ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Furkan Kerem KASA

KAYNAK/REZERV RAPORLAMA AŞAMALARININ EKONOMİK VE JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE ANALİZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2021

ÖZ

DOKTORA TEZİ

KAYNAK/REZERV RAPORLAMA AŞAMALARININ EKONOMİK VE JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE ANALİZİ

Furkan Kerem KASA

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Ahmet DAĞ
Yıl: 2021, Sayfa: 181
Jüri : Prof. Dr. Ahmet DAĞ
: Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Bülent TÜTMEZ
: Prof. Dr. Bayram KAHRAMAN
: Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Maden planlaması ve üretimi belirsizlik içeren süreçlerden oluşur. Belirsizlik içeren parametrelerin etkilerinin minimize edilmesi bu çalışmanın da merkezinde bulunan kaynak/rezerv dönüşümlerinin ekonomik boyutunun incelenmesinde son derece önemlidir. Bir maden yatağında karşılaşılan ilk önemli belirsizliklerden biri olan tenör belirsizliği bu çalışmada da bir metalik krom yatağında ele alınarak, aşamalı olarak simülasyonlar uygulanmış ve buna göre maden optimizasyonu Doğrudan Blok Planlama ile kaynağın oluşturabileceği Net Bugünkü Değerler üzerinden ekonomik değerlendirme yapılmıştır. Kaynak modellemesi üzerindeki kestirimde Ardışık Gauss simülasyonu, satış fiyatı üzerinde Monte-Carlo simülasyonu ve metalürjik randımanda besleme/atık tenörleri oranlamasında da Monte-Carlo simülasyonu kullanılarak belirsizlikler değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan blok tenörüne göre değişken metalürjik randıman değerleri ile sabit randıman değeri kullanılarak alınan sonuçlarda minimumda %5,08 ve maksimumda %3,91'lik bir metalürjik randıman farkı oluşmaktadır. Bu randıman farkları ise prosesten elde edilecek ürünlerin miktarını doğrudan etkilemektedir. Optimizasyonlar neticesinde ocak için oluşan net bugünkü değerler arasındaki farklar, üretim planlamasında ortaya çıkan minimum sınır tenör değerleri, tonajlar ve optimizasyon parametrelerinin belirsizliklerin temsilinde (satış fiyatı, üretimin teknik parametreleri, sabit ve değişken randıman kullanımı vs.) bu çalışma önem kazanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Stokastik Simülasyon, Doğrudan Blok Planlama, Optimizasyon, Değişken Metalürjik Randıman, UMREK

ABSTRACT

PhD THESIS

ANALYSIS OF RESOURCE/RESERVE REPORTING STAGES BY ECONOMIC AND GEOSTATISTICAL METHODS

Furkan Kerem KASA

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

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet DAĞ
Year: 2021, Pages: 181
Jury : Prof. Dr. Ahmet DAĞ
: Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Bülent TÜTMEZ
: Prof. Dr. Bayram KAHRAMAN
: Assoc. Prof. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Mine planning and production consist of uncertain processes. Minimizing the effects of uncertain parameters is extremely important in examining the economic dimension of resource/reserve conversions, which is also at the center of this study. Grade uncertainty, which is one of the first important uncertainties encountered in a mineral deposit, was handled in a metallic chrome deposit in this study, and simulations were applied gradually, and accordingly, the economic evaluation over the Net Present Values that the resource can generate with Direct Block Scheduling. Uncertainties have been evaluated by using Sequential Gauss simulation in estimation on resource modeling, monte-carlo simulation on selling price and monte-carlo simulation in the ratio of feed/waste grades in metallurgical recovery.

According to the block grade used in the study, a metallurgical efficiency difference of 5.08% at a minimum and 3.91% at a maximum occurs in the results obtained by using varying and fixed metallurgical recovery values. These recovery differences directly affect the number of products to be obtained from the process. This study gains importance in the representation of the differences between the net present values for the open-pit as a result of the optimizations, the minimum limit grade values that occur in the production planning, the tonnages and the uncertainty of the optimization parameters (sales price, technical parameters of production, use of fixed and varying recoveries, etc.).

Key Words: Stochastic Simulations, Direct Block Scheduling, Optimization, Varying Metallurgical Recovery, UMREK

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Maden tasarımı ve planlamasında yer alan riskler, madenciliğin sosyal bir iş ortamı olması ve birçok etmen ile diğer iş kollarına bağlı çalışması nedeniyle oldukça fazladır. Özellikle, varlık sahibinin/sahiplerinin öz sermayesi veya kredilendirilebilir sermaye yoluyla bir maden yatırımının hayata geçirilmesi veya borsada işlem gören bir maden firmasının varlığı üzerinden bilgilendirme yapılması aşamasında, hisse sahiplerinin ilk görmek isteyecekleri parametreler; işin veya yatırımın barındırdığı riskler ve bu risklerin üstesinden gelinmesi olacaktır. Maden varlıklarının ulusal veya uluslararası bankalar yardımı ile sermayesini veya yatırımını güçlendirmesi, güvence altına alması ne kadar önemli ise; kredi verenin bu yatırımın detaylarını, risklerini önceden bilmesi, yatırım sahasına ait teknik, mali ve finansal konulara hâkim olması o kadar önemlidir.

Ulusal UMREK veya uluslararası kaynak raporlamalarında maden, jeoloji, jeoteknik, proses vb. gibi birçok meslek disiplini de birlikte çalışarak raporun içeriğine göre ilgili bölümlerinde katkılar sunmaktadır. Bu çalışma ile maden varlıkları üzerine yapılacak yatırım veya bu çalışmaların yürütülebilmesi için kredi elde edilebilirliği yönünden, uluslararası veya ulusal kaynak-rezerv raporlama standartlarının temel içeriğini oluşturan şeffaflık ilkesi sınırı içerisinde bu varlık için hazırlanabilecek arama raporu, kapsam çalışması (scope of work), ön fizibilite ve fizibilite vb. raporlarda varlığın barındırdığı riskler raporlamalardaki adımlara yardımcı olabilecek nitelikte bazı ekonomik aşamalara ve risklere değinilmiştir.

Madenciliğin barındırdığı risk ve belirsizliklerden; tenör, emtia (maden) fiyatı ve metalürjik randıman konusu üzerinde durulmuştur. Tenör belirsizliğinin ortaya konulması aşamasında, sondajlarla elde edilen veri setinin istatistiki yapısı incelenerek veri tabanı oluşturulmuş, buna uygun katı modelleme yapılarak daha sonrasında blok modele kriging kestirimi uygulanmıştır. Kriging kestirimi sonrası oluşan tenör dağılımlarının değişimlerini gözlemlemek üzere, ardışık gauss simülasyonu ile 100 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu 100 adet simülasyon,

kaynağın kestirim uygulanan ve tenör atanan bölgelerindeki tenör değişimlerini göstermiştir. Elde edilen bu simülasyon değerleri ile mevcut kestirimin sonuçları karşılaştırılarak tenör değerlerindeki değişimler, sapmalar gözlemlenmiştir. Sonucunda ise, kaynağın barındırdığı ortalama tonaj ve tenör miktarları arasındaki farklar gözlemlenebilmiştir.

Bir diğer belirsizlik olarak belirlenen emtia (krom) satış fiyatının geçmiş zamanlı verileri (yaklaşık 10 yıllık) alınarak, bu veriler üzerinde istatistiksel tanımlama işlemleri uygulanmıştır. Daha sonra bu verilerle maden optimizaysonunun yapılabilmesi adına zaman serileri kullanılarak satış fiyatı tahminleri yapılmıştır. Zaman serisi tahminleri için Geometrik Brownian Hareketi ve Ortalamaya Dönme gibi zaman serisi tahmin yöntemlerinden yararlanılmıştır. Yapılan tahminlerde simülasyon teknikleri kullanılmıştır. Tahmin için simülasyon kullanımı sonrasında son optimizasyon parametresi olarak metalürjik randıman için firma sahasında yer alan zenginleştirme tesisinden alınan besleme, konsantre, atık ürünlerinin tenörleri üzerinden aralarında en yüksek korelasyon bulunan besleme/atık oranı tayin edilmiştir. Madencilikte yaygın olarak kullanılan optimizasyon yazılımlarına bakıldığı zaman, optimizasyonun gerçekleştirileceği veriseti girdi parametrelerinden metalürjik randıman sabit bir değer olarak kabul edildiği için, bu çalışmada belirsizliği hem varlık sahibi hem kredi sahibi hem de tasarımcı açısından gösterebilmek amaçlanmıştır. Dolayısı ile ulusal veya uluslararası kaynak/rezerv raporu standartlarına uygun olarak bir ön-fizibilite veya fizibilite raporu hazırlayan ekip içerisindeki Yetkin Kişiye fikir sunabilmek, raporlardaki şeffaflık vurgusuna yapılan atıflara destek olabilmek amaçlanmıştır.

Metalürjik randımanın her bir bloğun barındırdığı tenöre göre belirlenmesi aşamasında ilk olarak, uygulama sahasında mevcut bulunan krom konsantre tesisinden elde edilen analiz değerleri üzerinden hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Buna göre; günlük analiz neticesinde elde edilen, tesise beslenen tüvenan cevher tenörü, atık tenörü, elde edilen konsantre krom tenörü değerleri kullanılarak işletmenin sahip olduğu randımanlar hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda ayrıca ilgili

besleme, konsantre, atık tenör değerleri arasında korelasyonlar kurularak metalürjik randımanın değişiminde etkin olanlar belirlenerek, bloklara uygulanacak randıman tahmininde kullanılabilecek bir oran bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan oranlamalarda Besleme/Atık tenörü oranlamasının randıman hesaplaması aşamasında en uygun olduğu görülmüştür. Analizlerin her birinden elde edilen bu Besleme/Atık tenörü oranlaması ile analizlerin (beslenen, konsantre, atık) sahip oldukları istatistiksel dağılımlar tespit edilmiştir. Daha sonra bu sahanın sahip olduğu yapıya uygun dağılımlar üzerinden Besleme/Atık tenör oranı üzerine Monte-Carlo simülasyonu uygulanarak, her bir bloğa uygulanacak sabit bir besleme/atık oranı elde edilmiştir. Bu oranla, blokların kestirim sonucunda barındırdıkları tenör değerlerine göre oluşacak atık tenörü hesaplanmış ve daha sonrasında yine blokların ayrı ayrı metalürjik randımanları hesaplanmıştır.

Hesaplanan randıman değerleri ile, optimizasyon uygulamasında kullanılmak üzere diğer ekonomik parametreler hesaplanarak veri seti oluşturulmuştur. Böylelikle optimizasyon uygulaması için iki ayrı veri seti elde edilmiştir. İlk optimizasyon modeli; klasik optimizasyon uygulaması olarak sabit randıman değerini kullanan ve hesaplanan ekonomik değerler üzerinden çalıştırılan optimizasyondur. İkinci optimizasyon modeli, her bir bloğun değişken metalürjik randımanına göre gerçek değerlere daha yakın olarak hesaplanan ekonomik değerler üzerinden çalıştırılan optimizasyon olmuştur.

Optimizasyon veri seti içerisinde hesaplanan tenöre bağlı metalürjik randıman, yoğunluk, optimizasyon yazılımı tanımlaması ile “Ekonomik Değer Proses” ve “Ekonomik Değer Pasa” değerleri Doğrudan Blok Planlama yazılımı SimSched DBS’e aktarılmıştır. Dolayısı ile yine belirsizliklerin görülebilmesi adına farklı senaryolar kurgulanmıştır. Ocaktan elde edilecek maksimum NBD’yi elde edebilmek adına 4 farklı optimizasyon ve bu dört optimizasyonun her biri içinde de değiştirilmiş parametreler kullanan 7 adet senaryo tanımlanmıştır. Bu optimizaysonlar sabit ve değişken metalürjik randımanlı optimizasyonlar olarak

gruplara ayrılarak sonuçların sabit randıman değeri kullanıldığında ve değişken randıman değeri kullanıldığında nasıl farklılıklar göstereceği gözlemlenmiştir.

Elde edilen senaryolar ışığında, bir sahada uygulanacak optimizasyon çalışmalarında sabit bir randıman parametresi kullanılarak çalışmalar yapılması durumunda daha yüksek veya daha düşük NBD'ler elde edilebileceği gözlemlenmiştir.

Örneğin; yüksek satış fiyatlı ve değişken randıman kullanan Opt.IV'te metalürjik randımanın her bir blok için ayrı ayrı hesaplanması sonucunda, sabit metalürjik randıman parametresi kullanan Opt.III'ten minimumda %5,08 oranında daha az bir randıman değerine ulaştığı görülmüştür. %5'lik bir metalürjik randıman ise zenginleştirme tesisinde üretilen satılık ürün miktarının 39.000 ton daha az olacağını, bu satılık ürün farklarındaki değişimin de bu sahada yapılan çalışmada minimumda %9 daha fazla olabileceğini göstermiştir. Dolayısı ile optimizasyon algoritmalarını kullanan yazılımlarda girdi parametresi olan metalürjik randımanın sabit veya değişken olması durumunda oluşacak farkların azımsanmayacak miktarda olduğu analiz edilmiştir. Sonuç olarak, bir uluslararası kaynak raporlarma standartları veya yerli UMREK kaynak/rezerv raporlama standartlarına göre oluşturulacak olan teknik bir raporun ilgili meslek disiplini tarafından oluşturulacak belirli bir kısmına hitap eden bu çalışma ile belirsizlikler ve bu belirsizlikler eşliğinde oluşacak sonuçların ortaya çıkaracağı farklılıklara göre karar mekanizmaları oluşturulması hedeflenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tezin oluşumunda, yönetiminde, aynı zamanda çalışmalarım sırasında karşılaştığım sorunların çözümünde desteğini esirgemeyen, yüksek lisansımda olduğu gibi bu çalışmamda da daha farklı fikirler bulmam için beni yönlendiren, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet DAĞ'a teşekkürlerimi sunarım. Makale ve diğer teknik konularda yardımlarını esirgemeyen, ilham veren değerli hocam Prof. Dr. Bülent TÜTMEZ'e sonsuz teşekkürler. Kanada McGill Üniversitesi'nden Prof. Dr. Mustafa KUMRAL'a yardımları ve ilham verdiği için sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Yardımlarından dolayı Dr. Ali Can Özdemir'e teşekkür ederim.

Yaklaşık 15 yıldır bünyesinde çalışmakta olduğum Dedeman Madencilik 2019 yılında yitirdiğimiz Sn. Murat DEDEMAN başta olmak üzere yakın ilgi ve desteğini gördüğüm ve ayrıca firma verilerini doktora çalışmamda kullanmama olanak sağlayan Sn. Rıfat DEDEMAN ve Banu DEDEMAN'a ve tüm kurum çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. İcra Kurulu Başkanı Sn. Cafer BAKIRHAN'a ve Direktör Sn. Yunus SOYSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman daha fazla okumam, akademik olarak gelişmem için beni yüreklendiren değerli babam Hüseyin KASA'ya, değerli annem Havva KASA'ya fedakarlıkları, destekleri için minnettarım. Desteklerini esirgemeyen Fatma KARAYEL, İsmet KARAYEL, Ebubekir KASA ve Adem KASA'ya sonsuz teşekkür ederim.

Çalışma esnasında Excel makrolarında yardımcı olan Levent VARAN'a çok teşekkür ederim. Harita ve diğer işlemlerde yardımcı olan Sn. Tuncay DELİKTAŞ'a teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım süresince bana her zaman destek olan, büyük fedakârlıklar gösteren değerli eşim yazar Şennur KASA'ya, çocuklarım Sami Hamza, Hüseyin Buğra ve Malik Ahmet'e en içten sevgilerimle teşekkür ederim.

Akademik partner olarak çalıştığımız MiningMath firmasına bana vermiş oldukları destek ve SimSched DBS yazılım kullanım hakkı için teşekkürü borç

bilirim. Ayrıca; Netcad firmasına da NetPro-Mine yazılım kullanımı sürecindeki desteklerinden ve karşılıklı fikir alış-verişlerinden ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR VII
İÇİNDEKİLER IX
ÇİZELGELER DİZİNİ XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ XV
SİMGELER VE KISALTMALAR XIX
1. GİRİŞ 1
1.1. Çalışmanın Amacı 4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 7
2.1. Simülasyon, Metalürjik Randıman ve Optimizasyonlar Konusunda Yapılan Çalışmalar 7
3. MATERYAL VE YÖNTEM 13
3.1. Materyal 13
3.2. Çalışma Sahası 13
3.3. Jeoloji 15
3.3.1. Kromit Cevherleşmeleri 16
3.4. Uygulama Sahasına Ait Bilgiler 17
3.4.1. Sondajlar 17
3.4.2. Kimyasal Analizler 21
3.4.3. KG/KK (QA/QC) 21
3.4.4. Yığın Yoğunluğu 22
3.5. Jeoistatistiksel Kaynak Kestirimi ve Simülasyon 23
3.5.1. Jeoistatistiksel Kaynak Kestirimi 23
3.5.1.1. Variogram 24
3.5.1.2. Kriging 27

3.5.2. Jeoistatistiksel Simülasyon 28
3.5.2.1. Ardışık Gauss Simülasyonu (Sequential Gaussian Simulation-SGSim) 31
3.5.3. UMREK Kodu 38
3.5.4. Belirsizlik (Uncertainty) 43
3.5.5. Ekonometrik Analiz 44
3.5.5.1. Brownian Hareketi ve Ortalamaya Dönme (Mean Reverting) 46
3.5.6. Madencilikte Optimizasyon 50
3.5.6.1. Optimizasyon Algoritmaları 51
3.5.6.2. Doğrudan Blok Planlama (DBP) 52
3.5.6.3. SimSched DBS 55
3.5.7. Stokastik Yaklaşımlar 57
3.5.7.1. Monte-Carlo Simülasyonu 58
3.5.8. Kullanılan Yazılımlar 59
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 63
4.1. Sondaj Veri Tabanının Oluşturulması 63
4.1.1. İstatistiksel Analiz 64
4.1.2. Kesit ve Katı Model Oluşturulması 66
4.2. Jeoistatistiksel Veri Analizi ve Kestirim 69
4.2.1. Kompozit ve Öznitelik Oluşturulması 69
4.2.2. Blok Model Oluşturulması 71
4.2.3. Krom Variogram Analizi 73
4.2.3.1. Kriging 76
4.2.3.2. Çapraz Doğrulama 80
4.2.3.3. Ardışık Gauss Simülasyonu Uygulaması 82
4.3. Optimizasyon Uygulaması 90
4.3.1. Satış Fiyatı Öngörüsü 91
4.3.1.1. Krom Fiyatının Zaman Serisine Uydurulması 93

4.3.1.2. Platin Fiyatının Zaman Serisine Uydurulması 96
4.3.1.3. Satış Fiyatı İçin Monte-Carlo Simülasyonu 98
4.3.2. Optimizasyon Blok Parametrelerinin Hesaplanması 103
4.3.2.1. Tonaj ve Yoğunluk 103
4.3.2.2. Metalürjik Randıman 103
4.3.3. Bloklara Ekonomik Değerin Atanması 111
4.3.3.1. Operasyonel Maliyetler 115
4.3.4. Satılık Ürün Miktarının Hesaplanması 122
4.3.5. Optimizasyonun Çalıştırılması 124
4.3.5.1. Verilerin Yazılıma Aktarılması 124
4.3.5.2. Optimizasyon Senaryolarının Kurulması 125
4.3.6. Optimizasyon Sonuçları 126
4.3.6.1. Opt.I ve Opt.II Çalışma Sonuçları 126
4.3.6.2. Opt.III ve Opt.IV Çalışma Sonuçları 136
4.3.7. Optimizasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması 146
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 157
KAYNAKLAR 161
ÖZGEÇMİŞ 169
EKLER 171
Ek-1 Sondaj Koordinat Ve Derinlik Bilgileri 173
Ek-2 100 Adet Ardışık Gauss Simülasyonu Sonucu oluşan ortalama tenör ve kaynak tonajının Kriging Kesitimi Sonucu Elde Edilen Değerlerden Farkları 178

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. CRIRSCO rapor formatında geçen kaynağın belirsizlik, maliyet ve finansal rapor bilgileri (Crirsco, 2013) 39
Çizelge 4.1. Histogram verileri 65
Çizelge 4.2. Sondaj tenörleri istatistiksel verileri 66
Çizelge 4.3. Histogram verileri 70
Çizelge 4.4. Krom kompozit istatistikleri 71
Çizelge 4.5. Variogram parametreleri 74
Çizelge 4.6. Tenör-Tonaj dağılımları 79
Çizelge 4.7. Monte-Carlo Simülasyon ve Gauss simülasyonları dağılımının istatistiksel karşılaştırması (%3 tenör üzeri tonajlar baz alınmıştır) . 90
Çizelge 4.8. Korelasyon türleri ve elde edilen katsayıları 91
Çizelge 4.9. Krom ve platin fiyatları istatistiksel veri sonuçları 92
Çizelge 4.10. Krom-Platin korelasyon matrisi 93
Çizelge 4.11. BMMR Korelasyonlu öngörü sonuçlarından 15 tanesi 99
Çizelge 4.12. 70 günlük analiz sonuçları 106
Çizelge 4.13. Analiz sonuçlarının istatistiksel özeti 108
Çizelge 4.14. Analizler arasındaki korelasyon 108
Çizelge 4.15. Açık ocak, zenginleştirme ve satış maliyetleri 117
Çizelge 4.16. Detay açık ocak birim maliyetler 118
Çizelge 4.17. Proses tesisi birim maliyetleri 118
Çizelge 4.18. Birim maliyetler ve diğer fiyatlarla karşılaştırma 120
Çizelge 4.19. Hazırlık hariç maliyetlerin korelasyon matrisi 120
Çizelge 4.20. Proses birim maliyetlerine ait korelasyon matrisi 121
Çizelge 4.21. Konsantre krom satılık ürün maliyetlerine ait korelasyon matrisi .. 122
Çizelge 4.22. Bu çalışmanın verilerinin aktarılması sonrası yazılımın karşılama ekranında oluşacak veriler 125
Çizelge 4.23. Optimizasyon senaryolarından kullanılan parametreler 126

Çizelge 4.24. Opt.I ve II optimizasyon girdi parametreleri 127
Çizelge 4.25. Opt.I ve II çıktı sonuçları 128
Çizelge 4.26. Opt.I ve II'de senaryoların ürettiği tesis besleme tonajı ve ortalama 135
Çizelge 4.27. Opt.III ve IV optimizasyon girdi parametreleri 137
Çizelge 4.28. Opt.III ve Opt.IV çıktı sonuçları 137
Çizelge 4.29. Opt. III ve IV'te senaryoların ürettiği tesis besleme tonajı ve ortalama 144
Çizelge 4.30. Opt.II periyotlara göre üretilen randıman değerleri 145
Çizelge 4.31. Opt.IV periyotlara göre üretilen randıman değerleri 146
Çizelge 4.32. Tesise beslenen minimum ve maksimum blok tenör değerleri 149
Çizelge 4.33. Optimizasyon senaryolarının Örtü/Kazı Oranları 150
Çizelge 4.34. Opt.I senaryo sonuçlarına ait korelasyon matrisi 153
Çizelge 4.35. Opt.IV senaryo sonuçlarına ait korelasyon matrisi 154
Çizelge 4.36. Opt.II randıman değerlerinin sabit randımana göre kıyaslaması 154
Çizelge 4.37. Opt.IV randıman değerlerinin sabit randımana göre kıyaslaması 155

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. CRIRSCO Arama sonuçları, Mineral Kaynakları ve Maden Rezervleri arasındaki genel ilişki 3
Şekil 3.1. İşletme yer bulduru haritası 14
Şekil 3.2. Çalışma bölgesini gösterir krom sahası 15
Şekil 3.3. Sondajlara ait plan görünümü 18
Şekil 3.4. Kesit 1-2 düşey görünümü 18
Şekil 3.5. Kesit 7-8 düşey görünümü 19
Şekil 3.6. Sondajlar ve Şelale-2 cevheri Kuzey-Doğu plan görüntüsü 20
Şekil 3.7. Sondajlar ve Şelale-2 cevheri düşey görüntüsü 20
Şekil 3.8. Şelale ocağı tenör-yoğunluk ilişkisini gösterir grafik (Deiss, 2012) 22
Şekil 3.9. İdeal küresel variogram ve parametreleri (Gandhi ve Barkar, 2016) 25
Şekil 3.10. Semi-variogram modelleri 26
Şekil 3.11. Ardışık Gauss simülasyonu adımları 35
Şekil 3.12. a) Dönüşüm uygulanmadan önceki orijinal verinin dağılımına ait histogram, b) Normal dağılıma dönüştürülmüş olan orijinal verinin dağılımına ait histogram 36
Şekil 3.13. a) Verilerin ham durumu, b) verilerin normal dağılıma dönüştürülmüş hali c) simülasyon öncesi ve d) verilerin simülasyon sonrası orijinaline dönüştürülmüş hali 37
Şekil 3.14. Kaynağın Rezerve geçişi ve projenin aşamaları (Baurens, 2010) 42
Şekil 3.15. Teknik, mali ve risk değerlendirme döngüsü (Edwards, 2001) 43
Şekil 3.16. Orijinal veri (sol) ve dönüştürülmüş platin verisi (sağ) 45
Şekil 3.17. ACF ve PCF grafikleri ve verinin yatay çizgiler arasına alınması 45
Şekil 3.18. Regresyon sonuçları 48
Şekil 3.19. Model penceresi 49
Şekil 3.20. Cevher bloğunun ekonomik değeri 50

Şekil 3.21. Optimizasyonda Klasik öncelikli ve çok-dönemli mekanizmalar (Souza ve ark., 2018) 52
Şekil 3.22. L&G ve DBP karşılaştırması (Morales ve ark., 2019) 53
Şekil 3.23. Üretim genişliği (https://knowledge.miningmath.com/general-contents/user-interface/geometric/widths) 56
Şekil 3.24. Taban genişliği (https://knowledge.miningmath.com/general-contents/user-interface/geometric/widths) 57
Şekil 3.24. Düşey ilerleme hızı 57
Şekil 3.25. Monte-Carlo simülasyon adımları 59
Şekil 3.27. Çalışmanın akım şeması 61
Şekil 4.1. Tenör dağılımlarına ait histogram 64
Şekil 4.2. LogNormal dağılımı gösterir tenör dağılım grafiği 65
Şekil 4. 3. Sondajlara göre alınan kesit görüntüsü 67
Şekil 4.4. Katı model düşey eksen görüntüsü 68
Şekil 4.5. Katı model X-Y plan görüntüsü 68
Şekil 4.6. Katı model X-Z düşey görüntüsü 69
Şekil 4.7. Kompozit verilerine ait histogram 70
Şekil 4.8. Blok modelin kestirim öncesi görünümü 72
Şekil 4.9. Örnek iki sondaj arasındaki blok sayısının görünümü 73
Şekil 4.10. Yatay variogram 75
Şekil 4.11. Düşey variogram 75
Şekil 4.12. Kriging uygulama penceresi parametre giriş ekranı 76
Şekil 4.13. Kriging uygulama penceresi variogramların seçimi 77
Şekil 4.14. Kriging kestirimi sonrası cevher tenörlerinin plan görüntüsü 78
Şekil 4.15 Kriging kestirimi sonrası cevher tenörlerinin düşey görüntüsü 78
Şekil 4.16. Kriging kestirimi sonrası tenör-tonaj eğrisi 80
Şekil 4.17. Çapraz doğrulama sonuç ekranı 81
Şekil 4.18. Çapraz doğrulama karşılaştırma grafiği 82
Şekil 4.19. Normal dağılım sonrası öznitelik histogramı 83

Şekil 4.20. Simülasyon düşey variyogramı 83
Şekil 4.21. Simülasyon yatay variyogramı 84
Şekil 4.22. Simülasyon parametre ekranı 85
Şekil 4.23. 84 numaralı simülasyona ait ekran görüntüsü 86
Şekil 4.24. Simülasyonların Kriging kesitiminden elde edilen tonaj ve tenör farklarını gösterir dağılım grafiği 87
Şekil 4.25. %3 Cr ve üzeri tenörlü Simülasyonların Kriging kesitiminden elde edilen tonaj ve tenör farklarını gösterir dağılım grafiği 87
Şekil 4.26. %3 tenör üzeri simülasyonların dağılım grafiği 88
Şekil 4.27. %3 tenör üzeri Monte-Carlo simülasyonu sonucu grafiği 89
Şekil 4.28. %3 tenör üzeri Monte-Carlo simülasyonu ve Simülasyon sonucu grafiği 89
Şekil 4.29. Platin-Krom dağılım grafiği 92
Şekil 4.30. Krom ve platin zaman serisi grafiği 93
Şekil 4.31. Krom fiyatları dönüşüm öncesi grafikleri 94
Şekil 4.32. Krom fiyatları dönüşüm öncesi grafikleri 95
Şekil 4.33. Platin fiyatları dönüşüm öncesi grafikleri 97
Şekil 4.34. Platin fiyatları dönüşüm sonrası grafikleri 98
Şekil 4.35. Öngörü korelasyonu sonucu oluşan yeni verinin birbiri ile korelasyonu 100
Şekil 4.36. Simülasyon ortalamalarının korelasyonu 101
Şekil 4.37. İlk iki iterasyonun korelasyon karşılaştırması 102
Şekil 4.38. Besleme tenörü dağılım grafiği 104
Şekil 4.39. Atık tenörü dağılım grafiği 105
Şekil 4.40. Konsantre tenörü dağılım grafiği 105
Şekil 4.41. Besleme-atık tenörü dağılım grafiği 109
Şekil 4.42. Besleme/Atık oranları dağılım grafiği 110
Şekil 4.43. Optimizasyonda bloğun ekonomik ayrımı 112
Şekil 4.44. Bloğun ekonomikliğine göre sevk edilmesi 115

Şekil 4.45. Simsched DBS yazılımına aktarılacak dosyanın görüntüsü 124
Şekil 4.46. Opt.I ve Opt.II sonuçlarının karşılaştırma grafiği..... 129
Şekil 4.47. Opt. I ve II NBD karşılaştırmaları 130
Şekil 4.48. Opt.I ocak sınırları plan görünümü..... 131
Şekil 4.49. Opt.I üretim sırası düşey görünümü..... 132
Şekil 4.50. Opt.II ocak sınırları plan görünümü 133
Şekil 4.51. Opt.II üretim sırası düşey görünümü 134
Şekil 4.52. Opt.I ve Opt.II Beslenen ton ve tenör ilişkileri grafiği 136
Şekil 4.53. Opt.III ve Opt.IV sonuçlarının karşılaştırma grafiği 138
Şekil 4.54. Opt.III ve IV NBD karşılaştırmaları 139
Şekil 4.55. Opt.III ocak sınırları plan görünümü 140
Şekil 4.56. Opt.III üretim sırası düşey görünümü..... 141
Şekil 4. 57. Opt.IV ocak sınırları plan görünümü..... 142
Şekil 4.58. Opt.IV üretim sırası, düşey görünümü..... 143
Şekil 4.59. Opt.III ve Opt.IV beslenen tonaj-tenör ilişkisi grafiği..... 145
Şekil 4.60. Optimizasyonların ürettikleri konsantre miktarları karşılaştırması 147
Şekil 4.61. Optimizasyonların ürettikleri NBD karşılaştırması 149
Şekil 4.62. Optimizasyon senaryolarının Örtü/Kazı oranları..... 151

SİMGELER VE KISALTMALAR

$/t : Birim maliyet

% Cr_2O_3 : Krom tenör birimi

100Kt : Yüz bin ton

A : Atık tenörü (% birimi ile)

ACF : Auto correlation function (oto-korelasyon fonksiyonu)

Al : Alüminyum

ARMA : Auto regressive moving average (hareketli ortalama)

B : Besleme tenörü (% birimi ile)

BMMR : Brownian motion mean reverting (ortalamaya dönme Brownian

Br. Mal. : Birim maliyet ($/t birimi ile)

Bt : Blok tenörü (% birimi ile)

BT : Blok tonajı (ton birimi ile)

CBRR : The Brazilian Commission for Resources and Reserves

CIM : Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum

Cr : Krom

CRIRSCO : Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards

DBP : Doğrudan blok planlama

DBS : Direct block scheduling (doğrudan blok planlama)

DCF : İndirgenmiş nakit akışı

Depth : Derinlik

Easting : Doğu Yönü

EDP : Ekonomik değer proses ($ birimi ile)

EDW : Ekonomik değer pasa ($ birimi ile)

ERP : Kurumsal kaynak yazılımı

F.O.B. : Free On Board (Yükleme maliyeti $ birimi ile)

Fe : Demir

GBM : Geometric brownian motion (geometrik Brownian hareketi)
GÜG : Genel üretim gideri
HID : Sondaj delik numarası
IX : Doğu yönü indis birimi
IY : Kuzey yönü indis birimi
IZ : Yükseklik (Seviye) indis birimi
İR : İşletme ruhsatı
JORC : Joint Ore Reserves Committee
K : Konsantre tenörü (% birimi ile)
KAZRC : The Kazakhstan Code for the Public Reporting of Exploration Results,
Kt : Konsantre tenörü (% birimi ile)
L&G : Lerchs ve grossman algoritması
MA : Moving average (ortalamaya dönme)
Mak : Maksimum
Mal. : Maliyet
MAPEG : Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
Max : Maksimum
MC : Monte-Carlo simülasyonu
Min : Minimum
MM : Madencilik maliyeti ($/t birimi ile)
MR : Mean reverting (ortalamaya dönme)
mt : Ağırlık birimi (milyon ton)
NAEN : Russian Code for the Public Reporting of Exploration Results
NBD : Net bugünkü değer
NDD : Normal dağılıma dönüştürme
Northing : Kuzey Yönü
NPV : Net present value (net bugünkü değer)
Opt.I : Optimizasyon-I

Opt.II : Optimizasyon-II

Opt.III : Optimizasyon-III

Opt.IV : Optimizasyon-IV

Ort. : Ortalama

PCAF : Partial auto correlation function (kısmi oto-korelasyon

PERC : Pan-European Reserves & Resources Reportıng Commıttee

PM : Proses maliyeti ($/t birimi ile)

QA/QC : Kalite güvence ve kalite kontrol

R : Metalürjik randıman

Rasyo : Cr/Fe oranı

RL : Yükseklik (Seviye)

S : Senaryo

SAMREC : South Afrıcan Code For The Reportıng Of Exploratıon Results,

SF : Satış fiyatı ($/t birimi ile)

SGSim : Ardışık gauss simülasyonu

Sim : Simülasyon

SM : Satış maliyeti ($/t birimi ile)

SME : Society for Mining, Metallurgy & Exploration

Surveying : Sondaj koordinat alım yöntemi

Tenör_Nsc2 : Normal dağılıma dönüştürüşmüş tenör değeri

TÜFE : Tüketici fiyat endeksi

UMREK : Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu

1. GİRİŞ

Dünyada büyük madencilik firmalarının çoğu halka arz edilerek, hisseleri borsalarda işlem görmektedir. Borsa hisselerinin değer kazanması için sürekli yenilik ve araştırma içerisinde bulunan bu büyük firmalar, dünya ekonomisinde para piyasalarını etkileyen birçok etmene karşı hazırlıklı olmaları gerektiklerini bilmektedirler. Örneğin, bir emtia fiyatı diğer birçok emtia fiyatının iniş çıkışlarından etkilenmektedir. Bu iniş-çıkışların öngörülebilirliğinin kestirilmesi ve gelecek planlamaları bu değişimlere oranla yapılması firmaların, gelecekte hissedarlarına sunacağı güvenlik ortamının ve kazandıran hisse oranlarının oluşması yanında, faaliyetlerin sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir. Dolayısıyla maden firmalarının, rezervlerini kesin/kesine yakın bir doğrulukla ve ekonomik işletilebilirlik değerinin de gelecek provizyonunda tam ve belirsizlikten mümkün olduğunca uzak şekilde sunmaları gerekmektedir.

Avustralya Maden ve Metalürji Enstitüsü (AusIMM- Australasian Institute of Mining and Metallurgy), Avustralya Yer Bilimciler Enstitüsü (AIG - Australian Institute of Geoscientists) ve Avustralya Mineral Konseyinin (Mineral Council of Australia) girişimiyle 1971 yılında ortak bir komite olan JORC (The Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia) komitesini kurmuştur. JORC komitesi, 1972 ile 1985 yılları arasında kamu raporlaması ve maden rezervlerinin sınıflamasına ilişkin epeyce bir belge üretti ve sonunda 1989 yılında ilk JORC Kodunu yayınlanmıştır (Arden ve Pıçakçı, 2014).

Günümüzde birçok ülke kendi rezerv raporlama standartlarına sahiptir. Bu ülkelerden başlıcaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Avustralya (JORC)
- Brezilya (CBRR)

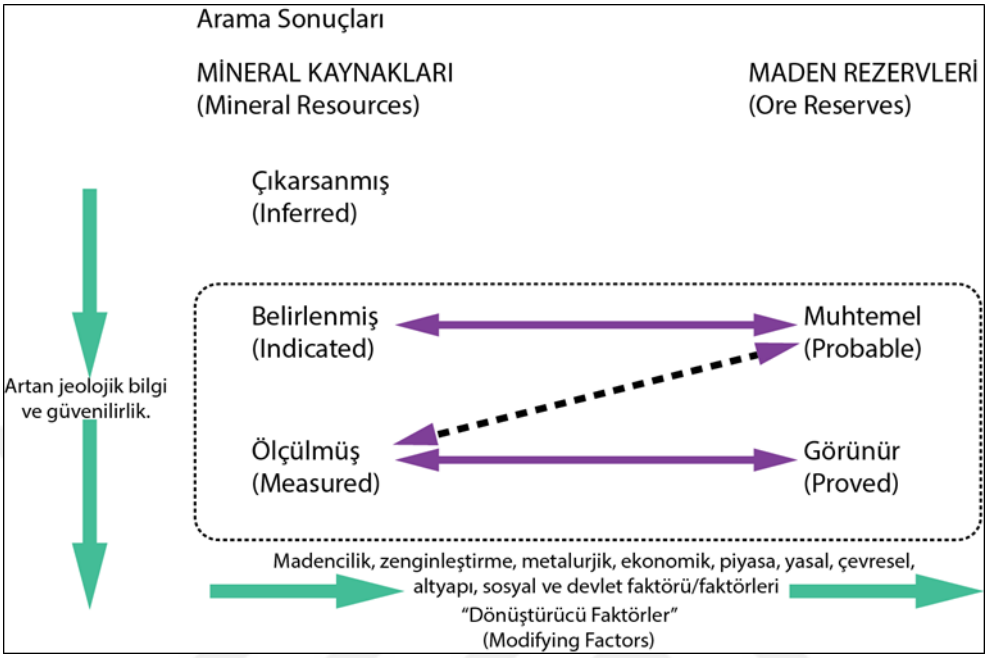
- Kanada (NI 43-101)
- Avrupa (PERC)
- Rusya (NAEN)
- Güney Afrika (SAMCODES)
- ABD (SME)
- Kazakistan (KAZRC)
- Ve ülkemizde 2017 yılında kurulan UMREK

Bu standartların yanında çeşitli çalışma gruplarının ortak ürünü olan tüm rapor standartlarının bir birleşimi niteliğindeki uluslararası CRIRSCO bulunmaktadır.

Yeni bir ulusal kod gereksiniminin sonucu olarak Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2012 yılında ulusal bir sistemi olan CRIRSCO çatısı altına taşımak için CRIRSCO ile bir niyet protokolü imzalamış ve birleşik MIGEM-CRIRSCO çalışma grubu kurulmasına karar verilmiştir (Arden ve Pıçakçı, 2014).

CRIRSCO ve diğer rapor standartlarının ortak paydasını oluşturan arama sonuçları arasındaki genel ilişkiyi gösterir şema Şekil 1.1'de verilmiştir. Bu şemada; yukarıdan aşağıya ilerledikçe, kaynağın jeolojik bilgi ve güvenilirliği artmakta, soldan sağa doğru ise "Dönüştürücü faktörler" olarak isimlendirilen, madencilik, yatağın ekonomik durumu, çevresel, yasal vs. gibi etmenler dönüşümü şekillendirmektedir.

Bütün bu sınıflama ve rehberlik eşitliğinde oluşturulan raporlarda cevherin niteliğinin tüm yönleri ile açığa çıkarılması ve okuyucu/yatırımcıya detaylı bilgi verecek olması sağlanmış olsa da ruhsat sahibi veya bir yatırımcı için nihai olarak, cevher/mineral varlığının ekonomik değeri ve kamu yararı önemli olmaktadır.



Şekil 1.1. CRIRSCO Arama sonuçları, Mineral Kaynakları ve Maden Rezervleri arasındaki genel ilişki (Crirsco, 2013)

JORC, CRIRSCO veya NI 43-101 gibi herhangi bir kaynak raporunun başlıca ekonomik/finans bazlı rapor adımları, kaynakla ilgili gerekirse istatistiksel ve jeoistatistiksel çalışmaların yapılması gerektiği, tahmini madencilik ve işletme maliyetlerini içermesi gerektiği, metal-emtia fiyatlarına dayalı varsayımlar vs. gibi adımların da bulunması gerekliliği üzerine raporun hatları çizilmektedir. Özellikle kaynak/rezerv rapor standartlarının ek tablolarında belirtilen bu varsayımlara değinilmektedir.

Gelecek planlaması yapılırken planlamanın birçok aşamasında belirsizliklerle karşılaşılabilmektedir. Belirsizlikleri daha belirgin ve kesin hale getirebilmek içinse geçmiş verilere dayalı kestirim veya istatistiksel yöntemler kullanılır. Ekonomik ve finansal değerlendirmelerde, istatistik ve olasılık önemli araçlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Olasılıklar kullanılarak, belirsizlikleri minimuma indirme noktasında simülasyonlar bizlere kolaylık sağlamaktadır.

Literatürde yaygın olarak kullanılan 6 simülasyon (benzetim) yaklaşımı aşağıda sıralanmıştır (Öztürk, 2004).

1. Statik Simülasyon Modelleri: Sistemin bir andaki veya bir dönemdeki durumu söz konusu ise buna ilişkin kurulan (zaman boyutunu içermeyecek şekilde) modeldir.
2. Dinamik Simülasyon Modelleri: Zaman sürecinde ve değişimle gelişen sistemlerin gösterimi dinamik modellerle gerçekleştirilir.
3. Deterministik Simülasyon Modelleri: Davranışı daha önceden tahmin edilebilen ve gelecekte ne tür davranışlara gireceği bilinen modeller deterministik modellerdir. Deterministik modellerde dışsal (eksojen) ve içsel (endojen) değişkenler rassal değildir.
4. Stokastik Simülasyon Modelleri: Davranışı daha önceden bütünüyle kestirilemeyen modeller stokastik modellerdir. Olayların hangi olasılıklarla meydana geleceği hakkında çeşitli öngörüler oluşturulabilir.
5. Sürekli Modeller: Durum değişkenleri zaman üzerinde sürekli değiştiğinden, istatistikler sistemdeki durumu sürekli bir şekilde gözlemleyerek elde edilir.
6. Kesikli Modeller: Zaman içerisinde kesikli veya sayılabilir noktalarda sistemin temel değişkenlerinin değerleri değişime uğruyorsa bu sistemler kesikli sistemler olarak tanımlanmaktadırlar.

1.1. Çalışmanın Amacı

Dedeman Madencilik'e ait Adana-Aladağ bölgesinde yer alan Şelale açık ocak cevherleşmesi için jeoistatistiksel kestirim yöntemi ve simülasyonlar gerçekleştirilerek, ön fizibilite ve fizibilite raporlarının temelini oluşturan yatağın ekonomik boyutunun değerlendirilmesi noktasında; kullanılan optimizasyon yönteminin girdi parametrelerinden metalürjik randımanın her blok için değişken

olarak kullanılması yönünde gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı aşağıda maddeler halinde özetlenebilir.

- Örnekleme ve veri hazırlama
- Yapı tanımalaması (structure identification)
- Yatağa Jeoistatistiksel Kriging kestirimi ve Ardışık Gauss Simülasyonu uygulanması,
- Simülasyon ve kestirim sonuçlarının karşılaştırılması,
- Belirsizliklerin ortaya konularak, Monte-Carlo simülasyonu ile muhtemel sonuçların değerlendirilmesi,
- Belirsizlikler ve normal optimizasyon parametreleri ile ekonomik boyutun değerlendirilmesi
- Optimizasyonda farklı bir yaklaşım olarak her bir bloğa metalürjik randıman tahmini uygulanması ile yatağın ekonomik sonuçlarının değerlendirilerek karar mekanizmasına yardımcı olunması aşamalarından oluşmaktadır.

Sonuç olarak, uluslararası veya ulusal kaynak/rezerv raporlama standartlarına uygun formatta hazırlanacak bir raporun kaynaktan rezerve geçişi aşamasında, yatağın ekonomik boyutunu göstermek için gerçekleştirilen ekonomik analizlerden optimizasyon kullanımında, geleneksel optimizasyon kullanımına ek olarak, değişken metalürjik randımanın kullanılabilmeksi için proses analiz verilerinden besleme, konsantre ve atık tenörlerinden alınan geçmiş verilerden elde edilecek bir besleme/atık tenörü oranının belirlenmesi ve bu oran ile de her blok için önce atık tenörü, sonrasında da metalürjik randıman değerinin hesaplanması ve bu değerin kullanılarak kaynağa uygulanacak optimizasyondan elde edilebilecek

net bugünkü değerin maksimize edilmesinin yanında, gerçek pratik çalışma değerlerine yakın olması amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Simülasyon, Metalürjik Randıman ve Optimizasyonlar Konusunda Yapılan Çalışmalar

Ekinci (2011); Balya bölgesi kurşun çinko cevherleşmesine jeoistatistiksel kestirim ve simülasyonları uygulayarak tenör dalgalanmaları ve değişimlerinin modellenmesini gerçekleştirmiştir.

Cherchenevski ve ark (2019); tenör belirsizlikleri ile maden planlama arasındaki bağlantıda, jeoistatistiksel simülasyonlara değinerek, yatağın modelleme ve tenör dalgalanmalarının görülmesine ışık tutacak ko-simülasyon dönüm bantları yaklaşımı ile simülasyonları gerçekleştirmiş ve bu şekilde tenör belirsizliklerinin haritalandırılması ile kârın ve maden çıkarımının maksimize edileceğini göstermişlerdir.

Kring ve Chatterjee (2020): sentetik bir veri seti üzerinden geliştirmek istedikleri metod ile sınırlı arama verisi üzerinde gerçekleştirilen jeoistatistiksel simülasyonlarla yapısal ve jeotenik parametrelerin belirsizlik ölçümleri için yapmış oldukları çalışmalarında; açık ocak madenciliği işletmesi için 44°'lik güvenli bir şev açısını belirlemek için jeoistatistiksel olarak simüle edilmiş RQD haritalarını analiz etmişlerdir. Önerilen yöntemin, diğer jeoteknik riskleri ölçmek için uygulanabilir ve herhangi bir stabilite analizi çerçevesine entegre edilebilir olduğunu öne sürmüşlerdir.

Amstrong ve ark. (2021); jeolojik belirsizlik altında açık ocak madenlerinde çok dönemli üretim planlaması için uyarlanabilir bir stokastik optimizasyon yaklaşımı geliştirmiş ve bunu mevcut iki aşamalı optimizasyon yöntemiyle karşılaştırmış ve jeoistatistiksel simülasyonlarla bunu güçlendirmişlerdir. Bu yeni katman kaydırma optimizasyonu yaklaşımı, yeni bilgiler elde edildikçe jeolojik modeli her zaman periyodunda güncellemektedir. Daha önce farklı büyüklükteki açık ocaklarda gerçekleştirdikleri sayısal testler, ortalama olarak, katman kaydırma

ile yapılan uyarlamanın, uyarlamalı olmayan iki aşamalı yaklaşımdan daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Yersel ve Konuk (1997); Manyezit maden işletmeciliğinde ilk yatırım, işletme sermayesi ve işletme giderleri ile cevher kalite katsayısı tahminleri için regresyon model parametrelerini araştırmıştır, Regresyon tahminlerinde beklenen hatalardan belirli sayıda rassal örneklemede yaparak yıllık nakit akımlarını ve net bugünkü değer oranı karlılık ölçütlerini hesaplayan risk analiz modeli geliştirilmiştir. Monte Carlo Benzetim Yöntemi temelinde geliştirilen risk analiz modeli ile karlılık ölçütleri dağılım parametreleri de hesaplanarak, sınır $\%Si0_2$ kararlarının risklilik dereceleri belirlemişlerdir.

Torikian ve Kumral (2014); Spearman ve Normal koreasyonlarla bir maden değerleme projesinde Monte Carlo simülasyonundaki korelasyonların yeniden türemesini analiz etmişlerdir. Bu şekilde üretilen simülasyonlardaki değerlerin gerçek değerlerle ilişkisindeki korelasyonun kurulmasındaki önemi tartışmışlardır.

Baek ve ark (2016); bir bakır-çinko ocağı için, çoklu maden fiyatlarındaki değişimi Monte-Carlo simülasyonu kullanarak, oluşacak belirsizliklerin ortaya çıkarılıp, optimizasyonda kullanılması noktasında yeni bir yaklaşım getirmişlerdir.

Goodfellow ve Dimitrakopoulos (2016); farklı stokastik yaklaşımlar ile ekonomik ve jeolojik belirsizlikleri temel alan çalışmada, bir bakır-altın madeni kompleksinde üretim hedeflerini karşılamayan risklerin düşürülmesini hedefleyen tasarımları yapabilecek algoritmalarla deterministik yöntemlere göre %6,6 daha fazla net bugünkü değer ve endüstri standartlarında bir madencilik yazılımından da %22,6 oranında daha fazla net bugünkü değer veren bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Çalışmanın bir noktasında ise farklı tenörlerde farklı randımanları gösteren zenginleştirme sonuçlarına da değinmişlerdir.

Kumral ve Sari (2017) yapmış oldukları çalışmada, finansal ve teknik belirsizliklerin etkilediği kârlılık ve madencilik çalışmalarında, maden üretim sırasını mevcut risk toleranslarına Monte-Carlo simülasyonu uygulayarak projenin net bugünkü değerini maksimize etmeyi amaçlamışlardır.

Lerchs ve Grossman (1965) ilk ocak optimizasyonu algoritmasını ortaya koymuş daha sonra bu konuda birçok çalışma yapılmış ve farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Açık-ocaklarda bu algoritmalar titiz (rigorous) ve buluşsal (heuristic) olarak iki başlık altında toplanabilir. Titiz yaklaşımlarda; Dinamik Programlama, Grafik Teorisi, Parametrik Analiz ve Stokastik Süreçler bulunurken; buluşsal yaklaşımda, Hareketli Koniler, Ağ Akış Analizi, Doğrusal (Lineer) Programlama, Korobov, Genetik Algoritma ve Yapay Zekâ (AI) algoritmaları sayılabilir. Tüm bu algoritmaların temel amacı; amaç fonksiyonunu maksimum ya da minimum yapabilecek optimum değerleri yakalamak üzerinedir. Dinamik Programlama tabanlı ilk algoritma Lerchs ve Grossman (1965)'dır. L&G algoritması 2 boyutlu iken, 1971 yılında Sharp ve Johnson, üç boyutlu bu algoritmayı geliştirdiler. Belirsizlik içeren problemlerin çözümünde kullanılan stokastik programlama yöntemi, 1955 yılında Dantzig'in "Linear Programming Under Uncertainty" ve aynı yıl E. M. L. Beale'in çalışmasıyla literatürde yer almaya başlamıştır. Charnes ve Cooper'ın (1959) şans kısıtını ekledikleri çalışma bu alana yapılan güçlü katkılardan biridir.

Marcotte ve Caron (2013); Alternatif bir stokastik optimizasyon yaklaşımı ortaya koyma çalışmalarında; stokastik optimizasyonun, klasik optimizasyondan daha büyük cevher ve atık tonajları ürettiğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak ise çalışmalarında; klasik optimizasyona veya en iyi simüle edilmiş ocağa kıyasla stokastik optimizasyonun nispi kazancını kontrol eden ana faktörün, sondaj delikleri aralığı/mesafe oranı ile ölçülen bilgi seviyesi olduğu gösterilmiştir.

Sunulan stokastik optimizasyon yaklaşımının, alternatif projelerin değerlerinin adil bir şekilde karşılaştırılması ve açık ocağın ilk tasarımı ve planlaması için klasik yaklaşımdan veya en iyi simüle edilmiş ocaktan daha iyi bir araç olduğu sonucuna varmışlardır.

Leite ve Dimitrakopoulos (2014): bir bakır madeni üzerinde gerçekleştirdikleri stokastik tam sayılı programalama yaklaşımlı optimizasyon çalışmalarında; stokastik çözümün, bir projenin ekonomik değerini en üst düzeye çıkarması ve cevher/metal belirsizliği varlığında üretim hedeflerinden sapmaları en

aza indirmesi noktasında önemine değinmişlerdir. Çalışmalarında geleneksel yöntemle elde edilenden %29 daha yüksek net bugünkü değere sahip bir maden üretim planlamasına ulaşmışlar ve maden üretim planlamasında uygulanacak formülasyonda stokastik bir yaklaşım kullanmanın daha avantajlı olacağını öne sürmüşlerdir.

Geleneksel yaklaşımlarda; sabit randıman, madencilik ve proses maliyetleri kullanılmaktadır (Dimitrakopulos ve ark. 2007; Smith ve ark., 2008). Öte yandan randıman, cevher kütlesi için sabit olmayıp, sabit maliyetlerin kullanılması durumunda randıman ve iş hacmi de değişebilmektedir (Kumral 2011; Kumral 2015). Verim ve geri kazanım analizinde optimizasyona dayalı yaklaşımlardan birinde, Moosavi ve Gholamnejad (2016), açık ocak madenciliği için optimum üretim düzeninin belirlenmesinde dinamik sınır tenörün (dynamical cut-off) ölçütünün dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışmada, metal kurtarmanın yanı sıra, madencilik ve süreç maliyetlerinin de etkili karar vermeye bağlı olduğu, dolayısı ile maden ömrü boyunca bloğun ekonomik ömrünün belirlenebileceğini belirtmişlerdir. Benzer konulu bir çalışmada, farklı proseslere gönderilen malzemelerden kazanılan metal miktarlarının tenör ve malzeme tipindeki belirsizliklerden kaynaklı olarak dalgalanma gösterdiği belirtilmiş, metalürjik randımanın malzeme tipine bağlı olarak değiştiğini ortaya koyulmuştur (Montiel ve Dimitrakopoulos, 2017). Yakın dönemde yapılan optimizasyona dayalı bir çalışmada, metalürjik randıman ve öğütme performansının, planlanan üretimi ve dolayısıyla nakit akışlarının zamanlamasını ve bunların bir maden operasyonundaki erken dönem tahminlerini doğrudan etkileyen parametreler oldukları ifade edilmektedir (Morales ve ark., 2019).

Morales ve ark (2019); bir optimizasyon algoritması olan Doğrudan Blok Planlama algoritmasının kullanımında metalürjik konsantre randımanı ve öğütme performansını kısıt parametresi olarak kullanmış ve bu iki belirsizlik kısıtını baz alarak optimizasyon karşılaştırması yapmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre ki bu çalışmanın da bir noktada temelini oluşturan dayanak olarak sonuçlar, jeometalurjik

verilerin ilgili belirsizliklerle birlikte, ocak sınırları ve üretim programına ilişkin kararları değiştirebileceğini ve dolayısıyla finansal sonuçları etkileyebileceğini göstermektedir.

Gemcom Whittle (2012) Stratejik Maden Planlama olarak adlandırılan optimizasyon yazılımı kullanım kılavuzu ve piyasa uygulamalarında metalürjik randıman değerinin, ocak optimizasyonunda tüm bloklar için sabit bir parametre olarak alındığı görülmektedir (Thobaven ve Willoughby, 2012).

Metalurjik randıman ve geri kazanımı merkezine alan birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Boisvert ve ark. (2013), çok değişkenli metal geri kazanımı ve tesis performansı analizinin temel niteliksel yaklaşımlardan öte etkili istatistiksel araçlar kullanılarak gerçekleştirilmesi gerekliliğine vurgu yapmaktadır.

Micromine Pit Optimisation (2016); eğitim dokümanında da belirtildiği üzere, optimizasyon işleminin öncesinde anahtar parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler de daha önceden tahmin edilerek, ekonomik durumu temsil eden, madencilik, zenginleştirme ve randıman gibi belirli hesaplamalardan geçilerek elde edilen maliyet sonuçları ve değerlerdir. Metalürjik randıman bu yazılımda da diğer yazılımlarda olduğu gibi sabit bir tahmin veya deney sonucunda elde edilen değerden oluşmakta ve optimizasyon hesaplamalarında kullanılmaktadır.

Garrido ve ark. (2019): sondaj lokasyonlarındaki bakır tenörlerini ve metalürjik randımanları simülasyonlarla tahmin ederek, sonuçları kompozitleme amacıyla kullanmışlardır. Freire ve ark. (2019), konsantre tesisinde krom atıklarının davranışını araştırdıkları çalışmada, metalürjik randımanı, tesis atıkları verisi kullanarak değerlendirmiştir.

