T.C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR AÇIK CEVHER OCAĞININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdul Rashid ARFANY
(20199221005)

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent ERDEM

SİVAS
HAZİRAN 2023

Abdul Rashid ARFANY'nin hazırladığı ve "**BİR AÇIK CEVHER OCAĞININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı:	**Prof. Dr. Bülent ERDEM** Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Engin ÖZDEMİR** İnönü Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Dr. Öğretim Üyesi Salih YÜKSEK** Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nevcihan GÜRSOY
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu'nda (Yönerge) belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Abdul Rashid ARFANY, 2023

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu'nda (Yönerge) belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

23.05.2023

Abdul Rashid ARFANY

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Tezin tüm aşamalarında birlikte çalıştığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bülent ERDEM'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Sayın Dr. Öğretim Üyesi Bahadır ŞENGÜN'e, maden planlama çalışmalarımda eğitim amaçlı olarak maden planlama ve tasarım paket programı Micromine® kullanımına olanak sağlayan Mapteknik Ltd. Şti'den Yüksek Maden Mühendisi Sayın Abdülgani EŞİYOK'a teşekkürlerimi sunarım.

Jüri üyelerim Sayın Doç. Dr. Engin ÖZDEMİR'e ve Sayın Dr. Öğretim Üyesi Salih YÜKSEK'e gerek tezin okunması gerekse tez savunmasında gösterdikleri anlayış ve destek için çok teşekkür ederim.

ÖZET

BİR AÇIK CEVHER OCAĞININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI

Abdul Rashid ARFANY

Yüksek Lisans Tezi
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Bülent ERDEM
2023, 55+xi sayfa

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında bir demir maden sahasına ait sondaj verileri kullanılarak açık ocak planlaması yapılmıştır. Çalışma sahasına ait 127 sondaj logundan ve öznitelik verilerinden faydalanılarak veri tabanı oluşturulmuştur. Sahadaki kayaç tabakalarının üç boyutlu katı gövde ve jeolojik modelleri hazırlanmıştır. Ters mesafe ile ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak, cevher blok modeli içindeki tüm alt blokların tenör değerleri kestirilmiştir. Demir maden kaynağının en büyük bölümünün kazançlı biçimde işletilebileceği en büyük nihai ocak kabuğu ve sınırları belirlenmiştir. İşletme, cevher zenginleştirme, izabe ve başlangıç yatırımlarına dair parametre değerlerine dayalı olarak yuvalı ocak optimizasyonu yapılmıştır. En kötü durum ve sabit adımlı ilerleme senaryoları uyarınca en uygun ocak kabuğu seçilmiştir. Optimum ocak kabuğu üzerine çift-yönlü taşıma yolları tasarımlanmıştır. Son aşamada ise belirli bir yıllık üretim planı ve kısıtlar altında üretim çizelgelemesi yapılmış olup bu çizelgenin farklı ölçütler ile optimizasyon denemeleri yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Açık ocak modelleme, açık ocak sınırlarının optimizasyonu, çizelgeleme, kaynak kestirimi, ters mesafe ile ağırlıklandırma, üretim optimizasyonu

ABSTRACT

COMPUTER-AIDED DESIGN of an OPEN PIT ORE MINE

Abdul Rashid ARFANY

Master of Science Thesis
Department of Mining Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Bülent ERDEM
2023, 57+xi pages

Within the scope of this master thesis, open pit mine planning was carried out based on the drillhole data of an iron mine field. Using logs from 127 drillholes and attribute data from the study area, a drillhole database was created. Geologic models of the rock layers and three-dimensional solid body models were created. Using the inverse distance weighting method, ore grades were determined for each sub-block in the ore block model. The largest ultimate pit shell, where the majority of the iron mineral resource may be extracted profitably, has been identified. The parameter values for ore extraction, mineral dressing, smelting, and capital investments were used to perform a nested pit optimization. The optimum pit shell was chosen based on the worst-case and constant-lag extraction scenarios. Two-lane haul roads were designed for the optimum pit shell. The last stage entailed scheduling production based on a specified annual production plan and constraints, as well as optimization tests utilizing other schedule criteria.

Key words: Open-pit mine modeling, Pit limit optimization, Scheduling, Resource estimation, Inverse distance weighting, Production optimization.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **Vİ**
BİR AÇIK CEVHER OCAĞININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI ..... **Vİ**
ABSTRACT ..... **Vİİ**
İÇİNDEKİLER ..... **Viii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **İX**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **Xİ**
1. GİRİŞ **1**
2. ÖNCEL ÇALIŞMALAR **3**
2.1 MADEN PLANLAMA ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 3
2.2 TEZ BÖLÜMLERİ VE METODOLOJİ 5
3. AÇIK OCAK MODELLEMESİ **6**
3.1 GİRİŞ 6
3.2 SONDAJ VERİTABANI 6
3.3 KATI GÖVDE MODELLEMESİ 9
3.4 BOŞ BLOK MODEL VE JEOLOJİK BLOK MODEL 12
3.5 KAYNAK KESTİRİMİ 14
3.5.1 Kompozitleme 14
3.5.2 Ters mesafe ile ağırlıklandırma (IDW) modellemesi 15
3.6 OCAK OPTİMİZASYONU 22
3.6.1 Nihai ocak optimizasyonu 22
3.6.2 Yuvalı ocak optimizasyonu 31
3.7 OCAK TASARIMI 34
3.8 TENÖR-TONAJ 38
3.8.1 Maden bloklarının oluşturulması 38
3.8.2 Tenör-tonaj işlemleri 39
3.9 MADEN İŞLETME SÜRECİ 39
3.9.1 Üretim çizelgeleme 39
3.9.2 Optimizasyon 43
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **51**
KAYNAKLAR **53**
ÖZGEÇMİŞ **55**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

ŞEKİL 3.1 SONDAJ VERİTABANI DOĞRULAMA İŞLEMİ 6

ŞEKİL 3.2 SAHADA YAPILMIŞ OLAN SONDAJLARIN TOPOGRAFYA ÜZERİNDE DAĞILIMI VE KESİT HATLARI 7

ŞEKİL 3.3 SONDAJLARDA KESİLEN MANYETİT CEVHERİNİN TENÖR HİSTOGRAMI 8

ŞEKİL 3.4 SONDAJLARDA KESİLEN BİRİMLER (BATIYA BAKIŞ) 8

ŞEKİL 3.5 SONDAJLARDA CEVHER TENÖRLERİ (KUZEY İZOMETRİK BAKIŞ) 9

ŞEKİL 3.6 TİPİK ARAMA ELİPSOİDİ (EKSEN 1→YEŞİL, EKSEN 2→KIRMIZI, EKSEN 3→MAVİ). 10

ŞEKİL 3.7 MANYETİT KATI GÖVDE MODELİ (KESİTTEN KUZEYE BAKIŞ) 10

ŞEKİL 3.8 KATI GÖVDE MODELİNDEN ALINAN KESİTLER (ÜSTTE SOLDA→4.279.700 ENLEMİNDE, ÜSTTE SAĞDA→4.279.450 ENLEMİNDE, ALTTA SOLDA→612.200 BOYLAMINDA, ALTTA SAĞDA→612.550 BOYLAMINDA) 11

ŞEKİL 3.9 BOŞ BLOK MODEL (GÜNEYDOĞUYA İZOMETRİK BAKIŞ) 12

ŞEKİL 3.10 JEOLOJİK BLOK MODELİNDEN ALINAN KESİTLER (ÜSTTE SOLDA→4.279.700 ENLEMİNDE, ÜSTTE SAĞDA→4.279.450 ENLEMİNDE, ALTTA SOLDA→612.200 BOYLAMINDA, ALTTA SAĞDA→612.550 BOYLAMINDA) 13

