir (Deutsch ve Journel, 1998; Coombes, 2008). Yataklanma şekilleri göz önüne alındığında, değerli metallerde, diğerlerine oranla daha yüksek nugget etki görülmesi mümkündür. Benzer şekilde, seyrek veya hatalı örnekleme nugget etkiyi yükseltecektir. Bu durum, variogram modelinin deneysel variograma uydurulmasını zorlaştıracak gibi parametrenin kriging ve diğer enterpolasyon tekniklerinde kullanımını sağlıklı kılmayacaktır. Başka bir deyişle variogram analizinde kontrolsüz etki varyansı doğru modellenmezse ciddi tahmin hataları ortaya çıkacaktır (Morgan, 2011). Numune almada ve analizlerdeki hassasiyet arttıkça, doğal olmayan nugget etki büyük ölçüde azalacaktır. Nitekim düşük nugget etki örnekler arasındaki ilişkinin yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Yapısal Etki (Sill, Co+C): Variogram modelinde, yükselişin bittiği noktanın işaret ettiği variogram değeridir. Bu noktadan sonra örnekler arasında bir korelasyon bulunmaz. Yapısal etki populasyon varyansı ile mukayese edilmektedir. Sill değerinin populasyon varyansından çok farklı olduğu variogram analizlerinde, mesafeye karşı değişimin yönelim gösterdiği (anizotropi) düşünülmelidir (Morgan, 2011). Söz konusu durumlarda farklı doğrultu ve eğimlerde variogramlar hesaplanarak, yönlü variogram analizleri yapılmaktadır. Sill, populasyon varyansına yakın ise mesafeye bağlı değişimde anlamlı bir ilişki olduğu düşünülmektedir (Ersoy ve Yünel, 2006 ve 2008).

Etki Mesafesi (Range, a): Etki mesafesi, variogramın tepe noktasına (sill'e) ulaşıldığında y eksenini arasında kalan yatay mesafedir. Örnekler arasında bu mesafeye kadar olan uzaklıklarda örnekler arasında bir ilişkinin (korelasyon) olduğu (birbirlerini tanımlayıcı) ve aralarında bu mesafeden daha fazla mesafe olan örneklerin birbirleri ile ilişkili olmadığı kabul edilmektedir (Ersoy ve Yünel, 2008). Bu mesafe, tahmin aşamasında tahmin edilecek olan nokta etrafında örneklerin hangi mesafeye kadar tahmine katkıda bulunacaklarının belirlenmesinde (komşuluk parametreleri) önemli rol oynamaktadır.

3.2.5.2. Çapraz Doğrulama

Tez kapsamında yapılan işlemlerin geçerliliği çapraz doğrulama testleri ile yapılmıştır. Çapraz doğrulama testinde; tahmin parametreleri kullanılarak yeniden bilinen değerlerin bulunduğu noktalar tahmin edilmektedir. Tahmin edilmiş değerlerle, gerçek değerler arasındaki ilişkinin istatistiksel açıdan en anlamlı olduğu tahmin metodu ve parametreleri tercih edilmiştir.

Tahmin edilmesi gereken tüm noktaların tahmin edilmiş olmasına özen gösterilmiştir. Şayet burada tahmin edilmemiş bir nokta bulunur ise arama yarıçapının uygun olmadığı düşünülmelidir ve arama yarıçapı arttırılmalıdır. Bu yapılmadığı takdirde yetersiz tahmin nedeniyle tahmin değerleriyle gerçek değerler arasında ki fark artacaktır.

Tez çalışmasında çapraz doğrua sonuçları pek çok açıdan değerlendirilmiştir. Tahmin ve gerçek değerlerin ortalaması karşılaştırılmıştır. İki ortalama arasındaki farklılıklar üç parametre ile sorgulanmıştır. Parametreler ve bunların sayısal ifadeleri aşağıda verilmiştir (Datamine, 2009).

- **Ortalamaların farkı (OF):** Tahmin edilen değerlerin ortalaması ile gerçek değerlerin ortalamalarının farkıdır. Sıfıra yaklaşması beklenmektedir.
- **Ortalamanın yüzdesel farkı (YOF):** Gerçek değerler ile tahmin edilmiş değerler arasındaki farkın, gerçek değerlere oranının yüzdesel ifadesidir. Yüzdesel farkın %5'ten az olması istenmekte, %2'den az olan farklılıklar uygunluğun arttığına işaret etmektedir. Aşağıdaki basit

$$YOF = \frac{\sum(g_i - Z_k)}{\sum g_i} \times 100$$

- **Ortalamanın mutlak farkı (OMF):** Tahmin edilen değer ile gerçek değerlerin pozitif farklarından elde edilen ortalamadır. Mümkün oldukça sıfıra yaklaşması beklenmektedir.

Gerçek ve tahmin edilmiş değerlerin varyansları da bu aşamada incelenmelidir. Kriging işlemindeki yumuşatma etkisi nedeni ile tahmin varyansının daima küçük olması beklenmektedir.

Gerçek ve tahmin edilen değerlerin korelasyon katsayısı hesaplanmaktadır. Korelasyon katsayısı daima -1 ile +1 arasındadır. +1 mükemmel pozitif korelasyona işaret etmektedir. Amaç olabildiğince +1 e yaklaşan korelasyon katsayısını elde etmek olmalıdır. Eğer veri seti geniş ise oldukça düşük bir katsayı (örneğin; 0.15) olması mümkündür ve bu değerde istatistiksel açıdan anlamlıdır. Korelasyon katsayısının anlamlılığının hesaplanmasında değişkenlerin normal olarak dağıtıldığı farzedilir. Bir veya iki aykırı değer katsayı üzerinde kapatıcı etkisi olabilmektedir (Datamine, 2009).

Kriging varyansı ile ilgili üç istatistik hesaplanmaktadır (Datamine, 2009).

- **Modelden tahmin edilen Kriging Varyanslarının ortalaması (σ_{ko}^2):** Kriging varyansları variogram modelinden tahmin edilmiştir. Örneklerin lokasyonları ve variogram model parametrelerinin ilişkilendirilmesine dayandırılan, her bir kriging tahminine karşılık gelen kriging varyanslarının ortalamasıdır.
- **Kareler farkının ortalaması (KFO):** Gerçek ve tahmin edilmiş değerlerin farklarının karesinin örnek sayısına bölünmesi ile hesaplanır.

$$KFO = \frac{\sum (g_i - Z_k)^2}{N}$$

- **Oran (R):** Kriging varyansının ortalamasının kareler farkının ortalamasına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Bu oranın 0.8 ile 1.2 aralığında olması ve mümkün olduğunca 1'e yaklaşması beklenmiştir. Parametreler sabitlenirken göz önüne alınması gereken en önemli istatistiklerden birisidir.

$$R = \frac{\sigma_{ko}^2}{KFO}$$

Regresyon eşitliği, gerçek değerlere karşı tahmin edilmiş değerlerin dağılım grafiğinden elde edilmiştir. Şayet tüm tahminler mükemmel olursa, tüm noktalar 45° çizgisinin üzerinde uzanacaktır. Ancak pratikte; 45° çizgisi etrafında dağılmış noktalar bulutu şeklinde olacaktır. Bu dağılımın regresyon denklemi, standart en küçük kareler metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemin formatı aşağıdaki gibidir.

$$G_e = c + b \times Z_k$$

Regresyon sabiti c (doğrunun y eksenini kestiği nokta; y intercept); mümkün olduğunca sıfıra eşit olmalı ve eğim (slope) b; mümkün olduğunca bire yaklaşmalıdır (Datamine Tutorial, 2009; Sinclair ve Blackwell 2004).

Çapraz doğrulama grafikleri de sık kullanılan test metotlarından. Bu nedenle tez kapsamında sonuçlar çapraz doğrulama grafikleri ile de test edilmiştir. Hesaplanan tüm parametreler ve üretilen grafikler değerlendirilerek, tahmin yöntemi ve tahmin parametreleri belirlenmiştir.

3.2.5.3. Kriging Tahmini

Rezerv tahmininde kullanılan Kriging yöntemleri, uzaysal değişimi temel alan rezerv tahmin metotlarıdır. Kriging yönteminin diğer tahmin yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü esnek oluşudur. Veriler sistemli ve objektif olarak önceden analiz edilir. Analiz sonucunda variogram fonksiyonu belirlenir. Bu fonksiyon daha sonra ağırlıkların belirlenmesinde kullanılır. Kriging yönteminin diğer bir üstünlüğü, kriging varyansı ile tahmin hatasının büyüklüğünü değerlendirmektedir. Kriging varyansı verilerin gerçek değerlerine bağlı olmayıp,

daha çok veri sayısının ve veriler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur (Ersoy ve Yünsel, 2006).

Kriging sonuçları tahmin edilecek değişkenin otokorelasyon modeline bağlıdır. Bundan dolayı yarıvariogram modelleme süreci ve yüksek kalitede bir model ihtiyacı büyük önem taşımaktadır. Pratik bir yaklaşımla kriging yapılandırılmış bir dizi aşamayı içermektedir. Bunlar; yarıvariogram modelinin çapraz doğrulaması, özgün bir blok tahmini için veri seçme kriterlerinin belirlenmesi, kriging yapılacak her blok için verideki minimum ve maksimum değerlerin tanımlanması, veri kullanımının sınırlandırılması ve en sonunda tahmin edilecek dizi içindeki her bloğun kriging sistematığının kurulması şeklindedir (Sinclair ve Blackwell, 2004).

Tez çalışmasında çapraz doğrulama testleri ordinary ve lognormal kriging teknikleri için uygulanmıştır. Test sonucunda seçilen yöntem ve parametreler ile rezerv ve tenör tahmini yapılmıştır. Yapılan tahmin istatistik parametrelerinin ve grafiklerinin karşılaştırılması ile doğrulanmıştır. Tahmin sonucunda belirli sınır değerler kullanılarak metal içerikleri, sınır değer üzerinde kalan tenörlerin ortalamaları ve tonajları da hesaplanmıştır. Ordinary ve Lognormal Kriging yöntemleri aşağıda özetle tanımlanmıştır.

Olağan (Ordinary) Kriging: Tüm kriging tekniklerinde olduğu gibi en iyi tahmine ulaşmak için tahmin varyansını minimize etmeye çalışır.

Bir noktanın veya bloğun tahmini; kabaca uzaklığa göre ağırlıklı ortalamanın bulunması ile gerçekleşmektedir. Bunun için tanımlanmış sınırlar içerisinde kalan tüm bilinen verilerin uzaklığa göre ağırlıkları belirlenir ve ağırlıklandırılmış verilerin toplamı o noktaya değer olarak atanır (Eşitlik 3.1) (Deutsch ve Journel, 1998; Coombes, 2008).

$$Z_k = \sum(W_i \times g_i) \quad (3.1)$$

Bu aşamada iki durum göz önüne alınmalıdır, bunlar σ_e^2 ve yansızlıktır. Tahmin varyansı kısaca tahmin ve gerçek arasındaki toplam fark olarak ifade edilmekte (Eşitlik 3.2) ve ağırlıkların toplamının 1'e eşit olması kısıtlamasından faydalanılarak minimize edildiğinde σ_k^2 elde edilmektedir (Eşitlik 3.3). Bu kısıtlama, denklem sistemi içerisine, sıfıra eşdeğer bir ifade olarak, μ (Lagrange parametresi) olarak tanımlanan yeni bir bilinmeyeni minimize prosedürüne eklemektedir (Sinclair ve Blackwell, 2004). μ hata düzeyini ölçen ve tahminin güvenilirliğini gösteren bir çarpan olarak kullanılmaktadır. Şayet kriging öncesi basamaklarda veri yapısından veya yarıvariogram modelinden kaynaklanan herhangi bir uygunsuzluk varsa bu değer büyük olacaktır. Bu gibi durumlarda tahminin yansızlığı negatif yönde etkileneceğinden, en iyi tahmini yapabilmek için söz konusu basamakların yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir.

$$\sigma_e^2 = [Z_k - \sum(W_i \times g_i)]^2 \quad (3.2)$$

$$\sigma_k^2 = [Z_k - \sum(W_i \times g_i)]^2 - \mu(\sum W_i - 1) \quad (3.3)$$

Lognormal Kriging: Kriging tahmini doğrusal yaklaşımlarla değerlendirilmektedir. Yer bilimleri gibi alanlarda veri setini oluşturan datanın doğal yapısından kaynaklanan dağılım farklılıkları bulunmaktadır. Populasyon, ortalama değer üzerinde yığılma gösteriyorsa sola (negatif) çarpık, ortalama değerinin altında yığılma gösteriyorsa sağa (pozitif) çarpık frekans grafiği ile ayırt edilmektedir. Özellikle madencilik çalışmalarına konu olan değerli metallerin birçoğu ileri derecede sağa çarpık bir yapı sergilemektedirler (Coombes, 2008). Bu tip veri dağılımlarında doğrusal yaklaşımlar sunan tahmin metotlarının kullanılması uygun değildir. Bu gibi durumlarda lognormal kriging tercih edilmelidir. İşlem prosedürü, temelde, verilerin logaritmik transformasyonun gerçekleştirilmesi ve

olağan krigingin bu veriler üzerinde işletilmesi şeklindedir. Tahmin yapıldıktan sonra yine tahmin prosedürü kullanılarak verilerin geri dönüşümü (back transformation) gerçekleştirilmektedir (Coombes, 2008; Sinclair ve Blackwell, 2004).

Temelde logaritması alınmış gerçek değerlerin logaritmik variogramdan elde edilen parametreler ile olağan kriging tahmini yapılmaktadır.

$$Z_{kln} = \sum(W_i \times \log(g_i))$$

Tahmin sonuçlarının logaritmik tabandan dönüşümü ise Eşitlik 3.4'te olduğu gibi kriging varyansı kullanılarak sağlanır (Yamamoto, 2007).

$$Z_{kn} = \exp(Z_{kln} + 0.5\sigma_k^2 - \mu) \quad (3.4)$$

Lognormal kriging, bilhassa lognormal kriging tam bir çapraz doğrulama gösterdiğinde ve tahminlerin geri dönüşümünün mümkün olduğu durumlarda, kullanılabilir. Lognormal kriginge ilişkin kaygıları önlemek için kolay bir yol da, dönüşüm olmaksızın nispi yarıvariogram kullanarak kriging yapmaktır (Sinclair ve Blackwell, 2004). Bu nedenle yapılan tahminlerde logaritmik variogramlar kullanılmış ve datamine yazılımı içinde lognormal kriging doğrudan hesaplanmıştır.

3.2.5.4. Simülasyon

Madencilik alanında simülasyon, koşulların taklidi anlamına gelmektedir. Özellikle tahmin ile ilgili olduğu için, simülasyon genellikle gerçek tenörlerde olduğu gibi aynı istatistiksel ve uzaysal karakteristiğe sahip olan bir değer dizisi oluşturma girişimini içermektedir; ancak, değerler mevcut gerçek tenör bilgisinden daha çok yerel ölçekte oluşturulmaktadır. Yapılan işlemin doğru olabilmesi simülasyonun güvenilirliğine, simülasyonun güvenilirliği ise toplanan verilerin

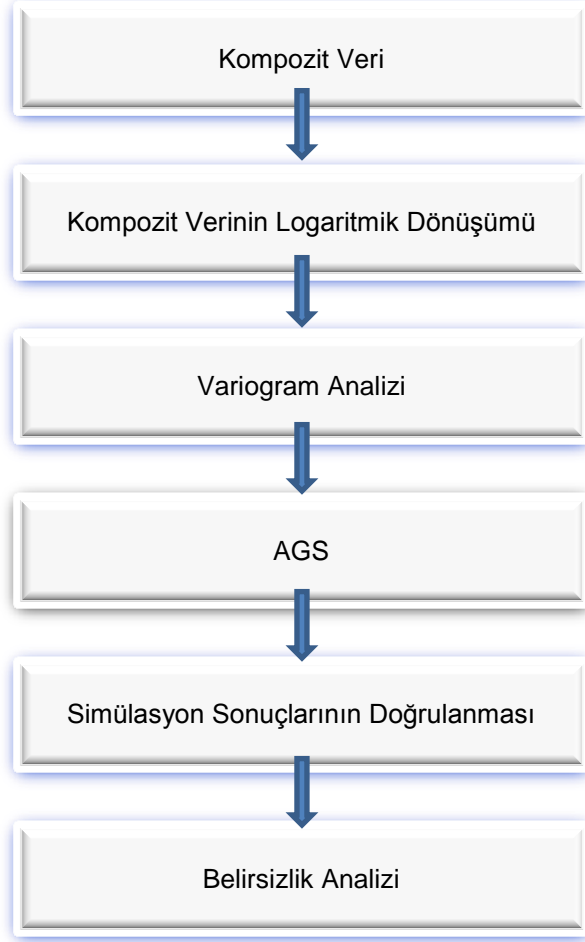
doğruluğuna bağlıdır. Elde edilecek sonuç, işe başlarken gösterilecek dikkat ve özenle şekillendirilmektedir.

Simulasyon bir tahmin değildir; orijinal veri gibi aynı genel istatistiksel karaktere sahip 2 ya da 3 boyutlu değer setidir. Hem veri hem de tahmin mevcut olduğunda, simulasyonların niçin gerekli olduğunun farkına varmak önemlidir. Bunun nedeni, mineralleşmiş bölge boyunca tenör profilini gösteren örnek bir diyagram ile en iyi şekilde yansıtmasıdır. Tenörün uzaysal dağılımındaki gerçek yerel dalgalanmalar, birçok tahmin metoduyla düzeltilmiştir, öyle ki tahminler yerel tenör varyanslarını yansıtmamaktadır (Sinclair ve Blackwell, 2004). Tahminlerdeki bu düzeltirme etkisi nedeniyle gözlenemeyen bölgesel değişimler simülasyon haritaları ile rahatlıkla izlenebilmektedir. Bunun yanı sıra tahmin metodlarını test etmek amacıyla da koşullu simülasyon kullanılabilir. Simülasyonu test metodu olarak kullanabilmek için öncelikle bloklar simüle edilerek, orijinal veriyle aynı istatistiksel ve uzaysal özellikli değerler üretmek gerekmektedir. Oluşturulan blokların simülasyon değerlerinin ortalamaları, aynı bloklar için yapılan tahmin metodlarının sonuçlarıyla kıyaslanmalıdır. Kıyaslama çoklu istatistiksel karşılaştırma şeklinde olmalı ve korelasyon katsayıları, standart sapmaları, koşullu eğilim değerleri kontrol edilmelidir.

Saha da gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında jeolojik ve tenör devamlılığını yansıtabilmesi için koşullu simülasyon uygulamasına gidilmiştir. Koşullu simülasyon modelleri rezerv ve tenör modellerinin yaptığı gibi, tenörün düzeltilmiş tahminlerini sunmaktan ziyade, variogram modellerinde de tanıtıldığı gibi değişkenliği veya tenör dokusunu yansıtmaktadır (Coombes, 2008).

Saha modellemesinde son yıllarda öne çıkan, koşullu simülasyon tekniklerinden Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında tenör dağılımındaki bölgesel değişimlerinin yansıtılacağı blok modeller için AGS uygulanmıştır.

Temel olarak Ardışık Gauss Simülasyonu aşağıdaki işlem basamaklarında gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. AGS uygulaması temel işlem basamakları

AGS yönteminde bir bloğun simülasyon değeri, hem yakın noktalardaki bilinen değerlerden hem de daha önce simüle edilmiş değerlerden faydalanılarak gerçekleştirilmektedir. Çalışmada uygulanan AGS yönteminin temel işlem basamakları aşağıda verilmiştir.

- Tüm simülasyon yöntemlerinde verilerin normal dağılıma uyması beklenir. Tez çalışmasında kullanılan Datamine yazılımı ile verilerin logaritmik

dönüşümü işlem prosedürü içinde otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Verilerin geri dönüşümü yine işlem sonunda otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yazılımda bu özellik bulunmadığında ayrı bir prosedür yardımıyla verilerin normal dağılıma dönüştürülmesi gerekmekte ve normal dağılıma dönüştürülmüş verilerin variogramı hazırlanarak model tanımlanmaktadır.

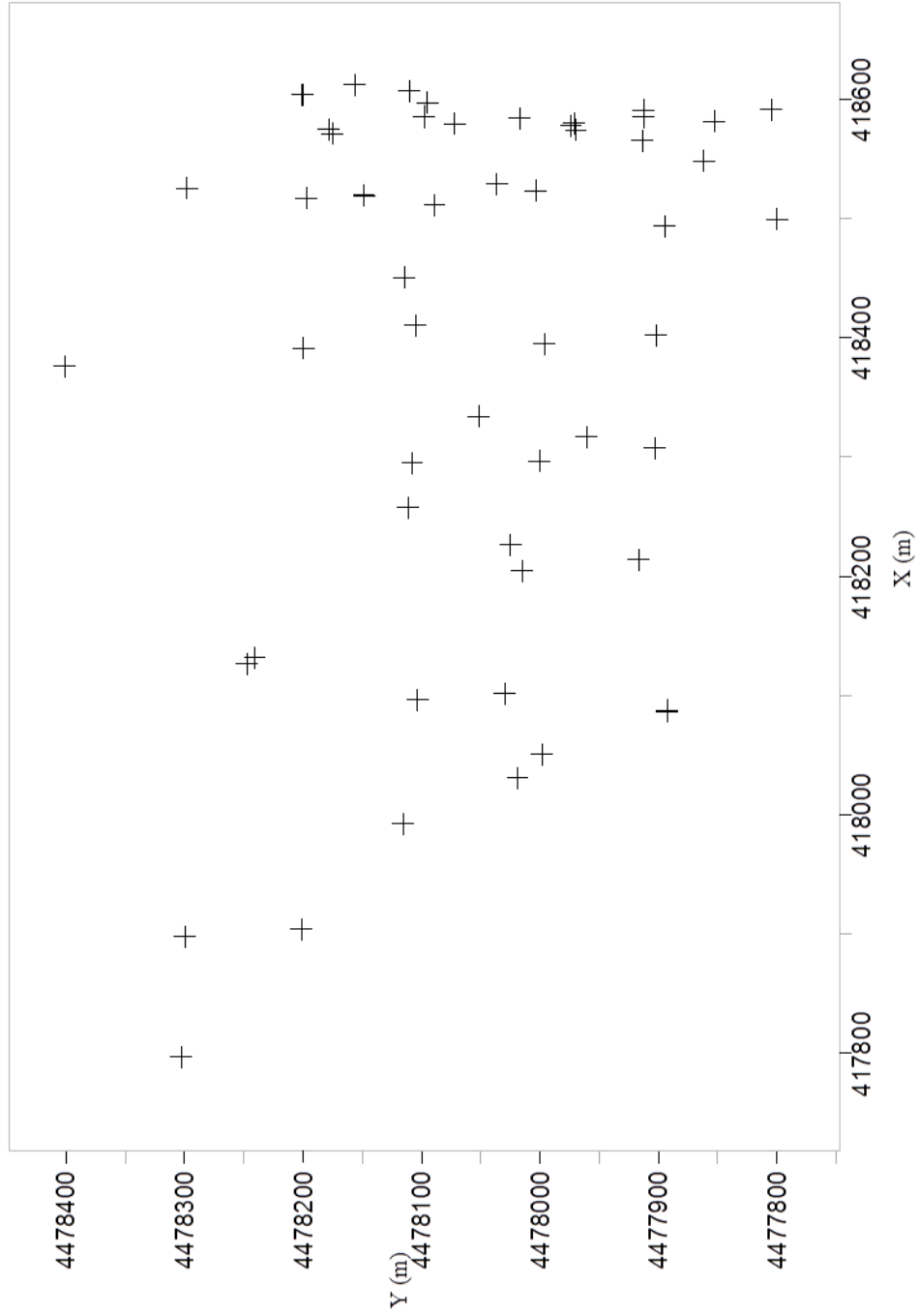
- Simüle edilecek bölgede olabildiğince küçük boyutta grid sistemi oluşturulmuştur. İşlem içerisinde, değer atanacak her noktayı sadece birkez ziyaret edecek rastgele bir yol tanımlanmıştır. İlk noktaya gidilerek en yakın örneklem değerleri tespit edilmiş ve bu değerler üzerinden kriging tahmini yapılmıştır. Kriging tahmini ve kriging varyansı kullanılarak normal bir dağılım tanımlanmış ve tanımlanan dağılım kümülatif dağılıma dönüştürülmüştür. Monte Carlo kullanılarak rastgele bir kümülatif dağılım değeri seçilerek simülasyon değeri atanmıştır. İkinci sıradaki noktaya gelindiğinde yakın örnekler tespit edilirken bir önce üretilen simüle değeride işleme katılmıştır. Tüm noktalar aynı şekilde atandıktan sonra, değerlerin geri dönüşümü yapılmıştır. Bu proses tanımlanan sayıda koşullu simülasyon elde etmek için tanımlanan sayıda ziyaret yolu belirlenerek yeniden çalıştırılmıştır.
- Simülasyon işlemi sonrası, simülasyonun geçerliliği kontrol edilmiştir. İdeal bir simülasyonda giriş verisi ve simüle edilmiş verilerin temel istatistik karakteristiklerinin eşleştirilmesi gerekmektedir. Karşılaştırma amacıyla iki veri grubunun histogram grafikleri ile dağılım yapısı da incelenmiştir. İki değişken arasındaki bölgesel detayları ve değişimin benzerliğini ortaya çıkarmak için yarıvariogram analizi kullanılmıştır. Giriş verisine ait tanımlanan variogram modeli, simülasyon sonrası verilerin deneysel yarıvariogramıyla örtüştürülmüştür. Bu şartlar sağlandığında simülasyon sonucu geçerlenmiş olabilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tez kapsamında belirlenen yatağın; rezervi ve tenör dağılımı iki ve üç boyutlu modeller halinde incelenmiş olup, öncelikle kriging teknikleri kullanılarak tahmin yapılmıştır. Tahmin verileri daha sonra blok modele işlenerek, yatağın üç boyutlu modeli oluşturulmuş ve her aşamada gerekli kontrol ve doğrulama metotları uygulanarak, en iyi tahmine ve modele ulaşmaya çalışılmıştır. Maden yatağına simülasyon tekniği kullanılarak yataktaki lokal ve bölgesel değişimler modellenmiştir.

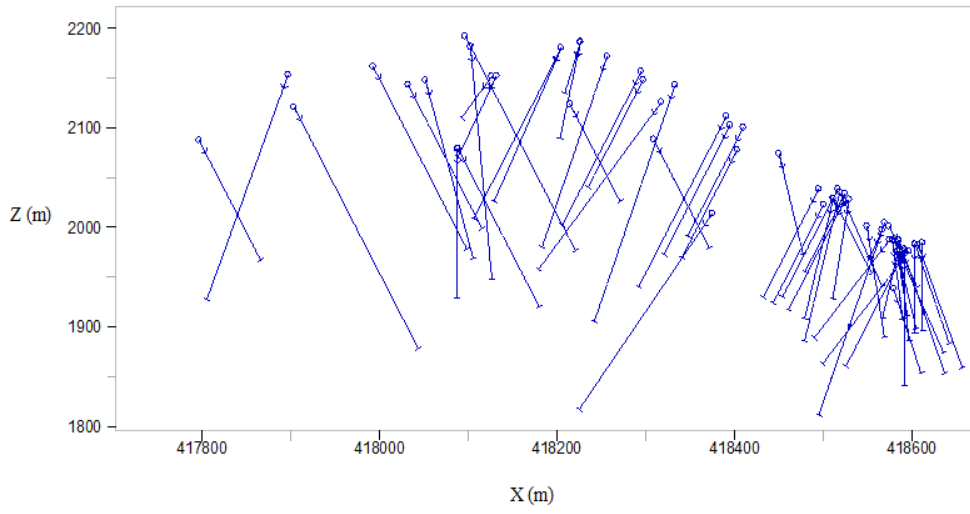
4.1. Veri Tabanı Doğrulaması

Yazılı ve dijital kaynaklar halinde bulunan veriler “Excell” ortamında birleştirilmiştir. Yazılım sisteminin gereksinimleri doğrultusunda jeolojik ve analiz verileri programa tanıtılmıştır. Bu işlem esnasında verilerin her aşamada doğruluğu sorgulanarak, aktarma sırasında oluşabilecek hatalar engellenmiştir. Veri tabanı, sondaj loglarından alınan numunelerin kimyasal analizlerinden elde edilen Au ve Ag değişkenleri ile bu değişkenlerin loglar üzerindeki konumuna işaret eden üç boyutlu sayısal bilgileri içermektedir. Au ve Ag değişkenlerinin birim değeri ppm olup, kullanılan verilerdeki farklı birimler ppm’e dönüştürülmüştür. Tüm analizler öncesinde 59 sondaj kuyusundan elde edilen mevcut toplam veri sayısı Au için 6715, Ag için 6714 olup, veri tabanı bu değişkenlere ait jeolojik ve konumsal bilgileri de içermektedir. Sondajların üç boyutlu olarak modellenebilmesi için gerekli sondaj bilgileri de (sondaj doğrultu, eğim ve toplam sondaj uzunluğu gibi) veri tabanında bütünleştirilmiştir. İşlem esnasında öncelikle sondaj koordinatları ve sondaj bilgileri “collar” dosyası yüklenmiş ve saha üzerindeki dağılımları kontrol edilmiştir (Şekil 4.1). Çalışmanın bu aşamasında, tahmin ve simülasyon uygulamasının yapılacağı programda doğru bir veri tabanı oluşturmak amaçlanmıştır.

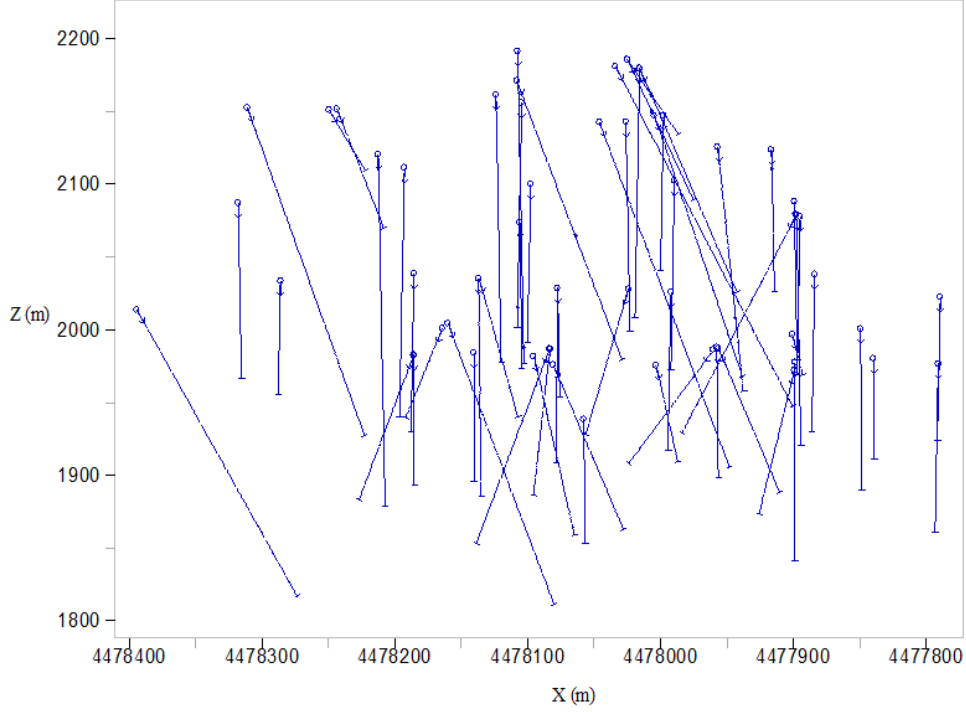


Şekil 4.1. Sahadaki sondaj lokasyonları

Tüm sondaj verileri sisteme yüklenerek, birleştirilmiştir. Birleştirme işleminden sonra sondaj kuyularını temsil etmek üzere, veriler üç boyutlu forma dönüştürülmüştür. Oluşturulan sondaj değişkenleri (X, Y, Z, Derinlik, Azimut, DIP vb.), orijinal sondajların eğim ve doğrultu parametrelerine uygun olarak dizayn edilmiş, D-B ve K-G yönlerinde alınan kesitler ile bu parametreler doğrulanmıştır (Şekil 4.2 ve 4.3).



Şekil 4.2. D-B yönünde sondajların dikey kesiti



Şekil 4.3. K-G yönünde sondajların dikey kesiti

4.2. Veri Analizi

Jeoistatistiksel analiz öncesinde yapılan, değişkenlerin birbirleriyle ilişkisi, verilerin merkezi eğilim ve değişkenlik ölçülerinin belirlenmesi, veri analizi olarak adlandırılmıştır.

Normal dağılıma uymayan bir veri seti ile yapılan tahminlerde beklenen değerlerden az (underestimation) veya beklenen değerden fazla tahmin (overestimation) yapılabilmektedir. Bir veri setinin merkezi eğilim ölçüleri hem sayısal olarak hesaplanabilir hem de grafiksel olarak ifade edilebilir. Veri setinde sayısal olarak merkezi eğilim ölçülerinden olan ortalama, mod, medyan; değişim veya dağılım ölçülerinden olan çarpıklık ve sivrilik hesaplanarak verinin dağılımı hakkında bilgi elde edilmektedir. Olasılık grafikleri ve histogram ise verilerin dağılımının grafiksel olarak yorumlanmasında kullanılmaktadır. Geoistatistiksel

analizlere geçmeden önce verilerin tanımlayıcı istatistiklerinin hesaplanması gerekmektedir (Ersoy ve Yünsel, 2008).

Veri analizi çalışmalarında, altın ve gümüş veri setlerinin merkezi eğilim ölçümleri hem sayısal hem de grafiksel olarak sunulmuştur. Merkezi eğilim ölçülerinden aritmetik ortalama, medyan; dağılım ölçülerinden standart sapma, varyans, değişim katsayısı çarpıklık ve sivrilik hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sırasıyla, aykırı değer analizleri, kompozit mesafelerinin belirlenmesi ve kümelenme analizleri üzerinde çalışılmıştır. Çalışmalar boyunca oluşan yeni veri setlerinin merkezi eğilim ve değişkenlik ölçüleri belirlenmiştir.

4.2.1. Altın Verilerinin Analizi

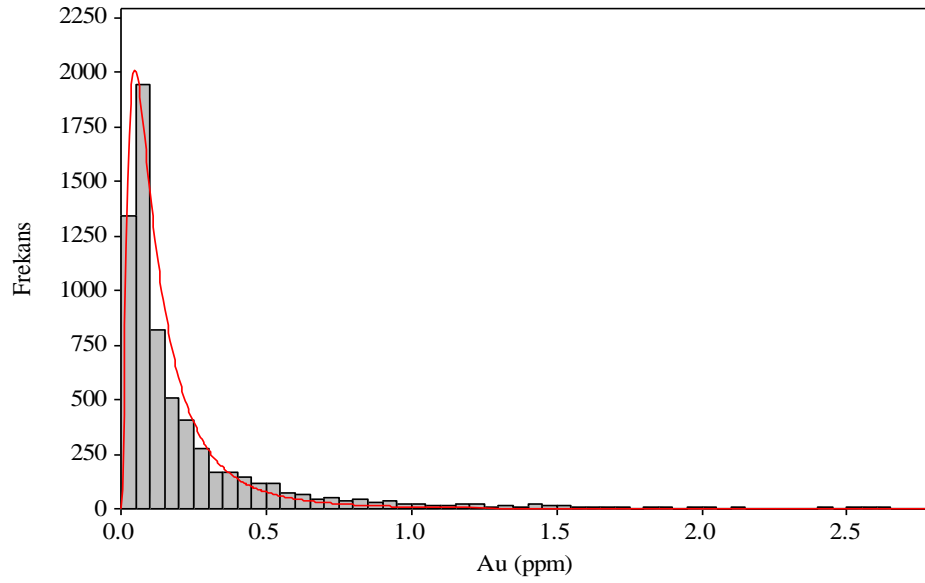
4.2.1.1. Altın Ham Verilerinin Değerlendirilmesi

Sondaj verilerinin üç boyutlu doğrulaması yapıldıktan sonra verilerin temel istatistiki dağılım analizleri yapılmıştır. Bu değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmış olup, histogram ve olasılık grafikleri çizilmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.4 ve 4.5).