Madenlerde belirsizliklerin ortaya çıkarılması, simüle edilmesi, simülasyon sonuçlarının değerlendirilerek karar verme mekanizmasının gelişiminde seçeneklerin daraltılması, optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesi gibi konu başlıklarında çalışmalar literatürde yer almaktadır. Öte yandan, optimizasyonlarda kullanılacak blok modellerde, her bir bloğun metalürjik randımanlarının ayrı ayrı işlenmesi yoluyla, sistemin ekonomik performansının ölçülmesi mevcut madencilik

yazılımlarında yaygın kullanıma sahip değildir. Bu tezde yine önceki çalışmalara paralel olarak belirsizliklerin simülasyonları yapılmış ancak; optimizasyon aşamasında her bir bloğun metalürjik randımanları, tesisten elde edilen analizlerin dağılımlarına uygun bir besleme/atık oranı belirlenmesi yolu optimizasyona katılarak senaryolar arasında karar verme mekanizması oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu şekilde uluslararası rapor standartlarına göre oluşturulan ön fizibilite ve fizibilite vb. raporlamalarda değinilen cevherin ekonomik boyutu yatırımcı ve paydaşlara daha açık fikir sunmuş olacaktır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada uygulama alanı olarak, Adana ili Aladağ ilçesine bağlı Gerdibi köyünde bulunan krom sahasına ait veriler kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan saha hakkında bilgiler, jeolojisi, yapılan sondajlar ve bu sondajların uluslararası rapor standardı JORC koduna göre nasıl düzenlenerek tasniflendiği, yine JORC koduna göre sondajlara uygulanan jeokimyasal analizlerin QA/QC yapılarak muhafazası hakkında bilgiler verilmiştir.

Rezerv ve tenör tahmini için jeoistatistik yöntemlerden kriging (ordinary kriging) ve jeolojik modelleme ile tenör değişiminin sergilenmesi için simülasyon (Sequential Gaussian Simulation – Ardışık Gauss Simülasyonu) uygulamaları tanımlanmıştır.

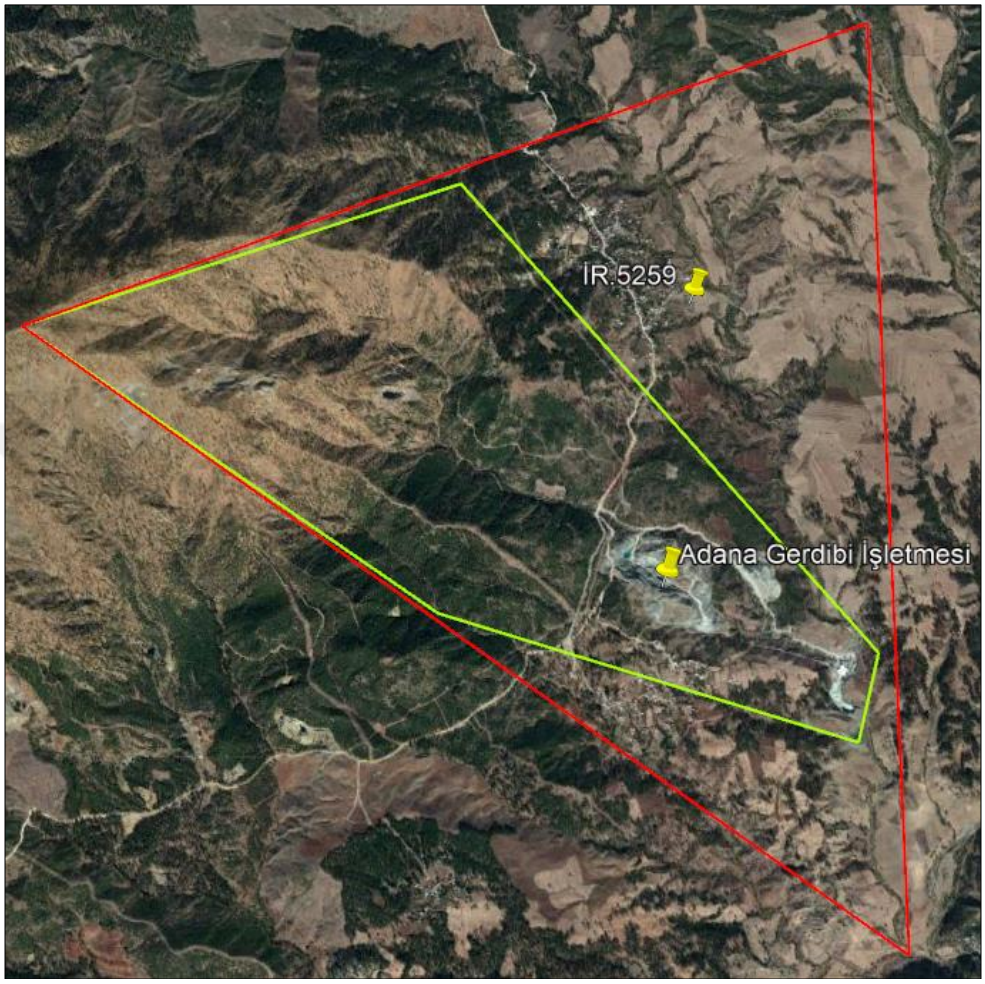
Ayrıca; kaynağın ekonomik boyutunun araştırılması noktasında finansal veriler ve hesaplamalar, maden optimizasyonu algoritmalarından olan Doğrudan Blok Planlama, belirsizliklerin simüle edilmesinde kullanılan Monte-Carlo simülasyonu, tesis randımanının optimizasyondaki rolü konuları üzerinde çalışılmıştır. Kullanılan bilgisayar programları (Palisade @Risk, Netpro Mine, SimSched DBS) kısaca özetlenmiştir.

3.2. Çalışma Sahası

Saha Adana ili, Aladağ ilçesi, Gerdibi Köyü hudutları dahilinde bulunmaktadır. Bölgedeki bu sahaya, Karaisalı veya Aladağ ilçeleri üzerinden asfalt yolla Gerdibi köyüne ve sahaya ulaşılmaktadır. Sahada Dedeman Madencilik San. ve Tic. A.Ş. tarafından düşük tenörlü tüvenan krom cevheri ve konsantre tesisi sonrası yüksek tenörlü krom konsantre üretimi yapılmaktadır. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 3.1'de verilmiştir. Yine işletmeye ait alanın görüntüsü Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. İşletme yer bulduru haritası



Şekil 3.2. Çalışma bölgesini gösterir krom sahası

3.3. Jeoloji

Blumenthal (1941, 1952) ve Metz (1956) ilk defa bölgedeki ofiyolitlerin kırmızı radyolarit arabandlarından oluşmuş geçiş dokanağı ile Aladağ ve Karanfildağ kireçtaşları üzerine tektonik olarak oturduğunu belirtmiştir. Çalışmaya göre karbonat istifleri Devoniyen'den Geç-Kretase'ye kadar süren zaman aralığında platform niteliğinde çökelmiş kireçtaşı istifleridir. Borchert (1959) bölgenin 1/ 50 000 ölçekli jeoloji haritasını yayınlamıştır.

Arama Ruhsat sahası Toros Dağ Kuşağı, Doğu Toros bölümünde dağlar arası havza nitelikli Karsantı havzasında yer almaktadır. Karsantı havzasını çevreleyen yüksek dağ silsilesi kuzeyden Aladağlar, batıdan Ecemiş Fay kuşağı, güneyden Adana Baseni ve doğudan Doğu Toros otoktonu ile çevrelenir (Anıl ve Yetiş, 2011).

3.3.1. Kromit Cevherleşmeleri

Krom; molibden, wolfram (tungsten) ve uranyum ile peryodik sistemin 6. yan grubunu teşkil eder ve bu gruptaki elementlerden yalnızca molibdene benzerlik gösterir. Magmatik kayaçlar içindeki dağılımı asitten baziğe doğru artar (10-3500 ppm). Bazı peridotitler içinde %2'ye kadar Cr_2O_3görülürse de yer kabuğundaki kromun Klark değeri 330 ppm olup, bolluk sırasında ancak 23ncü sıradadır. Dolaysı ile bir maden yatağı oluşturabilmesi ancak çok özel koşullarda mümkündür.

Yer kabuğunda krom minerali sayısı çok az olup, kromit veya krom spinel grubu mineralleri bunlar içinde en yaygın olanlarıdır (%99). Kromitin ekonomik olarak değerlendirilmesinde Cr_2O_3 içeriğinin yanında Cr/Fe ve Cr/Al rasyo değerleri de önemlidir. Kromitler mekanik ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olduklarından ikincil plaserlerine de rastlanır (Anıl ve Yetiş, 2011).

Krom yatakları, jeolojik ve mineralojik özellikleri açısından üç tipe ayrılmakla beraber ekseriyetle bunlardan ikisi ekonomik değere haiz olduğundan genellikle iki yatak tipinden bahsedilir. Söz konusu yataklar;

1. Stratiform Yataklar: Karakteristik olarak Bushweld (Güney Afrika Cum.) ve Stillwater (A.B.D.)'deki gibi duraylı kıtasal bölgelerde yani kraton sahalarda bulunan stratiform sokulumlara bağlı yataklardır. Adını da bu tabakalı özelliğinden ötürü almaktadır.

Kromit kristalleşir ve magmanın içinde belirli seviyeler meydana gelirse stratiform yataklar oluşur. Bu yataklarda kromit kristalleri çok küçüktür ve demir açısından da zengindir. Dünyanın bilinen kromit yataklarının yaklaşık %90'ı bu tiptedir.

2. Podiform Yataklar: Ekseriyetle Alpin orojenezine bağlı olarak söz konusu silsile boyunca rastlanmalarından ötürü bu yataklara Alpin Tipi Yataklar da denilmektedir. Stratiform tabakalar magmanın katılaşmasını takiben tektonik olaylar sonucu kırılıp, parçalanıp adeseler, cepler oluşturursa Alpin Tipi yani podiform yataklar meydana gelir.

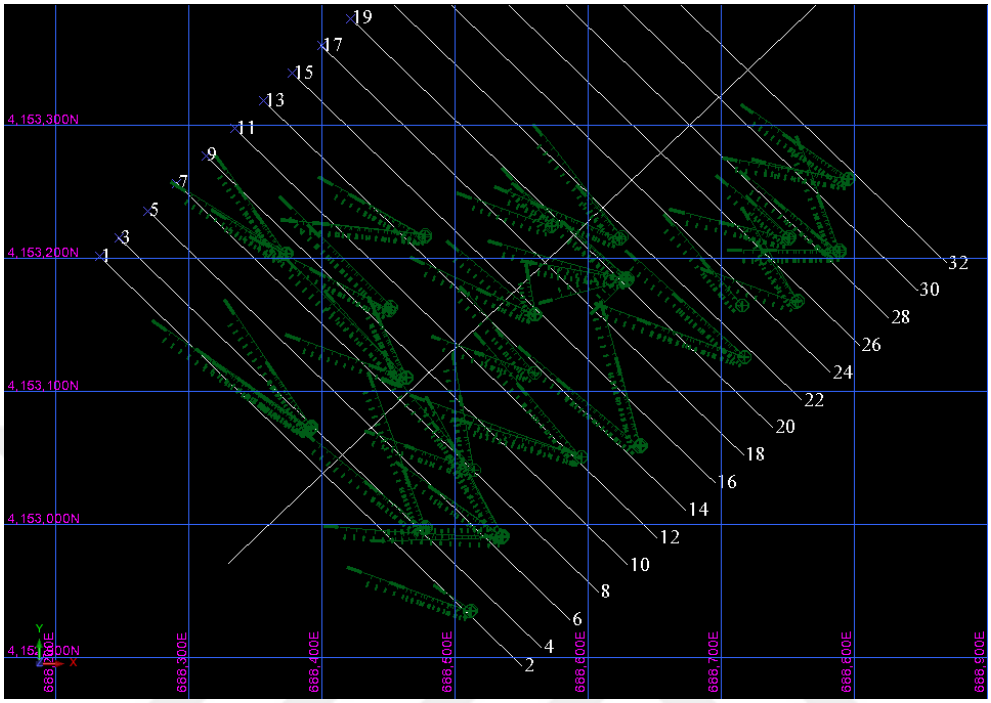
Bazik ve ultrabazik kayaçlara (ofiyolit istiflerine) bağlı kromit yatakları mercek veya düzensiz şekilli, küçük ölçekli yataklardır. Bu yataklarda ise stratiform yatakların aksine kromit kristalleri iri ve demir açısından fakirdirler.

3. Eşmerkezli Yataklar: Bu yataklar konsantrik bazik ve ultrabazik kayaç topluluklarının eş merkezli bir iç düzende bulunmalarından adını alır. Günümüz itibariyle ekonomik bir değer ifade etmemekle beraber ilerleyen yıllarda istifade edilebilir. Günümüzde krom yataklarından kökensel ilişkileri, yapısal konumları ve iktisadi şartlar gözönüne alındığında yukarıda sayılan ilk iki tip yani Stratiform (Tabakalı) ve Podiform (Merceksel) tip yataklar dikkate alınmaktadır (Taşlıgil ve Şahin, 2015).

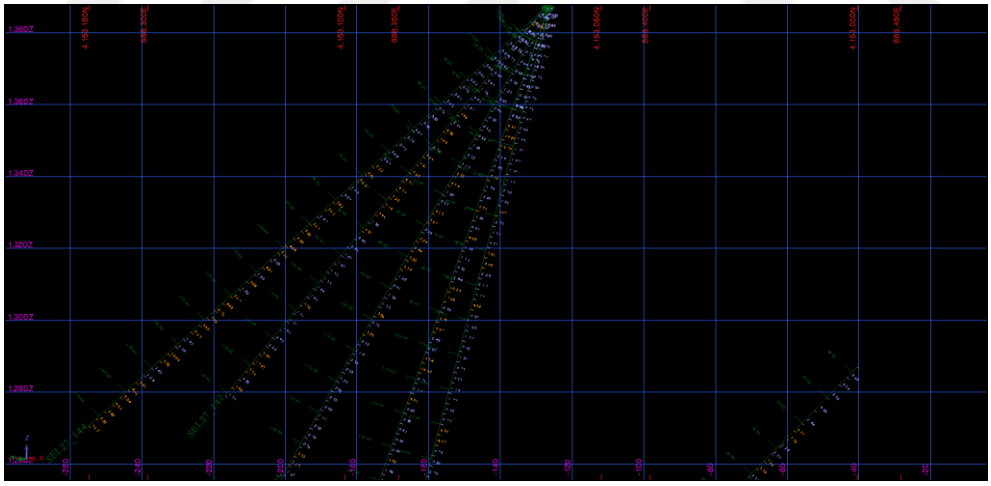
3.4. Uygulama Sahasına Ait Bilgiler

3.4.1. Sondajlar

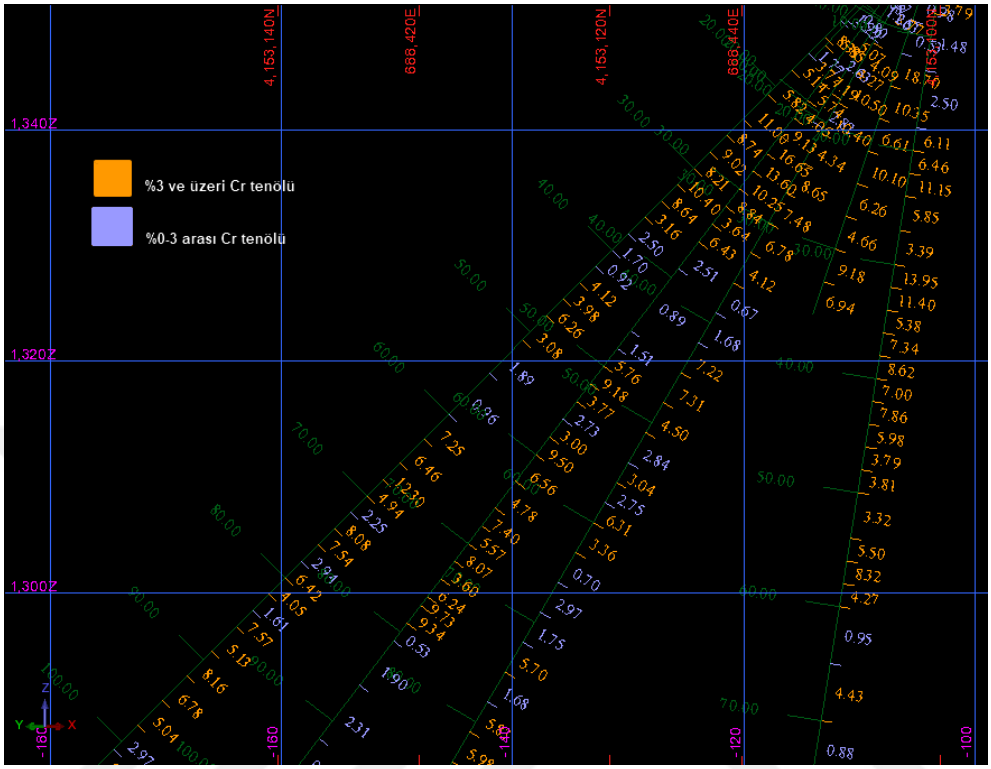
Dedeman Madencilik Gerdibi Krom işletmesi ruhsat alanı içerisinde bulunan Şelale ocak bölgesinde toplamda 146 adet sondaj yapılmıştır. Sondajların tamamı Dedeman Madencilik tarafından yapılmış olup, toplam uzunluk 16865 m'dir. Bunlardan 76 tanesi bu çalışmanın içine giren orta kısımdaki cevherleşmeye aittir. Sondajlar fan şekilde ışınsal ve cevher eğimine dik olacak şekilde yapılmıştır. Sondaj koordinat ve derinlik bilgileri Ek-1'de yer almaktadır. Sondajlar ait plan görünümü Şekil 3.3'te yer almaktadır.



Şekil 3.3. Sondajlara ait plan görünümü

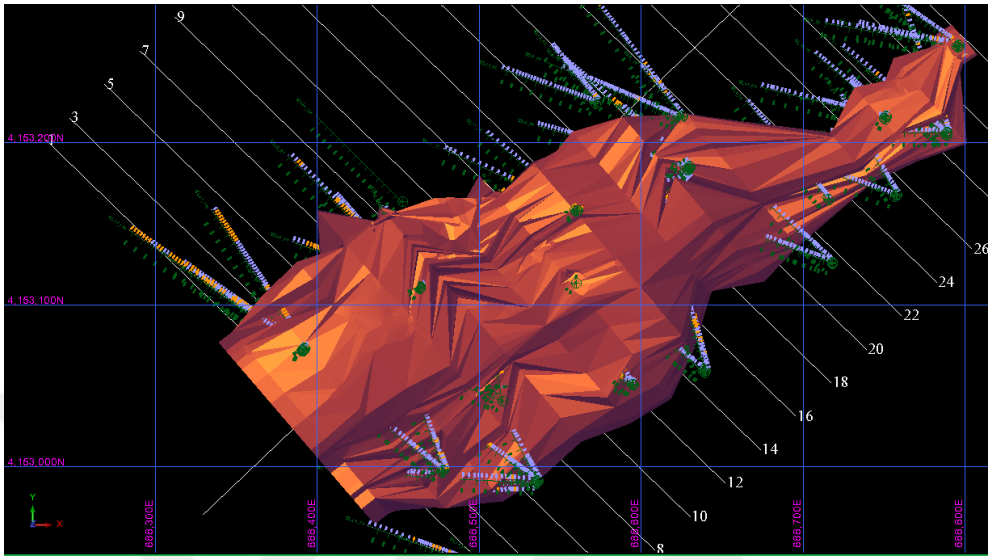


Şekil 3.4. Kesit 1-2 düşey görünümü

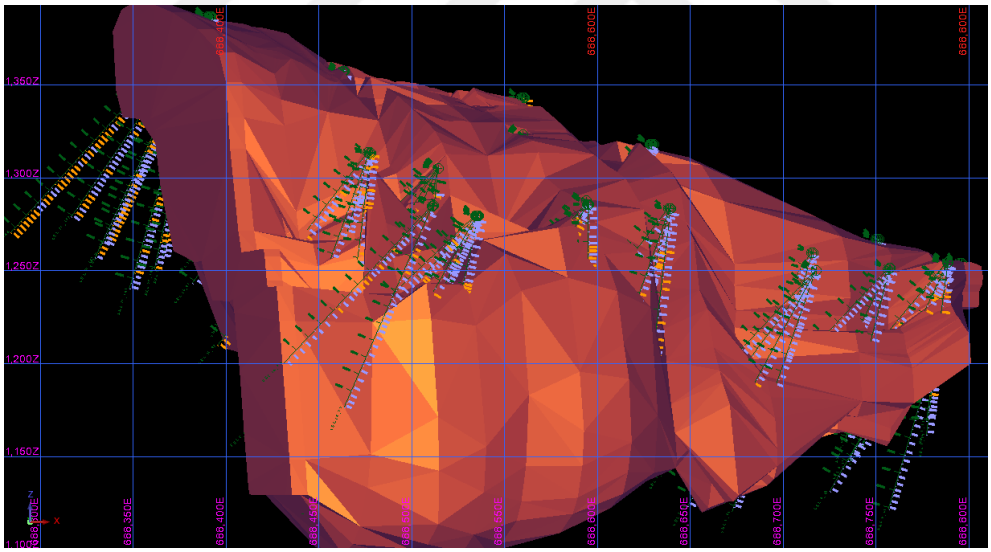


Şekil 3.5. Kesit 7-8 düşey görünümü

Firma tarafından sondajlar ve karotların yerleri işaretlenmiş, kuyu ölçümleri yapılmış, karotlar sandıklarda muhafaza edilerek dijital ortamda fotoğraflı olarak loglama yapılarak depolanmıştır. 2011 yılından bu yana yapılan sondajlar için QA/QC protokollerinin eklenmesi ve bağımsız laboratuvarda test edilmesi işlemleri başlatılmış ve halen yapılmaktadır. ISO 9001 Kalite Belgesi'ne sahip olan Dedeman Madencilikte JORC koduna uygun olarak kalite prosedürleri hazırlanmış ve yayınlanmıştır. Sondajlar NQ eşdeğeri 76 mm çapında yapılmıştır. Ortalama RQD değerleri %70-75 aralığındadır. En yeni tarihli olarak; sondaj, numunelendirme, QA/QC vs. incelemeleri için RPM Global firması tarafından 2018 yılında saha için rapor hazırlanmıştır. Sahada yapılan sondajlara ve özellikle bu çalışmanın yoğunlaştığı Şelale 2 cevher görüntüsü Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Sondajlar ve Şelale-2 cevheri Kuzey-Doğu plan görüntüsü



Şekil 3.7. Sondajlar ve Şelale-2 cevheri düşey görüntüsü

Bu raporda (Payne, 2008) değinildiğine göre; numunelerin çoğunluğu 2.0m, 3.0m, 4.0m veya 5.0m aralıklarla düzenli aralıklarla gerçekleştirilmiş, az sayıda daha uzun aralıklar da örneklenmiştir. Bunlar tipik olarak beklenen düşük tenörlü

mineralizasyon aralıkları için yapılmıştır. Örnekler bir elmas testere kullanılarak kesilmiş ve analiz için karot yarılaması yapılarak alınmıştır. Karot sandıkları ve örnek aralıklarının tümü iyi bir şekilde etiketlenmiş ve karotlar iyi organize edilmiştir.

3.4.2. Kimyasal Analizler

2011 yılında açılan sondaj delikleri için örnekler hazırlanmış ve bağımsız laboratuvar olan ALS Minerals tarafından analizleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler -2 mm'ye kadar ezilerek, sonra 1 kg'lık bir parça toz haline getirilmiş ve ICP-AES analizi ile peroksit füzyonu kullanılarak test edilmiştir. Cr_2O_3 yüzdesini belirlemek için Cr (%) sonuçlarına 1,46'lık bir dönüşüm faktörü uygulanır. 2011 öncesi sondajlardan alınan numunelere ise çoklu asit özümleme (multi-acid digestion) ve AAS analisleri yapılmıştır. Sondaj delikleri kodlanmadan ve dijital bir veritabanına girilmeden önce kağıt kütükler kullanılarak detaylı bir şekilde kaydedilmiş ve tüm delikler için grafik loglar hazırlanmıştır (Payne, 2018).

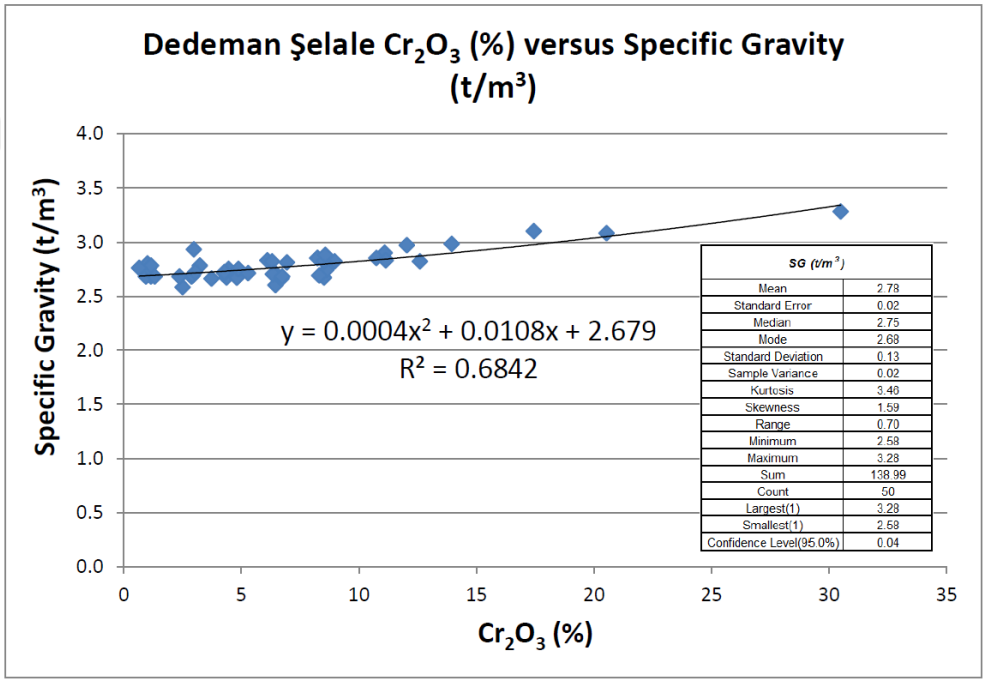
3.4.3. KG/KK (QA/QC)

Uluslararası rapor standartlarında kaynağın tespiti noktasında önemli noktalardan biri “Kalite Güvence ve Kalite Kontrol” konusudur. Sahalarında iyi işleyen bir QA/QC protokolü bulunan işletmelerin kaynak değerlendirmeleri de başarıyla sonuçlanmaktadır.

Şelale ocağında yapılan sondajlara 2011 yılından bu yana QA/QC protokolleri uygulanmakta, CRM (Sertifikalı Referans Malzeme), Blank (Boş veya sıfır değerli numune) ve Duplicates (Numune ikizi) olarak analizler yapılmaktadır. Yine bu örneklerin tatmin edici olduğu RPM Global tarafından hazırlanan saha raporlamalarında belirtilmiştir.

3.4.4. Yığın Yoğunluğu

Yoğunluk tayinleri 50 örnek üzerinde yapılmıştır. Çalışma su yönteminde hava/ağırlık ağırlığı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu 50 numunenin goodness of fit (uyum derecesi) R^2 değeri 0,68'dir. Şelale ocağının $\%Cr_2O_3$ değerine karşılık yoğunluk ilişkisini gösterir grafik Şekil 3.8'de yer almaktadır.



Şekil 3.8. Şelale ocağı tenör-yoğunluk ilişkisini gösterir grafik (Deiss, 2012)

Sonuçlar analiz edilmiş ve Cr_2O_3 ile yoğunluk arasında bir korelasyon olduğunu göstermiş, regresyon formülü elde edilmiş ve Mineral Kaynak tahminine uygulanmıştır. Türetilmiş polinom formülü aşağıdaki gibidir (Deiss, 2012);

$$Yoğunluk\ (d) = 0{,}004\ x\ (Cr_2O_3)^2 + 0{,}0108\ x\ (Cr_2O_3) + 2{,}679 \qquad (3.1)$$

Ayrıca bu hesaplama, UMREK kodu sayfa 45'te yer alan tablonun "Tonaj Faktörü/Yerinde Yığın Yoğunluğu" maddesinde geçen "'Tahmini' veya 'belirlenmiş' olduğu belirtilmelidir. Eğer tahmini ise, varsayımların temelleri; eğer belirlenmiş ise, kullanılan yöntem, ölçümlerin sıklığı, numunelerin niteliği, boyutu ve temsili güvenilirliği" ifadesine de uymaktadır.

3.5. Jeoistatistiksel Kaynak Kestirimi ve Simülasyon

3.5.1. Jeoistatistiksel Kaynak Kestirimi

Jeoistatistik, mekansal olarak ilişkili rastgele varyasyon modeline dayanır ve mekansal otokorelasyonun tahmin edilmesi, bir jeoistatistiksel analizin ilk adımıdır. Örnek verilerden tahmin edilebilen otokorelasyon veya variogram fonksiyonları oldukça basit matematiksel fonksiyonlarla tanımlanabilir. Bu fonksiyonların parametreleri, kriging olarak bilinen jeoistatistiksel tahminin ikinci önemli adımına yol açar (Oliver ve Webster, 2015). Maden yataklarında kaynak kestiriminde jeoistatistiksel kestirim yöntemleri sıkça kullanılmaktadır. İstatistiksel bir yöntem olan bu kestirim türlerinden, jeoistatistiği esas alan temel kestirim yöntemleri;

- Mesafenin Tersi
- En yakın komşuluk
- Kriging olarak belirtilebilir.

Jeoistatistiğin kaynak/rezerv tahminine uygulanmasında karşılaşılan sorunların çoğu (Gandhi ve Barkar, 2016):

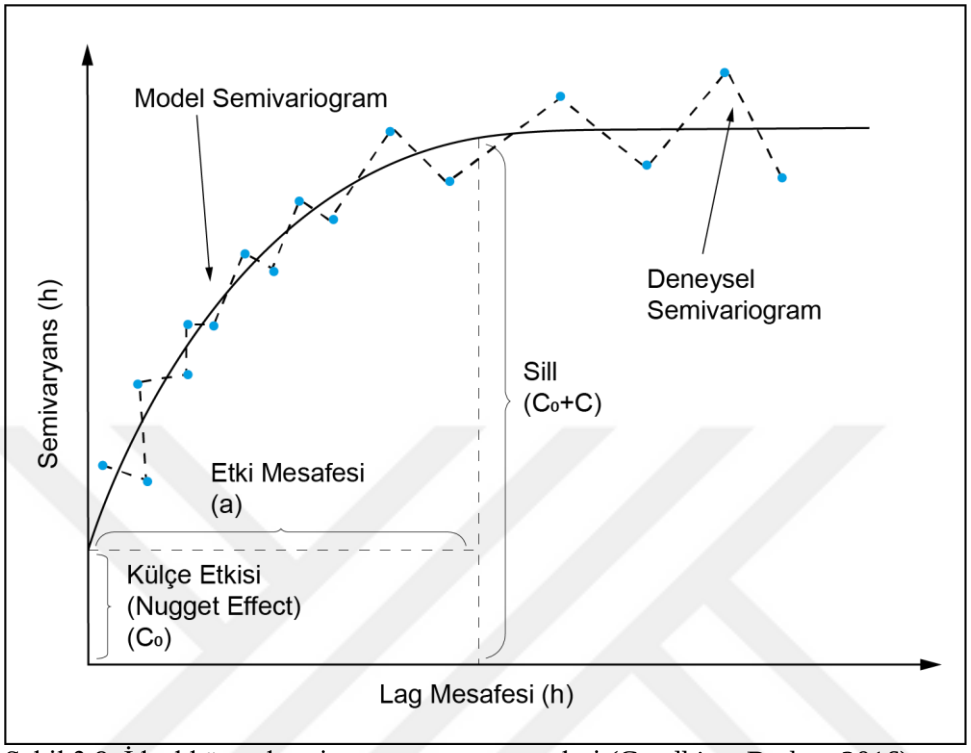
- Yatağın jeolojisine ilişkin yanlış anlama veya yetersiz bilgi;
- Yetersiz örnek/numune bilgisi;

- Semivariogram da dahil olmak üzere yatak parametrelerinin yanlış hesaplanması, yorumlanması ve modellenmesi ile sonuçlanan jeoistatistik yönteminin zayıf seçimi;
- Durağanlık durumu da dahil olmak üzere belirli bir jeoistatistik yöntem uygulamak için karşılanması gereken kısıtlamaların yanlış anlaşılmasıdır.

3.5.1.1. Variogram

Mekansal ilişkiyi açıklamak için en yaygın kullanılan tekniklerden birisi variogramdır. Variogram, birçok jeoistatistiksel uygulamanın temel taşıdır. Deneysel variogram ve ona uydurulan herhangi bir model doğru olmalıdır. Ancak o zaman model, varyasyonu güvenilir bir şekilde tanımlayabilir (Oliver ve Webster, 2015).

Kriging kesitirimi bir variogram gerektirir ve bunun doğruluğunu sağlayarak, kriging yoluyla en sonunda minimum varyans tahminleri elde edilir. Eğer variogram, varyasyonu zayıf bir şekilde tanımlıyorsa, o zaman kriging tahminlerinin de zayıf olması muhtemeldir (Oliver ve Webster, 2015). Şekil 3.9'da ideal bir variogram modeli sunulmuştur.



Şekil 3.9. İdeal küresel variogram ve parametreleri (Gandhi ve Barkar, 2016)

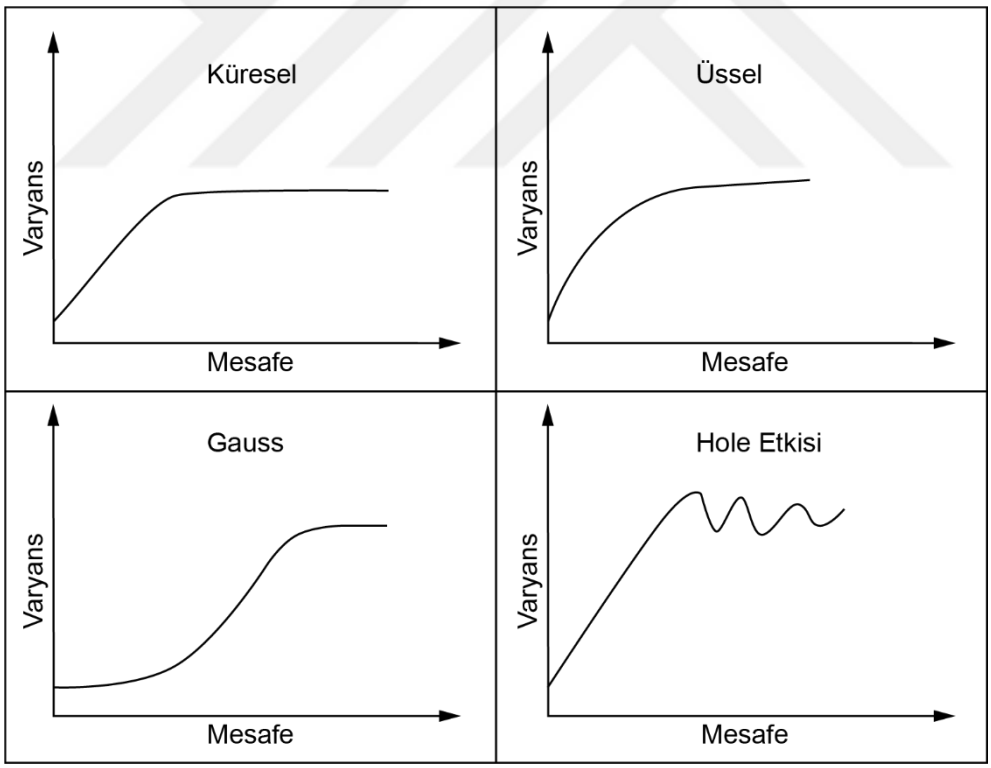
Buna göre;

- Külçe Etkisi (Nugget effect): Neredeyse birbirine yakın örnekleri aldığımız örnekler arasındaki tipik farktır. Kıymetli metaller, baz metallere göre daha yüksek külçe etkisine sahiptir.
- Sill: numuneler arasındaki ayrım arttıkça, bunlar arasındaki farklar artar, bunun ötesinde, numune sınıfları arasındaki farkın ayrılmalarına bağlı olmadığı, ancak arka plan değişkenliği veya popülasyon varyansı ile aynı olduğu bir mesafeye ulaşana kadar artar.
- Etkin Mesafe (Range): Mesafe, ölçüm noktaları arasında ilişkinin ortadan kalktığı uzaklıktır. Mesafe, toplam sill değerinin ulaştığı mesafedir (Coombes, 2008).

Variogram modellemenin temel amacı sill, mesafe ve külçe etkisini gauss, küresel, üssel gibi yaygın modellerle deneysel variograma uydurarak belirlemektir (Mondal ve ark., 2015). Yarı-variogram değeri aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} \big(Z(X_i) - Z(X_i + h)\big)^2 \quad (3.2)$$

Burada, $\gamma(h)$ semivaryans değeri, $Z(X_i)$ ve $Z(X_i + h)$, x_i ve x_i+h noktalarındaki Z'nin gözlemlenen değerleri, *m(h),* h uzunluğundaki nokta çiftleri sayısıdır. h'yi değiştirerek, sıralı bir yarı varyans seti elde ederiz; bunlar deneysel veya örnek variogramı oluşturur (Oliver ve Webster, 2015). Elde edilecek sıkça karşılaşılan yarı variogram modelleri Şekil 3.10 gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Semi-variogram modelleri

3.5.1.2. Kriging

Kriging, verinin dahili uzaysal yapısını temsil eden variogram gibi yaygın olarak bilinen uzaysal istatistiksel model tabanlı, en yakın komşulardaki değeri alarak, örnek içermeyen bölgelerdeki varlığın kestiriminde kullanılan genelleştirilmiş bir lineer regresyon tekniğidir (Mondal ve ark., 2015). Kriging tahmini, En İyi Doğrusal Tarafsız Tahmin (Best Linear Unbiased Estimate (BLUE)) olarak bilinir; çünkü bu, beklenen hata değeri sıfıra eşit olan ve varyansı minimum olan ağırlıklı örnek değerlerinin doğrusal bir kombinasyonudur (Caruso ve Quarta, 1998).

Kriging yöntemini; X, Y koordinatı bilinen ve bu noktalara bağımlı her bir Z değeri ile değeri bilinmeyen her bir Z değerinin tahminine dayalıdır. Bilinmeyen değerler aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$Z_{ij} = \sum_{i=1}^{n} w_{ij} Z_i, \;\; j = 1,2, \dots, m \tag{3.3}$$

Burada w_{ij} ağırlık değerleri aşağıdaki eşitlik sisteminin çözümlenmesi ile hesaplanabilir:

$$\sum_{k=1}^{n} u_{ij} w_{kj} + \lambda_j = v_{ij}, \;\; i = 1, \dots, m, \;\; j = 1,, \dots, m \tag{3.4}$$

$$\sum_{k=1}^{n} w_{ki} = 1, \;\; i = 1,2, \dots, m \tag{3.5}$$

u_{ij}, bilinen noktadan (x_i, y_i) bilinen noktaya (x_j, y_j) olan ölçüm değeridir ve v_{ij}, bilinen noktadan (x_i, y_i) bilinmeyen noktaya (x_j, y_j) olan mesafedir ve λ_j, her X için ağırlıkların toplamının 1'e eşit olması gerektiği varsayımıyla hesaplanan variogram kullanılarak tahmin edilebilen ağırlık değeridir.

Kriging yöntemi birkaç şekilde uygulanabilir;

1. Ordinary Kriging: Altta yatan bir uzaysal eğilim (sürüklenme) olmadığında, ordinary kriging uygulanır, değişkenin ortalaması bilinmez ve kriging ağırlıklarının toplamı bire eşittir. Bu yöntem, veri setinin sabit bir varyansa sahip olduğunu, aynı zamanda arama yarıçapı içinde sabit olmayan bir ortalama olduğunu varsayar. Ordinary kriging oldukça güvenilirdir ve çoğu veri seti için önerilmektedir.
2. Simple Kriging: Veri setinin temel bir uzamsal eğilime, durağan bir varyansa ve bilinen bir ortalama değere sahip olmadığını varsayar. Ortalamanın bilinen olduğu kabul edildiğinden, ordinary kriging'den biraz daha güçlüdür, ancak birçok durumda bir ortalama değerin seçimi açık değildir. Simple kriging ayrıca popülasyon ortalamasına bir ağırlık verir ve aslında ortalama değerin saha üzerinde sabit olduğu konusunda güçlü bir varsayımda bulunur. Simple kriging ayrıca mevcut verilerin, iyi bir ortalama tahmini sağlamak için yeterli olmasını gerektirir.
3. Universal Kriging: Trend yüzey analizini (drift) ordinary kriging ile birleştirir. Universal kriging uygulaması daha zordur. Trendler bir kez hesaba katıldığında (veya olmadığı varsayılırsa), diğer tüm değişikliklerin mesafenin bir fonksiyonu olduğu varsayılır (Babish, 2006).

3.5.2. Jeoistatistiksel Simülasyon

Kestirimin amacı, her x noktasında, z_0 (x) özniteliğinin gerçek bilinmeyen değerine mümkün olduğunca yakın olan bir z*(x) kestirimi sağlamaktır. Tahminin kalitesini ölçmek için kriterler "tarafsızlık" ve "asgari tahminin varyansıdır". Bununla birlikte, bu tahmin edicilerin $\{z_0(x)\}$, gerçek değerlerin mekânsal değişkenliğini yeniden üretmeleri için hiçbir neden yoktur. Örneğin; kriging durumunda, tahmin varyansının en aza indirilmesi, gerçek dağılımların "yumuşatma etkisini" içerir. Tipik olarak, küçük değerler büyük hesaplanırken, büyük değerler hafife alınmaktadır.

Kriging & Co-kriging, bir blok modeldeki uzaysal tenör (spatial 3D grade) dağılımını temsil etmesi noktasında en sık kullanılan interpolasyon yöntemlerinden biridir. Maden kaynak kestiriminde yaygın olarak kullanılmasına rağmen, dezavantajı smooth bir tenör dağılımı (yani yumuşatılmış) üretmesidir. Bu yüzden farklı gerçeklikler altında maden varlığının yerinde değişkenliğini üretememektedir (Dimitrakopoulos ve ark., 2002). Simülasyon genel olarak bir model kullanarak gerçeği çoğaltma süreci olarak tanımlanmaktadır.

Genel olarak, simülasyonların ve kestirimlerin amacı uyumlu değildir. Özelliğin çok değişken olduğu yerlerde değişkenliğin daha iyi bir şekilde çoğaltılması için koşullu simülasyon tercih edilir. Kestirimler kaynakları değerlendirmek ve tahmin etmek için tercih edilirken, koşullu simülasyon bu kaynakların özelliklerinin dağılımını incelemek için tercih edilir ve koşullu simülasyonlar grubu ayrıca, ilgili özniteliklerin, mekânsal dağılımı hakkında bir belirsizlik ölçüsü de sağlar (Dutta, 2009).

Kriging yöntemi ile düşük değerlerin daha yüksek, yüksek değerlerin ise daha düşük kestirildiği bilinmektedir. Bu tür yumuşatılmış değerler, indikatörleri belirlemek amacıyla kullanıldığında yüksek tenörlü blokların pasa bloğu, pasa bloklarının ise cevher şeklinde sınıflandırıldığı olumsuz durumlar ortaya çıkabilir. Ayrıca kriging yöntemi hata varyansının küçüklenmesi ölçütünü esas alıp yatağın tek bir sayısal modelini ürettiğinden tenör-tonaj eğrilerindeki belirsizliği değerlendirmek olanaklı değildir. Bu tür olumsuzlukları gidermek için mevcut verilerdeki değişkenliği yeniden üretecek ve eğrilerdeki belirsizliğin incelenmesine olanak verecek yöntemler kullanmak gerekir (Tercan ve Akcan, 2005).

Aslında jeoistatistik simülasyonlar (Journel, 1974) yerinde tenör değişkenliği ile orijinal verinin uzaysal devamlılığını yeniden üretmeyi hedefler ve bunu da eşit olasılıklı senaryoların oluşturulmasıyla yapar. Böylece belirsizlik uzayı (kestirimlerle bağlantılı olan) tahmin edilebilecek ve hesaplanabilecektir (Goovaerts, 1997). Bir model tüm belirsizlik kaynaklarını göstermeyeceği gibi, doğru bir belirsizlik modeli de yoktur. Belirsizlik modele bağımlıdır. Genellikle simülasyon

modelleri kaynak modelde bulunan tüm belirsizlik kaynaklarını içermezler (Cherchenevski ve ark., 2019).

Kriging dahil çoğu enterpolasyon algoritmasında amaç, birlikte alınan tahminlerin sonuçta ortaya çıkan uzamsal istatistiklerine özel olarak bakmaksızın değişkenin veya trend bileşenlerinin herhangi birinin "en iyi", dolayısıyla benzersiz, yerel bir tahminini sağlamaktır. Simülasyonda, global özelliklerin (doku) ve istatistiklerin (histogram, kovaryans) yeniden üretilmesi, yerel doğruluktan önce gelir. Kriging, yerel doğruluğun hâkim olduğu bir dizi yerel (lokal) temsil sağlar. Simülasyon ise alternatif global temsiller sağlar (Deutsch ve Journel, 1997).

Tenör belirsizliklerinin haritalanması maden projelerinin yönetimi için maden planlamanın alt aşamalarında büyük önem taşımaktadır ki bu da üretim yerine karar vermede yer alan büyük finansal riskleri barındırdığı için çok önemlidir. Üretim planlama, üretilecek madenin, "Maden Ömrü" boyunca (Life of Mine- LOM) malzeme çıkarma sırasını optimize etmede projenin net bugünkü değerini (NBD) maksimum yapmayı hedefler. Bu, cevher gövdesinden gelen belirsizlikler gibi dahili belirsizliklerin yanında, sosyal ve sosyo-politik ve ekonomik gibi harici faktörlere bağlı harici belirsizlikleri içerir (Cherchenevski ve ark., 2019). Simülasyon yaklaşımının üstünlükleri şunlardır;

1. Simülasyon teknikleri, gerçek yaşam sistemi modeli ile istenilen miktarda denemelere izin verir.
2. Bazen, gerçek sistemin yoğun şekilde çalışmasına izin vermek için yeterli zaman olmayabilir. Örneğin, bir jeolojik popülasyonda uzun vadeli eğilimleri incelenmek isteniyorsa, sonuçları görmek için istenilen sayıda yıl beklemek mümkün değildir. İlginç olan, simülasyonun analize dahil edilmesi için zaman vermesidir.
3. Simülasyon, analitik çözümlerde ihtiyaç duyulan ölçüde sadeleştirmeler ve varsayımlar gerektirmez.

4. Simülasyon, bir modelin analitik çözümlerinin mümkün olmadığı veya gerçek ortamın gözlemlenmesinin zor olduğu durumlarda, bazı yönetsel problemler hakkında fikir vermesini sağlar (Sarma, 2009).

3.5.2.1. Ardışık Gauss Simülasyonu (Sequential Gaussian Simulation- SGSim)

Jeoistatistiksel simülasyonun ana fikri, rastgele bir fonksiyonun çoklu gerçekleşmelerini çizmektir. Ardışık Gauss simülasyonu, değişkenin çoklu-Gauss varsayımından kurulmuştur (Ortiz, 2020). Çoklu-Gauss ve SGS'nin ilişkisi şu şekildedir; çoklu-Gauss Kriging yöntemi, eğer bir ardışık simülasyon prosedürü içerisinde kullanılırsa bu genellikle ardışık gauss simülasyonu olarak adlandırılır (Yarus ve Chambers, 2006).

Simülasyon, onu oluşturmak için kullanılan örnek verilerle aynı istatistiksel özelliklere sahip (ortalama, varyans ve semivariogram ile ölçülen) rasgele bir fonksiyonun (yüzey) gerçekleştirilmesidir. SGSim simülasyonu, daha özel olarak, sürekli veriler için uygundur ve verilerin veya verilerin dönüşümünün normal (Gauss) dağılımına sahip olduğunu varsayar. SGSim'in ardındaki temel varsayım, verilerin durağan olmasıdır- ortalama, varyans ve uzamsal yapı (semivariogram), verilerin uzamsal alanı üzerinde değişmez. SGSim'in bir başka önemli varsayımı, modellenen rastgele fonksiyonun çok değişkenli bir Gauss rastgele fonksiyonu olduğudur (Esri, 2019).

SGSim, kriging'e göre bir avantaj sunar. Kriging, verilerin yerel ortalamalarına dayandığından, düzleştirilmiş çıktılar üretir. Öte yandan SGSim, yerel değişkenliğin daha iyi temsilini sağlar, çünkü ürettiği yüzeylere geri dönerken kaybedilen yerel değişkenliği ekler. SGSim gerçekleştirmelerinin belirli bir lokasyonda öngörülen değere eklediği değişkenlik, sıfır ortalamasına sahiptir, böylece birçok GGS gerçekleştirme ortalaması kriging tahminine yönelir (Esri, 2019).

Ardışık koşullu simülasyon yöntemleri, örneklenmemiş tüm konumların rastgele sırayla ziyaret edildiği ve örneklenmemiş tüm noktalar ziyaret edilinceye

kadar, istenen değişkenin değerinin tahmini ve yerel belirsizliğe dayalı olarak tahmin edilen örneklemeli lokasyonda simüle edildiği kriging tabanlı yöntemlerdir (Mondal ve ark., 2015). Normal benzetimde koşullu dağılım fonksiyonunun çok değişkenli normal olduğu varsayılıp dağılımın ortalaması ve varyansı verilerden hesaplanır. Bunun için benzetime başlamadan önce verilerin normal dağılmış değerlere dönüştürülmesi gerekir. Daha sonra dönüştürülmüş verilerin variogramı hesaplanıp modellenir. Bu model ve dönüştürülmüş veriler kullanılarak benzetimi yapılacak noktada basit kriging ile kestirim yapılır. Kestirim değeri ve varyansı bu noktadaki koşullu dağılım fonksiyonunun ortalaması ve varyansı olarak alınır. Benzetim işlemi tamamlandığında elde edilen benzetim değerleri, orijinal veri uzayına geri dönüştürülür (Tercan ve Akcan, 2005).

Ardışık gauss simülasyonunun teorisi şu şekildedir (Ortiz, 2020): rassal fonksiyon, çok değişkenli bir Gauss dağılımı oluşturan rastgele değişkenlerden $\{Z(u_i), \forall u_i \in D\}$ oluşmaktadır. Bu değişkenler arasındaki dağılım grafikleri, R'nin elipsoidleridir ve ortak birçok değişkenli Gauss dağılımı oluşturur. Bu nedenle, konumlardan herhangi biri bilinen bir değere sahipse (bu rastgele değişkenin varyansının 0'a düştüğü anlamına gelen bir numune), o zaman, kalan (R-1) konumlarının koşullu çok değişkenli dağılımı, çoklu-Gauss hipotezi kullanılarak çıkarılabilir. Yani, ortalama ve varyans, regresyon (veya aynısı, simple kriging ile) ile elde edilebilir ve dağılım, (R-1) boyutlu çoklu-Gauss dağılımı olarak kalır.

Bu öncül altında, simüle edilecek N konumumuz varsa, u_1, ..., u_N, bunları standartlaştırılmış bir çoklu-Gauss dağılımı olarak modelleyebiliriz. Ortak olasılık dağılım fonksiyonu:

$$f_{Y_1 \ldots\ldots Y_N}(y_{1,\ldots,}y_N) = \frac{e^{(-\frac{1}{2}(y-\mu)^T \Sigma^{-1}(y-\mu))}}{\sqrt{(2\pi)^N |\Sigma|}} \tag{3.6}$$

Burada Yi, rastgele değişken Y(ui) için kısa gösterimidir. Standartlaştırılmış değişkenlerle çalıştığımız için bu aşağıdaki şekilde basitleştirilebilir:

$$f_{Y_1.....Y_N}(y_{1,...,}y_N) = \frac{e^{(-\frac{1}{2}y^T\Sigma^{-1}y)}}{\sqrt{(2\pi)^N|\Sigma|}} \tag{3.7}$$

İki konum arasındaki korelasyon, h ayırma mesafesindeki korelogram tarafından kontrol edilecektir.

Böylece:

$$\mu = \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \tag{3.8}$$

$$\mu = \begin{pmatrix} \sigma_{Y_1}^2 & C_{Y_1Y_2} \dots C_{Y_1Y_N} \\ C_{Y_2Y_1} & \sigma_{Y_2}^2 \dots C_{Y_2Y_N} \\ \vdots & \vdots \ddots \vdots \\ C_{Y_NY_1} & C_{Y_NY_2}^{\cdots} \sigma_{Y_N}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{Y_1Y_2} \cdots \rho_{Y_1Y_N} \\ \rho_{Y_2Y_1} & 1 \cdots \rho_{Y_2Y_N} \\ \vdots & \vdots \ddots \vdots \\ \rho_{Y_NY_1} & \rho_{Y_NY_2}^{\cdots} 1 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} 1 & \rho_{(h_{12})} \cdots \rho_{(h_{1N})} \\ \rho_{(h_{21})} & 1 \cdots \rho_{(h_{2N})} \\ \vdots & \vdots \ddots \vdots \\ \rho_{(h_{N1})} & \rho_{(h_{N2})}^{\cdots} 1 \end{pmatrix} \tag{3.9}$$

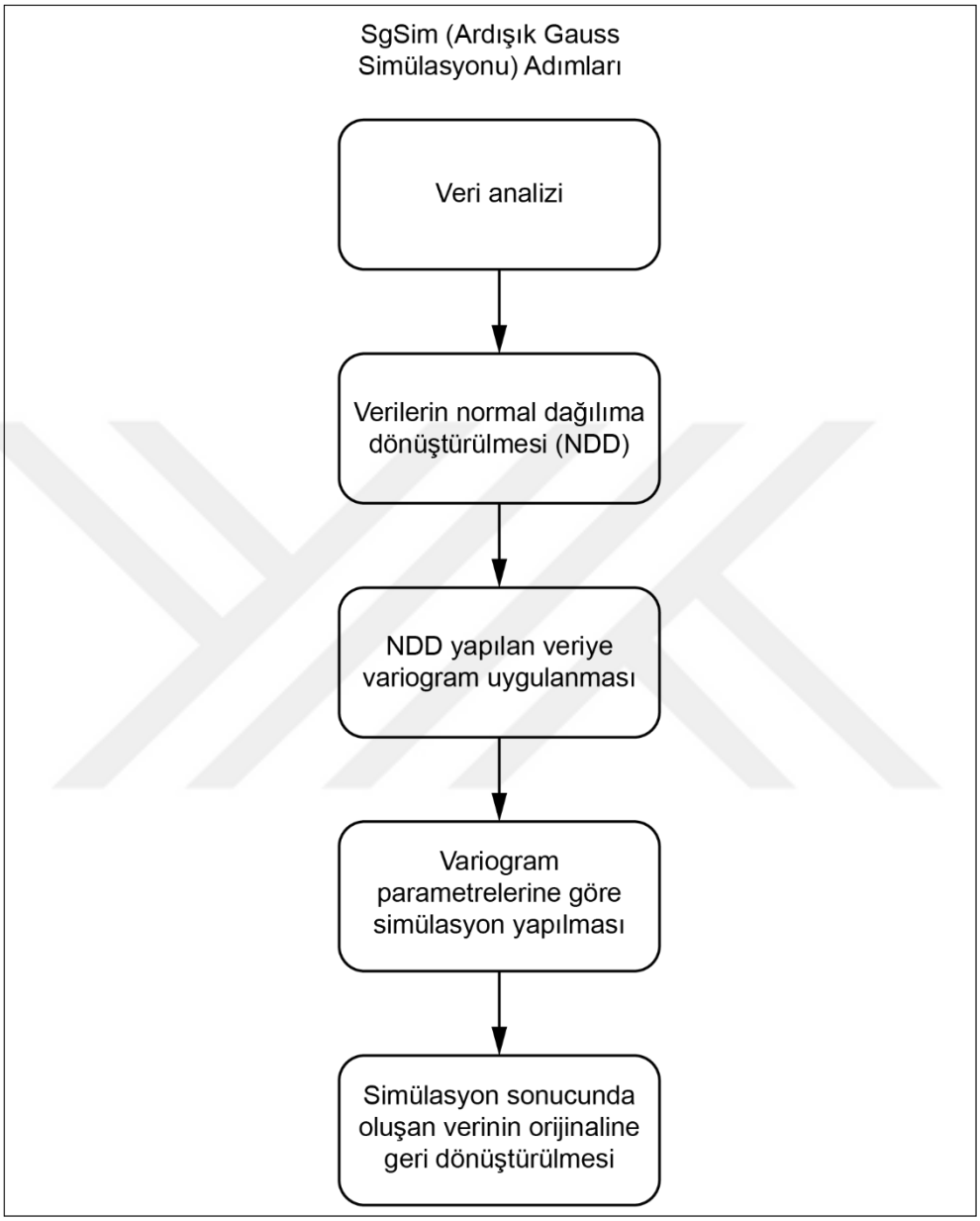
Şimdi tek bir koşullandırma değişkenine bakacak olursak:

$$f_{Y_1.....Y_{N-1}|Y_N} = \frac{f_{Y_1.....Y_N}}{f_{Y_N}} \tag{3.10}$$

Bu yaklaşım, rastgele bir fonksiyonu simüle etmek için sırayla uygulanabilir.