ŞEKİL 3.11 CEVHER GÖVDESİ İÇİNDE VE DIŞINDA KALAN TÜM ANALİZLER (KUZEYBATIDAN İZOMETRİK BAKIŞ). 14

ŞEKİL 3.12 YALNIZCA CEVHER GÖVDESİ İÇİNDE KALAN ANALİZLER (KUZEYBATIDAN İZOMETRİK BAKIŞ) 14

ŞEKİL 3.13 KOMPOZİTLEME ARALIĞI HİSTOGRAMI 15

ŞEKİL 3.14 ARAMA ELİPSOİDİ BOYUTLARININ KAYNAK TÜRÜ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ 17

ŞEKİL 3.15 IDP İLE Fe_3O_4 TENÖRÜ BAZINDA KAYNAK BLOK MODELİ (GÜNEYBATIYA İZOMETRİK BAKIŞ) 22

ŞEKİL 3.16 IDP İLE KAYNAK TÜRÜ BAZINDA KAYNAK BLOK MODELİ (GÜNEYBATIYA İZOMETRİK BAKIŞ) 22

ŞEKİL 3.17 SENARYO-1 SONUCUNDA OLUŞAN NİHAİ OCAK KABUĞU (KUZEYBATIYA İZOMETRİK BAKIŞ)26

ŞEKİL 3.18 SENARYO-2 SONUCUNDA OLUŞAN NİHAİ OCAK KABUĞU (KUZEYBATIYA İZOMETRİK BAKIŞ)27

ŞEKİL 3.19 SENARYO-3 SONUCUNDA OLUŞAN NİHAİ OCAK KABUĞU (KUZEYBATIYA İZOMETRİK BAKIŞ)27

ŞEKİL 3.20 SENARYO-4 SONUCUNDA OLUŞAN NİHAİ OCAK KABUĞU (KUZEYBATIYA İZOMETRİK BAKIŞ)28

ŞEKİL 3.21 SENARYO-5 SONUCUNDA OLUŞAN NİHAİ OCAK KABUĞU (KUZEYBATIYA İZOMETRİK BAKIŞ)28

ŞEKİL 3.22 NİHAİ OCAK SEÇENEKLERİNİN ÜRETİM VE GELİR-GİDER DURUMU 29

ŞEKİL 3.23 NİHAİ OCAK SEÇENEKLERİNİN TENÖR VE ÖRTÜKAZI ORANI DURUMU 29

ŞEKİL 3.24 SENARYOLAR 1, 2, 3, 4 VE 5 SONUCUNDA OLUŞAN NİHAİ OCAK KABUKLARI (KESİTTEN KUZEYBATIYA BAKIŞ) 30

ŞEKİL 3.25 SENARYO-4 SONUCUNDA OLUŞAN YUVALI OCAK KABUKLARI (KUZEYDOĞUYA İZOMETRİK BAKIŞ) 31

ŞEKİL 3.26 SENARYO-4 TEMEL ALINARAK HAZIRLANAN YUVALI OCAK KABUKLARI (KESİTTEN KUZEYBATIYA BAKIŞ 32

ŞEKİL 3.27 YUVALI OCAKLARIN ÜRETİM VE GELİR-GİDER DURUMU (ÜSTTE SOLDA: EN KÖTÜ DURUM SENARYOSU, SAFHALI ÜRETİM; ÜSTTE SAĞDA: EN KÖTÜ DURUM SENARYOSU, YILLIK ÜRETİM; ALTTA SOLDA: EŞZAMANLI ÇOK BASAMAKLI SENARYO, SAFHALI ÜRETİM; ALTTA SAĞDA: EŞZAMANLI ÇOK BASAMAKLI SENARYO, YILLIK ÜRETİM) 33
ŞEKİL 3.28 SENARYO-4'DEKİ NİHAİ OCAK KABUĞU ÜZERİNE OTURTULAN OCAKTAKİ BASAMAK GEOMETRİSİ 35
ŞEKİL 3.29 TAŞIMA YOLLARININ TEK ŞERİTTEN BAĞLANMASI 35
ŞEKİL 3.30 MANYETİT OCAĞI VE TAŞIMA YOLLARI (SOLDA: TELKAFES TASARIMI, ORTADA: GİYDİRİLMİŞ GÖRÜNÜM, SAĞDA: TOPOGRAFYA İLE KESİLMİŞ GÖRÜNÜM) (PLAN GÖRÜNÜŞ) 36
ŞEKİL 3.31 MANYETİT OCAĞININ TOPOGRAFYA ÜZERİNE OTURTULMUŞ NİHAİ GÖRÜNÜMÜ (KUZEYBATIYA İZOMETRİK BAKIŞ) 37
ŞEKİL 3.32 MANYETİT OCAĞINDA İŞLETİLECEK KÜTLE (GÜNEYDOĞUYA İZOMETRİK BAKIŞ) 38
ŞEKİL 3.33 CEVHER VE PASADAN OLUŞAN MADEN BLOKLARI (KUZEYBATIYA İZOMETRİK BAKIŞ) 39
ŞEKİL 3.34 MADEN BLOKLARININ KATLARA DAĞILIMI; ÜST SOLDAN 1060 KATINDAN ALT SAĞDA 1170 KATINA (PLAN GÖRÜNÜŞ) 46
ŞEKİL 3.34 MADEN BLOKLARININ KATLARA DAĞILIMI; ÜST SOLDAN 1180 KATINDAN ALT SAĞDA 1290 KATINA (PLAN GÖRÜNÜŞ) (DEVAM EDİYOR) 47
ŞEKİL 3.34 MADEN BLOKLARININ KATLARA DAĞILIMI; ÜST SOLDAN 1300 KATINDAN ALT SAĞDA 1410 KATINA (PLAN GÖRÜNÜŞ) (DEVAM EDİYOR) 48
ŞEKİL 3.34 MADEN BLOKLARININ KATLARA DAĞILIMI; ÜST SOLDAN 1420 KATINDAN ALT SAĞDA 1530 KATINA (PLAN GÖRÜNÜŞ) (DEVAM EDİYOR) 49
ŞEKİL 3.34 MADEN BLOKLARININ KATLARA DAĞILIMI; ÜST SOLDAN 1540 KATINDAN ALT SAĞDA 1560 KATINA (PLAN GÖRÜNÜŞ) (DEVAM EDİYOR) 50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Arama elipsoidi özellikleri 10
Çizelge 3.2 Manyetit telkafesi özellikleri 10
Çizelge 3.3 Jeolojik birimlerin alt blok adetlerinin blok modeldeki dağılımı 12
Çizelge 3.4 IDP kestirim algoritmasında kullanılan parametre değerleri 16
Çizelge 3.5 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak tenör aralıkları bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi küçük) 18
Çizelge 3.6 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak kaynak türü bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi küçük) 19
Çizelge 3.7 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak tenör aralıkları bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi normal) 20
Çizelge 3.8 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak kaynak türü bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi normal) 20
Çizelge 3.9 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak tenör aralıkları bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi büyük) 21
Çizelge 3.10 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak kaynak türü bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi büyük) 21
Çizelge 3.11 Nihai ocak optimizasyonunda kullanılan girdi parametresi değerleri 23
Çizelge 3.12 Nihai ocak optimizasyonu senaryolarının sonuçları 24
Çizelge 3.12 Nihai ocak optimizasyonu senaryolarının sonuçları (devam ediyor) 25
Çizelge 3.13 Manyetit ocağı rezerv bilgileri 39
Çizelge 3.14 Manyetit ocağının yıllık üretim bilgileri 41
Çizelge 3.15 Manyetit ocağının katlar bazında üretim bilgileri 42
Çizelge 3.16 Birinci optimizasyon denemesinde manyetit ocağının yıllık üretim bilgileri ... 44
Çizelge 3.17 İkinci optimizasyon denemesinde manyetit ocağının yıllık üretim bilgileri 45

1. GİRİŞ

2019 yılı Cumhurbaşkanlığı yıllık programında "*Madencilikte ülkemiz maden potansiyelinin sağlıklı tespit edilmesi, hammadde arz güvenliğinin sağlanması ve madenlerin yurt içinde işlenip katma değerinin yükseltilerek ülke ekonomisine katkısının artırılması temel amaçtır.*" ifadesi yer almıştır (TCC-SBB, 2018). Arden ve Pıçakçı (2014) madenciliğin de diğer projelerde olduğu gibi önemli riskler taşıdığını, projeyle ilgisi olanlar için kaynak ve rezervler konusunda hazırlanmış raporların hazırlama şekillerinin standart hale getirilmesinin önemli olduğunu ve bir projenin gelecek yıllar içerisindeki nakit akışını, kârlılık ve zararlılık durumunu bir iş senaryosu üzerinden anlayabilmek için projeye yatırım yapmış ya da projeyle ilgisi olan herkesin, projedeki maden kaynakları ve rezervlerinin niceliği ve niteliği konusuyla yakından ilgilendiğini ve bu konuda mümkün olan en fazla bilgiye sahip olmak istediklerini belirtmişlerdir.

Madencilik sektörü yatırım odaklı bir sektördür ve oldukça büyük bütçeler söz konusudur. Doğru bir planlama ile yüksek miktarda para tasarruf edilebilir veya kazanılabilir. Bir maden projesinin verimini etkileyen önemli faktörlerden biri de madenin tasarımıdır. Açık ocak madenciliğinde maden tasarımlarının optimizasyonu, endüstri tarafından sürekli kullanılan farklı ticari yazılım paketleriyle yapılabilmekte ve kesin sonuçlar elde edilebilmektedir.

Tüm ülkelerdeki açık ve yeraltı maden kaynakları o ülkelerin ekonomik altyapısını oluşturmaktadır. Ülkemizde ise sanayinin gelişmesine paralel olarak madencilik sektörünün önemi bir kat daha artmaktadır. Sanayi sektörüne hammadde sağlayan madencilik sektörü, ülkemizin en önemli temel yapı taşlarından birisidir. Bu nedenle, yeraltı kaynaklarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi ve maden planlama tasarımlarının yapılması son derece önemlidir. Maden sahalarında arazi ve arama çalışmaları sonucu sondaj verileri ve numuneler üzerinde yapılan analizler ile hazırlanan veriler, bu konuda geliştirilmiş bilgisayar programları ile işlenerek çeşitli maden yatağı modelleri (kavramsal model, katı cevher modeli, jeolojik blok modeli ve ekonomik blok modeli) oluşturulmaktadır. Maden planlama/tasarım programları yardımıyla, maden sahasının iki ve üç boyutlu çizimler yardımıyla üretim yönteminin ve planlanması yapılabilmekte ve böylece ocak işletmeciliğinin ekonomik olup olmadığı kestirilebilmektedir.

Yukarıdaki hedeflere ulaşılmasına yardımcı olan algoritmalar ile desteklenmiş yaklaşımlar ile açık ocak işletme yöntemiyle üretilebilecek cevher ve dekapaj miktarı belirlenebilmektedir (*açık ocak optimizasyonu*). Bir projede günün ekonomik ve teknik şartlarına göre hesaplanan tenör ve üretim hedeflerine göre madenin ömrü boyunca gerçekleştirmeyi hedefleyen belirli periyotlarda (aylık ve yıllık) cevher üretim miktarı hesaplanabilmektedir. Açık ocak optimizasyonu ile belirlenen hacimde oluşturulan maden bloklarının içerdiği cevher ton ve tenör, pasa miktarı hesaplanır ve periyodik üretim hedeflerini gerçekleştirmek üzere işletme sıraları belirlenebilmektedir (*açık ocak stratejik maden planı*). Maden bloklarının stratejik maden planı ile belirlenen üretime alma sıraları esas alınarak açık ocak tasarımı yapılabilmektedir. Operasyonel maden planı ile açık ocakta maden

bloklarının işletilmesi için bir takvim oluşturulmakta, mevcut ekipman gücü ile stratejik planda belirtilen işin belirtilen periyotta yapılabilirliği araştırılmakta, stratejik plana uygun takvim ve ekipman ve diğer işgücü belirlenebilmektedir (Eşiyok, 2019).

Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu'nda yazılım ve bilgisayar uygulamalarının getirdiği kolaylıkların madencilikte arama sonuçları, projelendirme ve üretim planlamasında ön plana çıktığı, buna karşılık klasik yöntemlerde güvenilir veri üretmenin zaman aldığı ve maliyetlerinin çok yüksek olduğuna vurgu yapılmıştır. Madencilikte aramanın planlanması, yeraltı kaynaklarının belirlenmesi, üç boyutlu modellerinin ortaya çıkarılması, rezervlerin hesaplanması, projelendirilmesi, fizibilite hazırlanması, üretim planlaması, üretim ve diğer faaliyetlerin izlenmesi, üretim sonrası rehabilitasyonun projelendirilip, planlanmasında her ocağın kendine özgü koşullarına uygun faktörlerle beraber yapılmasında sektöre özgü "yazılım ve bilgisayar uygulamaları"nın vazgeçilmez bir unsur haline geldiği belirtilmiştir. İyi bir madencilik yazılımının, verilerin daha hızlı değerlendirilmesi ve insan faktöründen kaynaklanan hataların en aza indirgenmesi ile klasik sistemlere nazaran çok daha hızlı ve güvenli bir sonuç verdiği, bu sistemlerin klasik sistemlere bir diğer üstünlüğünün sınıflandırılmış rezerv dağılımlarının elde edilmesinin mümkün olduğu ifade edilmiştir. Bu sistemlerle sahada değişik kalite parametrelerine bağlı dağılımların belirlenmesi ve buna bağlı olarak kömür, metalik ve endüstriyel hammaddeler gibi malzemelerin kalitesindeki parametreler de göz önüne alınarak, değişen şartlara göre daha kısa sürede ve hassasiyetle saha değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Madencilik yazılımı ile rezerv belirlenmesi, maden yatağından en verimli şekilde faydalanmayı ve proje bazında maksimum kâr elde edilmesini sağlamaktadır (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018).