Ham verilerin özet istatistiğine bakıldığında (Çizelge 4.1.) medyan ve ortalama değerlerinin birbirine yakın olmaması, çarpıklık ve sivrilğin yüksek değerlerde olması verilerin normal dağılıma uymadığını göstermektedir. Değişim katsayısının 1.5'dan yüksek olması da veride aykırı değerlerin olduğuna işaret etmektedir. Histogram grafiğinde simetrik bir dağılım görülmemiş, olup, veri dağılımının sağa çarpık olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.4). Verilerin 0 ile 1 aralığında yığılması nedeniyle olasılık grafiklerinin daha rahat anlaşılması açısından logaritmik olasılık grafiği oluşturulmuştur. Madencilik çalışmalarında genellikle kümülatif olasılık grafikleri kullanılmaktadır. Olasılık grafikleri incelenirken tenör değerlerinin tüm veriler içerisinde ki yüzdesel dağılımları da görülmektedir

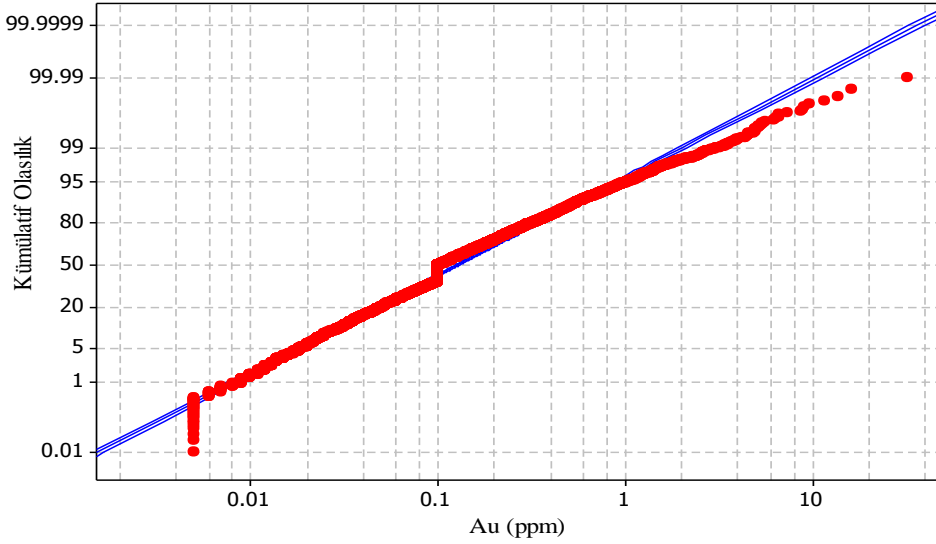
Çizelge 4.1. Ham altın verilerinin tanımlayıcı istatistikleri.

Değişken	Au (gr/ton)
Veri Sayısı	6715
Minimum	0.005
Maksimum	32.1
Aritmetik Ortalama	0.289
Medyan	0.101
Standart Sapma	0.756
Varyans	0.572
Değişim Katsayısı	2.621
Çarpıklık	16.91
Sivrilik	540,01
Alt Çeyrek	0.061
Üst Çeyrek	0.256



Şekil 4.4. Au ham verisinin histogram grafiği

Şekil 4.5’de ham Au verisinin kümülatif olasılık grafiği bulunmaktadır. Logaritmik eğri ile gözlenen veriler uyumlu değildir. Şekilde diyagonal çizgiden sapmalar görülmektedir. Özellikle 0.005 ppm civarındaki yığılma açıkça göze çarpmaktadır. Bunun nedeni aykırı değer analizinde ayrıca irdelenmiştir. 8 ppm’den sonra ise kopma ve sapmalar belirginleşmiştir. Bu kopma ve sapmalar aykırı değerlerin analizinde kullanılmıştır. Kümülatif olasılık grafiği yardımıyla aykırı değer analizleri için limitler tespit edilmiş, veri bir sonraki bölümde dağılım açısından tekrar değerlendirilmiştir.



Şekil 4.5. Au ham verisinin olasılık grafiği

4.2.1.2. Altın Verilerinin Aykırı Değer Analizi

Aykırı değer analizine Sinclair ve Blackwell, 2004’te de işaret edildiği gibi olasılık grafiklerinden yararlanılarak belirlenen sınır değerler yardımıyla üstten kesme yöntemiyle başlanmıştır. Altın veri seti için Şekil 4.5’te lineer doğrudan sapmanın başladığı sınır değerler tespit edilmiştir. Au için 3 ppm, 4 ppm, 5 ppm, 6 ppm, 7 ppm ve 8 ppm olarak seçilen değerler ve üstündeki değerler uzaklaştırılmış olup her bir veri aralığı için özet istatistiği hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

Aykırı değer limitleri incelenirken, analize dahil edilmeyecek veri sayısının miktarı da değerlendirilmiştir. Her limit değer için kalan, atılan değerlerin sayısı belirlenmiş ve kalan veriler, tüm verilere oranlanarak yüzdesel oranları Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Au limit tenör değerleri ve tanımlayıcı istatistikleri

İstatistik	Limit tenör değerleri (ppm)						
	Au	Au<3	Au<4	Au<5	Au<6	Au<7	Au<8
Toplam Veri Sayısı	6715	6644	6672	6690	6701	6706	6707
Aritmetik Ortalama	0.29	0.23	0.25	0.26	0.27	0.27	0.27
Medyan	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Standart sapma	0.76	0.35	0.41	0.46	0.50	0.53	0.54
Varyans	0.57	0.12	0.17	0.21	0.25	0.28	0.29
Değişim Katsayısı	2.62	1.49	1.64	1.79	1.89	1.96	1.98
Minimum	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Maksimum	32.1	2.99	3.99	4.99	5.58	6.7	7.31

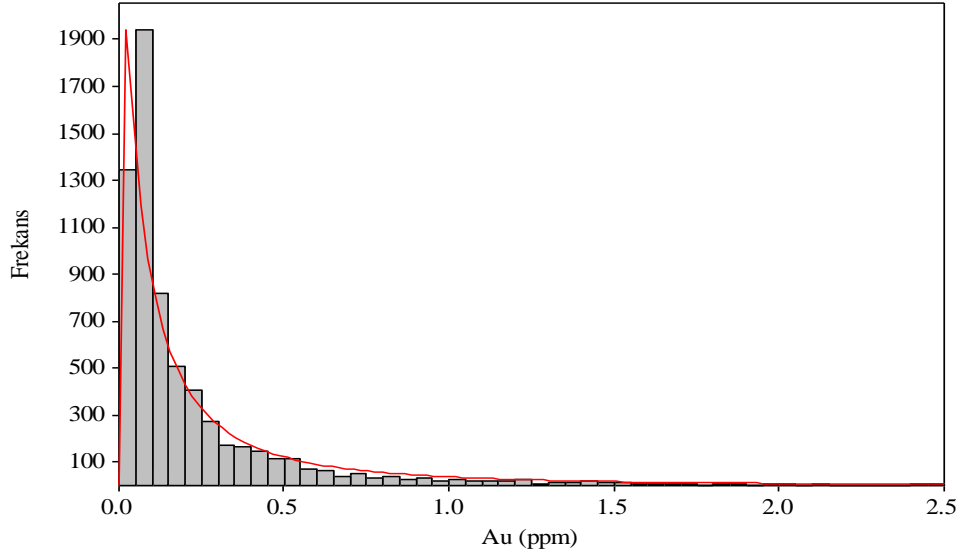
Çizelge 4.3. Au aykırı değer analizinde kullanılan veri sayıları ile oranları

Aykırı Değer Sınırı (ppm)	Kalan (Adet)	Atılan (Adet)	Kalan (%)	Ham Veri Sayısı
<3	6644	71	98.94	6715
<4	6672	43	99.36	
<5	6690	25	99.63	
<6	6701	14	99.79	
<7	6706	9	99.87	
<8	6707	8	99.88	

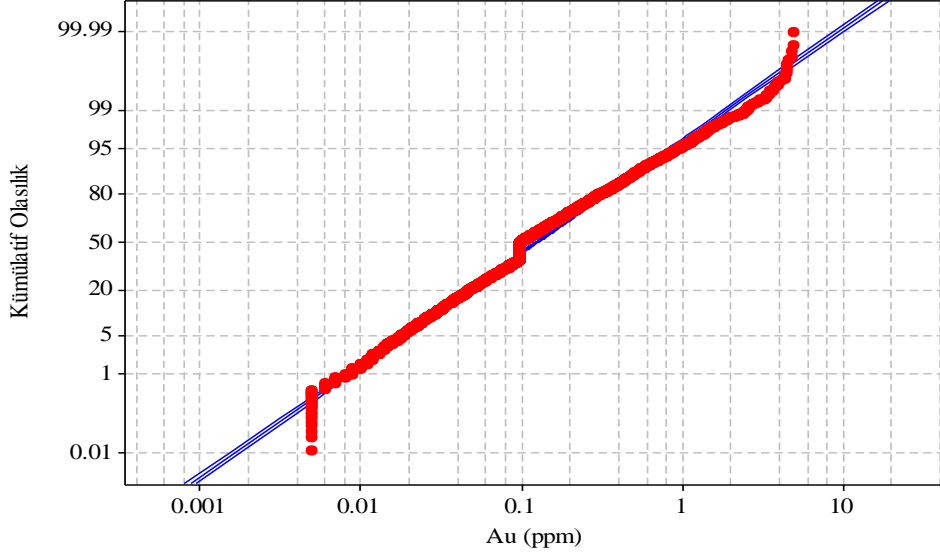
Çizelge 4.2 incelendiğinde Au için veri sayısının azalmasına bağlı olarak istatistik parametre değerlerinin düşüş eğiliminde olduğu gözlenmiştir. 5ppm sınırından itibaren standart sapma, varyans ve değişim katsayılarında belirgin bir düşüş görülmüştür. Bu değerden sonra ham verilere kıyasla dağılım ölçülerinde

göze çarpan bir iyileşme vardır. Buna karşın, merkezi eğilim ölçüleri normalleşmeye başlamıştır. Populasyon özelliklerinin olabildiğince korunması amaçlandığından aykırı değer sınırının bu değerden aşağıya çekilmesi uygun görülmemiştir. Atılan ve kalan veri sayıları incelenmiş, Çizelge 4.3 yardımıyla verinin temsil edilebileceği aykırı değer limiti, %99.63'ün üzerinde kalan 5 ppm değeri olarak belirlenmiştir. Böylece yeni veri setinde ham verilerin olabildiğince temsil edilmesi sağlanmıştır. Aykırı değer analizi ile belirlenen sınırlar dışında kalan veriler veri setinden atılmış olup, oluşturulan yeni veri setinin histogram ve olasılık grafiği Şekil, 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.

Yeni veri seti ile oluşturulan dağılım, ham veri setinden daha düzenli hale gelse de normal dağılım göstermemiştir (Şekil 4.6). Şekil 4.5 ile Şekil 4.7 karşılaştırıldığında gibi verilerdeki kopmaların ve uygunsuzlukların devam etmekte olduğu gözlenmiştir. Verinin doğal yapısını bozmamak şartı ile kümeleme ve uyumsuzlukları gidermek için kompozit yapılmasına karar verilmiştir.



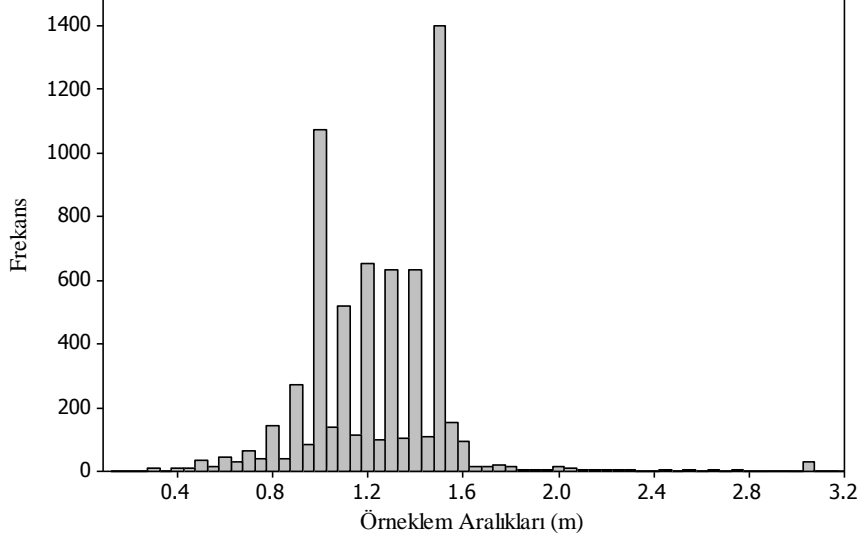
Şekil 4.6. Au aykırı değer analizi sonrası histogram grafiği



Şekil 4.7. Au aykırı değer analizi sonrası olasılık grafiği

4.2.1.3. Altının Kompozit Analizi

Kompozit analizi ihtiyacının olup olmadığının kontrolü için numune alma aralıklarına ait histogram grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.8). Histogram örneklem aralıklarının düzenli olmadığını göstermektedir. Düzenli olmayan örneklem aralıkları kompozit gerekliliğine işaret etmektedir (Coombes, 2008). Bir veya birkaç örneklem aralıklarında yığılma olamaması kompozit mesafesi hakkında bir bilgi vermemektedir.



Şekil 4.8. Örneklem (numuneleme) aralıklarının histogramı

Kompozit analizindeki amaç, belirli kompozit aralıklarında hesaplanan tanımlayıcı istatistik değerlerinin ana populasyonu olabildiğince iyi temsil ettiği kompozit aralığını bulmaktır. Kompozit mesafesine karar verilirken, yüksek kompozit mesafesi vererek sondaj loglarındaki dağılımı düzeltmek yerine, tekrarlayan değerleri birleştirerek yüksek varyans ile birlikte çarpıklık ve sivriligi de düşürmek hedeflenmiştir. Temel olarak karot verimi yüksek sondaj kuyularındaki en yüksek örneklem aralığı baz alınmalıdır. Kompozit aralığı, maksimum örneklem aralığının %50'sinden az veya çok olmaması beklenmektedir (Coombes, 2008). Çalışma sahasındaki sondajlarda karot verimi oldukça iyidir ve ortalaması %90'dan yüksektir (Vigar ve ark., 2009). Sondajların dikey ekseninde maksimum örneklem aralığı 3.8 m olduğundan 3m, 4m, 5m, 6m aralıklar seçilerek elde edilen kompozit verilerin özet istatistik parametreleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Kompozit analizi sonucunda kompozit mesafelerinden elde edilen veriler ile aykırı değer analizi sonrası özet istatistikleri karşılaştırılmıştır. Uygun bir analizde ham ve kompozit verilerin merkezi eğilim ölçülerinin (ortalama ve

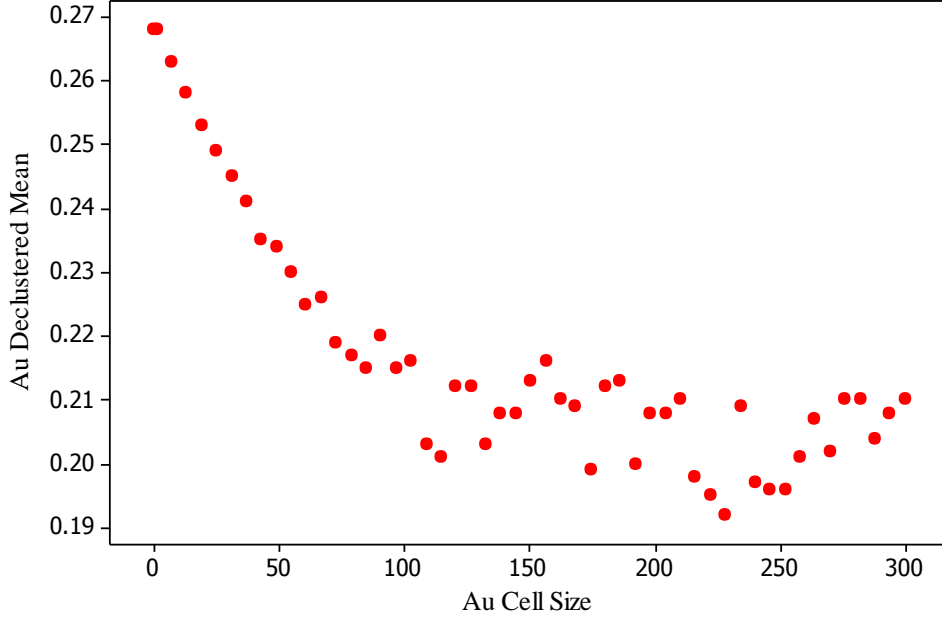
medyan) birbirine yakın, standart sapma, varyans, çarpıklık ve sivrilik daha düşük olması beklenir. Çizelge 4.4 incelendiğinde 6 m'lik kompozit mesafesi temel istatistikler açısından göze çarpsa da çarpıklık ve sivrilik, 4 m'lik kompozit mesafesinde endüyük değerlere sahiptir. Özet istatistikleri karşılaştırıldığında, merkezi dağılım ölçütleri, standart sapma, varyans, çarpıklık ve sivrilik değerlerinin tümü düşünüldüğünde 4 m'lik kompozit mesafesi uygun görülmüştür(Çizelge 4.4).

Çizelge 4. 4. Au kompozit verilerinin tanımlayıcı istatistikleri

İstatistik	Kompozit Mesafesi (m)				Aykırı Değer Analizi Sonrası
	3	4	5	6	
Toplam Veri Sayısı	2820	2111	1698	1408	6690
Aritmetik Ortalama	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Medyan	0.12	0.12	0.13	0.13	0.10
Standart Sapma	0.44	0.43	0.43	0.42	0.46
Varyans	0.2	0.19	0.18	0.17	0.21
Değişim Katsayısı	1.69	1.65	1.63	1.54	1.79
Çarpıklık	4.77	4.69	4.9	4.74	5.05
Sivrilik	29.32	28.24	31.72	29.52	34.36

4.2.1.4. Altın Verilerinde Kümelenme Etkisinin Dağıtılması (Declustering)

Sondaj çalışmalarının, genellikle yüksek tenörün yakalandığı alanlarda yoğunlaşması sık karşılaşılan bir durumdur. Çalışma sahasında da olduğu gibi sondajların dağılımı, belirli noktalarda yığılma gösterdiğinde, kümelenme etkisinin dağıtılması gerekmektedir. Kompozit verileri içerisindeki kümelenmeleri dağıtmak için kümelenme analizi yapılmıştır. Veriler çeşitli boyutlarda hücreler kullanılarak kümelenmiştir. Kümeleme işlemi tüm hücre boyutları için gerçekleştirilmiş ve hücre boyutlarına karşı kümelenmiş verilerin ortalamalarının yansıtıldığı dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Kümeleme ortalamalarına karşı hücre boyutu (Au)

Hücre boyutu 100 m'yi geçtiğinde, ortalamalarda farklılıklar göstermiştir (Şekil 4.9). Tahmin işleminin 100 m boyutlarındaki hücreler ile gerçekleştirilmesi uygun değildir. Böyle bir durum düzeltme etkisini arttıracak, böylece tahmin hassasiyeti de azalacaktır. Kümeleme etkisini görmek amacıyla, Au verisi için 10 metrelik hücre boyutları kullanılarak kümleme (decluster) işlemi yapılmıştır. Kümeleme analizi sonrasında verilerde meydana gelen değişimi gözlemleyebilmek için, analiz sonuçlarından elde edilen verilerin tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.5).

Kompozit analizi sonrası istatistik parametreleri ile kümeleme analizi sonrası parametreler karşılaştırıldığında eğilim ölçülerinde önemli ve belirgin bir değişim gözlenmemiş, dağılım ölçüleri ise bozulmuştur. Bunlara ek olarak, yüksek grid boyunun yol açacağı düzeltme etkisi tahmini olumsuz etkileyeceğinden kümelenme etkisinin giderilmemesine karar verilmiştir.

Çizelge 4.5. Au kümelenme analizi sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler

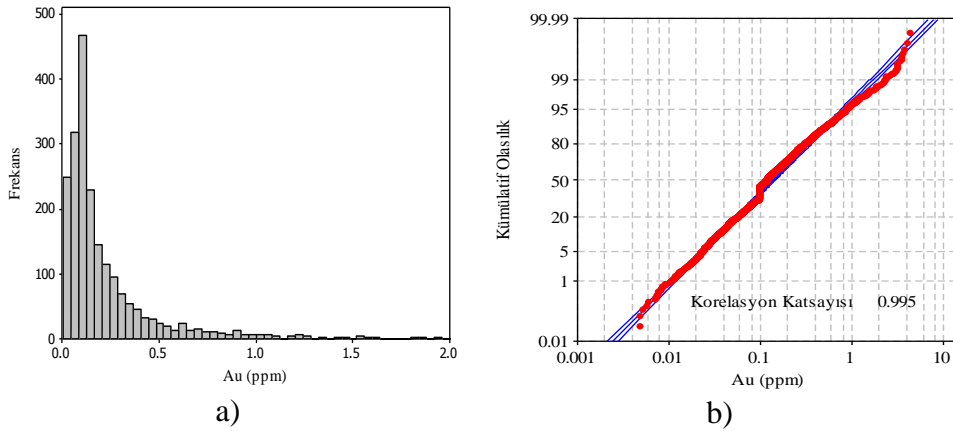
	Kompozit Analizi Verileri	Kümeleme Analizi Verileri
Veri Sayısı	2111	1027
Minimum	0.005	0.005
Maksimum	4.54	4.54
Aritmetik Ortalama	0.26	0.26
Medyan	0.12	0.12
Standart Sapma	0.43	0.42
Varyans	0.19	0.18
Değişim Katsayısı	1.65	1.64
Çarpıklık	4.69	4.80
Sivrilik	28.24	29.79
Alt Çeyrek	0.07	0.07
Üst Çeyrek	0.26	0.28

4.2.1.5. Altın Veri Analizinin Değerlendirilmesi

Tahmin işlemi kümelenme etkisi dağıtılmadan kompozit verileri üzerinden gerçekleştirilmiş olup, söz konusu verilerin özet istatistiğine bakıldığında (Çizelge 4.5) medyan ve ortalama değerlerinin birbirine yakın olmaması, çarpıklık ve sivrilik yüksek değerlerde olması verilerin normal dağılıma uymadığını göstermektedir. Başka bir deyişle, veri seti aşırı sağa çarpık (pozitif çarpık) bir dağılım göstermektedir. Kompozit analizlerinin sonucu oluşan yeni veri setinin dağılımındaki değişimi görmek için histogram ve olasılık grafikleri hazırlanmıştır (Şekil 4.10). Histogram grafikleri incelendiğinde göze çarpan sağa çarpık dağılım, verinin özet istatistiklerini doğrulamaktadır (4.10a). Probabilite (olasılık) grafiklerinin X eksenini logaritmik ölçek, Y eksenini ise probabilitenin (olasılık) ölçeğinden oluşturulmuştur. Örneğin altının kompozit analizi neticesinde hazırlanan olasılık grafiğinde numunelerin %50'sinin tenörü 0.1 ppm'in altındadır. Aynı şekilde verilerin %95'i ise 1 ppm'in altındadır (Şekil 4.10b). Verilerin lognormal diyagonal eğri ile olan uyumu oldukça iyidir. Verinin diyagonal eğri ile olan

korelasyon katsayısı 0.995 olup, bu özellik veri dağılımının sağa çarpık olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4.10b).

Sonuç olarak hem histogram hem de olasılık grafiklerinden görüldüğü gibi tüm değişkenlerde asimetrik pozitif bir dağılım, çok aşırı sağa sapma sergilediği ve dolayısıyla değişkenlerin kompozit verilerinin normal dağılıma uymadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.10. Altın kompozit analizi sonrası a) Histogram ve b) Olasılık grafiği

4.2.2. Gümüş Verilerinin Analizi

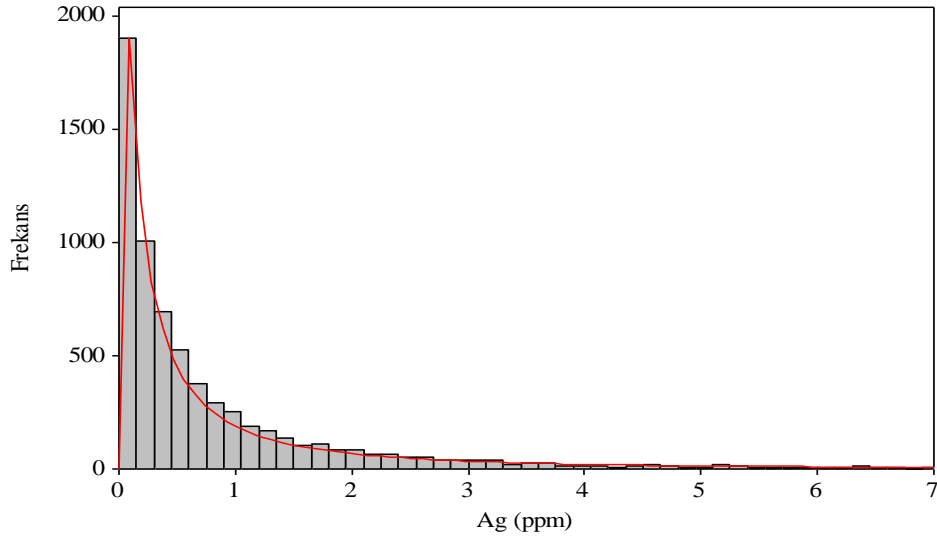
4.2.2.1. Gümüş Ham Verilerinin Değerlendirilmesi

Gümüş ham verilerinin genel durumunu anlamak için temel tanımlayıcı istatistik analizleri yapılmıştır. Bu analizler neticesinde elde edilen Ag değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik parametreleri hesaplanmış olup, histogram ve olasılık grafikleri çizilmiştir (Çizelge 4.6 ve Şekil 4.11, 4.12).

Çizelge 4.6. Ham gümüş verilerinin tanımlayıcı istatistikleri

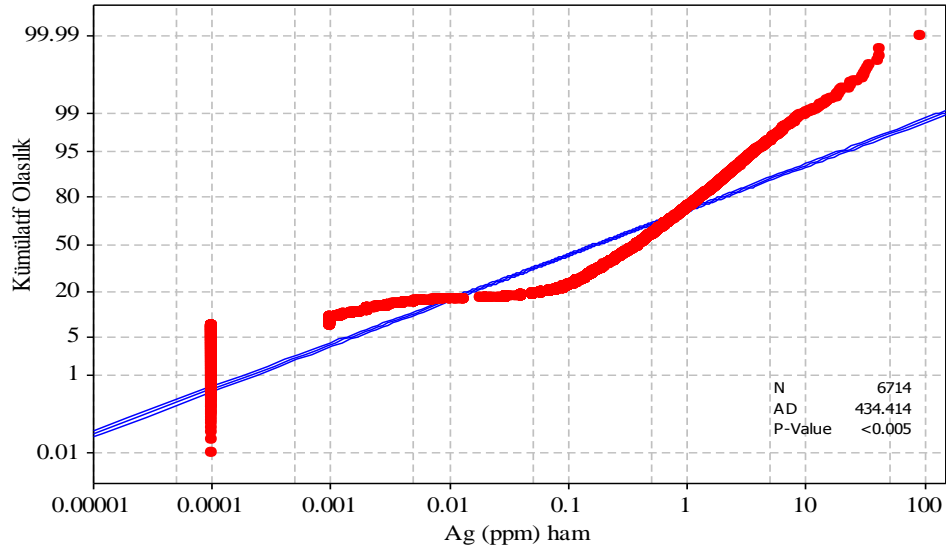
Değişken	Ag (gr/ton)
Veri Sayısı	6714
Minimum	0.0001
Maksimum	91.5
Aritmetik Ortalama	1.027
Medyan	0.390
Standart Sapma	2.549
Varyans	6.495
Değişim Katsayısı	2.481
Çarpıklık	12.62
Sivrilik	299.790
Alt Çeyrek	0.120
Üst Çeyrek	1.040

Çizelge 4.6 incelendiğinde merkezi eğilim ölçülerinin (aritmetik ortalama ve medyan) birbirlerine yakın olmadığı gözlenmiştir. Aynı şekilde başta çarpıklık ve sivrilik olmak üzere dağılım ölçüleri yüksek değerlere sahiptir. Gümüş verilerinin tanımlayıcı istatistik parametrelerinin değerlendirilmesinde normal dağılıma sahip olmadığı belirlenmiştir. Değişim katsayısı 2.48 değeriyle, aykırı değerlerin varlığını düşündürmektedir.



Şekil 4.11. Ag ham verisinin histogram grafiği

Oluşturulan histogram grafiğinde görüldüğü gibi veri dağılımının sağa çarpık olduğu ve veri dağılımında kümelenme veya bölünme olmadığı gözlenmiştir (Şekil 4.11). Verilerin 0 ile 1 aralığında yığılması nedeniyle olasılık grafiğinin daha rahat anlaşılması için logaritmik grafik oluşturulmuştur. Şekil 4.12’de ham gümüş verilerinin kümülatif olasılık grafiği bulunmaktadır. Olasılık grafiği yardımıyla aykırı değer analizi için limitler tespit edilmiş olup, verilerin aykırı değer analizi, olasılık grafiği bilgileri ışığında değerlendirilmiştir.



Şekil 4.12. Ag ham verisinin olasılık grafiği

Grafikte belirgin olarak, verilerden kopmalar ve diyagonal logaritmik çizgiden sapmalar görülmektedir. Özellikle 0.0001 ve 0.001 ppm aralığında göze çarpan bir yığılma ve kopma mevcuttur. Ag ham verisindeki belirli bir noktada veya bir bölgede yığılan ve kopma gösteren değerlerin nedenleri aykırı değer analizinde ayrıca incelenmiştir.

4.2.2.2. Gümüş Verilerinin Aykırı Değer Analizi

Altın verilerinin aykırı değerlerinin tespitinde kullanılan yaklaşım, Gümüş verilerinde de aynı şekilde kullanılmıştır. Gümüşün aykırı değer analizi Şekil 4.13'ten yararlanılarak. Ag veri seti için grafikte lineer doğrudan sapmanın başladığı düşünülen üst sınır değerler tespit edilmiştir. Ag için 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm ve 50 ppm olarak seçilen değerler ve üzeri, veri setinden uzaklaştırılmış olup her bir veri aralığı için tanımlayıcı özet istatistiği hesaplanmıştır (Çizelge 4.7). Şekil 4.12'den anlaşıldığı üzere 0.001 ppm değerinin altında bir yığılma söz konusudur. Bu yığılmaya neden olan verilerin bulunduğu sondajlar ile bunlara en yakın sondajlar (bazı sondajların arasındaki mesafe 5 m'den daha düşük) incelenmiş veri değerleri arasında uyumsuzluk gözlenmiştir. Özellikle ES olarak başlıklandırılan sondaj serisindeki bazı sondajlarda, boş olarak geçilmiş bölümlere çok yakın konumlanmış diğer sondajlarda veri olduğu gözlenmiştir. Sondaj çalışmaları sırasında karot kayıpları ve numune alamama gibi nedenlerle değer okunamayan 587 noktada 0.001 ppm değeri kullanılmıştır (Vigar ve ark., 2009). Söz konusu veriler, veri setine yapay olarak eklendiği için çalışmaya dahil edilmemesine karar verilmiştir. Bu nedenle Ag için 0.001 ppm ve 0.0001 ppm değerlerinin üzerinde kalan verilere ait özet istatistikleri de hesaplanarak incelenmiştir (Çizelge 4.7).

Gümüşün aykırı değer analizine dahil edilmeyecek veri sayısı da ayrıca incelenmiştir. Belirlenen limit değerlerine ait kalan, atılan değerlerin sayısı ile kalan verilerin yüzdesel oranlar Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Ag limit tenör değerleri ve tanımlayıcı istatistikleri

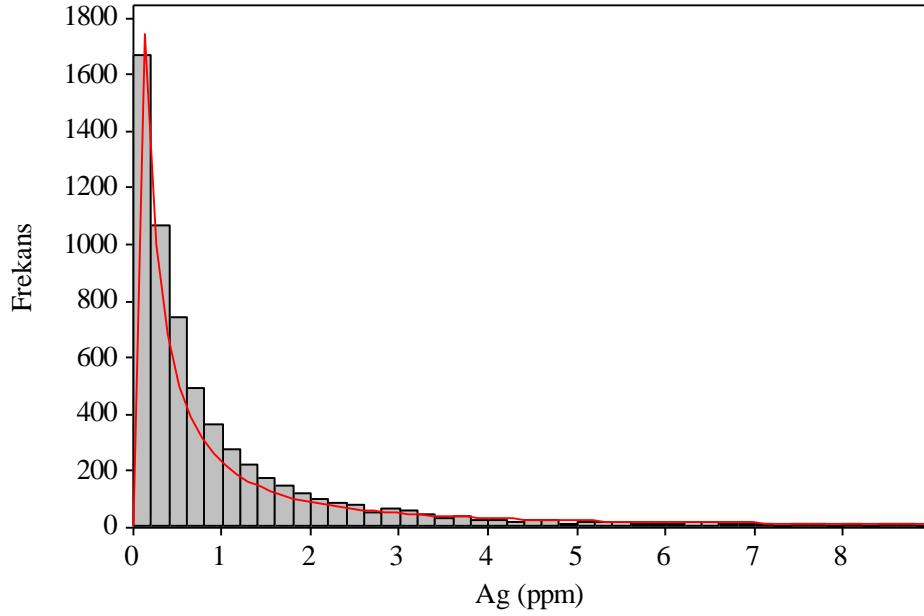
İstatistik	Limit tenör değerleri (ppm)							
	Ag	Ag<10	Ag<20	Ag<30	Ag<40	Ag<50	0.0001<Ag Ag<20	0.001<Ag Ag<20
Toplam Veri Sayısı	6714	6651	6696	6705	6711	6713	6196	6045
Aritmetik Ortalama	1.03	0.84	0.94	0.97	1.00	1.01	1.01	1.04
Medyan	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.45	0.46
Standart Sapma	2.55	1.28	1.71	1.92	2.13	2.30	1.76	1.77
Varyans	6.50	1.63	2.94	3.69	4.55	5.28	3.10	3.15
Değişim Katsayısı	2.48	1.52	1.83	1.99	2.14	2.27	1.74	1.71
Minimum	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.001	0.0011
Maksimum	91.5	9.7	19.6	29.9	33.8	42.3	19.6	19.6

Çizelge 4.8. Ag aykırı değer analizinde kullanılan veri sayıları ile oranları

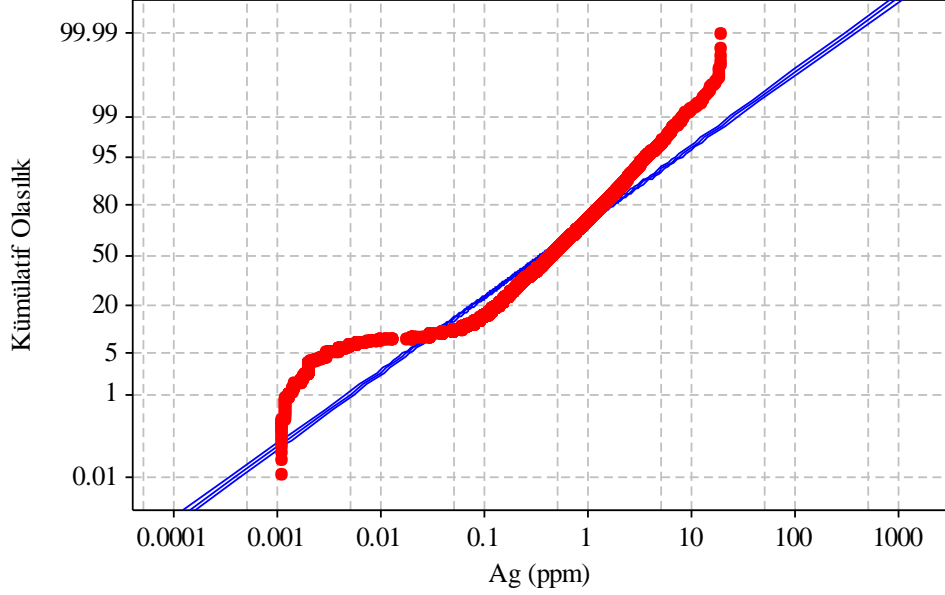
Aykırı Değer Sınırı (ppm)		Kalan	Atılan	Kalan	Ham Veri Sayısı
		(Adet)	(Adet)	(%)	
<10		6644	70	98.96	6714
<20		6672	42	99.37	
<30		6690	24	99.64	
<40		6701	13	99.81	
<50		6706	8	99.88	
<20	0.0001>	6196	518	92.28	
	0.001>	6045	669	90.04	

Aykırı değer analizi çalışmalarında merkezi dağılım ölçülerinin değerleri korunmaya çalışılmakta aynı şekilde orijinal verilere ait değişim ölçülerinin değerleri düşürülmeye çalışılmaktadır. Şekil 4.7 incelendiğinde 0.001 ppm – 20 ppm aralığının, merkezi eğilim ve dağılım ölçüleri açısından en uygun yapıyı sergilediği gözlenmiştir.