Normal (Gauss) simülasyonuna ait adımları içeren akım şeması Şekil 3.11'de verilmiştir. Burada verilerin histogramının incelenerek adım atılması önem arz etmektedir. Zira histogram dağılımında, eğer veri Log-normal bir dağılım sergiliyorsa, bu durumda bu veriye normal dağılım dönüşümü (normal score

transformation) uygulanamaz. Log-normal dağılım gösteren veriye öncelikle logaritmik transformasyon uygulanır, daha sonra bu veriye log-normal kriging uygulanır ve oluşan parametreler üzerinden gauss simülasyonu uygulanarak, sonuç verisine yeniden geri dönüşüm (back transformation) yapılır.



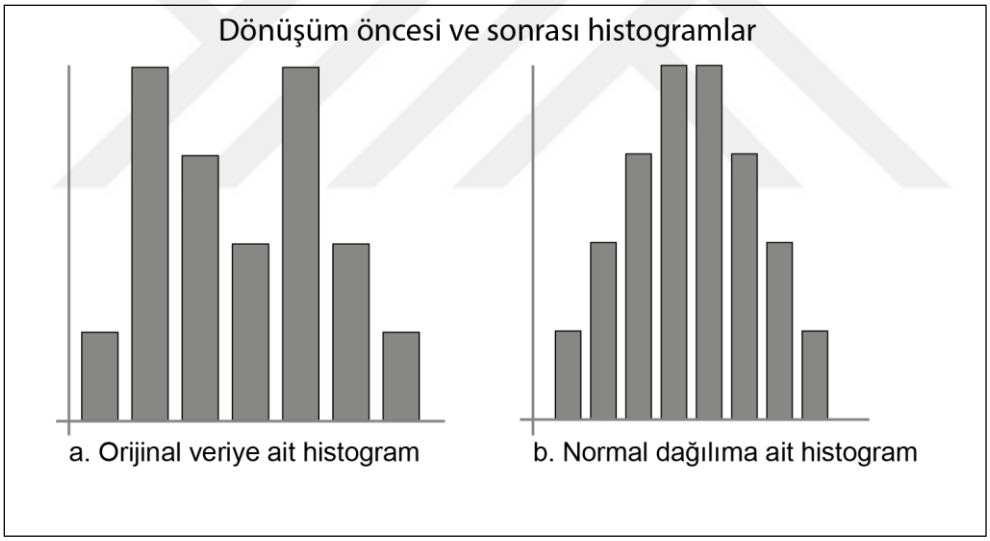
Şekil 3.11. Ardışık Gauss simülasyonu adımları

Veri analizi: maden sahasında yapılan sondaj verileri üzerinden veri dağılımı gözlemlenerek, ikinci adım olan dağılım dönüştürmeye geçmeden önce öncelikle istatistiksel analizler yapılır.

Verilerin dönüştürülmesi: bu adımda veriler, dağılım olarak normal dağılıma sahip değilse (3.11) eşitliği yardımıyla veriler dönüştürülür. Dönüştürülen verilerin histogramına bakıldığında Şekil 3.12'deki normal dağılım görülecektir. Veriler yazılım yolu ile değil de hesaplama yoluyla dönüştürülecekse, aşağıda 3 nolu eşitlikte bulunan standart normal dönüşüm parametresi uygulanır. Normal dağılıma dönüştürme işleminde önemli noktalardan birisi de dönüşümde ortalamanın 0 (sıfır) ve varyansın 1 olması gerekliliğidir.

Z= (Değer – Ortalama) / Standart Sapma

$$Z = (X - \mu)/\sigma \tag{3.11}$$



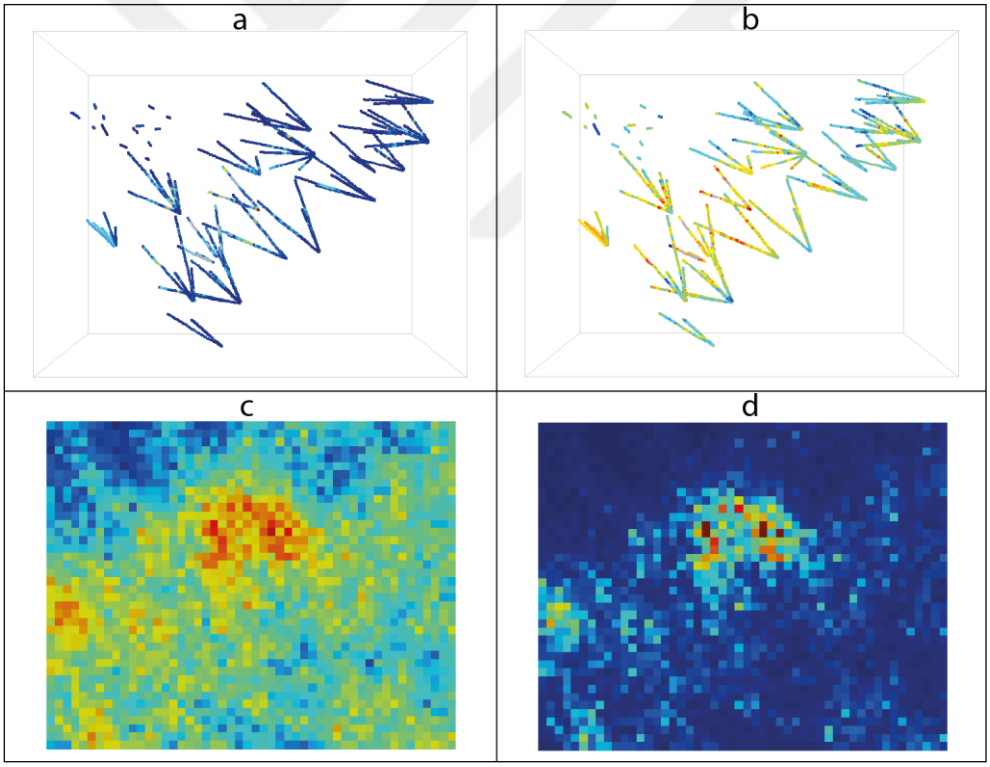
Şekil 3.12. a) Dönüşüm uygulanmadan önceki orijinal verinin dağılımına ait histogram, b) Normal dağılıma dönüştürülmüş olan orijinal verinin dağılımına ait histogram

Variogram uygulaması: Normal dağılıma dönüştürülen veriye yatay ve düşeyde variogram uygulanır. Bu variogram parametreleri daha sonra simülasyonda

kullanılır. Simülasyonda Simple Kriging yöntemi ile istenilen miktarda simülasyon gerçekleştirilir.

Verilerin geri dönüştürülmesi: normal dağılıma sahip olan simülasyon verisi, back transform ile orijinal haline dönüştürülür. Bu hali ile simülasyonlar üzerinde sahada bulunan tenör değişimleri izlenir.

Şekil 3.13'te; a, verilerin ham ve dönüştürülmeden önceki durumunu, b ise verilerin normal dağılıma dönüştürülmüş halini göstermektedir. Şekilde c, normal dağılıma dayalı variogram sonrası yapılan simülasyonun ham halini, d ise bulunan resimde ise simülasyon sonrası verinin orijinal haline dönüştürülmüş durumunu göstermektedir.



Şekil 3.13. a) Verilerin ham durumu, b) verilerin normal dağılıma dönüştürülmüş hali c) simülasyon öncesi ve d) verilerin simülasyon sonrası orijinaline dönüştürülmüş hali

3.5.3. UMREK Kodu

Kaynak/Rezerv raporlarının, uluslararası standartlarda şeffaf şekilde hazırlanması, güven oluşturması, denetlenebilir ve kontrol edilebilir olması için; 3213 sayılı Maden Kanunu'na eklenen Ek Madde 14 ile UMREK Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu kurulmuştur.

3213 sayılı Maden Kanunu'nun, 14.2.2019 tarihli ve 7164/22md. Geçici 40 nolu maddesinde (Maden Kanunu, 1985: Ek:14/2/2019-7164/22 md.); maddeninin yürürlüğe girdiği 2019 tarihinden itibaren IV. Grup maden işletme ruhsatlarında 10 yıl ve diğer grup ruhsatlarda 5 yıl içerisinde sahada bulunan maden varlığının UMREK koduna göre görünür rezerv haline getirilmesi gerekliliği belirtilmektedir.

2018 yılında UMREK kodu yayınlanarak, mevcut çalışmalar başlatılmış ve ilk etapta raporlama yapabilecek Yetkin Kişi belirleme/atama işlemleri ile mevcut raporun güncellenmesi çalışmalarına devam edilmektedir.

UMREK kodunda geçen kaynak/rezerv tanımlarına ait sınıflama tezin daha önceki bölümünde Şekil 1.1'de verilmiştir.

Bu çalışmanın da merkezinde olan UMREK, uluslararası ve diğer raporlama standartlarının, raporlamalarda istedikleri ve belirsizlik varsayımına dayanan kriter gereksinimlerinin birkaçı, CRIRSCO baz alınarak aşağıda Çizelge 3.3'te verilmiştir. JORC kodu içerisinde yer alan Tablo1'de (JORC kodu için hazırlanan kitapçık içerisindeki tablo) olduğu gibi risk tabanlı kayıt çizelgesi ve bu risklerin sorumluları oluşturulmaktadır.

Ayrıca; UMREK kodu Ek-1 Terimler sözlüğü sayfa 74'te Fizibilite Çalışması için yapılan şu tanımlama da bu çalışmanın önemini göstermektedir: "fizibilite çalışması, bir maden projesi için seçilen geliştirme tercihinin kapsamlı bir teknik ve ekonomik çalışması olup uygulanabilir "Dönüştürücü Faktörlere" ve diğer ilgili operasyonel faktörlere dair detaylı değerlendirmeleri, raporlama anında nihai ekonomik çıkarımı desteklemek amaçlı gösterilmesi gerekli olan ayrıntılı finansal analizi içerir. Fizibilite çalışmasının sonuçları, bir yatırımcının veya finansal kuruluşun maden projesinin devam etmesi veya geliştirilmesi ile ilgili vereceği nihai

kararın temelini oluşturmada makul surette işe yarayabilir. Fizibilite Çalışmasının güven düzeyi, Ön Fizibilite çalışmasının güven düzeyinden daha yüksektir (UMREK, 2018). Burada belirtilen ve bu çalışmada temel alınan belirsizliklerden değişken randımanın ekonomik ocağı belirlemesi ile yatırımcı veya finansal kuruluşun maden projesine olan bakışında farklılıkları görme ve netleşme olacaktır.

Çizelge 3.1. CRIRSCO rapor formatında geçen kaynağın belirsizlik, maliyet ve finansal rapor bilgileri (Crirsco, 2013)

Kriter	Açıklama	Sayfa
Madencilik Etmenleri ve Varsayımlar (Mining Factors or Assumtions)	Nihai ekonomik madenin çıkarılmasında gerçekçi ihtimalleri göstermek için temel varsayımlar gereklidir. Örnekler, erişim sorunlarını (kuyular, rampalar vb.), Jeoteknik parametreleri (ocak şevleri, katlar arası boyutlar vb.), Altyapı gereksinimlerini ve **tahmini madencilik maliyetlerini** içerir. Tüm varsayımlar açıkça belirtilmelidir.	29
Metalürjik Etmenler ve Varsayımlar (Metallurgical factors or assumptions)	Nihai ekonomik madenin çıkarılmasında gerçekçi ihtimalleri göstermek için temel varsayımlar gereklidir. Örnekler, metalurjik test çalışmalarının kapsamı, geri kazanım faktörleri, yan ürün kredileri veya zararlı unsurlar için ödenekler, altyapı gereksinimleri ve **tahmini işleme maliyetlerini** içerir. Tüm varsayımlar açıkça belirtilmelidir.	29
Maliyet ve gelir faktörleri (Cost and revenue factors)	Öngörülen **sermaye ve işletme giderleri** ile ilgili türetme veya varsayımlar.	31
	Yüksek tenör, metal veya emtia fiyat (lar) ı döviz kurları, nakliye ve işlem masrafları, cezalar vb. dahil gelirle ilgili yapılmış varsayımlar.	
	Belirtilen bir dönem için **temel nakit akışı** girdileri.	
Çalışma Durumları (Study status)	Şablon, Mineral Kaynakları'nı Mineral Rezervlere dönüştürmek için kesin bir Fizibilite çalışması yapılmasını gerektirmemekle birlikte, en azından Ön Fizibiliteler düzeyindeki çalışmaların teknik olarak erişilebilir ve **ekonomik olarak uygulanabilir** bir maden planını belirlemiş olacağı ve tüm Modifikasyon Faktörleri düşünülmüş olacaktır.	30

Cut-off parametreleri (Cut-off parameters.)	Uygun olduğu takdirde, eşdeğer metal formüllerinin temelini de içeren, sınır tenör değer(i)leri veya kalite parametrelerinin temeli. Sınır parametre, **tenör yerine her bir bloğun ekonomik değeri olabilir**.	30
Bağıl doğruluk/güvenirliğin tartışılması. (Discussion of relative accuracy/confidence.)	Rapor, küresel veya yerel tahminlerle ilgili olup olmadığını ve yerel olması halinde, **teknik ve ekonomik değerlendirmeye uygun olması gereken** ilgili tonajları veya hacimleri belirtmelidir. Belgeler, yapılan varsayımları ve kullanılan prosedürleri içermelidir.	32

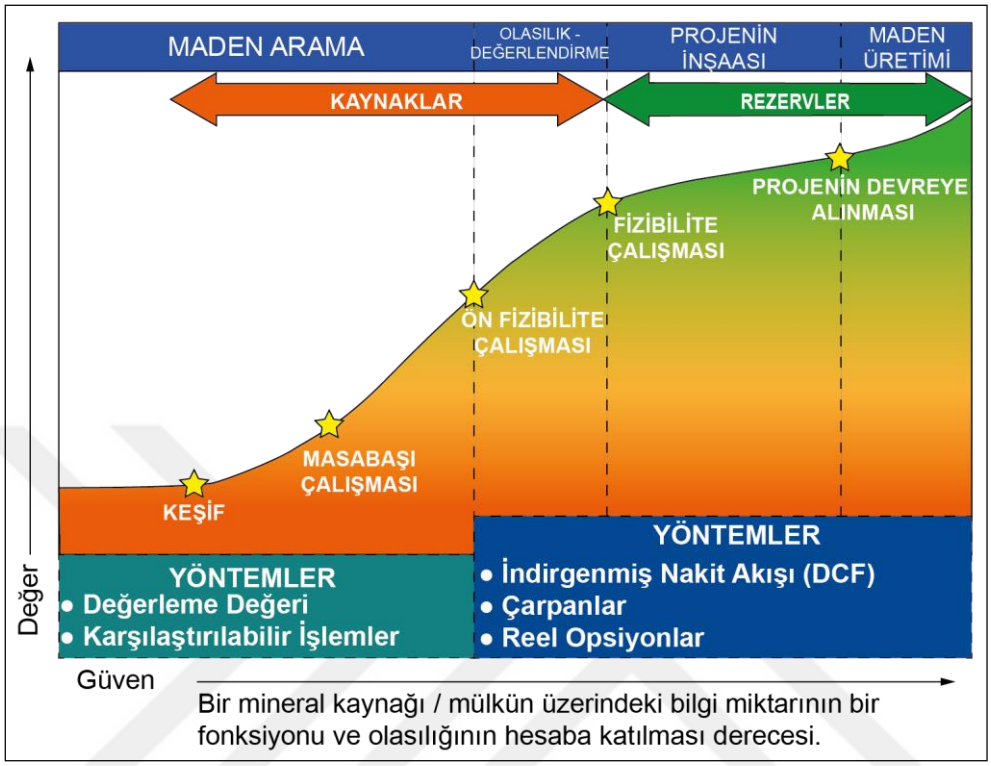
Raporlama adımları olarak listelenen aşamalarda belirsizlikler, finansal parametreler, tahmini varsayımlar kritik bir rol oynamaktadır. Belirsizlik, madenin satış fiyatından, henüz bir tesisi olmayan sahada oluşturulacak fizibilite raporu için uygulanacak optimizasyondaki proses maliyetine, maden fiyatının korelasyon kurulabileceği ve bağlı olduğu emtia fiyatlarından, ocak içerisinde oluşacak madencilik maliyetlerinin tahminine kadar; proje ve raporların çeşitli aşamalarında bulunabilmektedir. Rozman (2001) bu durumla ilgili Mineral Kaynak ve Cevher Rezervlerinde Riski Ölçme ve Yönetme isimli makalesinde "Fizibilite çalışması aşamasında yapılması gerekenler, en muhtemel senaryolar olarak algılananlara bakılarak ekonominin test edilmesidir" ifadesini kullanmıştır.

Ancak; optimizasyonların tek başına, kaynakların rezerve dönüştürülmesi noktasında kullanılması ya da dayanak kabul edilmesi doğru değildir (CIM, 2019). Yeraltı ve yerüstü maden optimizasyonlarının kaynakların rezervlere dönüştürülmesi aşamasında CIM Estimation of Mineral Resources and Mineral Reserves Best Practice Guidelines (CIM Maden Kaynak ve Rezervlerinin Kestiriminde En İyi Uyulama Yönergeleri)'da şu ifadelere yer vermektedir: "Açık ocak optimizasyon yazılım programları kullanılarak oluşturulan yüzeyler, yalnızca nihai Maden Ömrü tasarımının hazırlanması için bir kılavuz görevi gördüklerinden, Maden Rezervlerinin beyanlarını hazırlamak için asla kullanılmamalıdır" ve "Herhangi bir yeraltı optimizasyon yazılım programı kullanılarak oluşturulan

madencilik şekilleri, yalnızca nihai Maden Ömrü tasarımının hazırlanmasında bir kılavuz görevi gördüklerinden, Maden Rezervlerinin tahminlerini inceleme, doğrulama ve inceleme olmadan asla tek başına kullanılmamalıdır" (CIM, 2019).

Kaynak/rezerv raporları aynı zamanda "değerleme raporlarında" da kullanılmaktadır. Bir ön fizibilite, fizibilite veya teknik raporda bulunan üretim projeksiyonu, mali parametreler ve birim maliyetler gibi birçok başlık maden değerlemesi oluşturulurken kullanılmaktadır. Şekil 3.13'te bir madenin aramadan üretime geçerken, kaynağın rezerve dönüşmesi evresi ve veri yoğunluğu görülürken, bu geçilen aşamalarda uygulanan değerleme yaklaşımları da verilmektedir.

UMREK kodu, belirsizlik ve optimizasyon noktasında yetkin kişi tarafınca hazırlanacak raporlarda rehber niteliğinde tavsiyelerde bulunmaktadır. UMREK kodu sayfa 27'de maden kaynağını maden rezervine dönüştürmek için hazırlanacak ön fizibilite ve fizibilite raporlarında optimizasyon çalışması ve kaynak üzerine eldeki finansal verilerle diğer dönüştürücü faktörlerin belirtilmesi ve gerektiğinde detaylandırılması noktasının önemine işaret etmektedir (UMREK, 2018). Burada Ayrıca Tablo 1'de ilgili optimizasyon çalışmalarında uyulması gereken adımlara işaret edilmektedir.



Şekil 3.14. Kaynağın Rezerve geçişi ve projenin aşamaları (Baurens, 2010)

Kaynaktan rezerve geçiş aşamaları Şekil 3.14'te gösterilirken, raporlama standartlarının uygulanmasında kullanılan iş akış şeması Şekil 3.15'te yer almaktadır.



Şekil 3.15. Teknik, mali ve risk değerlendirme döngüsü (Edwards, 2001)

3.5.4. Belirsizlik (Uncertainty)

Madencilik iş büyüklüğünün yanında birçok risk ve belirsizliği de bünyesinde barındırmaktadır. Bir maden yatırımı öncesinde, mevcut risklerin belirlenmesi ve en aza indirgenmesi gereklidir. Mevcut riskler genellikle belirsizliklerin tespiti ile belirgin hale gelebilmektedir. Bir maden yatırımındaki belirsizlikler genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Jeolojik riskler: maden yatağının ve topoğrafyasının, su içeriğinden yan taşa kadar barındırmış olduğu belirsizlikler.
- Tenör belirsizliği: yapılan sondajların yetersiz olması ya da modellemesi yapılacak yapının yorumlamasının jeolojik yapıya bağlı zorluklar içermesi. Bir maden yatağının ekonomik değerini belirleyecek öncelikli faktörlerden biri cevher tenörü olduğu için en önemli belirsizliklerden biri olarak ortaya çıkmaktadır. Koşullu simülasyonlar da bu amaçla yapılmaktadır.
- Ekonomik/mali belirsizlikler: metalürjik testlere bağlı olabildiği gibi, yatırım öncesi veriler net olarak bilinemeyeceği için, operasyonel maliyetlerden, kur dalgalanmalarına, indirgeme oranından, tesis

yatırımından, proses maliyetlerine kadar çok geniş bir alanı kapsayabilir.

- Emtia belirsizlikleri: Üretilen madenin uluslararası piyasalarda kazanacağı dalgalanmalar, bir maden işletmesi ömrü boyunca oluşacak tüm değerler karşılığında yıllara göre bir öngörü ile tam tahmin edilemeyebilir.
- Hukuki ve çevresel belirsizlikler: değişen maden ve çevre mevzuatları, işletmenin kurulacağı alanın yaşam yerlerine yakınlığı gibi birçok faktördeki değişiklik, direkt veya endirekt olarak işletmeciliği etkileyeceği için belirsizliklerin ortaya çıkarılması yatırım sürecinde karar verme mekanizmasını güçlendirecektir.

Belirsizlik değerlendirmesi 4 aşamalı süreci içerir:

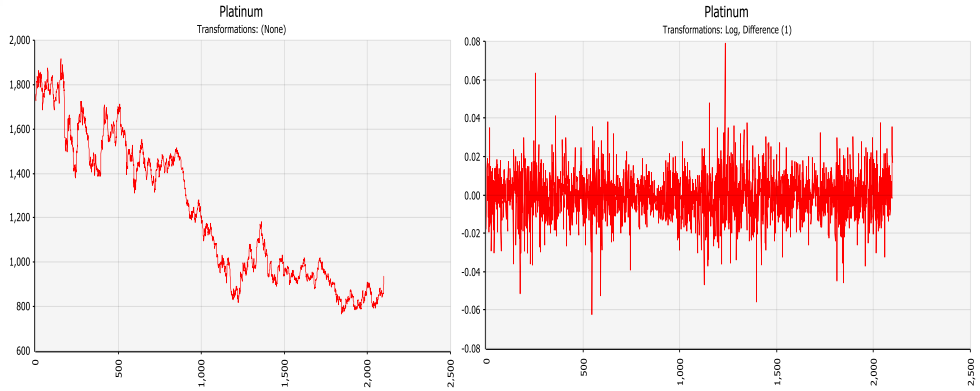
1. Cevher tanımı
2. Jeolojik yorumlama
3. Kaynak tahmini
4. Cevher rezervi tahmini ve maden planlaması (Morley ve ark., 1999).

3.5.5. Ekonometrik Analiz

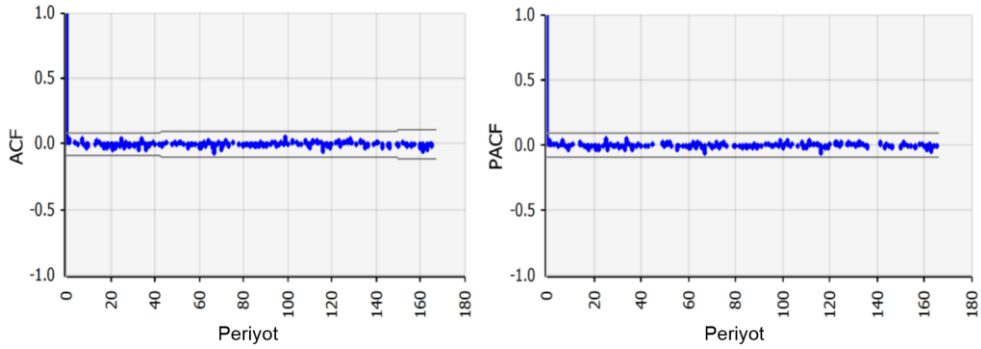
Maden optimizasyonu ve maden değerleme uygulamalarında hesaplama parametrelerinin en başında belki de cevher satış fiyatının belirlenmesi gelmektedir. Bu ilk adımı gerçeğe en yakın şekilde tahmin edebilmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Satış fiyatı, korelasyon oluşturabilecek diğer emtia fiyatlarından, ülkeler arası dengelere kadar birçok faktörden etkilenmektedir.

Zaman serisi modellemesi yapılırken, geçmiş tarihli verinin (örneğin 10 yıllık krom satış fiyatları) barındırdığı ve dönüşümün sağlandığı en önemli etken; verinin durağan (stationary) olup olmadığının incelenmesidir. Eğer veri durağan değilse çeşitli dönüşüm parametreleri ile veri durağan hale getirilir.

Yazılımlar aracılığı ile bu işlemler artık kolaylıkla yapılabilmektedir. Şekil 3.16'da bir örnek gösterim amacıyla @Risk yazılımı aracılığı ile yaklaşık 10 yıllık platin fiyatları üzerine tanımlanan dönüşümler uygulanmıştır. Sol tarafta orijinal veri görülürken, sağ tarafta dönüşüm uygulanmış ve verinin durağan hale getirilmiş hali görünmektedir. Bu adımlar uygulanırken yine Şekil 3.17'de verilen ACF (Auto Correlation Function – Oto-korelasyon Fonksiyonu) ve PCAF (Partial Auto Correlation Function – Kısmi Oto-korelasyon Fonksiyonu) grafiklerinde bulunan 2 yatay çizgi arasında veri dağılımının oluşması gerekmektedir.



Şekil 3.16. Orijinal veri (sol) ve dönüştürülmüş platin verisi (sağ)



Şekil 3.17. ACF ve PCF grafikleri ve verinin yatay çizgiler arasına alınması

3.5.5.1. Brownian Hareketi ve Ortalamaya Dönme (Mean Reverting)

Geometrik Brownian veya Brownian hareket modellerinde bir miktardan (fiyatlar, üretimler vs. gibi tarihsel veriler) bir periyoda yaşanan değişim, bir büyüme oranı ile verilir. Bu modeller, birbirini izleyen dönemler arasındaki değişikliklerin (log-return) doğal logaritmasının bağımsız olduğunu ve normal bir dağılım izlediğini varsayar. Zaman serisindeki her adım önceki değerden rastgele bir değişiklik olarak hesaplandığından, bu GBM modelleri bazen "rastgele yürüme modelleri" olarak adlandırılır. Bir dönemde meydana gelen değişiklik, önceki veya gelecekteki değişikliklerden etkilenmez ve etkilemez (Lehman ve ark., 2011).

Ortalamaya dönme ise emtia değeri veya miktarsal veri bir süre sonra barındırdığı ortalamaya geri döndüğü için bu ismi almıştır. Örneğin; bakırın fiyatı yükselirse, bakır madenleri kârı en üst düzeye çıkarmak için üretimi artıracaktır. Bu, piyasada bakır arzını artıracak, bu nedenle bakırın fiyatını bir miktar denge seviyesine düşürecektir. Burada tüketici talebi de rol oynar; bakırın fiyatı çok yükselirse, tüketiciler bakırın fiyatını denge seviyesine düşürecek ikameler arayabilirler (Pachamanova ve Fabozzi, 2010).

Basitçe ortalamaya dönme formülü aşağıdaki gibidir;

$$S_{t+1} = S_t + \kappa(\mu - S_t) + \sigma\varepsilon_t \qquad (3.12)$$

Burada;

ε_t: standart normal dağılımlı rassal değişken (0-1 arasında üretilen rassal sayı değeridir),
κ: negatif olmayan, ortalamaya dönme ayar hızını temsil eden sayı (verinin regresyon analizinden bulunan),
μ: prosesin uzun vadede ortalaması (drift),
σ: standart sapma (volatilite),
S_t: başlangıç fiyatını ifade etmektedir.

Ortalamaya dönme ve Brownian hareketleri kendi içerisinde aritmetik ve geometrik olarak ayrılabilmektedir.

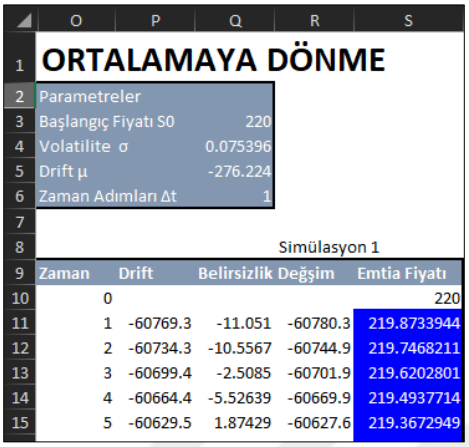
Bir ortalamaya dönme simülasyon modeli kurulması örneği olarak %46-48 Cr_2O_3 tenörlü krom konsantre cevherinin 10 yıllık satış fiyatları günlük olarak Çin teslim bazlı olarak alınmıştır (https://data.ferroalloynet.com). Hesaplama adımları aşağıdaki gibidir;

1. Fiyat rasyolarının (Price Ratio) bulunması: i+1 zamanındaki fiyatın, i zamanındaki fiyattan çıkarılarak yine i zamanındaki fiyata bölünmesi ile bulunur ve bu, tüm zamanlar için hesaplanır.
2. Ortalama (Drift): bu değer fiyat verisinin regresyonundan hesaplanır. Excel'de regresyon analizi ile oluşturulan sonuçlardan Katsayılar olarak hesaplanan satış fiyatı katsayısının kesişim katsayısına bölünmesi ile bulunur. Şekil 3.18'de görülen B17 hücresi ile B18 hücresinin birbirine bölünmesidir. Burada önemli olan fiyat katsayısındaki değer pozitif olduğu için Adjustmen Speed yani Ayar Hızı negatif olduğunu göstermektedir. Bu değer pozitif olduğu için burada geometrik ortalamaya dönme değil aritmetik ortalamaya dönme yöntemini kullanmak zorundayız. İşlemlerin buna dikkat edilerek yapılması gerekmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
3	*Regresyon İstatistikleri*								
4	Çoklu R	0.0079021							
5	R Kare	0.0000624							
6	Ayarlı R Kare	-0.0004046							
7	Standart Hata	0.0239719							
8	Gözlem	2143							
9									
10	ANOVA								
11		*df*	*SS*	*MS*	*F*	*Anlamlılık F*			
12	Regresyon	1.0	0.000077	0.000077	0.133699	0.714663			
13	Fark	2141.0	1.230331	0.000575					
14	Toplam	2142.0	1.230408						
15									
16		*Katsayılar*	*Standart Hata*	*t Stat*	*P-değeri*	*Düşük %95*	*Yüksek %95*	*Düşük 95.0%*	*Yüksek 95.0%*
17	Kesişim	-0.0016293	0.0027033	-0.6026863	0.5467812	-0.0069307	0.0036722	-0.0069307	0.0036722
18	Fiyat	0.0000034	0.0000094	0.3656490	0.7146631	-0.0000150	0.0000218	-0.0000150	0.0000218

Şekil 3.18. Regresyon sonuçları

3. Volatilite: Volatilite değeri olarak yine Şekil 3.18'de verilen ve regresyon sonucunda ortaya çıkan Standart Hata değeri alınır.
4. Ayar Hızı (Kappa): Ayar hızı için daha önce almış olduğumuz fiyat katsayısını negatif çarpanlı olarak alınır.
5. Fiyat Simülasyonu: Şekil 3.19'da görüldüğü gibi model kurulur. Zaman adımları (time steps) modelinizin ne kadarlık bir sürede istemiş olduğunuz sonuca ulaşması bakımından önemlidir. Burada kullanılan fiyatlar aylık bazda hesaplandığı ve gelecek 84 aylık periyottaki fiyat değişimleri görülmek istendiğinden 1 olarak girilmiştir.



	O	P	Q	R	S
1	ORTALAMAYA DÖNME				
2	Parametreler				
3	Başlangıç Fiyatı S0		220		
4	Volatilite σ		0.075396		
5	Drift μ		-276.224		
6	Zaman Adımları Δt		1		
7					
8			Simülasyon 1		
9	Zaman	Drift	Belirsizlik Değşim		Emtia Fiyatı
10	0				220
11	1	-60769.3	-11.051	-60780.3	219.8733944
12	2	-60734.3	-10.5567	-60744.9	219.7468211
13	3	-60699.4	-2.5085	-60701.9	219.6202801
14	4	-60664.4	-5.52639	-60669.9	219.4937714
15	5	-60629.5	1.87429	-60627.6	219.3672949

Şekil 3.19. Model penceresi

6. Simülasyon Drift: bu değer başlangıç fiyatı (S_0) yani tarihsel geçmiş verinin bittiği son tarihteki fiyat (model bunun üzerine ilerleyecektir), modelin daha önce hesaplanan drift değeri ve zaman adımının çarpılmasıyla elde edilir.
7. Belirsizlik (Uncertainty): rassal üretilen 0 ile 1 arasındaki değer, Δt'nin karekökü, volatilite ve başlangıç fiyatının birbirleri ile çarpımı sonucu elde edilir. Excelde kullanılan formülü aşağıdaki gibidir;
   NORM.TERS(S_SAYI_ÜRET();0;1)*KAREKÖK(dt)*Sigma*S10
8. Değişim: Drift değeri ile belirsizlik değerinin toplanması ile elde edilir.
9. Emtia Fiyatı: son olarak tahmin edilecek emtia fiyatı ise aşağıdaki formülle hesaplanmış olur (Pachamanova ve Fabozzi, 2010);

$$S_0 + \kappa(\mu - S_0) + \sigma\left(\sqrt{zaman}\right) x RiskNormal(0;1)$$

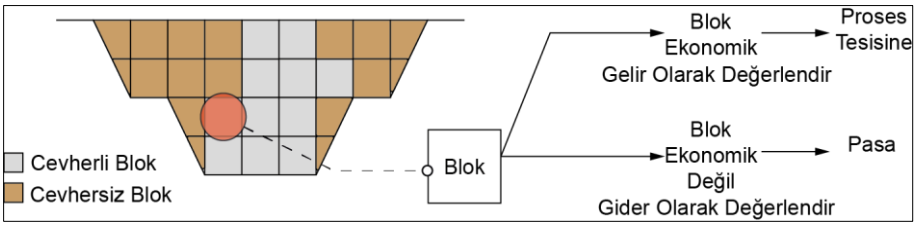
Palisade @Risk yazılımı bünyesinde barındırdığı zaman serileri yaklaşımlarında mevcut öngörüsü yapılacak veriye en uygun zaman serisini otomatik olarak parametrelere göre belirlemektedir. Öngörüde kullanılan onlarca zaman serisi modeli bulunmaktadır.

3.5.6. Madencilikte Optimizasyon

Madencilikte, özellikle ön-fizibilite ve fizibilite raporlamalarında cevher yatağının ekonomik değerini ortaya koymak amacıyla matematiksel optimizasyon algoritmalarına başvurulmaktadır. Bu optimizasyon çalışmalarında nihai hedef çoğunlukla maksimum "Net Bugünkü Değeri" (NBD – Net Present Value (NPV)) elde etmektir.

Basitçe her bir bloğun ekonomik değerinin olduğu bu yaklaşımda, ekonomik olan blok üretilirken, ekonomik olarak değerlendirilmeyen blok dekapaj olarak nitelendirilerek pasa sahasına yönlendirilecektir. Daha açık olmak gerekirse, maliyet hesaplamaları sonucunda bir bloğun ekonomik değeri, gelir ve giderin farkına eşittir.

"Gelirlere", cevherin satış fiyatı ve/veya varsa ilave gelirler dahil edilirken, "Giderler" kısmına da üretim+dekapaj maliyeti, tesis proses maliyeti, satış maliyeti vs. gibi maliyetler konularak ekonomik değer elde edilmektedir. Neticede, blok eğer ekonomikse proses tesisine gönderilecek, değilse pasa alanına gönderilecektir. Bu mali parametreler içinse elbette blok için en kritik hesaplama kriteri olan "blok tenörü" devreye girmektedir. Sınır tenör, ekonomik sınırı ifade edeceği için, bu sınırın üzerindeki bloklar prosese giderken, altındakiler dekapaj olarak nitelendirilecektir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Cevher bloğunun ekonomik değeri

Pratikte döviz kurunun artmasıyla birim maliyet düşecek ve hatta satış fiyatı TL bazda artmış olacaktır. Dolayısı ile daha düşük tenörlü cevherin üretilebilmesi mümkün olabilecektir. Daha düşük tenör, daha düşük sınır tenörünü (cut-off)

beraberinde getirirken, buna bağlı olarak çıkarma sırasında hesaba katılmayan bloklar üretime katılabilecek ve yine buna bağlı olarak da üretim miktarı artacaktır. Tam tersini düşünecek olursak; eğer dolar kuruna bağımlı olan, üretime katılan direkt malzeme giderleri artış gösterirse; maliyetlerin artması neticesinde birim maliyeti düşürmek adına üretim miktarı arttırılacak, buna bağlı olarak çıkarma sırasına katılmayan bloklar dahil olacak ve dolayısı ile sınır tenörü oranında değişim yaşanacaktır veya maliyetlerin artması ile daha zengin cevherleşmeye yönelerek sınır tenörü arttığı için, çıkarma sırasında hesaba katılan düşük tenörlü bloklar muaf tutulacak, buna bağlı olarak da üretim oranları değişecektir (Kasa, 2019).

3.5.6.1. Optimizasyon Algoritmaları

Bir optimizasyon modeli, belirtilen kısıtlar doğrultusunda; amaç fonksiyonunu optimize edebilecek en iyi karar değişkeni değerlerini vermeyi hedeflemektedir (Winston ve Goldberg, 1997). Maden üretim planlaması üç alt probleme ayrılır; çıkarma sırası (blok), optimum sınır tenör ve üretim miktarları (Kumral ve Sari, 2017).

Madencilikte, optimizasyon konusunda kullanılan en yaygın algoritma Lerchs&Grossman metodudur. Ekonomik değer atanan blokları, belirli bir algoritma neticesinde çıkarmak için, iç içe ocaklar yaklaşımı ve koniler oluşturarak nihai ekonomik ocak sınırını belirleyen bu yöntem, günümüzde bilgisayar teknolojisi ve matematik bilimi ile geliştirilerek Doğrudan Blok Planlama gibi birçok farklı algoritmaya sahip olmuştur.

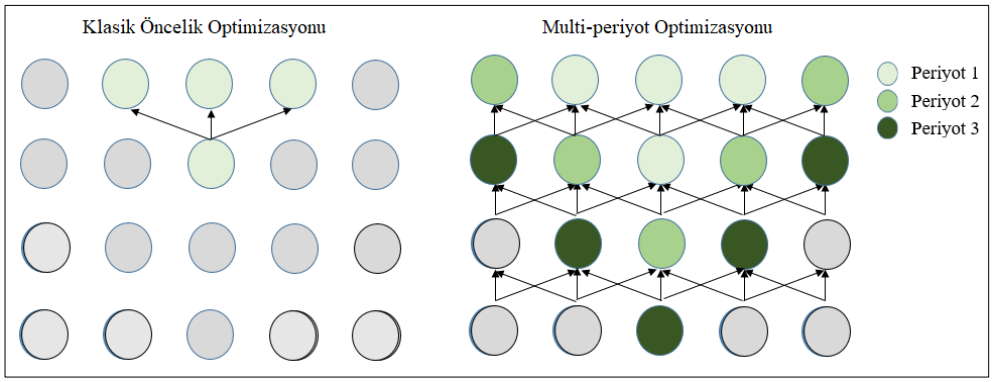
Burada devreye karma tam sayılı (mixed interger programming) veya doğrusal (lineer) programlama girmektedir. Bu şekilde, bloklara atanan değerler ve kısıtlar ışığında; en optimal ocak sınırı bulunurken, bu operasyonlar neticesinde elde edilecek NBD'nin, maksimum değere çekilmesini sağlayacak en optimum blok seçimi de sağlanmış olacaktır (Kasa, 2019).

3.5.6.2. Doğrudan Blok Planlama (DBP)

Tarihsel olarak 1960'lardan bu yana, geleneksel maden planlama belirgin birkaç aşamayı içerir;

1. Nihai ocağın tanımlanması – blokların en büyük toplam değerle sonuçlanan kısmı,
2. Geri yaslama (Pushback) seçimi – cevher fiyatı değerindeki değişimden elde edilen iç içe geçmiş ocakların (nested pits) üretilmesine dayalı,
3. Uzun dönem üretim planlaması (Morales ve ark., 2015).

İç içe ocaklar maden planlamanın esas standardıydı ve Lerchs ve Grossman (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Johnson 1968 yılında, ocak sınırlarını tanımlamak için blokları doğrudan programlayabilen bir formülasyon öneren ilk kişidir. Doğrudan Blok Planlama, Lerchs-Grossman metodolojisinin geliştirilmiş bir halidir. DBP (DBS), Bugünkü Değer'e, üretim yılları boyunca nakit akışına doğru ve tam indirgeme faktörlerini uygular (Şekil 3.21) (Souza ve ark., 2018).

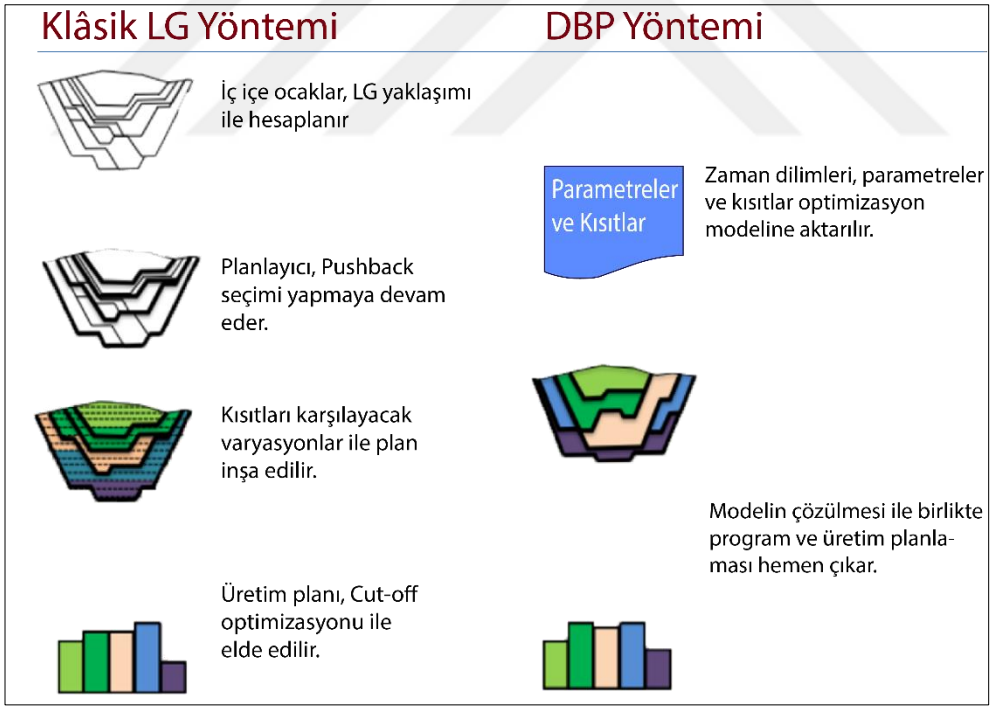


Şekil 3.21. Optimizasyonda Klasik öncelikli ve çok-dönemli mekanizmalar (Souza ve ark., 2018)

Bu şekilde çok-dönemli tabanlı optimizasyon, en iyi çözümü bulabilmek için buluşsal (heuristic) ve diğer yaklaşımsal stratejileri uygular (Leite ve

Dimitrakopoulos, 2009). Şekil 3.21'de görüleceği üzere, klasik yöntemdeki komşular yerine; çok-dönemli yaklaşım ile tüm muhtemel blokların etkileşimi mümkün olmaktadır. Bir yandan DBP yöntemleri (kapasiteler, çoklu ürünler vs. gibi) problemlerin çözümü için tasarlandığından, L&G yaklaşımından daha üstün olması beklenir. L&G yaklaşımları şev eğimleri ve parametreler olarak benzersiz ekonomik değerler gibi kısıtlarla sınırlıdır. Uygulamada DBP yöntemlerinin çözülmesi için yoğun bir bilgisayarlı hesaplama gücüne gerek olduğundan L&G temelli yöntemler öne çıkmaktadır (Morales ve ark., 2015).

DBP tabanlı optimizasyon yazılımları, diğerlerine oranla daha gerçekçi ve maksimize edilmiş NBD değerleri sunmaktadır (Kasa, 2019). Şekil 3.22'de klasik L&G yöntemi ve DBP arasındaki karşılaştırma görülmektedir. DBP aynı zamanda üretim planlamasını da gerçekleştirmektedir.



Şekil 3.22. L&G ve DBP karşılaştırması (Morales ve ark., 2019)

Ramazan ve Dimitrakopoulos (2013), NBD'yi maksimize edebilmek ve cevher tonajı, tenör ve hedef üretimini kontrol edebilmek için genel bir formülasyon önermişlerdir.

$$Max \sum_{t=1}^{P}(Part1 - Part2 + Par3 - Part4) \quad (3.13)$$

$$Part1 = \sum_{t=1}^{N} E\{NPV_j^t\} b_j^t \quad (3.14)$$

$$Part2 = \sum_{t=j}^{u} E\{NPV_j^t + MC_j^t\} w_j^t \quad (3.15)$$

$$Part3 = \sum_{s=1}^{M} E\left\{\frac{SV^t}{M}\right\} K_s^t \quad (3.16)$$

$$Part4 = \sum_{s=1}^{M}(C_u^{t0} d_{su}^{t0} + C_l^{t0} d_{sl}^{t0} + C_l^{tg} d_{sl}^{tg} + C_u^{tg} d_{su}^{tq} + C_l^{tg} d_{sl}^{tq}) \quad (3.17)$$

Burada;

MC_j^t=t periyodundaki j bloğunun operasyon maliyeti.

W_j^t =t periyodu boyunca, pasa sahasına gönderilen j bloğunun yüzdesi.

SV^t =t periyodunda ton başı kâr.

M =Simüle edilen modellerin sayısı.

b_j^t =Aynı periyotta üretilen blok yüzdesi.

K_s^t =s modelindeki simülasyonda, stoktan elde edilen (recovered) cevher.

d_{su}^{t-1} =Cevher üretim fazlalığı.

d_{sl}^{t-1} =Cevher üretim eksikliği.

C =Maliyet

o =Cevher üretim hedefi.

g =Tenör üretim hedefi.

u =üst sınır.

l =alt sınır.

Burada; MC_j^t, t periyodundaki j bloğunun operasyon maliyetini, W_j^t, t periyodu boyunca, pasa sahasına gönderilen j bloğunun yüzdesini, SV^t, t periyodunda ton başı kârı, M, simüle edilen modellerin sayısını, b_j^t, aynı periyotta üretilen blok yüzdesini, K_s^t, s modelindeki simülasyonda, stoktan elde edilen (recovered) cevheri, d_{su}^{t-1}, cevher üretim fazlalığını, d_{sl}^{t-1}, cevher üretim eksikliğini, C, maliyeti, o, cevher üretim hedefini, g, tenör üretim hedefini, u, üst sınırı, l, alt sınırı ifade etmektedir.

Amaç fonksiyonu olan Part 1, t periyodunda i bloklarının b_j^t kesirlerinde üretilmesiyle ve aynı periyot boyunca işlenmesiyle elde edilen, beklenen NBD'yi ifade eder. Part 2, aynı t periyodu boyunca üretilen j bloklarının W_j^t kesirlerinden beklenen NBD kaybını telafi eder ancak, MC_j^t maliyeti ile stoğa gönderilir. Part 3, t periyodu boyunca stoktan işlenen K_s^t cevherinin miktarından elde edilen, beklenen NBD'dir ve SV^t, ton başı oluşan kârdır. P, periyotların sayısı; N, blok sayısı (toplam); u, stoklanan blok sayısı ve M, simüle edilen model sayısıdır. Fayda fonksiyonuna uygulanan cezalar; sistemi, gereklilikleri karşılayabilecek bir çözüm bulmaya zorlar ancak; istenen çözüme ulaşılmazsa, en yakın uygun çözüm bulunur. DBP, her bloğu tek tek değerlendirebilir çünkü, blok toplamını maksimize etmektedir (Souza ve ark., 2018).

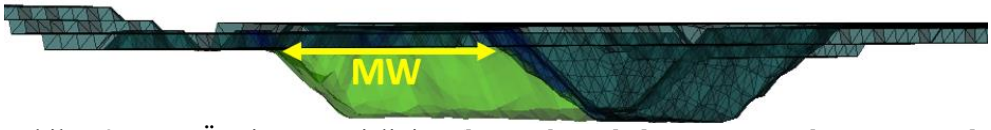
3.5.6.3. SimSched DBS

Doğrudan blok planlama ile optimizasyon için geliştirilen en önemli yazılımlardan biri de MiningMath firmasına ait SimSched Direct Block Scheduler yazılımıdır. Yazılım doğrusal (lineer) programlama ve karma tamsayılı programlama (mixed integer linear) algoritması kullanarak, uzun sürebilecek

matematiksel işlemleri kısa sürede tamamlamakta ve DBP'ye uygun şekilde en optimum ocak sınırı ile maksimum NBD'yi kullanıcıya sunmaktadır (Kasa, 2019).

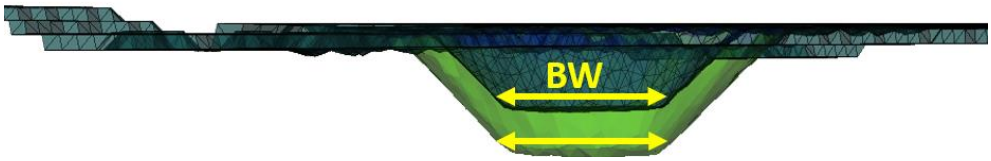
Simsched DBS, doğrusal programlamaya uygun kısırlar kullanarak dönem planlamasını optimumda ve NBD'yi maksimumda hesapladığından, oluşacak sınır tenör değerlerini de kontrol altında tutulabilecektir. Programın kullanmış olduğu kısıtlardan öne çıkanlar, üretim genişliği, taban genişliği, düşey ilerleme hızı, üretim ve tesis kapasiteleridir.

- Üretim Genişliği (Mining Widths): Üretim genişlikleri, bir ocaktan diğerine her periyotta uyulması gereken minimum yatay mesafedir, yani bu, Şekil 3.23'te gösterildiği gibi ardışık periyotlara ait iki yüzeyin duvarları arasındaki yatay mesafedir. Bu özellik, en iyi bölgeleri belirlemek için ocak şekillerini büyük ölçüde değiştireceğinden, minimum taban genişliğinden daha karmaşıktır. Daha geniş değerlerin daha büyük üretim alanları ve aynı zamanda iç içe ocaklar (nested pits), geri yaslamalar (pushbacks), planlama veya aranan diğer sonuçlar için daha iyi tasarımlar sağlar (https://knowledge.miningmath.com/general-contents/user-interface/geometric/widths).



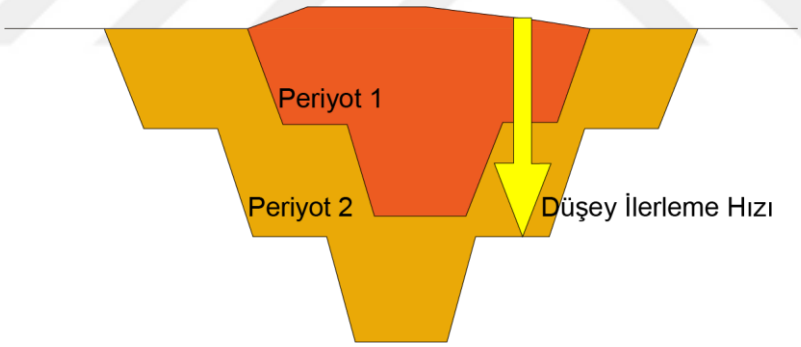
Şekil 3.23. Üretim genişliği (https://knowledge.miningmath.com/general-contents/user-interface/geometric/widths)

- Taban Genişliği (Bottom Widths): Bu da ocağın en dip noktasında çalışmak için gerekli olan kullanıcı tanımlı minimum genişliktir (Şekil 3.24). Diğerine göre daha az kritiktir.



Şekil 3.24. Taban genişliği (https://knowledge.miningmath.com/general-contents/user-interface/geometric/widths)

- Düşey İlerleme Hızı (Vertical Rate of Advance): Dikey hız, çok küçükse, algoritmanın dâhili olarak tanımlanan bir aralıktaki çözümleri bulması için yeterli esnekliği sağlamaz (Şekil 3.25). Üretim genişliği ve düşey ilerleme birlikte her bir periyottaki üretim hacmini belirlemektedir (https://knowledge.miningmath.com/general-contents/user-interface/geometric/vertical-rate). Bu değer, her bir periyotta, düşey mesafede ne kadar ilerleneceğini belirlemektedir.



Şekil 3.25. Düşey ilerleme hızı

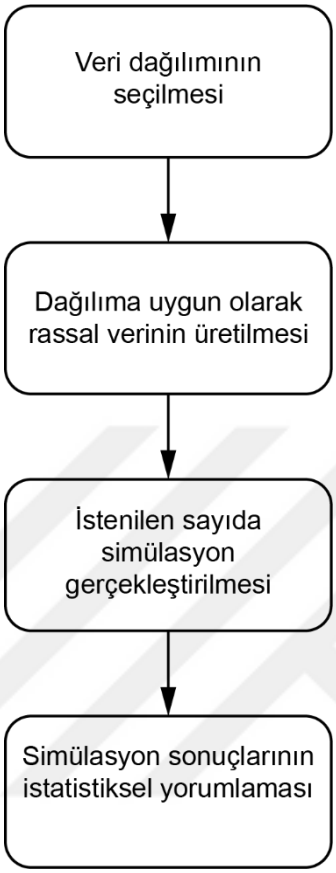
3.5.7. Stokastik Yaklaşımlar

Olasılığa dayalı analiz, özellikleri dağılımları kullanması nedeniyle belirsizlik analizinde öne çıkmaktadır. Ekonomik analizler, yapısı gereği stokastik süreçlerle uyumlu olup, uygulamada sıkça karşımıza çıkan bir alandır.

3.5.7.1. Monte-Carlo Simülasyonu

Stokastik yaklaşımda, tüm girdi parametreleri istatistiksel olarak örneklenir ve çözümün küresel boyutuna kavuşması için önemli sayıda yineleme gerekir. Monte Carlo simülasyonu olasılık dağılımına dayalı bir yöntemdir. Bu yöntemde, rasgele değişkenler, boyutlarında küçük farklılıklar içeren birkaç örnek kümesi üretmek için kullanılır (Thander ve ark., 2014).

Belirsizliğin herhangi bir sayıdaki değişken veya girdi için herhangi bir sayı ve olası değerlerin dağılımı olarak ifade edilmesine izin verdiği için, bir dizi varsayımsal senaryoyu simüle etmek için Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır (Morley ve ark., 1999). Monte Carlo simülasyonunda, giriş parametrelerinin her biri için kaynak olarak kullanabileceğimiz istatistiksel bir dağılım tespit edilir. Daha sonra, her değişkenden rastgele örnekler seçilirek girdi değişkenlerinin değerleri temsil edilir. Her bir giriş parametresi seti için bir dizi çıkış parametresi elde edilir. Her çıktı parametresinin değeri simülasyon çalışmasında belirli bir sonuç senaryosudur. Değerlendirme ve karar için çıktı parametrelerinin değerleri üzerinde istatistiksel analiz yapılır. Çıkış değişkenini karakterize etmek için çıkış parametrelerinin örnekleme istatistikleri kullanılır (Raychaudhuri, 2008). Simülasyon adımları Şekil 3.26'da verilmiştir.