Bir ülkenin demir-çelik üretimi ve tüketimi, ekonomik gücü ve büyümesiyle güçlü bir şekilde bağlantılıdır. Demir, yer kabuğunda %5,4 oranıyla dördüncü sırada bulunan bir elementtir. Atom numarası 26, atom ağırlığı 55,85, ergime sıcaklığı 1535 °C, kaynama noktası 2750 °C ve yoğunluğu 7,874 g/cm³'tür. Başlıca demir mineralleri manyetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), limonit ($2Fe_2O_3 \cdot 2H_2O$), götit ($Fe_2O_3 \cdot 2H_2O$) ve siderittir ($FeCO_3$). Dünyadaki demir cevheri rezervleri 167 milyar ton olarak bilinmektedir (URL-1). Dünyada 50'den fazla ülkede demir çıkartılmakla birlikte rezervlerin büyük bölümünün Avustralya, Brezilya, Kanada, Hindistan, ABD, Güney Afrika, Liberya, İsveç, Peru, Çin ve Rusya'da bulunduğu bildirilmiştir (MTA, 2017).

Bu tez çalışması kapsamında bir demir açık işletmesinin sondaj verilerinden faydalanarak açık işletme maden planlaması yapılmıştır. Sondajlardan elde edilen tenör, konum ve uzanım verileri bir maden planlama programında işlenmiş, uzamsal kestirim yöntemleri kullanılarak jeolojik ve cevher blok modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra mevcut satış/maliyet durumları dikkate alınarak en uygun (optimum) ve nihai (ultimate) ocak sınırları belirlenmiştir. Kısa ve uzun vadeli üretim planlama algoritmaları uygulanmış ve üretim planlaması yapılmıştır.

2. ÖNCEL ÇALIŞMALAR

2.1 Maden Planlama Üzerine Yapılmış Çalışmaların Değerlendirilmesi

Knudsen (1975), jeoistatistiksel yöntem ve ters mesafe ile ağırlıklandırma tekniklerini geleneksel yöntemlerle karşılaştırmıştır. Jeoistatistik yöntemin, ters mesafe yöntemlerine kıyasla daha iyi ya da kötü sonuçlar ürettiği tespit edilememiş olmakla birlikte jeoistatistiksel yöntemin tahmin hata sınırlarını da sağlaması nedeniyle üstün olduğu vurgulanmıştır.

Eivazy vd. (2013), açık maden üretim faaliyetleri (üretim, nakliye, doğaya kazandırma vb.) sırasında oluşan toplam işletme maliyetini en aza indirgemek için bir doğrusal programlama (MILP) modeli geliştirmişlerdir. Bu model ile kısa vadeli açık ocak üretim planlamasının optimize edilerek, testinin yapılması amaçlanmıştır. Model, bir demir madeninde denenmiştir.

Moharaj vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada Cangshang altın madeni sondaj verileri kullanılmış olup ters mesafe ve en yakın komşu ile ağırlıklandırma ile krigleme teknikleri kullanılarak cevher rezervi hesaplanmıştır. Temel girdi parametresi değerleri tüm yöntemlerde sabit tutulmuştur. Sonuçta, en yakın komşu ve ters mesafe ile ağırlıklandırma tekniklerinin verimliliği, yaygın olarak kabul edilen en iyi doğrusal tahmin yöntemi olan basit krigleme yöntemi ile karşılaştırılır düzeyde bulunmuştur. En yakın komşu yöntemi ile kaynak hacmi düşük ancak demir tenörü yüksek çıkarken, ters mesafe yönteminde demir tenörü ve kaynak hacmi birlikte yüksek değerlerde kestirilmiştir.

Gerdemeli (2019), Hanönü yeraltı bakır maden ocağındaki cevherin daha ekonomik işletilmesi için bilgisayar ortamında planlama ve tasarım yapmıştır. Kaynak kestirimi için en yakın komşu yönteminden faydalanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, piyasa araştırması sonucunda yıllık üretim miktarları esas alınarak 5 yıllık gelir-gider analizi yapılmıştır.

Karakurt ve Onur (2019) çalışmalarında, bir açık ocağın ocak ömrü boyunca maksimum kâr ile üretim yapmasını sağlayacak ilerleme yönlerini iki farklı paket program kullanarak (MICROMINE 11.0 ve SURPAC 6.5.1) araştırmışlardır. Jeoistatistiksel analizler ile tenör-tonaj hesaplamaları yapılmış ve krigleme yöntemi ile cevher tenörünün bloklardaki dağılımı tespit edilmiştir. Cevher satış fiyatları 1.000 TL/ton - 26.338 TL/ton arasında değiştirilerek yuvalı açık ocaklar elde edilmiş ve en uygun ocak optimizasyonu yapılmıştır.

Küçükkarasu (2019), Çorum ili sınırları içerisinde yer alan Alpagut – Dodurga linyit sahalarının kaynak miktarının kestirimini yapmıştır. Kestirim yöntemi olarak krigleme yöntemi kullanılmış olup yöntemin doğruluğu çapraz doğrulama ile kontrol edilmiştir. Ayrıca modelleme çalışmalarında sondaj verilerinden kalori, nem, kükürt öznitelik değişkenleri de kullanılmıştır.

Modelleme ile ilgili yapılan başka bir çalışmada ise bir açık metal işletmesinin üretim planı optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyonda, jeoistatistiksel analizler (istatistik ve variogram analizleri) ile tenör-tonaj hesaplamaları yapılmış ve krigleme yöntemi ile cevherin yataktaki

dağılımı tespit edilmiştir. Ayrıca, işletmenin ömrü boyunca maksimum kâr ile üretim yapmasını sağlayacak üretim planı bilgisayar programı yardımıyla da belirlenmiştir. Modellemede, ocak ilerlemeleri esnasında kullanılan yuvalı ocakların cevher ve dekapaj miktarları, örtü kazı oranları ve cevher tenörleri ekonomik değerlendirmeyle birlikte ele alınmıştır (Kurt, 2020).

Maleki vd. (2020) çalışmalarında, çok elementli bir açık ocağın stokastik jeolojik modellemesini ve stokastik uzun vadeli üretim planlamasını yapmıştır. Yuvalı ocakların belirlenmesinde zaman, önemli bir değişken olarak dikkate alınmıştır. İki aşamalı bir yaklaşımın kullanıldığı metodoloji önerisi, gerçek bir vaka çalışmasına (demir cevheri yatağı) uygulanmıştır.

Saleki vd. (2020) optimum açık ocak limitini belirlemek için parasal olmayan bir değerleme sistemi geliştirmiş ve uzun vadeli metal fiyatları ile işletme maliyetlerini kullanarak nihai ocak sınırı tasarımı yapmıştır. Blok tenörleri ters mesafe, ters mesafenin karesi ve krigleme yöntemleri ile kestirilmiştir. Nihai ocak sınırını belirlemek için eğime dayalı bir amaç fonksiyonu sunulmuştur. Oluşturulan ocak sınırını doğrulamak için 3D jeolojik blok modelinin sonuçları Lerchs-Grossman algoritması tarafından sağlanan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Kasa (2021), tez çalışmasında bir metalik krom yatağını ele alarak, aşamalı simülasyonlar uygulamış ve ocak optimizasyonunu doğrudan blok planlama ile net bugünkü değer yaklaşımları üzerinden ekonomik değerlendirme ile tamamlamıştır. Kaynak ve tenör tahmini için krigleme yöntemi kullanılmıştır.

Ordin ve Vasil'ev (2021) bir açık altın madeninin tasarımını, üretim kapasitesini ekonomik bakış açısıyla bütünleşik olarak ocak ömrü boyunca maksimize etme kriteriyle optimize etmeye yönelik gecikmeli modelleme yaklaşımı kullanarak tamamlamışlardır. Ocak optimizasyonu için Lerchs – Grossmann algoritmasından faydalanılmıştır.

Kaydım (2022) tez çalışmasında, açık ocakların uzun dönemli üretim planlama ve net bugünkü değer yaklaşımları kullanmıştır. Farklı şev açılarının modele girilebildiği çalışmada, değişen üretim periyotları ve kapasite gereksinimleri ile çok aşamalı açık ocakların uzun vadeli üretim planlamasını optimize etmek için bir tamsayılı programlama modeli sunulmuştur. Ayrıca jeoteknik, finansal, zenginleştirme ve işletme ile ilgili veriler modele dâhil edilmiştir.

Kedir (2022), bir selestit açık ocağının tasarımını ve üretim planlamasını yapmıştır. Ters mesafe ile ağırlıklandırma kestirim algoritmasına göre yatağı oluşturan blokların tenör aralıkları ve JORC kodları uyarınca kaynak miktarları tahmin edilmiştir. Lerchs-Grosmann algoritması esas alınarak en uygun ve nihai ocak kabukları belirlenmiş, taşıma yolu tasarımı yapılmış ve farklı üretim senaryoları üzerinden ocak ömrü belirlenmiştir.

Khezrawi (2022), tez çalışmasında bir açık altın ocağının tasarımını ve üretim planlamasını yapmıştır. Ters mesafe ile ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak yatağın blok modeli oluşturulmuş, JORC kodları uyarınca kaynak miktarları tahmin edilmiştir. Nihai ocak kabuğu esas alındığında 24 yıllık işletme dönemi boyunca 1.445.427 t cevher üretilebilmektedir.