Sonuç olarak Ag için alt sınırı 0.001 ppm, üst sınır ise 20 ppm olarak belirlenmiştir. Aykırı değer analizi ile belirlenen sınırlar dışında kalan 669 veri, veri setinden uzaklaştırılmış olup, oluşturulan yeni veri setinin histogram ve olasılık grafiği (Şekil 4.13 ve 4.14) verilmiştir.



Şekil 4.13. Ag aykırı değer analizi sonrası histogram grafiği



Şekil 4.14. Ag aykırı değer analizi sonrası olasılık grafiği

Aykırı değer analiz verileri ile oluşturulan histogramdaki dağılım, ham veri grafiğinden daha düzenli olmakla birlikte aşırı sağa çarpık yapı değişmemiştir (Şekil 4.14). Olasılık grafiğindeki kopmaların ve diğer uygunsuzlukların devam etmesi neticesinde kompozit çalışması yapılmasına karar verilmiştir.

4.2.2.3. Gümüşün Kompozit Analizi

Altına ait kompozit analizi bölümünde, örneklem aralıklarının kompozit işlemi için uygun olduğu belirlenmiştir. Kompozit analizi ihtiyacının olup olmadığının kontrolü için numune alma aralıklarına ait histogram grafiği daha önce incelenmiştir (Şekil 4.8). Grafik incelendiğinde kompozit analizine uygun olduğu gözlenmiş, fakat kompozit mesafesiyle ilgili bir tahmin yapılamamıştır.

Altın verilerinde kullanılan kompozit mesafesi belirleme yaklaşımı bu bölümde de aynı şekilde kullanılmıştır. Maksimum örneklem aralığı (3.8m) göz önüne alınarak belirlenen 3m, 4m, 5m, 6m uzunluklarındaki kompozit verilerin özet istatistikleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Ag kompozit verilerinin tanımlayıcı istatistikleri

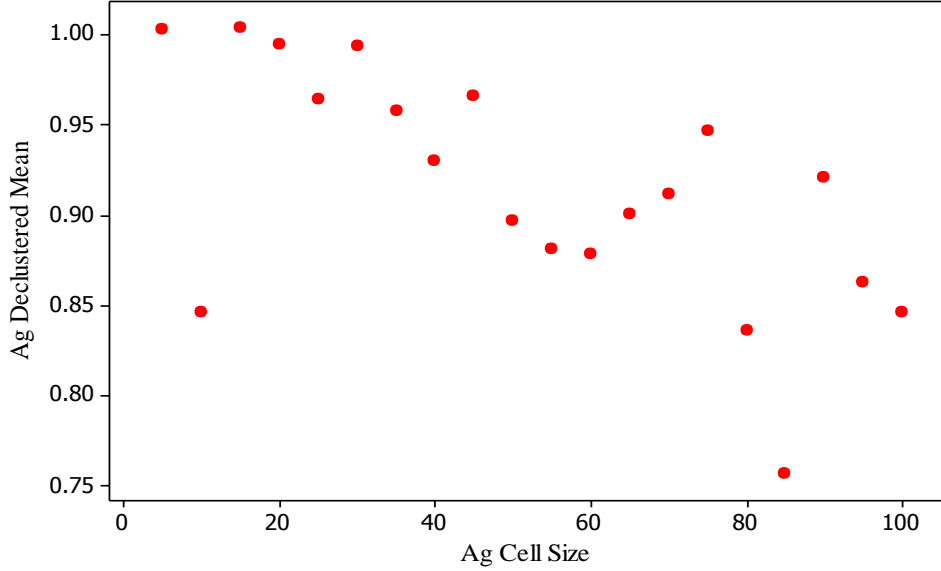
İstatistik	Kompozit Mesafesi (m)				Aykırı Değer Analizi Sonrası
	3	4	5	6	
Toplam Veri Sayısı	2621	1943	1577	1309	6045
Aritmetik Ortalama	1.02	1.02	1.03	1.02	1.04
Medyan	0.49	0.52	0.52	0.54	0.46
Standart Sapma	1.62	1.51	1.56	1.50	1.77
Varyans	2.62	2.29	2.42	2.25	3.15
Değişim Katsayısı	1.58	1.49	1.51	1.47	1.71
Çarpıklık	4.22	3.73	3.96	3.86	4.86
Sivrilik	26.21	19.42	22.56	21.92	33.48

Aykırı değer analizi sonrasında elde edilen veriler ile belirlenen kompozit mesafelerinden elde edilen verilere ait temel istatistik parametreler karşılaştırılmıştır. Aritmetik ortalama ve medyan gibi eğilim ölçüleri tüm kompozit mesafelerinde ve aykırı analiz sonuçlarının değerleri ile benzer özellik göstermiştir. Dağılım ölçüleri incelendiğinde en küçük çarpıklık ve sivrilik katsayıları 4 m'lik kompozitte izlenmiş olup diğer ölçüler de (standart sapma, varyans ve değişim katsayısı) aykırı değer analizi sonrası verilerden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak, 4 m'lik kompozit mesafesi, temel istatistik parametreler ve sondaj loglarındaki örneklerin karot uzunlukları açısından en uygun aralık olarak değerlendirilmiştir.

4.2.2.4. Gümüş Verilerinde Kümelene Etkisinin Dağıtılması

Gümüş kompozit verileri içerisindeki kümelene meleri ve yığılmaları ayıklayabilmek için kümelene analizi yapılmıştır. Bu amaçla çeşitli grid boyutlarında kümeleme işlemi gerçekleştirilmiş ve kümelene verilerin

ortalamları ile bu ortalamaların hesaplandığı hücre boyutlarının dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Kümeleme ortalamalarına karşı hücre boyutu (Ag)

Şekil 4.15 incelendiğinde hücre boyutunun 60 m'yi geçtiğinde, ortalamalardaki değişim artmaktadır. Ancak 60 m'lik bir grid sisteminde kümeleme etkisini gidermeye çalışmak, veri setinde belirgin ve sahte bir düzleşme göstereceğinden altın verisinde de olduğu gibi tercih edilmemiştir. Kümelenmedeki değişimi anlamak ve 60 metrelik hücre boyutu dışındaki kümeleme davranışını gözlemlemek için Ag verisi 10 metrelik hücre boyutları kullanılarak kümeleme (decluster) işlemine tabi tutulmuştur. Değişimi gözlemlemek amacıyla kümeleme analizi sonuçlarından elde edilen verinin tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.10). Kompozit ve kümeleme analizi özet istatistik sonuçları incelendiğinde küçük değişimler olsada, gerek merkezi eğilim ölçülerinde gerekse dağılım ölçülerinde tahmini önemli şekilde etkileyecek bir fark görülmemiştir. Kümeleme analizinin belirgin bir etkisi olmadığı göz önüne alındığında, tahmin

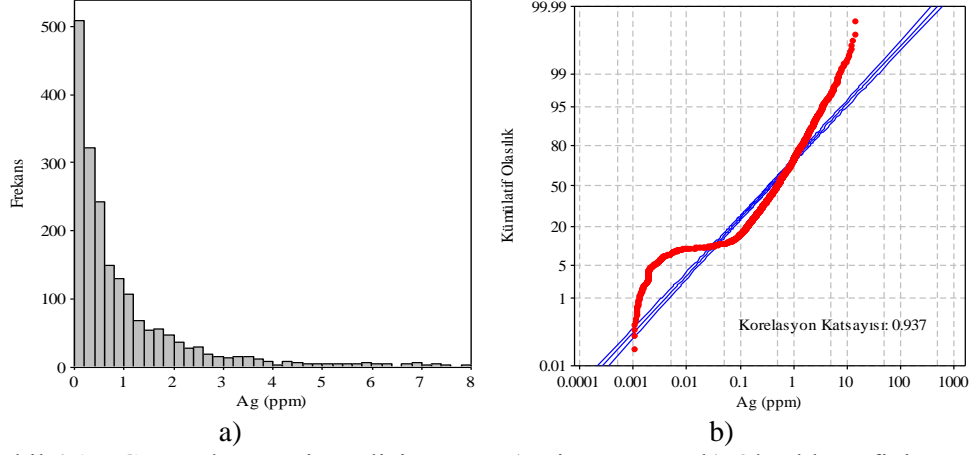
için kullanılmamasına karar verilmiştir. Tahmin için kompozit analizi sonrası verilerin kullanılması uygun bulunmuştur.

Çizelge 4.10. Ag kümelenme analizi sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler

	Kompozit Analizi Veriler	Kümeleme Analizi Veriler
Veri Sayısı	1943	955
Minimum	0.011	0.011
Maksimum	14.24	14.24
Aritmetik Ortalama	1.02	1.01
Medyan	0.52	0.53
Standart Sapma	1.52	1.45
Varyans	2.29	2.09
Değişim Katsayısı	1.49	1.43
Çarpıklık	3.73	3.71
Sivrilik	19.42	20.85
Alt Çeyrek	0.19	0.19
Üst Çeyrek	1.20	1.22

4.2.2.5. Gümüş Veri Analizinin Değerlendirilmesi

Gümüş için yapılacak tahminde 4 m'lik kompozitlere bölünmüş veri seti kullanılmıştır. Kompozit verilere ait özet istatistiği incelendiğinde medyan ve ortalama değerlerinin birbirine yakın olmadığı gözlenmiş, çarpıklık ve sivrilik değerlerinin ise yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.10). Ayrıca, değişim katsayısı 0.9 ile 1.5 arasında olduğunda normal dağılım mümkün değildir (Coombes, 2008). İstatistik parametrelerine göre, veri seti aşırı sağa çarpık (pozitif çarpık) bir dağılım göstermektedir. Kompozit veri setinin dağılımını görmek için histogram ve olasılık grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.16). İstatistik parametrelerinde olduğu gibi, histogram grafiğinde de sağa çarpık dağılım gözlenmiştir (Şekil 4.16a).



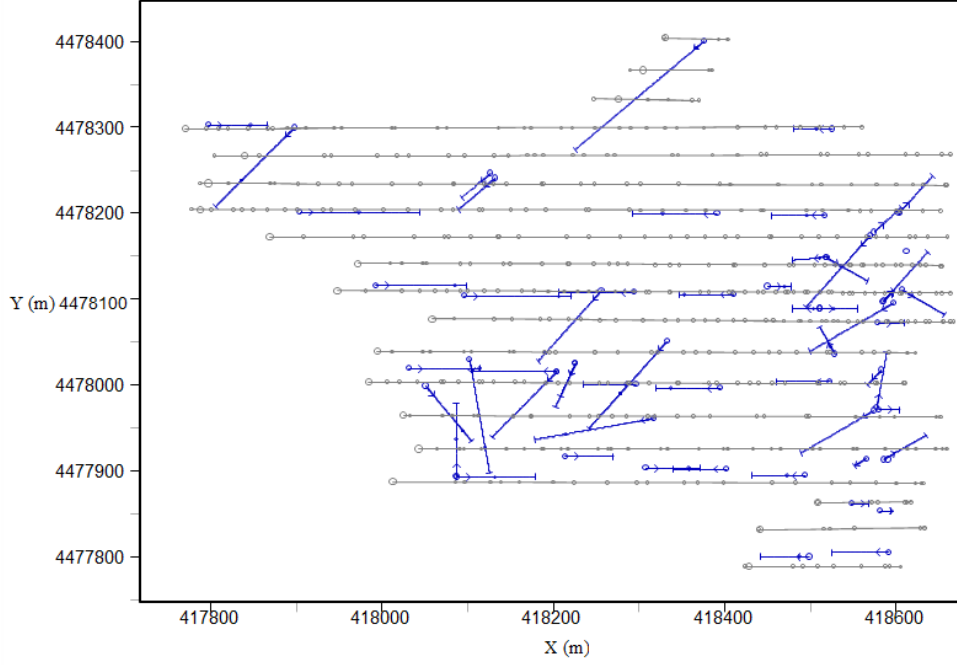
Şekil 4.16. Gümüş kompozit analizi sonrası a) Histogram ve b) Olasılık grafiği

Olasılık grafiğinde, gümüş kompozit veri setinde tenör değerlerinin %50'sinin 0.5 ppm'in altında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.16.b). Kompozit verilerin lognormal diyagonal eğri ile olan ilişkisini gösteren korelasyon katsayısı 0.937 olup veri dağılımının lognormale yakın olduğuna işaret etmektedir.

Tahmin için kullanılan kompozit verileri, gerek istatistiki parametreler gerekse grafiksel sunularda yansıtıldığı gibi asimetric pozitif bir dağılım sergilemektedir. Fark edilir ölçüde sağa sapma sergileyen kompozit gümüş verileri normal dağılıma uymamaktadır.

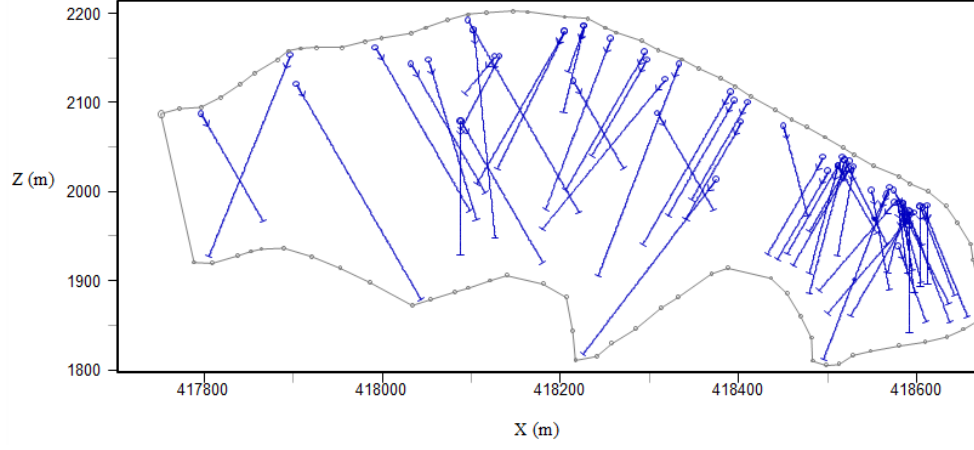
4.3. Kafes Sistemi ve Blok Model

Tahmin ve simülasyon işlemlerinden önce tahmin alanının geometrik olarak tanımlanması gerekmektedir. Sahanın katı bir model olarak değerlendirilebilmesi için sondajları tam olarak kapsayan bir kafes sistemi oluşturulmalıdır. Kafes sistemi teknik olarak tanımlanan kapalı alanların birleştirilmesinden meydana gelmektedir. Bu amaçla program plan görünüşte ve sondajlar çalışma ekranında aktifken, belirli aralıklarda dikey kesitler alınmıştır (Şekil 4.17).



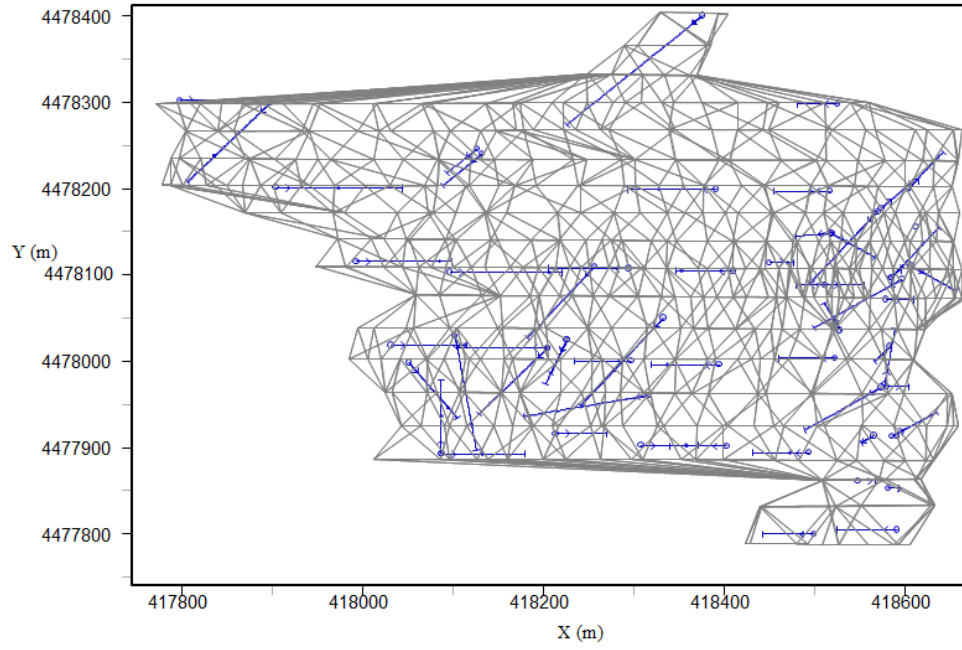
Şekil 4.17. Çalışma (tahmin) alanı içerisinde tanımlanan dikey kesitler

Çizim esnasında öncelikle her kesit seviyesinde uygulanması gereken görüntü limitleri bulunmaktadır. Görüntü limitlerinin küçültülmesi çizimi hassaslaştırmakta ise de çok yakın görünüşlerde kesit alanına düşen sondajlar azaltmaktadır. Diğer yandan kesit sıklığı da düşürülmüşse oluşturulan kafes sistemi gerçeği yansıtmayacak ve hatta sondajlar üç boyutlu görünüşten dışarı taşacaktır. Bunun tam aksi durumda gereksiz boşluklar işlem hesaplarına katılacak, tahminler gereksiz alanlara dağıtılmış olacaktır. Bu bilgiler ışığında kesit çizimleri optimum aralıklarda, limitlerde yapılmış ve alanlar birleştirilerek kafes sistemi oluşturulmuştur. Her kesit içerisinde sondajları kapsayan kapalı alanlar oluşturulmuştur (Şekil 4.18).

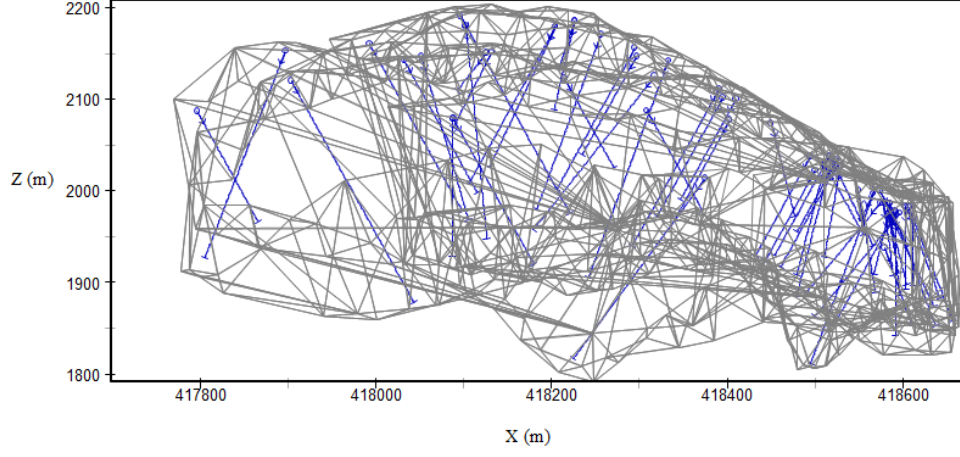


Şekil 4.18. Kesit içerisinde kapalı alan çizimi

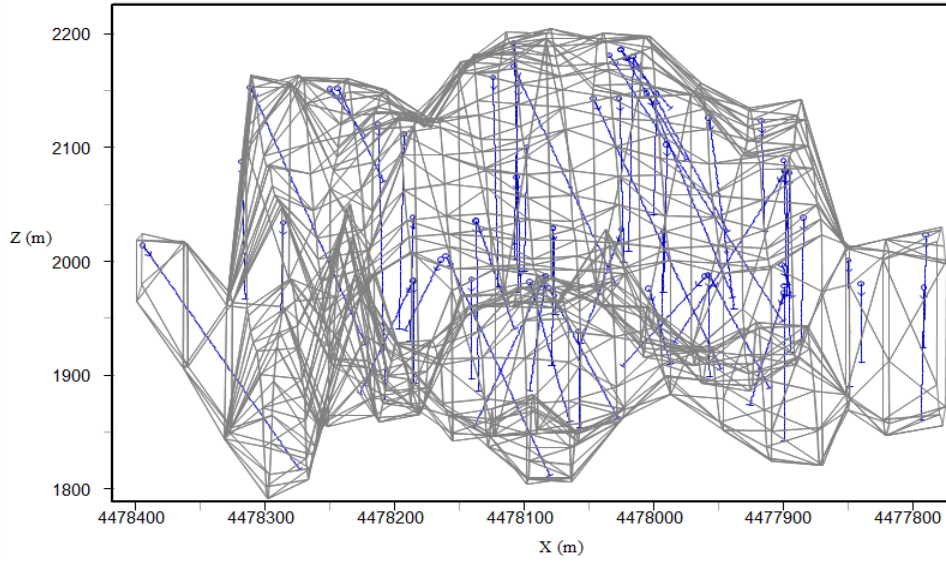
Kapalı alanlar tanımlanmış ve üçgenleme yöntemiyle kafes sistemi oluşturulmuştur (Şekil 4.19, 4.20, 4.21).



Şekil 4.19. Kafes sistemi plan görünüşü

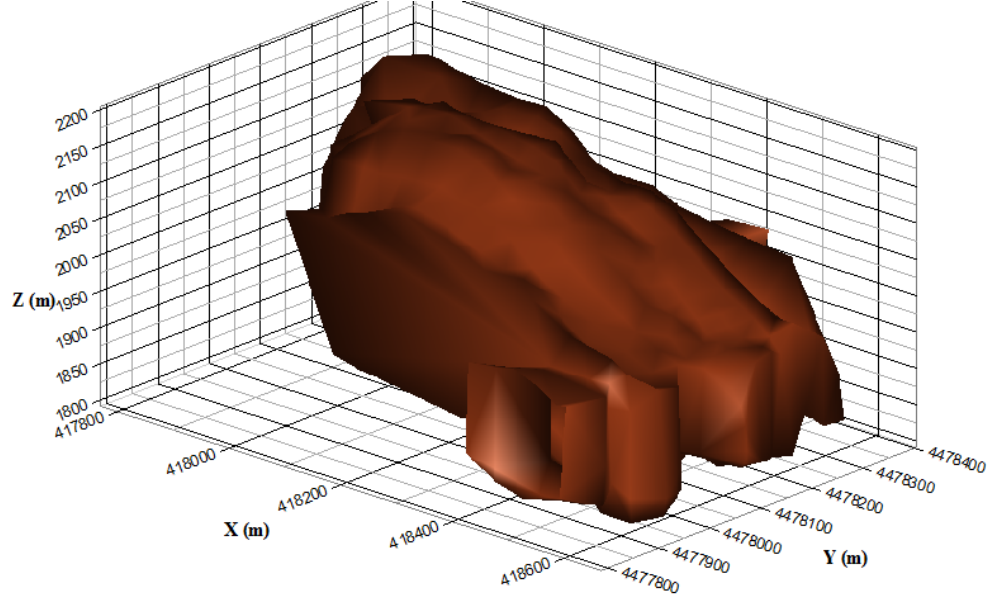


Şekil 4.20. Kafes sistemi D-B kesit görünüşü



Şekil 4.21. Kafes sistemi K-G kesit görünüşü

Kafes sistemi üç boyutlu bir hacmi tanımlamakta, sonraki işlemler için içi boş bir kabuk görevi görmektedir. Sistem her ne kadar üçgenlerden oluşmuş bir kafes gibi görünmekte ise de üç boyutlu görüntüleme ekranında görüntüsü bir yüzey şeklindedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Kafes sistemi yüzeyinin üç boyutlu görünüşü

Oluşturulan kafes modele ait sorgulama yapılarak bir sonraki aşamada kullanılacak parametreler hesaplanmıştır. Buna göre sorgulama sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Kafes modele ait sorgulama sonuçları

	X	Y	Z
MODEL AĞIRLIK MERKEZİ KOORDİNATLARI	418278.33	4478102.58	2008.03
MODEL KOORDİNATLARI (EN BÜYÜK DEĞERLER)	418667.25	4478404.15	2204.15
MODEL KOORDİNATLARI (EN KÜÇÜK DEĞERLER)	417770.56	4477787.50	1791.41
TOPLAM HACİM (m³)	58626944		
TOPLAM YÜZEY ALANI (m²)	1480916		
EN DÜŞÜK DERİNLİK (m)	0.06		
EN YÜKSEK DERİNLİK (m)	90		
TOPLAM ÜÇGEN SAYISI	1002		

Sıradaki işlem tanımlanan kafes sistemin içinin bloklar ile doldurulmasıdır. Program içerisinde bu işlem iki basamakta yapılmaktadır; birinci basamakta blok parametrelerinin tanımlandığı prototip dosyası oluşturulmakta, ikinci basamakta ise oluşturulan dosya yardımıyla yüzeyin altı bloklarla doldurulmaktadır.

Prototip dosyası teorik olarak, blok model sisteminin başlangıç noktası olup hücre boyutları tanımlanmakta ve blok model oluşturulurken bu bilgiler çağrılmaktadır. Bu aşamada göz önüne alınacak en önemli unsur, içi doldurulan üç boyutlu kafes sisteminin uzaysal sınırlarının tespit edilmesidir. Çizelge 4.11’de ki bilgiler çerçevesinde, sistemi sınırlandıran en küçük koordinat değerleri yuvarlatılarak minimize edilmiştir. Aynı şekilde en büyük koordinat değerleri yuvarlatılmış ve bir önceki değerlerden çıkartılarak aralık hesaplanmıştır. Hesaplanan aralık hücre boyutu ile hücre sayısının çarpımına eşit olmak zorundadır. Bu noktada karar verilmesi gereken işlem hücre boyutlarıdır. . Armstrong ve Champigny (1989), birkaç yalın örnekleme deseni için, blok boyutu, variogram etki mesafesi ve kriging sonuçlarını incelemiş ve örnekleme aralığının yarısından az variogram etki mesafesi için krige edilmiş blok tahminlerinin gerçek değerlerle ilişkisiz olduğunu ortaya koymuşlardır. Tahmin edilmek istenen en küçük ölçek (hacim) ile yataktaki değişkenliğin nicelenebileceği en büyük ölçeğin uzlaştırılması bu konuda genel ilkedir. Genel bir yaklaşım, blok boyutu seçerken yatağın değişkenliğini dikkate almaktır. Bu yaklaşımda, blok boyutu, variogram etki mesafesinin kabaca %25’inden küçük olmamalıdır. Değişkenlik ölçüt alındığında, her bir alan için değişik blok boyutu seçmek gerekebilir. Coombes (2008)’e göre, blok boyutları ortalama numune aralığının (düşey sığ sondajlar durumunda sondaj aralığının) yarısından daha küçük olmamalıdır. Eğer blok boyutu, örnekleme gridinden çok daha küçük belirlenirse o zaman tahmin varyansı yüksek olacak ve tahmin güvenilirliği azalacaktır. İki sondaj arasındaki blok sayısının 4 ya da 5’i geçmemesi de uygulamada yaygın kabul edilen bir kuraldır (Özkan ve Akbaba, 2013). Teze konu olan sahada gerçekleştirilen sondaj çalışmalarının maksimum 50 m aralıklarla yapıldığı düşünüldüğünde 50 m’lik

hücre boyutu fazla katkı sağlamayacaktır. Çünkü her blok zaten var olan bir sondaj değeri ile ifade edilmiş olacak, buna karşılık tahmin hassasiyeti azalacaktır. Tecrübeler, ortalama sondaj aralığının % 20'sinden daha küçük blok boyutu kullanmanın tahmin kalitesini riske atabileceğini göstermektedir (Özkan ve Akbaba, 2013). Çalışma sahasındaki sondaj aralıkları 50 metre olarak düşünülür ise 10 m'den küçük blok boyutlarının tahmin kalitesini bozacağı anlaşılmıştır. Blok yüksekliklerinin de kompozit numune uzunluğunun iki katı kadar alınması da yaygın görülen bir uygulamadır (Özkan ve Akbaba, 2013) Bu nedenle, Altın ve Gümüş verilerinin kompozit mesafesi 4 m olduğundan blok yüksekliğinin 10 m'den büyük olmaması uygun görülmüştür. Sonuç olarak minimum blok boyutunun 10 m olmasına karar verilmiştir. Koordinat farklarından elde edilen mesafelerin hücre boyutuna bölünmesi ile blok sayıları da belirlenmiştir. Prototip dosyası tanımlanırken alt hücre seçeneği aktifleştirilerek köşe ve kesişim noktalarının hassasiyeti artırılmıştır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Prototip için gerekli parametreler

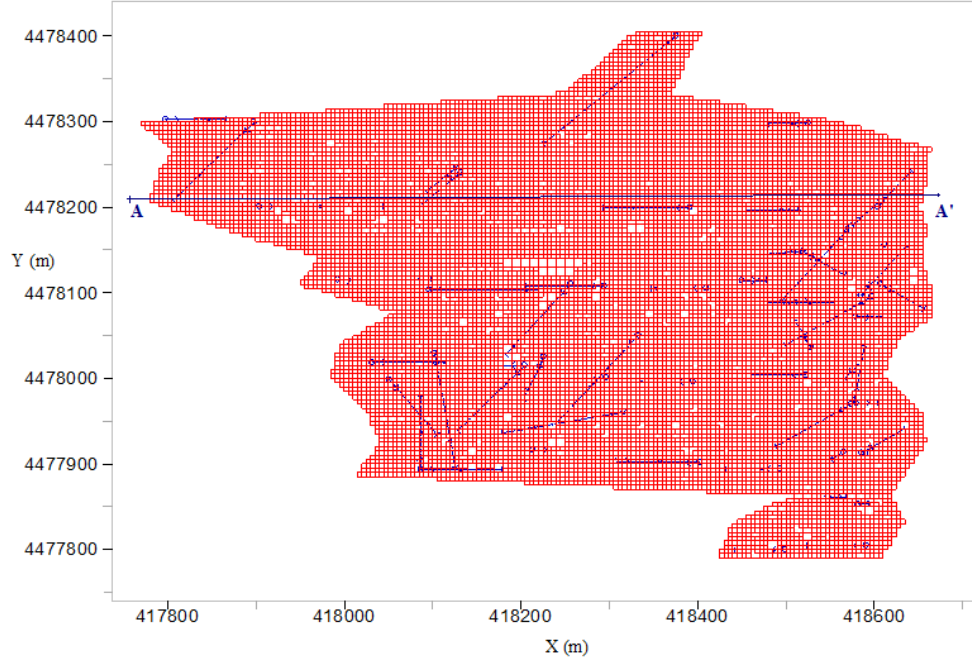
	X	Y	Z
PROTOTİP KOORDİNATLARI (MİNİMUM)	417700	4477700	1750
TANIMLANACAK HÜCRE BOYUTLARI (m)	10	10	10
BLOK MODEL İÇERİSİNDE OLUŞTURULAN HÜCRE SAYILARI	100	80	50

Model parametreleri yüklenerek üç boyutlu yüzey sisteminin içi bloklar ile doldurulmuştur. Oluşturulan blok modele ait sayısal veriler Çizelge 4.13'de verilmiş ve beklendiği gibi prototip parametreleri ile uygunluğu gözlenmiştir.

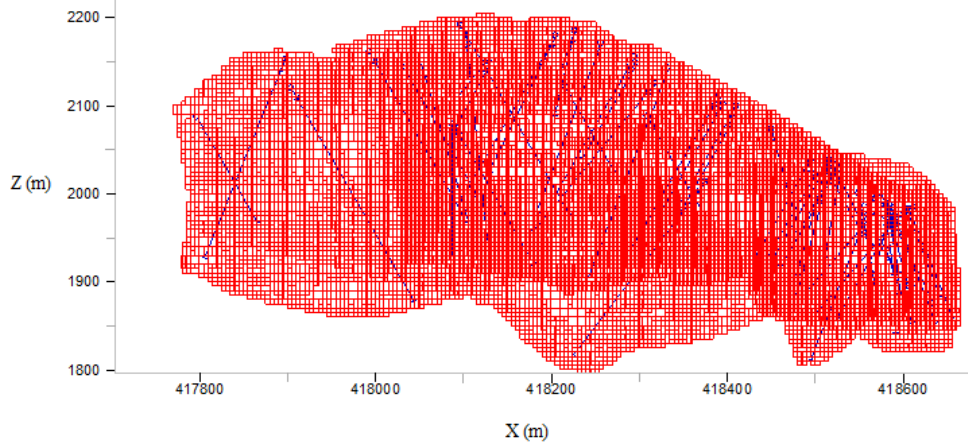
Çizelge 4.13. Blok modele ait sayısal veriler

	Minimum	Maksimum
X Yönünde Limitler	417700	418700
Y Yönünde Limitler	4477700	4478500
Z Yönünde Limitler	1750	2550
Tam Hücre Sayısı	53887	
Alt Hücre sayısı	26451	
Toplam Hücre Sayısı	80338	

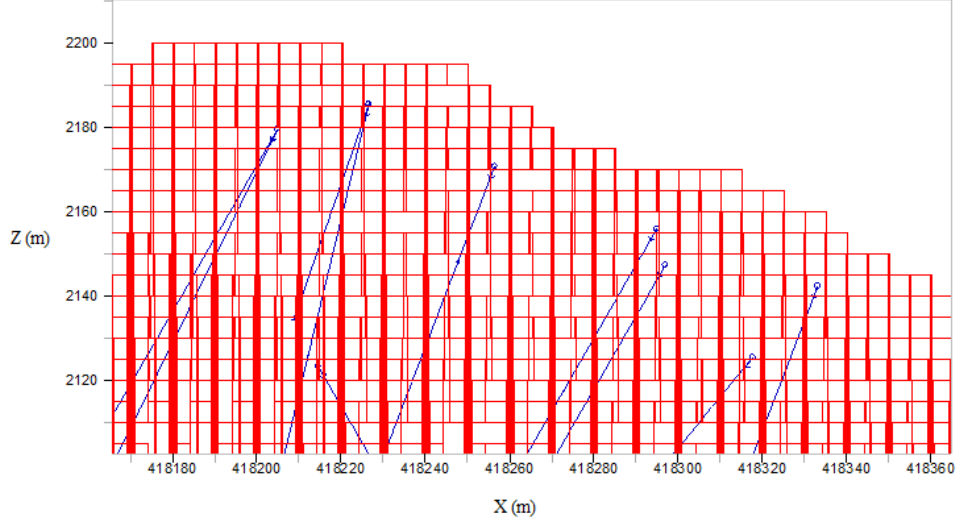
Oluşturulan blok model çizelgede belirtilen konum ve boyutlarda başarıyla oluşturulmuş olup, sondaj verilerinden tanımlanan üç boyutlu kafes sisteminin tanımladığı yüzeyle olan ilişkisi sorgulanmak istenmiştir. Böylece sondaj, kafes, blok model program içerisinde aktif iken plan ve kesit görüntüleri alınarak, taşma veya alt hücre yerleşiminde hata varlığı incelenmiştir (Şekil 4.23, 4.24 ve 4.25). Şekillerden de anlaşılacağı üzere sondajlarda alan dışına taşma gözlenmemiş olup, bloklar kafes sistemi içerisinde doğru yerleşmiş, aynı şekilde tam ve alt hücreler olması gerektiği gibi konumlanmıştır.