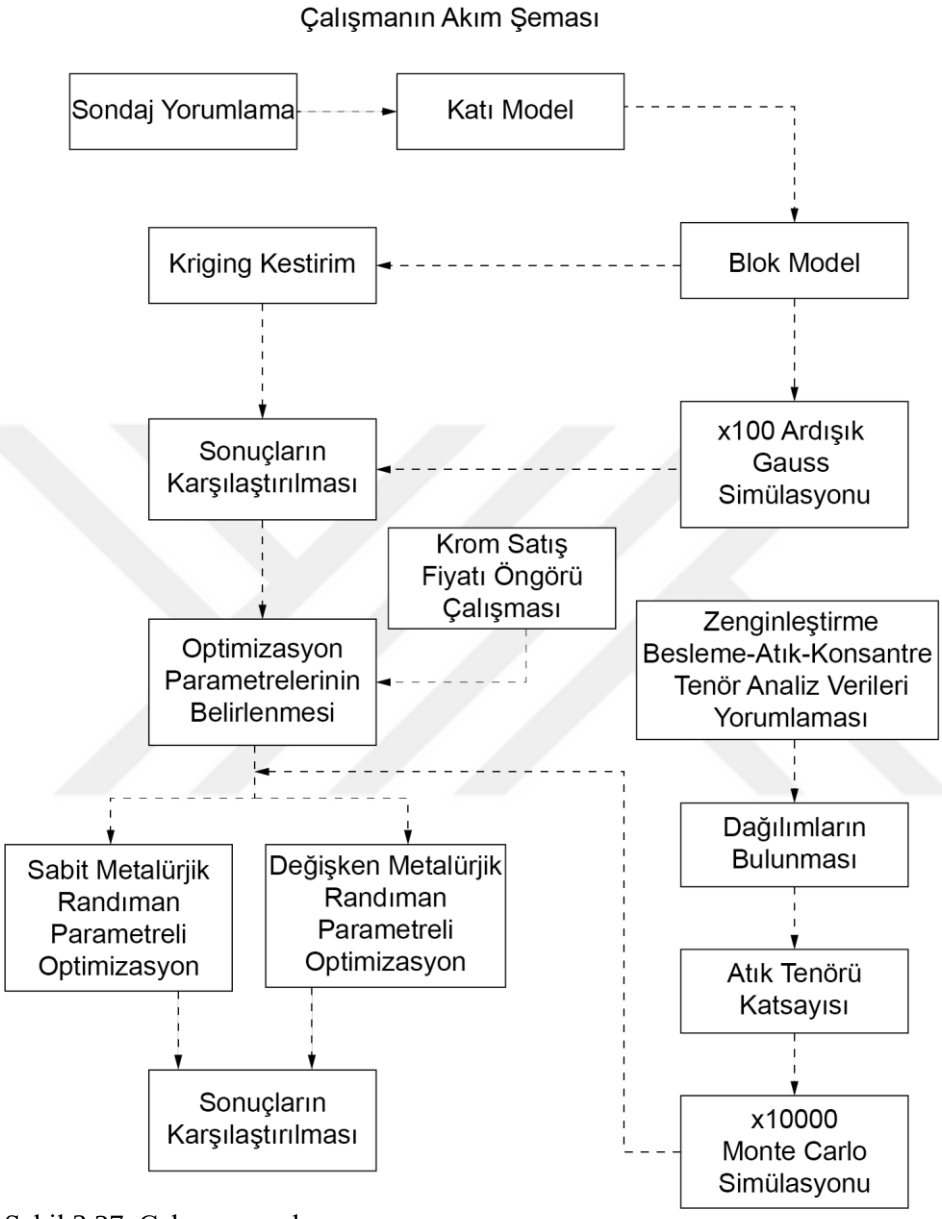
Şekil 3.26. Monte-Carlo simülasyon adımları

3.5.8. Kullanılan Yazılımlar

Bu çalışmada, Şelale 2 ocağına ait depolanan veriler yorumlanarak, Netpro-mine yazılımı kullanılarak kesitler üzerinden katı model oluşturulmuştur. Yatağa ait tenör dağılım ve belirsizlikleri üzerine yine Netpro-mine yazılımında bulunan, jeoistatistiksel simülasyon yöntemi olan Ardışık Gauss Simülasyonu 100 kere uygulanmıştır. Yine kaynak üzerine Ordinary Kriging ile aynı yazılımda kestirim uygulanarak simülasyon sonuçları ürettikleri tenör ve tonajlar bakımından karşılaştırılmıştır.

Ekonomik ve finansal parametreler, Netpro-mine yazılımında oluşturulan blok model üzerine işlenerek, SimSched DBS optimizasyon yazılımı ile yatağın

optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon yapılmadan önce ise; metalürjik randıman için, bu yatağın cevher karakteristiği üzerine zenginleştirme sonrası oluşan kimyasal analizler kullanılarak randımanları hesaplanmıştır. Bu analiz verilerine Palisade @Risk yazılımı ile önce verinin sahip olduğu dağılımlar bulunmuş, daha sonra besleme ve atık tenörü arasındaki ilişkiye dağılımlar üzerinden Monte-Carlo simülasyonu uygulanmış, çıktı parametresi blok modeldeki her bir bloğa ayrı ayrı uygulanarak, blokların bağımsız randımanları bulunmuş ve bu parametre optimizasyon çalışmasında kullanılmıştır. Tüm bu işlemleri içeren akım şeması Şekil 3.27'de verilmiştir.



Şekil 3.27. Çalışmanın akım şeması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmanın merkezinde olan optimizasyon veya değerleme çalışmaları birbirini etkileyen bağımlı birçok faktöre sahiptir. İlk ve en önemli belirsizlik olan tenör belirsizliğine kriging kestirimi ve ardışık gauss simülasyonu ile bakılarak %95 güven düzeyinde tenör değerleri elde edilmiştir. Bir sonraki aşama olan ve mevcut güncel proses tesisi besleme, konsantre ve randıman değerlerinden elde edilen atık değerleri yine simüle edilerek %90 güven aralığında elde edilen simülasyon değeri katsayı olarak kabul edilerek, atık tenörleri her bir blok için tahmin edilmiştir. Daha sonra bu atık tenörleri üzerinden blok modeldeki her bir bloğun metalürjik randımanı hesaplanmış ve optimizasyon parametresi olarak kullanılmıştır. Son olarak; farklı optimizasyon senaryoları üzerinden maden yatağının ekonomik kaynağının rezerve dönüştürülmesi noktasında senaryolar birbiri ile karşılaştırılarak, sabit metalürjik randıman ile değişken metalürjik randımanın kaynak değerleme/değerlendirme hususunda ne kadar etki oluşturacağı gösterilmiştir.

4.1. Sondaj Veri Tabanının Oluşturulması

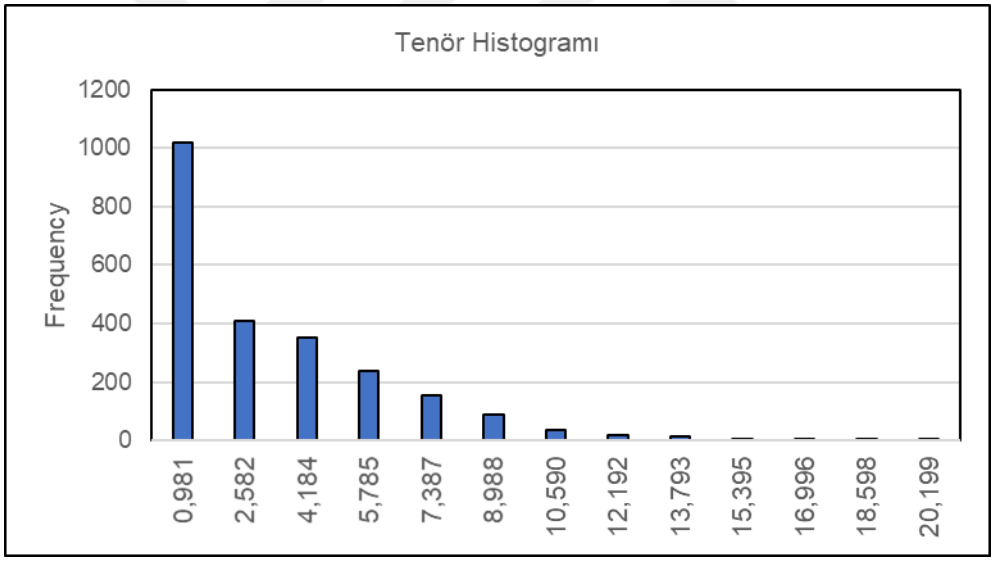
Uygulama sahasında firma tarafından 2012 yılından itibaren Şelale ocakları olarak adlandırılan bölgede yaklaşık 20 hektarlık alan içerisinde sondajlar gerçekleştirilmiştir. Bu alanda yapılan 146 sondajın toplam uzunluğu 16865 metredir. Sondajlar Collar, Survey, Assay ve Geology olarak sınıflandırılarak veri tabanı oluşturulmuş ve maden tasarım yazılımına aktarılmıştır. Firma, JORC koduna uygun olarak verileri halihazırda saklamakta olduğundan, özellikle numuneler ve analizler noktasında veri tabanı güvenilirliği oldukça iyidir.

Çalışmada bu veri tabanında Assay dosyasında analiz sonuçlarını içeren krom tenörleri üzerinden öznitelik oluşturulmuştur. Firmaya ait sahadaki teknik ekiple birlikte ilgili verilerin tutulma ve saklanma biçimleri

yerinde incelenerek, özellikle 2010 yılından bu yana kullanılmakta olan kurumsal kaynak yazılımı Canias ERP üzerinde yaklaşık 10 yıllık istatistiki veriler incelenmiştir. Sondaj veritabanından (lokasyonlar, fotoğraflar, loglama, sondaj analizleri, JORC standardında veri girişi vs.) güncel takip edilen sondajlar, bu noktada güvenilir veriye ulaşma ve kullanmada kolaylık sağlamıştır.

4.1.1. İstatistiksel Analiz

Sondajlara ait istatistiksel veri analizi, tenör dağılımlarının (Şekil 4.1) LogNormal bir dağılıma sahip olduğunu ortaya koymaktadır

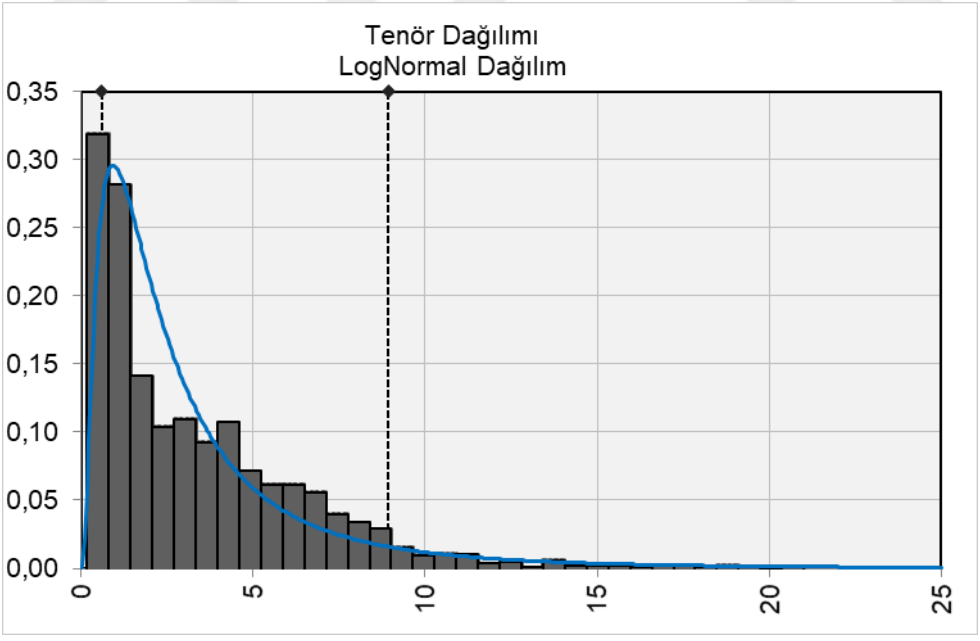


Şekil 4.1. Tenör dağılımlarına ait histogram

Çizelge 4.1. Histogram verileri

Histogram	Min.	Maks.	Orta Nokta	Frekans	Bağıl Frekan	Olasılık Dağılımı
Bin #1	0,180	1,782	0,981	1017	0,4335	0,271
Bin #2	1,782	3,383	2,582	409	0,1743	0,109
Bin #3	3,383	4,985	4,184	350	0,1492	0,093
Bin #4	4,985	6,586	5,785	240	0,1023	0,064
Bin #5	6,586	8,188	7,387	155	0,0661	0,041
Bin #6	8,188	9,789	8,988	87	0,0371	0,023
Bin #7	9,789	11,391	10,590	37	0,0158	0,010
Bin #8	11,391	12,992	12,192	18	0,0077	0,005
Bin #9	12,992	14,594	13,793	13	0,0055	0,003
Bin #10	14,594	16,195	15,395	6	0,0026	0,002
Bin #11	16,195	17,797	16,996	7	0,0030	0,002
Bin #12	17,797	19,398	18,598	5	0,0021	0,001
Bin #13	19,398	21,000	20,199	2	0,0009	0,001

Şelale 2 cevherini içerisine alan sondajlara ait tenörlerin sahip olduğu dağılım Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. LogNormal dağılımı gösterir tenör dağılım grafiği

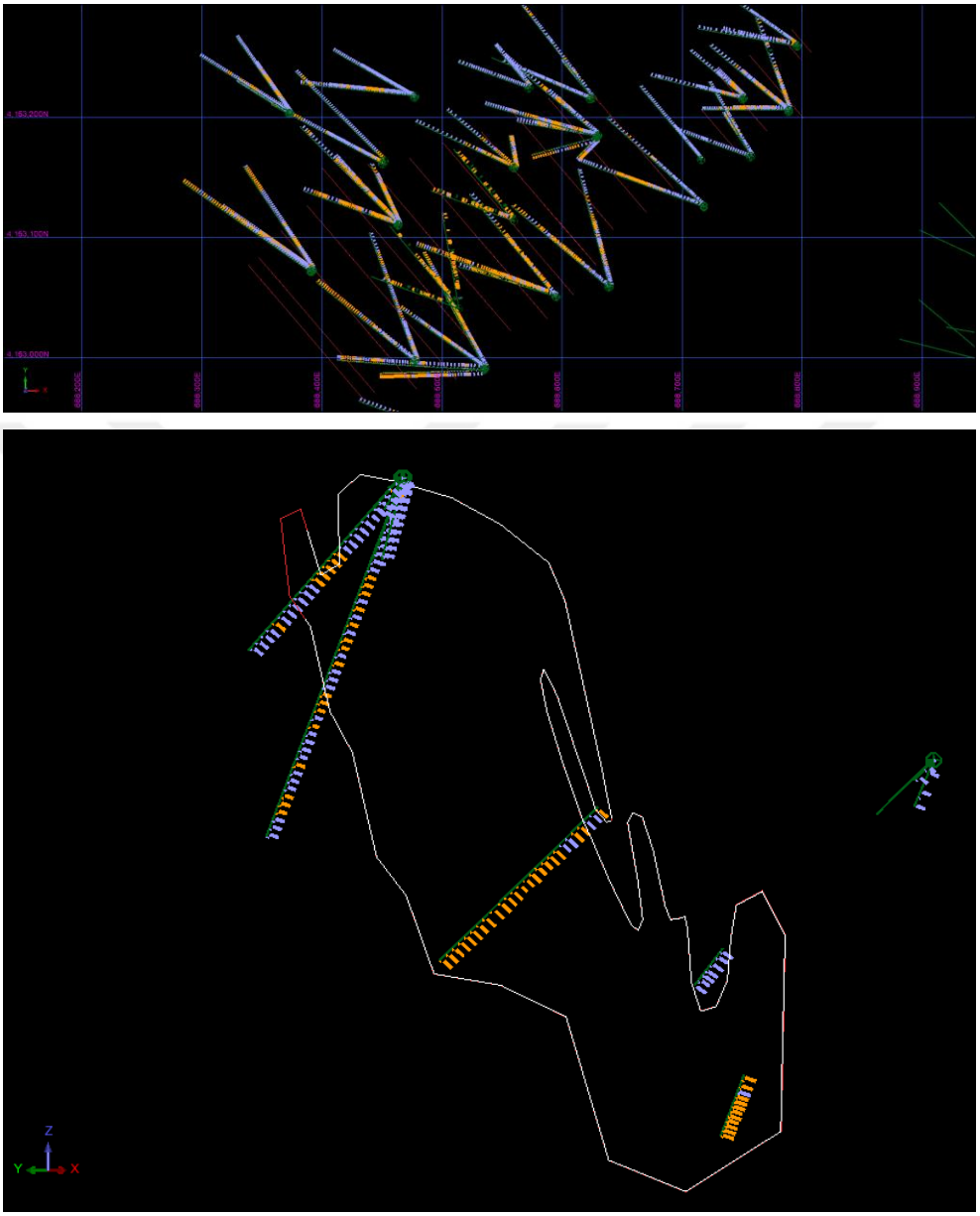
Ayrıca; sondajlardaki tenör değerlerine ait istatistiksel özet bilgileri de Çizelge 4.2'de verilmiştir. Buna göre minimum %0,18 değerinde tenör bulunurken, maksimum %21 değerinde bulunmakta, ortalaması 3,359 iken standart sapması 3,053 olarak görülmektedir. Veri setinin histogramının ve istatistiksel özelliklerinin yorumlanması ve aykırılıkların da aranması ile bu aykırı değerler veri setinden ayrı olarak tutularak yatağın kestirimini etkilememesi amaçlanmıştır.

Çizelge 4.2. Sondaj tenörleri istatistiksel verileri

Birim	Değer
Ortalama	3,359
Varyans	9,320
St. Sapma	3,053
Çarpıklık	1,6508
Basıklık	6,6966
Medyan	2,340
Mod	0,700
En Küçük	0,180
En Büyük	21,000
Aralık	20,820
Toplam	7880,190
1. Çeyrek	0,910
3. Çeyrek	4,880

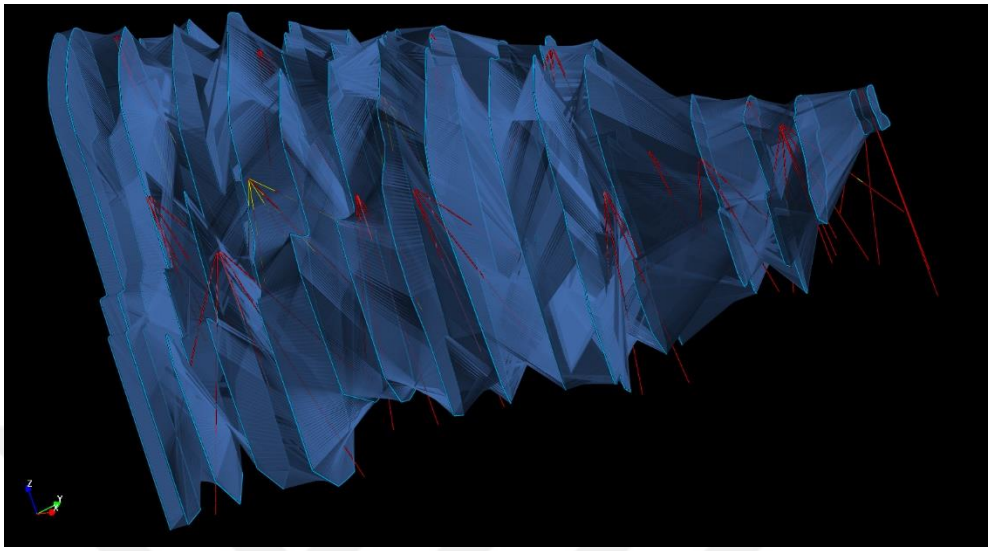
4.1.2. Kesit ve Katı Model Oluşturulması

Şelale 2 olarak adlandırılan cevher kütlesine ait 76 adet sondaj yorumlanarak kesitler oluşturulmuştur. Sondajlar çerçevesinde oluşturulan kesit görüntüleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Cevher doğrultusu boyunca, yaklaşık 20-30 m aralıklarla kesitler alınarak, kesitler yorumlanmıştır.

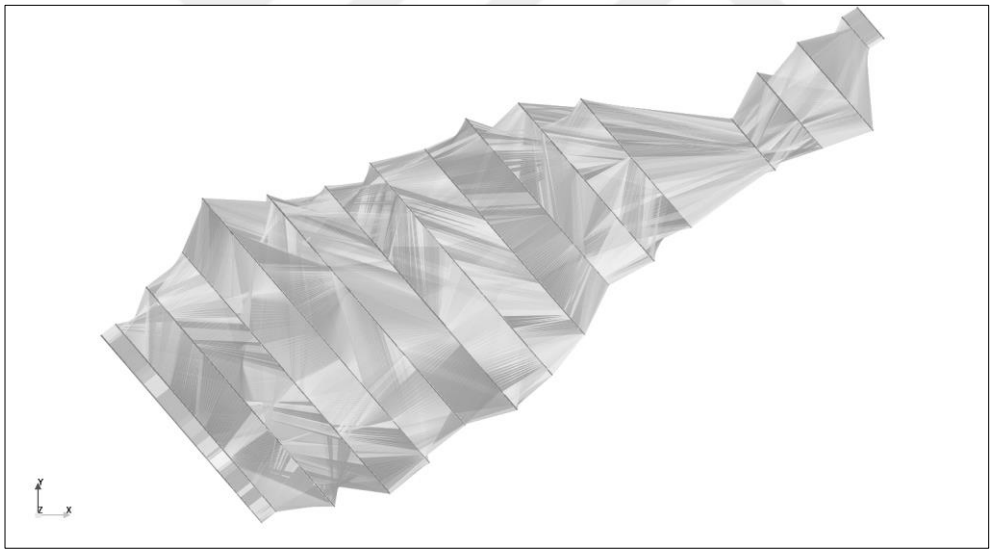


Şekil 4. 3. Sondajlara göre alınan kesit görüntüsü

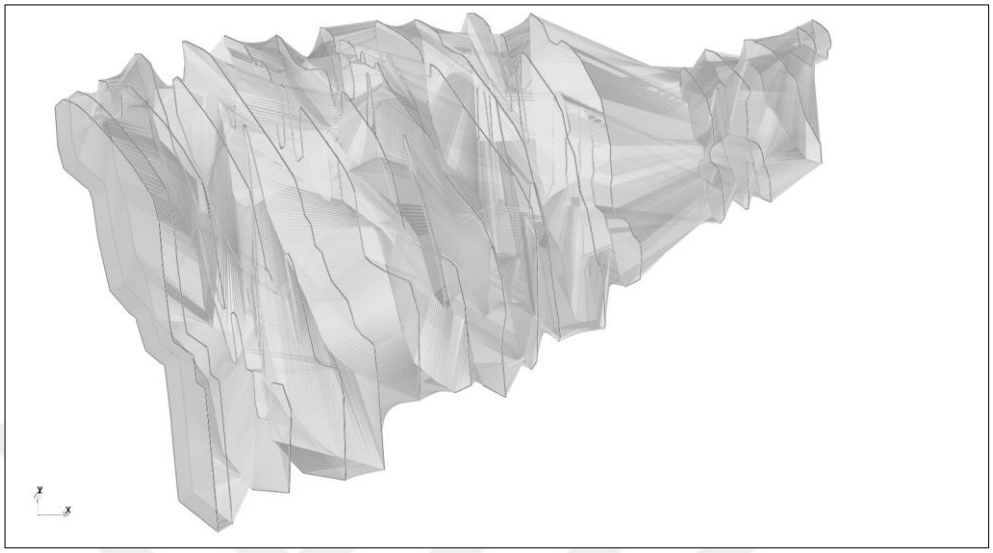
Kesitler oluşturulduktan sonra birleştirilerek katı model explicit olarak Netpro-Mine yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. İlgili katı modele ait görüntü Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4. Katı model düşey eksen görüntüsü



Şekil 4.5. Katı model X-Y plan görüntüsü

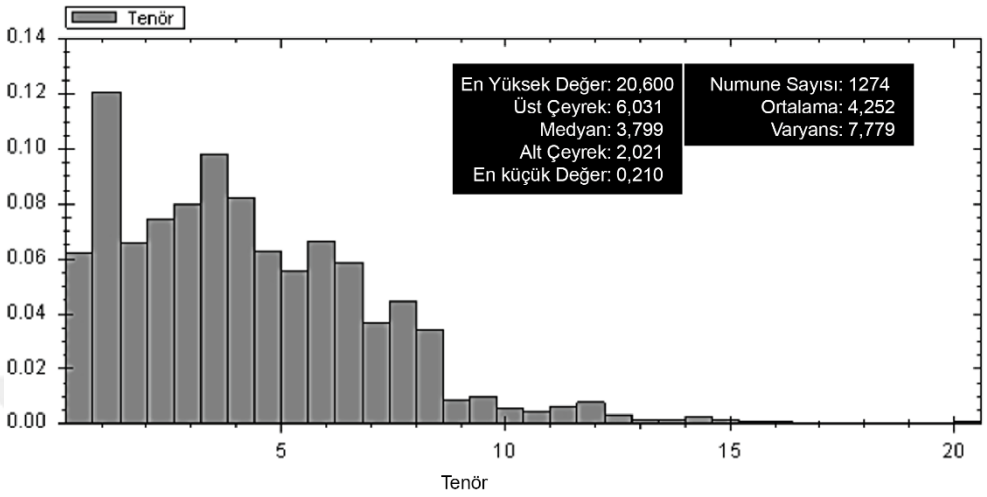


Şekil 4.6. Katı model X-Z düşey görüntüsü

4.2. Jeoistatistiksel Veri Analizi ve Kestirim

4.2.1. Kompozit ve Öznitelik Oluşturulması

Sondaj verileriyle jeoistatistiksel kestirim ve simülasyonların gerçekleştirilebilmesi için kompozitleme yapılmış ve öznitelik oluşturulmuştur. Öznitelik olarak sondajlarda bulunan krom analiz değerleri alınmış ve "Tenör" olarak isimlendirilmiştir. Kompozitleme ise özniteliğe göre belirlenmiştir. Oluşturulan kompozit öncesine ait istatistiksel veriler Çizgel 4.3'te yer alırken kompozitlere ait histogram bilgileri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Çizelge 4.3'ten de görüleceği üzere, sondaj veri tabanında yer alan analiz verilerinin sayısı 1274 olarak yer almaktadır.



Şekil 4.7. Kompozit verilerine ait histogram

Çizelge 4.3. Histogram verileri

Birim	Değer
Öznitelik	Tenör
Numune Sayısı	1274
En Küçük	0,210
Ortalama	4,252
Medyan	3,799
En Büyük	20,600
Varyans	7,779
Standard Sapma	2,789
Çarpıklık	1,006
Basıklık	1,607

Netpro-Mine yazılımına aktarılan sondajlara ait analiz verileri ışığında, sondaj uzunluklarına ait kompozitleme istatistikleri baz alınarak, yazılımda yer alan algoritma sayesinde kompozitleme uzunluğu 3,30 m olduğu ortalama olarak görülmüş, katı modelin içerisinde kalan sondajlar alınarak yüzey topoğrafyası altında kalanlarla kompozit oluşturulmuştur.

Çizelge 4.4. Krom kompozit istatistikleri

Birim	Değer
Numune Sayısı	1274
En Küçük	0,300
Ortalama	3,282
Medyan	3,300
En Büyük	3,300
Varyans	0,040
Standard Sapma	0,199
Çarpıklık	-12,449
Basıklık	161,875

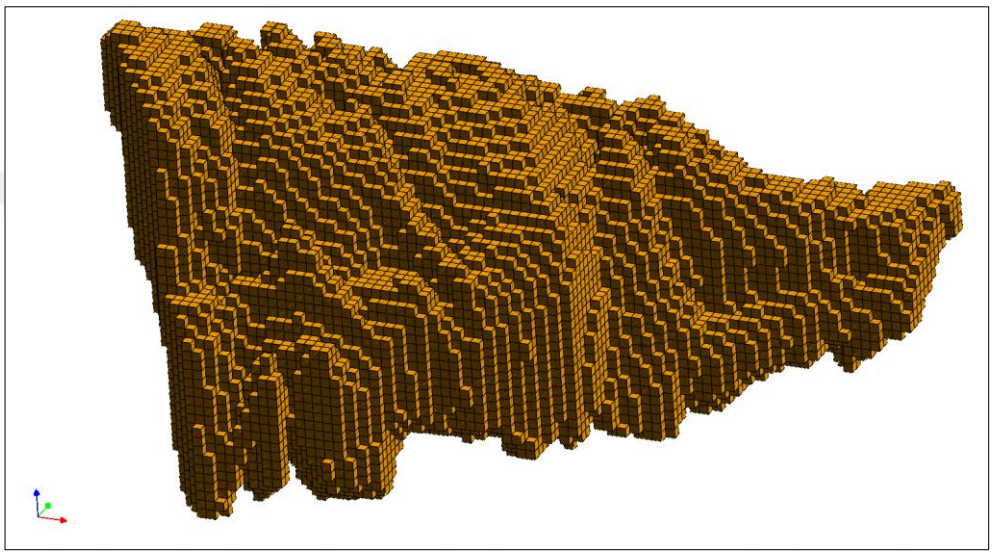
Çizelgeye bakıldığında, kompozitlerin yani analiz uzunluklarının ortalama 3,282 olduğu görülürken, bu dağılımın varyans katsayısı %6 olmaktadır. Yani; kompozit verilerinin dağılımı ortalamaya göre %6'lık bir değişim göstermekte ve verilerin homojenliğini göstermektedir.

4.2.2. Blok Model Oluşturulması

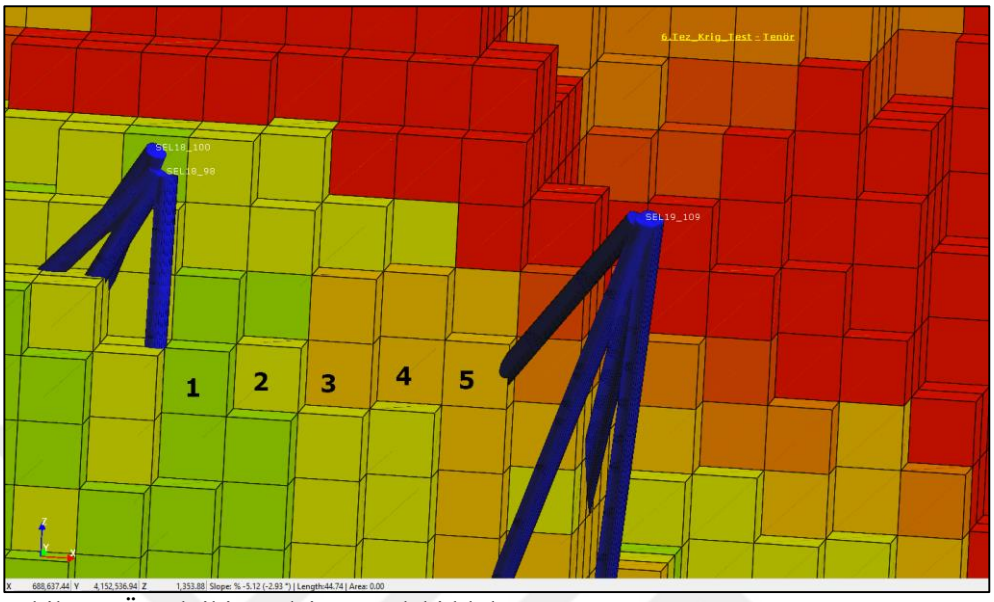
Jeoistatistiksel kestirim öncesi, katı modeli içerisine alacak şekilde oluşturulan blok model Şekil 4.8'de gösterilmektedir. Özkan ve Akbaba (2013) blok boyutları, örnekleme gridinden çok daha küçük belirlendiğinde, tahmin varyansının yüksek olacağını ve tahmin güvenilirliğinin azalacağını ifade etmişlerdir. İki sondaj arasındaki blok sayısının 4 ya da 5'i geçmemesi de uygulamada yaygın kabul edilen bir kural durumundadır.

Kaynak kestirim raporlamalarındaki uygulamalar neticesinde, ortalama sondaj aralığının %20'sinden daha küçük blok boyutu kullanmanın tahmin kalitesini riske atabileceğini göstermektedir. Blok yüksekliklerinin de kompozit numune uzunluğunun iki katı kadar alınması da yaygın görülen bir uygulamadır (Özkan ve Akbaba, 2013). Bu ifade uluslararası maden kaynak/rezerv raporlama standartları değerlendirilerek elde edilen bir sonuçtur. Bloklar 6mx6mx6m boyutlarında ve blok kabul yüzdesi %10 olacak şekilde tasarım parametresi kabul edilmiştir. Yukarıdaki

ifadeye göre Şelale ocak için geliştirilen blok modelde iki sondaj arasındaki blok sayıları ortalama 5 olmakta, dolayısı ile blok boyutunun kestirim için uygun olduğu düşünülmüştür. İki sondaj arasındaki blok sayısını gösterir görüntü Şekil 4.9'da yer almaktadır.



Şekil 4.8. Blok modelin kestirim öncesi görünümü



Şekil 4.9. Örnek iki sondaj arasındaki blok sayısının görünümü

Bu görüntüye sondajlar arasından gösterim için seçilen iki sondaj SEL18_98 ve SEL19_109 sondajlarıdır.

4.2.3. Krom Variogram Analizi

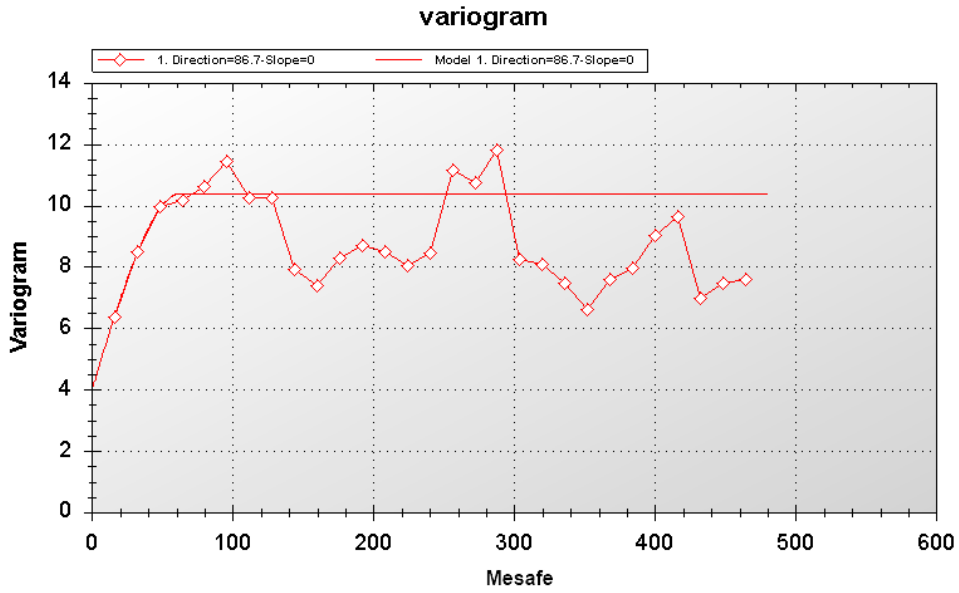
Tenör değerleri arasındaki uzaklığa bağlı ilişki variogram fonksiyou ile belirlenerek örnekleme yapılmamış noktalar için kestirimler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca; yaklaşık 27000 adetten oluşan mevcut cevher kütlesi bloklarına, 100 adet gauss simülasyonu da uygulanarak, elde edilen tenör değişkenliği gözlemlenmiştir. Daha önceki jeoistatistiksel simülasyon kısmında adımları ile bahsedildiği gibi, ardışık gauss simülasyonunda verilerin normal dağılıma sahip olduğu düşünülerek işlemler gerçekleştirildiğinden, işlemler sırasında özniteliği Tenör olan sondaj verisinin normal skor dönüşümü yapılarak, bunun üzerinden variogramları oluşturulmuş, simülasyon sonrasında oluşan 100 adet simülasyon verisinin geri dönüşümü (back transform) yapılarak orijinal verinin sahip olduğu yapıya

döndürülmesi sağlanmıştır. İndikatör olarak sondaj verileri üzerinde cevher "ORE" ve pasa "WASTE" ayrımı hazırlanarak sınıflandırılması yapılmıştır.

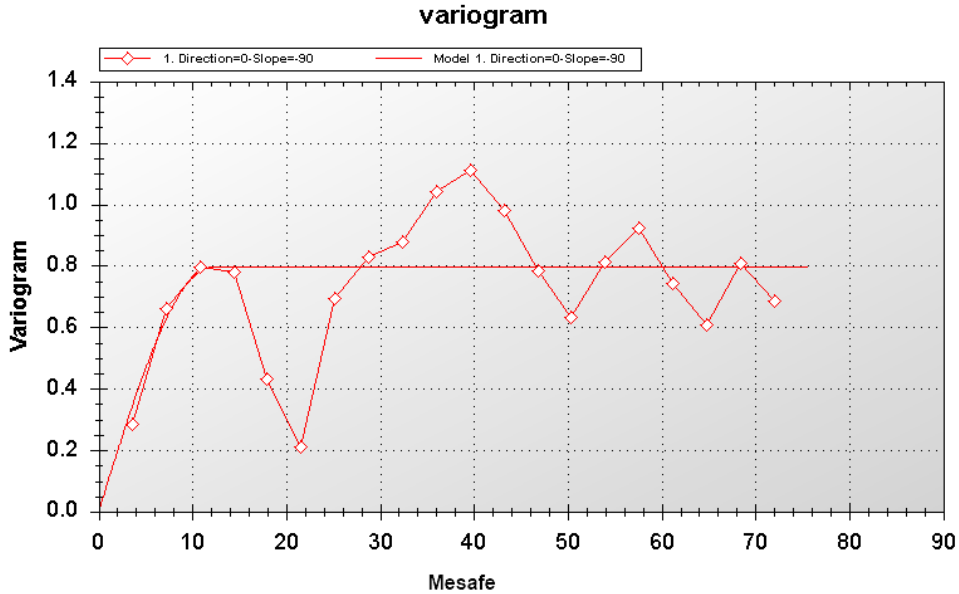
Bloklar oluşturulduktan sonra NetproMine yazılımında kriging kestirimi uygulanmak üzere öncellikle yatay ve düşey variogramlar oluşturulmuş ve kriging kestirimi bu değerler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu variogramların parametreleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. Bu parametrelere göre oluşturulan yatay variogram görüntüsü Şekil 4.10'da yer alırken, düşey varogram görüntüsü Şekil 4.11'de gösterilmektedir. Sahada yapılan bu çalışma neticesinde yatağın ilgili yön ve mesafelerde anizotropi gösterdiği görülmüştür.

Çizelge 4.5. Variogram parametreleri

Variogramlar	Yatay	Düşey
Adım Sayısı	29	20
Adım Aralığı	16	3,37
Adım Toleransı	12,03	2
Yön	86,7	90
Eğim	0	90
Tolerans	22,5	22,5
Bant Genişliği	30	50
Külçe Etkisi	4	1,117
Çift Sayısı	116665	8220
Structure 1	6,385	8,384
Tip	Küresel	Küresel
Yapısal Uzaklık	63,17	15,5
Yön	86,7	0
Eğim	0	-90
Dalım	0	0



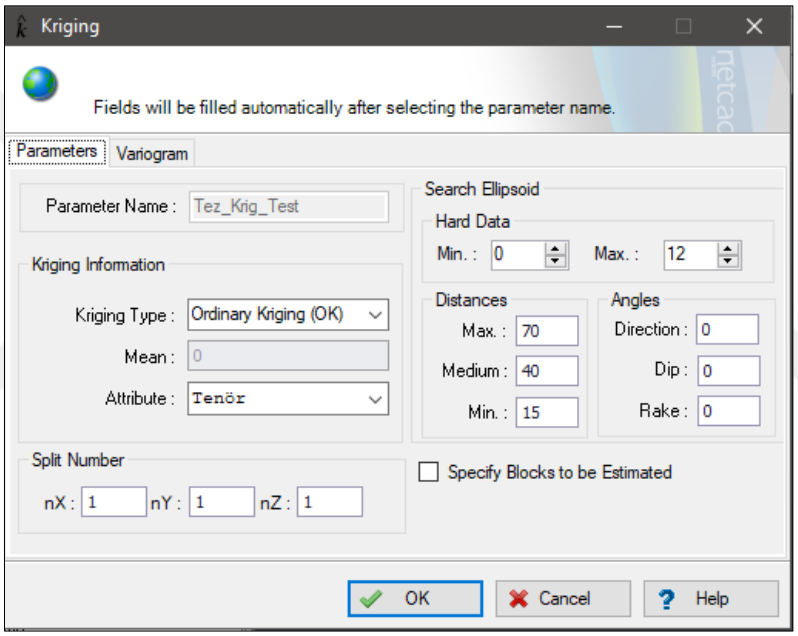
Şekil 4.10. Yatay variogram



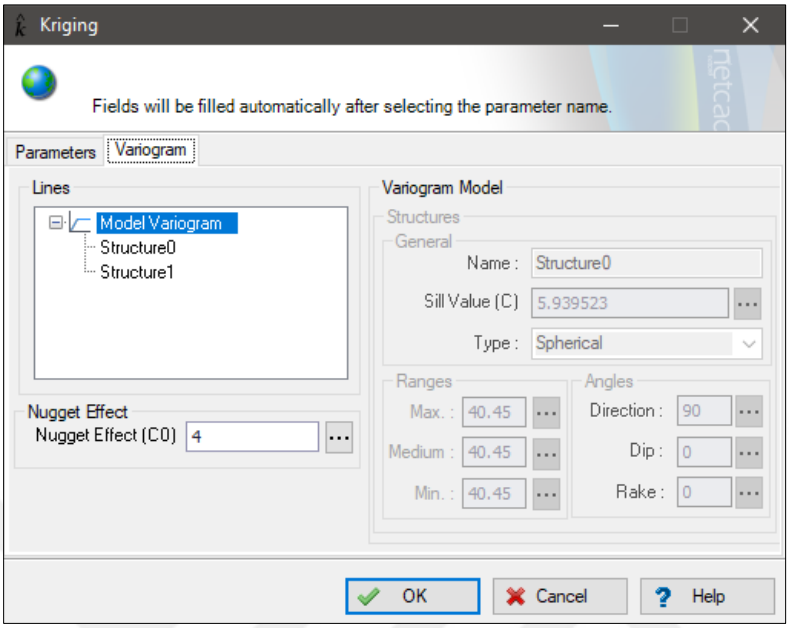
Şekil 4.11. Düşey variogram

4.2.3.1. Kriging

Variogramların oluşturulmasından sonra Kriging kestirimi uygulanmıştır, Kestirimde kullanılan parametrelerde Arama Elipsoid'inin minimum çapı 15,5 ve maksimum çapı 70 olarak Netpro-Mine yazılımı tarafından elde edilmiş, Kriging tipi Ordinary Kriging olarak seçilmiş, öznitelik daha önce sondajlara göre oluşturulmuş olan "Tenör" olarak seçilmiştir. Kriging uygulama penceresine ait görseller Şekil 4.12 ve 13'te verilmiştir.

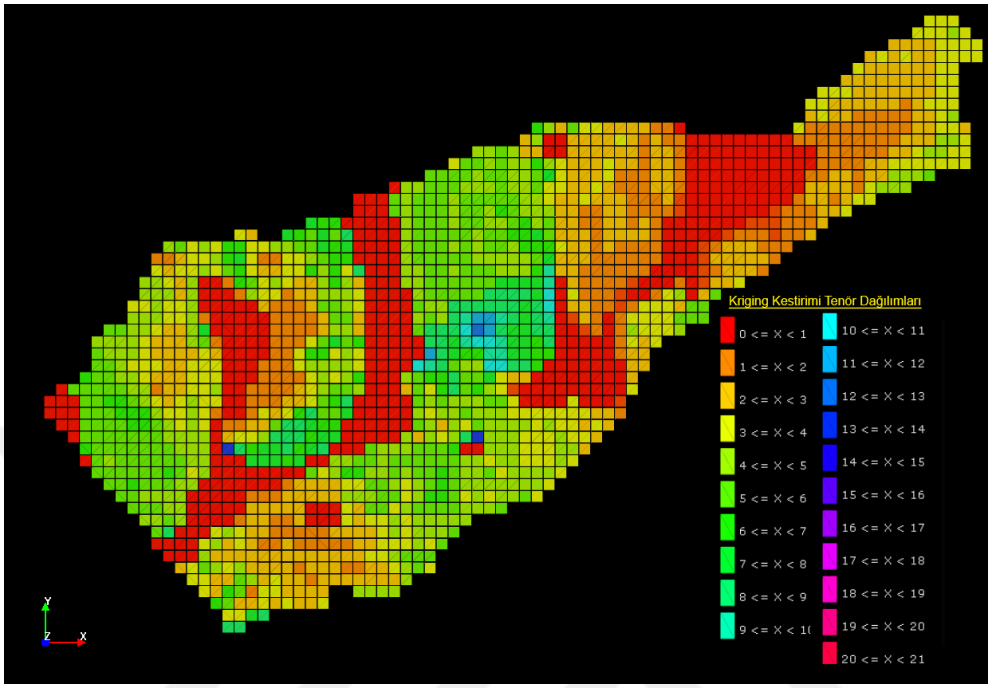


Şekil 4.12. Kriging uygulama penceresi parametre giriş ekranı

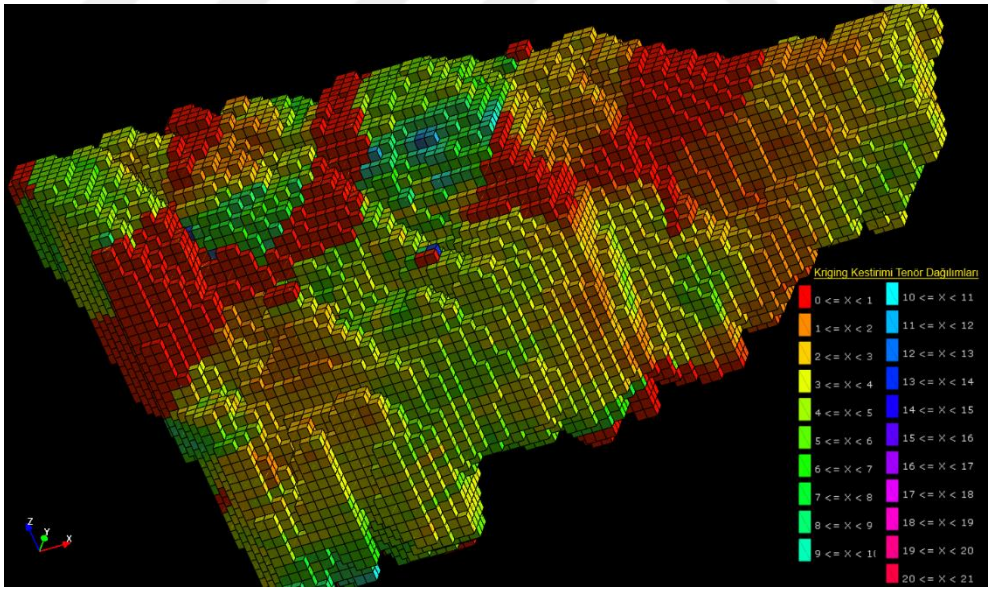


Şekil 4.13. Kriging uygulama penceresi variogramların seçimi

Kriging kestirimi sonrasında blok modellerde oluşan tenör dağılımı görüntüsü Şekil 4.14 ve 4.15'te verilmiştir. Şekle bakıldığında en düşük tenörlerin cevher kütlesinin Kuzey-Doğu istikametindeki ucunda ve Güney-Batı ucunda kümelendikleri, daha zengin ancak az miktarda olan cevherleşmenin ise cevher kütlesinin merkezinde toplandığı görülmektedir.



Şekil 4.14. Kriging kestirimi sonrası cevher tenörlerinin plan görüntüsü

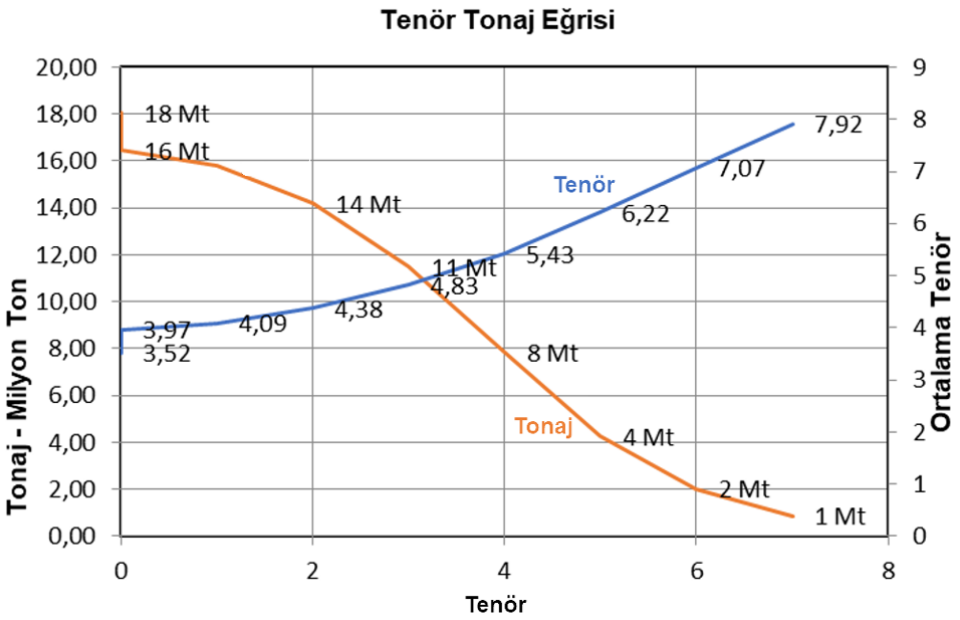


Şekil 4.15 Kriging kestirimi sonrası cevher tenörlerinin düşey görüntüsü

Tenörlerin dağılımına göre oluşan tonajlar ise Çizelge 4.6'da verilmiştir. Buna göre tabloya bakıldığında yaklaşık 15.800.000 tonluk bir kaynak görülmektedir. Burada tenör-tonaj tablosu oluşturulurken %1 tenörden düşük olan cevher blokları çizelgeye alınmamıştır. Tenör-Tonaj eğrisi grafiği ise Şekil 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Tenör-Tonaj dağılımları

Tenör % (<=)	Tenör % (>)	Hacim (m^3)	Tonaj (t)	Blok Sayısı	% Hacim	Kümülatif Toplam Hacim
1	2	602.640	1.627.128	2.790	3,81%	602.640
2	3	1.008.720	2.723.544	4.670	6,37%	1.611.360
3	4	1.340.712	3.619.922	6.207	8,47%	2.952.072
4	5	1.321.272	3.567.434	6.117	8,35%	4.273.344
5	6	834.192	2.252.318	3.862	5,27%	5.107.536
6	7	429.408	1.159.402	1.988	2,71%	5.536.944
7	8	213.192	575.618	987	1,35%	5.750.136
8	9	82.080	221.616	380	0,52%	5.832.216
9	10	15.768	42.574	73	0,10%	5.847.984
10	11	11.232	30.326	52	0,07%	5.859.216
11	12	1.296	3.499	6	0,01%	5.860.512
12	13	864	2.333	4	0,01%	5.861.376
13	14	648	1.750	3	0,00%	5.862.024
20	21	216	583	1	0,00%	5.862.240
Toplam:		**5.862.240**	**15.828.048**	**27.140**		
Ortalama Tenör:			**4,09**			



Şekil 4.16. Kriging kestirimi sonrası tenör-tonaj eğrisi

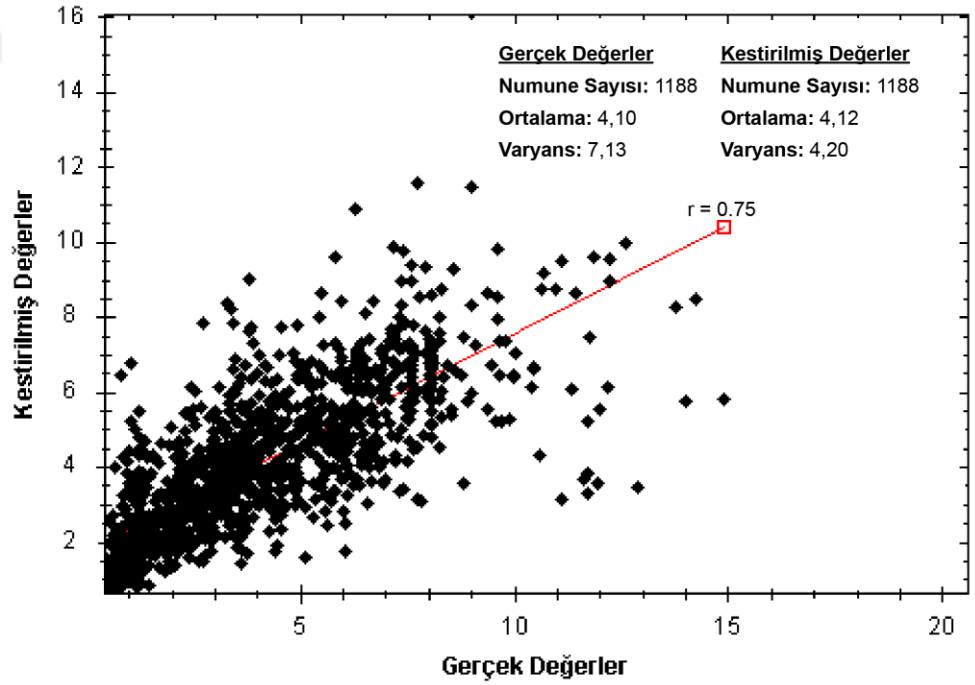
4.2.3.2. Çapraz Doğrulama

Semivariogram model parametrelerinin belirlenmesine yönelik sık kullanılan yöntemlerden biri olan çapraz doğrulama ile seçilen modelin doğruluğunun test edilmesidir. Parametrelerin belirlenmesi sonrası kestirim ile lokasyonun gerçek tenör değeriyle tahmini değeri arasındaki fark (tahmin hatası) hesaplanır. Bu işlem diğer veriler içinde tekrarlanarak, elde edilen tahmin hataları o tahmine ait kriging standart sapma değerine bölünerek indirgenmiş hatalar elde edilir.

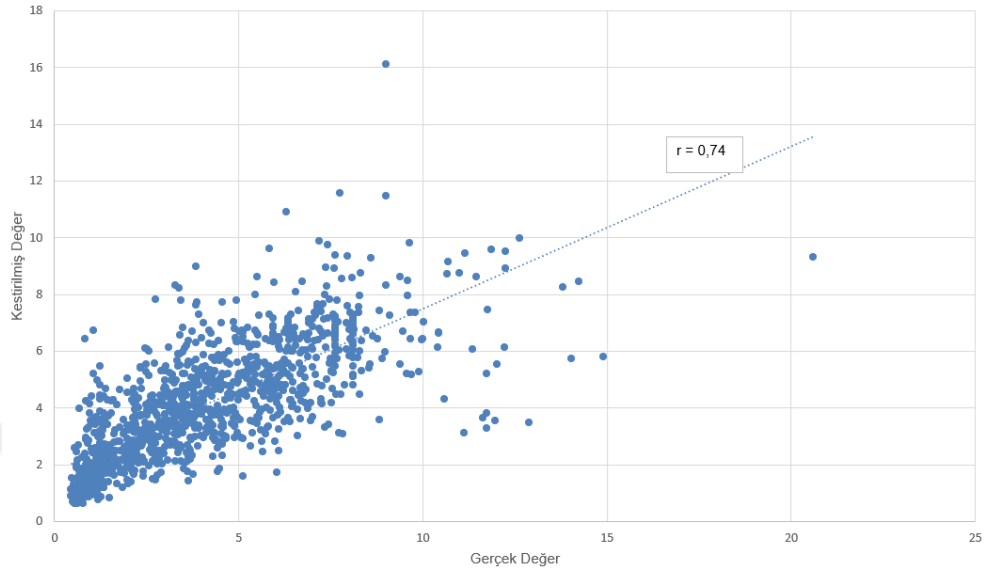
Bu çalışmada kriging kestirim parametreleri ve variogramlarının doğruluklarının değerlendirilmesi için çapraz doğrulama yapılmıştır. Buna göre, mevcut kompozit verisinde bulunan orijinal tenör değeri ile kestirim sonrasında elde edilen kestirilmiş tenörler arasındaki bağıntının güçlülüğü, kestirimin tahmin gücünü de göstermiş olacaktır. Mevcut cevher yapısı ve yapısal özelliklerinden dolayı bu bölgede oluşturulan numunelendirmelere bağlı variogram sonucundaki

kestirimlerde en fazla 0,75 korelasyon katsayısına yaklaşabilmiştir. Bu düzey kabul edilerek kestirimin uygulanabilirliğine karar verilmiştir. NetproMine yazılımında yapılan çapraz doğrulamaya ait ekran görüntüsü Şekil 4.17'de verilmiştir.