2.2 Tez Bölümleri ve Metodoloji

Bu tez çalışması, ticari verilerin kullanılmasından dolayı ismi ve konumu belirtilemeyen bir demir sahasında yapılmıştır. Tezin giriş bölümünde dünya demir madenciliği üretim miktarları, maden planlamanın önemi ve çalışmanın amaçları verilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde konu üzerinde yapılmış öncel araştırma çalışmalarına yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde bir maden planlama paket programı kullanılarak önce çalışma sahasını temsil eden bir sondaj veritabanı oluşturulmuştur. Daha sonra cevherin uzamsal özellikleri dikkate alınarak bir arama elipsoidi hazırlanmış ve cevher sahası içinde arama sondajları tarafından kesilen manyetit, granit, amfibolit ve şist birimlerine ait katı gövde modelleri, telkafes biçiminde oluşturulmuştur. Takiben boş blok model, jeolojik blok model ve cevher blok modelleri hazırlanmıştır. Kompozitleme işleminin tamamlanmasının ardından ters mesafe ile ağırlıklandırma (IDW) algoritması kullanılarak tüm cevher bloklarına Fe_3O_4 tenörü ataması yapılmıştır.

Ocak tasarımından sonra, üretim çizelgelemesi ve optimizasyon denemeleri yapılmıştır. Lerchs-Grosmann optimizasyon algoritması temel alınarak ve ardışık senaryolar oluşturularak manyetit maden kaynağının en büyük bölümünün kazançlı biçimde işletilebileceği optimum ve nihai ocak kabuğu sınırları belirlenmiştir. Basamakların ve taşıma yollarının eşzamanlı olarak tasarımlanmasından sonra manyetit ocağı yapılandırılmıştır.

Yuvalı ocak algoritması, üretim süreci 43 yıla yayılan 35 adet iç içe ocak ile sonuçlanmıştır. Ocaktaki işletme faaliyetlerinin ‘en kötü’ (*worst case*) ve ‘eşzamanlı çoklu kat’ (*constant lag*) senaryolarına göre yapılması durumunda üretimin safhalar (*stages*) ve yıllar (*periods*) bazındaki değişimine dair analizler hazırlanmıştır.

Tezin sonuçlar ve öneriler bölümünde ise üçüncü bölümden elde edilen bulgular doğrultusunda genel değerlendirme ve gelecekteki çalışmalar için öneriler verilmiştir.

3. AÇIK OCAK MODELLEMESİ

3.1 Giriş

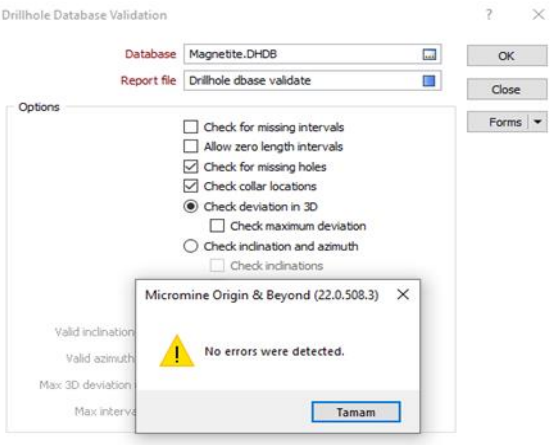
Bu bölümde, sondaj verileri kullanılarak bir demir cevheri kaynağının açık ocak ile işletilmesine kadar ilerleyen modelleme süreci adımlar halinde anlatılmıştır. Cevher yatağı lokasyonu ve arama sondaj logları ile ilgili bilgi, sondaj verisinin alınması sırasında yapılan sözlü anlaşma nedeniyle verilemeyecektir. Demir yatağının Afganistan'ın Baghlan kenti yakınlarında olduğu varsayılmıştır.

3.2 Sondaj Veritabanı

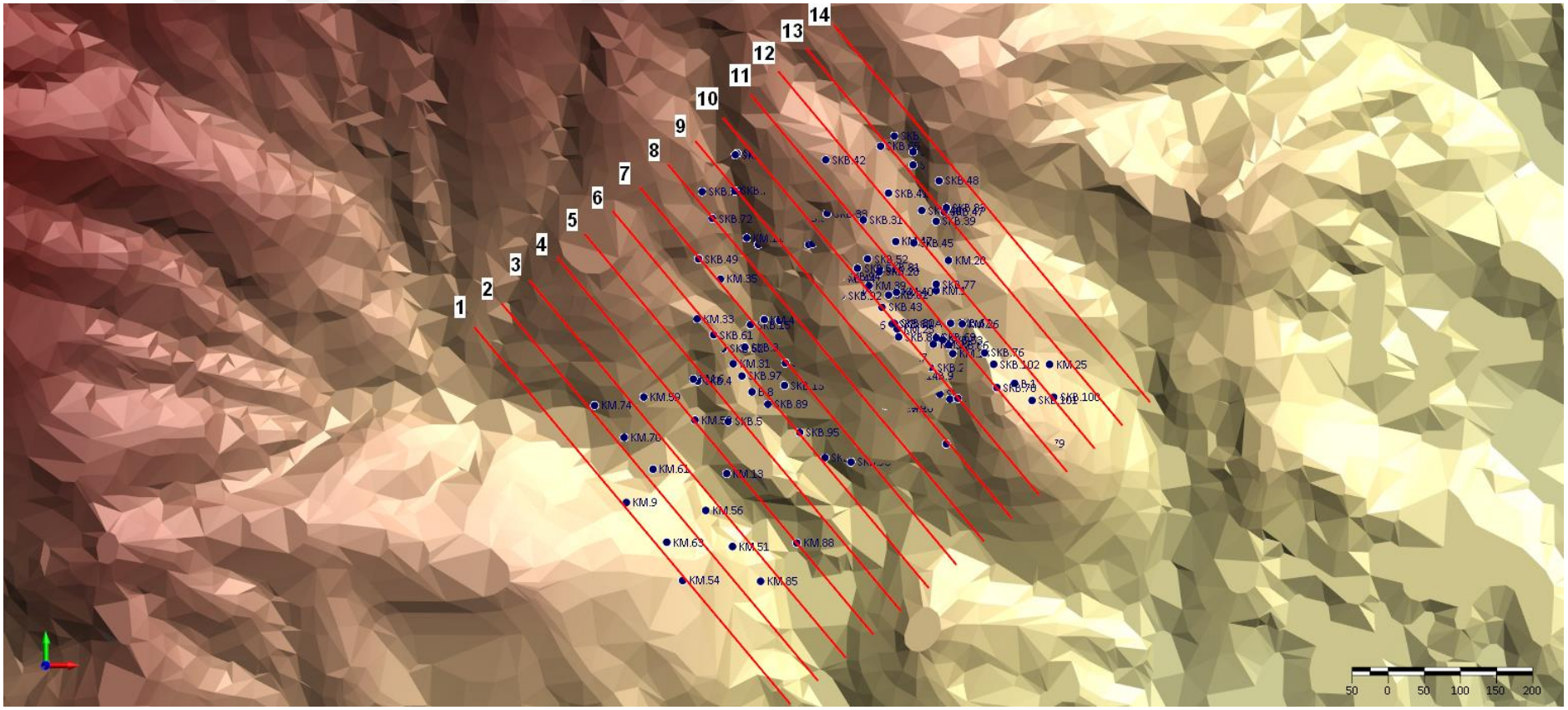
Sahada toplam uzunlukları 16372,32 m olan 127 adet arama sondajı yapılmıştır. En sığ sondaj 12 m iken en derin sondaj 330 m'dir. Güneybatı-Kuzeydoğu doğrultusunda 590 m, Güneydoğu-Kuzeybatı doğrultusunda 570 m alana yayılmış olan sondajlar,1309,720 m ile 1453,140 m kotları arasında yapılmıştır. Sondaj verisi dört başlık altında gruplanmıştır, bunlar:

a) sondaj ağız koordinat bilgisi (COLLAR)
   i. sondaj adı (Hole_Id)
   ii. boylam, m (East)
   iii. enlem, m (North)
   iv. kot, m (RL)
   v. boy, m (Depth)
b) istif bilgisi (LITHOLOGY)
   i. sondaj adı (Hole_Id)
   ii. başlangıç, m (From)
   iii. bitiş, m (To)
   iv. aralık, m (Interval)
   v. istif (Lithology)
c) tenör bilgisi (ASSAY)
   i. sondaj adı (Hole_Id)
   ii. başlangıç, m (From)
   iii. bitiş, m (To)
   iv. aralık, m (Interval)
   v. tenör (Fe%)

Bir Excel dosyasında bulunan veri, paket programa alınmış ve COLLAR.DAT, LITHOLOGY.DAT ve ASSAY.DAT dosyaları oluşturulmuştur. Takiben bu veri kullanılarak bir sondaj veritabanı oluşturulmuş ve doğrulaması yapılarak, eksik ya da örtüşen sondajların bulunmadığı, aynı zamanda herhangi bir sondajda eksik aralığın da olmadığı tespit edilerek, geçerliliği onaylanmıştır (Şekil 3.1). Arama sondajlarının sahadaki dağılımı ve 14 adet kesit hattı Şekil 3.2'de verilmiştir.