Şekil 4.23. Blok model plan görünüşü



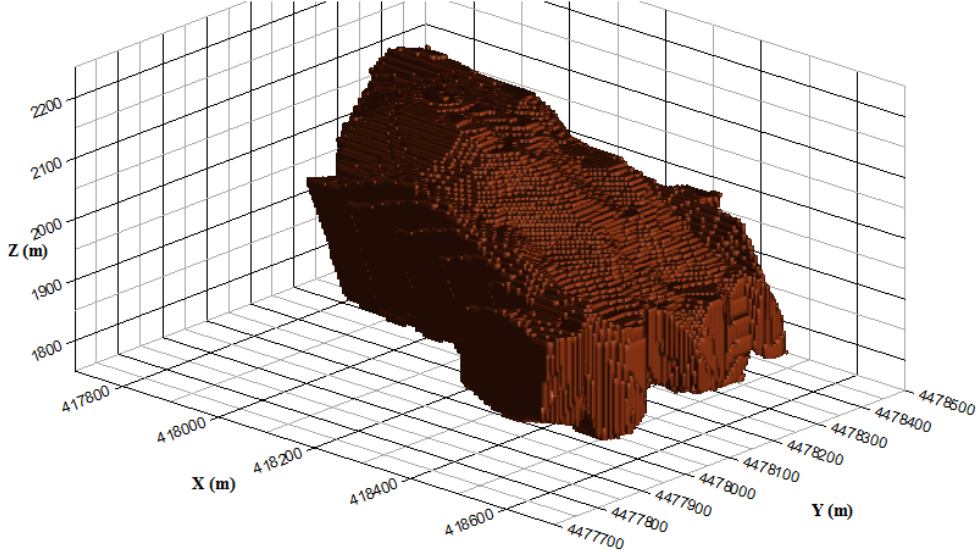
Şekil 4.24. Blok model A-A' kesitinin görünümü



Şekil 4.25. Blok model kesit görünüşte hücrelerin incelenmesi

Şekil 4.25, oluşturulan blok modelin sondajlarla ilişkisi görülmektedir. Sondajlar blok model içerisinde doğru olarak yerleşmiş, taşmaya rastlanmamıştır. Şekil 4.26'da üç boyutlu blok model verilmiş olup, blokların yerleşimi üç boyutlu olarak incelenmiş boşluk veya taşan sondaja rastlanmamıştır.

Blok oluşturulduktan sonraki aşama tahmindir. Tahmin parametrelerinin tanımlanmasından sonra, oluşturulan bloklar istenen değişkenin tahmin edilen değerleri ile doldurulacaktır.



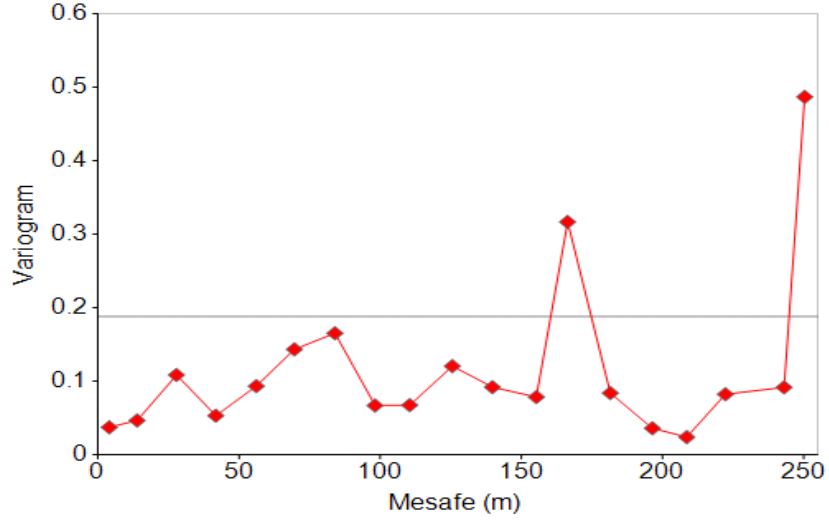
Şekil 4.26. Blok modelin üç boyutlu görünüşü

4.4. Altının Variogram Analizi

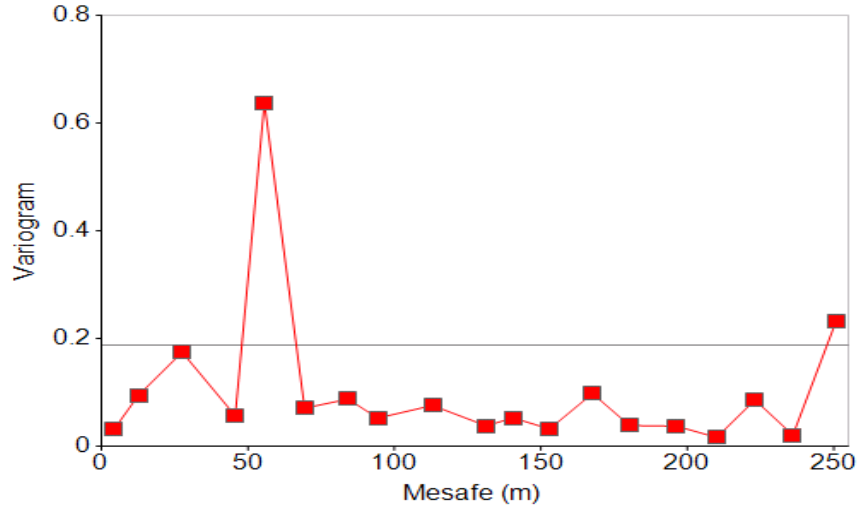
Pratikte variogram mesafesi, toplam örnekleme mesafesinin yarısından fazla olmalıdır (Clark, 1979). Variogramlar hesaplanırken, sondajlar arası maksimum mesafenin 2/3 kadarının kullanılması yeterli görülmüştür. Çalışma sahasındaki sondajlar arası maksimum mesafenin yaklaşık 900 m olduğu göz önüne alındığında, maksimum variogram mesafesinin 600 m'den fazla olmamasına karar verilmiştir. Lag mesafesi en azından örneklem mesafesi kadar olmalıdır (Coombes, 2002). Ancak çalışma sahasında sondaj lokasyonları belirli bir grid sisteminde yapılmamıştır. Bu nedenle örneklem aralıkları düzensizdir. Sahada maksimum örnek mesafesi 50 m olup, minimum örnek mesafesi 5 m'den küçüktür. Çalışmada çeşitli lag mesafeleri denenerek çok sayıda variogramlar hesaplanmıştır. Hesaplanan variogramlardaki örnek çifti sayıları göz önüne alınarak, Lag mesafesine karar verilmiştir. Tanımlanan Lag mesafesi 14 m olup, tanımlanan her yön için 40 adet Lag kullanılmıştır. Böylece variogram analizinin tarama mesafesi 560 m olmuştur. Altın verisi için yapılacak tahminde kullanılacak

parametreler için dört yönde (0° , 45° , 90° ve 135°) ve yönsüz teorik variogramlar hazırlanmıştır (Şekil 4.27, 4.28, 4.29, 4.30 ve 4.31).

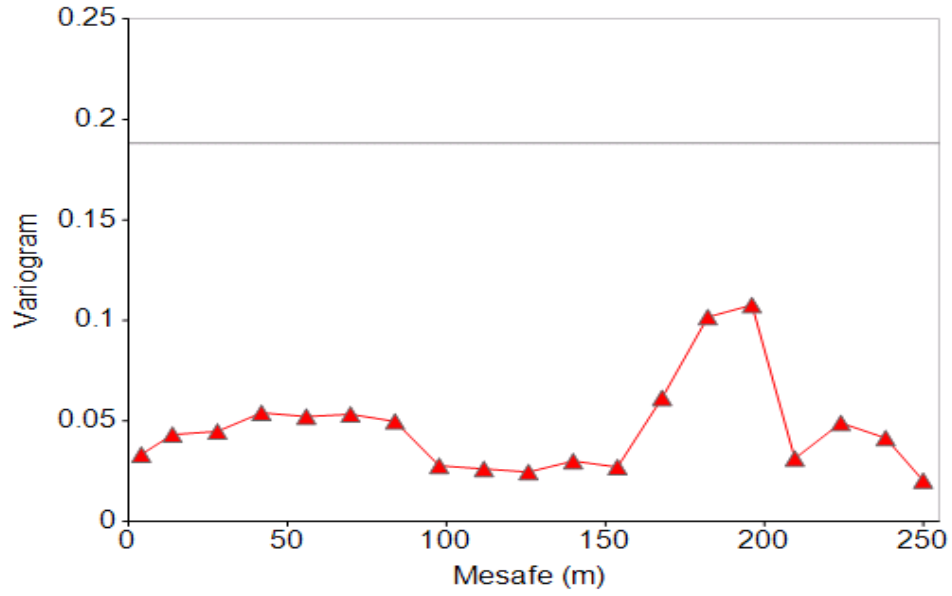
Hazırlanan yönlü variogramlar arasında anizotropiye rastlanmamış, yönsüz olanına iki yapılı izotropik küresel model uydurulmuş olup, model Şekil 4.31'de verilmiştir.



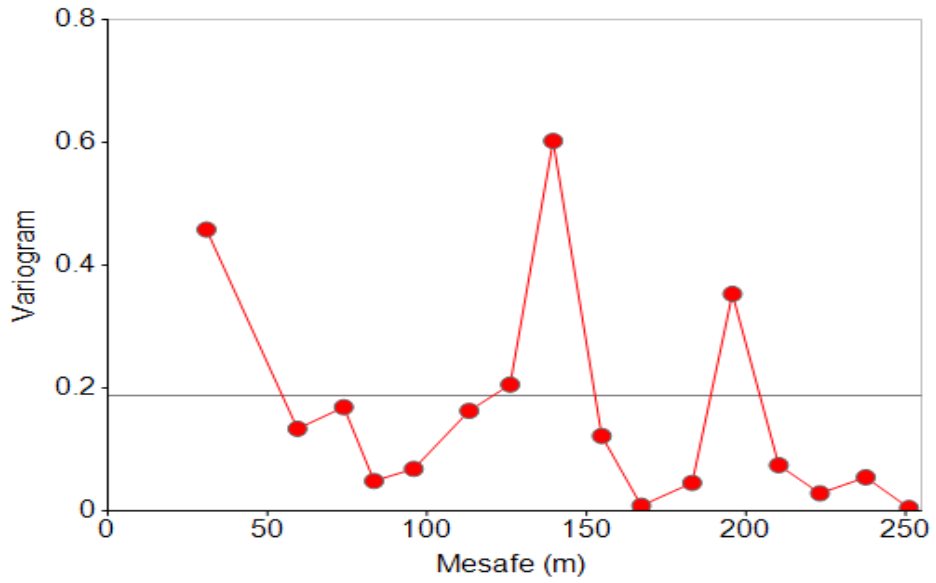
Şekil 4.27. Au D-B yönünde variogram grafiği



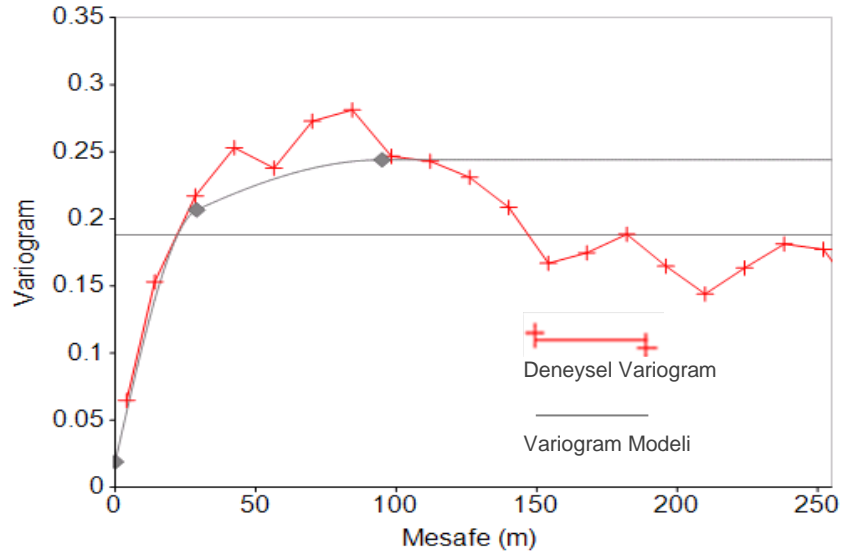
Şekil 4.28. Au KB-GD yönünde variogram grafiği



Şekil 4.29. Au K-G yönünde variogram grafiği

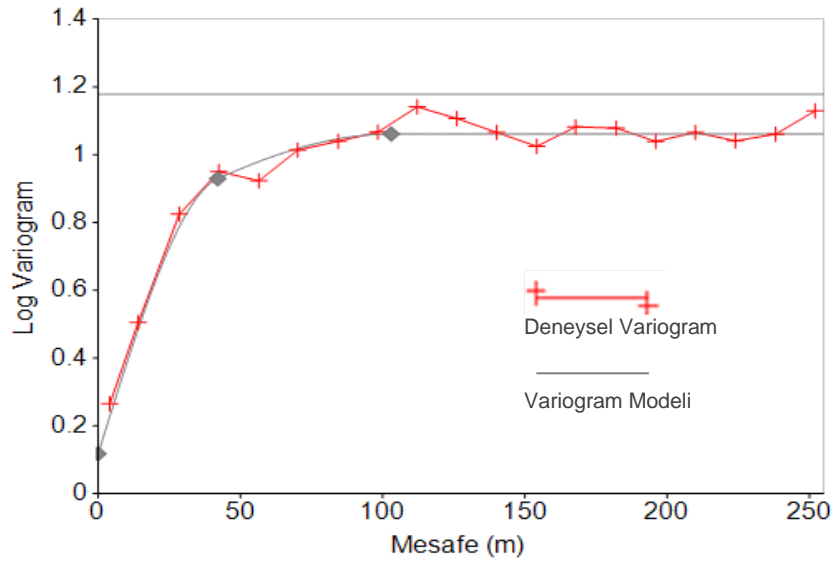


Şekil 4.30. Au KD-GB yönünde variogram grafiği



Şekil 4.31. Au yönsüz variogram ve teorik variogram modeli

Ayrıca verinin logaritmik yapısı nedeniyle logaritmik yönsüz variogram hazırlanarak iki yapıli izotropik küresel model uydurulmuş ve Şekil 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.32. Au yönsüz logaritmik variogram ve teorik variogram modeli

Her iki küresel variogram modeline ait model parametreleri Çizelge 4.14’de sunulmuştur.

Çizelge 4.14. Altın küresel variogram modellerine ait parametreler

Variogram Tipi	KontROLSUZ ETKİ (NUGGET)	Yapı	Etki Mesafesi (Range)	Yapısal Varyans (C)	Yapısal Etki (C ₀ +C)
Normal	0.019	1	29	0.158	0.177
		2	95	0.067	0.244
Lognormal	0.119	1	42	0.630	0.748
		2	103	0.313	1.061

4.4.1. Altın için Çapraz Doğrulama Testleri

Altın verisi ile yapılacak tahmin öncesi tanımlanan modelin geçerliliği çapraz doğrulama testleri ile değerlendirilmiştir. Tahmin için ordinary ve lognormal kriging teknikleri uygulanmış olup, komşuluk parametreleri Çizelge 4.15’de verilmiştir. Tahminler için Çapraz doğrulama testlerinin istatistiksel sonuçları Çizelge 4.16’da sunulmuş olup, metot bölümündeki çapraz doğrulama kısmında ayrıntıları ile bahsedilen tüm parametreler incelenmiştir. Çizelge 4.16 incelendiğinde her iki tahmin yöntemi için gerçek değerlerle tahmin edilmiş değerler arasındaki korelasyon katsayıları anlamlı bir ilişkiye sahiptir. Ordinary kriginge ait korelasyon değeri (0.823) oldukça yüksektir. Lognormal Kriging için bu değer (0.681) istatistiksel olarak anlamlı, ancak tahmin için yeterli değildir. Kriging varyansı istatistiklerinden en önemlisi olan ve 1’e yaklaşması beklenen kriging ortalamalarının oranı, ordinary kriging için 1.082, lognormal kriging için 0.004 olarak gözlenmiştir. Ordinary kriging tahminine ait regresyon parametreleri; doğru ile y ekseninin kesişimi (c) 0.003 ve eğim (b) 0.987 olup, lognormal kriging için bu değerler -0.025 ve 1.417’dir. Regresyon parametreleri incelendiğinde mükemmel bir tahminde kesişim değerinin 0, eğim değerinin 1’e yaklaşması beklenmektedir. Bu beklenti ordinary kriging sonuçları için karşılanmıştır. Merkezi eğilim ölçüleri açısından bakıldığında, 0 değerine eşit olması istenen ortalama farkı

-0.001 ile ordinary kriging tahminlerinin uygunluğu ve doğruluğu ortaya konmuştur. Lognormal kriging ile tahmin edilen veriler ile geręek verilerin ortalamalarının farkı 0.060 olup ordinary kriging değerinden yüksektir.

Çizelge 4.15. Altına ait komşuluk parametreleri

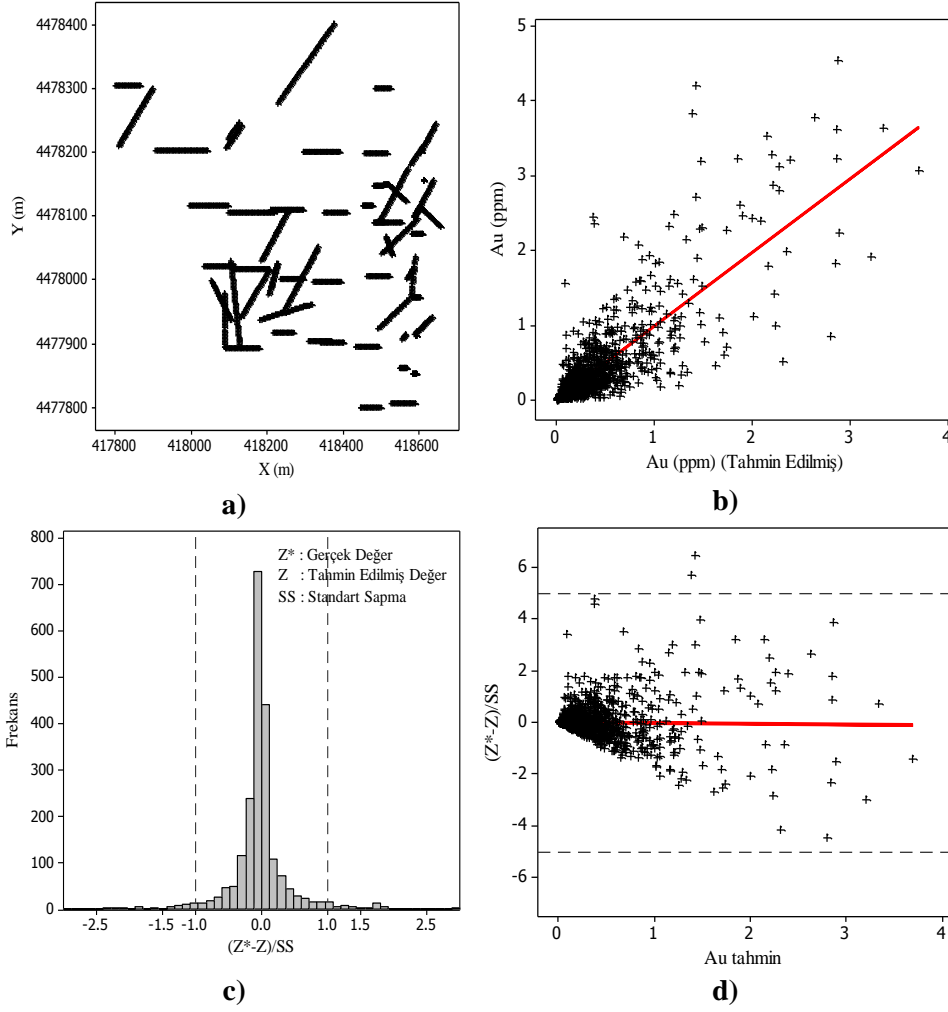
Tahmin Türü		Ordinary Kriging	Lognormal Kriging
Minimum Örnek Sayısı		1	1
Maksimum Örnek Sayısı		20	20
Arama Çapı (m)	X	150	100
	Y	150	100
	Z	150	100

Çizelge 4.16. Altının çapraz doğrulama testi sonuçları

Test İstatistiği Parametreleri		Au Tahminleri	
		Ordinary Kriging	Lognormal Kriging
Geręek Değerlerin Ortalaması		0.263	0.263
Tahmin Edilmiş Değerlerin Ortalaması		0.264	0.203
Ortalamaların Farkı		-0.001	0.060
Ortalamaların Farkı (%)		-0.204	22.735
Ortalamanın Mutlak Farkı		0.115	0.141
Geręek Değerlerin Varyansı		0.188	0.188
Tahmin Edilmiş Değerlerin Varyansı		0.131	0.043
Geręek ve Tahmin Edilmiş Değerlerin Korelasyon Katsayısı		0.823	0.681
Kriging Varyanslarının Ortalaması		0.065	0.001
Kareler Farkının Ortalaması		0.061	0.112
Kriging Ortalamalarının Oranı		1.082	0.004
Regresyon Parametreleri	Doğrunun Y eksenini kestiği nokta (c)	0.003	-0.025
	Eğim (b)	0.987	1.417

Tahmin modellerine ait çapraz doğrulama test sonuçlarının istatistiksel açıdan değerlendirilmesinde altın tahmini için ordinary kriging yönteminin uygun

ve güvenilir olduğu saptanmıştır. Seçilen yöntem için çapraz doğrulama test sonuçlarının grafiksel formu Şekil 4.33’de sunulmuştur.



Şekil 4.33. Au için Ordinary Kriging’e ait çapraz doğrulama test sonuçları a) Test noktalarını gösteren lokasyon haritası, b) Gerçek ve tahmin edilmiş değerler arasındaki ilişki, c) Standardize edilmiş değerlerin histogramı, d) Artık değerlerin dağılımı.

Lognormal kriging için grafiksel analiz gerekli görülmemiştir. Gerçek değerlerle tahmin edilmiş değerlerin, diyagonal (lineer) çizgi boyunca düzenli

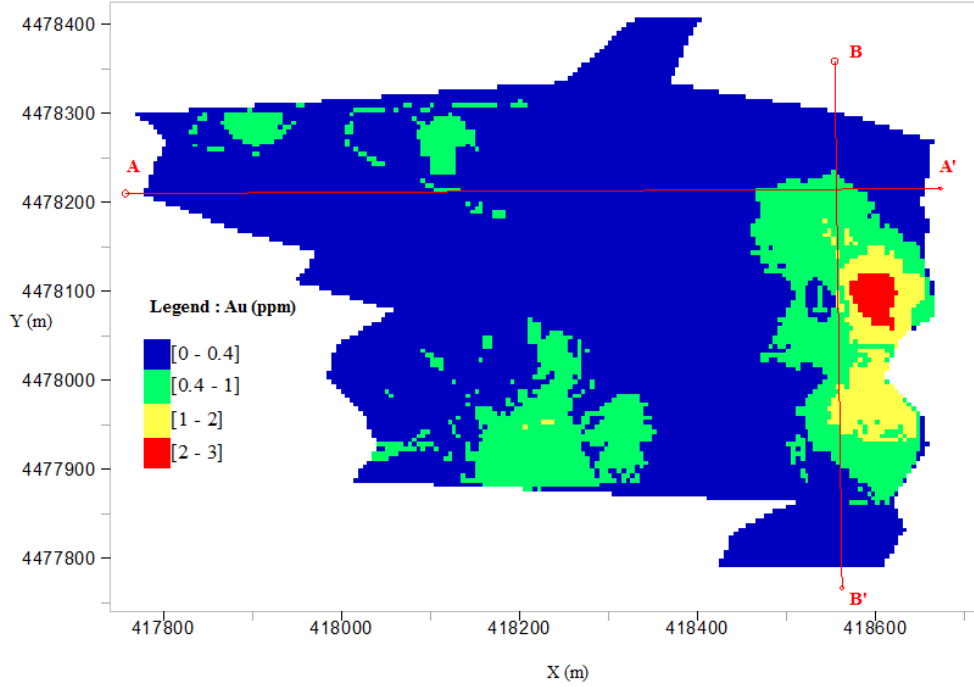
olarak dağılması, gerçek ve tahmin edilmiş değerler arasında kuvvetli bir korelasyonun (doğrusal bir ilişkinin) bulunduğunu göstermektedir (Şekil 4.33b). Bu durum yapılan analizin, modelin ve tahmin hesaplarının doğruluğunu göstermektedir. Verilerin standardize edilmiş değerlerinin histogramı, yapılan modelin normal dağılıma uyduğunu göstermektedir (Şekil 4.33c). Artık değerler (gözlemlenmiş değerlerle tahmin edilmiş değerler arasındaki fark) sıfır çizgisinin (X eksenin) etrafında tesadüfi, simetrik ve homojen olarak dağılması, yapılan modellerin ve analizlerin uygun ve yeterli olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4.33d). Sonuç olarak, çapraz doğrulama testi, yapılan ordinary kriging tahmin modelinin doğruluğunu ve yeterliliğini ortaya koymaktadır.

4.5. Ordinary Kriging Yöntemiyle Altının Rezerv ve Tenör Tahmini

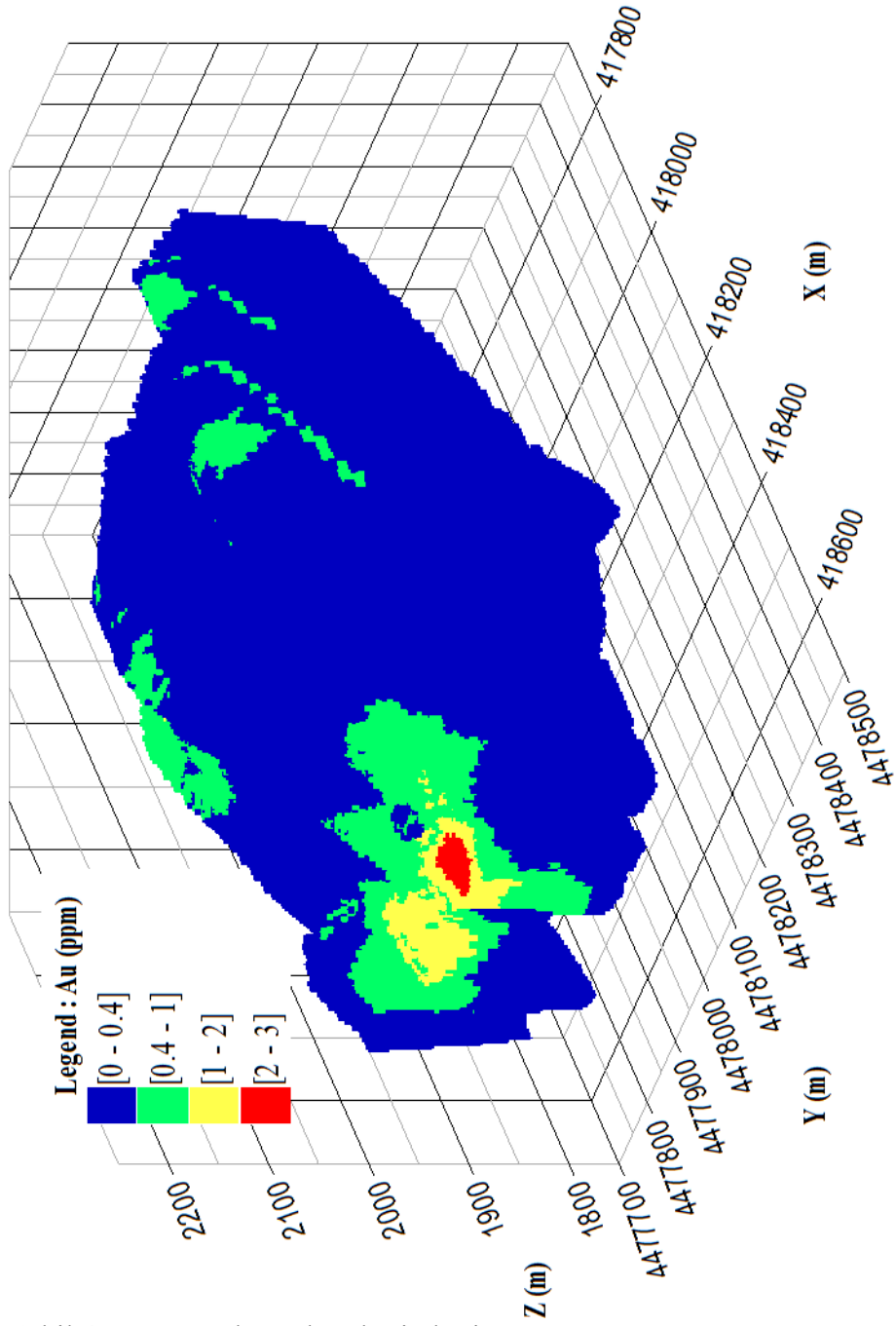
Variogram analizi sonrasında yapılan çapraz doğrulama sonuçlarında altın için en doğru tahmin yönteminin “Ordinary Kriging” olduğu, bir önceki bölümde ortaya konmuştur. Rezerv ve tenörün hesaplanmasında kullanılacak tahmin parametreleri yine bir önceki bölümde tespit edilmiştir. Tahmin işlemleri için gerekli parametre dosyaları hazırlanmıştır. Rezerv hesaplamaları için yoğunluk parametresinin girilmesi gerekmektedir. Sis 1’den Sis 38’e kadar olan sondaj kuyularından toplam 1618 numunenin spesifik yoğunluk tayini yapılmıştır. Tenör ve yoğunluk arasında bir ilişki olup olmadığını görmek için spesifik yoğunluk ölçümleri de altın tenörü ile karşılaştırılmıştır. Spesifik yoğunluk ve altın tenörü arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Sonuç olarak oksit sınırının üzerinde ki tüm materyallerin spesifik yoğunlukları 2.38 t/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu sınırın altında kalan materyaller için sülfid ve geçiş materyallerinin ortalaması olan 2.69 t/m^3 değeri belirlenmiştir (Vigar ve ark., 2009). Tüm saha için tahmin esnasında zon sınıflaması yapılmadığından yoğunluk iki grubun ortalaması olarak alınmış olup, tahmin sonrası rezerv hesabında 2.50 t/m^3 olarak kullanılmıştır.

Tahmin, daha önce oluşturulmuş içi boş modelin belirlenen parametreler kullanılarak, ordinary kriging yöntemiyle doldurulması ile gerçekleştirilmiş ve

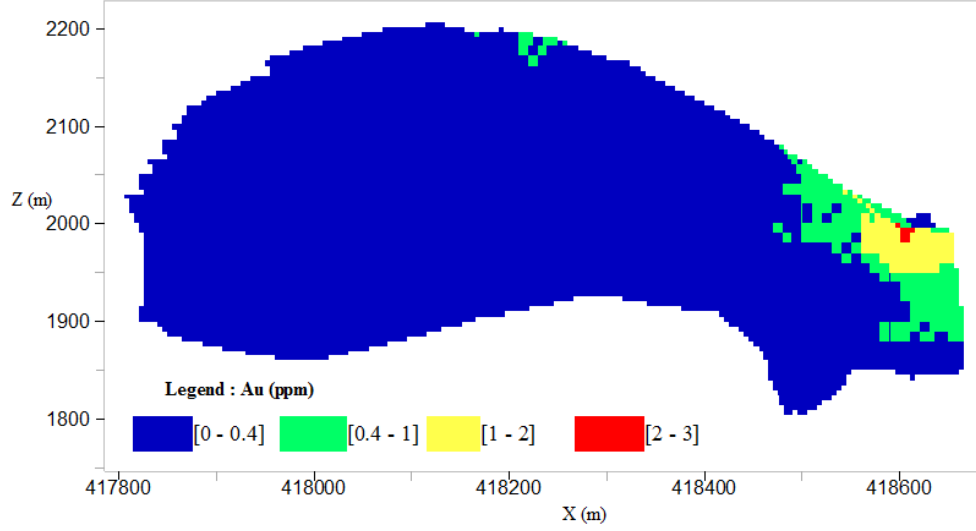
oluşturulan tahmin modeline ait plan ve üç boyutlu görünüşleri Şekil 4.34 ve 4.35’de verilmiştir. Teknolojideki son gelişmeler ile çok düşük tenörlerde de altın üretimi mümkün olmaktadır. Çalışmaya konu olan saha da işletme sınır tenör olarak 0.4 ppm seçilmiştir. Saha genel olarak incelendiğinde sınır tenör üzerinde bir cevherleşme söz konusudur. Şekil 4.34 üzerinde belirlenen doğrultularda kesitler alınarak, bölgesel değişim gözlenmiştir. AA’ ve BB’ kesitleri sırasıyla Şekil 4.36 ve 4.37’de verilmiştir.