Ayrıca 1188 örneğin gerçek değerleri sistemden alınarak gerçek değerler ile karşılaştırılmış ve aşağıdaki regresyon grafiği oluşturulmuştur. Buna göre kestirilen değerler %75 oranında gerçek değerlere yakınlık göstermektedir. Bu durum Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Çapraz doğrulama sonuç ekranı

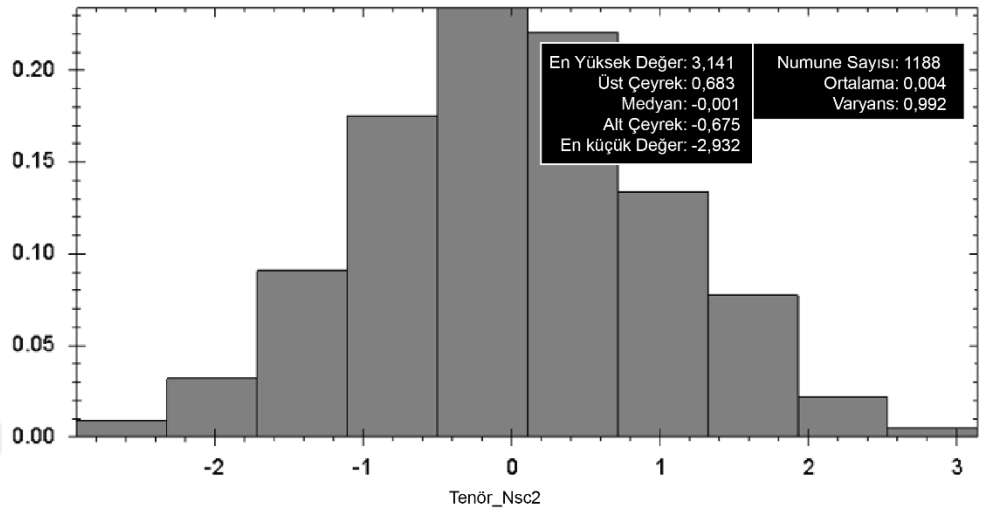


Şekil 4.18. Çapraz doğrulama karşılaştırma grafiği

4.2.3.3. Ardışık Gauss Simülasyonu Uygulaması

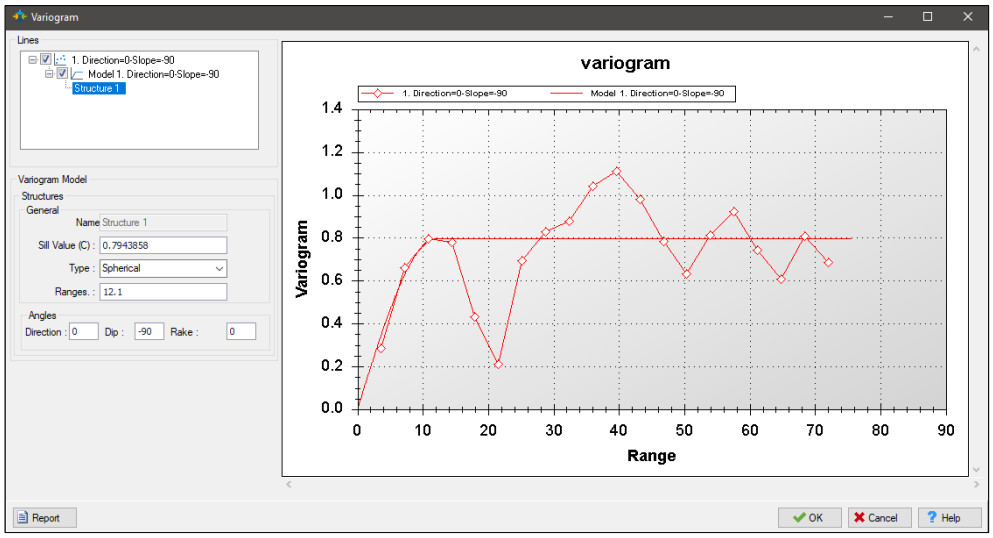
Daha önce Ardışık Gauss Simülasyonu (SGSim) kısmında verilen simülasyon adımlarında değinildiği gibi, öncelikle kestirim kısmında verinin analizi yapılmıştır. Daha sonra veriler, ikinci adım olan normal dağılıma dönüştürülmüşlerdir. Burada dönüştürülen veriler elbette "Tenör" özniteliğindeki tenör değerleridir.

Bu veriler, ortalaması 0 ve varyansı 1 olan normal dağılıma dönüştürülmüştür. Burada Non-Parametric dönüşüm uygulanmıştır. Normal dağılım dönüşümü sonrası oluşan yeni dönüştürülmüş özniteliğin (Tenör_Nsc2 ismi verilmiştir) histogramı Şekil 19'daki gibidir.

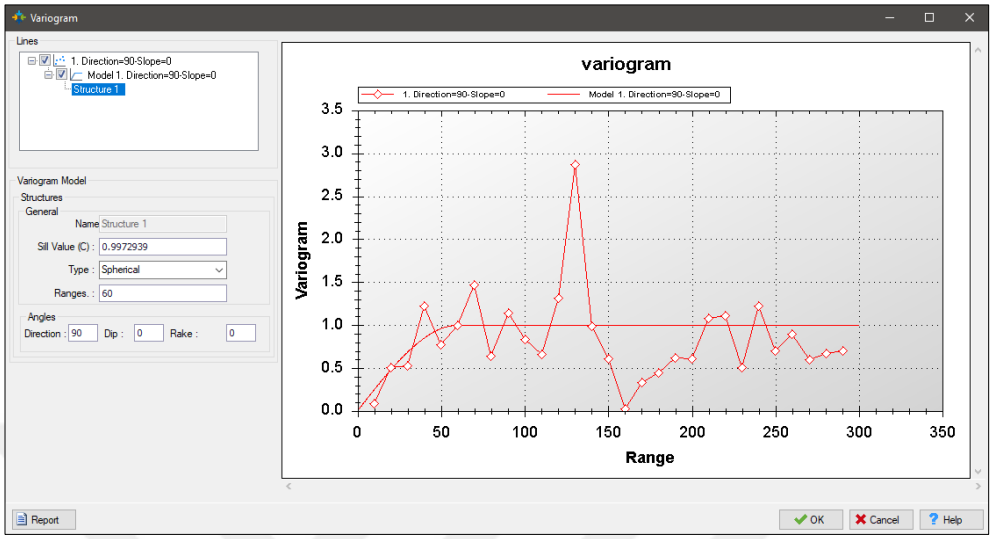


Şekil 4.19. Normal dağılım sonrası öznitelik histogramı

Bir sonraki adım yine ilgili akım şemasında belirtildiği üzere, bu öznitelik değerine uygun variyogramların belirlenmesidir. Dönüştürülmüş olan veriye yatay ve düşey variyogramlar uygulanmıştır. İlgili variyogramlar Şekilde 4.20 ve 4.21'de verilmiştir.

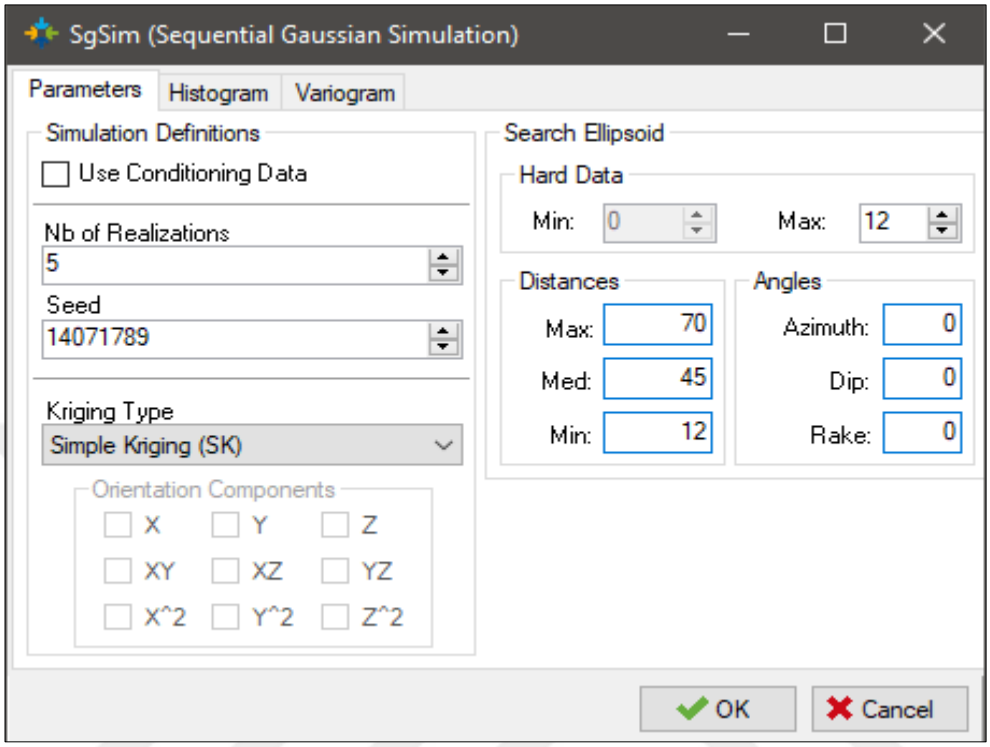


Şekil 4.20. Simülasyon düşey variyogramı



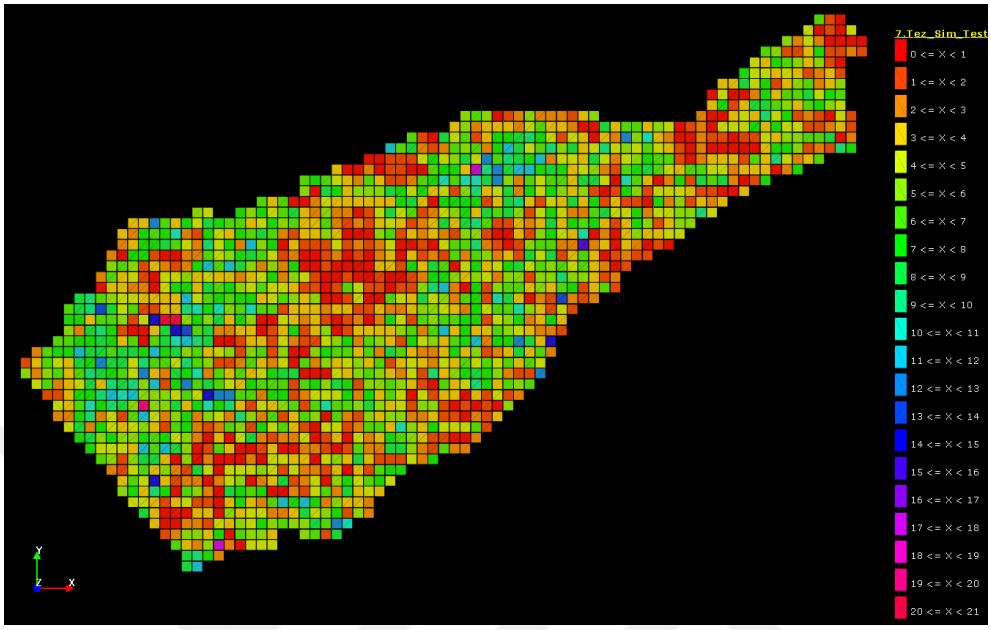
Şekil 4.21. Simülasyon yatay variyogramı

Simülasyonda dikkat edilmesi gereken husus Nugget+Sill değerinin 1'den büyük olmaması gerekliliği yani varyansdan büyük olmaması gerekliliğidir. İlgili parametrik veriler simülasyon oluşturma ekranına girilir, SGSim'de çoğunlukla simple kriging kullanıldığı için bu çalışmada da Simple Kriging tercih edilerek 100 adet simülasyon gerçekleştirilir. İlgili parametre giriş ekranı Şekil 4.22'de verilmiştir.



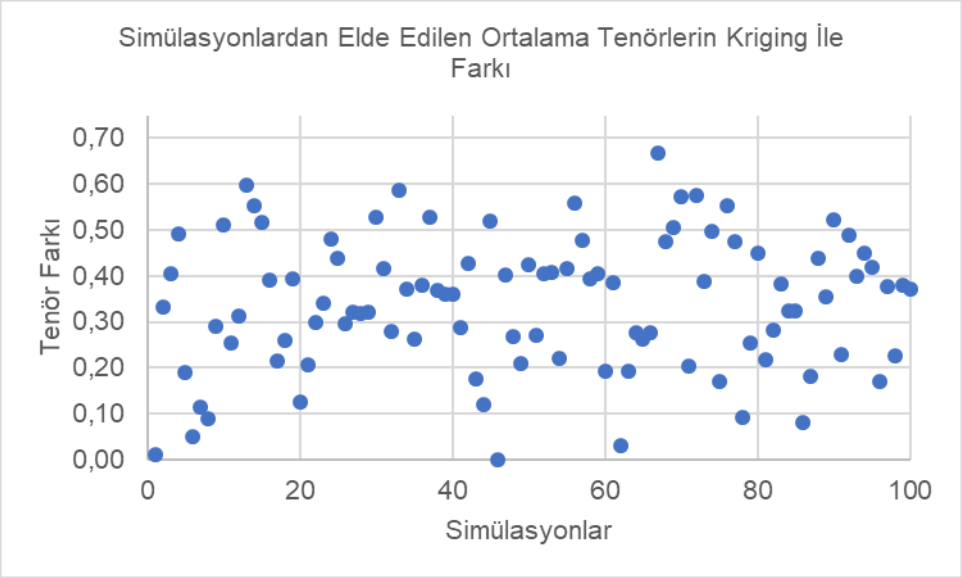
Şekil 4.22. Simülasyon parametre ekranı.

Simülasyon kestirimi sonrasında, bloklara kestirim değerinin aktarılabilmesi için normal dağılıma dönüştürülmüş verilerin, yeniden ilk haline geri dönüştürülmesi gerekmektedir (back-transform). Dolayısı ile, daha önce non-parametric kısmında yapılan haliyle, bu sefer normal dağılım olan veri istatistikleri verilen ilk haline non-parametric olarak dönüştürülmüştür. Oluşan 100 adet simülasyondan örneğin 84 numaralı simülasyonun ekran görüntüsü Şekil 4.23'te verilmiştir.

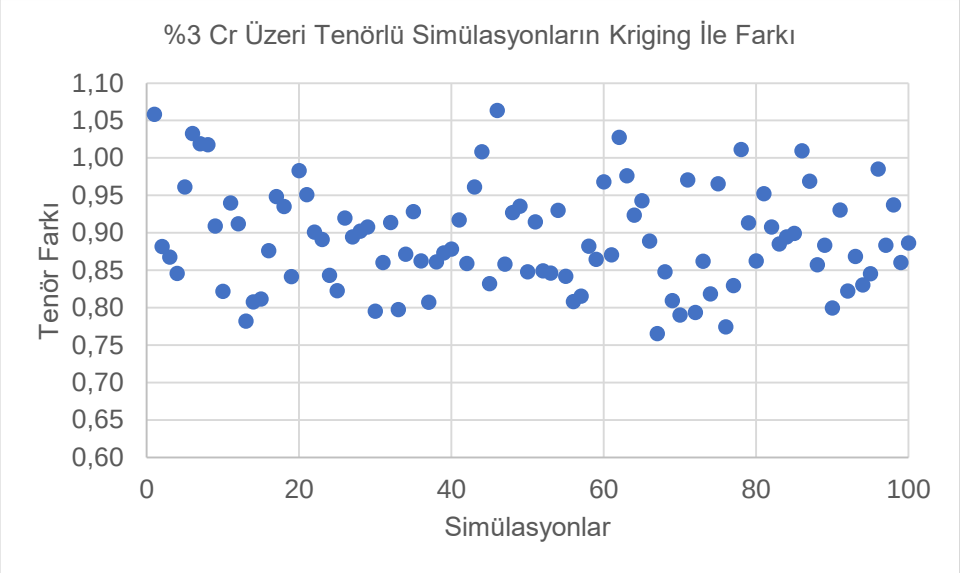


Şekil 4.23. 84 numaralı simülasyona ait ekran görüntüsü

100 simülasyona ait ortalama tenör-tonaj raporuna ait özet sonuçlar bu tezin Ekler-2 kısmında yer almaktadır. Simülasyonlardan elde edilen tonaj ve ortalama tenör ve tonajların, Krigin kesitirmi sonucunda elde edilen tonaj ve ortalama tenörle oluşturdukları farklara ait dağılım grafiği Şekil 24'te yer almaktadır. Simülasyonlardan elde edilen %3 ve üzeri tenörlü blokların ortalama tenör ve tonajlarının, Kriging kestiriminden elde edilen ve %3 ve üzeri tenörlü blokları hesaba alan ortalama tenör ve tonajlara ait farkların dağılımını gösterir grafik Şekil 25'te görülmektedir.

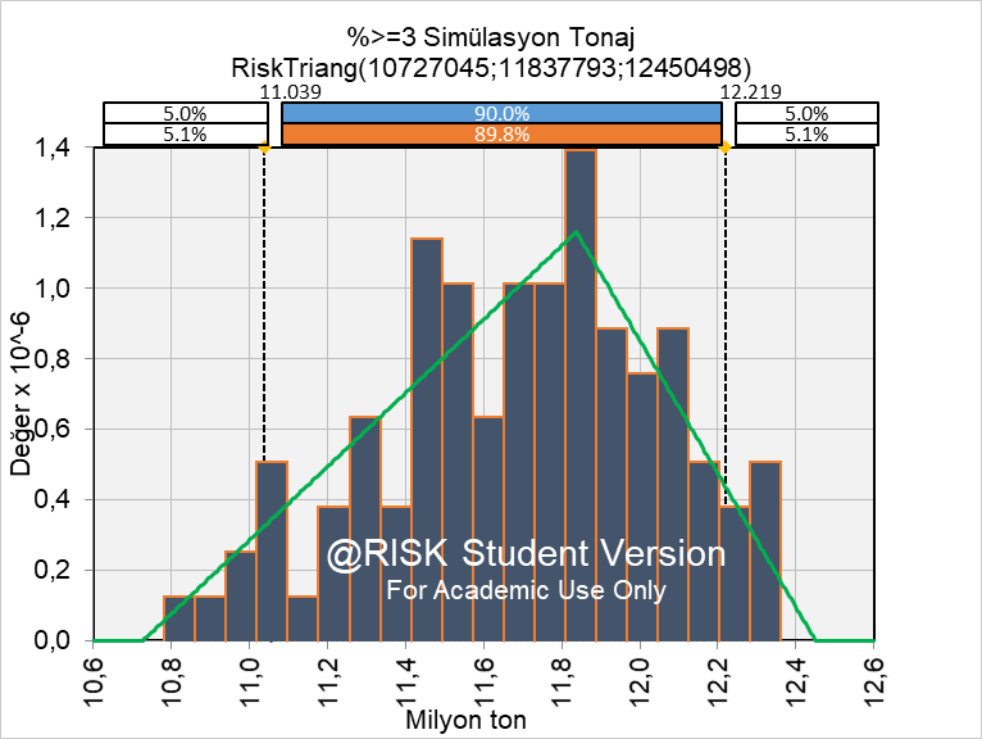


Şekil 4.24. Simülasyonların Kriging kesitiminden elde edilen tonaj ve tenör farklarını gösterir dağılım grafiği

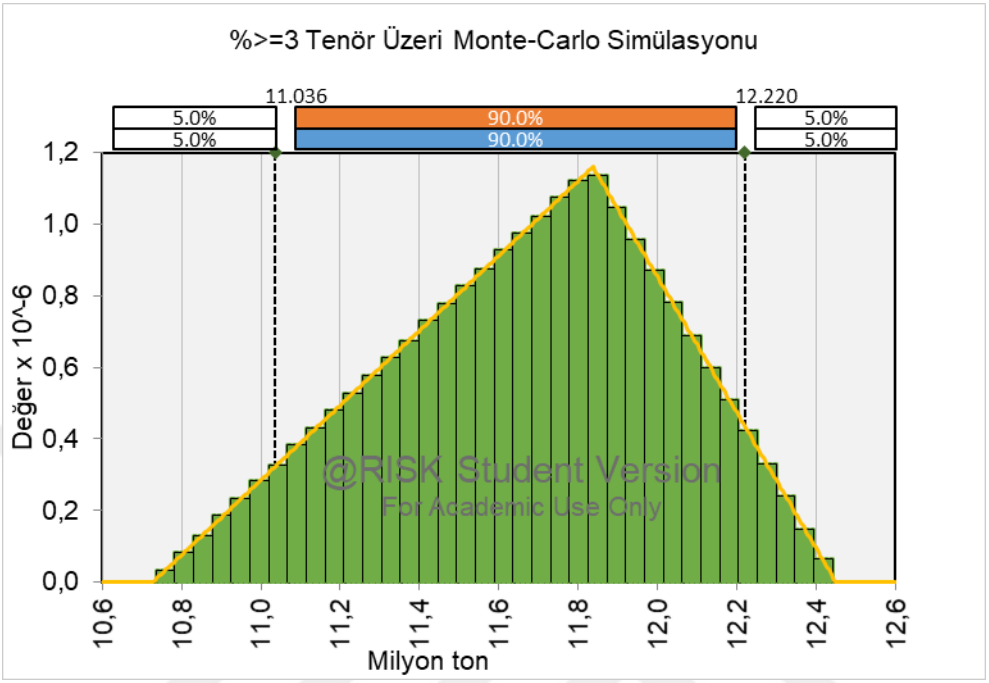


Şekil 4.25. %3 Cr ve üzeri tenörlü Simülasyonların Kriging kesitiminden elde edilen tonaj ve tenör farklarını gösterir dağılım grafiği

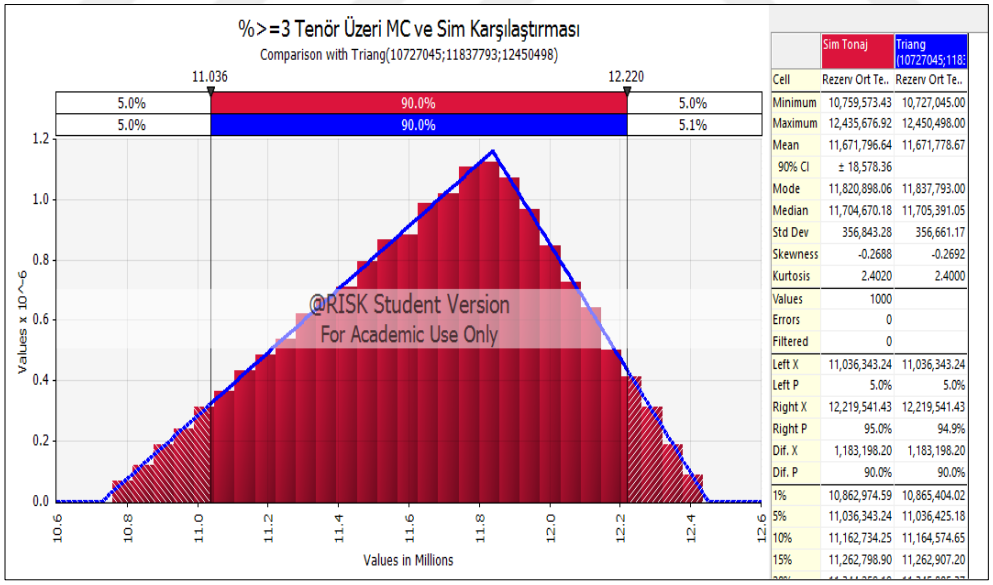
Bu 100 simülasyonda %3 Cr_2O_3 tenörlü blokların dağılımına bakılacak olursa; sonuçların üçgen bir dağılıma sahip olduğu, minimum 10.727.045 ton kaynak sunarken, maksimum 12.450.498 ton ve en muhtemel de 11.837.793 ton kaynak sunabileceği görülmektedir. Şekil 4.26'da dağılıma ait grafik görülmektedir. Dağılım sonucuna 1000 adet Monte-Carlo simülasyonu uygulanarak sonuç grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.27'de görülmektedir. Çizelge 4.7'de ise Monte-Carlo simülasyonu ve üçgen dağılıma sahip sonuçlar arasındaki istatistiksel ilişkilerin karşılaştırması yer almaktadır. Simülasyon sonucunda %90 güven aralığında (%3 Cr ve üzeri tenörlü bloklar) 11.671.797 ton bulunmuş ve bu değerin miktar olarak güvenilirliği ±18.578 tondur.



Şekil 4.26. %3 tenör üzeri simülasyonların dağılım grafiği



Şekil 4.27. %3 tenör üzeri Monte-Carlo simülasyonu sonucu grafiği



Şekil 4.28. %3 tenör üzeri Monte-Carlo simülasyonu ve Simülasyon sonucu grafiği

Çizelge 4.7. Monte-Carlo Simülasyon ve Gauss simülasyonları dağılımının istatistiksel karşılaştırması (%3 tenör üzeri tonajlar baz alınmıştır)

Açıklama	Monte-Carlo	Triangle Tonaj Dağılımı
Minimum	10.759.573 ton	10.727.045 ton
Maksimum	12.435.677 ton	12.450.498 ton
Ortalama	11.671.797 ton	11.671.779 ton
90% Güven Aralığı	*± 18.578 ton*	
Mod	11.820.898	11.837.793
Medyan	11.704.670	11.705.391
Std Sapma	356.843	356.661
Çarpıklık	-0,2688	-0,2692
Düşüklük	2,402	2,400
İterasyon Sayısı	1000	

4.3. Optimizasyon Uygulaması

Optimizasyon çalışmasında aşağıdaki ana yapıyı oluşturan adımlar takip edilmiştir:

1. Fiyat öngörüsü: optimizasyon uygulanan ocağın üreteceği cevhere ait mevcut yıldan başlayarak üretilecek olan periyotları içerisine alacak şekilde cevherin satış fiyatı öngörüsünün yapılması.
2. Ekonomik blok değerleri: oluşturulan blok modeldeki her bir bloğa barındırdığı parametrelere göre ekonomik değerin atanması.

   Blokların yazılıma aktarılması: ekonomik değer atanan bloklar SimSched DBS yazılımına aktarılarak, gerekli üretim, dekapaj, madencilik genişlik vs. gibi parametreler oluşturulacak, daha sonra bu parametrelerden, Materyal ve Yöntem bölümünde açıklanan madencilik genişliği, düşey ilerleme hızı, taban genişliği parametreleri değiştirilerek farklı ocak yüzeyleri ve elde edilen NBD değerleri ile bu değerlerin karşılaştırılması.

4.3.1. Satış Fiyatı Öngörüsü

Satış fiyatı, öngörü yapılarak; gelecek yıllarda oluşabilecek cevher satış fiyatının, zaman serilerine uydurularak belirlenmesi üzerine kurulmuştur. Optimizasyonda kullanılacak öngörü için tesiste tüvenan krom cevherinin işlenmesi sonucunda elde edilecek %46-48 tenör bandında konsantre cevherin 01.01.2011-30.08.2019 tarihleri arasındaki geçmiş satış fiyatları Çin teslim olarak alınmış ve veri seti oluşturulmuştur (https://data.ferroalloynet.com).

Daha önce bahsedilen emtia fiyatları, emtia stokları, cevher ihracat veya ithalat rakamları alınarak yüksek oranlı korelasyon oluşturup oluşturmadıklarına bakılmıştır. Oluşan korelasyonlar Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Korelasyon türleri ve elde edilen katsayıları

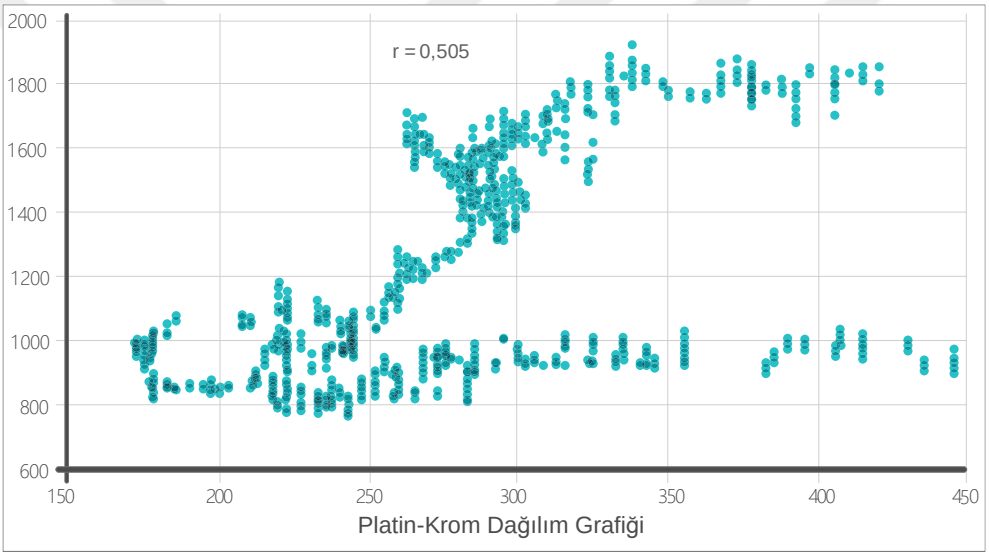
Korelasyon Türü	Korelasyon Katsayısı
Çin Krom Stok Miktarı (ton)	0.235
Güney Afrika Krom İhracatı (ton)	-0.265
Çin Ferro-Krom İthalatı (ton)	-0.431
Çin Nikel Stokları (ton	-0.084
Çin Krom İthalatı (ton)	0.168
Çin Yüksek Karbonlu Ferro-Krom Çıktısı (ton)	0.098
Çin-Güney Afrika Mn İthalatı (ton)	0.437
Pakistan Krom İthalatı (ton)	0.339
Kazakistan Yük. Karborlu Ferro-Krom İthalatı (ton)	-0.045
Platin Spot Satış Fiyatı ($/ton)	0.505

Çizelgeden de görüleceği üzere en yüksek korelasyonun Platin fiyatları ile olduğu buna en yakın olanın ise Çin ferro-krom ithalatı (negatif yönlü) ve Çin'in Güney Afrika'dan ithal ettiği Mn ithalatı (pozitif yönlü) olduğu görülmektedir. Dolayısı ile geçmiş verisi alınan krom fiyatları ile aynı tarihte olan Platin fiyatları korelasyon çalışmasında kullanılmıştır. Korelasyonda @Risk yazılımında Spearman Rank yöntemi kullanılmaktadır.

Çizelge 4.9. Krom ve platin fiyatları istatistiksel veri sonuçları

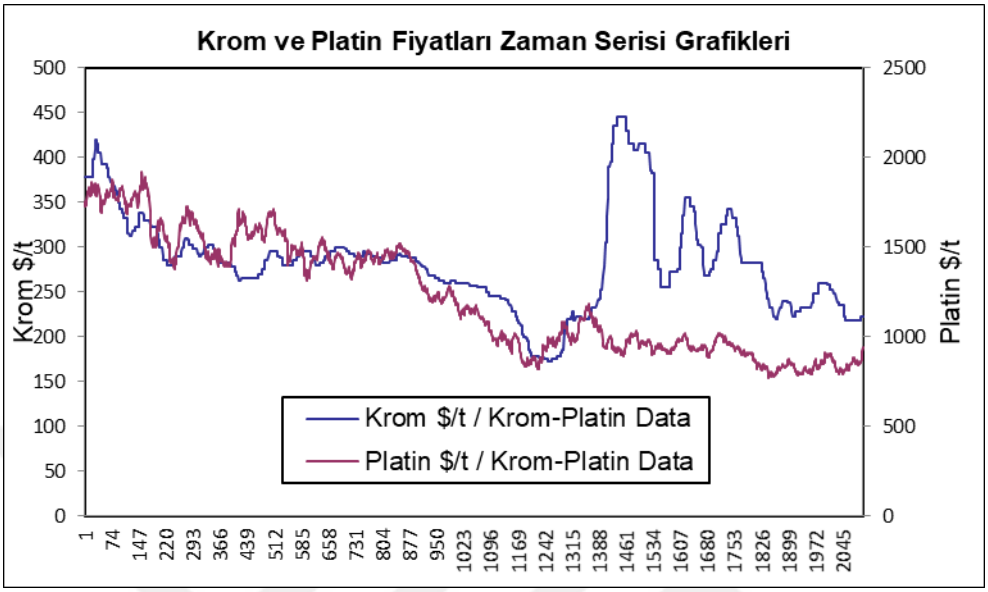
İsim	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma	5%	95%	Sayı
Krom	172,5	445	283,06	55,18	200	405	2099
Platin	765,2	1917,40	1220,91	320,86	820	1780	2099

Yine aynı yazılımda korelasyonların genel görüntüsünü görmek açısından dağılım grafiklerine bakıldığında Krom-Platin veya Platin-Krom olarak Şekil 4.29'daki dağılımlar gözlemlenecektir.



Şekil 4.29. Platin-Krom dağılım grafiği

Geçmiş tarihli veriler ışığında Krom fiyatları ve Platin fiyatlarındaki zaman serileri grafikleri Şekil 4.30'da yer almaktadır. Mavi ile gösterilen krom fiyatlarının, kırmızı ile gösterilen Platin fiyatlarına uygun bir trendi takip ettiği görülebilmektedir.



Şekil 4.30. Krom ve platin zaman serisi grafiği

Krom ve platin geçmiş fiyatları arasında korelasyon çalıştırıldığında Çizelge 4.10'daki korelasyon matrisi oluşmaktadır.

Çizelge 4.10. Krom-Platin korelasyon matrisi

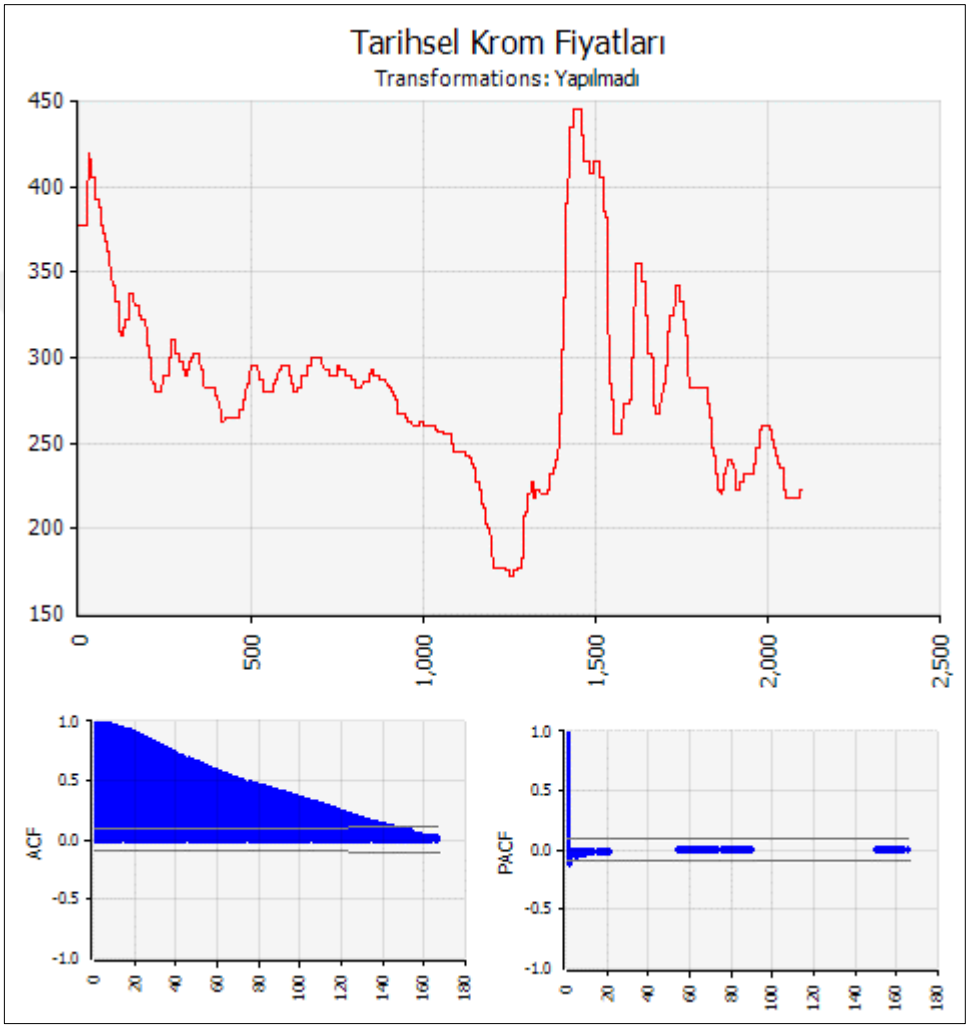
	Platin	Krom
Platin	1,00	
Krom	0,505	1,00

Bu korelasyon ışığında Krom ve Platin'e zaman serisi uygulanarak daha sonra çıkan sonuçlar kendi arasında korelasyona tabii tutulmuş ve çıkan sonuçlar üzerine de tüm periyotlardaki değerlere 5000 adet monte-carlo simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

4.3.1.1. Krom Fiyatının Zaman Serisine Uydurulması

2099 adet tarihsel Çin teslim fiyat verisi bulunan Krom satış fiyatı verisi öncelikle zaman serisine uydurma (fitting) ekranında dönüştürülerek durağan hale

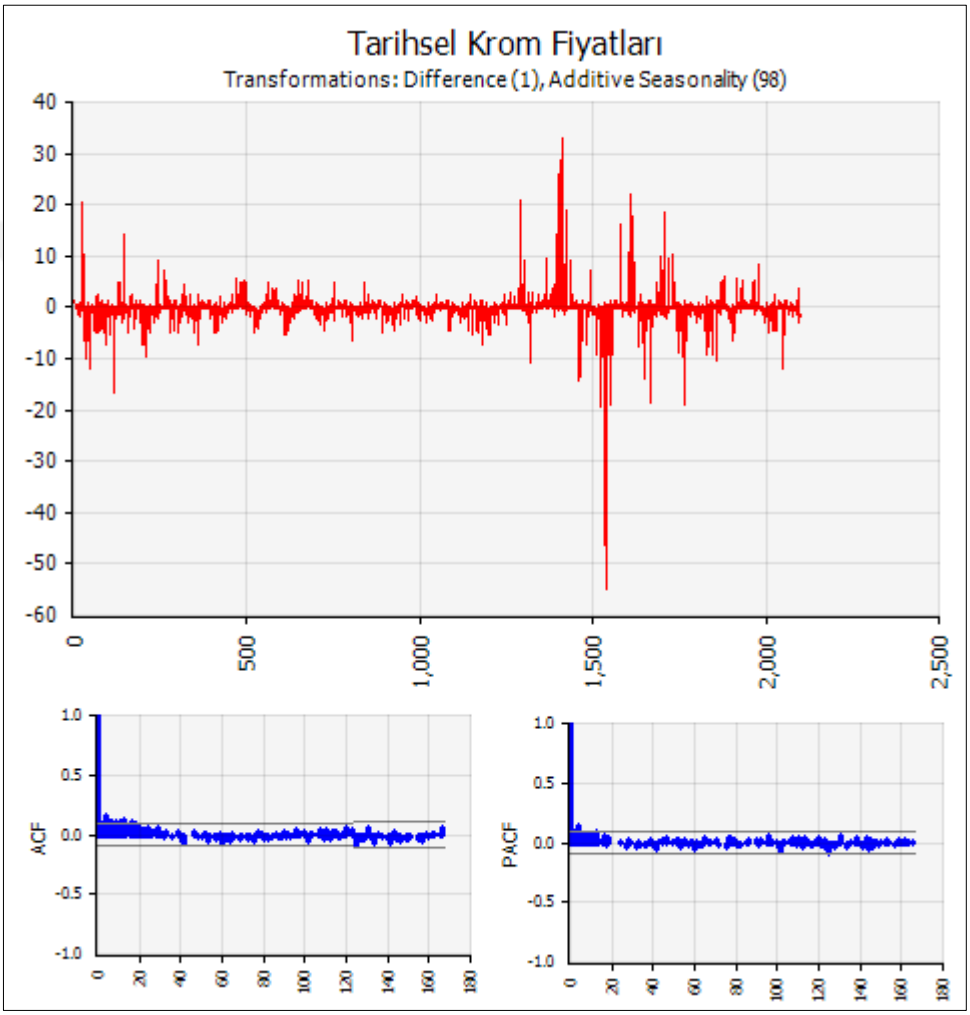
getirilmiştir. Şekil 4.31'de verinin dönüştürülmeden önceki hali ve ACF ve PACF aralıklarındaki durumu görülmektedir.



Şekil 4.31. Krom fiyatları dönüşüm öncesi grafikleri

Daha önce bahsedildiği üzere dönüşüm uygulanması için burada trend ve sezonun giderilmesi işlemleri uygulanmıştır. Detrend seçeneğinde "First Order Differencing" yani "ilk sıranın farkı" seçilirken, "Deseasonalize" yani sezonun ortadan kaldırılmasında "Additive" yani eklemeli seçeneği seçilerek periyodu 98

olarak belirlenmiştir. Bu parametreler ışığında durağan hale getirilen verinin görünümü Şekil 4.32'deki gibidir. Görüldüğü gibi ACF ve PACF grafiklerinde veri, yatay sınırlar arasına alınmış olmaktadır.



Şekil 4.32. Krom fiyatları dönüşüm öncesi grafikleri

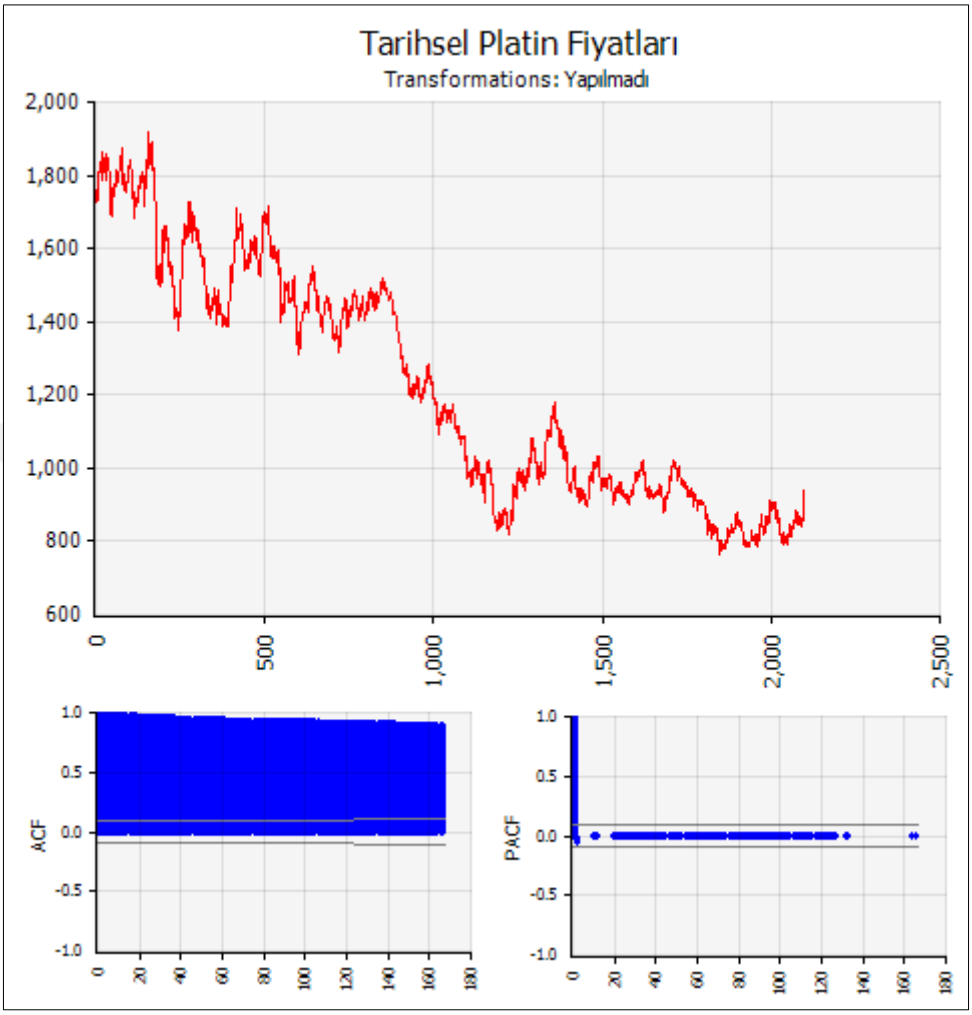
Verinin durağan (stationary) hale getirilmesinden sonra, öngörü yapılmak istenen 84 periyotluk zaman satırı Excel'de seçilerek, Krom için bu periyotlarda oluşacak tahmini fiyat serisi ortaya çıkmaktadır.

Burada iki yöntem kullanılmıştır, bunlardan birincisi verinin manuel dönüştürülmesi ve zaman serisinin seçilmesi ile oluşturulan BMMR (Brownian Motion Mean Reverting) ve diğeri de yazılımın otomatik algıladığı dönüşüm uyarlaması ile oluşan ARMA (Auto Regressive Moving Average) yöntemidir.

Her iki durumda da yaklaşık olarak Şekil 4.32'deki dönüşüm grafikleri elde edilmektedir. Fiyat öngörü sonuçlarında ise, BMMR yönteminde 227 dolarlık bir değere ulaşılırken ARMA zaman serisinde 270 dolarlık bir fiyat öngörüsüne ulaşılmıştır. Her iki fiyat zaman serisinde de 0,505'lik platin fiyatı bazlı korelasyon uygulanmıştır.

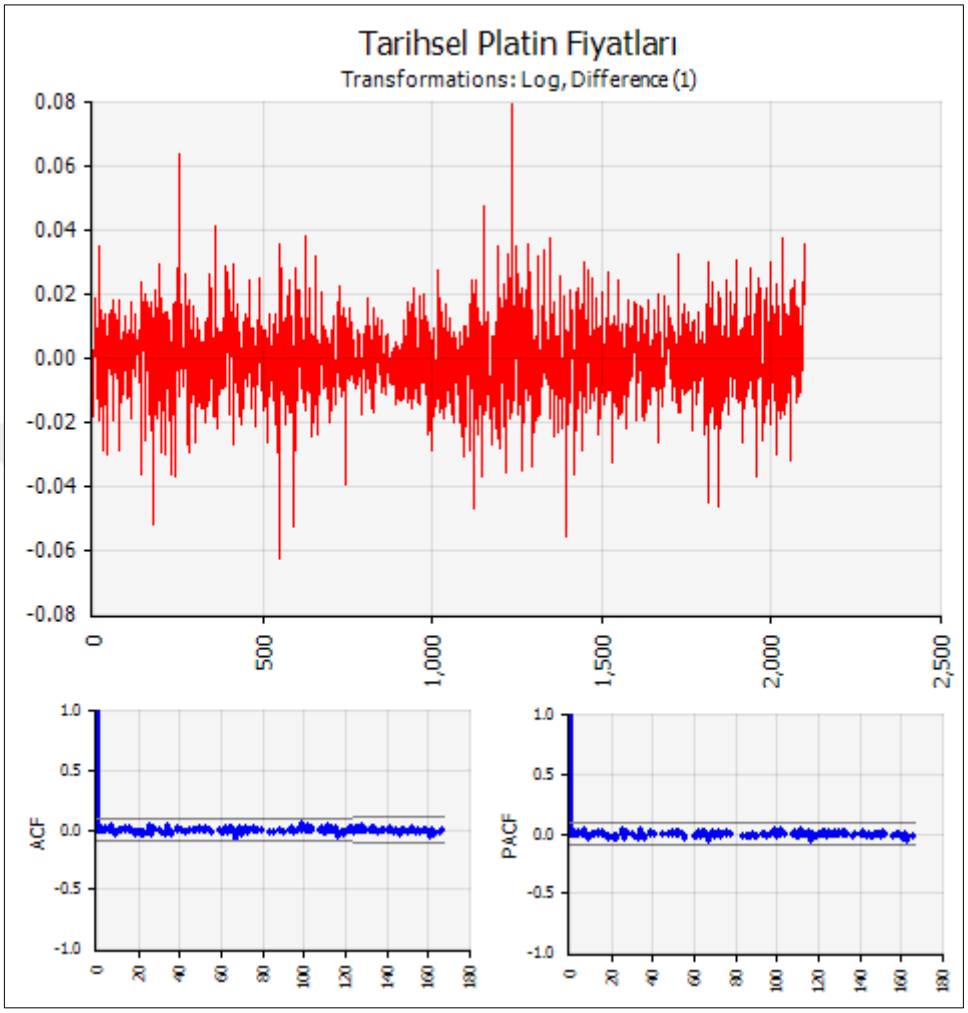
4.3.1.2. Platin Fiyatının Zaman Serisine Uydurulması

2099 adet tarihsel verisi bulunan Platin satış fiyatı verisi öncelikle zaman serisine dönüştürülerek veri durağan hale getirilmiştir. Şekil 4.33'te verinin dönüştürülmeden önceki hali ve ACF ve PACF aralıklarındaki durumu görülmektedir.



Şekil 4.33. Platin fiyatları dönüşüm öncesi grafikleri

Dönüşüm uygulanması için burada ise logaritmik dönüşüm ve trendin giderilmesi işlemleri uygulanmıştır. Detrend seçeneğinde "First Order Differencing" yani "ilk sıranın farkı" seçilirken, fonksiyon olarak logaritmik dönüşüm belirlenmiştir. Durağan hale getirilen verinin görünümü Şekil 4.34'teki gibidir. Görüldüğü gibi veri, ACF ve PACF grafiklerinde yatay sınırlar arasına alınmış olmaktadır.



Şekil 4.34. Platin fiyatları dönüşüm sonrası grafikleri

Verinin durağan (stationary) hale getirilmesinden sonra, öngörü yapılmak isten 84 periyotluk zaman satırı Excel'de seçilerek, Platin için bu periyotlarda oluşacak tahmini fiyat serisi ortaya çıkmış olacaktır.

4.3.1.3. Satış Fiyatı İçin Monte-Carlo Simülasyonu

84 periyotluk öngörüsü yapılmış olan Krom ve Platin fiyatları arasında daha önce Çizelge 4.8. Krom-Platin korelasyon matrisi çizelgesinde yer alan korelasyon

katsayısının bu öngörülere uygulanması gerekmektedir. @Risk yazılımında bu tarihsel öngörü verilerinin tamamı seçilerek (84 periyotluk Krom ve Platin öngörülerinin tamamı) "Define Correlation Matrix" işlemi ile korelasyon matrisi uygulaması açılmıştır ve 0,505 korelasyon katsayısı buraya girilerek veriler arasındaki korelasyon oluşturulmuştur.

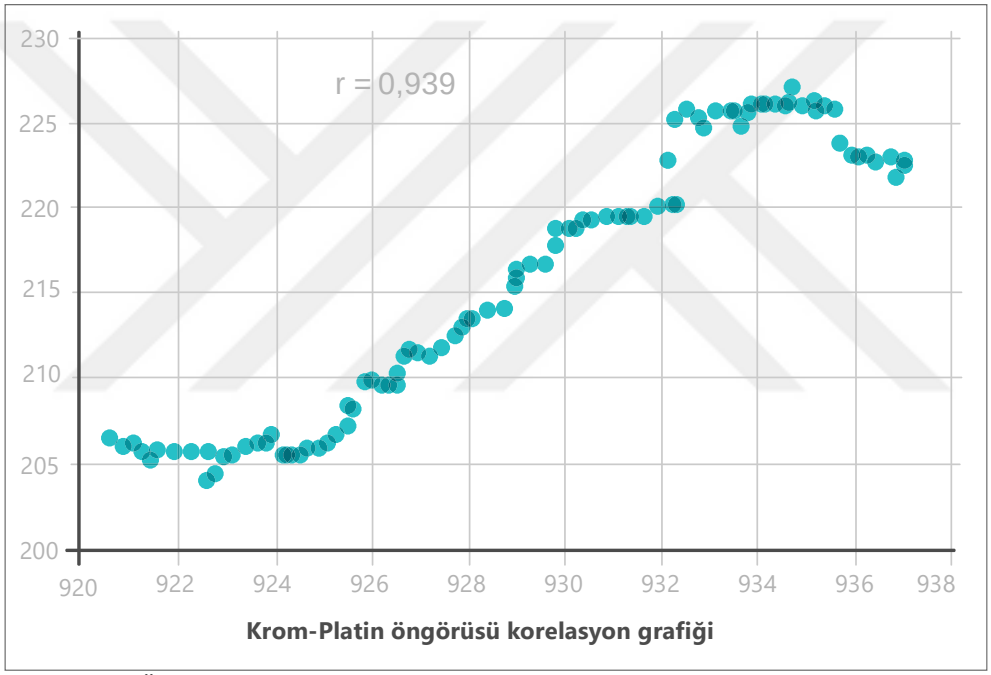
Bu noktadan sonra yazılım tarafından yapılan tüm öngörüler bu korelasyona göre uyarlanmıştır. Çıkan satış fiyatı öngörüsünün sonuçları Çizelge 4.11'de görüldüğü gibidir. Sonuçları tüm görebilmek adına ara periyotların bazıları silinerek burada çizelgeye konulmuştur. Görüleceği üzere BMMR yani kullanıcı tanımlaması yoluyla oluşturulan öngörüde fiyatlar zamanla azalırken, yazılımın otomatik seçimi ile oluşturulan öngörü değerleri bir süre düşmekte sonrasında ise yükselmektedir.

Çizelge 4.11. BMMR Korelasyonlu öngörü sonuçlarından 15 tanesi

	Öngörü-1		Öngörü-2	
Zaman Serileri	BMMR	BMMR	ARMA	MA
Periyot	Krom	Platin	Krom	Platin
1	222,90	937,04	211,13	937,03
2	221,87	936,87	211,62	936,82
3	223,11	936,67	212,12	936,62
4	222,48	936,47	212,63	936,41
5	223,22	936,28	213,16	936,20
6	223,09	936,08	208,89	935,99
7	223,08	935,88	209,43	935,78
8	223,82	935,68	209,97	935,57
9	226,01	935,48	210,53	935,36
10	225,77	935,28	211,09	935,15
11	226,25	935,09	211,66	934,94
81	205,40	921,31	269,53	920,02
82	206,03	921,11	271,26	919,80
83	205,77	920,92	273,01	919,59
84	206,39	920,72	274,76	919,36

Krom piyasasına bakıldığında hemen hemen her 3-4 yılda bir fiyatların aşırı derecede düştüğü, birkaç yıl boyunca bu şekilde düşük seyrettiği ancak daha sonra neredeyse lineer bir yükselme ile uç noktalara ulaştığı ve bu noktada çok fazla kalamadığı daha sonrasında da yeniden düşme trendine girdiği görülmektedir.

Yapılan korelasyonlu öngörü sonrasında oluşan verilerin birbiri arasındaki korelasyon artık 0,939 olmuştur. Oluşan bu yeni korelasyon görüntüsü Şekil 4.35'te görüldüğü gibidir.

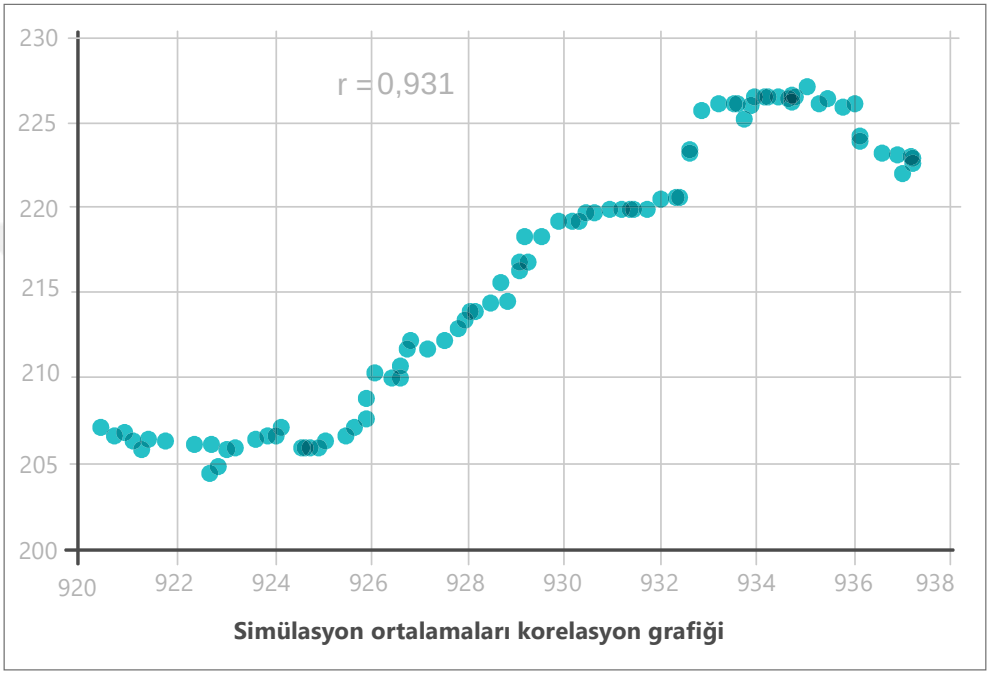


Şekil 4.35. Öngörü korelasyonu sonucu oluşan yeni verinin birbiri ile korelasyonu

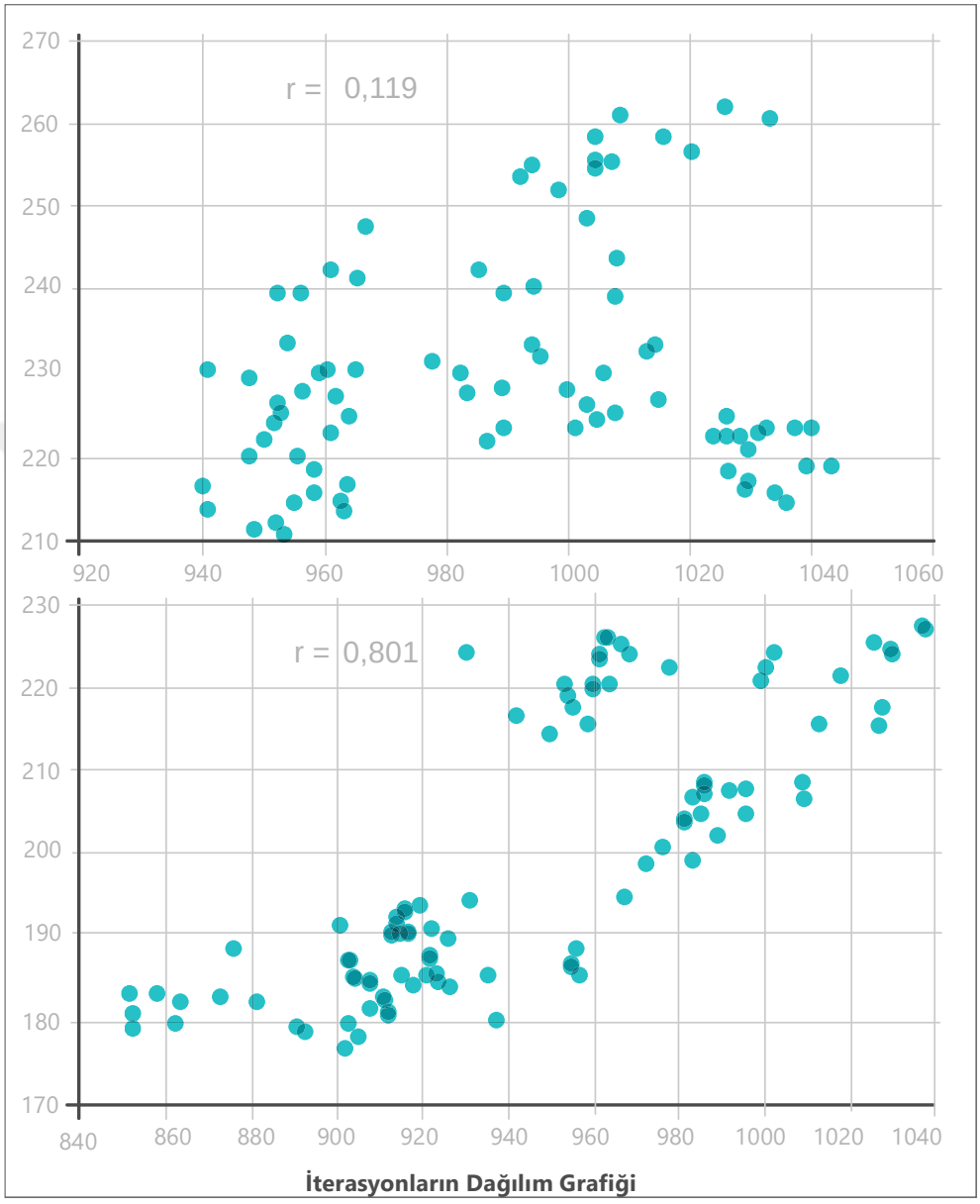
Bir sonraki adım olan öngörülere Monte-Carlo simülasyonu adımında, iterasyon sayısı 5000 adet seçilerek Krom ve Platin öngörülerine uygulanarak simülasyon çalıştırılmıştır.