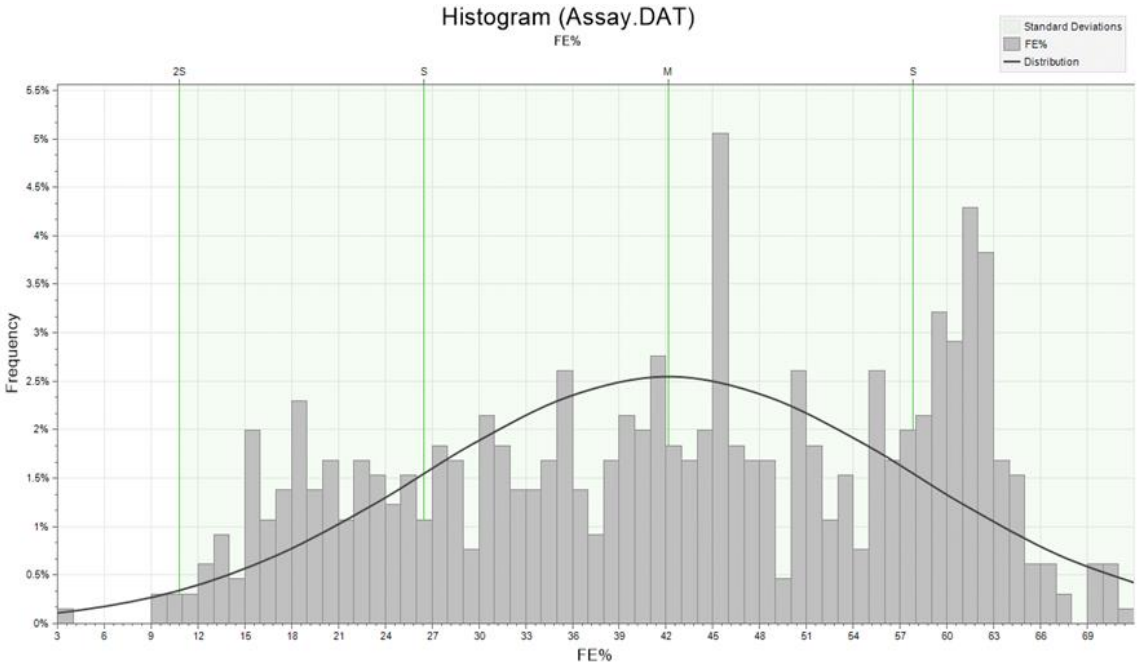
Şekil 3.1 Sondaj veritabanı doğrulama işlemi



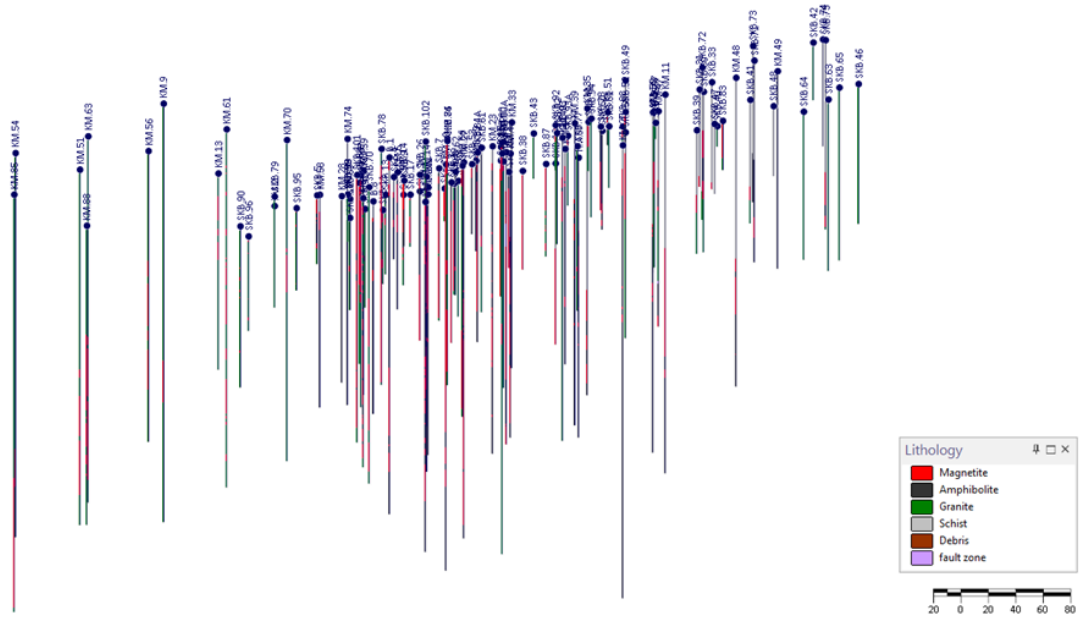
Şekil 3.2 Sahada yapılmış olan sondajların topografya üzerinde dağılımı ve kesit hatları

İşletilerek çıkartılması planlanan cevher manyetit olup kimyasal formülü Fe_3O_4 ve özgül ağırlığı 5,17 g/cm³ olan manyetit içermektedir. Yataktaki cevher ile ilgili bilgi aşağıda verilmiş ve cevhere ait dağılım histogramı Şekil 3.3'te sunulmuştur. Sahada, sondajlar tarafından cevher (manyetit), granit, amfibolit ve şist birimleri kesilmiştir (Şekil 3.4).

- Tenör verisi adedi : 653
- En düşük tenör : %3,69 Fe_3O_4
- En yüksek tenör : %71,35 Fe_3O_4
- Ortalama tenör : %42,15 Fe_3O_4
- Standart sapma : 15,68
- Medyan : %43,52 Fe_3O_4
- Lognormal ortalama : 3,65
- Lognormal standart sapma : 0,45
- Geometrik ortalama : 38,61
- Geometrik standart sapma : 1,57

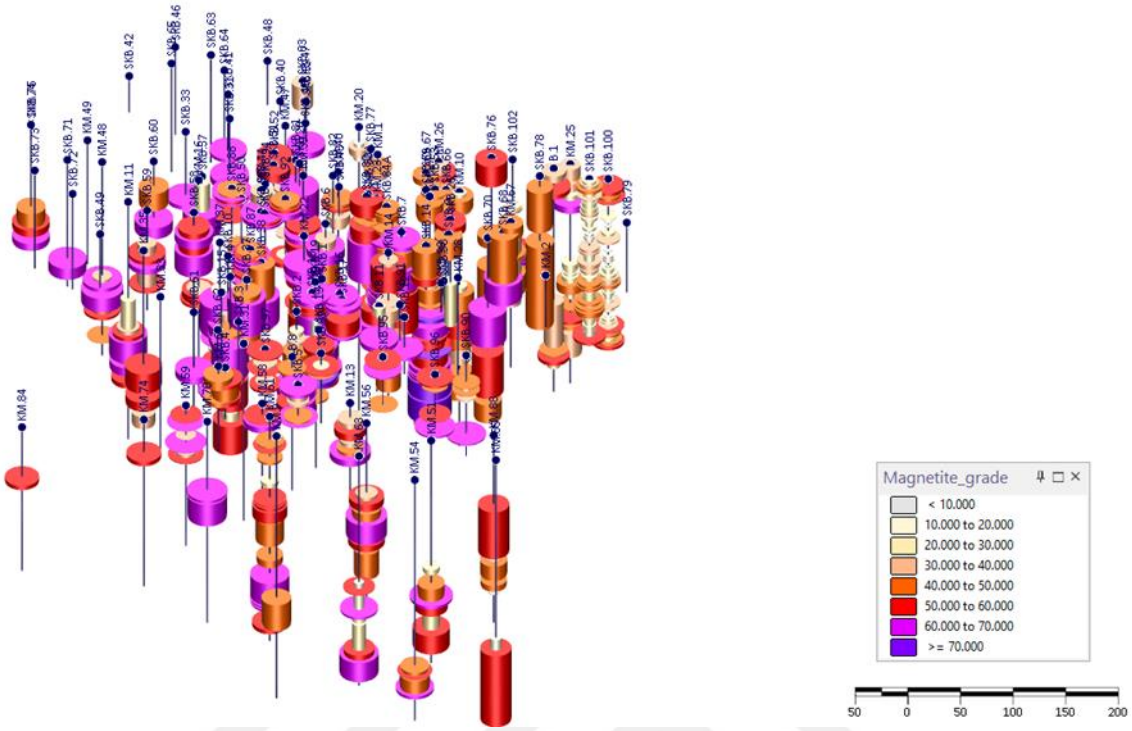


Şekil 3.3 Sondajlarda kesilen manyetit cevherinin tenör histogramı



Şekil 3.4 Sondajlarda kesilen birimler (Batıya bakış)

Sondajlarda kesilen cevherin tenör değerleri Şekil 3.5'de görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 3.5 Sondajlarda cevher tenörleri (Kuzey izometrik bakış)

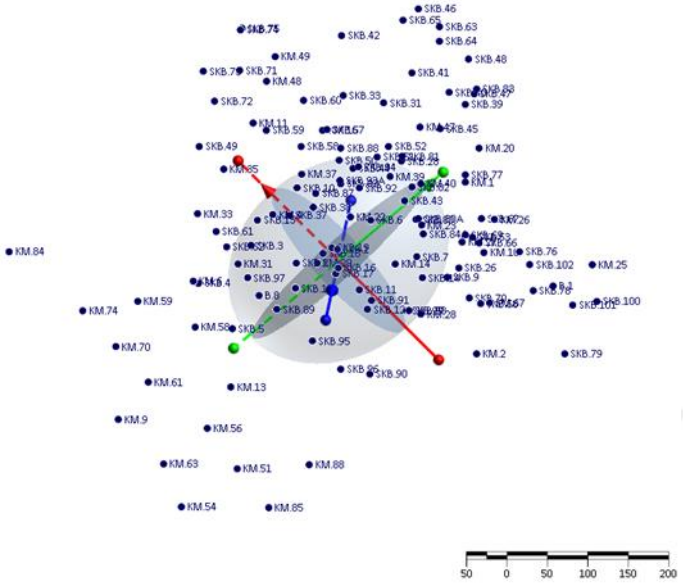
3.3 Katı Gövde Modellemesi

Hasözdemir (2019), sahada kestirim teknikleri kullanarak bloklara tenör değerlerinin atanabilmesi için arama elipsoidi boyutlarının belirlenmesine işaret etmiştir. Arama elipsoidinin geometrisini denetleyen parametreleri elipsoidin doğrultusu, dalımı, eğimi, uzunluğu, genişliği ve kalınlığı olarak belirtmiştir. Diğer yandan, elipsoidin sahip olması gereken sektör adedi ile beher sektörün yakalaması öngörülen analiz sayılarının da kestirimde kullanılan değişkenlerden olduğunu da ifade etmiştir. Şekil 3.2'den cevherin GB-KD doğrultulu (azimuth K50°) olduğu görülmektedir. Yine, doğrultuya paralel yönde alınan kesitler incelendiğinde cevherin GB yönüne doğru -15° dalım (plunge) yaptığı ve eğim yönünün K140° (GD) olduğu bulunmuştur. Cevher, eğim yönünde -15° yatıma (rotation) sahiptir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında, katı gövde oluşturmada kullanılmak üzere dört sektörden oluşan bir arama elipsoidi tasarlanmıştır. Belirli bir sektörün katı gövde modellemesinde baskın olmasını engellemek amacıyla örnek sayısı, sektör başına en fazla 10 nokta ile sınırlandırılmıştır. Diğer yandan, cevher gövdesinin modellenmesi için de en az altı adet nokta kısıtı verilmiştir. Şekil 3.6'da tipik bir arama elipsoidi gösterilmiştir. Arama elipsoidinin boyutsal özellikleri Çizelge 3.1'de listelenmiştir.