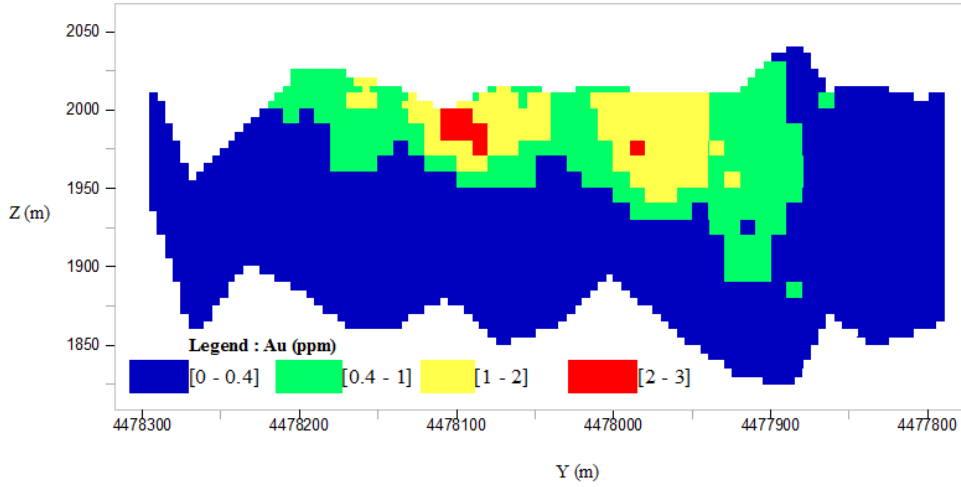
Şekil 4.34. Au tahmin haritası (Plan)



Şekil 4.35. Au üç boyutlu tahmin haritası



Şekil 4.36. Au tahmin haritası (AA' kesit görünüşü)

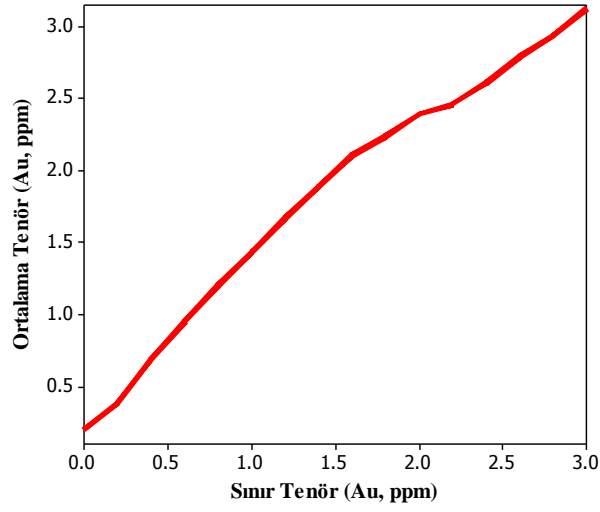


Şekil 4.37. Au tahmin haritası (BB' kesit görünüşü)

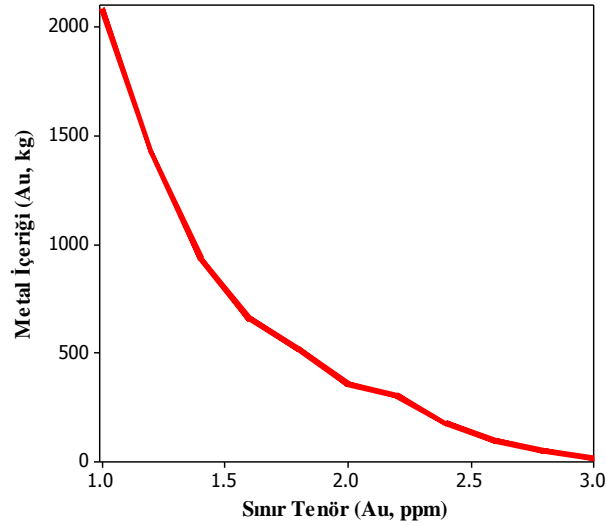
Sahanın doğu kesiminde belirgin bir şekilde tenör değişimi fark edilmiştir. D-B yönünde alınan AA' kesiti yaklaşık 1 ppm tenörlü bölgesel bir cevherleşme sunmaktadır (Şekil 4.36). Birkaç blok ile sınırlanan 2-3 ppm aralığındaki cevherleşme, küçük bir alanda izlenmektedir. K-G yönündeki BB' kesitinde ise yüzeye yakın oksidasyon zonu içerisinde kalan bölümde nispeten yüksek

konsantrasyonlu altın varlığına işaret etmektedir. Kesit alanının yaklaşık %5'lik kısmında ise 3 ppm'e ulaşan bir altın cevherleşmesi söz konusudur (Şekil 4.37).

Altın için hazırlanan rezerv ve tenör eğrileri Şekil 4.38 ve 4.39'da ayrıca modele ait rezerv ve tenör değerlerinin belirli sınır değerlere göre miktarları Çizelge 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.38. Altın ortalama tenörü ile işletme sınır tenörünün grafiği



Şekil 4.39. Altının işletme sınır tenörleri ile tonajları

Çizelge 4.17. Au rezerv ve tenör tahmin sonuçları

Sınır Tenör (ppm)	Sınır Tenör Üzerindeki Toplam Rezerv (ton)	Sınır Tenör Üzerinde Kalan toplam Rezervin Ortalama Tenörü (ppm)	Sınır Tenör Üzerindeki Metal İçeriği (kg)
0.00	134361620	0.198	26603.6
0.20	45995072	0.386	17754.1
0.40	9425625	0.688	6484.8
0.60	4375938	0.950	4157.1
0.80	1764063	1.201	2118.6
1.00	1145000	1.429	1636.2
1.20	539063	1.670	900.2
1.40	345938	1.887	652.8
1.60	162500	2.104	341.9
1.80	165313	2.237	369.8
2.00	83125	2.392	198.8
2.20	105313	2.461	259.2
2.40	49375	2.609	128.8
2.60	35313	2.791	98.6
2.80	17500	2.938	51.4
3.00	5000	3.125	15.6

Şekil 4.37 ve Şekil 4.38, belirli sınır değerlere karşılık gelen rezerv miktarları ve metal içeriklerinin doğrusal bir ilişki içinde olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.17 belirlenen sınır değer aralıklarındaki; rezerv, ortalama tenör ve metal içeriğini göstermektedir. İşletme sınır tenörü 0.4 ppm olarak tespit edilmiştir. Çizelgeden; işletme sınır tenör değerinin üzerinde kalan rezerv 9,425,625 ton olup, bu sınırdaki kazanılacak toplam altın miktarı 6484.8 kg olarak hesaplanmıştır.

Yapılan tahmine göre, saha belirlenen bloklarda üretim yapılırsa, sınır tenörün üzerinde kalan ortalama tenör 0.688 ppm olacaktır. Belirli aralıklarla tanımlanmış sınır tenörler incelendiğinde, her bir sınır üzerinde kalan ortalama

tenör değerleriyle doğrusal bir ilişki gösterdiği izlenmiştir (Şekil 4.37). Aynı şekilde sınır tenör değerinin yükselmesiyle kazanılacak altın miktarı arasında negatif doğrusal bir ilişki mevcuttur (Şekil 4.38).

4.5.1. Altın Tahmininin Doğrulanması

Rezerv, tenör, tahmin analizlerinin doğrulanması aşağıdaki yöntemlerle yapılmıştır.

- Gerçek verilere ait özet istatistikleri ile tahmin verilerine ait özet istatistiklerinin karşılaştırılması,
- Gerçek veri histogramı ile tahmin histogramının karşılaştırılması,
- Gerçek verilerinin olasılık grafiği ile tahminin olasılık grafiğinin karşılaştırılması,
- Gerçek değerler ile tahmin edilmiş değerler arasındaki korelasyonun incelenmesi,

İyi bir tahminde, tahmin ortalaması ile orijinal verilerin ortalamasının birbirine yakın, tahmin verilerinin varyans, standart sapma ve değişim katsayısının orijinal verilerinkinden daha düşük olması beklenmektedir. Tahmin verilerinin özet istatistiği incelendiğinde, gerçek veriler ile tahmin edilmiş verilerin ortalamalarının birbirine yakın olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18'den, gerçek değerlerin ortalaması 0.263, tahmin değerlerinin ortalaması 0.198 olup, bu ortalamalar arasındaki değişim % 0.1 olduğu görülmüştür. Tahmin verilerinin varyans, standart sapma ve değişim katsayıları, gerçek verilerinkine kıyasla çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Karşılaştırma sonucunda, tahmin istatistikleri inşa edilen modelin yeterliliğini ve güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

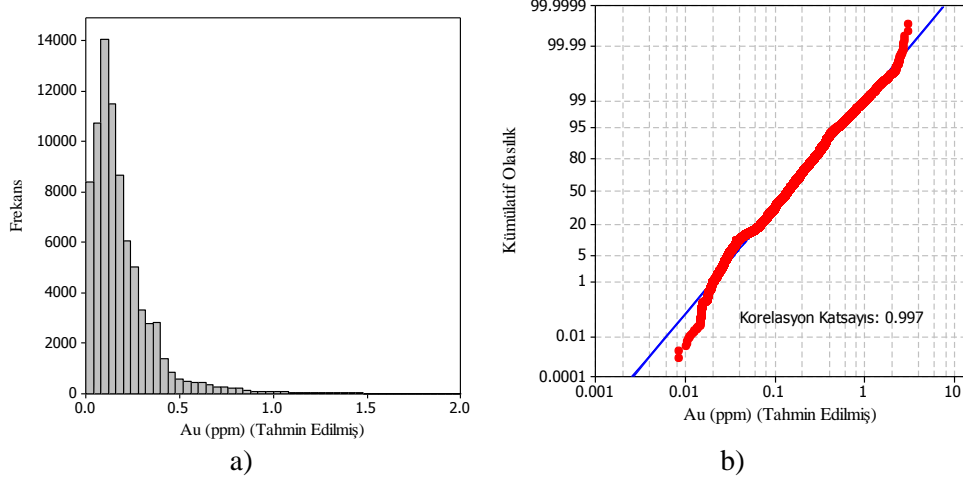
Çizelge 4.18. Altının gerçek ve tahmin edilmiş değerlerinin istatistikleri

	Gerçek Değerler	Tahmin Edilmiş Değerler
Veri Sayısı	2111	80338
Minimum	0.005	0.008
Maksimum	4.539	3.127
Aritmetik Ortalama	0.263	0.198
Medyan	0.123	0.143
Standart Sapma	0.434	0.205
Varyans	0.188	0.042
Değişim Katsayısı	1.648	0.104
Çarpıklık	4.69	4.23
Sivrilik	28.24	30.35
Alt Çeyrek	0.074	0.083
Üst Çeyrek	0.264	0.246

Gerçek verilerin histogramı ve olasılık grafikleri (Şekil 4.10) ile tahmin verilerinin histogramı ve olasılık grafikleri (Şekil 4.40) karşılaştırıldığında büyük ölçüde benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. gerçek verilerin olasılık grafikleri ile tahmin verilerinin olasılık grafikleri birbirleri ile karşılaştırıldığında grafikler birbirine çok yakın ve benzer görülmektedir. Kümülatif olasılık grafiğinin lineer çizgi ile olan ilişkisini gösteren korelasyon katsayısı 0.997 olup, bu değer gerçek verilerin korelasyon katsayısına (0.995) oldukça yakındır. Sonuç olarak yapılan tahminle, giriş verisinin dağılım özellikleri büyük ölçüde korunmuştur.

Tahmin geçerliliğinde kullanılan diğer önemli bir yöntem, gerçek verilerle tahmin edilmiş veriler arasındaki korelasyondur. Gerçek ve tahmin edilmiş verilerin istatistiki parametreleri arasındaki korelasyon (0.997) oldukça yüksektir. Bu durum; oluşturulan tahmin güvenilirliğine işaret etmektedir.

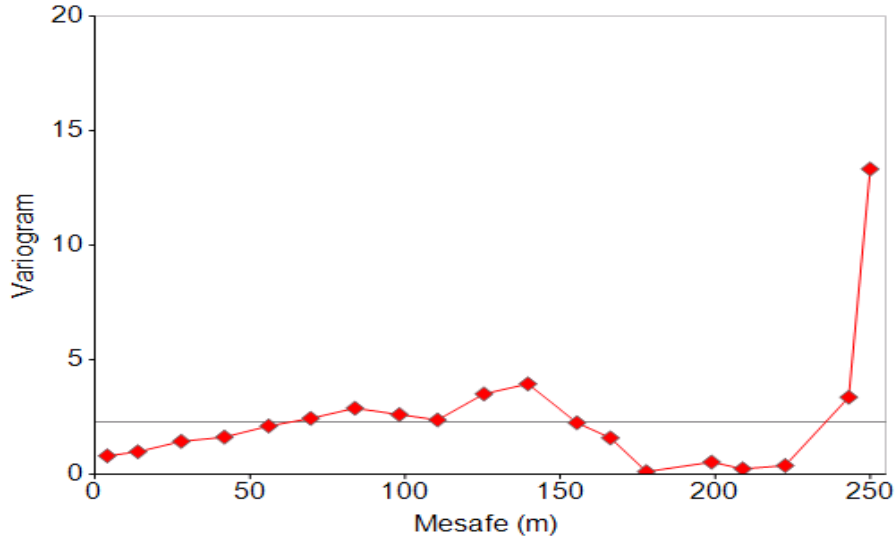
Sonuç olarak, özet istatistikleri, histogramlar, olasılık grafikleri, gerçek verilerle tahmin verileri arasındaki korelasyon değerleri gibi test ölçütleri yapılan tahminin gerçekliğini ve yeterliliğini ortaya koymaktadır.



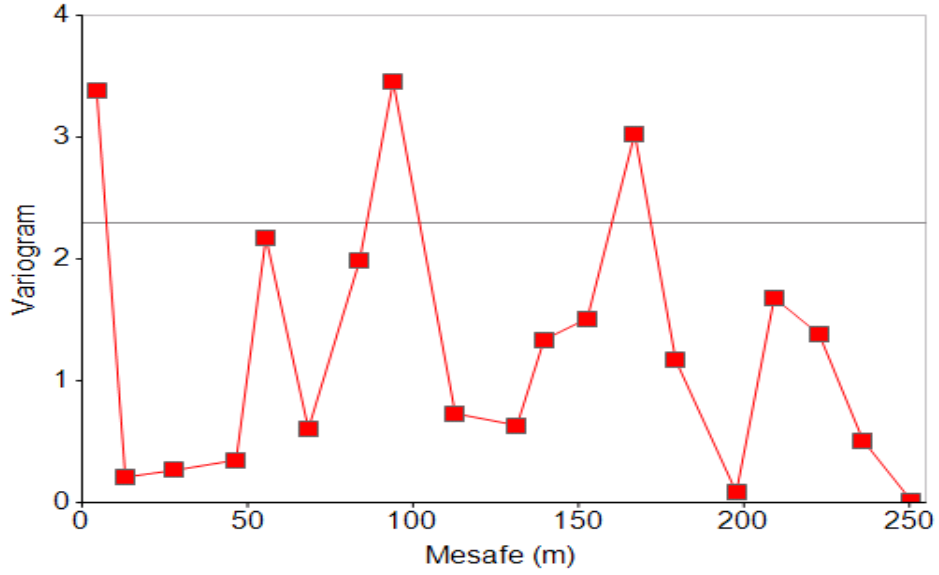
Şekil 4.40 Au tahmin edilmiş değerlerinin a) Histogram ve b) Olasılık grafiği

4.6. Gümüşün Variogram Analizi

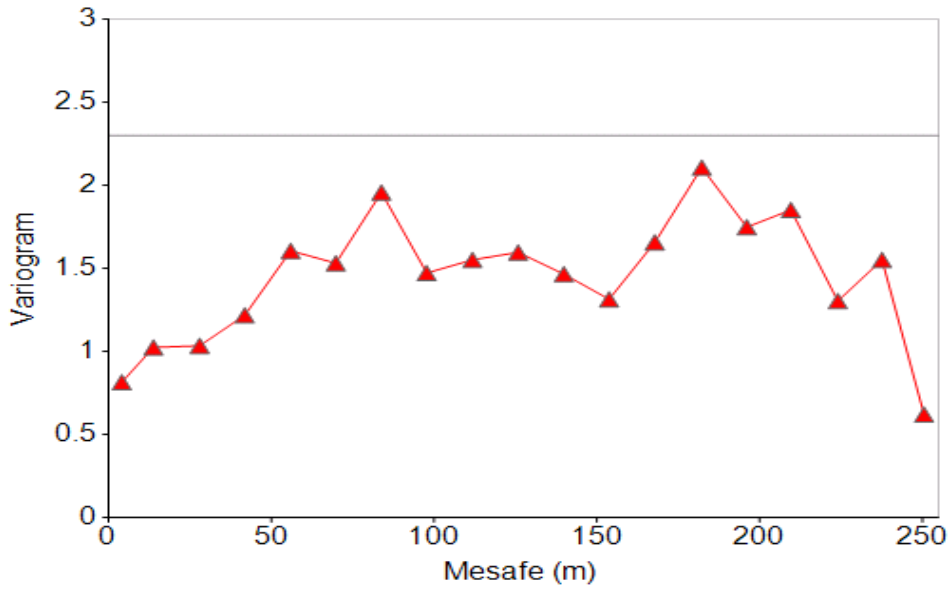
Gümüş verisi variogram modeli için dört yönde (0° , 45° , 90° ve 135°) ve yönsüz teorik variogramlar hazırlanmıştır (Şekil. 4.41, 4.42, 4.43, 4.44 ve 4.45).



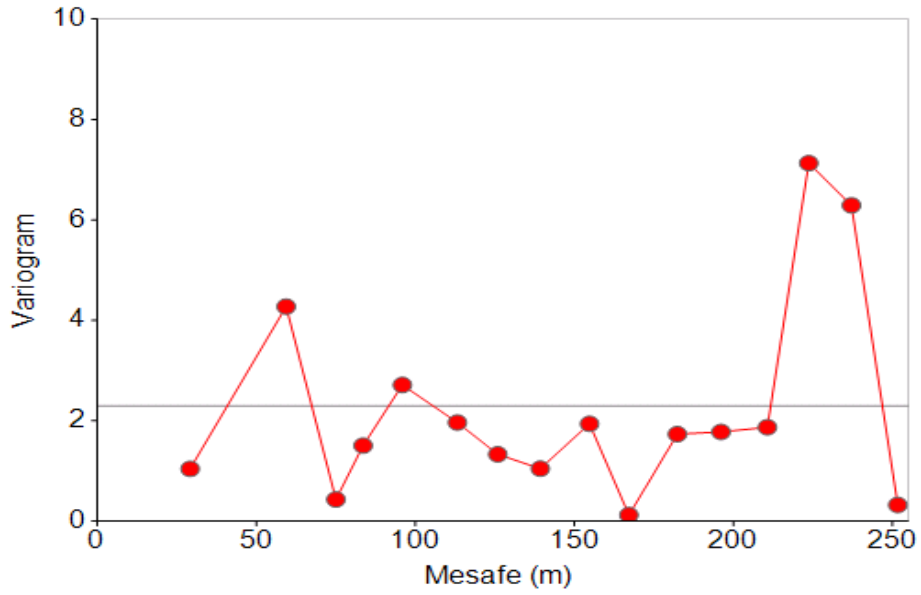
Şekil 4.41. Ag D-B yönünde variogram grafiği



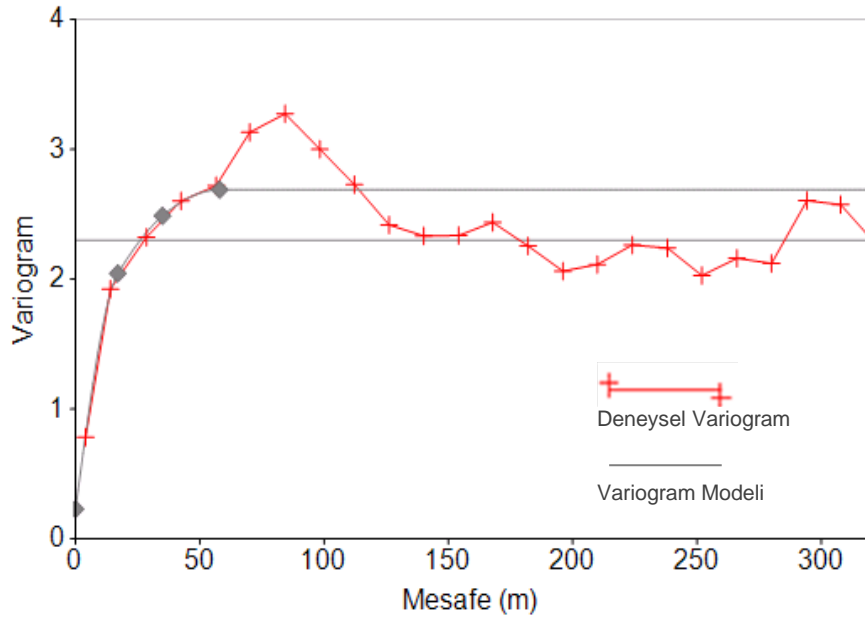
Şekil 4.42. Ag KB-GD yönünde variogram grafiği



Şekil 4.43. Ag K-G yönünde variogram grafiği

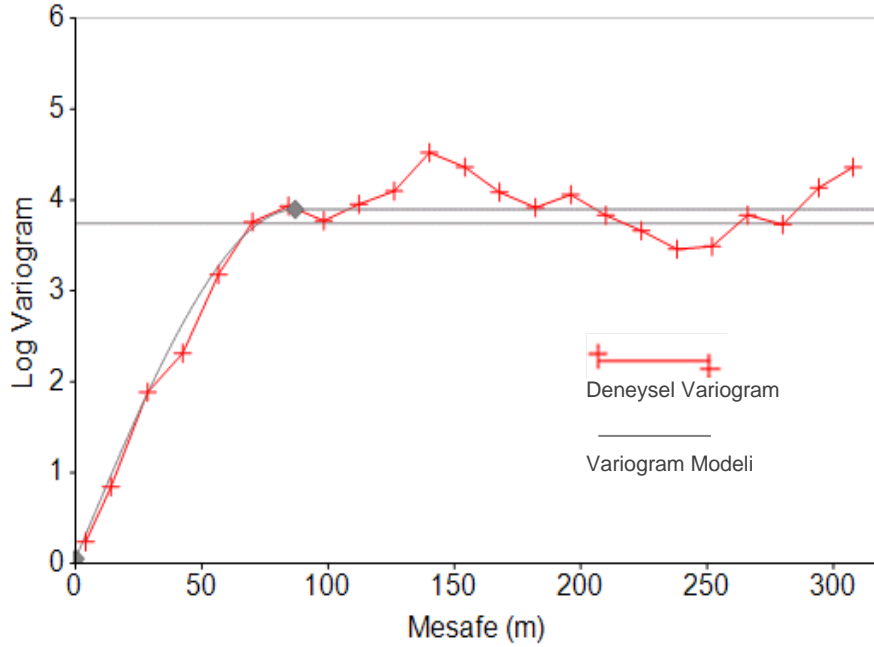


Şekil 4.44. Ag KD-GB yönünde variogram grafiği



Şekil 4.45. Ag yönsüz variogram ve teorik variogram modeli

Yönlü variogram analizinde, çalışma sahasındaki gümüş cevherleşmesinin belirli bir yönde ve mesafede anizotropi ve eğilim göstermediği saptanmıştır. Hazırlanan variogramlar arasında yönsüz variograma üç yapılı izotropik küresel model uydurulmuş olup, Şekil 4.45’de verilmiştir. Gümüşe ait veri analizinde dağılım özelliklerinin logaritmik dağılıma yaklaşması nedeniyle logaritmik yönsüz variogram hazırlanarak tek yapılı izotropik küresel model uydurulmuş ve Şekil 4.46’da verilmiştir. Her iki variogram için model parametreleri Çizelge 4.19’da sunulmuştur.



Şekil 4.46. Ag yönsüz logaritmik variogram ve teorik variogram modeli

Çizelge 4.19. Gümüş küresel variogram modellerine ait parametreler

Variogram Tipi	Kontrolsüz Etki (Nugget)	Yapı	Etki Mesafesi (Range)	Yapısal Varyans	Yapısal Etki (Sill)
Normal	0.23	1	17	1.229	1.459
		2	35	0.246	1.705
		3	58	0.985	2.690
Lognormal	0.052	2	87	3.845	3.897

4.6.1. Gümüş için Çapraz Doğrulama Testleri

Gümüş tahmini öncesi tanımlanan modelin geçerliliği çapraz doğrulama testleri ile değerlendirilmiştir. Bu amaçla ordinary ve lognormal kriging tekniklerinin uygulandığı yöntemlere ait komşuluk parametreleri ve tahmine ilişkin bilgiler Çizelge 4.20’de verilmiştir. Yapılacak tahminler için Çapraz doğrulama testlerinin istatistiksel sonuçları Çizelge 4.21’de sunulmuştur.

Çizelge 4.20. Gümüşe ait komşuluk parametreleri

Tahmin Türü		Ordinary Kriging	Lognormal Kriging
Minimum Örnek Sayısı		1	1
Maksimum Örnek Sayısı		20	20
Arama Çapı (m)	X	200	100
	Y	200	100
	Z	200	100

Çizelge 4.21. Gümüşün çapraz doğrulama testi sonuçları

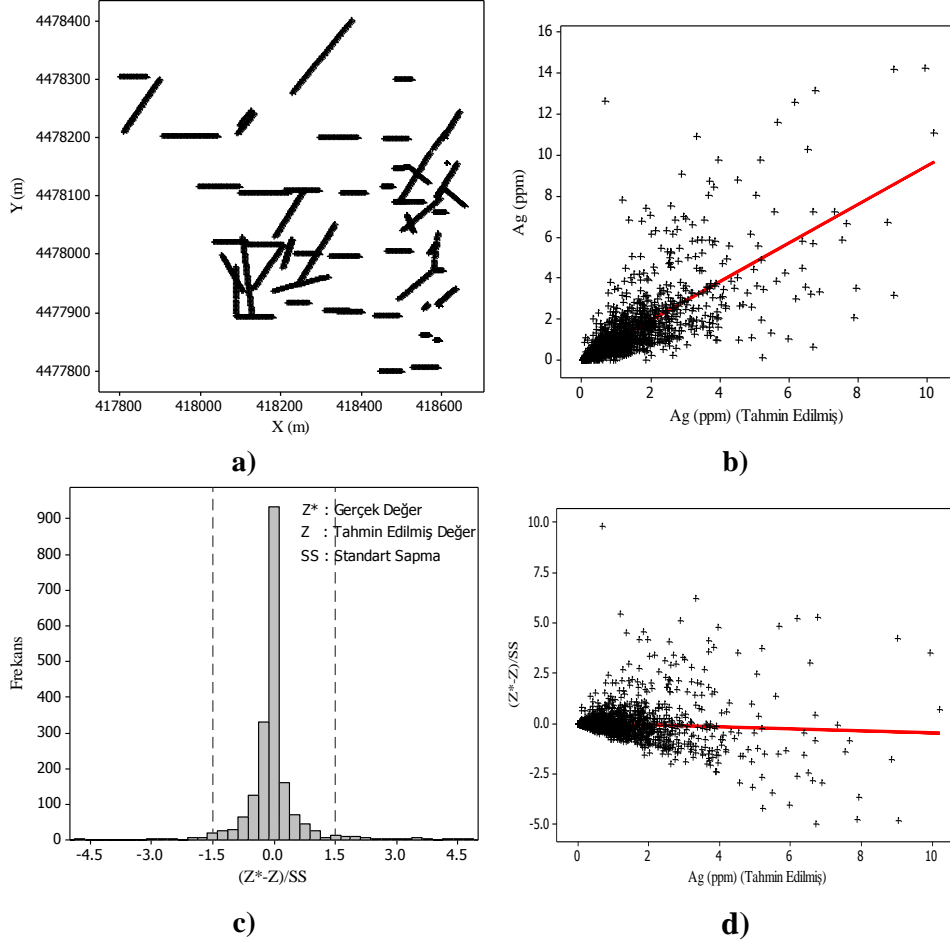
Test İstatistiği Parametreleri		Ag Tahminleri	
		Ordinary Kriging.	Lognormal Kriging.
Gerçek Değerlerin Ortalaması		1.020	1.020
Tahmin Edilmiş Değerlerin Ortalaması		1.024	1.049
Ortalamaların Farkı		-0.004	-0.028
Ortalamaların Farkı (%)		-0.403	-2.771
Ortalamanın Mutlak Farkı		0.486	0.477
Gerçek Değerlerin Varyansı		2.298	2.298
Tahmin Edilmiş Değerlerin Varyansı		1.480	1.585
Gerçek ve Tahmin Edilmiş Değerlerin Korelasyon Katsayısı		0.756	0.724
Kriging Varyanslarının Ortalaması		0.949	32.808
Kareler Farkının Ortalaması		0.988	1.117
Kriging Ortalamalarının Oranı		0.960	29.376
Regresyon Parametreleri	Doğrunun Y eksenini kestiği nokta (c)	0.055	0.105
	Eğim (b)	0.943	0.873

Çizelge 4.21 incelendiğinde her iki yöntem için korelasyon katsayılarının (0.756 ve 0.724) anlamlı bir ilişkiye işaret ettiği görülmüştür. Kriging ortalamalarının oranı ordinary kriging için 0.960, lognormal kriging için 29.376'dır. Mükemmel bir tahminde ortalamaların oranı 1 olmalıdır. Tahminler bu açıdan kıyaslandığında ordinary kriging sonuçlarının daha üstün olduğu gözlenmiştir. Regresyon eğrisinde 0 olması beklenen y ekseninin kesişim değeri (c); ordinary kriging için 0.055, lognormal kriging için 0.105 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde regresyon eğrisinin 1 olması beklenen eğimi (b); ordinary kriging için 0.943, lognormal için 0.873 bulunmuştur. Regresyon parametreleri açısından ordinary kriging daha iyi bir tahmin sunmuştur. Ordinary kriging çapraz doğrulama testlerinde ortalamaların farkı -0.004 olarak bulunmuş olup 0 değerine lognormal kriging test sonucundan (-0.028) daha yakındır.

Çapraz doğrulama testlerinin istatistiksel açıdan incelemesinde ordinary kriging tahmin modeli, gümüş verisi için yeterli ve uygun bulunmuştur. Ordinary kriging yöntemi için çapraz doğrulama test sonuçlarının grafiksel formu Şekil 4.47'de verilmiş, lognormal kriging için grafiksel analiz gerekli görülmemiştir.

Gerçek değerlerle tahmin edilmiş değerler, diyagonal (lineer) çizgi boyunca düzenli olarak dağılmıştır (Şekil 4.47b). Bu dağılım, gerçek ve tahmin edilmiş değerler arasında kuvvetli bir korelasyonun (doğrusal bir ilişkinin) bulunduğunu göstermektedir. Verilerin standardize edilmiş değerlerinin histogramları normal dağılım göstermesi yapılan modelin uygunluğuna işaret etmektedir (Şekil 4.47c). Artık değerler (gözlemlenmiş değerlerle tahmin edilmiş değerler arasındaki fark) sıfır çizgisinin (X eksenin) etrafında tesadüfi, simetrik ve homojen olarak dağılmış ve yapılan modelin ve analizin uygun ve yeterli olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.47d).

Sonuç olarak, gerek istatistiksel gerekse grafiksel analizlerde, ordinary kriging tahmin modellemesinin doğruluğu ve yeterliliği ortaya konmuştur.

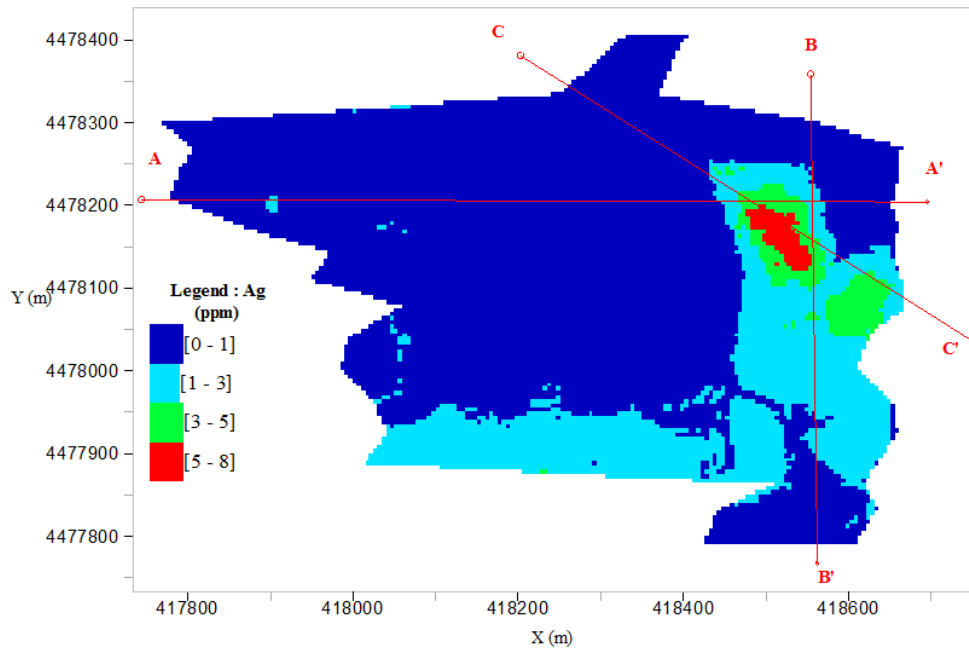


Şekil 4.47. Ag için Ordinary Kriging'e ait çapraz doğrulama test sonuçları a) Test noktalarını gösteren lokasyon haritası, b) Gerçek ve tahmin edilmiş değerler arasındaki ilişki, c) Standardize edilmiş değerlerin histogramı, d) Artık değerlerin dağılımı

4.7. Ordinary Kriging Yöntemiyle Gümüşün Rezerv ve Tenör Tahmini

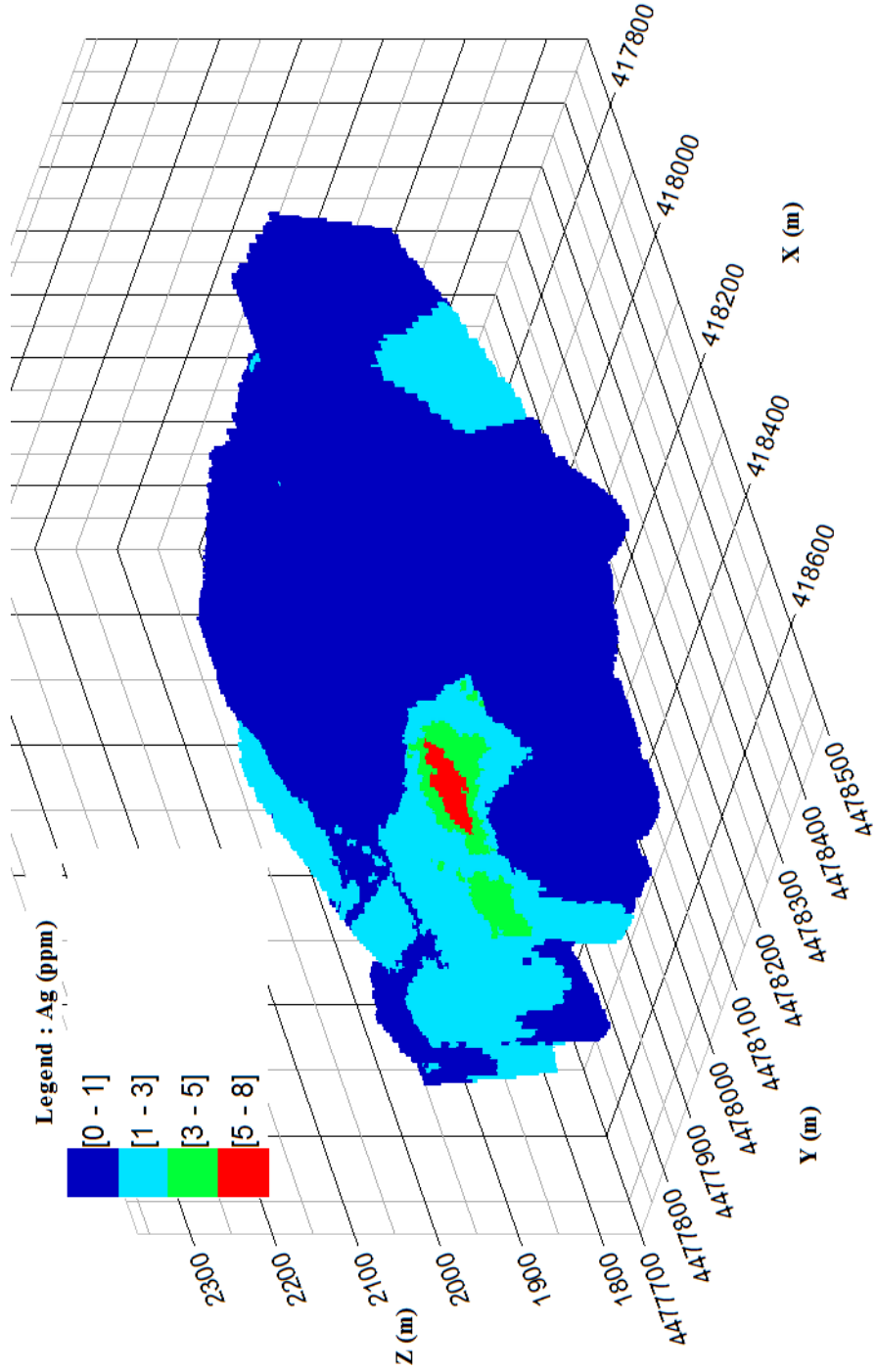
Çapraz doğrulama testleri ordinary kriging sonuçlarının, lognormal kriging sonuçlarından daha uygun olduğunu gösterdiğinden gümüş tahmini için Ordinary Kriging yöntemi seçilmiştir. Yapılacak tahmin işlemleri için gerekli parametre dosyaları hazırlanmıştır. Altın tahmininde olduğu gibi tüm saha için rezerv hesabında yoğunluk değeri 2.50 t/m^3 olarak kullanılmıştır. Çapraz doğrulama

testlerinde belirlenen parametreler kullanılarak blok modelin tahminle doldurulması ile gerçekleştirilmiş ve oluşturulan tahmin modeline ait plan ve üç boyutlu görünüşleri Şekil 4.48 ve 4.49'da verilmiştir.