Simülasyonlar sonucunda örneğin, ilk iterasyondaki Krom öngörüsü ile Platin öngörüleri arasında 0,119 korelasyon bulunurken, ikinci iterasyon sonuçları karşılaştırıldığında 0,801 korelayson görülmüştür. Şekil 4.36'da 5000 adet her

simülasyonun ortalama oluşan değerleri arasındaki korelasyon 0,931 olarak görülmekteyken, Şekil 4.37'de üstte ilk iterasyondaki korelasyon, altta ise ikinci iterasyona ait korelasyon görülmektedir.



Şekil 4.36. Simülasyon ortalamalarının korelasyonu



Şekil 4.37. İlk iki iterasyonun korelasyon karşılaştırması

Sonuç olarak yapılan bu öngörüler ışığında, fiyat öngörü aralıkları 227 $/t ile 270 $/t arasında değişmektedir. Optimizasyon çalışmasında "Satış Fiyatı" parametresi muhtemel 227 $/t, maksimum 270 $/t olarak kabul edilecektir.

4.3.2. Optimizasyon Blok Parametrelerinin Hesaplanması

4.3.2.1. Tonaj ve Yoğunluk

Blok tonajı, mevcut blok modelin boyutlarının çarpılarak önce hacminin bulunması, daha sonra da bu hacim değerinin blok yoğunluğuyla çarpılması ile ton olarak ağırlığının bulunmasıdır.

$$Yoğunluk\ (d) = 0{,}004\ x\ (Cr_2O_3)^2 + 0{,}0108\ x\ (Cr_2O_3) + 2{,}679$$

Blok tonajı formülü ise aşağıdaki gibidir. Burada;

BT: Blok tonajını,

X m: X düzlemindeki m cinsinden blok boyutunu,

Y m: Y düzlemindeki m cinsinden blok boyutunu,

Z m: Z düzlemindeki m cinsinden blok boyutunu ifade etmektedir.

BT =X m x Y m x Z m x Yoğunluk (4.1)

Bu çalışmada 6m'lik bloklar kullanıldığından 0 (sıfır) tenörlü bir bloğun tonajı;

$$Yoğunluk\ (d) = 0{,}004\ x\ (0)^2 + 0{,}0108\ x\ (0) + 2{,}679$$

Yoğunluk = 2,679 t/m^3

BT = 6 x 6 x 6 x 2,679 = 578,66 ton olacaktır.

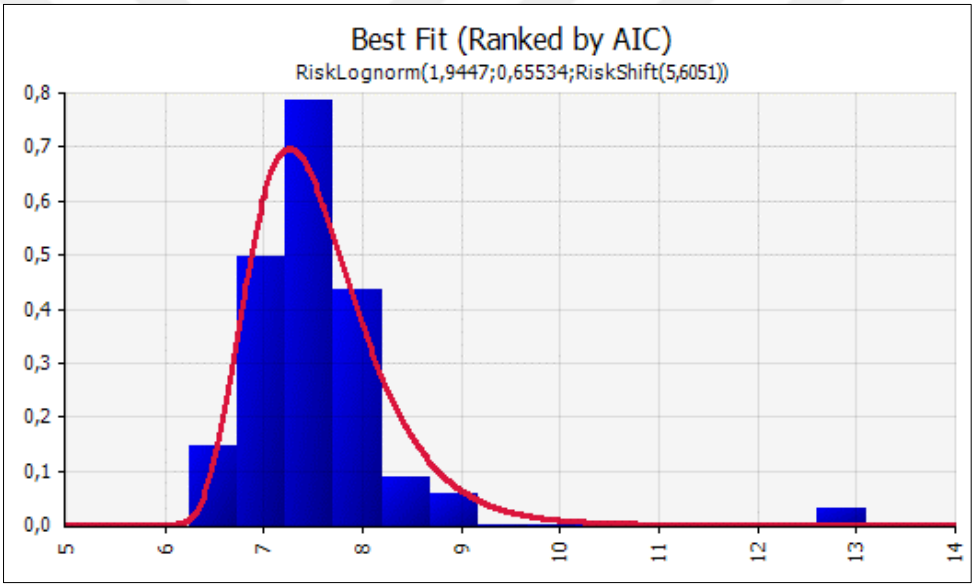
4.3.2.2. Metalürjik Randıman

Bu çalışmanın da temelini oluşturan yaklaşımlardan birisi de optimizasyonda sabit bir metalürjik randımanı almak yerine, her bir bloğun tenörüne göre ihtiva edeceği metalürjik randıman değerinin bloklara atanması ve optimizasyonda bu şekilde hesaba katılmasıdır.

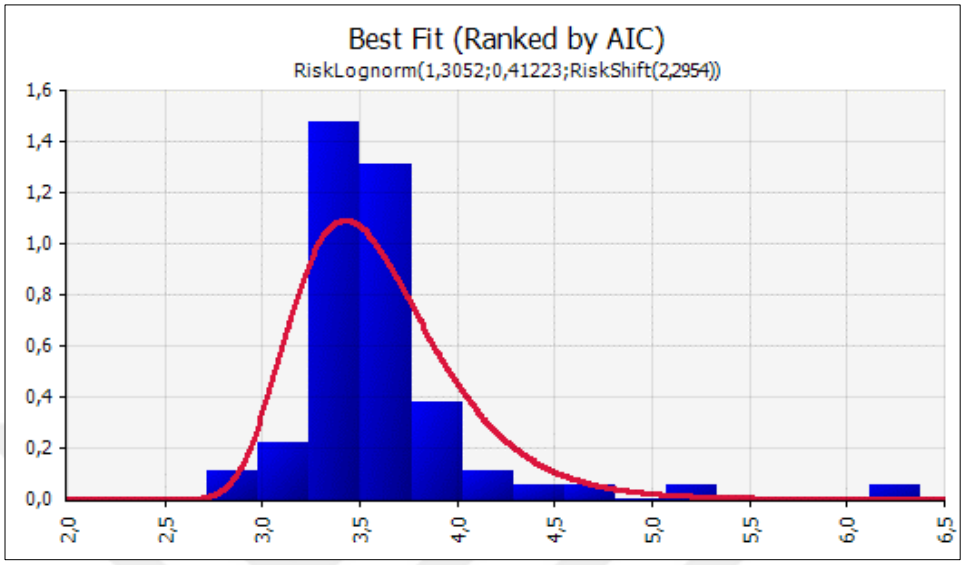
Çalışmada, Şelale tesis laboratuvarında yapılan günlük analizlerden son 2 aylık veri (70 adet analiz) alınmıştır. Konsantre tesisinden günlük olarak; tüvenan

besleme, krom konsantre ve tesis atıklarından numune alınmaktadır. Günlük analizler, ISO9001 kalite standartları çerçevesinde gerçekleştirilmekte ve raporlanmaktadır.

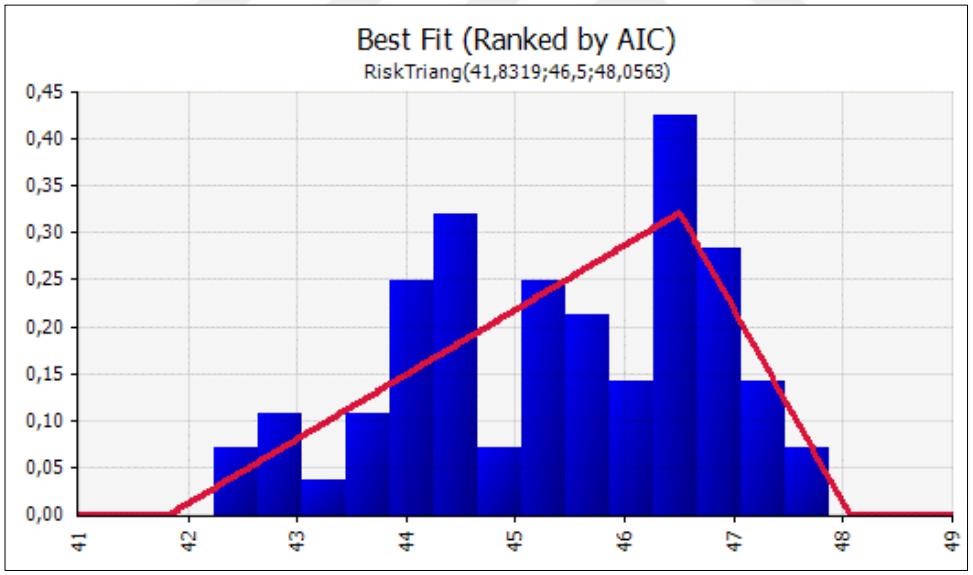
Besleme, Konsantre ve Atık tenörlerine ait dağılım grafikleri Şekil 4.38-39 ve 40'ta yer almakta; ayrıca, bu 70 adet analizin sonuçları da Çizelge 4.12'de verilmektedir. Şekil 4.38'de görüleceği üzere besleme tenörleri Lognormal bir dağılıma, Şekil 4.39'da atık tenörleri yine Lognormal bir dağılıma sahipken, konsantre tenörleri Şekil 4.40'taki gibi üçgen dağılıma sahiptirler.



Şekil 4.38. Besleme tenörü dağılım grafiği



Şekil 4.39. Atık tenörü dağılım grafiği



Şekil 4.40. Konsantre tenörü dağılım grafiği

Çizelge 4.12. 70 günlük analiz sonuçları

Besleme Tenörü	Atık Tenörü	Konsantre Tenörü	Randıman	Besleme/Atık Oranı
7,34	3,63	46,38	0,55	2,02
7,85	3,39	45,63	0,61	2,32
9,03	4,39	45,23	0,57	2,06
13,1	6,38	47,88	0,59	2,05
7,63	3,66	46,32	0,56	2,08
7,53	3,36	44,56	0,60	2,24
7,50	3,40	44,50	0,59	2,21
7,85	3,62	45,53	0,59	2,17
7,94	3,71	46,47	0,58	2,14
8,69	4,11	45,48	0,58	2,11
7,42	3,42	44,49	0,58	2,17
7,27	3,27	45,24	0,59	2,22
7,13	3,43	47,28	0,56	2,08
7,61	3,73	46,04	0,55	2,04
7,10	3,30	47,20	0,58	2,15
7,47	3,33	44,12	0,60	2,24
7,30	3,40	44,10	0,58	2,15
7,74	3,18	44,86	0,63	2,43
7,68	3,29	46,52	0,62	2,33
7,28	3,60	46,50	0,55	2,02
7,24	3,23	47,46	0,59	2,24
7,14	3,44	46,42	0,56	2,08
7,30	3,62	46,21	0,55	2,02
7,14	3,38	46,97	0,57	2,11
7,10	3,57	46,90	0,54	1,99
7,39	3,71	45,52	0,54	1,99
7,26	3,74	45,50	0,53	1,94
7,20	3,80	44,54	0,52	1,89
7,64	3,64	47,62	0,57	2,10
6,73	3,47	43,84	0,53	1,94
7,49	3,53	44,20	0,57	2,12
7,58	3,7	47,08	0,56	2,05
7,3	3,65	46,90	0,54	2,00
7,4	3,65	45,44	0,55	2,03
7,3	3,55	45,40	0,56	2,06

Çizelge 4.12. devamı

Besleme Tenörü	Atık Tenörü	Konsantre Tenörü	Randıman	Besleme/Atık Oranı
7,90	3,56	46,02	0,60	2,22
8,46	5,27	42,64	0,43	1,61
7,96	3,68	45,25	0,59	2,16
7,46	3,56	46,93	0,57	2,10
7,52	3,44	46,83	0,59	2,19
7,17	3,26	46,55	0,59	2,20
7,10	3,33	46,50	0,57	2,13
7,13	3,44	44,58	0,56	2,07
7,04	3,37	45,24	0,56	2,09
6,72	3,44	46,38	0,53	1,95
6,60	3,30	46,30	0,54	2,00
6,40	2,86	44,23	0,59	2,24
7,92	3,30	44,33	0,63	2,40
7,53	3,26	44,27	0,61	2,31
7,86	3,79	45,07	0,57	2,07
6,96	3,33	44,41	0,56	2,09
7,15	3,48	46,60	0,55	2,05
7,75	3,99	46,40	0,53	1,94
7,86	3,63	42,78	0,59	2,17
7,10	3,30	44,14	0,58	2,15
7,20	3,20	44,10	0,60	2,25
7,17	3,30	43,47	0,58	2,17
7,01	3,49	43,13	0,55	2,01
7,94	3,63	43,78	0,59	2,19
7,46	3,78	44,63	0,54	1,97
7,86	3,89	42,24	0,56	2,02
8,04	3,77	42,94	0,58	2,13
7,85	3,70	42,90	0,58	2,12
7,93	3,81	44,12	0,57	2,08
7,05	3,12	46,15	0,60	2,26
6,24	2,72	45,79	0,60	2,29
7,46	3,60	45,02	0,56	2,07
7,65	3,70	46,97	0,56	2,07
8,70	4,62	47,03	0,52	1,88
8,40	4,20	46,80	0,55	2,00

Bu analizlerin birbirleri ile ilişkilerini gösterir korelasyon değerleri ve istatistiksel bilgileri de Çizelge 4.13'te yer almaktadır. Buna göre, minimum tesis

beslemesi %5 Cr_2O_3 iken maksimum %13,1 Cr_2O_3 olmaktadır. Atık tenörü ise %6,38 Cr_2O_3'e kadar çıkabilmektedir. Burada besleme tenörü arttıkça, atık tenörünün de elde edilen konsantre tenörünün kontrollü alınması aşamasında arttığı görülmektedir. Çizelge 4.14'te ise bu analizlerin birbiri ile ilişkisini gösterir korelasyon matrisi çizelgesi görülmektedir. Bu analizler ışığında günlük metal kurtarma randımanları maksimum %63'e kadar çıkabilmektedir.

Çizelge 4.13. Analiz sonuçlarının istatistiksel özeti

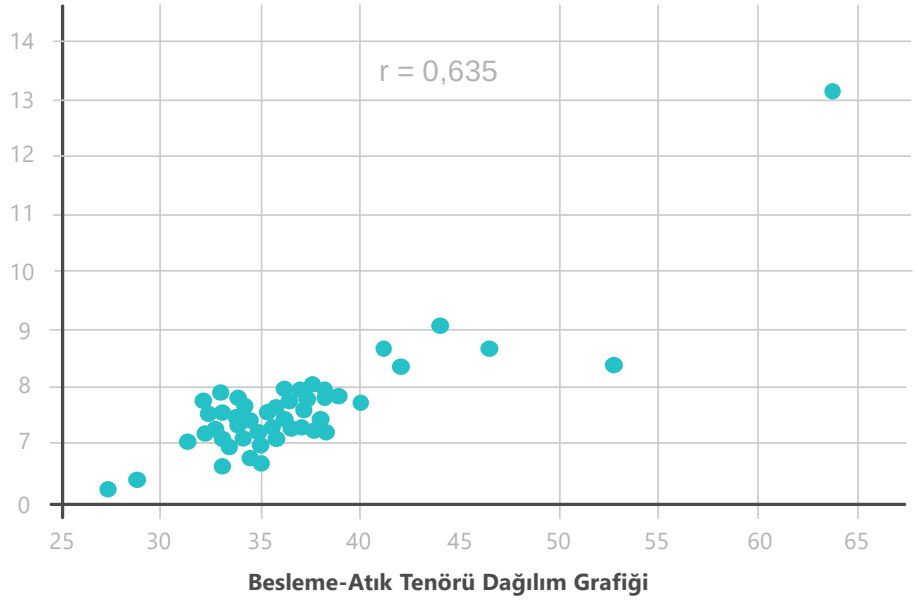
İsim	Besleme	Atık	Konsantre
Minimum	5,61	2,30	41,83
Maksimum	13,10	6,38	48,05
Ortalama	7,55	3,60	45,46
Mod	7,26	3,43	46,50
Medyan	7,50	3,54	45,64
Std. Sapma	0,66	0,41	1,32

Çizelge 4.14. Analizler arasındaki korelasyon

Korelasyon Matrisi	Besleme	Atık	Konsantre
Besleme	1,000		
Atık	0,635	1,000	
Konsantre	-0,077	0,044	1,000

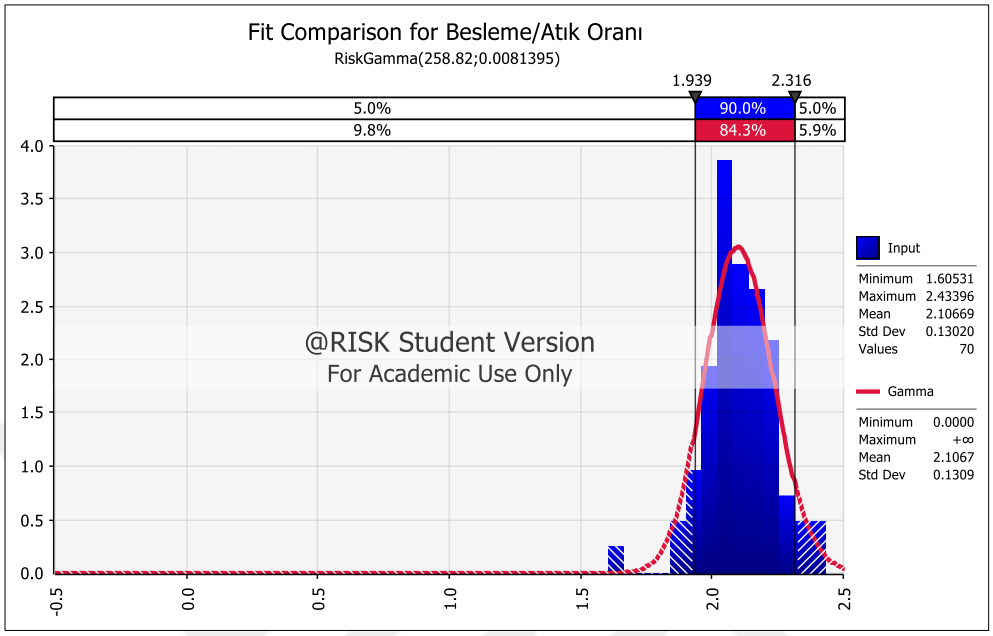
Çizelge 4.14'e bakıldığında besleme tenörü ile atık tenörü arasında 0,635 korelasyon katsayısı ilişkisi bulunmaktadır. Yani besleme arttıkça, atık tenörünün de arttığı görülebilmektedir. Çizelgede dikkat edileceği üzere, besleme tenörü ile konsantre ya da konsantre ile atık tenörü arasında bir korelasyon yoktur. Bunun sebebi, alınan satılık ürün olan konsantre tenörünün hangi besleme tenöründe besleme yapılırsa yapılsın, zenginleştirme tesisinden sabite yakın bir tenörle elde edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Besleme ve atık arasındaki korelasyonu gösterir dağılım grafiği ise Şekil 4.41'de yer almaktadır.



Şekil 4.41. Besleme-atık tenörü dağılım grafiği

Çalışmada besleme tenörleri ile atık tenörleri birbirleri ile oranlanmıştır. Bu oranlar Çizelge 4.12'de verildiği gibidir. Çıkan oranlar bir dağılıma uydurularak (fitting) oluşan ortalama değer, blokların randımanlarının hesaplanmasında katsayı olarak kullanılmıştır. Orijinal besleme oranları verisi ve uydurulan dağılım grafiği Şekil 4.42'de gösterilmiştir. Besleme/Atık oranını en iyi temsil eden dağılım Gamma dağılımı olarak bulunmuştur. Grafikte mavi histogram çubukları mevcut veriyi gösterirken, kırmızı çizgi Gamma dağılımını ifade etmektedir. Bu dağılım neticesinde oluşan ortalama Besleme/Atık oranı ise 2,107 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.42. Besleme/Atık oranları dağılım grafiği

Belirlenen bu katsayı ile, her bir bloğun barındırdığı tenör değeri, eğer blok tesise gönderilirse beslenen malzeme niteliğinde olduğu için; tenör değeri bu katsayı değerine bölünerek atık tenörü değeri bulunmuş olacaktır. Dolayısı ile, ilgili 868019 adet bloğun tümünün tenörleri 2,107 değerine bölünerek atık tenörleri atanmıştır. Daha sonra aşağıdaki formül yardımıyla blokların randımanları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$Randıman\% = \frac{Kx(B-A)}{Bx(K-A)} \quad (4.2)$$

Burada;

K: Konsantre tenörünü,

B: Besleme tenörünü,

A: Atık tenörünü ifade etmektedir.

Çalışmada hedeflenen; blokların ayrı ayrı randımanlarının hesaplanması üzerine kurulu Net Bugünkü Değeri oluşturacak optimizasyon çalışması ile, standart optimizasyon yazılımlarında sabit olarak kabul edilen randıman değeri üzerinden oluşacak Net Bugünkü Değeri veren optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılmasıdır. Dolayısı ile çalışmada; hem ayrı ayrı hesaplanan blok randımanlarına göre hem de sabit, ortalama 0,60 randıman değeri kabulü ile optimizasyon denemeleri yapılmıştır. Bu optimizasyonlar da kendi içerisinde daha önce fiyat öngörüsü bölümünde belirtilen minimum ve maksimum satış fiyatlarına göre hesaplanarak oluşan sonuçlar karşılaştırılacaktır.

4.3.3. Bloklara Ekonomik Değerin Atanması

Katı model kestirimi ile blokların her biri bir tenör ihtiva etmektedir. Bunlar optimizasyonla belirli bir eşik tenör değeri üzerinden ekonomik olarak algılanan bloklar ve bu eşik değerin altında olup pasa alanına taşınan bloklardır. Bu iki blok optimizasyonda şu şekilde tanımlanmıştır:

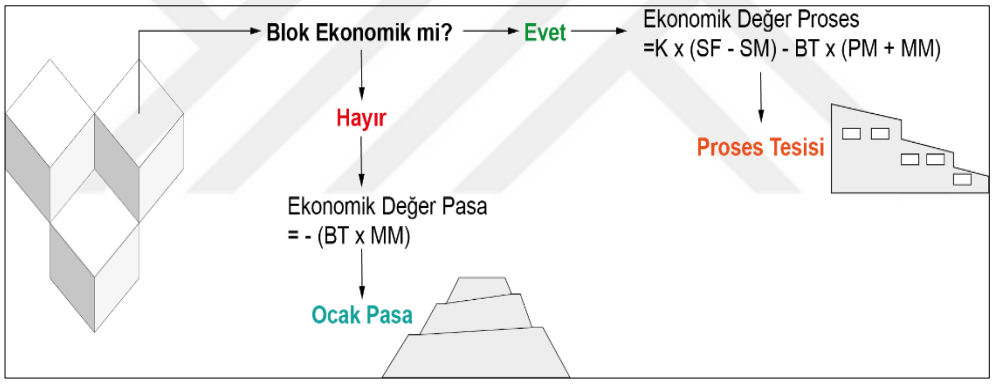
1. Ekonomik Değer Proses: Bu blok, barındırdığı maliyet değeri itibarı ile ekonomik olarak algılanarak proses tesisine gönderilen bloktur.
2. Ekonomik Değer Pasa: Bu blok, barındırdığı maliyet ve çıkarılması için oluşan maliyet bakımından ekonomik olarak değerlendirilmeyerek ocaktan pasa alanına dökülen bloktur.

Bloklar birden fazla element barındırabilecekleri gibi bu çalışmada olduğu gibi tek bir element olan krom cevheri barındırabilmektedirler. Blokların barındırdıkları ekonomik değere göre optimizasyonda ayrımı Şekil 4.43'te gösterilmiştir.

Aşağıdaki parametreler ise bir bloğun ekonomik değerinin hesaplanmasında kullanılan parametrelerdir.

- Satış fiyatı – $/t
- Satış maliyeti – $/t
- Operasyon maliyeti – $/t
- Proses maliyeti – $/t
- Konsantre tenörü – %

Satış maliyeti genel ve yönetim maliyetlerini kapsamaktadır. Operasyon maliyeti, açık ocakta gerçekleştirilen çalışmaların maliyetini içerirken; proses maliyeti, tesiste bir ton cevherin oluşturacağı tesis maliyetini (satılık ürün maliyeti değil) oluşturmaktadır. Konsantre tenörü, uç ürün olarak üretilmeyen yarı mamul konsantre ürünün tenörünü ifade etmektedir.



Şekil 4.43. Optimizasyonda bloğun ekonomik ayrımı

Randımanlar parametre olarak hazırlandıktan sonra blokların ekonomik değerinin hesaplanması aşamasına geçilmektedir. Buna göre bir blok eğer proses tesisine gönderilecekse, optimizasyon algoritması tarafından ekonomik olarak değerlendirilmiş demektir. Bu durumda bloğun kendisine proses süresince oluşacak maliyet ve kar parametrelerinin uygulanması gerekmektedir. Buna göre proses bloğunun ekonomik değeri;

$$EDP = Kx(SF - SM) - BTx(PM + MM) \quad (4.3)$$

Eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada;

EDP: Ekonomik değer proses,

K: Elde edilen konsantre/metal miktarı,

SF: Satış fiyatı,

SM: Satış maliyeti,

BT: Blok tonajı,

PM: Proses maliyeti,

MM: Madencilik maliyetidir (https://knowledge.miningmath.com/start-here/economic-values).

Eğer bir blok optimizasyon algoritması tarafından pasa olarak değerlendirilirse, bu sefer bu blok sadece cevher üzerinin açılmaya çalışıldığı sırada karşılaşılan dekapaj bloğu olduğu ve metalürjik olarak bir değer ifade etmediği için direkt olarak pasa sahasına gönderilecektir. Dekapaj işlemi ise sadece malzemenin kaldırılması ve döküm alanına ulaştırılması aşaması olduğundan üzerine etki edecek tek maliyet parametresi Madencilik Maliyeti, yani ocak operasyon maliyeti olacaktır. Bu da aşağıdaki gibi ifade edilmektedir;

$$EDW = -(BTxMM) \quad (4.4)$$

Burada;

EDW: Ekonomik değer pasa,

BT: Blok tonajı,

MM: Madencilik maliyetidir.

Formülde negatif değer kullanılması, bir maliyet parametresi olarak getiri sağlamayıp, sadece bir gider oluşturduğu için envanter içerisinde negatif yani gider olarak görülmesi gerekliliğindendir. Nihai ocak sınırının çizildiği Net Bugünkü Değerin hesaplanmasında tüm girdiler ve çıktılar hesaba katılacağı için bu parametrenin bu şekilde olması gerekmektedir.

Daha önce hesaplamaları yapılan blok tonajı, operasyonel maliyetler, konsantre miktarı örneklerine devam edilecek olursa; %3 tenörlü bir bloğun, 270 $/ton fiyat ile satıldığı varsayılırsa, proses ve pasa ekonomik değerleri aşağıdaki gibi olacaktır.

(4.3) numaralı eşitlikten;

EDP = 22,95 ton x (270 $/ton – 20 $/ton) – 586,44 ton (2 $/ton + 2,5 $/ton)

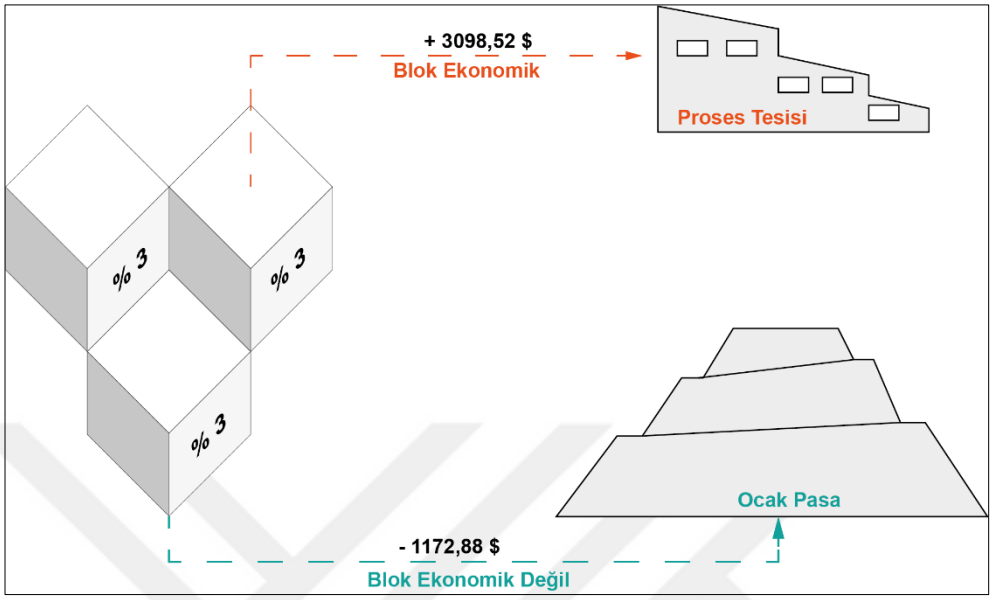
EDP = +3098,52 $

(4.4) numaralı eşitlikten;

EDW = - (586,44 ton x 2 $/ton)

EDW = - 1172,88 $

Bu eşitliklerin anlamı; eğer %3 tenörlü bir blok, optimizasyon algoritması neticesinde gelir getiriyor olarak değerlendirilirse +3098 dolarlık değerle prosese nakledilecek, değerlendirilmiyorsa faydasız malzeme çıkarımı olarak negatif değerlendirilerek pasa döküm sahasına taşınmış olacaktır (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. Bloğun ekonomikliğine göre sevk edilmesi

Optimizasyon algoritmalarında önemli bir ayrıntı da şudur ki; eşik tenörün üzerindeki her tenör ekonomik olarak adlandırılmamaktadır. Örneğin; bir blok dizisi içerisinde %5 ekonomik sayılabilecek bir blok, üzerindeki blokların kaldırılması ile oluşacak maliyet neticesinde ekonomik fayda sağlamayacaksa üretilmemektedir, ya da tam tersi olarak, fayda sağlayacak bir blok üzerindeki faydasız blokların üretimi yapılabilmektedir. Bu, tüm blokların birbirleri ile etkileşiminin algoritma tarafından hızlıca hesaplanarak ortaya konulması ve birçok farklı ocak sınırının denenerek sonuç olarak en optimum değeri vermesinin bir sonucudur.

4.3.3.1. Operasyonel Maliyetler

Optimizasyon çalışmasında iki kritik maliyet parametrenin bilinmesi gerekmektedir. Bu maliyet parametreleri işletme şartları, firma çalışma prensipleri, maden yapısı vs. gibi birçok etmenden etkilenmektedir. Bu etkilenmeye endirekt giderler denmektedir. Örneğin; bir açık ocak çalışmasında dinamit sarfiyatı, motorin sarfiyatı, işçilik ve elektrik gibi giderler direkt giderlerken, işletmenin merkezinde

ocak maliyetine yansıtılan mühendislik, laboratuvar, nakliye gibi parametreler endirekt maliyetler olarak sınıflanabilmektedir. Daha açık konuşulacak olursa, ocağa direkt etki eden maliyetler endirekt maliyetlerden ayrılmaktadır. Örneğin, günlük 150 km yol sarf eden bir araç hem açık ocağa malzeme taşımakta hem de proses tesisine malzeme taşıması yapmaktadır. Bu durumda bu araç ve aracı kullanan personelden doğacak tüm maliyetler endirekt maliyet olup, aracın bu tesislere harcamış olduğu km'ye göre dağılım yaparak bu tesislerin maliyetlerine etki edecektir.

Buna göre; günlük 5000 ton, aylık 150000 ton ve yıllık 1800000 bin ton tüvenan cevher besleme ihtiyacı doğacaktır. Ruhsat sahası içerisinde bulunan diğer açık ocakların fiili çalışmaları baz alındığında 10 metre basamak yüksekliği ve 3 metre basamak genişliği ve 45-54 derece arası genel şev açısında ortalama örtü kazı oranının 1:1,11 civarında olduğu görülmektedir.

Proses maliyeti bundan bağımsız olarak tüvenan üretimi artsa dahi artmayacaktır. Ama eğer satılık konsantre maliyeti temelinde konuşulacak olursa elbette bu değer etkilenecektir. Bu çalışmada 2000000 m^3 dekapaj yapılacağı düşünülmüştür. 12 aylık çalışmaya göre ortalama alındığından aylık 150000 ton tüvenan üretimi ve 250000 m^3 dekapaj yapılacağı var sayılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda oluşan maliyetler Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Açık ocak, zenginleştirme ve satış maliyetleri

	Açık Ocak		Zenginleştirme		Satış Maliyeti	
	Maliyet-$	Br. Mal.-$/t	Maliyet-$	Br. Mal.-$/t	Maliyet-$	Br. Maliyet - $/t
İşçilik	515368	0,29	288158	0,16	-	-
Malzeme	2397953	1,33	420074	0,23	-	-
G.Ü.G*	500405	0,28	2308879	1,28	-	-
Endirekt Giderler	206930	0,11	1492351	0,84	-	-
Limana Maden Nakliyesi	-	-	-	-	-	9,00
F.O.B. Liman Yükleme vs.	-	-	-	-	-	9,00
Genel Yönetim Gideri	-	-	-	-	-	2,00
Toplam	**3620657**	**2,01**	**4509462**	**2,51**	**-**	**20,00**

**G.Ü.G: Genel üretim giderleri (elektrik, bakım-onarım vs..)*

Bu tabloya göre en yüksek maliyet kalemi malzeme kullanımında oluşmaktadır. Açık ocak operasyonlarında, mühendisinden aşçısına kadar 3 vardiya çalışma olacağı düşünülerek, 40 personellik planlama yapılmıştır. Proses tesisinde ise işçi ve mühendislerle birlikte 33 kişilik çalışmaya göre planlama yapılmıştır. Toplam çalışan personel sayısı 73 kişi olacaktır. Direktör, Finans, Maden Hakları, vs. gibi diğer departman ve çalışan maliyetleri merkez ofis olarak adlandırıldığından aşağıda bahsedileceği üzere Genel Yönetim Gideri olarak Satış Maliyetine etki etmektedirler ve direkt operasyon maliyetinde yer almamaktadırlar. Maliyet kalemlerinin detay birim maliyetleri ise Çizelge 4.16'da yer alırken, proses detay birim maliyetkeri Çizelge 4.17'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.16. Detay açık ocak birim maliyetler

Birim Maliyetler	Birim Maliyet - $/t
İşçilik	0.2863
Patlayıcı	
Anfo	0.2343
Dinamit	0.0351
Kapsül	0.0003
Fitil	0.0001
HDD	0.1464
Nonel	0.0082
Motorin vs	
Motorin	0.8898
Yağ	0.0017
Yağ Diğer	0.0024
Bakım Onarım + Mak. Ekipman	0.0139
Kira Giderleri	
Delici	0,0702
Kamyon	0,2078
Endirektler	
İdari teknik	0,0341
Sair giderler	0,0358
Mutfak	0,0421
Laboratuvar	0,0029
Toplam Birim Maliyet	2,0115

Çizelge 4.17. Proses tesisi birim maliyetleri

Açıklama	Maliyet- $	Birim Maliyet- $/t
İşçilik	288158	0,16
Malzeme	420074	0,23
G.Ü.G.	2308879	1,28
İdari Teknik	701754	0,39
Mutfak	62526	0,03
Genel İş Mak.Ser.	52632	0,03
Genel Nak.Ser.	631579	0,35
Genel Hiz.Müh.	26316	0,01
Labaratuvar	17544	0,01
Toplam	**4509462**	**2,51**

Döviz kuru arttıkça, satıştan elde edilecek TL bazlı kar miktarı artacaktır ve yurtdışı ihracatı yapan bir firmanın çalışma maliyetlerini dolar bazlı yaptığı düşünülürse, birim maliyetlerinde de düşme meydana gelecektir. Ancak; dolar

kurunun artması ile temel tüketim malzemelerinde meydana gelecek artışlar da yaşanacağından, dolar kuruna birebir paralel olmasa da düşük bir korelasyonla da olsa birim maliyetlerde ufak artışlar meydana gelecektir.

Bu kabuller ve yapılan hesaplamalar doğrultusunda, açık ocak operasyonel maliyetinin yaklaşık 2 $/ton (dekapaj maliyeti dahil) ve proses maliyetinin ise yaklaşık 2,5 $/ton olduğu görülmüştür. Optimizasyon çalışmasında da proses ve madencilik maliyetleri kalemlerinde bu değerler kullanılmıştır. Firma üretmiş olduğu konsantre cevherini Adana-Aladağlar bölgesindeki şantiyesinden Mersin'de bulunan stok sahasına yurtdışına ihraç edilmek üzere nakletmektedir.

Dolayısı ile, bu cevherin oluşacak satış maliyeti;

1. Aladağ-Mersin stok sahası nakliyesi: 9 $/ton
2. F.O.B liman yükleme vs. giderleri: 9 $/ton
3. Şirket merkezinin bu şantiyeye dağılan maliyeti ise: 2 $/ton olarak hesaplanmıştır. Dolayısı ile satış maliyeti optimizasyon hesaplamasında toplam 20 $/ton olacaktır.

İlgili maden işletmelerince kullanılan ve 10 yıllık tüm üretim ve birim tüketim kayıtlarını içinde barındıran CANIAS ERP sisteminin maliyetler modülünden alınan makine-ekipman-malzeme-işçilik birim maliyet verileri kullanılmıştır. Geçmiş 10 yıllık veri ile ilgili sahada yapılan açık ocak çalışmaları sonucunda oluşan hazırlık dahil maliyetler ve zenginleştirme tesisi proses maliyetleri alınarak, aynı tarihlere karşılık gelen dolar kuru, motorin fiyatları, TÜFE, enerji birim satış fiyatları ile karşılaştırılarak korelasyonları incelenmiştir. İlgili maliyet ve fiyatların yer aldığı, Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Birim maliyetler ve diğer fiyatlarla karşılaştırma

Birim Maliyetler								
Yıl	Üretim - ton	Ocak Maliyet $/t	$ Kuru	Motorin TL	TÜFE	Enerji kr/kw	Proses Mal. $/t	Kons. Mal. $/t
2010	237512	2,35	1,50	2,36	7,48	0,27	6,25	98,24
2011	251970	3,46	1,67	3,67	6,70	0,27	6,60	113,29
2012	348363	3,39	1,79	3,99	8,69	0,30	7,55	121,59
2013	228792	5,74	1,90	4,34	7,67	0,36	8,47	140,80
2014	280500	7,89	2,19	4,40	8,25	0,36	7,77	188,92
2015	317500	3,93	2,72	3,85	8,19	0,39	6,31	119,77
2016	270000	3,16	3,02	3,85	7,86	0,41	4,36	113,04
2017	213000	4,27	3,65	4,69	9,37	0,41	4,98	143,59
2018	467800	2,65	4,82	6,37	12,71	0,45	3,71	162,27
2019	445457	2,68	5,67	6,59	18,22	0,55	4,00	156,13

Buna göre hazırlık (dekapaj) hariç oluşan birim operasyon maliyetlerinin diğer maliyet etkileyen parametrelerle oluşan korelasyonu Çizelge 4.19'da yer almaktadır.

Çizelge 4.19. Hazırlık hariç maliyetlerin korelasyon matrisi

	Ocak Maliyeti	$ Kuru	Motorin	TÜFE	Enerji
Maliyet	1,000				
$ Kuru	-0,697	1,000			
Motorin	-0,333	0,806	1,000		
TÜFE	-0,564	0,818	0,891	1,000	
Enerji	-0,736	0,985	0,790	0,815	1,000

Bu tabloya göre;

1. Dekapaj Maliyetleri çıkarılarak kurulan korelasyon matrisidir,
2. Dolar kuru ile ocak maliyetleri arasında -0.697'lik korelasyon vardır. Yani dolar arttıkça maliyet belirli bir oranda düşmektedir.
3. Dolar kuru ile enerji fiyatları arasında 0.985 yani neredeyse birebir korelasyon vardır. Dolar arttıkça enerji satış fiyatları artmaktadır.

4. Dolar kuru ile TÜFE arasında da çok büyük pozitif korelasyon vardır. Dolar arttıkça TÜFE artmaktadır.
5. Dolar kuru ile motorin arasında 0.79'luk korelasyon vardır. Dolar arttıkça motorin fiyatı artmaktadır.

Aynı şekilde proses birim maliyetlerinin diğer maliyet etkileyen parametrelerle oluşan korelasyonu Çizelge 4.20'de yer almaktadır.

Çizelge 4.20. Proses birim maliyetlerine ait korelasyon matrisi

	Proses Maliyeti	$ Kuru	Motorin	TÜFE	Enerji	Proses Maliyeti
Maliyet	1,000					
$ Kuru	-0,079	1,000				
Motorin	0,139	0,806	1,000			
TÜFE	-0,115	0,818	0,891	1,000		
Enerji	-0,146	0,985	0,790	0,815	1,000	
Proses Maliyeti	0,709	-0,685	-0,321	-0,515	-0,705	1,000

1. Dolar kuru ile proses maliyetleri arasında -0.685'lik negatif yönlü korelasyon vardır. Yani dolar arttıkça Proses Maliyeti belirli bir oranda düşmektedir.
2. Operasyon maliyeti ile proses maliyeti arasında 0,709'luk bir korelasyon vardır. Ocakta yapılan üretimin birim maliyeti arttıkça, yani ocaktan çıkarılıp tesise gelen ürünün maliyeti arttıkça proses maliyeti de belirli bir oranda artmaktadır.

Yine proses sonrası üretilen konsantre satılık maliyetlerinin diğer maliyet etkileyen parametrelerle oluşan korelasyonu Çizelge 4.21'de yer almaktadır.

Çizelge 4.21. Konsantre krom satılık ürün maliyetlerine ait korelasyon matrisi

	Maliyet	$ Kuru	Motorin	TÜFE	Enerji	Kons. Maliyeti
Maliyet	1,000					
$ Kuru	-0,079	1,000				
Motorin	0,139	0,806	1,000			
TÜFE	-0,115	0,818	0,891	1,000		
Enerji	-0,146	0,985	0,790	0,815	1,000	
Kons. Maliyeti	0,358	0,588	0,903	0,733	0,541	1,000

1. Dolar kuru ile satılık ürün maliyetleri arasında 0.588'lik korelasyon vardır. Yani dolar arttıkça makine-ekipman-malzeme fiyatları da arttığı için konsantre maliyetleri artmaktadır.
2. Enerji ile konsantre maliyeti arasında 0.541'lik bir korelasyon vardır. Enerji arttıkça satılık ürün veya konsantre maliyeti bu oranda artmaktadır.

4.3.4. Satılık Ürün Miktarının Hesaplanması

Randımanların hesaplanmasından sonraki aşama, proses tesisine giren bloğun zenginleştirilmesinden elde edilecek uç ürün veya yarı mamulün tonajının hesaplanmasıdır. Bu şekilde satılık bir ürün elde edildiği için gelir ve giderin hesaplanması kolaylaşacaktır. Yani kâr miktarı, elde edilen ürünün satış fiyatı üzerinden getirdiği gelir ile tüm proses ve ocak maliyetleri ve ayrıca genel yönetim maliyetleri gibi maliyetlerin düşülmesi sonucunda bloğun ekonomik olup olmadığına bakılarak değerlendirilecektir.

Çalışmada kullanılan işletmede uç ürün üretilmemektedir. Yani metal olarak bir cevher kazanımı olmamakta, yarı mamul olarak adlandırılan ve yurt dışı alıcısına gönderilen %46 tenörlü krom konsantre cevheri üretilmektedir. Dolayısı ile bir bloktan elde edilecek konsantre miktarı aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir;

$$K = \frac{BTxBtxR}{Kt} \tag{4.5}$$

Burada;

K: Konsantre miktarını,

BT: Blok tonajı,

Bt: Blok tenörü,

R: Randıman,

Kt: Elde edilen konsantre tenörünü ifade etmektedir.

Eğer diğer birçok optimizasyon yazılımı gibi, yarı mamul değil de uç ürün üretimi yapılan bir işletmenin optimizasyonu yapılsaydı bu durumda formül aşağıdaki gibi olacaktı;

K = (BT x Bt) / 100

Örnek verecek olursak; Blok Tonaj ve Yoğunluğu bölümünde tonajı hesaplanan %3 tenörlü bir blok, %46 tenöründe konsantre krom üretimi yapan bir işletmede, %60 (0,6) metal kurtarma randımanı ile çalışan tesise gönderilirse, elde edilecek konsantre miktarı aşağıda hesaplanmıştır.

Tezin Materyal ve Metot bölümünde verilen (3.1) numaralı eşitlik ile bloğun yoğunluğu hesaplanır;

Y =0,0004 * $(3)^2$ + 0,0108 * (3) + 2,679

Y =2,72 t/m^3

Blok tonajı;

BT =6 x 6 x 6 x 2,72 =586,44 ton

Konsantre Miktarı;

K = (586,44 ton x 3 x 0,6) / 46 =22,95 ton olacaktır.

Eğer konsantre değil de metal üretimi olsaydı bu durumda elde edilen metal miktarı;

K = (586,44 ton x 3) / 100 =17,59 ton olacaktır.

4.3.5. Optimizasyonun Çalıştırılması

4.3.5.1. Verilerin Yazılıma Aktarılması

Yoğunlukları, randımanları ve ekonomik değerleri hesaplanan bloklar, yazılıma aktarılmadan önce koordinat dönüşümü yapılması gerekmektedir. Simsched DBS yazılımı koordinatları indis olarak okumaktadır. Dolayısı ile her bir bloğun merkez koordinatı indise dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sonrasında Simsched DBS yazılımına aktarılacak dosyanın görüntüsü aşağıda Şekil 4.45'teki gibi olacaktır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	IX	IY	IZ	Grade	Density	Economic Value Process	Economic Value Waste	Recovery	Cr_Metal
2	1	95	54	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
3	1	95	55	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
4	1	95	56	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
5	1	95	57	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
6	1	95	58	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
7	1	95	59	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
8	1	95	60	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
9	1	95	61	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
10	1	95	62	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
11	1	95	63	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
12	1	95	64	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
13	1	95	65	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0
14	1	95	66	0	2.679	-2603.988	-1157.328	0.6	0

Şekil 4.45. Simsched DBS yazılımına aktarılacak dosyanın görüntüsü

Şekilden de görüleceği üzere, A, B ve C sütunları mevcut X, Y, Z koordinatlarının IX, IY ve IZ olarak indise dönüştürülmüş hallerini barındırmaktadır. D sütunu her bir bloğun barındırdığı tenör değerini, E sütunu her bir bloğun tenörüne göre hesaplanan yoğunluk değerini, F ve G sütunları bloklar için hesaplanan proses ve pasa olarak ekonomik değerlerini, H sütunu her bir bloğun %46 tenörlü konsantre için elde edilebilecek atık miktarı ile bulunan metal kurtarma randımanı değerini, I sütunu ise her bir bloktan elde edilecek konsantre miktarını göstermektedir. Diğer optimizasyon yazılımları gibi, varsayılan olarak Simsched DBS yazılımı elde edilecek ürünü uç ürün olarak kabul ettiğinden, sisteme ayrı olarak yarı mamul eklenme kolaylığını barındırmaktadır.

Veriler yazılıma aktarıldığında kontrol edilmesi için Çizelge 4.22'de yer alan karşılama ekranı verileri gelmektedir. Aktarılan tüm değerlerin minimum ve maksimum değerleri bu değerlerle görülmektedir. Burada örnek dosya olarak fiyat öngörüsünde de bahsedildiği üzere 227 dolar satış fiyatı ve metal kurtarma randımanı sabit kabul edilen senaryo değerlerini içeren veri kullanılmıştır.

Çizelge 4.22. Bu çalışmanın verilerinin aktarılması sonrası yazılımın karşılama ekranında oluşacak veriler

Parametre	En Düşük	En Yüksek
IX	1	196
IY	1	171
IZ	1	82
Grade	0	13,749
Density	2,6790	2,9031
Economic Value Process	-2603,99 $	20456,48 $
Economic Value Waste	-1254,14 $	-1157,33 $
Recovery	0,60	0,60
Cr_Metal	0,00	112,45

4.3.5.2. Optimizasyon Senaryolarının Kurulması

Maksimum Net Bugünkü Değeri vermesi istenen optimum ocak sınırlarının elde edilmesi için aşağıdaki 4 optimizasyon çalışması oluşturulmuştur.

1. Optimizasyon-I (Opt.I): Satış fiyatı 227 $/t ve metal kurtarma randımanı sabit bir değer olarak %60,
2. Optimizasyon-II (Opt.II): Satış fiyatı 227 $/t ve metal kurtarma randımanı bloğa göre değişen,
3. Optimizasyon-III (Opt.III): Satış fiyatı 270 $/t ve metal kurtarma randımanı sabit bir değer olarak %60,
4. Optimizasyon-IV (Opt.IV): Satış fiyatı 270 $/t ve metal kurtarma randımanı bloğa göre değişen randımanlı olan çalışma.

Bu 4 optimizasyon, kendi içerisinde deneme/tasarım parametreleri kullanılarak, 7 adet senaryo ile ocak üretecek şekilde test edilmiştir. Bu testlerde en yüksek NBD'yi verecek olan ocak parametresinin çalışmanın hedeflediği ocak olması düşünülmüştür.

Bu 7 adet senaryonun parametreleri aşağıda Çizelge 4.23'te verilmiştir. Burada S1'den S7'ye kadar olan sütunlar her bir senaryoyu ve kullanılan parametre değerlerini göstermektedir. Randıman satırında "Değişken" olarak belirtilen ifade, her bir bloğun randımanına göre yapılan hesaplama neticesindeki senaryo uygulamasını göstermektedir. Bu çizelgede yer alan değerlerden Randıman, Satış Fiyatı, Satış Maliyeti, Proses Maliyeti ve Operasyon Maliyeti yazılıma aktarılmadan önce hesaplanan değerlerken, kalan parametreler yazılım ekranında girilen değerlerdir.

Çizelge 4.23. Optimizasyon senaryolarından kullanılan parametreler

Senaryolar	DBP Optimizasyon Parametreleri				
	İndirgenme Oranı-%	Genel Şev- º	Madencilik Genişliği- m	Taban Genişliği- m	Düşey İlerleme- m
1	10	45	30	30	100
2	10	40	30	30	100
3	10	50	30	30	100
4	10	50	20	40	100
5	10	50	50	30	100
6	10	50	30	30	50
7	10	50	30	30	150

4.3.6. Optimizasyon Sonuçları

4.3.6.1. Opt.I ve Opt.II Çalışma Sonuçları

Opt.I çalışmasında daha önce belirtilen diğer optimizasyon yazılımlarında olduğu gibi sabit değer olarak %60 tutularak optimizasyon yapılmıştır. Opt.II'de ise her blok için hesaplanan metalürjik randıman üzerinden optimizasyon yapılmıştır. Her iki optimizasyonda da satış fiyatı yine daha önce zaman serilerinde bulunan 227 $/t değeri üzerinden alınarak ekonomik değer hesaplamalarında kullanılmıştır.

Çizelge 4.23'te verilen parametrelerle ilk olarak genel şev eğimi, maden sahası için hazırlanan jeoteknik rapor ve MAPEG'e sunulan İşletme Projesi'nin belirtmiş olduğu sınırlar içerisinde 40-45-50 derece kabulleri ile arttırılarak optimizasyonun vermiş olduğu Net Bugünkü Değer sonuçlarının da artmakta olduğu görülmüştür.

Opt.I ve II'ye ait Çizelge 4.24'te senaryo optimizasyon girdi parametreleri yer alırken, Çizelge 4.25'te optimizasyon sonucunda elde edilen çıktı değerleri yer almaktadır. Randıman kısmında belirtilen 0,6 değeri Opt.I'de sabit kabul edilen randıman ve Değişken Metal Kurtarma Randımanı ise Opt.II'de her blok için ayrı hesaplanan değerdir.

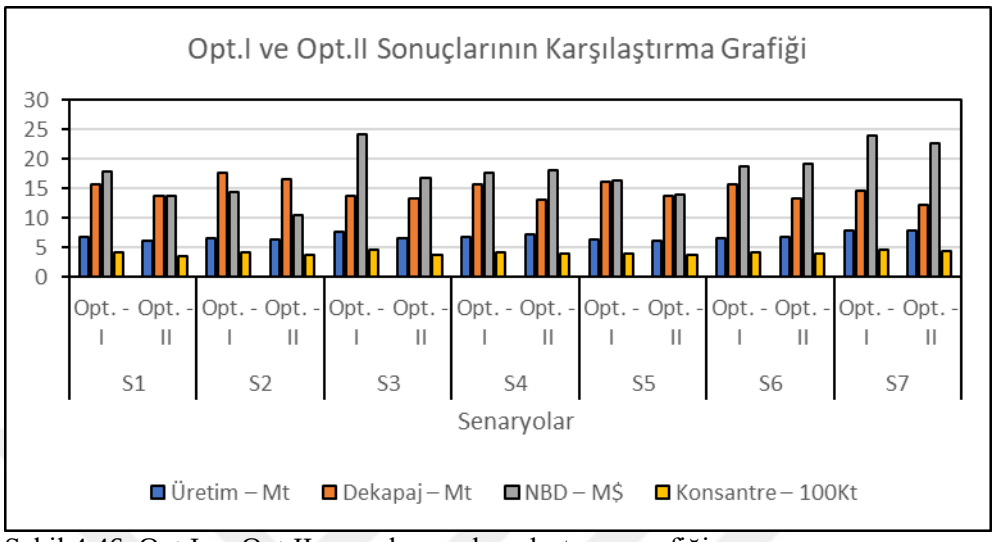
Çizelge 4.24. Opt.I ve II optimizasyon girdi parametreleri

Parametreler	Senaryolar						
	1	2	3	4	5	6	7
Randıman %	0,6 & Değişken Metal Kurtarma Randımanları						
Satış Fiyatı - $/t	227	227	227	227	227	227	227
Satış Maliyeti - $/t	20	20	20	20	20	20	20
Proses Maliyeti - $/t	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Operasyon Maliyeti - $/t	2	2	2	2	2	2	2
Üretim – Milyon t	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Dekapaj – Milyon t	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Varsayılan Yoğunluk – t/m^3	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7

Çizelge 4.25. Opt.I ve II çıktı sonuçları

Senaryo	Optimizasyon	Çıktılar				
		Üretim – Mt	Dekapaj – Mt	NBD – M$	Kons. – Kt	Periyot
1	**Opt.I**	6,75	15,68	17,80	420	5
	Opt.II	6,24	13,81	13,80	362	4
2	**Opt.I**	6,60	17,75	14,50	414	5
	Opt.II	6,28	16,49	10,50	368	4
3	**Opt.I**	7,60	13,84	24,10	459	5
	Opt.II	6,62	13,39	16,70	386	5
4	**Opt.I**	6,84	15,74	17,60	422	5
	Opt.II	7,15	13,13	18,20	404	5
5	**Opt.I**	6,38	16,05	16,30	407	5
	Opt.II	6,18	13,83	14,00	368	5
6	**Opt.I**	6,67	15,76	18,80	425	5
	Opt.II	6,79	13,22	19,10	401	4
7	**Opt.I**	7,83	14,61	24,00	462	5
	Opt.II	7,86	12,15	22,60	430	5

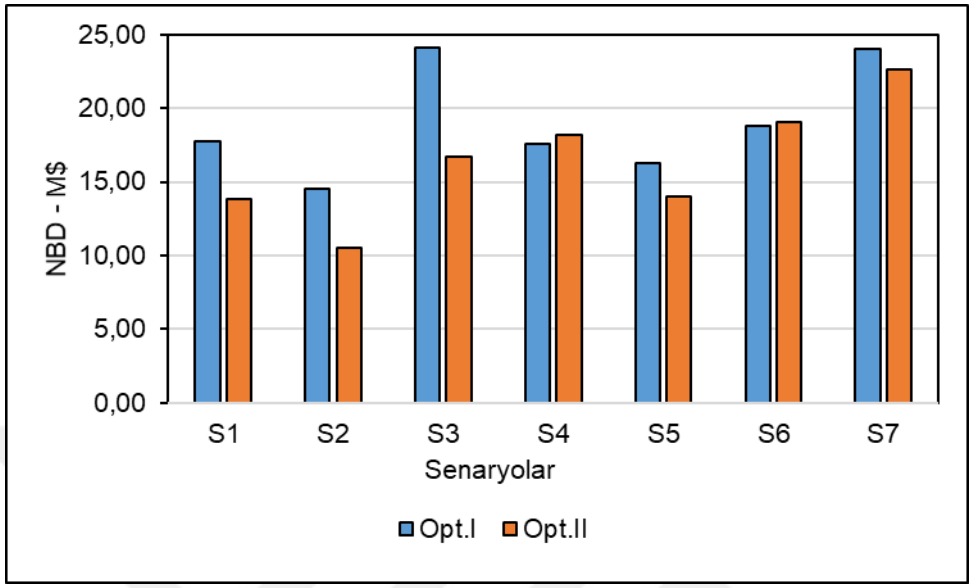
Çizelgelere bakıldığında, değişken randıman yani gerçeğe yakın çalışma ile yapılan optimizasyon sonuçları, sabit randıman kabulü ile yapılan optimizasyon çalışmasındaki senaryolardan farklılık göstermektedir. Opt.II'de 1, 2 ve 6 nolu senaryoların periyot sayıları Opt.I'deki periyot sayısından düşük çıkmıştır. Üretmiş oldukları NBD değerleri açısından ise Optimizasyon II'deki sonuçlar Optimizasyon I'deki sonuçlardan 1-4 milyon $ arasında düşük çıkmaktadır. Ancak, 4 ve 6 nolu senaryolarda ise NBD değerlerinin neredeyse birbirlerine yakın çıktığı görülmüştür. Çıkan sonuçların karşılaştırma grafiği Şekil 4.46'da yer almaktadır.