Çizelge 3.1 Arama elipsoidi özellikleri

Adı	En çok nokta/sektör	En az nokta (Σ)	Eksen 1 (m)	Eksen 2 (mm)	Eksen 3 (m)	Azimut (°)	Dalım (°)	Eğim (°)
Implicit	10	6	50	40	30	50	-20	-15

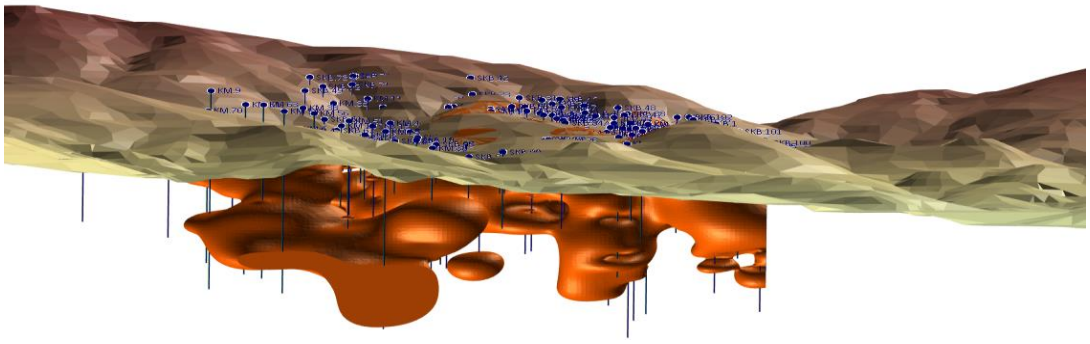


Şekil 3.6 Tipik arama elipsoidi (Eksen 1→Yeşil, Eksen 2→Kırmızı, Eksen 3→Mavi).

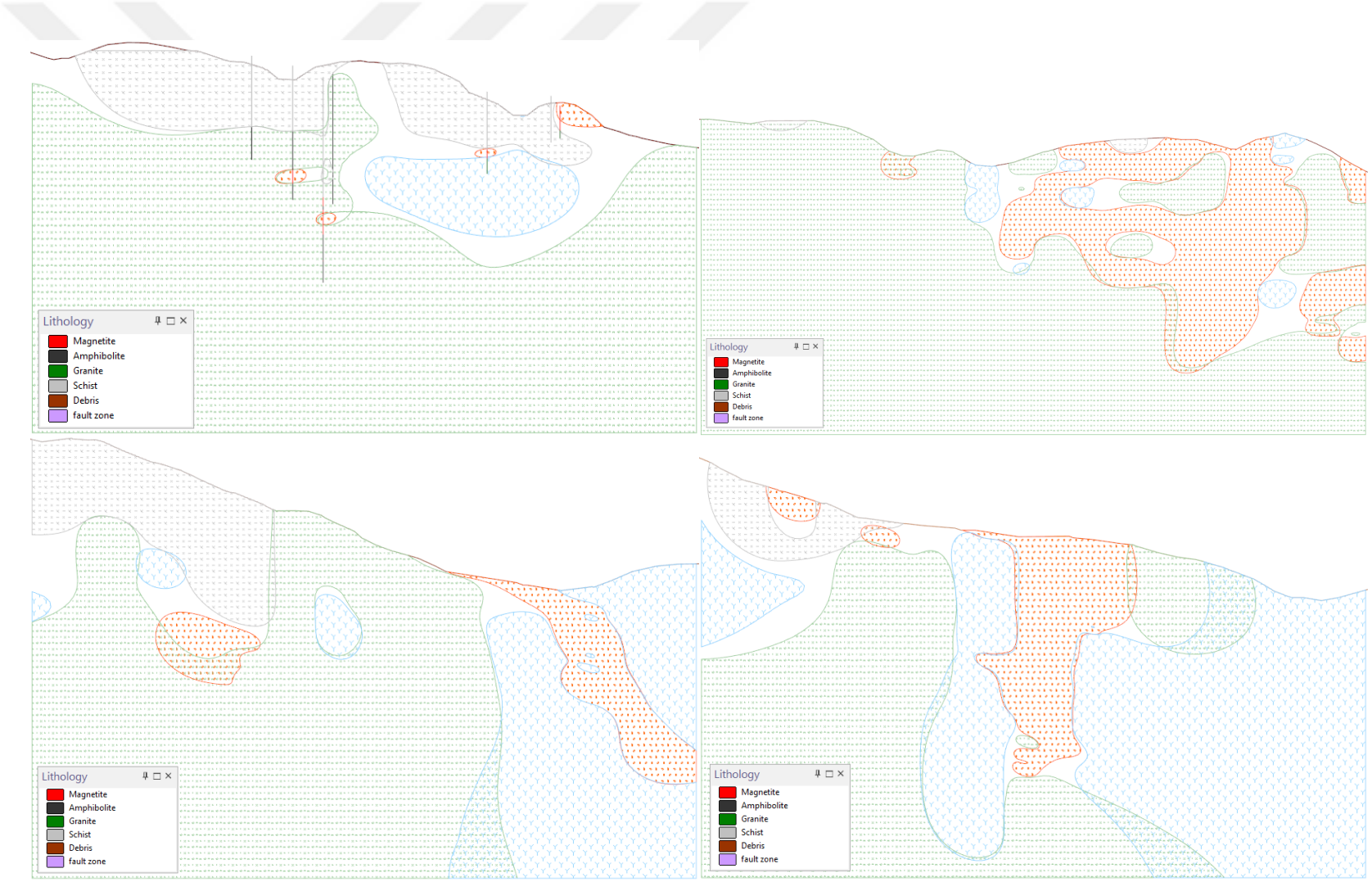
Çizelge 3.1'de verilen arama elipsoidi özellikleri kullanılarak cevher sahası içinde arama sondajları tarafından kesilen manyetit, granit, amfibolit ve şist birimlerine ait katı gövde modelleri, telkafes biçiminde oluşturulmuştur. Ancak örtü toprağı ve fay zonu birimleri 1 ve 4 olmak üzere çok az sondaj tarafından kesildiğinden, katı gövde modelleri oluşturulmamıştır. Sahadaki cevherli zonu temsil eden manyetit birimine ait telkafesin özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiş ve Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Ayrıca, 2 adet enlem ve 2 adet boylama paralel doğrultuda alınan kesitler tarafından oluşturulan katı gövde modelleri Şekil 3.8'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2 Manyetit telkafesi özellikleri

Telkafes	X_{MIN} (m)	X_{MAX} (m)	Y_{MIN} (m)	Y_{MAX} (m)	Z_{MIN} (m)	Z_{MAX} (m)	Hacim (m^3)
Manyetit	611954	612682	4279158	4279775	1039	1410	10.285.596



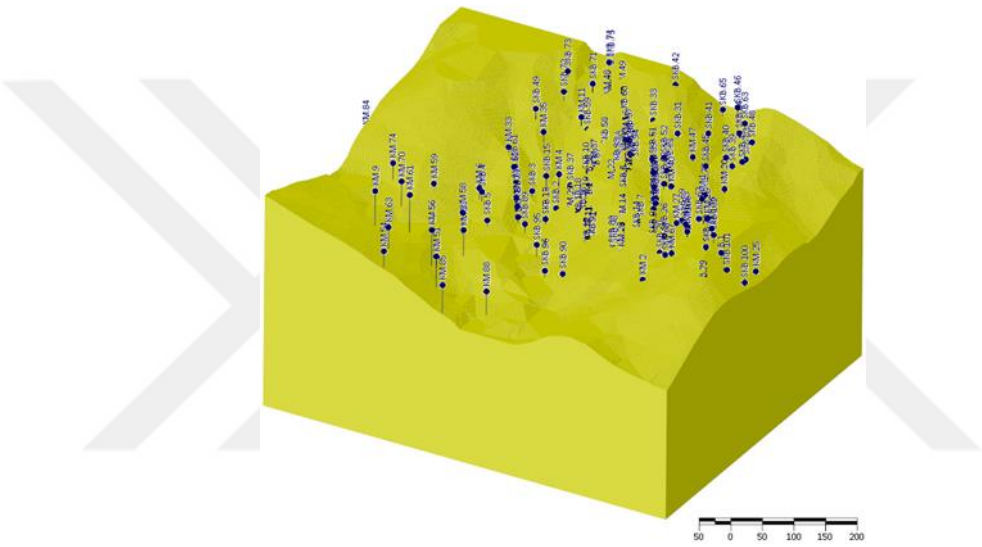
Şekil 3.7 Manyetit katı gövde modeli (Kesitten kuzeye bakış)



Şekil 3.8 Katı gövde modelinden alınan kesitler (üstte solda→4.279.700 enleminde, üstte sağda→4.279.450 enleminde, altta solda→612.200 boylamında, altta sağda→612.550 boylamında)

3.4 Boş Blok Model ve Jeolojik Blok Model

Boş blok model oluşturulurken blok sınırlarının belirlenmesinde tutucu bir yaklaşım izlenmiştir. Burada, her yöndeki en uçtaki sondajlar sınır olarak alınmış, bunlar arasında cevher kesen sondajlar bulunsa bile blok sınırları ötelenmemiştir. Boş blok modeli oluşturan alt blokların boyutları X, Y ve Z yönlerinde 5 m alınmıştır. Böylece beher alt bloğun hacmi 125 m³'tür. Ayrıca, bloğun özellikle arazi yüzeyi ile kesiştiği noktalarda daha hassas modelleme yapabilmek amacıyla blok boyutlarının 5 kat küçültülebilmesine izin verilmiştir. Böylece boş blok modelin diğer bir yüzey ile temasta olduğu bölgelerde 1 m × 1 m × 1 m boyutlarında 1 m³'lük bir blok oluşabilecektir. Sonuçta, 1329677 adet alt bloktan oluşan bir boş blok model hazırlanmıştır (Şekil 3.9). Tüm alt bloklar ortak başlık altında "kaya" (rock) olarak isimlendirilmiştir.