Şekil 4.48. Ag tahmin haritası (plan)

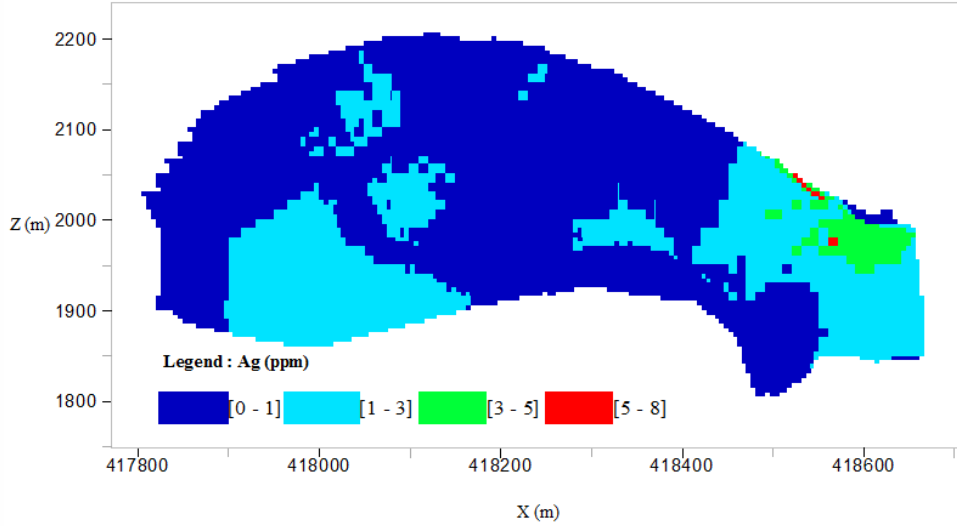
Üretim teknolojisi açısından bakıldığında altın ile birlikte çıkarılan gümüş cevherinin işletme sınır tenörü 1.1 ppm civarındadır (Tüprag, 2014). Çalışma sahasında gümüş için işletme sınır tenör belirlenmemiştir. Saha genel olarak incelendiğinde 1 ppm tenörünün altında bir cevherleşme göze çarpmaktadır. Sahanın kuzey sınırına yakın iki bölgede belirgin bir şekilde tenör artışı ayırt edilmektedir.



Şekil 4.49. Ag üç boyutlu tahmin haritası

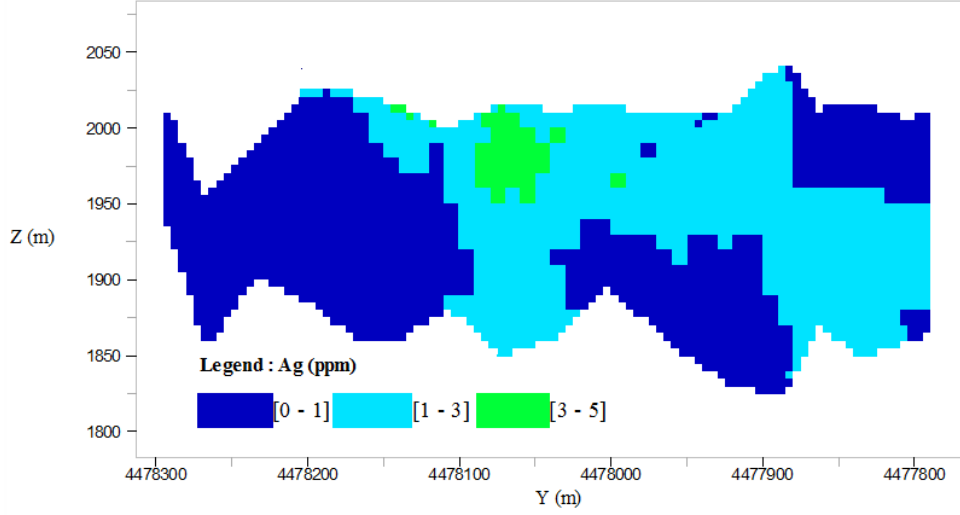
Şekil 4.48 üzerinde daha önce altın modeli için belirlenen A-A' ve B-B' doğrultularında kesitler oluşturulmuştur (Şekil 4.50 ve 4.51).

A-A' Kesiti incelendiğinde tavan ve taban kısımlarında iki noktada bölgesel bir cevherleşme göze çarpmaktadır. Taban kısmındaki cevherleşme 1-3 ppm aralığındadır. Tavan kısmındaki cevherleşme ise nispeten daha küçük hacimli olup, tenör değeri 5 ppm değerine kadar çıkmaktadır. Sahada zonlanmanın gümüş cevherleşmesi üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir (Şekil 4.50).

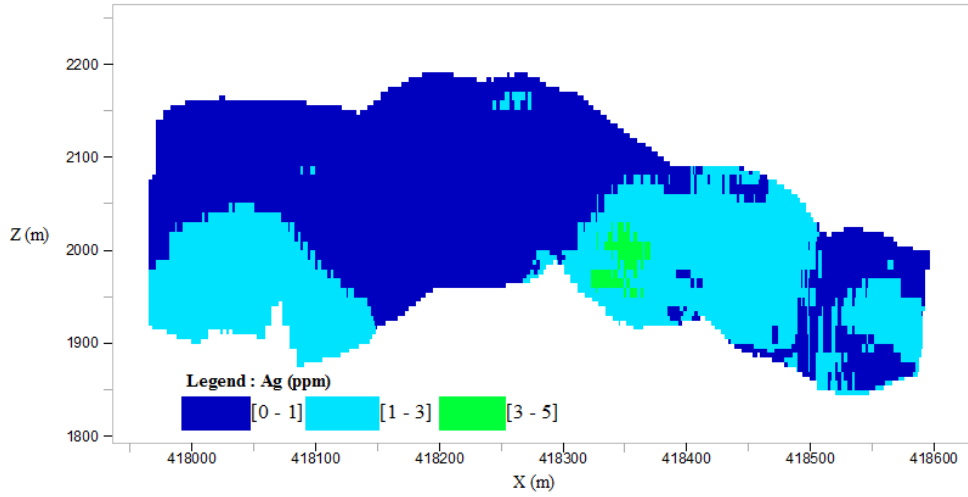


Şekil 4.50. Ag tahmin haritası (AA' kesit görünüşü)

B-B' doğrultusu boyunca alınan kesitte, sahanın güneydoğusunda gümüş cevherleşmesinde artış olduğuna işaret etmektedir. Genel olarak 1-3 ppm arasında gözlenen bu artış yer yer 5-8 ppm'e kadar ulaşmaktadır (Şekil 4.51). A-A' ve B-B' doğrultularında alınan kesitlerde, gümüş cevherleşmesinin altın cevherleşmesinden farklı karakteristik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu farklılık, veri değerlendirme aşamasında altın ve gümüş cevherleşmelerinin birbiriyle korelasyonu olmadığı hakkındaki tespiti doğrulamaktadır. Plan haritasında C-C' güzergahında ortalama tenörlü (1-3 ppm aralığında) gümüş yoğunlaşması mevcuttur. Çok sınırlı bir alanda ise yükselme (3-5 ppm aralığında) gözlenmiştir (Şekil 4.52).

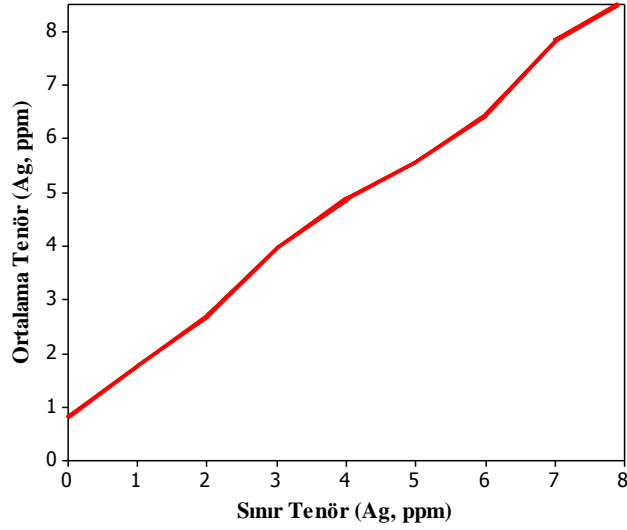


Şekil 4.51. Ag tahmin haritası (BB' kesit görünüşü)

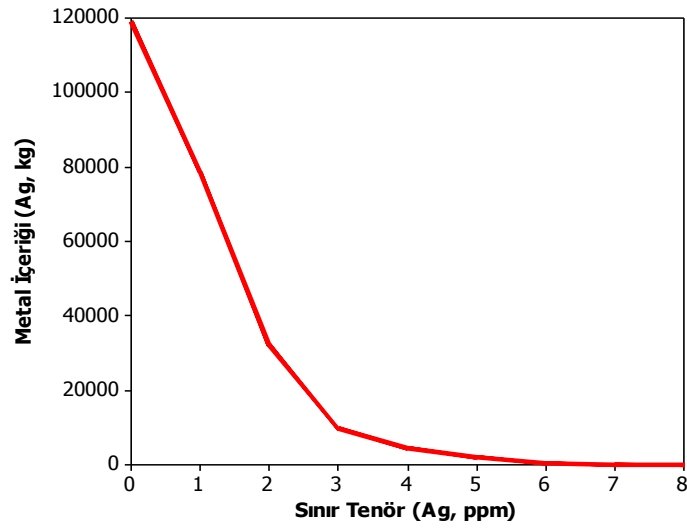


Şekil 4.52. Ag tahmin haritası (CC' kesit görünüşü)

Gümüş için hazırlanan rezerv ve tenör eğrileri Şekil 4.53 ve 4.54'de verilmiştir.



Şekil 4.53. Gümüşün ortalama tenörü ile işletme sınır tenörünün grafiği



Şekil 4.54. Gümüşün işletme sınır tenörleri ile tonajları

Belirlenen sınır tenör değerleri ile rezerv ve metal içerikleri arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 4.53 ve 4.54). Modele ait rezerv ve tenör değerlerinin belirlenen sınır değerlere göre miktarları Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22 belirlenen aralıklarda sınır değerler için rezerv, ortalama tenör ve metal içeriğini göstermektedir. Sahadaki gümüş rezervi için herhangi bir sınır değer tespit edilmemiştir. Örnek olarak işletme sınır tenörü 2 ppm olarak düşünülür ise bu değer üzerinde toplam rezerv 11,958,090 ton olup, bu sınırdaki kazanılacak toplam gümüş miktarı 32,167 kg olarak hesaplanmıştır. Tüm sahanın üretimi sonrasında sınır tenörün üzerindeki ortalama tenör 2.690 ppm olacaktır.

Çizelge 4.22. Ag rezerv ve tenör tahmin sonuçları

Sınır Tenör (ppm)	Sınır Tenör Üzerindeki Toplam Rezerv (ton)	Sınır Tenör Üzerinde Kalan toplam Rezervin Ortalama Tenörü (ppm)	Sınır Tenör Üzerindeki Metal İçeriği (kg)
0	146397086	0.812	118874.4
1	44336942	1.773	78609.4
2	11958090	2.690	32167.3
3	2426563	3.955	9597.1
4	898750	4.881	4386.8
5	360938	5.569	2010.1
6	63125	6.436	406.3
7	10000	7.814	78.1
8	2500	8.567	21.4

4.7.1. Gümüş Tahmininin Doğrulanması

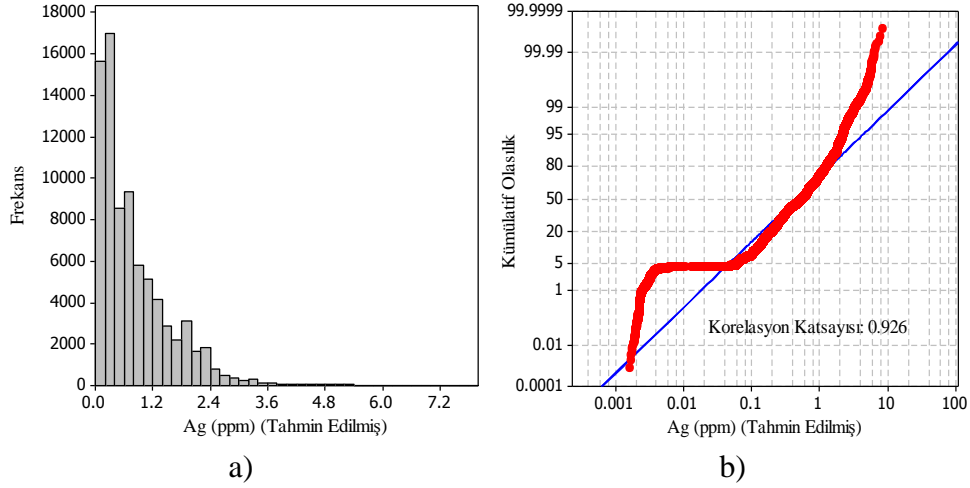
Gümüşe ait rezerv ve tenör, tahminlerinin doğrulanması; gerçek veriler ile tahmin verilerine ait özet istatistikleri, histogram ve olasılık grafiklerinin karşılaştırılması ile yapılmıştır (Çizelge 4.23 ve Şekil 4.55). Bunlara ek olarak gerçek değerler ile tahmin edilmiş değerler arasındaki korelasyon incelenmiştir.

Gerçekleştirilen tahmin işleminin doğrulanması için gerçek veri setinin özet istatistikleri ile tahmin verilerinin özet istatistikleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.23 incelendiğinde, gerçek değerlerin ortalaması ile tahmin değerlerinin ortalamalarının birbirine yakın ve ortalamalardaki değişimin %1 olduğu saptanmıştır. Dağılım ölçüleri ise (standart sapma, varyans, değişim katsayısı gibi) gerçek değerlerden çok daha düşüktür. İyi bir tahminde merkezi eğilim ölçülerinin

birbirlerine yakın, dağılım ölçülerinin ise orijinal verilerden düşük olması beklenmektedir. İncelemeler, bu beklentinin yerine getirildiğini ve oluşturulan modelin yeterliliğini ve güvenilirliğini ortaya koymuştur.

Çizelge 4.23. Gümüşün gerçek ve tahmin edilmiş değerlerinin istatistikleri

	Gerçek Değerler	Tahmin Edilmiş Değerler
Veri Sayısı	1943	80338
Minimum	0.011	0.002
Maksimum	14.24	8.567
Aritmetik Ortalama	1.02	0.812
Standart Sapma	1.52	0.782
Varyans	2.3	0.611
Değişim Katsayısı	1.48	0.963
Çarpıklık	3.73	1.91
Sivrilik	19.42	5.68
Alt Çeyrek	0.19	0.247
Medyan	0.52	0.576
Üst Çeyrek	1.2	1.146



Şekil 4.55. Ag tahmin edilmiş değerlerinin a) Histogram ve b) Olasılık grafiği

Gerçek verilerin histogramı ve olasılık grafikleri (Şekil 4.16) ile tahmin verilerinin histogramı ve olasılık grafikleri (Şekil 4.54) karşılaştırıldığında birbirleri ile örtüştüğü gözlenmiştir. Histogram grafiğinin, gümüş verisindeki tenör dalgalanmaları neticesinde çok az bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. Kümülatif olasılık grafiğinin lineer çizgi ile olan ilişkisini gösteren korelasyon katsayısı 0.926 olup, bu değer gerçek verilerin korelasyon katsayısına (0.995) oldukça yakındır. Yapılan tahmin, giriş verisinin istatistiki parametrelerini yansıtmakla kalmamış, bunun yanı sıra dağılım özelliklerini de bozmamıştır.

Tahmin verileri ile gerçek verilerin istatistik değerlerinin korelasyon katsayısı 0.91 olarak hesaplanmıştır. Bu durum; oluşturulan tahmin modelinin gerçek veriler ile olan korelasyonun çok yüksek olduğuna işaret etmektedir.

İstatistiksel ve grafiksel doğrulama testlerinin sonucunda, gümüş verileri için gerçekleştirilen tahmin uygulamasının etkin ve uygun olduğunu ortaya koyulmuştur.

4.8. Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) İle Altının Modellenmesi

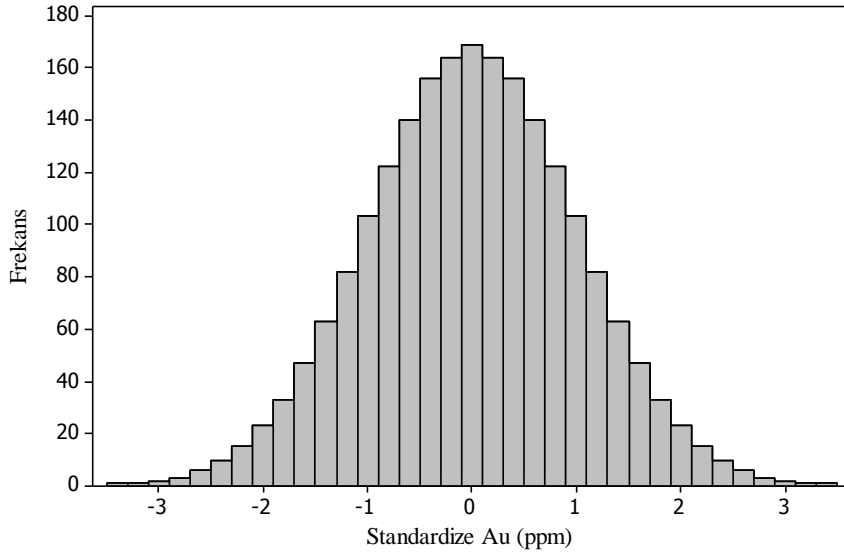
Pek çok alternatif yöntem olmasına karşılık, tez çalışmasında olduğu gibi Ardışık Gauss Simülasyon uygulamasına, kompozit verinin logaritmik dönüşümü ile başlanması standart bir uygulamadır. Bu aşamadan sonra yapılması gereken dönüşümün doğru olup olmadığının kontrolüdür. Bu amaçla standardize verilerin frekans grafiği ve özet istatistikleri incelenmektedir. Sonraki aşamada AGS ile modelleme yapılmaktadır. Her simülasyon uygulamasında sonuçların doğrulanması gerekmektedir. Sonuçlar doğrulanırken istatistikleri, frekans tabloları ve variogram davranışları kullanılmaktadır. Blok simülasyonlarının standart sapmalarından yararlanarak belirsizlik analizi AGS'deki son aşamadır.

Kullanılan DATAMINE yazılımı, program içerisinde verilerin normal dağılıma dönüştürülmesini kendi başına yapmaktadır. Simülasyondan önce gerçek verilerin logaritmik dönüşümü yapılarak uygunluğu kontrol edilmiştir. Normal dağılımlı altın verilerinin variogram analizi yapılarak teorik variogram modeli

uydurulmuştur. Model parametrelerinden faydalanılarak Ardışık Gauss Simülasyonu 100 kere gerçekleştirilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları, hem grafiksel, hem de istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Doğruluğu kanıtlanan simülasyon uygulamasında belirsizlik analizi için her bloğun istatistik parametreleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan standart sapma haritaları üretilmiştir.

4.8.1. Altın Verilerinin Normal Dağılıma Dönüştürülmesi

Altın simülasyon çalışmaları için kompozit veriler kullanılmıştır. Teknik ve teorik olarak, simülasyon uygulanacak veri setinin normal dağılıma uyması beklenmektedir. DATAMINE programı, AGS uygulaması sırasında otomatik olarak transformasyon yapmaktadır. Yapılacak transformasyon kontrol edilmiştir. Kompozit verilerindeki aşırı sağa çarpık, pozitif dağılım nedeni ile altın verilerinin logaritması alınarak dönüşüm sağlanmıştır. Standardize verilerin histogram grafiği incelendiğinde mükemmel normal dağılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.56).



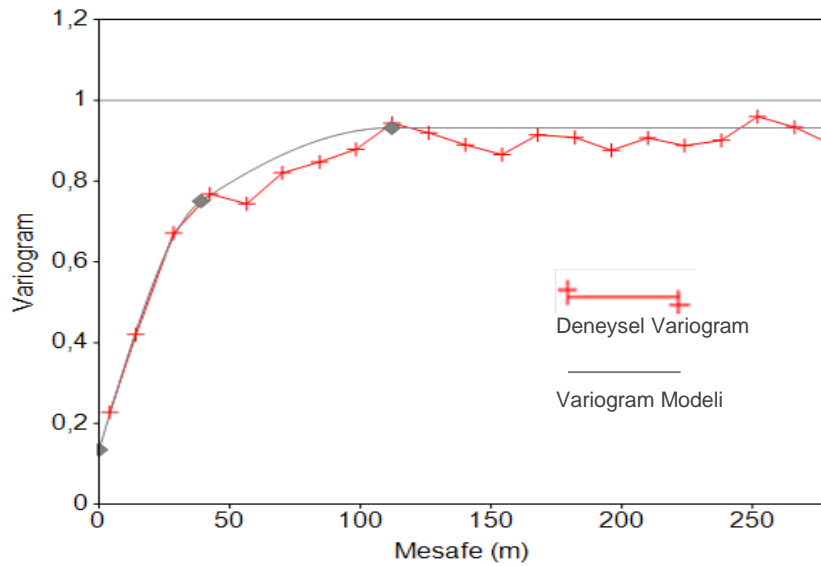
Şekil 4.56. Standardize Altın verilerinin frekans grafiği

Çizelge 4.24. Standardize altın değerlerinin özet istatistikleri

	Standardize Değerler
Veri Sayısı	2111
Minimum	-3.495
Maksimum	3.495
Aritmetik Ortalama	0
Medyan	0
Standart Sapma	0.9999
Varyans	0.9999
Çarpıklık	0
Sivrilik	0

4.8.2. Normal Dağılımlı Altın Verilerinin Variogram analizi

Normal dağılıma dönüştürülen veriler için yönsüz variogram hesaplanmış, hesaplanan deneysel variograma, teorik variogram modeli uydurulmuştur (Şekil 4.57).



Şekil 4.57. Au (logaritmik) yönsüz variogram ve teorik variogram modeli

Logaritmik dönüşümü yapılmış altın verisine ait variogram model parametreleri Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Au (logaritmik) küresel variogram modeline ait parametreler

Model Tipi	Kontrolsuz Etki (Nugget)	Yapı	Etki Mesafesi (Range)	Yapısal Varyans	Yapısal Etki (Sill)
Küresel	0.135	1	39	0.433	0.568
		2	112	0.364	0.932

4.8.3. Altının Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS)

Altının ardışık gauss simülasyonu işlem basamakları ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır.

- Tüm verilere logaritmik dönüşüm uygulanmıştır.
- Mümkün olan en küçük boyutta grid sistemi oluşturulmuştur.
- Rastgele ziyaret yolu tanımlanmıştır.
- Birinci nokta için en yakın örnekler tespit edilmiştir.
- Seçilen örnek değerleri ile ordinary kriging tahmini yapılmıştır (bu tahmin için dönüştürülmüş verilerin variogram model parametreleri kullanılmıştır).
- Tahmin varyansı kullanılarak normal dağılım tanımlanmıştır.
- Tanımlanan dağılım kümülatif dağılıma dönüştürülmüştür.
- Monte Carlo kullanılarak bir değer seçilmiştir.
- İkinci noktaya gelindiğinde birinci noktaya atanan simülasyon değeri de işleme alınarak ikinci nokta için aynı şekilde değer atanmıştır.
- Simülasyon serisinde tanımlanan tüm noktalara değer atandıktan sonra, tanımlanan sayıda ziyaret yolu için üstteki basamaklar yeniden çalıştırılmıştır.
- Sahada 100 simülasyon gerçekleştirildikten sonra değerlerin logaritmik dönüşümü geri alınmıştır.

Datamine programı içerisindeki simülasyon işlemleri, oluşturulan blok model dosyaları içerisinde çalıştırılmamaktadır. AGS işlemi öncesi prototip dosyası hazırlanarak, blok parametreleri tanımlanmıştır (Çizelge 4.26). Simülasyon uygulamasında, tahmin çalışmasında kullanılan blok parametreleri kullanılmamıştır. Bunun en büyük nedeni, simülasyon sonrası oluşan veri dosyasının boyutunun oldukça çok olmasıdır. Özellikle 100 defa simülasyon istendiğinde, simülasyon hesaplaması esnasında büyük sıkıntılar yaşanmıştır. Bu nedenle programın yol açtığı bellek sorununa yol açmayacak en küçük hücre boyutu prototip parametresi için uygun görülmüştür. Tanımlanan blok model parametreleri kullanılarak kompozit veriler Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) ile 100 defa simüle edilmiştir.

Çizelge 4.26. Simülasyon prototipi için gerekli parametreler

PROTOTİP KOORDİNATLARI (MİNİMUM)	X	Y	Z
	417700	4477700	1750
TANIMLANAN HÜCRE BOYUTLARI (m)	25	25	10
BLOK MODEL İÇERİSİNDE OLUŞTURULAN HÜCRE SAYILARI	40	32	50

4.8.4. Altının Ardışık Gauss Simülasyonunun Doğrulanması

Simülasyon sonuçlarının doğrulanması, simülasyon verilerinin tanımlayıcı istatistik değerlerinin, histogramlarının ve yarıvariogram geri üretimlerinin test edilmiştir.

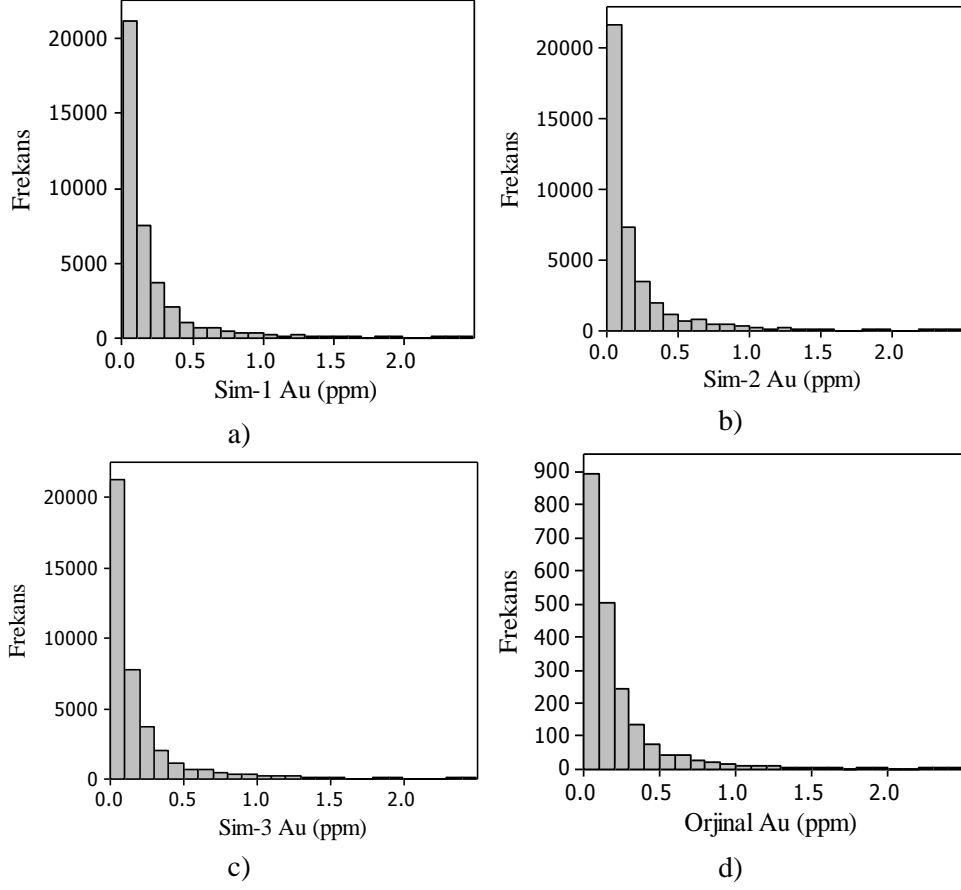
Simüle edilmiş sonuçların tamamı için tanımlayıcı istatistikler hesaplanmış ve orijinal verilerin istatistiki parametreleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için istatistiki parametrelerin gerçek verilerle arasındaki korelasyonlar bulunmuştur. 100 adet simülasyondan rastgele seçilen 4 adet simülasyona ait tanımlayıcı istatistik parametreleri Çizelge 4.27’de verilmiştir. Simülasyon verilerinin standart sapma değerleri, orijinal verilerin değerlerine oldukça yakındır. Ortalama ve diğer

dağılım ölçüleri büyük oranda orijinal verilere benzerlik göstermiştir. İstatistiki açıdan simülasyon sonuçları orijinal veriler ile oldukça uyumludur (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. Au simülasyon istatistikleri

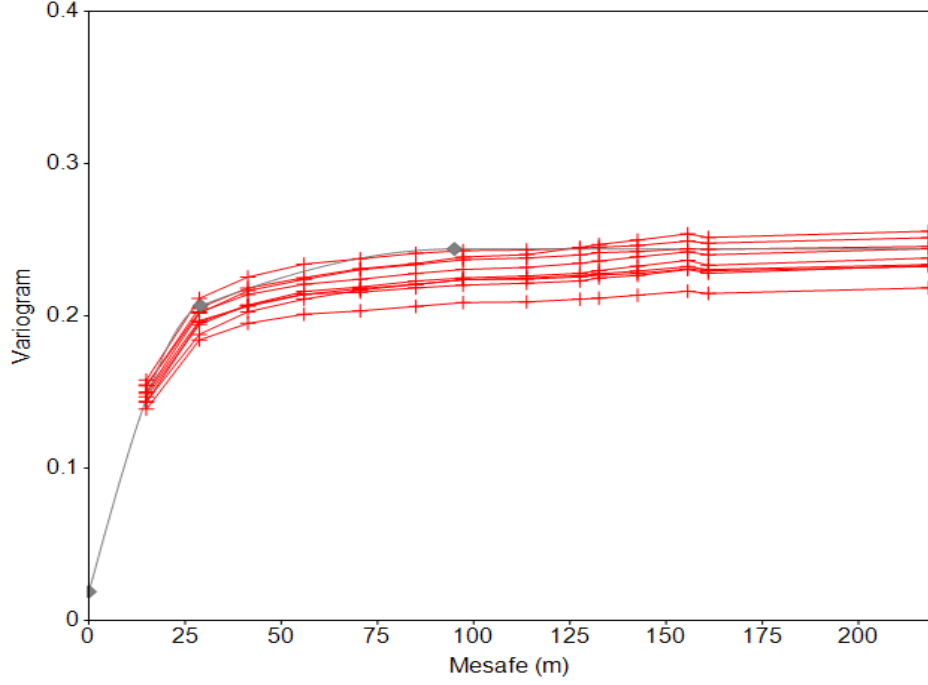
	Kompozit	SİM-1	SİM-2	SİM-3	SİM-4
Veri Sayısı	2111	40389	40389	40389	40389
Minimum	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Maksimum	4.539	4.500	4.500	4.500	4.500
Aritmetik Ortalama	0.263	0.258	0.267	0.262	0.252
Medyan	0.123	0.999	0.999	0.999	0.999
Standart Sapma	0.434	0.509	0.535	0.516	0.497
Varyans	0.188	0.259	0.287	0.266	0.247
Değişim Katsayısı	1.648	1.970	2.007	1.973	1.969
Çarpıklık	4.690	4.530	4.510	4.570	4,800
Sivrilik	28.240	24.450	23.920	24.870	27.590
Alt Çeyrek	0.074	0.040	0.041	0.043	0.045
Üst Çeyrek	0.264	0.231	0.234	0.232	0.227

Simülasyonlara ait histogramlar ile orijinal verilerin histogramları örtüşmektedir (Şekil 4.58). Simülasyon işlemi sonunda orijinal verilerin histogramı başarılı bir şekilde geri üretilmiştir.



Şekil 4.58. Au histogram geri üretimi (a-c), orijinal veri histogramı (d)

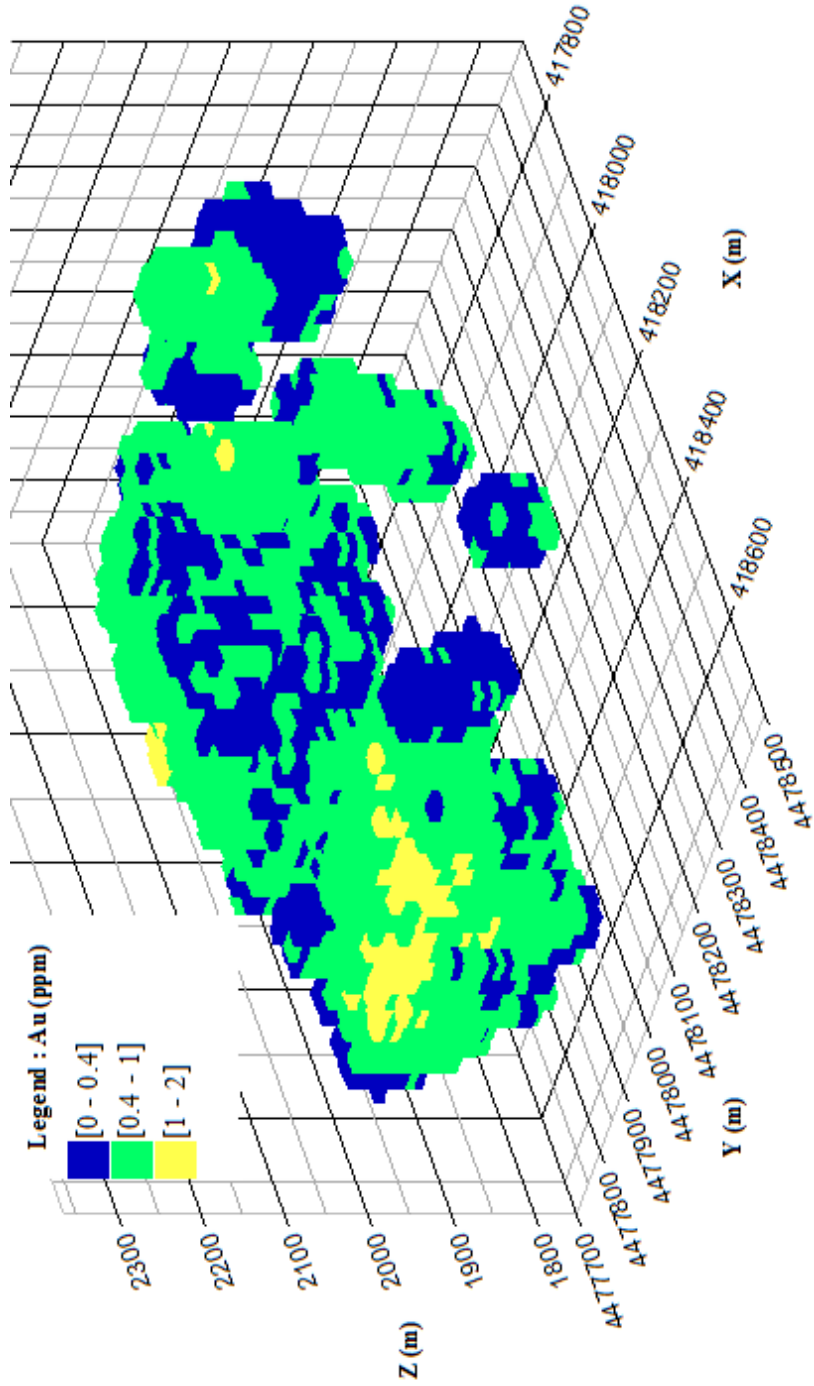
Simülasyonlara ait verilerin yön­süz yarıvariogramları hesaplanmıştır. Hesaplanan deneysel variogramlar, orijinal verileri tanımlayan variogram modeli ile eşleştirilmiştir (Şekil 4.59). Şekil 4.59’da kırmızı çizgi rastgele seçilmiş simüle verilerin variogramlarını, düz gri çizgi ise orijinal verilere ait teorik variogram modelini temsil etmektedir. Variogramların geri üretimi yüksek oranda teorik variogram modeli ile uygunluk göstermiştir.