Şekil 4.46. Opt.I ve Opt.II sonuçlarının karşılaştırma grafiği

Çıkan sonuçlar ve grafiğe de bakılacak olursa, en yüksek Net Bugünkü Değer, genel şev açısının 50 derece olduğu senaryolarda alınırken, ayrıca düşey ilerleme miktarının arttırılması da Net Bugünkü Değer'de artışa sebep olmaktadır.

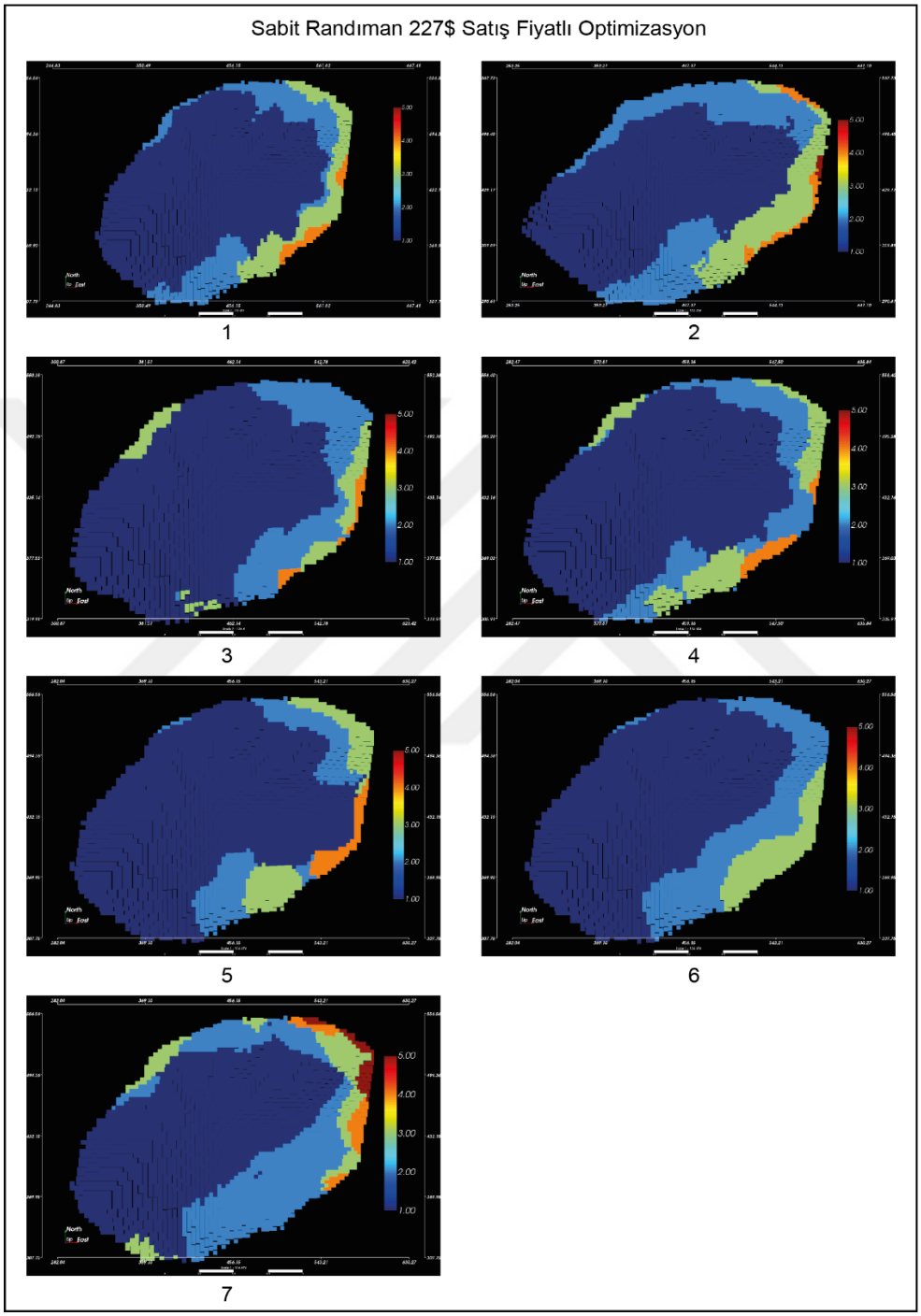
Opt.I ve II senaryolarının üretmiş olduğu Net Bugünkü Değerlerin karşılaştırma grafikleri Şekil 4.47'de verilmiştir. Bu şekilde iki optimizasyon çalışmasının değerleri arasındaki farklılıklar rahatlıkla görülebilmektedir.



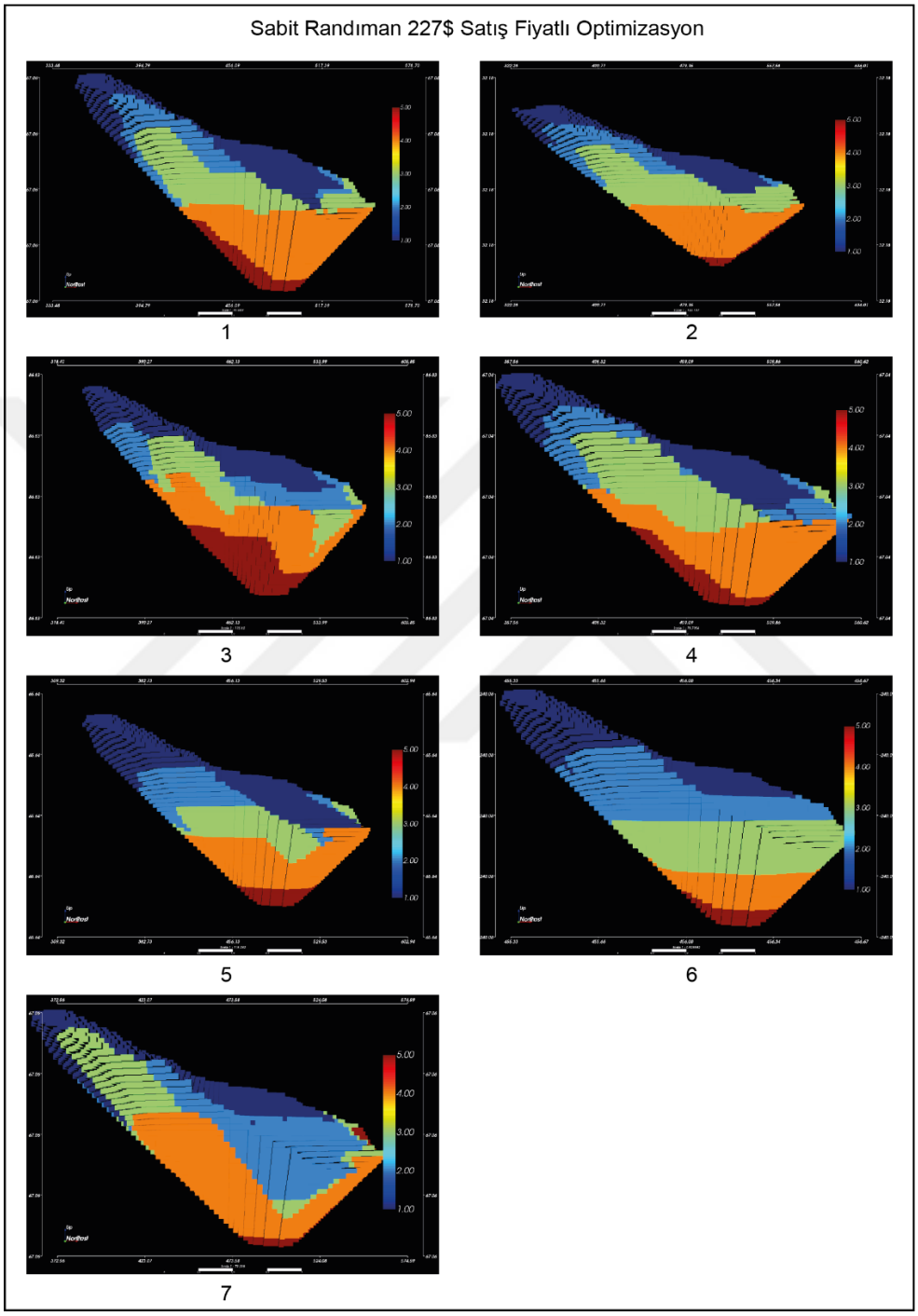
Şekil 4.47. Opt. I ve II NBD karşılaştırmaları

Opt.I neticesinde elde edilen ocak optimizasyonuna ait sonuçlar, senaryolar bazında Şekil 4.48'de plan, Şekil 4.49'da düşey görünümlü olarak verilmiştir. Buna göre; optimizasyon algoritması sonucunda, her bir senaryo denemesinde ocak için çizilecek en ekonomik sınır noktaları da değişkenlik göstermektedir.

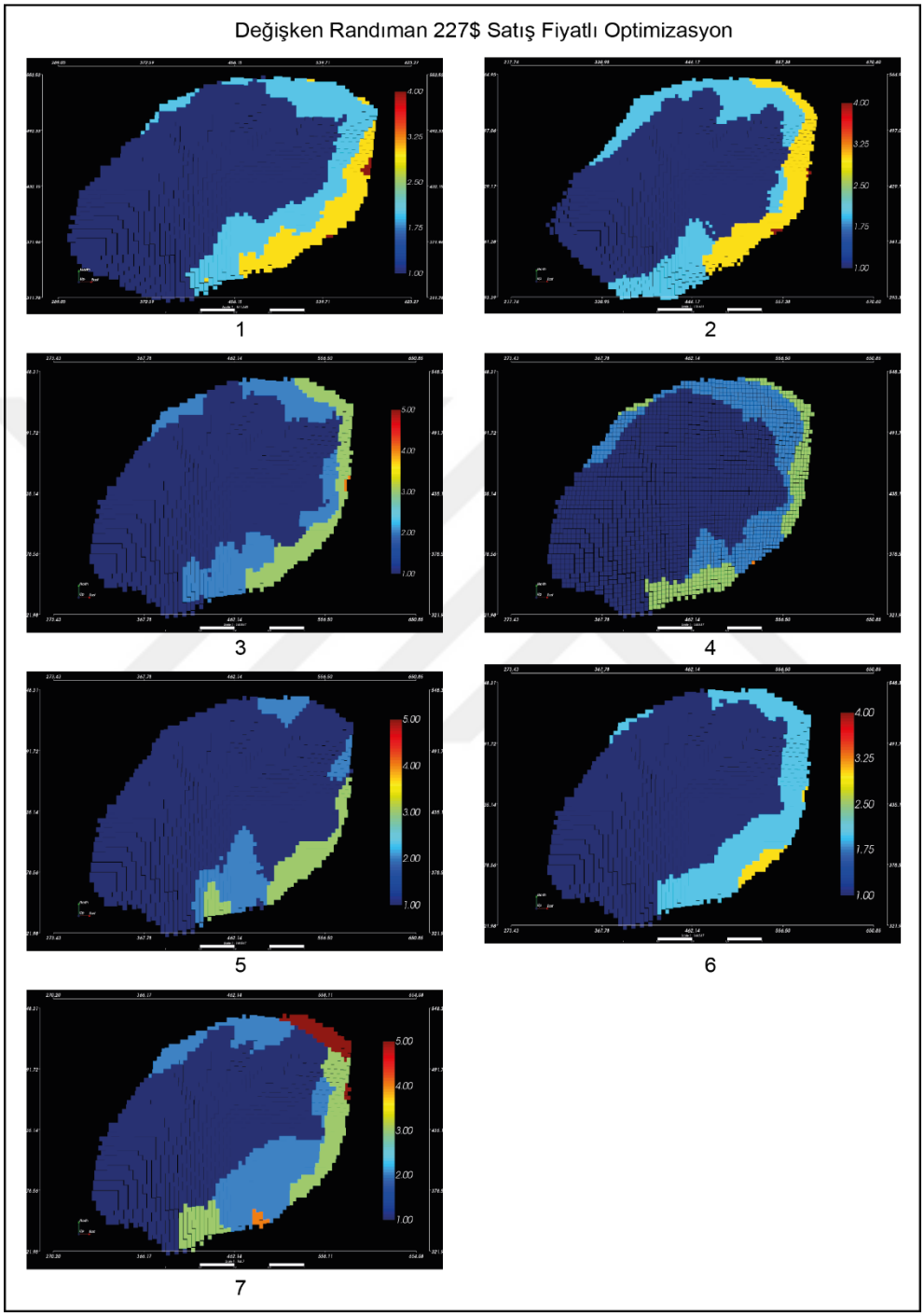
Opt.II neticesinde elde edilen ocak optimizasyonuna ait sonuçlar, senaryolar bazında Şekil 4.50'de plan, Şekil 4.51'de düşey görünümlü olarak verilmiştir.



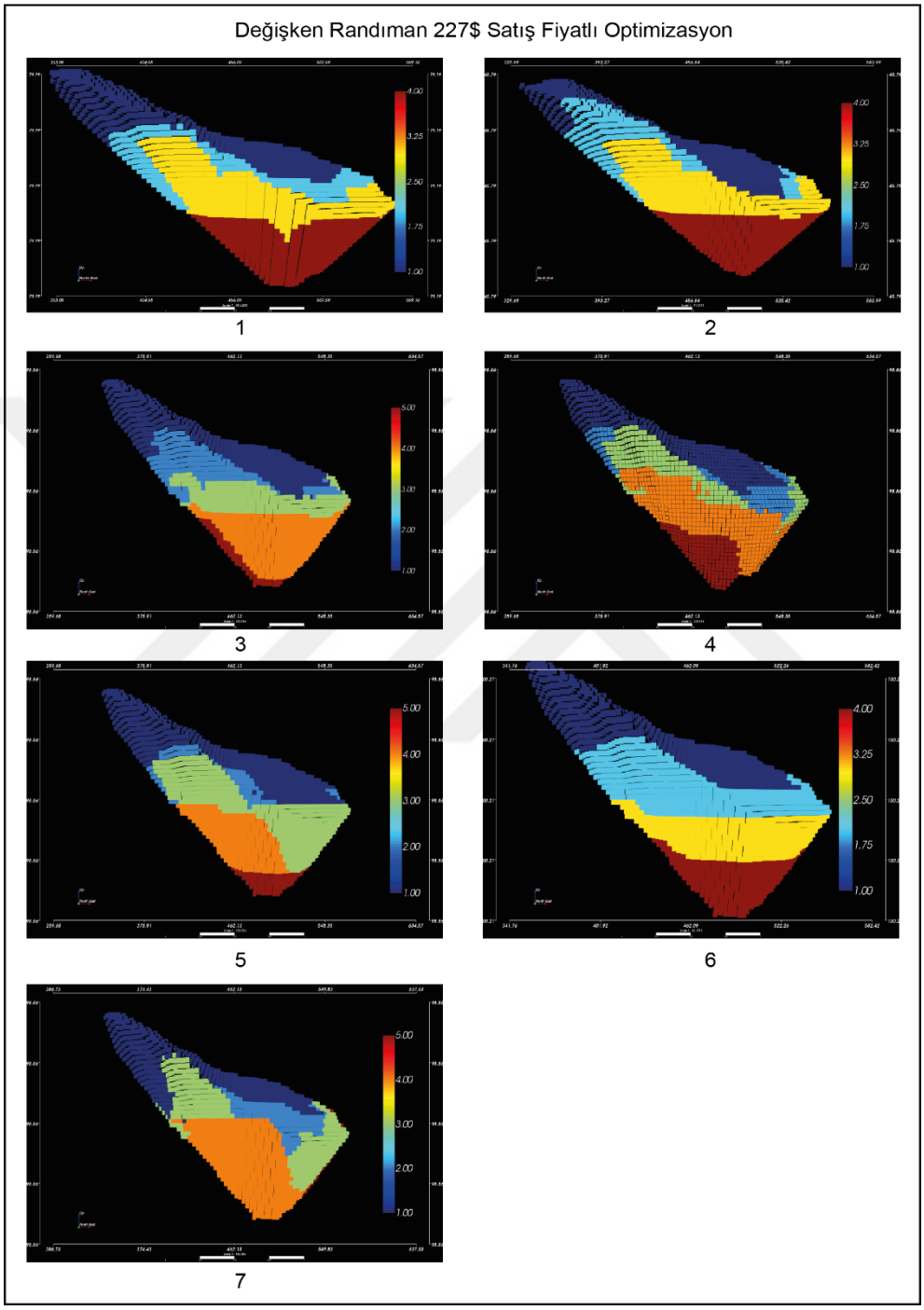
Şekil 4.48. Opt.I ocak sınırları plan görünümü



Şekil 4.49. Opt.I üretim sırası düşey görünümü



Şekil 4.50. Opt.II ocak sınırları plan görünümü



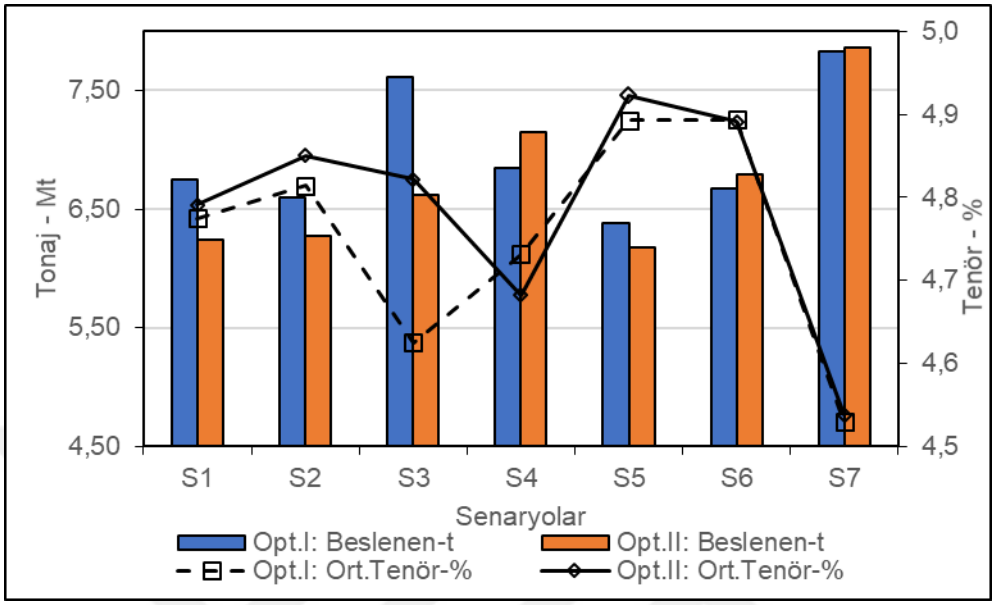
Şekil 4.51. Opt.II üretim sırası düşey görünümü

Senaryolarda, tesise beslenen tüvenan miktar ve ortalama tenörleri Çizelge 4.26'da yer almaktadır. Çizelge bilgilerinin histogram yapısındak gösterimi Şekil 4.53'te verilmektedir.

Çizelge 4.26. Opt.I ve II'de senaryoların ürettiği tesis besleme tonajı ve ortalama tenörleri

Senaryolar	Opt.I		Opt.II	
	Beslenen - t	Ort. Tenör - %	Beslenen - t	Ort. Tenör - %
S1	6751170	4,77	6241550	4,79
S2	6600360	4,81	6278850	4,85
S3	7608820	4,62	6619590	4,82
S4	6846160	4,73	7152550	4,68
S5	6383890	4,89	6178210	4,92
S6	6672220	4,89	6788140	4,89
S7	7829080	4,53	7858930	4,54

Bu çizelgelere göre grafik oluşturulduğunda Şekil 4.52'deki Opt.I ve Opt.II Beslenen ton ve tenör ilişkileri grafiği elde edilmektedir. Opt.I'e bakılacak olursa, besleme miktarı arttıkça, tesise beslenen tenör değeri düşmektedir. Opt.II'de ilk 4 senaryoda, besleme miktarlarında düzgün bir artış var gibi görülmektedir. Opt.I'de ise biraz daha düzensiz bir yapı görülebilmektedir. Tesise beslenen miktar, yapılan üretimin direkt beslenmesi yani üretimin kendisi olduğu için, bir optimizasyonda üretimin artması demek daha düşük tenörlü blokların üretilebileceği ve daha düşük tenörlü blokların tesise beslenebileceği anlamına gelmektedir. Bir başka deyişle, üretimin artması; daha düşük tenörlü blokların da üretime katılmış olması demektir. Burada bulunan ortalama tenörler ocağın eşik tenörü anlamına gelmemektedir. Zira, bu ortalama tenörler kendi değerlerinden daha düşük ve daha yüksek tenörlerin hesaba katılmasıyla bulunan ortalama tenörlerdir ve sadece bu tenör değerlerinde blokların üretildiği anlamına gelmemektedir.



Şekil 4.52. Opt.I ve Opt.II Beslenen ton ve tenör ilişkileri grafiği

4.3.6.2. Opt.III ve Opt.IV Çalışma Sonuçları

Opt.III ve IV çalışmalarında yine Opt.I ve Opt.II'de olduğu gibi daha önce sabit metalürjik randıman değeri olarak %60 ile ve IV nolu optimizasyon çalışmasında da her blok için hesaplanan metalürjik randıman üzerinden optimizasyon yapılmıştır. Her iki optimizasyonda da satış fiyatı yine daha önce zaman serilerinde bulunan 270 $/t değeri alınarak, ekonomik değer hesaplamalarında kullanılmıştır. Çizelge 4.23'te verilen parametrelerle ilk olarak genel şev eğimi, maden sahası için hazırlanan Jeoteknik rapor ve MAPEG'e sunulan İşletme Projesi'nin belirtmiş olduğu sınırlar içerisinde 40-45-50 derece kabulleri ile arttırılarak optimizasyonun vermiş olduğu Net Bugünkü Değer sonuçlarının da artmakta olduğu görülmüştür.

Opt.III ve IV'e ait Çizelge 4.27'de senaryo optimizasyon girdi parametreleri yer alırken, Çizelge 4.28'de optimizasyonlar sonucunda elde edilen çıktı değerleri yer almaktadır. Randıman kısmında belirtilen 0,6 değeri Opt.III'de sabit kabul edilen

randıman ve Değişken Metal Kurtarma Randımanı ise Opt.IV'te her blok için ayrı hesaplanan değerdir.

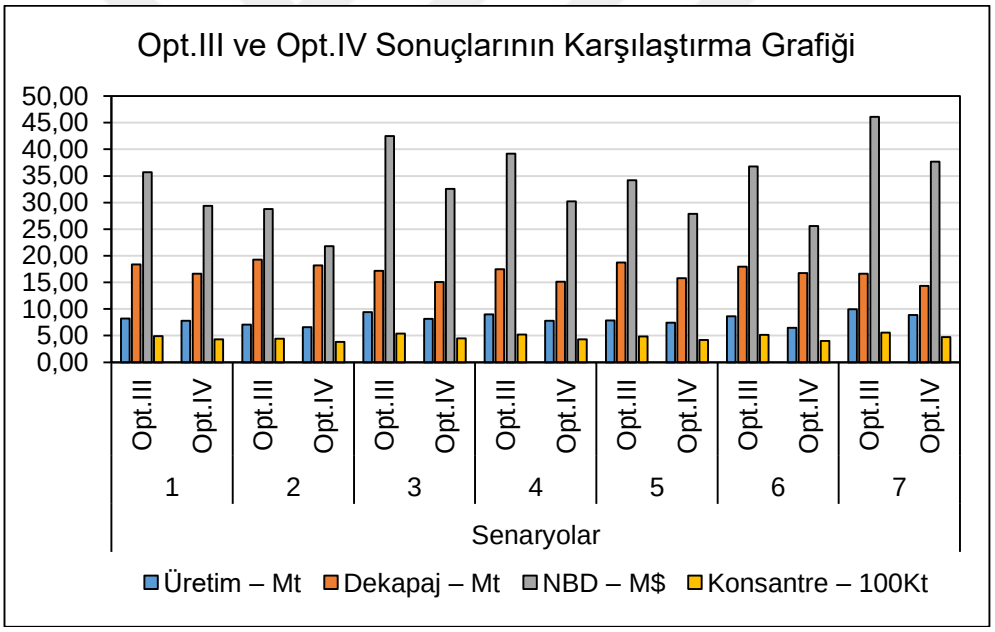
Çizelge 4.27. Opt.III ve IV optimizasyon girdi parametreleri

Parametreler	**Senaryolar**						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Randıman %	0,6 & Değişken Metal Kurtarma Randımanları						
Satış Fiyatı - $/t	270	270	270	270	270	270	270
Satış Maliyeti - $/t	20	20	20	20	20	20	20
Proses Maliyeti - $/t	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Operasyon Maliyeti - $/t	2	2	2	2	2	2	2
Üretim – Milyon t	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Dekapaj – Milyon t	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Varsayılan Yoğunluk – t/m^3	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7

Çizelge 4.28. Opt.III ve Opt.IV çıktı sonuçları

Senaryo	**Optimiasyon**	**Çıktılar**				
		Üretim – Mt	**Dekapaj – Mt**	**NBD – M$**	**Kons. – Kt**	**Periyot**
1	**Opt.III**	8,19	18,39	35,70	492	5
	Opt.IV	7,77	16,65	29,40	434	5
2	**Opt.III**	7,08	19,27	28,80	441	5
	Opt.IV	6,59	18,18	21,80	385	5
3	**Opt.III**	9,39	17,18	42,50	539	6
	Opt.IV	8,16	15,04	32,60	448	5
4	**Opt.III**	9,00	17,50	39,20	519	6
	Opt.IV	7,81	15,16	30,20	429	5
5	**Opt.III**	7,85	18,72	34,20	486	6
	Opt.IV	7,41	15,80	27,90	419	5
6	**Opt.III**	8,64	17,93	36,80	512	6
	Opt.IV	6,47	16,73	25,60	399	5
7	**Opt.III**	9,94	16,63	46,10	557	6
	Opt.IV	8,86	14,35	37,70	472	5

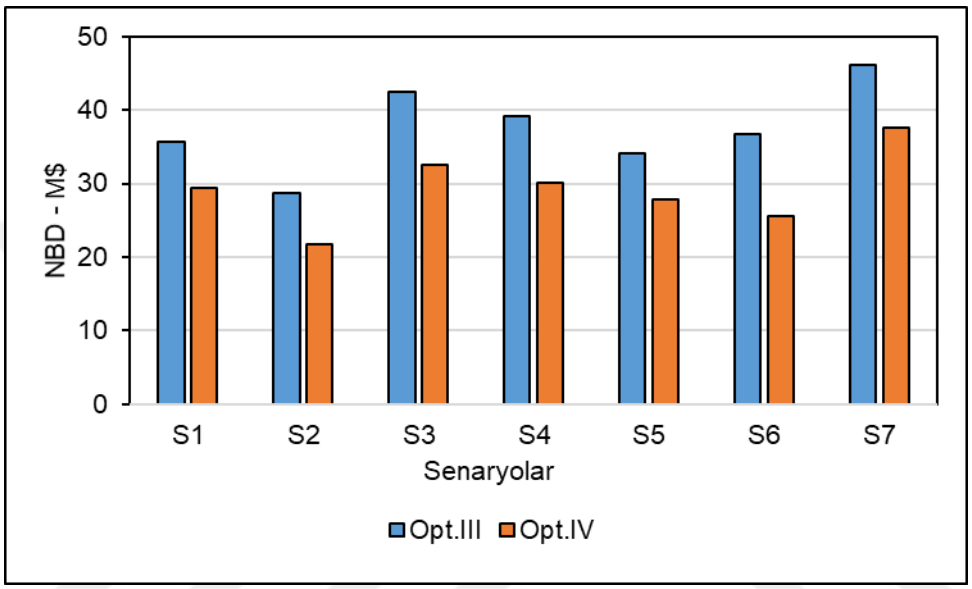
Çizelgelere bakıldığında, değişken randıman yani gerçeğe yakın çalışma ile yapılan optimizasyon sonuçları, sabit randıman kabulü ile yapılan optimizasyon çalışmasındaki senaryolardan farklılık göstermektedir. Opt.III'te 1, 2 nolu senaryoların periyot sayıları kalan senaryolardaki periyot sayısından düşük çıkmıştır. Üretmiş oldukları NBD değerleri açısından ise Optimizasyon IV'deki sonuçlar Optimizasyon III'deki sonuçlardan 6 ile 10 milyon $ arasında düşük çıkmaktadır. Bu optimizasyon çalışmasındaki NBD değerleri arasında, I ve II'deki gibi yakınlık görünmemektedir. Dolayısı ile satış fiyatının arttırılması ile oluşacak NBD değerlerinin birbirine yakın olmaktan uzak oldukları görülmüştür. Çıkan sonuçların karşılaştırma grafiği Şekil 4.53'te verilmiştir.



Şekil 4.53. Opt.III ve Opt.IV sonuçlarının karşılaştırma grafiği

Çıkan sonuçlar ve grafiğe de bakılacak olursa; en yüksek Net Bugünkü Değer, genel şev açısının 50 derece olduğu senaryolarda alınırken, ayrıca düşey ilerleme miktarının arttırılması da Net Bugünkü Değer'de artışa sebep olmaktadır.

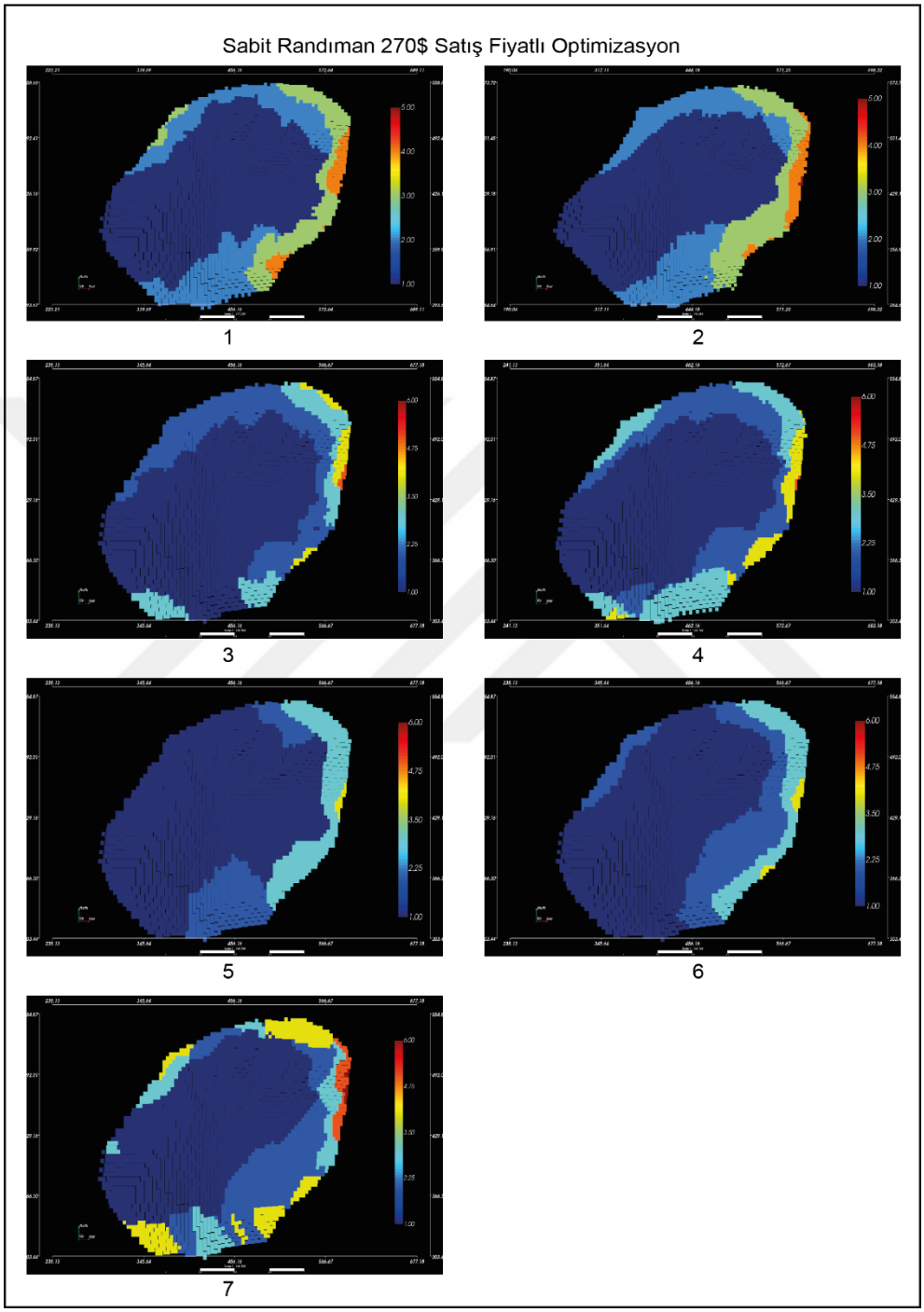
Opt.III ve Opt.IV'ün üretim miktarları ve Net Bugünkü Değerlerinin karşılaştırma grafikleri Şekil 4.54'te verilmiştir. Bu şekilde iki optimizasyon çalışmasının değerleri arasındaki farklılıklar rahatlıkla görülebilmektedir.



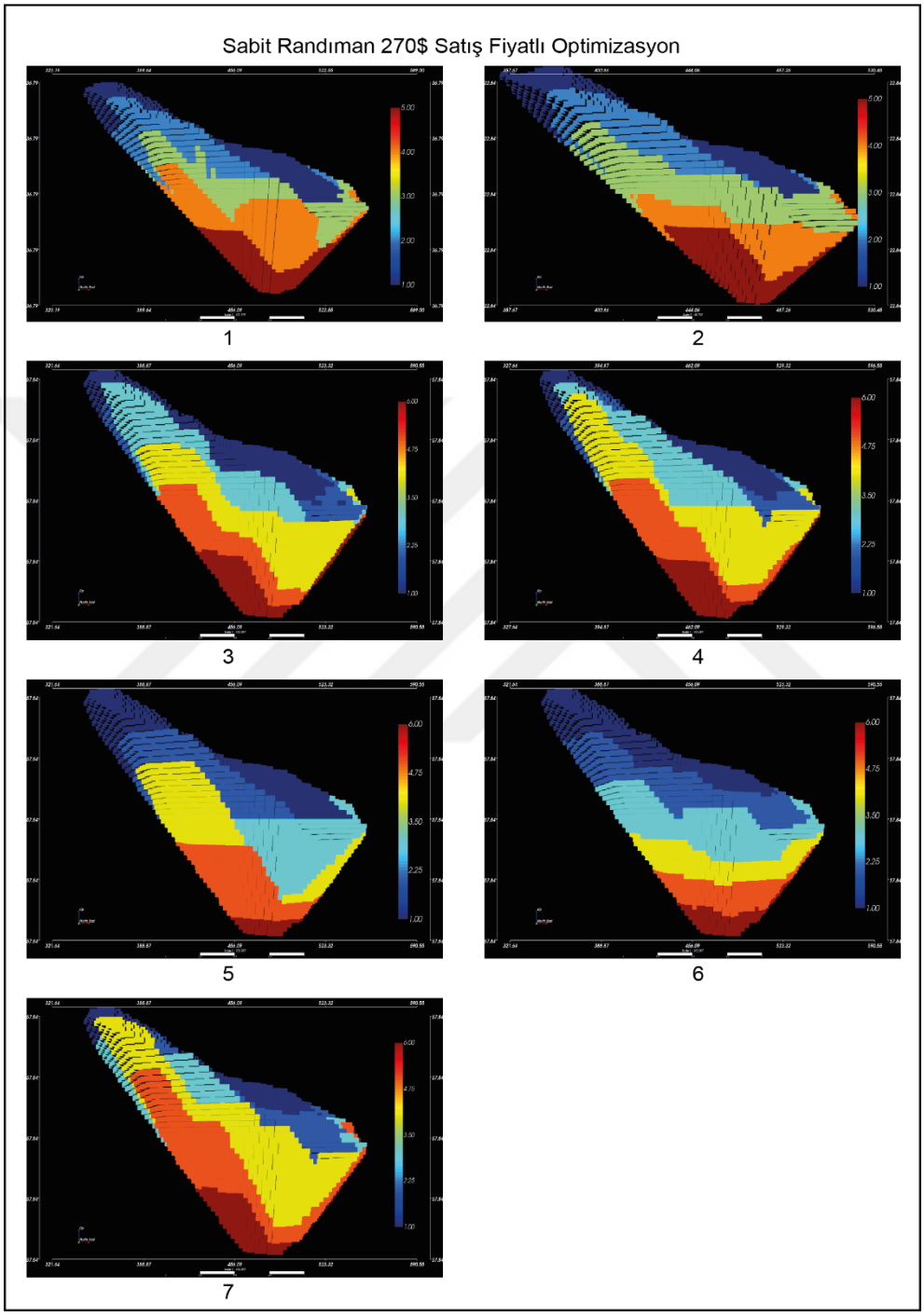
Şekil 4.54. Opt.III ve IV NBD karşılaştırmaları

Opt.III neticesinde elde edilen ocak optimizasyonuna ait senaryolar bazında Şekil 4.55'te plan, Şekil 4.56'da düşey görünümlü olarak verilmiştir. Buna göre; optimizasyon algoritması sonucunda, her bir senaryo denemesinde ocak için çizilecek en ekonomik sınır noktaları da değişkenlik göstermektedir.

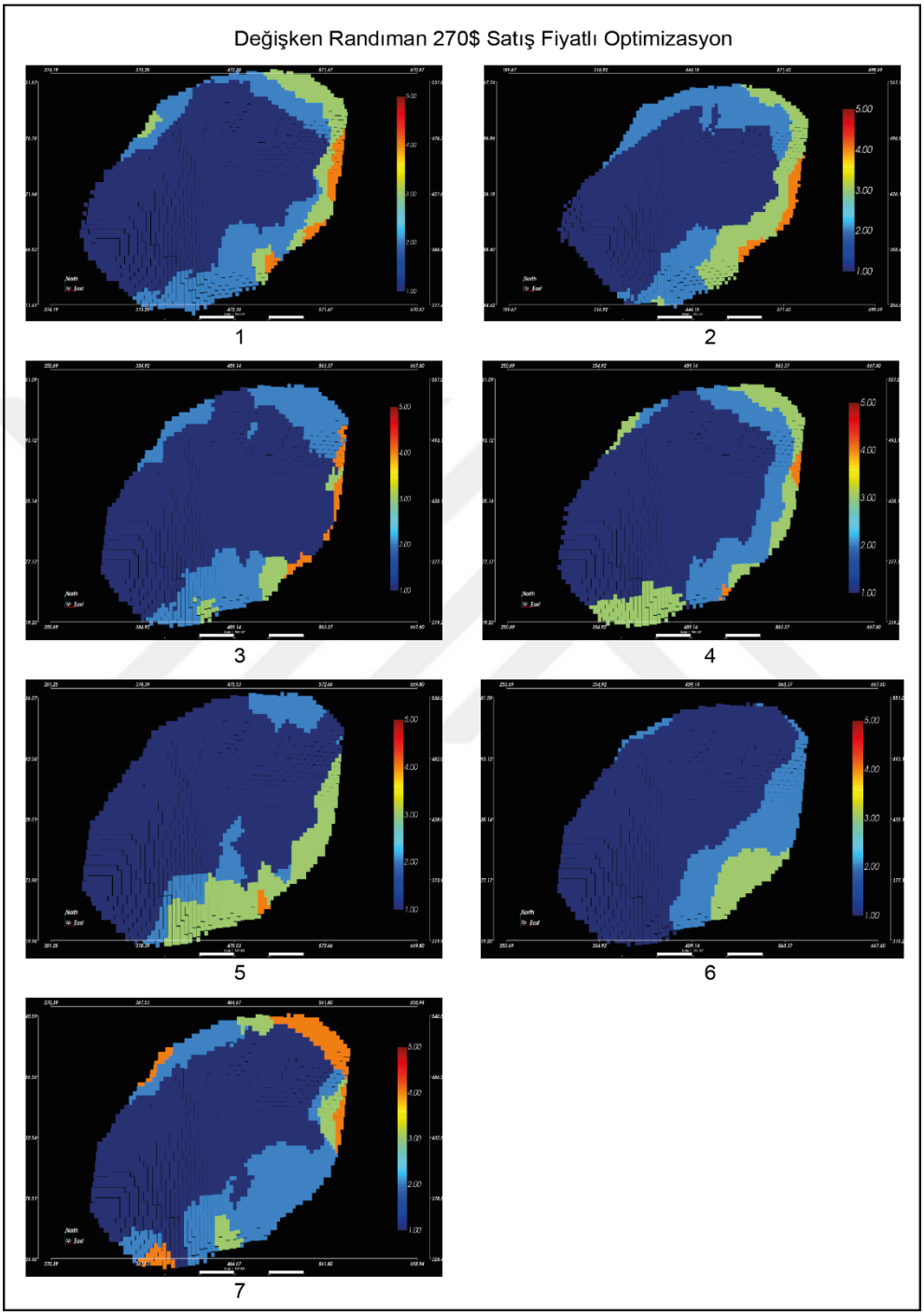
Opt.IV neticesinde elde edilen ocak optimizasyonuna ait senaryolar bazında Şekil 4.57'de plan, Şekil 4.58'de düşey görünümlü olarak verilmiştir.



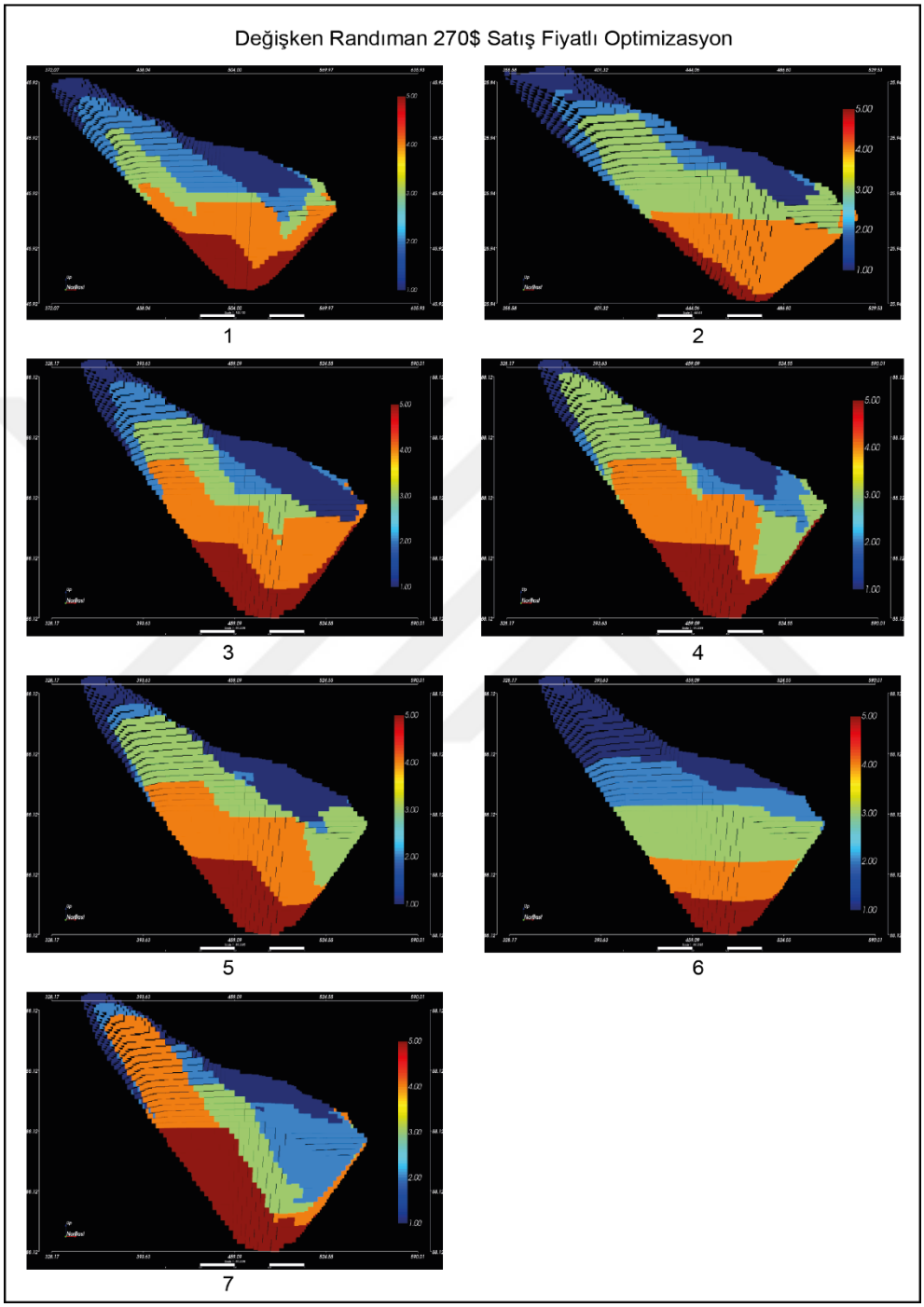
Şekil 4.55. Opt.III ocak sınırları plan görünümü



Şekil 4.56. Opt.III üretim sırası düşey görünümü



Şekil 4. 57. Opt.IV ocak sınırları plan görünümü



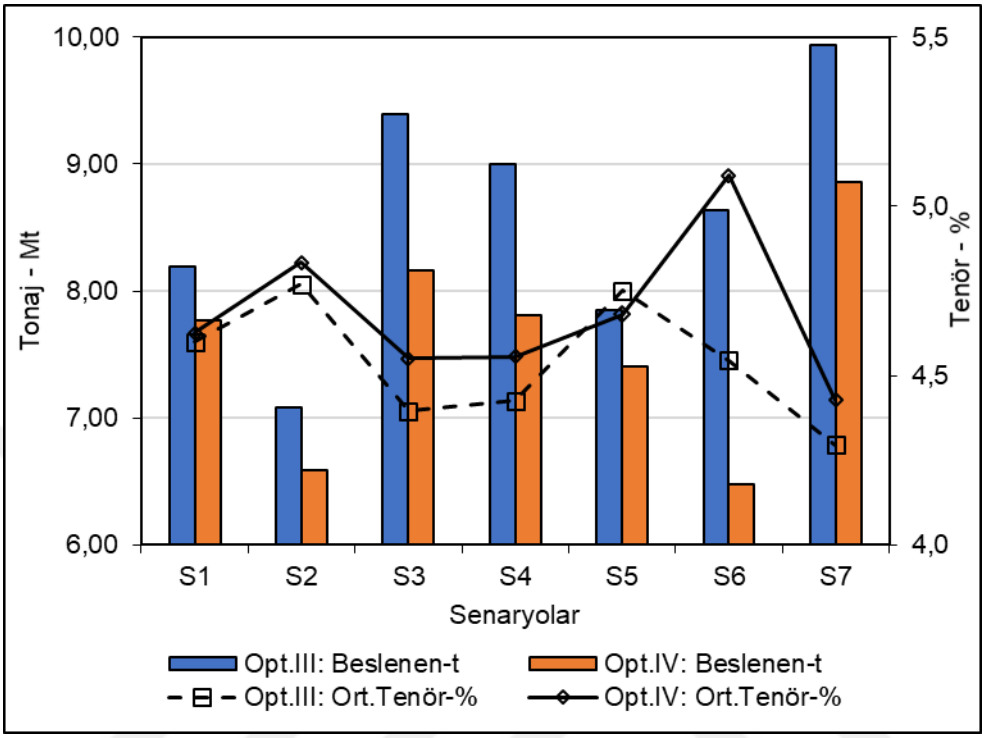
Şekil 4.58. Opt.IV üretim sırası, düşey görünümü

Senaryolarda, tesise beslenen tüvenan miktar ve ortalama tenörleri Çizelge 4.29'da yer almaktadır.

Çizelge 4.29. Opt. III ve IV'te senaryoların ürettiği tesis besleme tonajı ve ortalama tenörleri

Senaryolar	Opt.III		Opt.IV	
	Beslenen- t	Ort. Tenör- %	Beslenen- t	Ort. Tenör- %
S1	8194920	4,60	7766130	4,63
S2	7084130	4,77	6593350	4,83
S3	9393920	4,40	8159240	4,55
S4	8998360	4,43	7806060	4,56
S5	7846170	4,75	7406940	4,68
S6	8639050	4,54	6473320	5,09
S7	9934660	4,30	8854760	4,43

Bu çizelgelere göre grafik oluşturulduğunda Şekil 4.59'da grafikler elde edilmektedir. Opt.III'e bakılacak olursa, besleme miktarı arttıkça, tesise beslenen tenör değeri düşmektedir. Opt.IV'te ise; 3, 4, 5 ve 6'ncı senaryolarda besleme miktarı dolayısı ile üretim miktarında düşüş görülmektedir. Grafiksel olarak iki optimizasyon sonuçları birbirine benzerlik göstermektedir. Tesise beslenen miktar, üretimin kendisi olduğu için, bir optimizasyonda üretimin artması demek daha düşük tenörlü blokların üretilebileceği ve daha düşük tenörlü blokların tesise beslenebileceği anlamına gelmektedir. Opt.III'te minimum ortalama %4,30 tenörlü cevhere kadar besleme yapılabilirken, değişken randımanlı Opt.IV'te ise bu değer %4,43 olmaktadır.



Şekil 4.59. Opt.III ve Opt.IV beslenen tonaj-tenör ilişkisi grafiği

4.3.6.3.3. Opt.II ve Opt.IV Randıman Sonuçları

Her bir bloğun tenörüne göre metalürjik randımanlarının hesaplanarak kullanıldığı Opt.II ve Opt.IV'te oluşan randıman sonuçları senaryolarına göre Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.30. Opt.II periyotlara göre üretilen randıman değerleri

Periyotlar	Senaryolar						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Periyot1	55,99	56,02	56,05	55,95	56,09	55,91	55,98
Periyot2	55,89	55,78	55,91	55,86	56,05	55,65	55,33
Periyot3	55,42	55,45	55,56	55,40	55,31	55,12	55,38
Periyot4	55,24	55,34	55,11	55,19	55,42	55,68	55,28
Periyot5			55,11	55,09	55,46		54,92
Ortalama	55,63	55,65	55,55	55,50	55,67	55,59	55,38

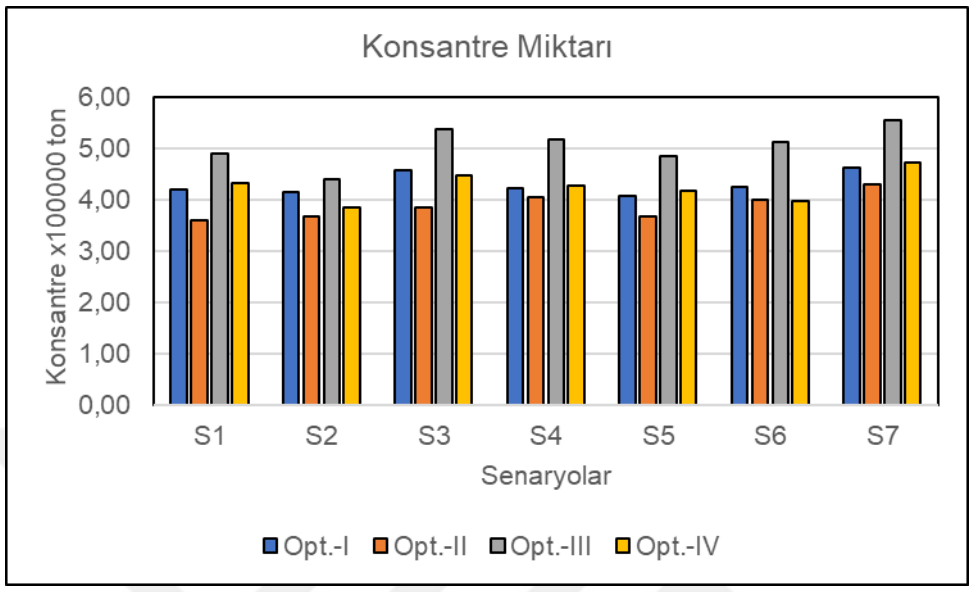
Çizelge 4.31. Opt.IV periyotlara göre üretilen randıman değerleri

Periyotlar	Senaryolar						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Periyot1	55,90	56,17	55,84	55,95	56,28	55,80	56,00
Periyot2	55,78	55,81	55,89	55,99	56,05	55,95	55,42
Periyot3	55,56	55,59	55,56	55,47	55,14	55,54	55,45
Periyot4	55,14	55,29	55,00	55,04	55,40	55,61	55,17
Periyot5	54,98	54,93	55,00	55,00	55,10	55,24	54,85
Ortalama	55,47	55,56	55,46	55,49	55,60	55,63	55,38

Çizelge 4.30'daki sonuçlara göre Opt.II'de senaryolardan elde edilen en düşük metalürjik randıman değeri %54,92 olurken, maksimum randıman değeri %56,09 olmaktadır. Çizelge 4.31'de ise Opt.IV'teki senaryolardan elde edilen en düşük metalürjik randıman değeri %54,85 olurken, maksimum randıman değeri %56,28 olmaktadır.