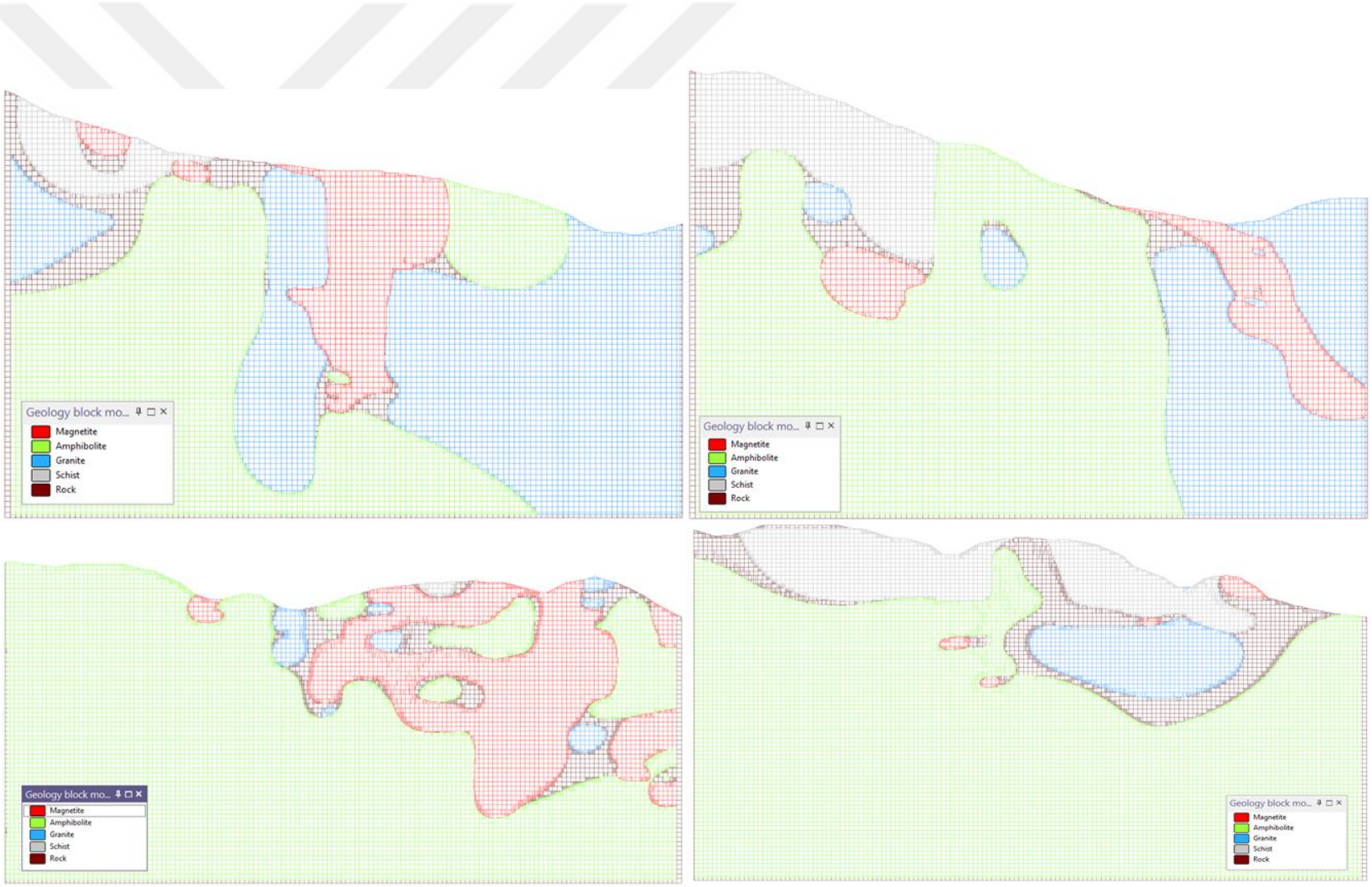


Şekil 3.9 Boş blok model (Güneydoğuya izometrik bakış)

Jeolojik blok modeli hazırlamak için öncelikle tüm jeolojik birimleri temsil eden telkafes setleri oluşturulmuş ve sonra da bu telkafeslerin konumsal verisi blok model içindeki alt bloklara atanmıştır. Ancak sahada yapılmış olan sondajlar geometrik olarak düzenli bir dağılım göstermeyip, bu örnekte olduğu gibi belirli bölgelerde yoğunlaştığında jeolojik blok model sınırları içindeki tüm alt bloklara sağlıklı öznitelik değerleri atanamamaktadır. Sonuçta, jeolojik blok modelin herhangi bir formasyon tarafından kapsanmayan bölümleri "kaya" olarak bırakılmış ve K-G ile D-B doğrultularında alınan kesitler Şekil 3.10'da sunulmuştur. Jeolojik birimlerin blok modeldeki dağılımı Çizelge 3.3'de verilmiştir. Şu hususu belirtmekte fayda vardır ki arama sondajlarının dağılımı nedeniyle, oluşturulan blok modelin %19,40'lık bölümü tanımlanamamış ve başlangıçta tüm alt bloklar için varsayılan "kaya" birimi içinde kalmışlardır.

Çizelge 3.3 Jeolojik birimlerin alt blok adetlerinin blok modeldeki dağılımı

Amfibolit	Granit	Kaya	Manyetit	Şist	Toplam
863399	614061	428133	246104	120485	2272182
%37,99	%27,02	%18,84	%10,83	%5,30	%100

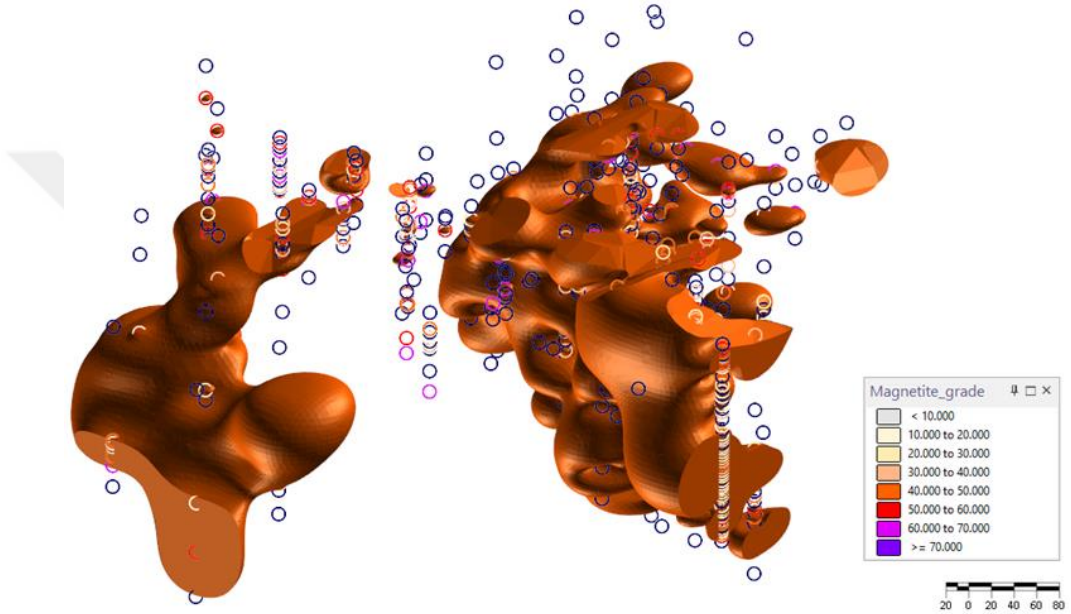


Şekil 3.10 Jeolojik blok modelinden alınan kesitler (üstte solda→4.279.700 enleminde, üstte sağda→4.279.450 enleminde, altta solda→612.200 boylamında, altta sağda→612.550 boylamında)

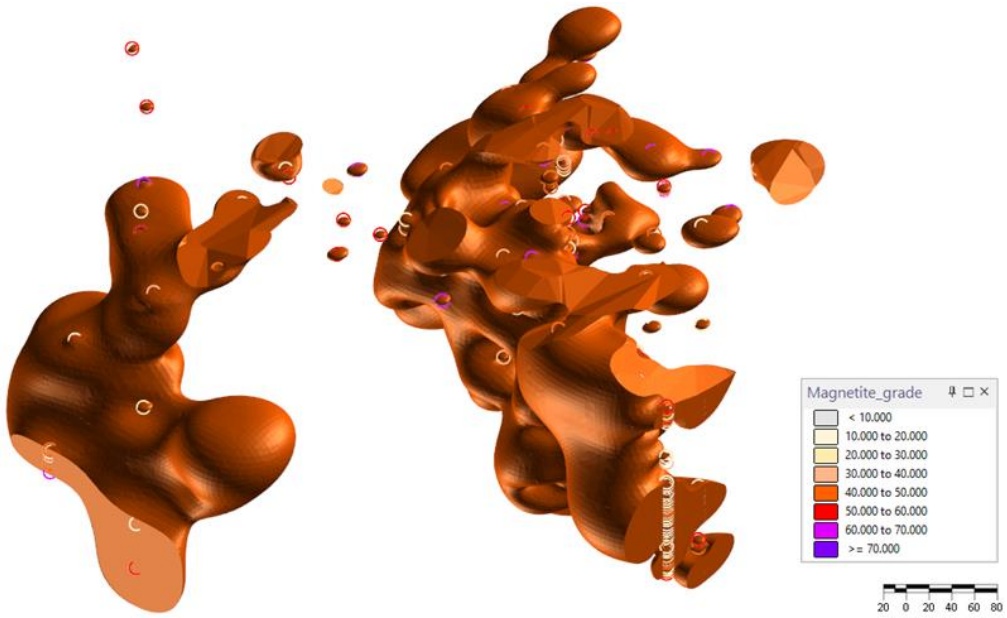
3.5 Kaynak Kestirimi

3.5.1 Kompozitleme

Manyetit yatağının kaynak kestirimi işlemleri, bir aralık dosyası olan ASSAY.DAT'a cevher tenörlerine ait üç boyutlu koordinat bilgilerinin (X, Y ve Z) atanması ile başlatılmıştır. Cevher gövdesi dışında kalan ve görece düşük tenöre sahip cevher beneklerinin, cevher gövdesi içinde kalan alt blokların tenörünü etkilememesi için bu noktalar temizlenmiştir. Sonuçta, daha önce hazırlanmış olan jeolojik cevher blok modeli içinde yalnızca bu sınırlar dâhilindeki analiz noktaları kalmıştır. Arama sondajlarında örneklenen ve analiz edilmiş olan tüm noktalar Şekil 3.11'de, cevher gövdesi dışında kalan analizlerin temizlendiği noktalar Şekil 3.12'de sunulmuştur.