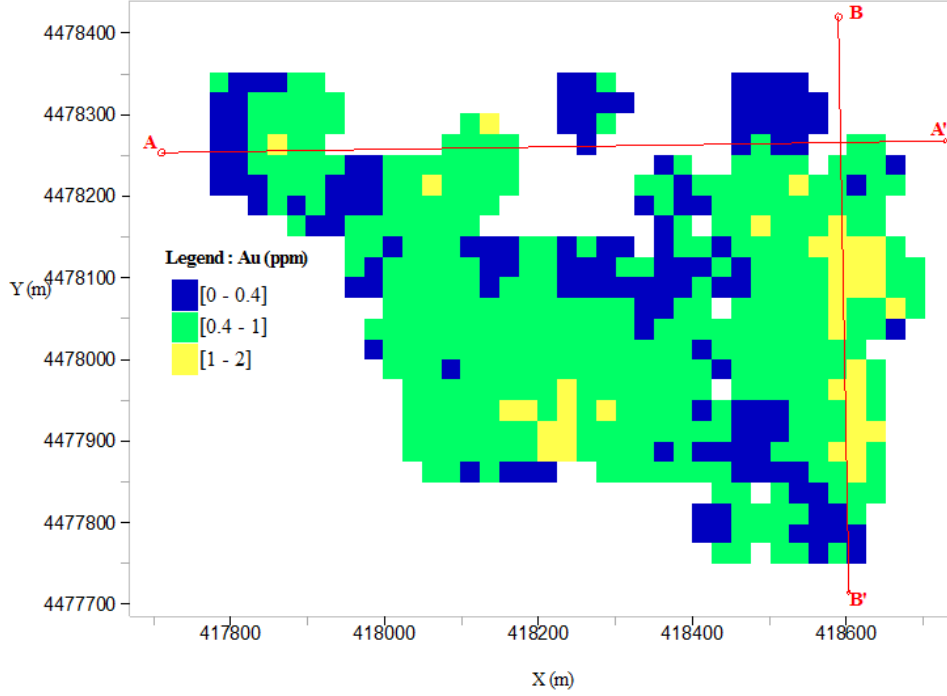
Şekil 4.59. Au simülasyonu variogram grafiği

4.8.5. Altının Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) ile Tenör Modeli

Tüm simülasyonların ortalamaları alınarak blok model oluşturulmuştur. Simülasyonların ortalamaları teorik olarak kriging tahminine eşittir. Buna karşılık simülasyon haritalarında, düzleştirme etkisi (smoothing effect) kriging tahmin haritalarından daha azdır. Bu nedenle altın tenörünün uzaysal değişimleri simülasyon haritalarında rahatça izlenmektedir. Tüm haritalarda sınır değer üzerindeki cevher yerleşiminin yoğun olduğu tespit edilmiştir. Kriging tahmin haritalarında farkedilen bölgesel yoğunlaşmalar burada da göze çarpmaktadır. Cevherin dağılımı ve geometrik pozisyonlarını gösteren simülasyon haritaları Şekil 4.60, 4.61, 4.62 ve 4.63’de verilmiştir.



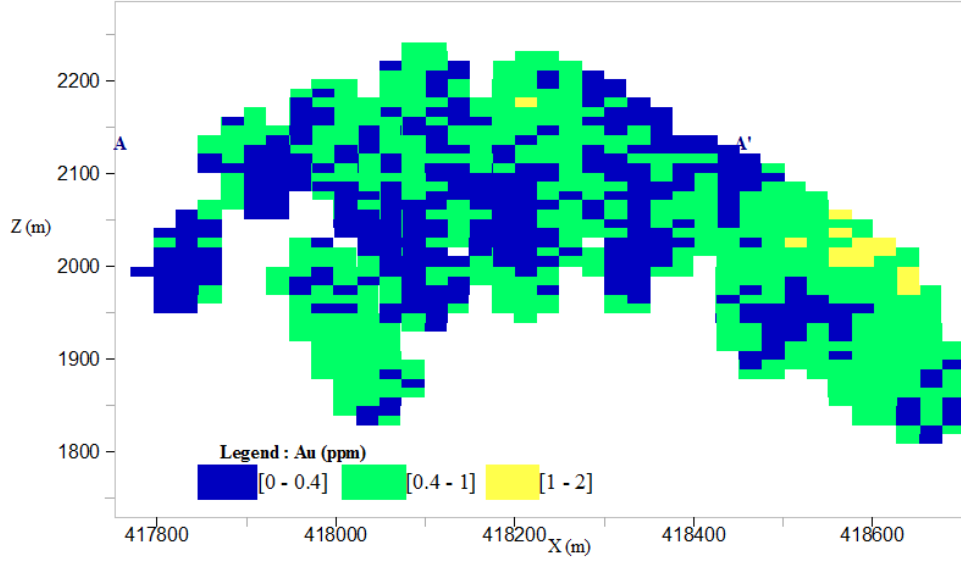
Şekil 4.60. Au üç boyutlu simülasyon haritası



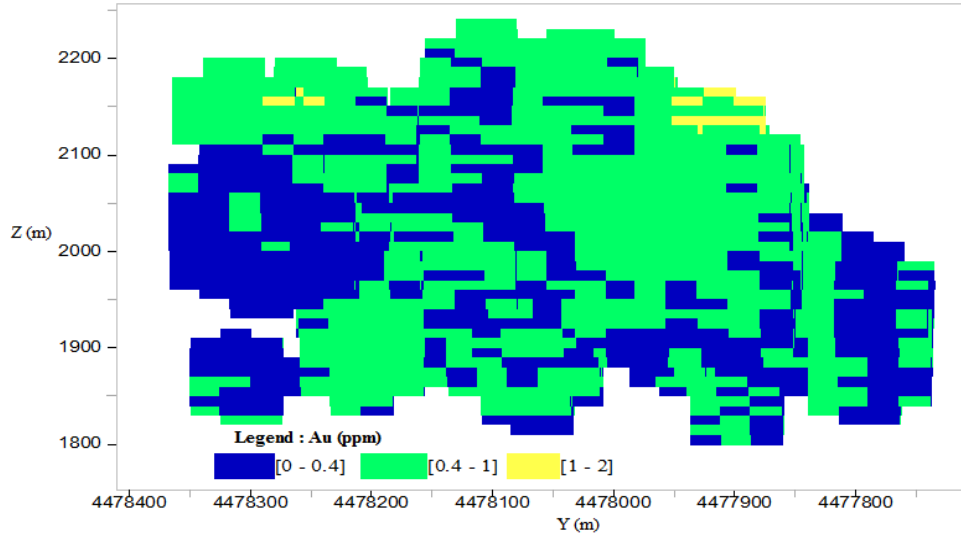
Şekil 4.61. Au simülasyon haritası (Plan)

Şekil 4.60'ta, tenör değeri atanan bloklar üç boyutlu olarak görülebilmektedir. Şekil 4.61'de görüldüğü gibi, 0.4 – 1 ppm aralığındaki altın, genel olarak sahaya hakimdir. Sahanın doğusunda 1 – 2 ppm aralığında tenör yoğunlaşması mevcuttur. AA' kesiti incelendiğinde sahanın doğu bölümünde tenör değerinde yükselme izlenmiştir. Geri kalan alanın %50'sinde, işletme sınır değeri üzerinde kalan Au yerleşmiştir (Şekil 4.62). BB' güzergahında alınan kesit, plan görünüşte sahanın doğusunda farkedilen yüksek tenör yoğunlaşmasının yüzeysel olduğunu göstermektedir. Kesit incelendiğinde özellikle sahanın Kuzey doğusuna gelen kısımda 2100 m kotunda tenör değerlerinin işletme sınır tenörünün altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu bölge haricinde kesit alanına 0.4–1 ppm aralığındaki Au tenörü hakimdir (Şekil 4.63). Au için hazırlanan haritaların tamamında ortalama olarak işletme sınır değeri (0.4 ppm) civarında gözlenen tenör değerlerindeki yükselmeler 1–2 ppm aralığında seyretmektedir. Simülasyon

istatistiklerinde karşılaşılan 2-4 ppm'lik Au tenörü, oluşturulan haritaların hiçbirinde gözlenmemiştir. Bu durum, simüle edilen noktalar arasında, yüksek tenörlü noktaların, sayıca az olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 4.62. Au simülasyon haritası (AA' kesit görünüşü)

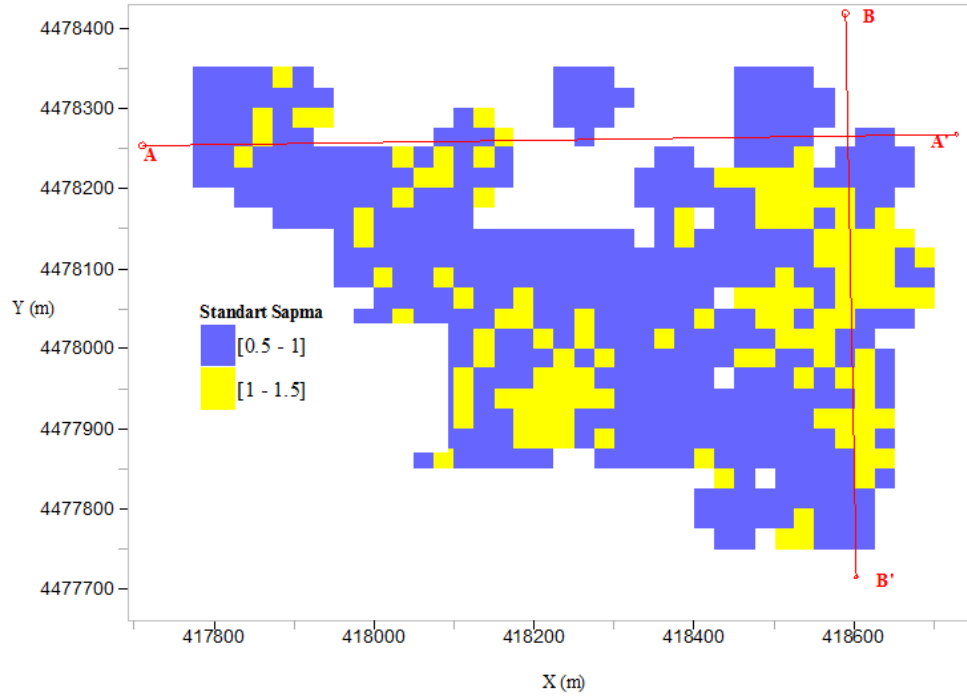


Şekil 4.63. Au simülasyon haritası (BB' kesit görünüşü)

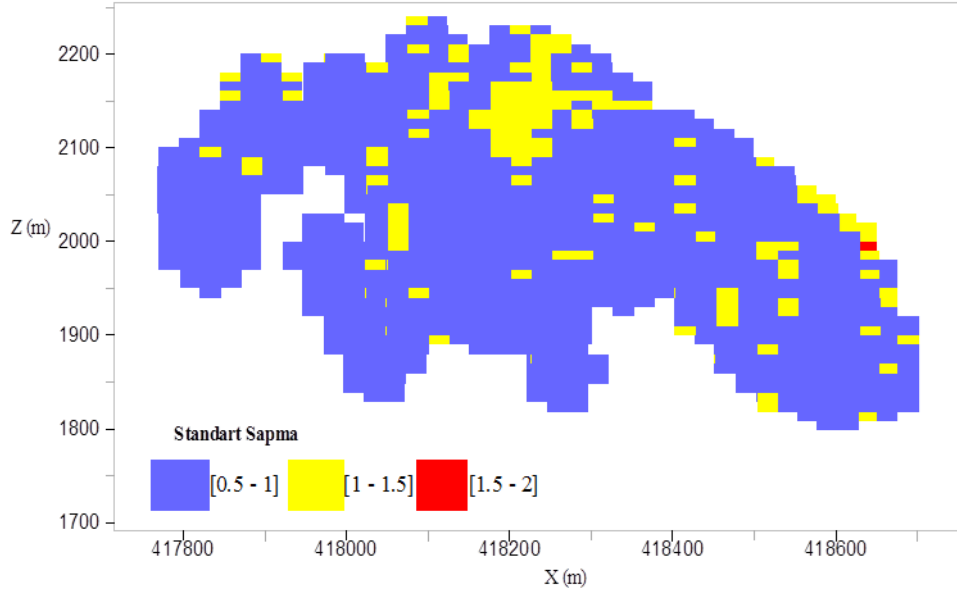
Üretime yönelik simülasyon çalışmalarında cevher modelinin yanı sıra belirsizlik haritaları da önem taşımaktadır. Sahada her blok değeri için yapılan simülasyonların standart sapmaları hesaplanmıştır. Bloklara atanan standart sapma değerleri için plan ve kesit haritaları hazırlanmıştır (Şekil 4.64, 4.65 ve 4.66).

Standart sapma haritaları incelenmiş, cevherleşmenin yüksek olduğu bölgelerde standart sapma artış gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.64, 4.65 ve 4.66). Altın tenöründeki artışa paralel olarak ortalamadan uzaklaşılması, standart sapmayı yükseltmiştir.

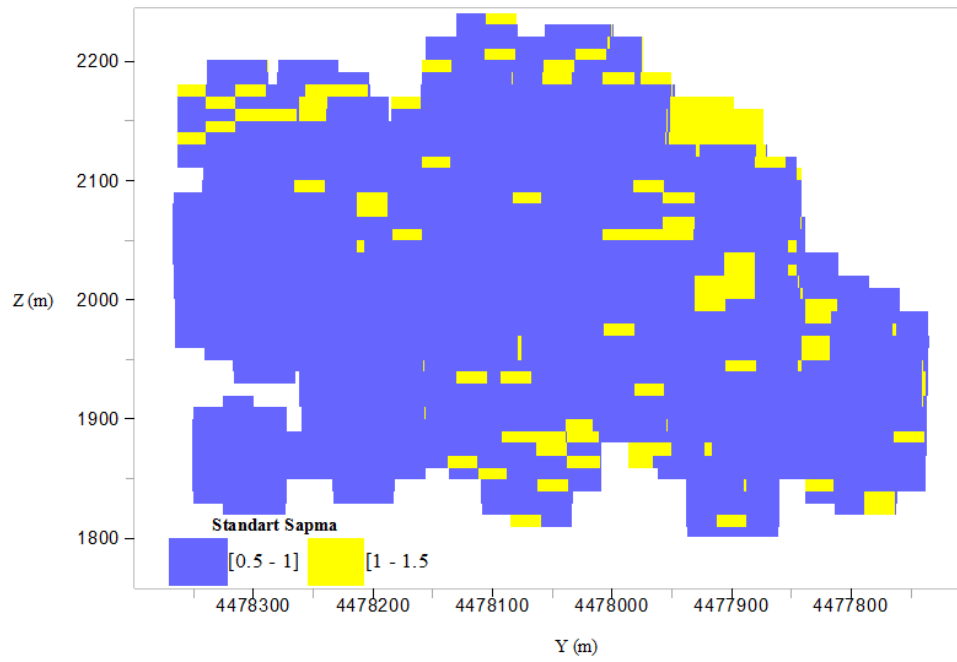
Genel olarak AGS standart sapma haritaları incelendiğinde belirsizlik yüksek değildir. Belirsizliğin yüksek olduğu bloklarda beklenenden farklı tenör değerleri ile karşılaşma olasılığı yüksektir.



Şekil 4.64. Au simülasyonu standart sapma plan haritası



Şekil 4.65. Au simülasyonu standart sapma haritası A-A' kesiti



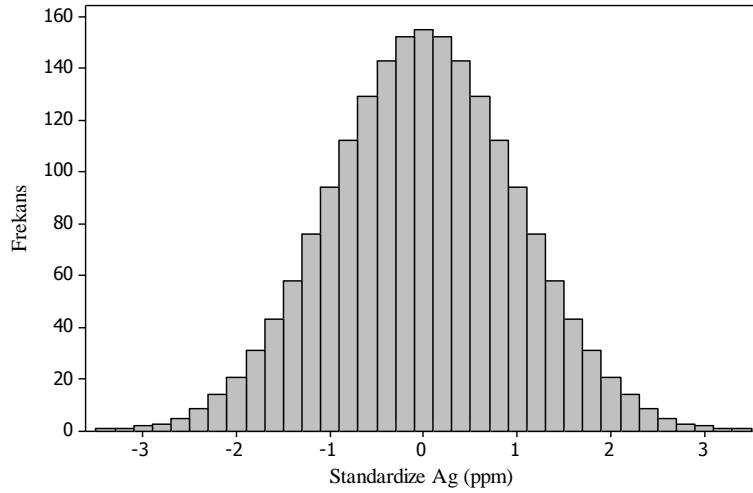
Şekil 4.66. Au simülasyonu standart sapma haritası B-B' kesiti

4.9. Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) İle Gümüşün Modellenmesi

Tez çalışmasında Gümüş için yapılan ardışık gauss simülasyonu altın simülasyonunda uygulanan işlem basamakları ile aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Gümüş simülasyonu için kompozit gümüş verileri kullanılmıştır. AGS uygulaması Datamine yazılımı içinde işletilmiştir. Ardışık gauss simülasyonu gümüş için 100 kere gerçekleştirilmiştir. Elde edilen simülasyonların doğruluğu, histogram, olasılık grafikleri ve özet istatistiklerinin geri üretimi ile test edilmiştir. Doğrulan simülasyon uygulaması için bloklardaki belirsizlik standart sapma haritaları ile değerlendirilmiştir.

4.9.1. Gümüş Verisinin Normal Dağılıma Dönüştürülmesi

Gümüşe ait simülasyon çalışmaları için kompozit veriler kullanılmıştır. Logaritmaları alınarak normal dağılıma dönüştürülen kompozit gümüş verilerine ait histogram grafiği, şekil 4.67’de; özet istatistiği ise Çizelge 4.28’de verilmiştir. Normal dağılım dönüşümü işlemi kompozit verilerine uyum göstermiştir.



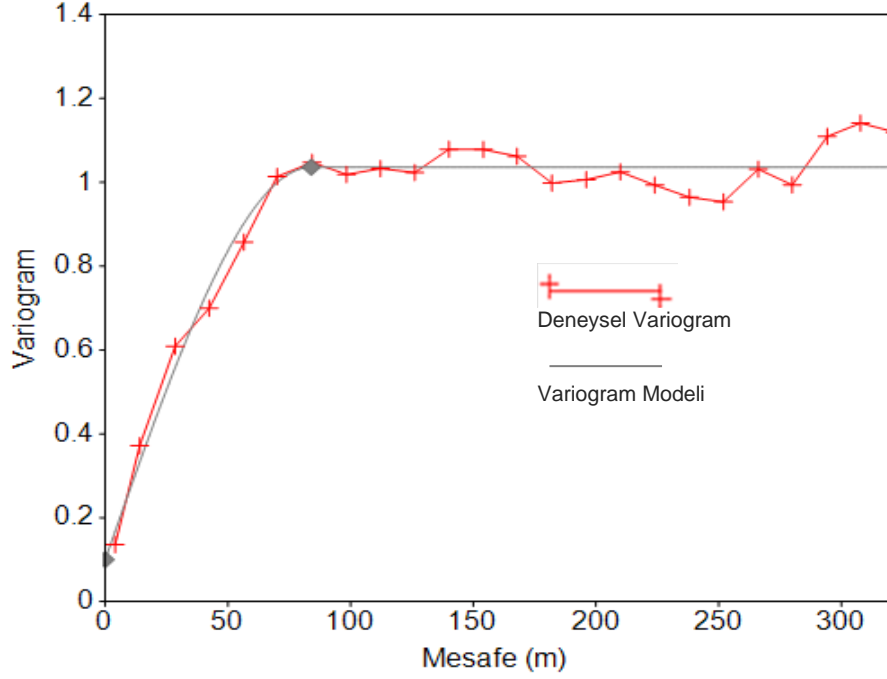
Şekil. 4.67. Standardize Gümüş verilerinin frekans grafiği

Çizelge 4.28. Standardize Gümüş değerlerinin özet istatistikleri

	Standardize Değerler
Veri Sayısı	1943
Minimum	-3.473
Maksimum	3.473
Aritmetik Ortalama	0
Medyan	0
Standart Sapma	0.9999
Varyans	0.9998
Çarpıklık	0
Sivrilik	0

4.9.2. Normal Dağılımlı Gümüş Verilerinin Variogram Analizi

Normal dağılıma dönüştürülen kompozit gümüş verileri için yönsüz variogram hesaplanmış, hesaplanan deneysel variograma, teorik variogram modeli uydurulmuştur (Şekil 4.68). Logaritmik dönüşümü yapılmış kompozit gümüş verisine ait variogram model parametreleri Çizelge 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.68. Ag (logaritmik) yönsüz variogram ve teorik variogram modeli

Çizelge 4.29. Ag (logaritmik) küresel variogram modeline ait parametreler

Model Tipi	Kontrolsuz Etki (Nugget)	Etki Mesafesi (Range)	Yapısal Varyans	Yapısal Etki (Sill)
Küresel	0.096	82	0.936	1.032

4.9.3. Gümüşün Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS)

Altın simülasyonunda ayrıntılı olarak açıklanan uygulama basamakları gümüşün ardışık gauss simülasyonu için de kullanılmıştır. Çizelge 4.26'da parametreleri verilen prototip dosyası, gümüş simülasyonunda da tanımlanmıştır

Tanımlanan blok model parametreleri kullanılarak kompozit gümüş verileri Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) ile 100 defa simüle edilmiştir.

4.9.4. Gümüşün Ardışık Gauss Simülasyonunun Doğrulanması

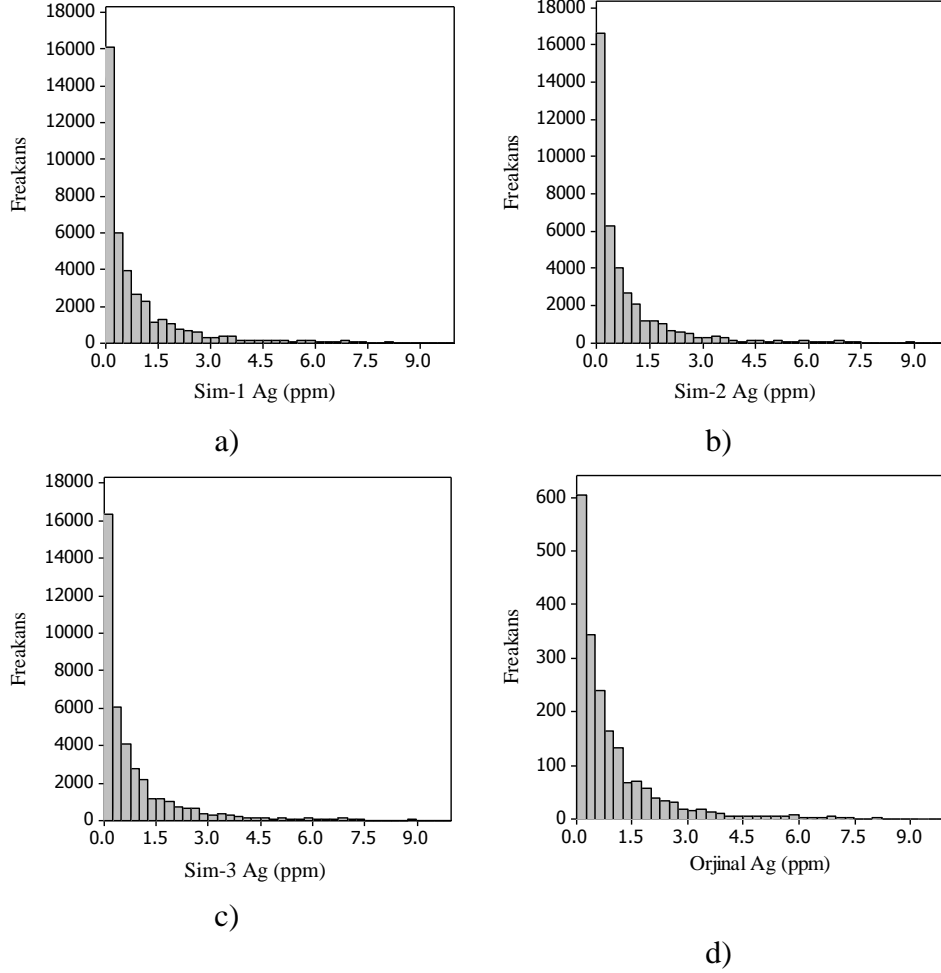
Ardışık Gauss Simülasyonu için gerekli prototip dosyası parametreleri Çizelge 4.26'da olduğu gibi kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları tanımlayıcı istatistik değerlerinin, histogramların ve yarıvariogram geri üretimlerinin test edilmesiyle simülasyon doğrulanması yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarının tanımlayıcı istatistikler hesaplanmış ve orijinal verilerin istatistiki parametreleri ile karşılaştırılmıştır. 100 adet simülasyondan rastgele seçilen 4 adet simülasyona ait tanımlayıcı istatistik parametreleri Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Ag simülasyon istatistikleri

	Kompozit	SİM-1	SİM-2	SİM-3	SİM-4
Veri Sayısı	1943	40359	40359	40359	40359
Minimum	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
Maksimum	14.242	14.240	14.240	14.240	14.240
Aritmetik Ortalama	1.020	1.046	0.958	0.969	0.998
Medyan	0.519	0.408	0.316	0.377	0.385
Standart Sapma	1.516	1.793	1.816	1.693	1.725
Varyans	2.299	3.216	3.299	2.866	2.976
Değişim Katsayısı	1.486	1.715	1.896	1.746	1.730
Çarpıklık	3.730	3.700	3.950	3.880	3.790
Sivrilik	19.42	17.610	19.360	19.370	18.590
Alt Çeyrek	0.189	0.105	0.056	0.105	0.102
Üst Çeyrek	1.198	1.160	0.991	1.056	1.091

Çizelge 4.30'da. simülasyon verilerinin standart sapma değerleri, orijinal verilerin değerinden düşüktür. Ortalama ve diğer dağılım ölçütleri büyük ölçüde orijinal verilere benzerlik göstermiştir. İstatistiki açıdan simülasyon sonuçları orijinal veriler ile oldukça uyumludur.

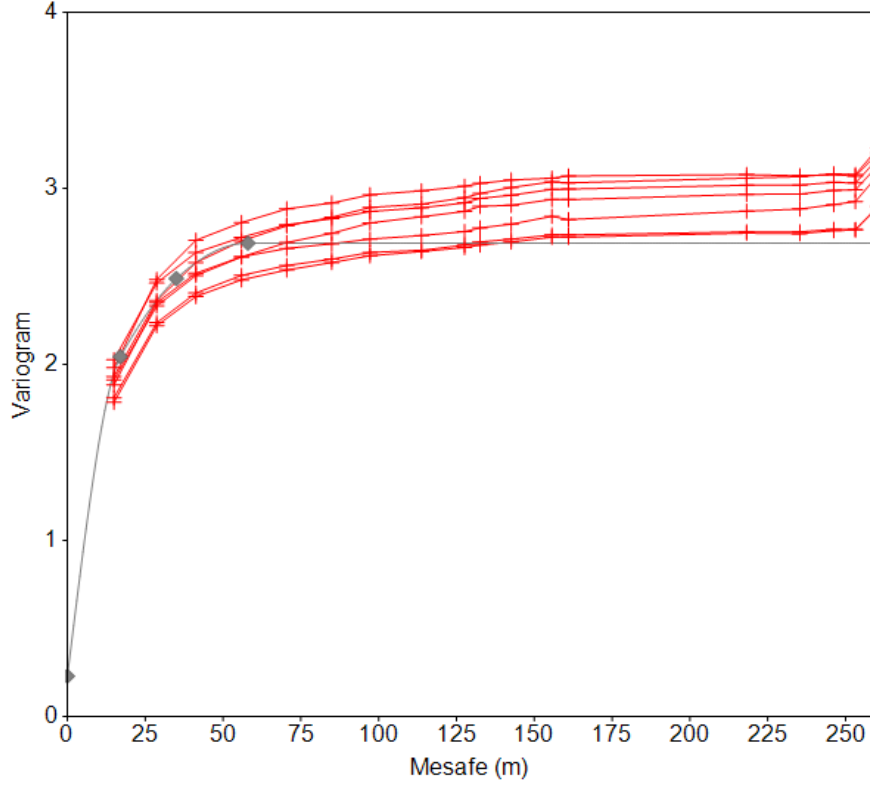
Simülasyonlara ait histogramlar ile orijinal verilerin histogramları örtüşmektedir (Şekil 4.69). Simülasyon işlemi sonunda orijinal verilerin histogramı başarılı bir şekilde geri üretilmiştir.



Şekil 4.69. Ag histogram geri üretimi (a-c), orijinal veri histogramı (d)

Tüm Simülasyon sonuçları için yönsüz yarıvariogramlar hesaplanmıştır. Hesaplanan deneysel variogramlar, orijinal verileri tanımlayan teorik variogram modeli ile eşleştirilmiştir (Şekil 4.70).

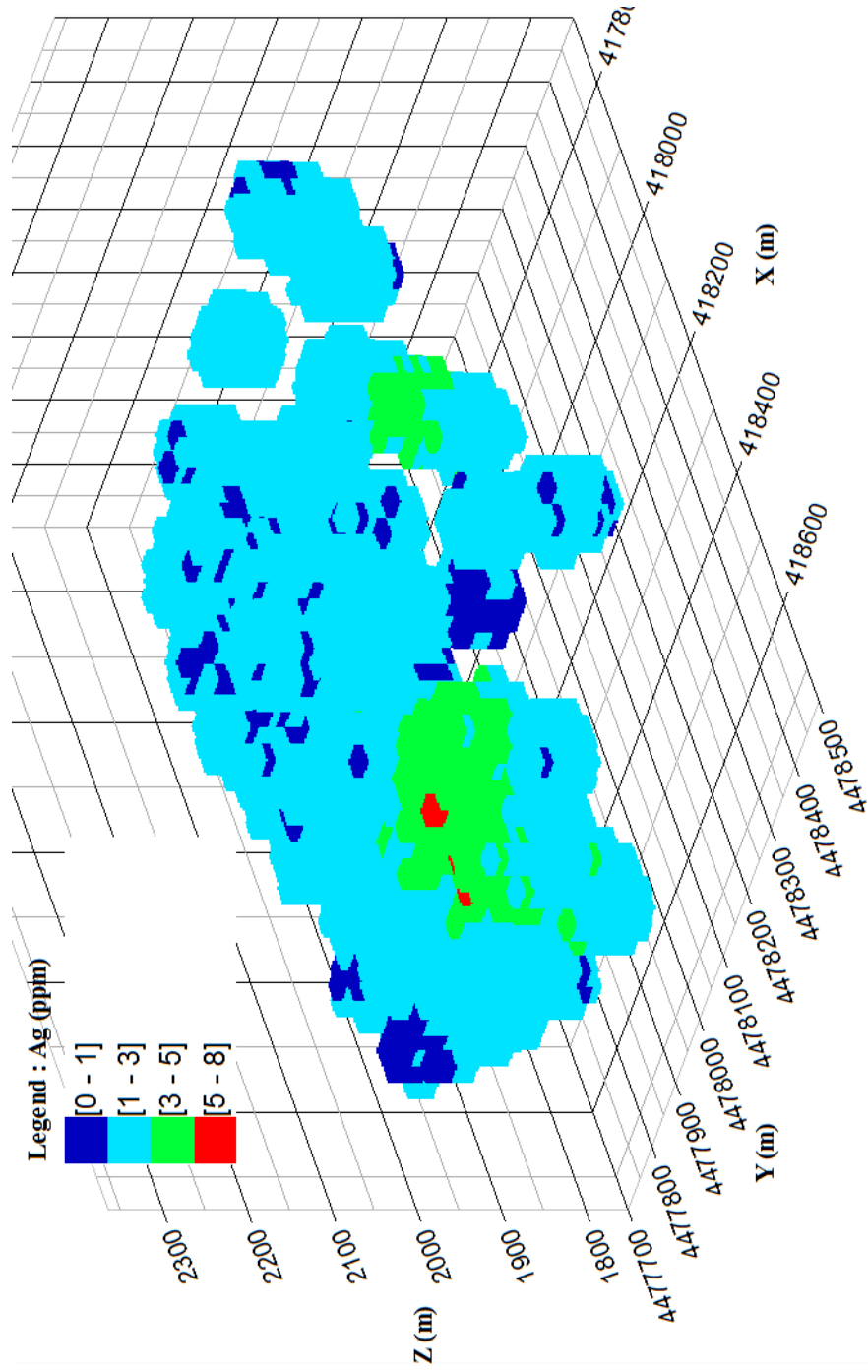
Şekil 4.70'de kırmızıçizgi rastgele seçilmiş simüle verilerin variogramlarını, düz gri çizgi ise orijinal verilere ait teorik variogram modelini temsil etmektedir. Variogramların geri üretimi yüksek oranda teorik variogram modeli ile uygunluk göstermiştir.