4.3.7. Optimizasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Opt.I ve Opt.IV'ün ürettikleri konsantre tonajları birbirlerine yakın olmasına rağmen, Opt.IV'ün NBD'si Opt.I'den büyüktür. Şekil 4.60'ta tüm senaryoların üretmiş oldukları satılık ürün (konsantre) miktarına bakılacak olursa;



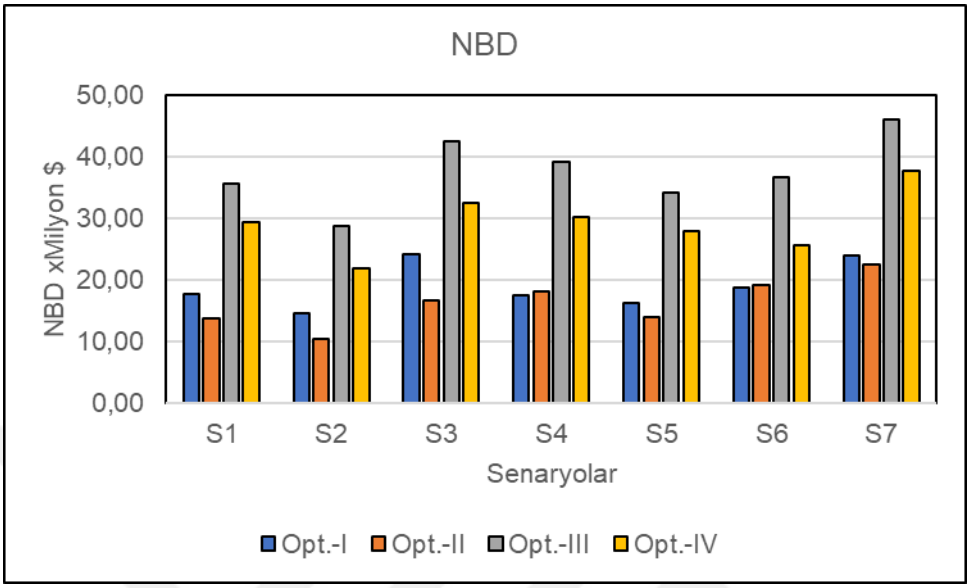
Şekil 4.60. Optimizasyonların ürettikleri konsantre miktarları karşılaştırması

1. Senayo2, 3 ve 6'da Opt.IV'ün üretmiş olduğu konsantre, düşük satış fiyatlı Opt.I'den daha düşüktür. Buna karşılık üretmiş olduğu Net Bugünkü Değer ise Opt.I'den daha fazladır (Şekil 4.61).
2. Senaryo 4'te satış fiyatı 227 $/t olan sabit randımanlı Opt.I'in, değişken randımanlı Opt.II'den üretilen konsantre olarak fazlası olmasına rağmen; üretmiş oldukları Net Bugünkü Değer bakımından Opt.II'nin, I'den daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebi de bu senaryoya gelindiğinde, Madencilik Genişliğinin 10 metre düşürülerek, çalışma için gerekli Taban genişliğinin 10 metre arttırılmış olmasıdır. Ancak; aynı parametreler Opt.III ve IV'e uygulanmış olmasına rağmen aynı türden bir sonuç vermemiş olduğu görülmüştür. Bunun sebebi de satış fiyatının 43 $/t arttırılması ile oluşturulan bu yeni optimizasyonlarda daha önce hesaba alınmayan blokların devreye girmesi ile optimizasyon algoritmasının blokları değerlendirme şeklinin değişmesidir. Ayrıca tam

tersi olarak, Senaryo6'da Opt.II, daha fazla NBD değerini, Opt.I'den daha az konsantre üreterek elde etmiştir.

3. Yine Senaryo 6'da Optimizasyon IV'ün üretmiş olduğu NBD değerinin (Şekil 4.62) daha düşük satış fiyatlı Optimizasyon I ve II'den normal olarak büyük olduğu görülmüştür. Ancak; Şekil 4.61'e bakıldığında bu fazla NBD'ye diğer iki optimizasyondan daha az konsantre üreterek ulaşmış olduğu görülmüştür.
4. Satış fiyatı 270 $/t olan senaryolarda, sabit randıman değeri ve değişken randıman değeri ile yapılan Opt.III ve IV'e ait Şekil 4.60 ve 4.61'deki grafik çubuklarına bakıldığında, her senaryoda sabit randıman değerinin değişken randıman değerinden hem üretilen konsantre miktarı hem de elde edilen NBD değeri bakımından fazla olduğu görülmektedir.

Buna göre; elde edilen kâr, üretilen hammadde miktarıyla orantılı gibi görünse de bu, üretimin oluşturacağı maliyetlerin aşılarak kâr oluşturmasının daha önemli olduğunu göstermektedir. Opt.IV'ün satış fiyatı Opt.I'in satış fiyatından 43 $/t daha fazla olduğu için, daha az konsantre ile oluşturulan periyotta daha fazla NBD'ye ulaşabilmektedir.



Şekil 4.61. Optimizasyonların ürettikleri NBD karşılaştırması

Bir diğer karşılaştırma ise; ocaktan çıkarılan ve proses tesisine sevk edilen blokların minimum ve maksimum tenörlerine ait Çizelge 4.32'de yer alan değerler üzerindendir.

Çizelge 4.32. Tesise beslenen minimum ve maksimum blok tenör değerleri

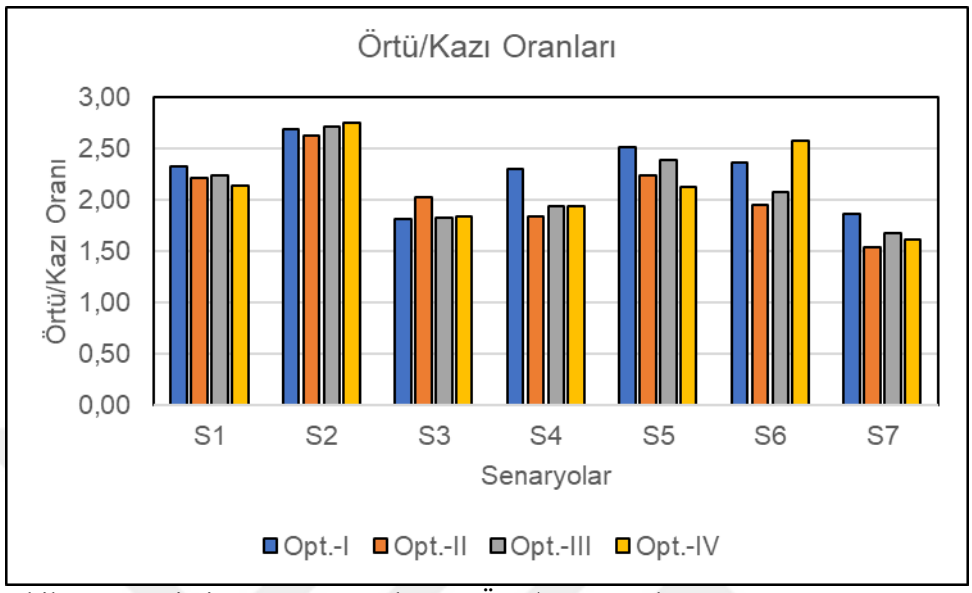
Senaryo	Opt.-I		Opt.-II		Opt.-III		Opt.-IV	
	min	max	min	max	min	max	min	max
S1	0,927	13,749	1,047	13,749	0,866	13,749	0,874	13,749
S2	0,931	13,749	1,086	13,749	0,786	13,749	0,874	13,749
S3	0,927	13,749	1,048	13,749	0,768	13,749	0,874	13,749
S4	0,927	13,749	1,048	13,749	0,794	13,749	0,874	13,749
S5	0,987	13,749	1,086	13,749	0,902	13,749	0,874	13,749
S6	0,927	13,749	1,086	13,749	0,794	13,749	0,987	13,749
S7	0,927	13,749	1,048	13,749	0,768	13,749	0,905	13,749

Bu çizelgeye bakıldığında, en yüksek besleme tenörü Opt.II'ye aittir. Bunun sebebi de değişken randıman kabulü ile optimizasyonun oluşturulmuş olmasıdır.

Dolayısı ile en yüksek NBD değerine ulaşabilmek adına optimizasyon algoritmasının daha yüksek tenörlü blokları seçmek istemesidir. Yapılan optimizasyon çalışmalarında bu çizelgeye göre örneğin Opt.I için açık ocak sınır tenör değeri 0,927 ile 0,987 arasında değişmektedir denilebilir. Ayrıca; yine Şekil 4.61'deki üretilen NBD değerleri ile kıyas yapıldığında da minimum eşik tenörün yükseldiği senaryolarda NBD değerlerinin düştüğü, tenörün düştüğü senaryolarda da NBD değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Bunun sebebi, optimizasyon algoritmasına tanıtılan parametrelere göre, algoritma daha ekonomik bir aşamaya geçtiği her senaryoda daha düşük tenörlü blokları hesaba katmasındandır. Çizelge 4.33'te verilen değerlere ve Şekil 4.62'de yer alan Örtü/Kazı oranlarına bakıldığında sabit randıman değerli ve 227 $/t satış fiyatlı Opt.I'in diğer optimizasyonlardan daha fazla örtü/kazı oranına sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.33. Optimizasyon senaryolarının Örtü/Kazı Oranları

Örtü/Kazı	Opt.-I	Opt.-II	Opt.-III	Opt.-IV
S1	2,32	2,21	2,24	2,14
S2	2,69	2,63	2,72	2,76
S3	1,82	2,02	1,83	1,84
S4	2,30	1,84	1,94	1,94
S5	2,51	2,24	2,39	2,13
S6	2,36	1,95	2,08	2,58
S7	1,87	1,55	1,67	1,62



Şekil 4.62. Optimizasyon senaryolarının Örtü/Kazı oranları

Uygulamada sabit metal kurtarma randıman değeri ile bloklara uyarlanan atık tenörü üzerinden oluşan değişken metal kurtarma randımanları arasında farklılık olması beklenir. Bu farkın değeri işletme çapı ve ürünün değeri üzerinden optimizasyon sonuçlarını değiştirmektedir. Ancak; burada ve bu şekilde yapılacak diğer optimizasyon çalışmalarında, üretilen net bugünkü değer anlamında sonuçlara bakıldığında üretilen ürünün piyasa değerine göre orantılı olarak kazanılacak net bugünkü değerleri arasında büyük farklılıklar olabileceği görülmüştür. Şelale açık ocakta bu tür bir optimizasyon çalışması ile aynı satış fiyatı ile yapılan Opt.I ve II'de net bugünkü değer farkı 7 milyon $'a ulaşırken, yine aynı satış fiyatı ile yapılan Opt.III ve IV'de bu değer 11 milyon $'a kadar ulaşabilmektedir. Bu da Opt.I ve II'de yaklaşık %30'luk bir farka (maksimum NBD'yi veren senaryo baz alınırsa), Opt.III ve IV'de ise yaklaşık %24'lük bir farka (maksimum NBD'yi veren senaryo baz alınırsa) karşılık gelmektedir.

Optimizasyon senaryolarının kendi içerisinde korelasyonlarına bakılacak olursa, sabit randımanlı Opt.I'e ait korelasyon matrisi Çizelge 4.34'te yer almaktadır. Çizelgeye bakıldığında,

- Üretim-Dekapaj: -0,823 katsayı ile negatif yönlü bir ilişki, yani dekapaj arttıkça üretimin azaldığı,
- Üretim-NBD: +0,786 katsayı ile pozitif yönlü bir ilişki, yani üretim arttıkça net bugünkü değerde artış olduğu,
- Dekapaj-NBD: -0,893 katsayı ile negatif yönlü bir ilişki, yani dekapaj arttıkça NBD'in azaldığı (zira fazla faydasız örtünün kaldırılması, üretimsiz sadece maliyet birikimine sebebiyet vermektedir),
- Üretim-Konsantre: +0,893 katsayı ile pozitif yönlü bir ilişki, yani üretim arttıkça konsantre miktarının artmış olduğu (sabit randıman ve alınan ürün tenörleri baz alındığında üretim ne kadar artarsa, elde edilen konsantre miktarında da artış yaşanmış olacaktır ancak bu artış lineer bir artış olmayacaktır),
- NBD-Örtü/Kazı: -0,857 katsayı ile negatif yönlü bir ilişki, yani örtü/kazı oranı arttıkça net bugünkü değerin azaldığı (faydasız örtünün fazlaca kaldırılması ilave maliyet demek bu da kar marjının düşmesi demek olacaktır),
- Konsantre-Örtü/Kazı: -0,821 katsayı ile negatif yönlü bir ilişki, yani örtü/kazı oranı arttıkça dekapaj artacak ve üretim azalacağından, üretilen konsantre miktarının da buna oranla düşük olacağı görülmektedir.

Çizelge 4.34. Opt.I senaryo sonuçlarına ait korelasyon matrisi

Opt.I	Üretim	Dekapaj	NBD	Konsantre	Örtü/Kazı
Üretim	1.000				
Dekapaj	-0.893	1.000			
NBD	0.786	-0.893	1.000		
Konsantre	0.893	-0.786	0.893	1.000	
Örtü/Kazı	-0.929	0.964	-0.857	-0.821	1.000

Tüm optimizayson sonuçlarına değinmeden ek olarak değişken randımanlı ve 270 $/t satış fiyatına göre oluşturulan Opt.IV'e ait korelasyon matrisine bakılacak olursa (Çizelge 4.35);

- Üretim-Dekapaj: -0,929 katsayı ile negatif yönlü bir ilişki, yani dekapaj arttıkça üretimin azaldığı,
- Üretim-NBD: +0,964 katsayı ile pozitif yönlü bir ilişki, yani üretim arttıkça net bugünkü değerde artış olduğu,
- Dekapaj-NBD: -0,964 katsayı ile negatif yönlü bir ilişki, yani dekapaj arttıkça NBD'in azaldığı (zira fazla faydasız örtünün kaldırılması, üretimsiz sadece maliyet birikimine sebebiyet vermektedir),
- Üretim-Konsantre: +0,929 katsayı ile pozitif yönlü bir ilişki, yani üretim arttıkça konsantre miktarının artmış olduğu (sabit randıman ve alınan ürün tenörleri baz alındığında üretim ne kadar artarsa, elde edilen konsantre miktarında da artış yaşanmış olacaktır ancak bu artış lineer bir artış olmayacaktır),
- NBD-Örtü/Kazı: -0,964 katsayı ile negatif yönlü bir ilişki, yani örtü/kazı oranı arttıkça net bugünkü değerin azaldığı (faydasız örtünün fazlaca kaldırılması ilave maliyet demek bu da kar marjının düşmesi demek olacaktır),
- Konsantre-Örtü/Kazı: -0,893 katsayı ile negatif yönlü bir ilişki, yani örtü/kazı oranı arttıkça dekapaj artacak ve üretim azalacağından,

üretilen konsantre miktarının da buna oranla düşük olacağı görülmektedir.

Çizelge 4.35. Opt.IV senaryo sonuçlarına ait korelasyon matrisi

Opt.IV	Üretim	Dekapaj	NBD	Konsantre	Örtü/Kazı
Üretim	1,000				
Dekapaj	-0,929	1,000			
NBD	0,964	-0,964	1,000		
Konsantre	0,929	-0,893	0,964	1,000	
Örtü/Kazı	-0,929	1,000	-0,964	-0,893	1,000

Bütün bu optimizasyon denemelerinin sonucunda, sabit randıman değeri ile değişken randıman değeri arasındaki farkı görmek için, her iki koşulda oluşan üretim farklarına bakılmıştır. Değişken metalürjik randıman parametresini kullanan iki optimizasyonun, sabit randıman değeri olan %60 değeri karşısında minimum ve maksimum farkları gösterir çizelge Opt.II (Çizelge 4.36) ve Opt.IV (Çizelge 4.37) için aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.36. Opt.II randıman değerlerinin sabit randımana göre kıyaslaması

Opt.II	Minimum	Maksimum
Sabit Metalürjik Randıman- %	60,00	60,00
Değişken Metalürjik Randıman- %	54,92	56,09
Randıman Farkı- %	5,08	3,91
Randıman Farkına Göre Konsantre Farkı- ton	35980	25977
Senaryoların Ürettiği Ortalama Konsantre- ton		388452
Randıman Farkına Göre Konsantre Farkı- %	9,26%	6,69%

Çizelge 4.36 incelendiğinde, sabit randımanla yapılan bir optimizasyon denemesi, değişken randımanlı yapılan bir denemeye karşın minimum 25977 ton fazla konsantre üretmiş demektir. Bu da Opt.II'de kullanılan satış fiyatı olan 227 $/t ile çarpıldığında; 5896779 $'lık bir brüt kârın değerlendirmeye alınması demektir. Yine aynı şekilde Çizelge 4.37'de Opt.IV'ün karşılaştırma sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.37. Opt.IV randıman değerlerinin sabit randımana göre kıyaslaması

Opt.IV	Minimum	Maksimum
Sabit Metalürjik Randıman- %	60,00	60,00
Değişken Metalürjik Randıman- %	54,85	56,28
Randıman Farkı- %	5,15	3,72
Randıman Farkına Göre Konsantre Farkı- ton	39044	30036
Senaryoların Ürettiği Ortalama Konsantre- ton		426517
Randıman Farkına Göre Konsantre Farkı- %	9,15%	7,04%

Çizelge 4.37 incelendiğinde; sabit randımanla yapılan optimizasyon denemesi, değişken randımanlı yapılan denemeye karşın minimum 30036 ton fazla konsantre üretmiş demektir. Bu da Opt.IV'te kullanılan satış fiyatı olan 270 $/t ile çarpıldığında; 8109720 $'lık bir brüt karın değerlendirmeye alınması demektir. Sonuç olarak; küçük bir cevher kütlesi için yapılan bu optimizasyon karşılaştırmalarında, brüt anlamda yaklaşık 6 ile 8 milyon dolar arasında bir brüt kar farkı oluşmuştur.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bir krom sahası özelinde eknomik ve teknik belirsizlik koşulları altında maksimum net bugünkü değeri verecek optimizasyon senaryosuna ulaşılması amaçlanmıştır. Aynı şekilde, belirlenen riskler ve oluşan sonuçlar ışığında UMREK gibi uluslararası raporlama standartlarında oluşturulacak ön fizibilite, fizibilite, maden değerleme raporlarında geniş bakış açısı, dar risk aralığı ve raporlama için pratrik araçlar tanımlanması amaçlanmıştır.

UMREK kodu kapsamında, "Blok modeli interpolasyonu yapılması durumunda, ortalama örnekleme mesafesi ve uygulanan aramaya göre blok boyutu başlıklarında çalışmalar yapılmıştır. Seçilen madencilik blok boyutu (örn. doğrusal olmayan kriging) modellemesinin oluşturulmasında kullanılan tüm varsayımlar" (UMREK, 2018) ifadesine göre; bu çalışmada gerekli blok boyutunun yatağa ve kestirim yapılmasına uygunluğu, numunelendirme uzunlukları ve kestirim sonrası çapraz doğrulama sonuçları gösterilmiştir. Aynı tablo ve kısımda belirtilen "Tonaj ve tenör tahmini için (kesit, poligon, mesafenin tersi, jeoistatistiksel veya diğer yöntemler) yapılan tahminler ve kullanılan yöntemlerin detaylı anlatımı" (UMREK, 2018) ifadesine uygun olarak kestirimler detaylandırılmıştır.

UMREK (2018) kodu çerçevesi içerisinde yer alan metal eşdeğerleri ve bileşen tahmini yanında emtia fiyatları için de kestirimlwe gerçekleştirilmiştir. Krom piyasası özelinde korelasyon analizleri yapılmış ve fiyat tahmini belirsizliği altında hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Metalürjik randımanlarla ilgili olarak aynı kısımda yer alan "Her bir metal için metalürjik kazanımların tahminleri özellikle önemlidir. Birçok proje için Arama Sonuçları aşamasında, metalürjik kazanım bilgisi erişilebilir olmayabilir veya yeterli güven ile tahmin edilemeyebilir" ve "Bütüncül metal geri kazanımları genellikle kütle dengesi üzerinden akım şeması temelinde hesaplanır. Bu husus test çalışması ile gösterilmelidir ve bahsi geçen cevher kütlesi ile alakalı olduğu ve sadece bir numune zenginleştirme deneyi olmadığı ortaya konulmalıdır" (UMREK, 2018)

ifadelerine uygun olarak ilgili ocağın bulunmuş olduğu jeolojik yapı üzerindeki diğer ocaklardan tesise beslenen ürünlerden elde edilen konsantre tenör, atık tenör ve besleme tenör analizleri ışığında 2 aylık süreçte laboratuvarda yapılan 70 adet numunenin analizi değerlendirilerek metalürjik randıman hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca; bu çalışmanın amacı olan her bir bloğun metalürjik randımanı bu analizler ışığında yapılan hesaplamalarda belirlenmiş ve optimizasyonlar yapılarak kaynağın ekonomik değeri farklı senaryolarla ortaya konmuş, tek bir modelle yetinilmemiştir. Aynı şekilde yığın yoğunluklarının hesaplanmasında da daha önce JORC standardına uygun olarak raporlama yapan RPM firmasının ilgili sahada gerçekleştirdiği gözlemlerini barındıran saha ziyaret raporu baz alınarak yerinde yoğunluk hesaplamaları yapılmış ve blok modelde yer alan tüm blokların tenörlerine göre yerinde yoğunlukları hesaplanarak optimizasyon yazılımına aktarılması sağlanmıştır.

Tabloda "Madencilik Faktörleri veya Varsayımlar" kısmında yer alan "Maden Kaynağını bir Maden Rezervine dönüştürmek için kullanılan yöntem ve varsayımlar (uygun faktörlerin uygulaması ile, optimizasyon ile veya ön veya detaylı tasarım ile). İlgili tasarım konuları, üst örtünün sıyrılması, erişimi vb. dahil madencilik parametreleri ve madencilik yönteminin seçimi, niteliği ve uygunluğu. Jeoteknik parametreler ve hidrojeolojik rejim (örn. ocak eğimleri, ocak boyutları, su atma yöntemleri ve gereklilikleri vb.), cevher üretimi sırasındaki tenör kontrolü ve üretim öncesi sondaj ile ilgili yapılan kabuller. Yapılan ana kabuller ve ocak optimizasyonu için kullanılan Maden Kaynağı modeli (uygunsa). Madencilik faaliyetleri yan kayaç karışması sonucu seyrelme faktörleri, maden geri kazanım faktörleri ve kullanılan asgari madencilik genişlikleri ve seçilen madencilik yöntemlerinin alt yapı gereklilikleri. Uygulanabilir olduğunda, performans parametrelerinin geçmiş güvenilirliği" ifadesine uygun olarak gerekli parametre kabul ve varsayımları, belirsizliklerin belirlenmesi ve simüle edilmesi, ocak yapısına uygun şev açılarının tespiti gibi parametreler bu çalışmada kullanılarak optimizasyonlar farklı senaryolarla alternatifli olarak gerçekleştirilmiştir. Yine

raporun "Metalürjik Faktörler ve Kabuller" kısmında yer alan maddelere paralel olarak gerekli kabuller yukarıda açıklandığı gibi detaylandırılmıştır. "Masraf ve Gelir Faktörleri" kısmında yer alan "Proje sermayesi ve işletim maliyetlerine dair yapılan varsayımların elde edilmesi" ifadesine uygun olarak yıllık 1800000 ton üretim yapacak işletme ve buna göre günlük 5000 ton tüvenan beslemesi yapacak tesis için ayrı ayrı maliyet hesaplamaları aynı firmanın Finans Direktörlüğü departmanından elde edilen, geçmiş birim maliyet verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

"Eşik Tenör Değerleri ve Parametreleri" kısmında yer alan "Uygulanan sınır tenörler (cut-off grades) veya kalite parametrelerinin temeli (mümkünse eşdeğer metal formülünün temeli dahil) belirtilmelidir. Sınır tenör parametresi, tenör yerine, her blok için ekonomik değer olarak da ifade edilebilir" ifadesine göre daha önce belirtilmiş olduğu gibi, diğer optimizasyon yazılımlarında optimizasyon öncesi parametre olarak ocağın sınır tenör değeri (cut-off) girdi olarak tasarımcıdan istenirken, bu çalışmada her bir bloğun ekonomik değeri ayrı ayrı olarak sisteme girilmeden önce hesaplanmış, optimizasyon sonucunda en yüksek net bugünkü değeri sunan sınır tenör değeri elde edilmiştir.

Sonuç olarak satış fiyatı, satış maliyeti, proses maliyeti, operasyon maliyeti, indirgenme oranı, konsantre tenörü, metalürjik randıman değerlerinin her biri bir risk parametresidir. Bu çalışmada jeoistatistiksel simülasyon yöntemi olan ardışık-gauss simülasyonu ile ilk aşamada bir cevher yatağında oluşacak tenör belirsizliklerinin gösterilmesi ile başlayan ve mevcut uluslararası rapor standartları ve UMREK koduna uygun gidilmeye çalışılan raporlamalara yakın olarak, ön-fizibilite, fizibilite veya maden değerleme raporları gibi bu kodların kullanıldığı raporlara uygun ve ilave olabilecek, yatırımcıyı ve ruhsat sahibini aydınlatabilecek sonuçların değerlendirilmesine yer verilmiştir. Çalışmanın temel katkısı; kaynağı rezerve dönüştürme noktasında yapılan ekonomik değerlendirmeler ve optimizasyon uygulamalarının sabit bir randıman değeri yerine, cevherli her bloğun metalürjik randımanı hesaba katılarak, ocak yapısı ve finansal kriterlere en uygun optimizasyon

parametrelerinin belirlendiği aşamada ve Net Bugünkü Değeri olası sınırlarıyla ortaya koyacak şekilde ifade etmesidir.

UMREK kodunun ülkemizde uygulanmaya başlaması ile, Yetkin Kişinin karar alma/karar verme süreçlerini daha gerçekçi yaklaşımlarla atlatabilmesi yönünde, birçok uluslararası rapor standardı çerçevesinde yüzlerce deneye/tecrübeye dayanan "en iyi uygulama" (best practice) parametreleri oluşturulmuş olması gibi UMREK kodu ve yetkin kişi de bu uygulamalardan yararlanacaktır.

KAYNAKLAR

Anıl, M., Yetiş, C., 2011. Dedeman Madencilik A.Ş. Adına İ.R.927 İşletme Ruhsatlı Krom Sahasının Jeolojik, Metalojenik ve Ekonomik İnceleme ve Değerlendirme Raporu. (Yayınlanmamış), Adana.

Arden, H., Pıçakçı, Y., 2014. JORC Kodu ve Türkiye'deki Kaynak ve Rezerv Sınıflandırmasına Etkileri. Madencilik Türkiye, 100-110.

Armstrong, M., Lagos, T., Emery, X., Homem-de-Mello, T., Lagos, G., ve Sauré, D., 2021. Adaptive open-pit mining planning under geological uncertainty. Resources Policy, v.72, 102086.

Babish, G., 2006. Geostatistics Without Tears. A Practical Guide to Geostatistics (Variograms, Kriging, eds). Regina: Environment Canada.

Baek, J., Choi, Y., Park, H., 2016. Uncertainty Representation Method for Open Pit Optimization Results Due to Variation in Mineral Prices. Minerals, 1-15.

Baurens, S., 2010, 7 11. Valuation of Metals and Mining Companies, Swiss Banking Institute 81.

Blumenthal, M. M., 1941. Niğde ve Adana vilayetleri dahilindeki Torosların jeolojisine umumi bir bakış (Cilt 6/B). Ankara: M.T.A.

Blumenthal, M. M., 1952. Toroslarda yüksek Aladağ silsilesinin coğrafyası, stratigrafisi ve tektoniği hakkında yeni etüdler (Cilt D/6). Ankara: M.T.A.

Boisvert, J. B., Rossi, M. E., Ehrig, K., Deutsch, C. V., 2013. Geometallurgical Modeling at Olympic Dam Mine, South Australia. Mathematical Geosciences, (45): 901-925.

Borchert, H., 1964. Pirinciples of the genesis and enrichement of chromite ore deposits. Paris org. Econ Coop. Develop, 175-202.

Caruso, C., Quarta, F., 1998. Interpolation Methods Comparison. Computers Math. Applic., 35(12): 109-126.

Cherchenevski, P. K., Costa, J. F., Rubio, R. H., 2019. Grade Uncertainty Embedded In Long Term Scheduling: Stochastic Mine Planning. REM- International Engineering Journal, 2(72): 275-284.

CIM., 2019, 11 29. CIM Estimation of Mineral Resources and Mineral Reserves Best Practice Guidelines. Quebec, Westmount, Canada: The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.

Coombes, J., 2008. The Art and Science of Resource Estimation. Perth: Coombes Capability, 229.

Crirsco., 2013. Internatıonal Reporting Template. Crirsco.

Deiss, A., 2012, Ağustos. Technical Report Detailing The Geological Modelling And Resource Estimation Approach To The Şelale Chromite Mine, Adana / Gerdibi Province, Turkey. South Africa: MineRP.

Deutsch, C.V. ve Journel, A.G., 1997. GSLIB: Geostatistical Software Library and Users Guide, Oxford University Press, New York, second edition, 1997, s.369.

Dimitrakopoulos, R. G., Sabour, S. A., 2007. Evaluating mine plans under uncertainty: Can the real options make a difference? Resources Policy, 32(5): 116-125.

Dimitrakopoulos, R., Farrelly, C. T., Godoy, M. C., 2002. Moving forward from traditional optimisation: grade uncertainty and risk effects in open pit mine design. Mining Technology, 82-89.

Dutta, P. J., 2009. Sequential Gaussian Simulation. Mumbai: Department Of Earth Scıences Indian Institute Of Technology Bombay.

Edwards, A. C., 2001. Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The AusIMM Guide to Good Practice. Victoria: Australasian Institute of Mining and Metallurgy.

Esri., 2019, 03 03. https://www.esri.com/. 03 03, 2019 tarihinde https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/geostatistical-analyst/key-concepts-of-geostatistical-simulation.htm adresinden alındı

Freire, L. A., Leite, J. Y., da Silva, D. N., da Silva, B. G., Oliveira, J. C., 2019. Behavior of the chromite tailings in a centrifugal concentrator (FALCON). REM, Int. Eng. J., Ouro Preto, 72(1): 147-152.

Gandhi, S. M., Barkar, B. C., 2016. Essentials Of Mineral Exploration And Evaluation, Candice G. Janco, Elsevier.

Garrido, M., Ortiz, J. M., Villaseca, F., Kracht, W., Townley, B., Miranda, R., 2019. Change of support using non-additive variables with Gibbs Sampler: Application to metallurgical recovery of sulphide ores. Computers Geosciences, (122):68-76.

Goodfellow, R. C., Dimitrakopoulos, R., 2016. Global Optimization Of Open Pit Mining Complexes With Uncertainty. Applied Soft Computing, 292-304.

Goovaerts, P., 1997. Geostatistics For Natural Resource Evaluation, Oxford University Press, New York.

Journel, A. G., 1974. Geostatistics For Conditional Simulation Of Ore Bodies. Economic Geology, 673-687.

Kasa, F. K., 2019. Doğrudan Blok Planlama ile Oluşan Sonuçların Monte-Carlo Simulasyonu ile Simule Edilerek Karşılaştırılması. Proceedings of the 26th International Mining Congress, s.1487:1499, Antalya.

Kring, K., Chatterjee, S., 2020. Uncertainty quantification of structural and geotechnical parameter by geostatistical simulations applied to a stability analysis case study with limited exploration data. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, v.125, 104157.

Kumral, M., 2011. Incorporating geo-metallurgical information into mine production scheduling. Journal of the Operational Research Society, (62):60-68.

Kumral, M., 2015. Grade control in multi-variable ore deposits as a quality management problem under uncertainty. International Journal Of Quality & Reliability Management, 4(32):334-345.

Kumral, M., Sari, Y. A., 2017. Simulation-Based Mine Extraction Sequencing With Chance Constrained Risk Tolerance. Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International, 527-539.

Lehman, D., Groenendaal, H., Nolder, G., 2011. Practical Spreadsheet Risk Modeling for Management. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC.

Leite, A., Dimitrakopoulos, R., 2009. Production Scheduling Under Metal Uncertainty-application Of Stochastic Mathematical Programming At An Open Pit Copper Mine And Comparision To Conventional Scheduling. International Symposium: Orebody Modelling and Strategic Mine Planning : Old and New Dimensions in a Changing World, s. 27-32, Perth: AusIMM.

Leite, A., ve Dimitrakopoulos, R., 2014. Stochastic optimization of mine production scheduling with uncertain ore/metal/waste supply. International Journal of Mining Science and Technology, v.24(6), p.755-762.

Lerchs, L., Grossman, F., 1965. Optimum Design Of Open-pit Mines. Canadian Mining Metallurgical Bull, 17-24.

Maden Kanunu, 1985. Tarih: 15/6/1985, Sayı: 18785, Tertip:5, Cilt:24, s.446

Marcotte, D., Caron, J., 2013. Ultimate open pit stochastic optimization. Computers & Geosciences, v.51, p.238-246.

Metz, K., 1956. Aladağ ve Karanfil Dağının yapısı ve bunların Kilikya Torosu tesmiye edilen batı kenarları hakkında yapılan jeolojik etüd. M.T.A. Enstitüsü Dergisi, (48): 63-76.

Micromine., 2016. Micromine Pit Optimisation Training. Micromine Pit Optimisation Training. Micromine.

Mondal, S., Ziete, L., Bisht, B. S., Mallik, M. A., 2015. 2D Geostatistical Modeling and Volume Estimation of an Important Part of Western Onland Oil, India. 11th Biennial International Conference & Exposition. Jaipur: SPG India.

Montiel, L., Dimitrakopoulos, R., 2017. A heuristic approach for the stochastic optimization of mine production schedules. Journal of Heuristics, 397-415.

Moosavi, E., Gholamnejad, J., 2016. Optimal Extraction Sequence Modeling for Open Pit Mining Operation Considering the Dynamic Cutoff Grade. Journal of Mining Science, (52):956-964.

Morales, N., Jélvez, E., Nancel-Penard, P., Marinho, A., Guimaraes, O., 2015. A Comparison of Conventional and Direct Block Scheduling Methods for Open-Pit Mine Production Scheduling. In Proceedings of the 37th APCOM 2015, s. 1040-1051, Fairbanks.

Morales, N., Seguel, S., Cáceres, A., Jélvez, E., Alarcón, M., 2019. Incorporation of Geometallurgical Attributes and Geological Uncertainty into Long-Term Open-Pit Mine Planning. Minerals, 9(108): 1-26.

Morley, C., Snowden, V., Day, D., 1999. Financial Impact Of Resource/Reserve Uncertainty. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 293-302.

Oliver, M. A., ve Webster, R. 2015. Basic steps in geostatistics: the variogram and kriging. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, s.100.

Ortiz, J. M., 2020. Introduction to sequential Gaussian simulation, Predictive Geometallurgy and Geostatistics Lab, Queen's University, Annual Report 2020, paper 2020-01, 7-19.

Özkan, Y. Z., Akbaba, M. A., 2013. Örneklemeden Rapor Etmeye Adım Adım Maden Kaynak Tahmini. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 141-158.

Öztürk, L., 2004. Monte-Carlo Simulasyon Metodu ve Bir İşletme Uygulaması. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 116-122.

Pachamanova, D. A., Fabozzi, F. J., 2010. Simulation And Optimization In Finance, John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.

Payne, P., 2018, Eylül. Şelale Chromite Mine, Delikkaya Pb Zn Mine, Turkey – Stage 1 Site Visit Report. İstanbul: RPM Advisory Services Pty Ltd.

Ramazan, S., Dimitrakopoulos, R., 2013. Production Scheduling With Uncertain Supply: A New Solution To The Open Pit Mining Problem. Optimization And Engineering, 361-380.

Raychaudhuri, S., 2008. Introductıon To Monte Carlo Sımulatıon. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, s. 91-100, Florida: WSC.

Rozman, L., 2001. Measuring and Managing the Risk in Mineral Resources and Ore Reserves, in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice (Ed: A C Edwards), s.519–526.

Sarma, D. D., 2009. Geostatistics With Applications In Earth Sciences, Springer, Dordrecht.

Smith, G. L., Surujhlal, S. N., Manyuchi, K. T., 2008. Strategic mine planning - communicating uncertainty with scenarios. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, (108):725-732.

Souza, F. R., Burgarelli, R. H., Nader, A. S., Ortiz, C. E., Chaves, L. S., Carvalho, L. A., Galery, R., 2018. Direct Block Scheduling Technology: Analysis Of Avidity. REM - International Engineering Journal, 97-104.

Soylu, M., 2017. UMREK Yönetmelik Taslağı MJD Değerlendirme ve Önerileri, Ankara: Maden Jeologları Derneği.

Taşlıgil, N., Şahin, G., 2015. Chrome in Türkiye in Terms of Economic Geography. Eurasian Academy of Sciences Social Sciences Journal, (4):82-108.

Tercan, A. E., Akcan, E., 2005. Linyit Kalitesi-Rezerv Eğrilerindeki Belirsizliğin Jeoistatistiksel Benzetimle Değerlendirilmesi: Örnek Bir Çalışma. Madencilik, 3-16.

Thander, B., Sircar, A., Karmakar, G. P., 2014. Hydrocarbon Resource Estimation: Application of Monte Carlo Simulation. International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science, 30-47.

Thobaven, D., Willoughby, J., 2012, Ağustos. Strategic Mine Planning in Whittle 4.5 and Surpac v6.3. Perth: Gemcom Software International Inc.

Torikian, H., Kumral, M., 2014. Analyzing Reproduction Of Correlations In Monte Carlo Simulations: Application To Mine Project Valuation. Georisk, 235-249.

UMREK., 2018. Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Kodu, Ankara.

Winston, W. L., Goldberg, J. B., 1997. Operations Research: Applications and Algorithms. Cengage Learning.

Yarus, J. M., ve Chambers, R. L., 2006. Stochastic Modeling and Geostatistics: Principles, Methods, and Case Studies, Volume II (Vol. 5). AAPG.

Yersel, H. G., Konuk, A., 1997. Manyezit Maden İşletmeciliğinde Sınır % Si02 Kararları Riskliliği. Madencilik, 11-19.

https://en.wikipedia.org/wiki/Poseidon_bubble, Erişim Tarihi, Temmuz 2021.

https://data.ferroalloynet.com/chartv2/Default.aspx, Erişim Tarihi, Ağustos 2021.

https://knowledge.miningmath.com/general-contents/user-interface/geometric/widths, Erişim Tarihi, Ağustos 2021.

https://knowledge.miningmath.com/general-contents/user-interface/geometric/vertical-rate, Erişim Tarihi, Ağustos 2021.

https://knowledge.miningmath.com/start-here/economic-values, Erişim Tarihi, Ağustos 2021.

ÖZGEÇMİŞ

İlkokul, ortaokul ve lise eğitimlerini Mersin'de tamamladıktan sonra 1998 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2002 yılında Maden Mühendisi unvanını almaya hak kazandı.

2003 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2006 yılında Maden Yüksek Mühendisi unvanını almaya hak kazandı.

2007 yılında Dedeman Madencilik A.Ş. firmasında Maden Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2015 yılında İşletme Müdürlüğü'ne atandıktan sonra 2016 yılında Çukurova Üniversitesi'nde Doktora eğitimine başlamıştır. 2020 yılında yine Dedeman Madencilik A.Ş. firmasında Grup Proje Müdürü olarak görevine devam etmektedir.

EKLER

Ek-1 Sondaj Koordinat Ve Derinlik Bilgileri

Sondaj No	X	Y	Z	Ölçüm Yöntemi	Derinlik
S1_1A	689148.00	4153226.00	1092.50	GPS	96.00
S1_1B	689148.00	4153226.00	1092.50	GPS	120.00
S1_1C	689148.00	4153226.00	1092.50	GPS	66.00
S1_2A	689145.00	4153128.00	1094.40	GPS	102.00
S1_2B	689145.00	4153128.00	1094.40	GPS	81.00
S1_2C	689145.00	4153128.00	1094.40	GPS	60.00
S1_2D	689145.00	4153128.00	1094.40	GPS	81.00
S1_2E	689145.00	4153128.00	1094.40	GPS	66.00
S1_3A	689196.00	4153130.00	1091.60	GPS	72.00
S1_3B	689196.00	4153130.00	1091.60	GPS	75.00
S1_3C	689196.00	4153130.00	1091.60	GPS	75.00
S1_3D	689196.00	4153130.00	1091.60	GPS	72.00
S1_3E	689196.00	4153130.00	1091.60	GPS	81.00
S1_3F	689196.00	4153130.00	1091.60	GPS	66.00
S1_4A	689145.00	4153084.00	1074.40	GPS	66.00
S1_4B	689145.00	4153084.00	1074.40	GPS	69.00
S1_4C	689145.00	4153084.00	1074.40	GPS	57.00
S1_4D	689145.00	4153084.00	1074.40	GPS	75.00
S1_4E	689145.00	4153084.00	1074.40	GPS	75.00
S1_4F	689145.00	4153084.00	1074.40	GPS	66.00
S2_21	688559.64	4153113.73	1323.32	GPS	96.00
S2_22	688559.64	4153113.73	1323.32	GPS	78.00
S2_23	688559.64	4153113.73	1323.32	GPS	102.00
S2_24	688559.64	4153113.73	1323.32	GPS	72.00
S2_25	688514.06	4153040.90	1305.50	GPS	105.00
S2_26	688514.06	4153040.90	1305.50	GPS	99.00
S2_27	688514.06	4153040.90	1305.50	GPS	117.00
S2_28	688514.06	4153040.90	1305.50	GPS	69.00
S2_29	688514.06	4153040.90	1305.50	GPS	102.00
S2_30	688514.06	4153040.90	1305.50	GPS	81.00
SEL3_31	688788.00	4153204.49	1254.65	SURVEY	120.00

SEL3_32	688788.38	4153204.49	1254.65	SURVEY	102.00
SEL3_33	688788.73	4153204.49	1254.65	SURVEY	87.00
SEL3_34	688788.51	4153206.63	1254.70	SURVEY	114.00
SEL3_35	688788.68	4153206.21	1254.65	SURVEY	99.00
SEL3_36	688788.10	4153206.08	1254.85	SURVEY	111.00
SEL3_37	688788.45	4153206.10	1254.65	SURVEY	108.00
SEL4_38	688715.17	4153165.18	1260.10	SURVEY	111.00
SEL4_39	688715.80	4153164.57	1260.10	SURVEY	87.00
SEL5_40	688535.57	4152992.07	1279.83	SURVEY	153.00
SEL6_41	688628.20	4153183.32	1318.32	SURVEY	78.00
SEL5_42	688535.97	4152991.45	1279.63	SURVEY	174.00
SEL6_43	688628.96	4153183.42	1318.32	SURVEY	42.00
SEL6_44	688628.49	4153184.44	1318.32	SURVEY	135.00
SEL5_45	688534.68	4152991.54	1279.83	SURVEY	117.00
SEL6_46	688629.29	4153184.28	1318.32	SURVEY	135.00
SEL5_47	688535.33	4152991.05	1279.63	SURVEY	111.00
SEL6_48	688629.29	4153185.60	1318.32	SURVEY	141.00
SEL5_49	688534.16	4152990.14	1279.93	SURVEY	168.00
SEL6_50	688630.02	4153185.07	1318.32	SURVEY	120.00
SEL7_51	688717.58	4153125.75	1250.55	SURVEY	153.00
SEL5_52	688534.84	4152989.99	1279.71	SURVEY	174.00
SEL8_53	688624.77	4153216.69	1312.30	SURVEY	138.00
SEL8_54	688625.33	4153216.06	1312.30	SURVEY	96.00
SEL7_55	688717.58	4153125.57	1250.55	SURVEY	147.00
SEL9_56	688794.51	4153259.28	1254.10	SURVEY	111.00
SEL9_57	688795.48	4153259.13	1254.10	SURVEY	123.00
SEL7_58	688717.58	4153126.64	1250.55	SURVEY	153.00
SEL8_59	688622.70	4153215.09	1312.30	SURVEY	126.00
SEL9_60	688795.49	4153260.30	1254.10	SURVEY	150.00
SEL7_61	688717.58	4153126.34	1250.55	SURVEY	144.00
SEL8_62	688623.41	4153214.82	1312.30	SURVEY	141.00
SEL9_63	688796.08	4153259.97	1254.10	SURVEY	141.00
SEL10_64	688749.49	4153215.18	1267.20	SURVEY	105.00
SEL11_65	688757.10	4153168.42	1251.80	SURVEY	99.00
SEL12_66	688572.69	4153224.97	1316.90	SURVEY	90.00

SEL10_67	688750.45	4153214.87	1267.20	SURVEY	84.00
SEL12_68	688571.62	4153224.11	1316.90	SURVEY	96.00
SEL11_69	688757.40	4153167.90	1251.80	SURVEY	102.00
SEL10_70	688750.63	4153216.62	1267.20	SURVEY	90.00
SEL11_71	688756.13	4153166.80	1251.00	SURVEY	90.00
SEL10_72	688751.27	4153216.08	1267.20	SURVEY	96.00
SEL13_73	688558.74	4153158.25	1343.25	SURVEY	126.00
SEL14_74	688510.76	4152934.71	1285.10	SURVEY	120.00
SEL15_75	688477.53	4152998.53	1313.86	SURVEY	174.00
SEL13_76	688559.65	4153157.70	1343.25	SURVEY	69.00
SEL14_77	688511.09	4152934.66	1285.10	SURVEY	120.00
SEL13_78	688559.95	4153158.57	1343.25	SURVEY	114.00
SEL15_79	688477.89	4152997.75	1313.60	SURVEY	99.00
SEL13_80	688560.42	4153158.18	1343.25	SURVEY	78.00
SEL14_81	688511.60	4152935.75	1285.37	GPS	30.00
SEL15_82	688476.15	4152997.41	1313.91	SURVEY	147.00
SEL16_83	688463.31	4153111.37	1357.90	SURVEY	60.00
SEL15_84	688476.94	4152996.84	1313.70	SURVEY	105.00
SEL16_85	688463.44	4153111.12	1357.90	SURVEY	96.00
SEL16_86	688463.55	4153110.90	1357.90	SURVEY	135.00
SEL16_87	688462.84	4153110.95	1357.90	SURVEY	162.00
SEL16_88	688463.06	4153110.75	1357.90	SURVEY	152.00
SEL16_89	688462.60	4153110.31	1357.90	SURVEY	129.00
SEL16_90	688463.20	4153110.10	1357.90	SURVEY	96.00
SEL17_91	688054.18	4153141.06	1466.50	SURVEY	168.00
SEL17_92	688054.35	4153140.88	1466.60	SURVEY	147.00
SEL17_93	688053.75	4153140.82	1467.10	SURVEY	144.00
SEL17_94	688054.12	4153140.67	1467.10	SURVEY	138.00
SEL17_95	688053.86	4153140.39	1467.20	SURVEY	108.00
SEL18_96	688594.18	4153051.00	1286.10	SURVEY	174.00
SEL18_97	688594.61	4153051.00	1286.00	SURVEY	168.00
SEL18_98	688595.18	4153050.75	1285.90	SURVEY	138.00
SEL18_99	688594.00	4153051.00	1288.00	GPS	156.00
SEL18_100	688594.00	4153051.00	1288.00	GPS	120.00
SEL19_101	688638.93	4153060.13	1283.53	SURVEY	141.00

SEL20_102	689277.20	4153225.30	1063.00	SURVEY	114.00
SEL19_103	688639.35	4153059.50	1283.54	SURVEY	132.00
SEL20_104	689277.20	4153225.30	1063.00	SURVEY	96.00
SEL20_105	689277.20	4153225.30	1063.00	SURVEY	123.00
SEL19_106	688637.88	4153058.96	1283.55	SURVEY	147.00
SEL20_107	689277.20	4153225.30	1063.00	SURVEY	120.00
SEL20_108	689277.20	4153225.30	1063.00	SURVEY	111.00
SEL19_109	688638.77	4153058.34	1283.51	SURVEY	159.00
SEL21_110	689233.20	4153105.10	1069.00	SURVEY	111.00
SEL21_111	689233.20	4153105.10	1069.00	SURVEY	99.00
SEL21_112	689233.20	4153105.10	1069.00	SURVEY	102.00
SEL22_113	688477.61	4153217.67	1347.75	SURVEY	135.00
SEL21_114	689233.20	4153105.10	1069.00	SURVEY	129.00
SEL22_115	688477.13	4153218.07	1347.78	SURVEY	141.00
SEL23_116	689147.94	4153045.15	1072.35	SURVEY	138.00
SEL23_117	689148.05	4153044.12	1072.10	SURVEY	126.00
SEL22_118	688476.22	4153216.53	1347.85	SURVEY	120.00
SEL23_119	689147.01	4153044.01	1072.31	SURVEY	126.00
SEL22_120	688477.03	4153216.46	1347.93	SURVEY	120.00
SEL23_121	689147.47	4153043.61	1072.17	SURVEY	144.00
SEL24_122	688451.43	4153164.16	1357.91	SURVEY	147.00
SEL23_123	689146.16	4153042.74	1072.19	SURVEY	129.00
SEL24_124	688452.16	4153163.59	1357.96	SURVEY	150.00
SEL23_125	689147.17	4153042.45	1072.17	SURVEY	120.00
SEL24_126	688449.70	4153161.55	1357.88	SURVEY	147.00
SEL25_127	689108.75	4153014.27	1084.66	SURVEY	147.00
SEL24_128	688450.52	4153161.28	1357.84	SURVEY	126.00
SEL25_129	689109.31	4153013.68	1084.57	SURVEY	129.00
SEL25_130	689108.16	4153013.74	1084.57	SURVEY	147.00
SEL26_131	688372.25	4153204.00	1336.60	SURVEY	42.00
SEL25_132	689108.76	4153013.29	1084.55	SURVEY	141.00
SEL25_133	689108.99	4153013.19	1084.54	SURVEY	141.00
SEL26_134	688372.63	4153203.59	1336.61	SURVEY	135.00
SEL25_135	689108.23	4153012.54	1084.56	SURVEY	138.00
SEL26_136	688372.89	4153203.25	1336.71	SURVEY	120.00

SEL25_137	689108.00	4153013.00	1084.00	GPS	78.00
SEL26_138	688373.58	4153203.67	1336.70	SURVEY	138.00
SEL26_139	688372.00	4153203.00	1336.00	GPS	120.00
SEL27_140	688391.79	4153073.80	1387.17	SURVEY	159.00
SEL27_141	688392.21	4153073.02	1387.10	SURVEY	138.00
SEL27_142	688390.80	4153072.72	1387.05	SURVEY	141.00
SEL27_143	688391.51	4153072.20	1387.02	SURVEY	156.00
SEL27_144	688389.92	4153071.68	1387.11	SURVEY	174.00
SEL27_145	688390.80	4153071.54	1387.01	SURVEY	150.00
SEL27_146	688391.27	4153071.46	1387.10	SURVEY	141.00

Ek-2 100 Adet Ardışık Gauss Simülasyonu Sonucu oluşan ortalama tenör ve kaynak tonajının Kriging Kesitimi Sonucu Elde Edilen Değerlerden Farkları

					Simülasyon %3 ve Üzeri	
			%3 Cr ve Üzeri Tenörlü Bloklar		TON	TENÖR
Sim.'lar	Ort. Tenör	Krig ile Fark	TON	TENÖR	Krig ile Fark	Krig ile Fark
Sim0	4.101	0.011	10884844.8	6.810	-592,531	1.06
Sim1	4.423	0.333	11682079.2	6.844	204,703	0.88
Sim2	4.495	0.405	11827879.2	6.869	350,503	0.87
Sim3	4.582	0.492	11987092.8	6.909	509,717	0.85
Sim4	4.279	0.189	11371816.8	6.801	-105,559	0.96
Sim5	4.140	0.050	10985155.2	6.812	-492,221	1.03
Sim6	4.204	0.114	11038809.6	6.883	-438,566	1.02
Sim7	4.180	0.090	11049890.4	6.837	-427,486	1.02
Sim8	4.381	0.291	11587600.8	6.834	110,225	0.91
Sim9	4.601	0.511	12089152.8	6.879	611,777	0.82
Sim10	4.343	0.253	11433052.8	6.867	-44,323	0.94
Sim11	4.403	0.313	11631924	6.843	154,548	0.91
Sim12	4.688	0.598	12328848	6.874	851,472	0.78
Sim13	4.642	0.552	12100233.6	6.934	622,858	0.81
Sim14	4.607	0.517	12146889.6	6.856	669,514	0.81
Sim15	4.480	0.390	11728735.2	6.905	251,359	0.88
Sim16	4.305	0.215	11421972	6.813	-55,404	0.95
Sim17	4.350	0.260	11479125.6	6.850	1,750	0.94
Sim18	4.484	0.394	11966680.8	6.773	489,305	0.84
Sim19	4.214	0.124	11201522.4	6.800	-275,854	0.98
Sim20	4.296	0.206	11343823.2	6.845	-133,553	0.95
Sim21	4.390	0.300	11665749.6	6.802	188,374	0.90
Sim22	4.431	0.341	11718237.6	6.835	240,862	0.89
Sim23	4.570	0.480	11977761.6	6.896	500,386	0.84
Sim24	4.529	0.439	12032582.4	6.804	555,206	0.82
Sim25	4.385	0.295	11489040	6.898	11,664	0.92

Sim26	4.412	0.322	11691410.4	6.822	214,034	0.89
Sim27	4.407	0.317	11561356.8	6.891	83,981	0.90
Sim28	4.413	0.323	11603347.2	6.874	125,971	0.91
Sim29	4.617	0.527	12254198.4	6.811	776,822	0.80
Sim30	4.506	0.416	11877451.2	6.858	400,075	0.86
Sim31	4.369	0.279	11582352	6.818	104,976	0.91
Sim32	4.677	0.587	12323599.2	6.861	846,223	0.80
Sim33	4.462	0.372	11777140.8	6.849	299,765	0.87
Sim34	4.352	0.262	11485540.8	6.850	8,165	0.93
Sim35	4.471	0.381	11869869.6	6.809	392,494	0.86
Sim36	4.617	0.527	12121228.8	6.885	643,853	0.81
Sim37	4.459	0.369	11834877.6	6.810	357,502	0.86
Sim38	4.450	0.360	11750313.6	6.846	272,938	0.87
Sim39	4.451	0.361	11762560.8	6.841	285,185	0.88
Sim40	4.376	0.286	11567772	6.838	90,396	0.92
Sim41	4.518	0.428	11850040.8	6.892	372,665	0.86
Sim42	4.266	0.176	11277338.4	6.838	-200,038	0.96
Sim43	4.210	0.120	11085465.6	6.864	-391,910	1.01
Sim44	4.611	0.521	12019752	6.933	542,376	0.83
Sim45	4.091	0.001	10782784.8	6.858	-694,591	1.06
Sim46	4.493	0.403	11832544.8	6.863	355,169	0.86
Sim47	4.357	0.267	11473293.6	6.864	-4,082	0.93
Sim48	4.298	0.208	11469794.4	6.773	-7,582	0.94
Sim49	4.515	0.425	11934021.6	6.839	456,646	0.85
Sim50	4.360	0.270	11541528	6.829	64,152	0.91
Sim51	4.496	0.406	11892031.2	6.834	414,655	0.85
Sim52	4.498	0.408	11997007.2	6.778	519,631	0.85
Sim53	4.311	0.221	11497788	6.778	20,412	0.93
Sim54	4.507	0.417	11916525.6	6.836	439,150	0.84
Sim55	4.647	0.557	12176049.6	6.899	698,674	0.81
Sim56	4.568	0.478	12062325.6	6.845	584,950	0.82
Sim57	4.483	0.393	11753229.6	6.895	275,854	0.88
Sim58	4.496	0.406	11808050.4	6.883	330,674	0.86
Sim59	4.282	0.192	11309414.4	6.844	-167,962	0.97
Sim60	4.474	0.384	11836044	6.833	358,668	0.87

Sim61	4.121	0.031	10987488	6.780	-489,888	1.03
Sim62	4.283	0.193	11239430.4	6.888	-237,946	0.98
Sim63	4.366	0.276	11522282.4	6.850	44,906	0.92
Sim64	4.353	0.263	11423721.6	6.887	-53,654	0.94
Sim65	4.367	0.277	11736316.8	6.726	258,941	0.89
Sim66	4.759	0.669	12361507.2	6.959	884,131	0.77
Sim67	4.564	0.474	11898446.4	6.933	421,070	0.85
Sim68	4.597	0.507	12149222.4	6.839	671,846	0.81
Sim69	4.664	0.574	12218040	6.900	740,664	0.79
Sim70	4.293	0.203	11262175.2	6.891	-215,201	0.97
Sim71	4.666	0.576	12218623.2	6.902	741,247	0.79
Sim72	4.478	0.388	11817381.6	6.849	340,006	0.86
Sim73	4.587	0.497	12079238.4	6.864	601,862	0.82
Sim74	4.261	0.171	11282004	6.827	-195,372	0.97
Sim75	4.643	0.553	12311352	6.817	833,976	0.77
Sim76	4.564	0.474	12023251.2	6.861	545,875	0.83
Sim77	4.182	0.092	11093047.2	6.815	-384,329	1.01
Sim78	4.343	0.253	11539778.4	6.803	62,402	0.91
Sim79	4.539	0.449	11837793.6	6.931	360,418	0.86
Sim80	4.308	0.218	11377065.6	6.844	-100,310	0.95
Sim81	4.371	0.281	11560190.4	6.835	82,814	0.91
Sim82	4.473	0.383	11724069.6	6.897	246,694	0.89
Sim83	4.414	0.324	11627258.4	6.862	149,882	0.89
Sim84	4.414	0.324	11712405.6	6.813	235,030	0.90
Sim85	4.170	0.080	11118708	6.780	-358,668	1.01
Sim86	4.272	0.182	11277921.6	6.848	-199,454	0.97
Sim87	4.528	0.438	11887948.8	6.884	410,573	0.86
Sim88	4.443	0.353	11673914.4	6.880	196,538	0.88
Sim89	4.614	0.524	12198211.2	6.837	720,835	0.80
Sim90	4.320	0.230	11507702.4	6.785	30,326	0.93
Sim91	4.580	0.490	12069907.2	6.859	592,531	0.82
Sim92	4.491	0.401	11815632	6.870	338,256	0.87
Sim93	4.540	0.450	12052994.4	6.809	575,618	0.83
Sim94	4.509	0.419	11931688.8	6.831	454,313	0.85
Sim95	4.260	0.170	11183443.2	6.885	-293,933	0.99

Sim96	4.466	0.376	11765476.8	6.861	288,101	0.88
Sim97	4.316	0.226	11452881.6	6.811	-24,494	0.94
Sim98	4.470	0.380	11886199.2	6.797	408,823	0.86
Sim99	4.463	0.373	11757895.2	6.861	280,519	0.89