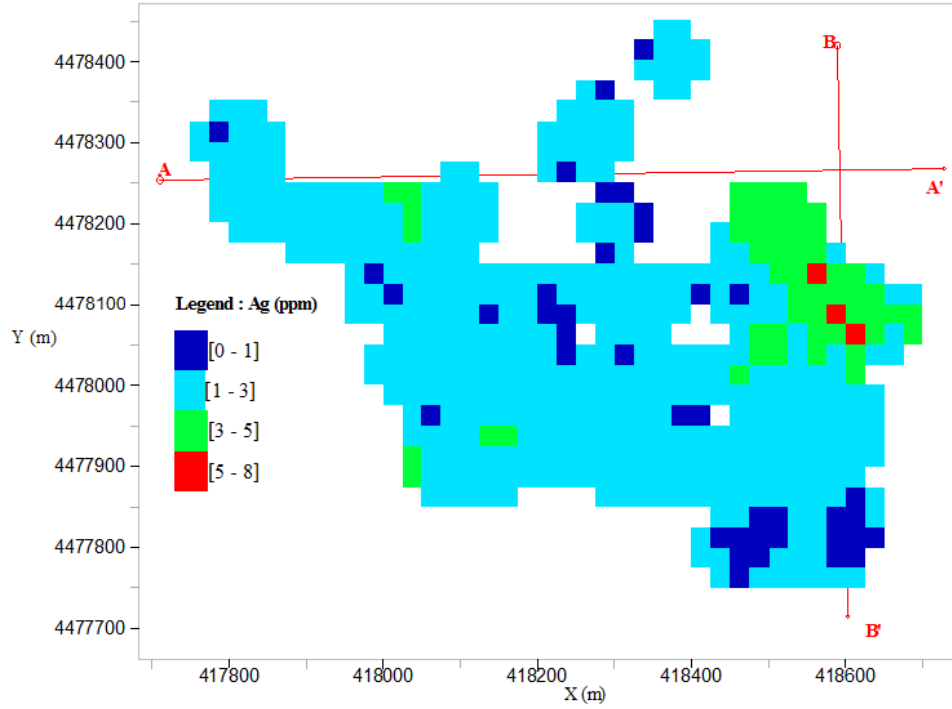
Şekil 4.70. Ag simülasyonu variogram grafiği

4.9.5. Gümüşün Ardışık Gauss Simülasyonu (AGS) ile Tenör Modeli

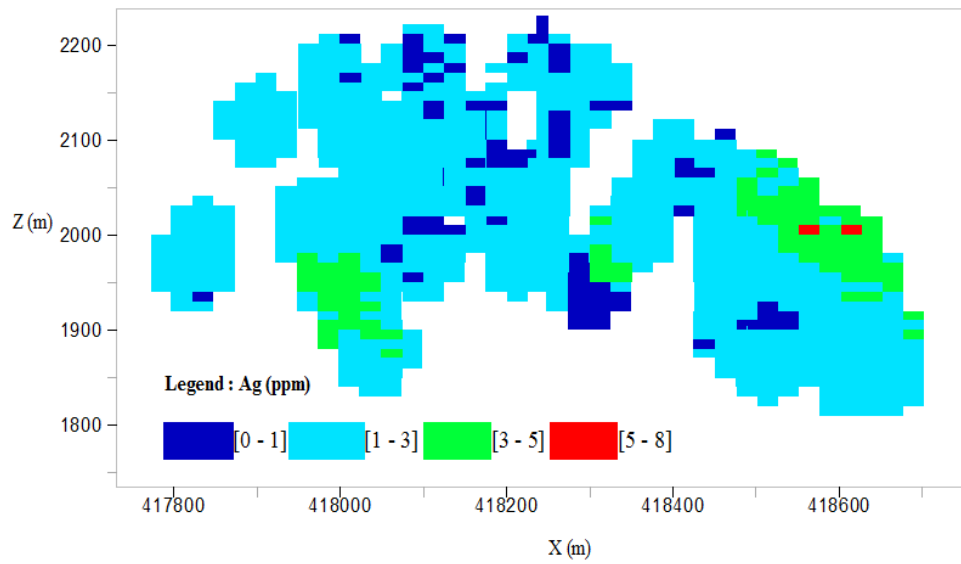
Simülasyonların ortalamaları alınmış, gümüş için simülasyon blok modeli oluşturulmuştur. Gümüşe ait tenör dağılımı ve geometrik pozisyonlarını gösteren simülasyon haritaları Şekil 4.71, 4.72, 4.73 ve 4.74’de verilmiştir. Tüm haritalarda sınır değer üzerindeki cevher yerleşiminin yoğun olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak 1 ppm sınır değerinin üzerindeki gümüş cevheri sahaya hakimdir. Yer yer 3 ppm’in üzerine çıkan cevherleşme sahanın kuzeydoğusunda birikmiştir. Bu durum Kriging tahmin haritalarında da göze çarpmaktadır.



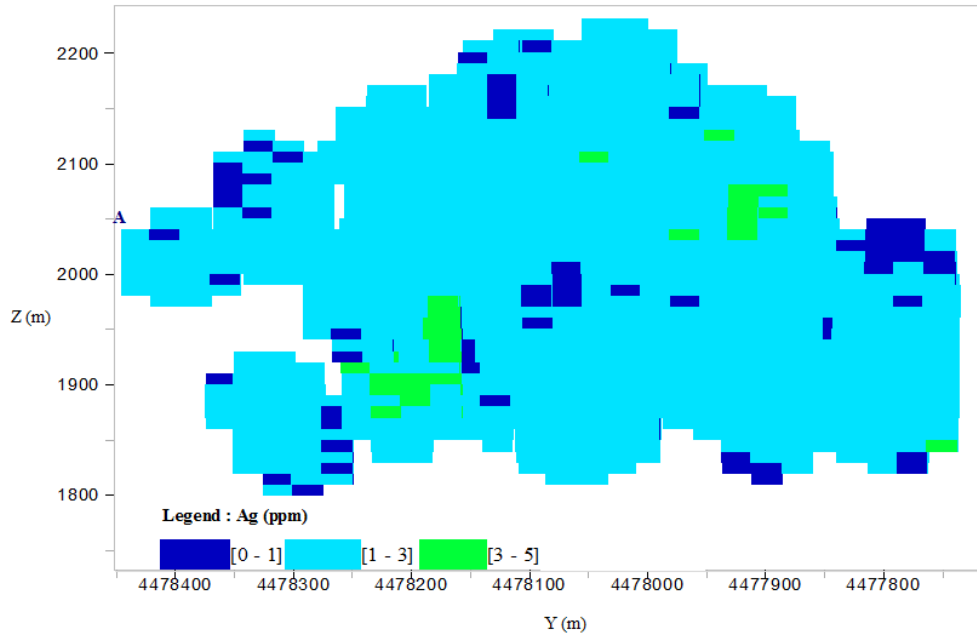
Şekil 4.71. Ag üç boyutlu simülasyon haritası



Şekil 4.72. Ag simülasyon haritası (Plan)



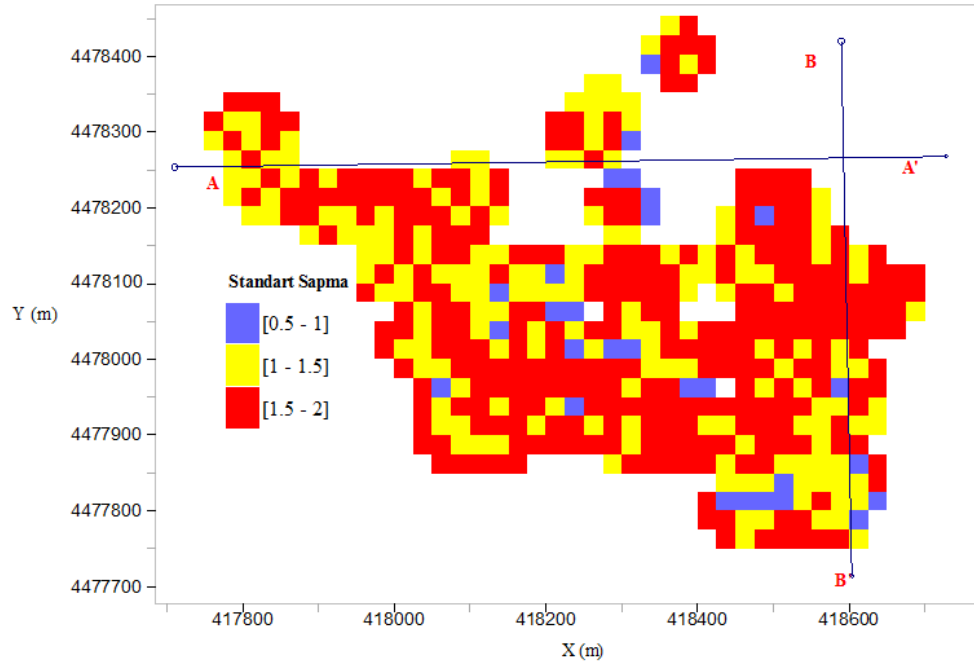
Şekil 4.73. Ag simülasyon haritası (A-A' kesiti)



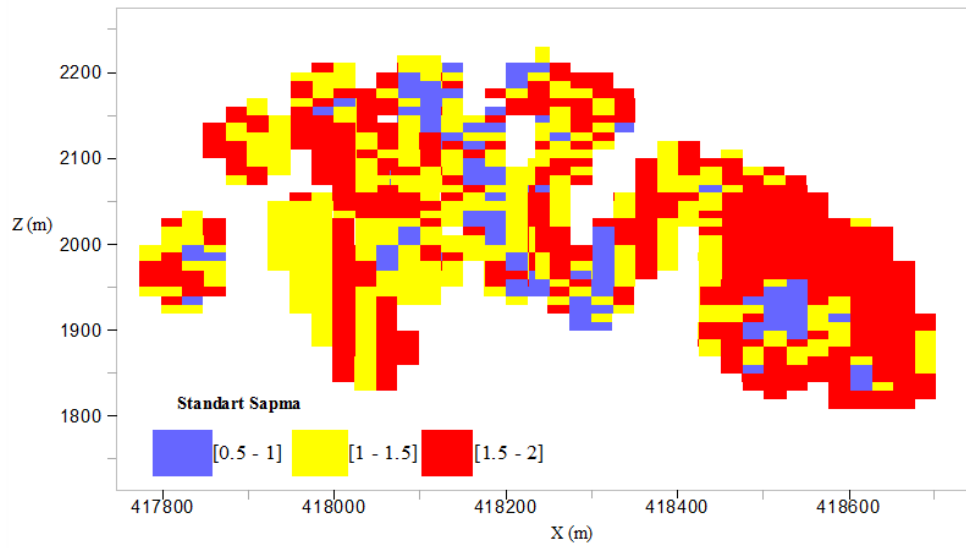
Şekil 4.74. Ag simülasyon haritası (B-B' kesiti)

Üretime yönelik simülasyon çalışmalarında kullanılmak üzere belirsizlik haritaları üretilmiştir. Sahada her blok değeri için yapılan simülasyonların standart sapmaları hesaplanmıştır. Bloklara atanan standart sapma değerleri için plan ve kesit haritaları hazırlanmıştır (Şekil 4.75, 4.76 ve 4.77).

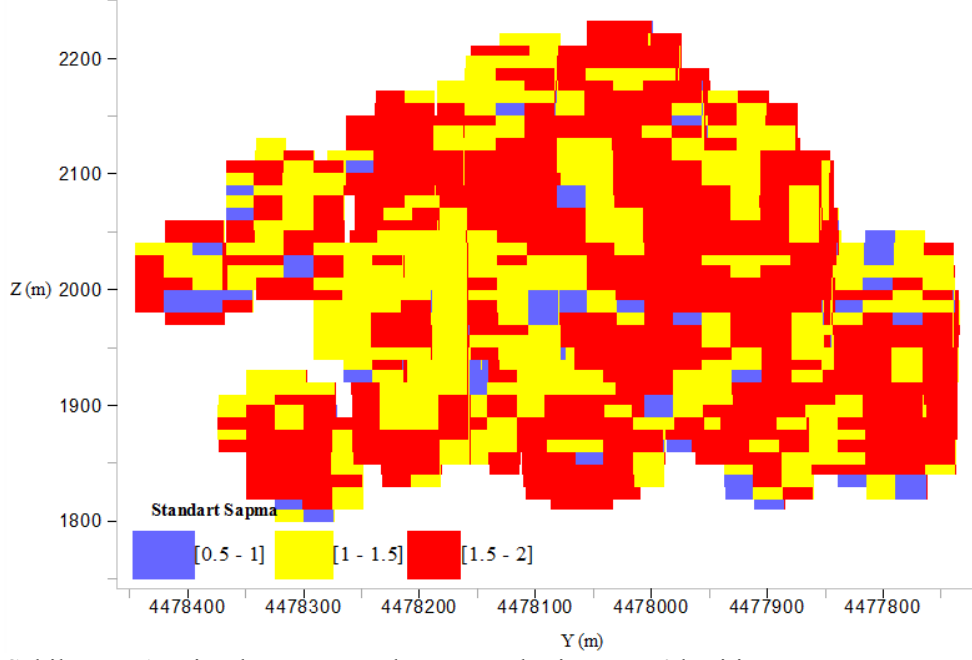
Plan haritası incelenmiş, Sahanın pek çok yerinde standart sapmanın artış gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.75). Gümüş tenöründeki değişkenlik nedeniyle standart sapma yükselmiştir.



Şekil 4.75. Ag simülasyonu standart sapma plan haritası



Şekil 4.76. Ag simülasyonu standart sapma haritası A-A' kesiti



Şekil 4.77. Ag simülasyonu standart sapma haritası B-B' kesiti

Genel olarak gümüşe ait AGS standart sapma haritaları incelendiğinde belirsizlik yüksektir. Simülasyon sonucu elde edilen blok değerlerinde aşırı sapma mevcuttur. Standart sapmanın yükselmesi orijinal verinin doğal değişkenliğinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Evluya Tepe (Sivas) altın yatağının Au ve Ag rezervlerinin Kriging yöntemiyle tahmin edilmesi ve jeostatistik simülasyon yöntemiyle tenör modelinin oluşturulması konulu bu çalışmanın sonuçları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Sahada yapılmış jeolojik ve sondaj çalışmaları derlenmiştir.
2. Derlenen çalışmalar incelenmiş sondaj lokasyonlarının belirli bir grid düzeninde seçilmediği belirlenmiştir. Sondajların sahanın GD bölümünde yoğunlaştığı gözlenmiştir.
3. Sondajların yoğunlaştığı bölgeler göz önüne alınarak çalışma sınırları belirlenmiş, bu sınırlar içerisinde kalan 59 sondaj verisi kullanılmıştır.
4. Sondaj koordinatları ve numune kalınlıkları ile bu kalınlıklardan elde edilen kimyasal analiz sonuçları (Au ve Ag) birleştirilerek veri tabanı oluşturulmuştur.
5. Jeolojik çalışmalar için dünyanın önde gelen üniversite ve ticari kurumsal şirketlerinde aktif olarak kullanılmakta olan DATAMINE yazılımı tercih edilmiştir.
6. Au ve Ag verileri düzenlenerek, kullanılan yazılıma ve jeostatistik analize uygun hale getirilmiştir.
7. Altın verisi aykırı değer analizi ile değerlendirilmiş, 5 ppm ve üzerindeki değerler veri setinden uzaklaştırılmıştır. Kalan veriler 4m aralıklarla kompozitlere dönüştürülmüştür. Ham ve kompozit verilerin özet istatistikleri, histogram ve olasılık grafikleri incelenmiş olup verilerin normal dağılıma uymadıkları ve aşırı sağa çarpık bir yapı sergiledikleri saptanmıştır.
8. Gümüş verisi aykırı değer analizi ile değerlendirilmiş, 0.001 ve 20 ppm aralığındaki değerler veri seti olarak kullanılmıştır. Veri seti 4 m aralıklarla

kompozitlere dönüştürülmüştür. Gerek ham gerekse kompozit verilerine ait özet istatistikleri, histogram ve olasılık grafikleri incelendiğinde verilerin normal dağılıma uymadıkları ve sağa çarpık bir dağılım gösterdikleri belirlenmiştir.

9. Veriler düzenlendikten sonra veri tabanı program içerisinde üç boyutlu hale getirilmiş ve sondajlar tanımlanmıştır.
10. Kesitler yardımıyla tanımlanan sondajların sınırları boyunca kapalı alanlar tanımlanmıştır. Tanımlanan alanlar birleştirilerek blok modeli sınırlayacak kafes sistemi oluşturulmuştur.
11. Sondajlar arası mesafe, kompozit uzunlukları ve donanım kapasitesi göz önünde bulundurularak, blok boyutları 10x10x10 olarak seçilmiştir. Blok parametreleri kullanılarak kafes sistemi bloklar ile doldurulmuştur.
12. Kafes sistemi ve blok model sayısal ve görsel tekniklerle test edilmiş, model – sondaj uyumsuzlukları bulunmamıştır.
13. Au ve Ag verileri için yarıvariogram analizleri yapılarak verilerin mesafeye karşı değişimi modellenmiştir. Her iki veri grubunda da anizotropiye rastlanmamış, verilerin yönsüz variogramlarına küresel modeller uydurulmuştur.
14. Çapraz doğrulama testinde, variogram ve komşuluk parametreleri değerlendirilmiş olup, Ordinary Kriging tahmini ve tahmin parametrelerinin doğruluğu ve yeterliliği ortaya koyulmuştur.
15. Ordinary Kriging tekniği ve seçilen parametreler kullanılarak çalışma sahasında Au ve Ag tahminleri yapılmıştır. Yoğunluk verisi yeterli bulunmadığından yoğunluk tahmini yapılmamış, sahada daha önce yapılmış çalışmalarda olduğu gibi yoğunluk 2.5 ton/m³ olarak kullanılmıştır.
16. Yapılan tahminler haritalar ve kesitlerle iki ve üç boyutlu olarak incelenmiştir.

- Au için işletme sınır değeri 0.4 ppm olarak belirlenmiş, yapılan incelemelerde sahada genel olarak sınır değerinin altında bir cevherleşme gözlenmiştir.
 - Ag için herhangi bir işletme sınır tenörü belirlenmemiştir. Saha genel olarak 1 ppm altında gümüş cevherleşmesi göstermiştir.
 - Hem Au hemde Ag tahminlerinde sahanın Doğusunda K-G doğrultusu boyunca tenör yükselmeleri göze çarpmıştır.
 - Altın ve gümüş verisi için rezerv ve tenör eğrileri oluşturulmuş, belirli sınır değerlerde, ortalama rezerv ve metal içeriği incelenmiştir.
 - Belirlenen sınır tenörleri de rezerv ve metal içerikleri hesaplanmıştır. Altın için işletme sınır tenörü (0.4 ppm) üzerindeki toplam rezerv 9,425,625 ton, bu rezervin ortalama tenörü 0.688 ppm olarak bulunmuştur.
 - Gümüş için 2 ppm sınırının üzerindeki toplam rezerv 119,580,090 ton, bu rezervin ortalama tenörü 2.690 ppm olarak hesaplanmıştır.
 - Yapılan tahminlere göre belirlenen sınır tenörleri üzerindeki toplam rezervin üretilmesiyle; 6484.8 kg altın, 32167.3 kg gümüş (metal içeriği) kazanılacaktır.
17. Altın ve gümüş için yapılan tahmin modelleri doğrulanmıştır. Bu amaçla tahmin edilmiş verilerin özet istatistikleri hesaplanmış, histogram ve olasılık grafikleri çizilmiştir. Sayısal ve görsel çıktılar orijinal (Au kompozit ve Ag kompozit) verilerin çıktıları ile karşılaştırıldıklarında büyük oranda uyum göstermiş, tahmin modellerinin yeterliliği ve güvenilirliği kanıtlanmıştır
18. Çalışma sahasına Ardışık Gauss Simülasyon tekniği uygulanmış ve Au-Ag cevherlerinin tenör modelleri oluşturulmuştur.

- Simülasyon öncesi grid parametreleri 25x25x10 olarak belirlenmiştir.
- Au ve Ag kompozit verilerinin logaritmik dönüşümleri değerlendirilmiş, normal dağılım dönüşümünün verilere uygun olduğu tespit edilmiştir.
- Normal dağılıma dönüştürülen veri grupları (Au ve Ag) için variogram analizleri yapılmış, her iki değişkene yönsüz küresel model uydurulmuştur.
- Ardışık Gauss Simülasyonu uygulaması kompozit Au ve Ag verilerine uygulanmış, logaritmik dönüşüm program içerisinde yaptırılmıştır. Ardışık Gauss Simülasyonu için programa logaritmik dönüşümü gerçekleştirilmiş verilerin variogram model parametreleri tanıtılmıştır.
- Ardışık Gauss Simülasyonu uygulamasıyla Au ve Ag verileri 100'er kez simüle edilmiştir.
- Simülasyon sonuçları; tanımlayıcı istatistik parametreleri, histogram ve variogram geri üretimiyle doğrulanmıştır.
- Ardışık gauss simülasyonu Au ve Ag verilerine başarılı bir şekilde uygulanmıştır.
- Her bir değişken (Au ve Ag) için 100'er kez simüle edilen blokların ortalamaları hesaplanmış ve bu ortalama değer kullanılarak simülasyon haritaları üretilmiştir.
- Simülasyonların ortalama haritaları büyük ölçüde tahmin haritaları ile benzerlik göstermiş, buna karşılık bölgesel değişimler, daha ayrıntılı izlenmiştir.
- Simülasyon sonucu her bloğun standart sapması hesaplanmış ve sahanın belirsizlik haritaları oluşturulmuştur. Altın simülasyonuna ait belirsizlik haritalarında yoğun olarak düşük standart sapma değerleri gözlenmiştir. Gümüş haritalarında yüksek standart sapma gözlenmiş, belirsizliğin yüksek olduğu görülmüştür.

- Simülasyon işlemi sırasında program kaynaklı bellek sorunlarına sıklıkla karşılaşılmıştır. Tahminde kullanılan blok boyutları bu nedenle kullanılamamıştır.

5.2. Öneriler

Uygulama yapılan saha ve yöntemlerle ilgili öneriler aşağıda verilmiştir. Bu önerilerin daha sonraki aşamalarda yapılacak çalışmalarda araştırmacılara ışık tutması beklenmektedir.

1. Çalışma sonuçları sahanın Doğu bölümünde K-G yönelimli tenör yükselmesine işaret etmektedir. Buna istinaden, yeni arama çalışmalarında, sondaj lokasyonları Doğuya doğru ilerletilebilir.
2. Sondaj çalışmaları sırasında cevher, tenör, yoğunluk, fay, boşluk, zon tanımlamaları eksiksiz yapılmalıdır. Böylelikle sahadaki cevher yapısı, fay sistemleri, yoğunluk tahmini, jeolojik model ve tahmin daha hassas yapılabilir. Örneklemelelerdeki hassasiyet arttıkça tahmin ve modellemelerdeki doğruluk artacaktır. Yapılan işlemin doğru olabilmesi jeostatistiksel analizin güvenilirliğine, analizlerin güvenilirliği ise toplanan verilerin doğruluğuna bağlıdır. Elde edilecek sonuç işe başlarken gösterilecek dikkat ve özenle şekillendirilmelidir.
3. Yapılan çalışmada iki farklı jeostatistiksel analiz yöntemi uygulanmıştır. Ordinary Kriging sonuçları, rezerv ve tenör tahminini, saha bazında en düşük hata ile yapan yöntemdir. Ancak bunu yaparken tahmin edilen değişkenin sahadaki değişimini yuvarlama eğilimindedir. Hata varyansının yüksek olmasına karşın, sahadaki bölgesel değişim Ardışık Gauss Simülasyonu ile daha belirgin olarak tespit edilebilir.
4. Bu iki yöntem farklı amaçlar için kullanılmalıdır. Rezerv-tenör tahmini için Ordinary Kriging, istenen değişkenin sahadaki uzaysal dağılımının ve

değişiminin yansıtılması için Ardışık Gauss Simülasyonu uygulaması önerilir. Bu uygulamalar birlikte kullanılarak doğru bir üretim planı oluşturulabilir.

5. Teze konu olan saha gibi büyük çalışma alanlarında, DATAMINE programı ile simülasyon çalışması gerçekleştirilirken, blok boyutlarının küçük seçilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Adamai, S. A., Chkhotva, M. B., Kekelia, M., Lord, M., Shavishvili, I. and Zachariadze, G., 1981. Tectonics of the Caucasus and Adjoining Regions: Implications of the Evaluation of the Tethys Ocean. Jour. Struct. Geol. Vol. 3: 437-447.
- Akıncı, Ö. T., 1980. Major Copper Metallogenic Units And Genetic Igneous Complexes of Turkey. European Copper Deposits, Belgrade, s.199-208.
- Akıncı, Ö. T., 1984. Eastern Pontide Volcano-Sedimentary Belt and Associated Massive Sulfide Deposits, in J. E. Dixon and A. H. F. Robertson, ed., The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Spec. Pub. Of the Geological Society, 17, Blackwell Scientific Publications, Oxford, s. 415-428.
- Armstrong, M., and Boufassa A.,1988. Comparing the Robustness of Ordinary Kriging and Lognormal Kriging: Outlier Resistance. Mathematical Geology, 20(4): 447-457.
- Bedi, Y., 1998. Mesudiye (Ordu)-Ortakent (Koyulhisar-Sivas) Arasının Jeolojisi ve Magmatik Kayaçların Petrografik-Jeokimyasal İncelenmesi, S.Ü. Doktora Tezi, Konya, 193 s.
- Clark, I., 1979. Practical Geostatistics. Elsevier Science Publications, London, 119 s.
- Coombes, J., 2002. Handy hints for variography. Snowden Associates Ltd., 16 s.
- Coombes, J., 2008. The art and science of resource estimation: A practical guide for geologists and engineers. Coombes Capability, 229 s.
- Çakır, M., Kesgin, O., 1999. Evliya Tepe (Ortakent – Koyulhisar – Sivas) Altın Yatağı Maden Jeolojisi Raporu. MTA rapor No: 10217, MTA, Ankara (yayınlanmamış).
- DATAMINE, 2009. Common Farm Lidlington Bedfordshire, U.K.

- Deutsch, C. V., Journel, A. G., 1998. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. Oxford University Press, New York.
- Dilek, S., Aşıcı, Y., 1979. Koyulhisar-Sisorta Aksu Köyü Doğusu ve Şebinkarahisar-Esküne Yayla Civarı Mineralizasyonu ve Jeolojisi ile İlgili Ön Rapor. MTA Derleme Raporu, No:6908 (yayınlanmamış).
- Ekici, E., 2011. Jeostatistiksel Yöntemlerle Polimetallik Maden Yataklarının Jeolojik Modellenmesi. Ç.Ü. Yüksek Lisans Tezi, ADANA, 129s.
- Erel, Z., 2010. Balya (Balıkesir) Polimetallik Maden Yatağı Rezervinin Jeostatistik Yöntemle Analizi. Ç.Ü. Yüksek Lisans Tezi, ADANA, 81s.
- Ersoy, A., Yünsel, T.Y., 2006. Üretim ve İşletme Planlaması için Maden Tenörlerinin ve Rezervlerinin, Jeostatistik Yöntemlerle Modellenmesi ve Değerlendirilmesi. Mehmet Kemal Dedeman Araştırma ve Geliştirme Proje Yarışması, Adana, 52s. (yayınlanmamış).
- Ersoy, A., Yünsel, T.Y., 2008. Maden Rezerv Hesapları: Klasik ve Jeostatistik Yöntemler. Nobel Kitabevi, ADANA, 255 s.
- Ersoy, A., Yünsel, T.Y., 2009. Assessment of Lignite Quality Variables: A Practical Approach with Sequential Gaussian Simulation. Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 31(2):175-190.
- Ersoy, A., Yünsel, T. Y., and Çetin, M., 2004. Characterization of Land Contaminated by Past Heavy Metal Mining Using Geostatistical Methods. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 46(2): 162-175.
- Ersoy, A., Yünsel, T.Y., and Atıcı, Ü., 2008. Geostatistical Conditional Simulation for the Assessment of Contaminated Land by Abandoned Heavy Metal Mining. Environmental Toxicology, 23(1): 96-109.
- Eurasia Madencilik,
<http://eurasiamadencilik.com/projelerimiz/sisorta-maden.html> (Erişim tarihi: 7 Temmuz 2011)

- Gökçe, A., 1990a. Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu Yataklarında Sıvı Kapanım ve Jeotermometre İncelemeleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 33: 31-37.
- Gökçe, A., 1990b. Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu Yataklarında Kükürt İzotopları İncelemesi. MTA Dergisi, 111: 111-118.
- Gökçe, A., Özgüneylioğlu, A., 1988. Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu Yataklarının Jeolojisi, Oluşumu ve Kökeni. Cumhuriyet Üniversitesi, Müh. Fak., Yerbilimleri Dergisi, 5(1) 23-36.
- Gülibrahimoğlu, İ., Akıncı, S., Çekiç, Y., Köse, Z., Yopçu, T., Dursun, A., Yılmaz, H., 1987. Dereli-Yavuzkema1 ve Bulancak-Kovanlık (Giresun) Yörelerinin Prospeksiyonu ve Jeoloji Raporu. MTA Derleme Raporu, No: 8548 (yayınlanmamış).
- Hedenquist, J., White, 2005. Epithermal Gold Deposits. PDAC, Short course (yayınlanmamış).
- Ildız, T., 1965. Koyulhisar-Sisorta-Şebinkarahisar Arasındaki Sahanın Kurşun-Çinko Prospeksiyonu. MTA Derleme Raporu, No: 3821 (yayınlanmamış).
- Kaptanoğlu, H., 1968. Sivas-Koyulhisar-Muradınköy Kurşun-Çinko-Bakır Zuhurları ve Rezerv Hesapları Raporu. MTA Derleme Raporu, No: 3953 (yayınlanmamış).
- Khain, V. E., 1984. The Alpine-Mediterranean Fold Belt of the USSR: Episodes, 7(3): 20-29.
- Morgan, C. J., 2011. Theoretical and Practical Aspects of Variography: In Particular, Estimation and Modelling of Semi-Variograms Over Areas of Limited and Clustered or Widely Spaced Data in a Two-Dimensional south African Gold Mining Context. University of the Witwatersrand, Ph. D. Thesis, Johannesburg, 203 s.
- Ortiz, J. M., Emery, X., 2006. Geostatistical Estimation of Mineral Resources with Soft Geological Boundaries: a Comparative Study. The Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 106: 577-584.

- Ovalioğlu, R., 1964, Koyulhisar-Sivas-Muradınk6y Kurşun-Çinko-Bakır Zuhurları Detay Etüdü. MTA Derleme Raporu, No: 3799 (yayınlanmamış).
- Ovla, D., 2011. Mersin Üniversitesi Ders Notu, Aykırı Değerler Y6ntemleri, http://yeniweb.mersin.edu.tr/uploads/596/Didem_OVLA.pdf (Erişim tarihi: 7 Temmuz 2011).
- 6zkan, Y.Z., Akbaba, M. A., 2013. 6rneklemeden Rapor Etmeye Adım Adım Maden Kaynak Tahmini. Geological Engineering Journal/Jeoloji Mühendisliği Dergisi 37(2): 141-158.
- Saraç, C., 1994. Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Simölasyon Y6ntemlerinin Kullanılması. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, Jeostatistik, 44-45: 21-27.
- Schneider, H. J., 6zgür, N., 1988. Relationship Between Alteration, Rare Earth Element Distribution and Mineralization of the Murgul Copper Deposit, North-Eastern Turkey. Econ. Geol., 83: 1238-1246.
- Schultze-Westrum, H. H., 1961. Das Geologische Profil Des Aksudere Bei Giresun-ein Beitrag Zur Geologie und Lagerstottenkunde der Ostpontischen Erz und Mineral Provinz. NE Anatolien, MTA, Bull. 57: 65-74.
- Sinclair, A. J. and Blackwell, G. H., 2004. Applied Mineral İ Inventory Estimation. Cambridge University Press, United Kingdom, 381 s.
- Sivas Valiliği, İlimiz Rehberi, Genel Bilgiler, İklim-Bitki 6rtüsü, http://www.sivas.gov.tr/default_B1.aspx?content=222 (Erişim tarihi: 12 Temmuz 2011)
- Stchepinsky, V., 1945. Yukarı Kelkit Çayı ve Havzasının Jeolojisi ve Mineral Varlıkları. MTA Derleme Raporu, No: 1617 (yayınlanmamış).
- şeng6r, A. M. C., Yılmaz, Y., Ketin İ., 1980. Remnant of a Pre-Late Jurassic Ocean in Northern Turkey: Fragments of Permian-Triassic Paleo-Tethys. Geol. Soc., America Bull. 91(1): 599-609.

- Tercan, A.E., Akcan, E., 2005. Linyit Kalitesi-Rezerv Eğrilerindeki Belirsizliğin Jeostatistiksel Benzetimle Değerlendirilmesi: Örnek Bir Çalışma. Madencilik Dergisi, 44(2):3-16
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region. NE Turkey, Ph. D. Thesis, Univ. London.
- Tokel, S., 1977. Doğu Karadeniz Bölgesinde Eosen Yaşlı Kalk-alkalen Andezitler ve Jeotektonizma. TJK Bül., 20: 49-54.
- Toprak, V., 1989. Tectonic and Stratigraphic Characteristics of the Koyulhisar Segment, Nort Anatolian Fault Zone (Sivas-Turkey).O.D.T.Ü. Doktora Tezi, Jeoloji Mühendisliği, Ankara,120 s.
- Tüprag, 2014. Kışladağ Altın Madeni, Projenin tanıtımı ve Amacı <http://www.tuprag.com.tr/tr/projelerimiz/kisladag-altin-madeni/7/projenin-tanitimi-ve-amaci/24>, (Erişim tarihi:22 Temmuz 2014).
- Uyguçgil, H., 2007. Çok Değişkenli Maden Yataklarında Rezerv Tenör Tahmininde Jeostatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Tekniklerinin Kullanımı. Osmangazi Üniversitesi, Doktora Tezi, Eskişehir, 160 s.
- Vigar, A.J., Meldrum, S., Giroux, G. and Soylu, M., 2009. Technical Report on Exploration Results And Resource Estimates For The Sisorta Property Sivas Province, Turkey. By Mining Associates Pty. Limited for Chesser Resources Limited and Eurasian Minerals Inc. (yayınlanmamış)
- Verly, G., 2005. Grade Control Classification of Ore and Waste: A Critical Review of Estimation and Simulation Based Procedures. Mathematical geology, 37(5): 451-475.
- Van der Loo, M. P. J., 2010. Distribution Based Outlier Detection in Univariate Data. Statistics Netherlands, 10003: 3-14.
- Xavier, E., 2006. Two Ordinary Kriging Approaches to Predicting Block Grade Distributions. Mathematical Geology, 38(7): 801-819.

- Xavier, E., Ortiz, J. M., Cáceres, A. M., 2008. Geostatistical Modelling of Rock Type Domains with Spatially Varying Proportions: Application to a Porphyry Copper Deposit. The Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 108: 285-292.
- Yamamoto, J. K., 2007. On Unbiased Backtransform of Lognormal Kriging Estimates. Computational Geosciences, 11(3):219-234.
- Yupeng, L., 2011. A Flexible Lag Definition for Experimental Variogram Calculation. Mining Science and Technology, China, 21(2): 207-211.
- Yünel, T.Y. 2007. Maden Yataklarının Jeostatistiksel Yöntemlerle Analizi ve Modellenmesi. Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi, Adana, 217 s.
- Yünel, T. Y. and Ersoy, A., 2011. Geological Modeling of Gold Deposit Based on Grade Domaining Using Plurigaussian Simulation Technique. Natural Resources Research, 20(4): 231-249.
- Yünel, T. Y., Ersoy, A. and Çetin, M., 2002. Geostatistical Analysis of Spatial Distribution of Salt Bed Thickness. Journal of Mining Science, 38(6): 565-572.

ÖZGEÇMİŞ

27/02/1980 yılında Adana'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2000 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü'nden 2004 yılında mezun oldu ve aynı yıl Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. 2008 yılında Araştırma Görevlisi olarak aynı bölümde çalışmaya başladı. 2008 yılında yüksek lisansı bitirdi ve 2009 yılında doktora eğitimine başladı. Halen aynı kurumda görevine devam etmektedir.