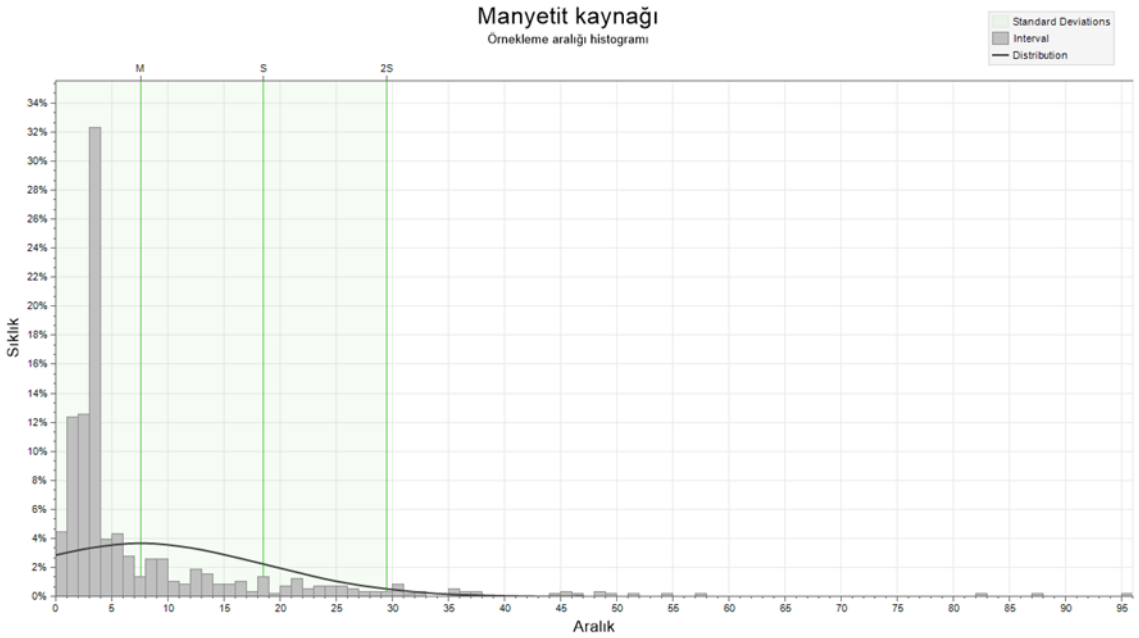
Şekil 3.11 Cevher gövdesi içinde ve dışında kalan tüm analizler (Kuzeybatıdan izometrik bakış).



Şekil 3.12 Yalnızca cevher gövdesi içinde kalan analizler (Kuzeybatıdan izometrik bakış)

Kompozitleme işlemi için tüm analizleri temsil edecek ortak bir kompozit aralığının belirlenmesi önemlidir. Yataktaki sondajların analiz aralığı ile ilgili bilgi aşağıda verilmiş ve 3 m aralık temel alınarak hazırlanan histogram Şekil 3.13'te sunulmuştur.

- Aralık verisi adedi 582
- En kısa aralık 0,05 m
- En uzun aralık 95,0 m
- Ortalama aralık 7,58 m
- Standart sapma 10,97
- Medyan 3,0 m
- Lognormal ortalama 1,41 m
- Lognormal standart sapma 1,07
- Geometrik ortalama 4,09 m
- Geometrik standart sapma 2,90



Şekil 3.13 Kompozitleme aralığı histogramı

Analiz aralığı verisi sağa çarpık ve normal dağılıma uygun değildir. Örnekleme aralıklarının aritmetik ortalaması 7,58 m ancak medyanı 3,0 m'dir. Toplam 360 adet kısa örnekleme aralığının (≤4 m), tüm 582 aralığın %62'sini oluşturduğu dikkate alındığında, kısa kompozit aralığının sondajları tatminkâr biçimde temsil edeceği öngörülmüştür. Şekil 3.13, en sık örnekleme aralığı olan 3 m - 4 m grubunun toplam verinin %32'sinden fazla olduğunu göstermektedir. Böylece kompozit aralığı 3 m olarak seçilmiş ve uzunluk ağırlıklı kompozitleme yapılmıştır. Sonuçta, ortalaması 2,86 m, medyanı 3,0 m olan ve boyları 0,05 m ile 3,0 m arasında değişen 1541 adet kompozitlenmiş tenör aralığı elde edilmiştir.

Kaynak kestirimi için mesafenin tersi ile ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde kullanılan parametre değerleri ile analizlerin sonuçları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

3.5.2 Ters mesafe ile ağırlıklandırma (IDW) modellemesi

Bu yöntemde algoritma, mesafenin tersinin karesine dayalı olarak çalıştırılmıştır. Amaç, kompozitlenmiş manyetit (Fe_3O_4) tenör verisinin, paket programda gömülü anizotropik IDP algoritması kullanılarak, daha önce hazırlanmış olan cevher blok modelindeki tüm alt bloklara mesafe ağırlıklı olarak atanmasıdır.

Ayrıklaştırma (discretisation) için verilen değerler, blokların her bir tarafındaki alt bölüm sayısını belirleyen tamsayı değerleridir ve her alt blok ayrı ayrı kestirilir. Daha sonra, alt bloğun tenörünü kestirmek için tüm ayrık noktaların değerlerinin ortalaması alınmaktadır. Modellenen bloklar, cevher yatağında işletilecek en küçük bloktan birkaç kat büyük olduğunda 10 değeri önerilmekte, ancak bloklar işletilecek en küçük bloğun genişliğine yaklaşan dar bir depoziti yansıtıyorsa, 3 5 arası bir değer önerilmektedir (https://webhelp.micromine.com/mm/22.0/English/Content/mmmodel/IDH_KRIGING_BLOCK.htm?cshid=5426). Manyetit cevher bloğu için X, Y ve Z yönlerinde ayrıklaştırma değeri '4' alınmıştır.

Modellemede, cevher kaynağındaki beher alt bloğun "ölçülmüş" olarak kestirilmesi için en az 2 ayrı sondajdan değer alması ve arama elipsoidinin tüm sektörlerinin toplamı olarak en az 4 analiz değerini yakalaması koşulu vardır. Diğer yandan, bir arama elipsoidinde, daha az sayıda analiz sağlamış olabilen diğer sektörlerin olası varlığında, bir alt bloğun kestirilen tenörünün belirli bir sektöre yoğunlaşmış çok sayıda analiz tarafından etki altına alınabilme ihtimaline karşı sektör başına en fazla 8 analize izin verilmiştir. Böylesi bir durumda, tenör değeri atanacak alt bloğa en yakın analiz değerleri seçilmektedir.

Bir alt bloğun tenörünün "Belirlenmiş" kaynak kategorisinde yer alması için en az 1 adet sondajdan veri alınabilmesi yeterlidir ve toplam analiz adedi kısıtlanmamıştır. Arama elipsoidi boyutları tüm eksenlerde iki kata çıkartılmıştır.

"Potansiyel" kaynak kategorisi esasında, arama elipsoidi boyutlarının tüm eksenlerde üç kata çıkartılması dışında "Belirlenmiş" kategori ile aynı koşullara sahiptir.

Bu yüksek lisans tezi çalışmasında, arama elipsoidi boyutunun kaynak türleri üzerindeki etkisini gösterebilmek amacıyla elipsoit küçük, normal ve büyük olmak üzere üç kategoride yapılandırılmıştır. Mesafenin tersi ile ağırlıklandırma yönteminde kullanılan arama elipsoidine ait parametre değerleri ölçülmüş, belirlenmiş ve potansiyel kaynak türleri için Çizelge 3.4'de bulunmaktadır.

Çizelge 3.4 IDP kestirim algoritmasında kullanılan parametre değerleri

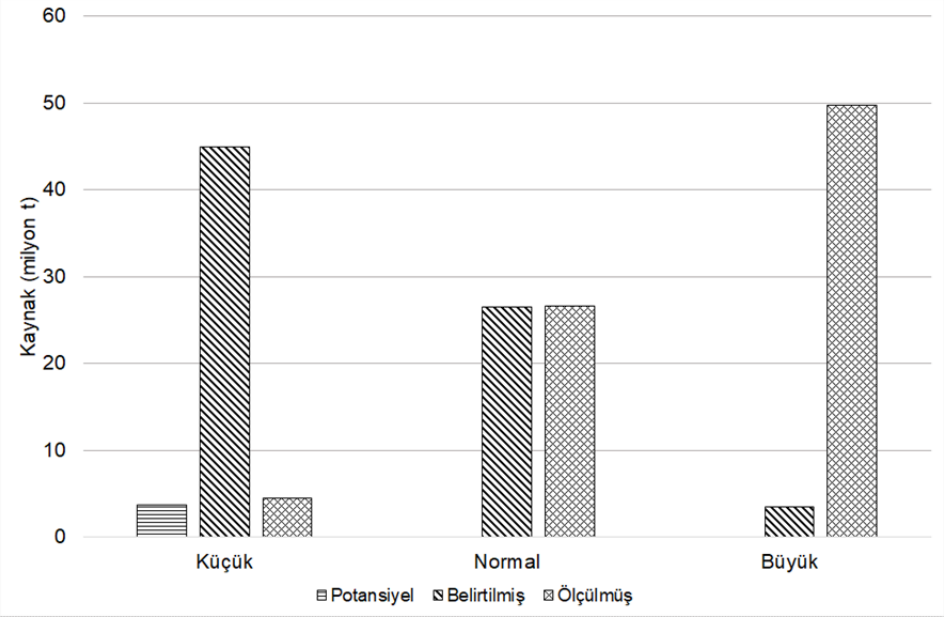
Kestirim	Kuyu adedi	Sektör başına nokta	Min pts (Σ)	Arama elipsoidi					
				Eksen 1 (m)	Eksen 2 (m)	Eksen 3 (m)	Azimut (°)	Dalım (°)	Eğim (°)
Ölçülmüş (küçük)	≥2	≤8	≥4	25	20	15	50	-20	-15
Ölçülmüş	≥2	≤8	≥4	50	40	30	50	-20	-15
Ölçülmüş (büyük)	≥2	≤8	≥4	100	80	60	50	-20	-15
Belirlenmiş (küçük)	-	≤8	-	50	40	30	50	-20	-15
Belirlenmiş	-	≤8	-	100	80	60	50	-20	-15
Belirlenmiş (büyük)	-	≤8	-	200	160	120	50	-20	-15
Potansiyel (küçük)	-	≤8	-	75	60	45	50	-20	-15

IDP algoritması ile manyetit maden kaynağı, her üç elipsoit için önce tenör aralıkları sonra da kaynak kategorileri olmak üzere iki başlık altında değerlendirilmiştir. Küçük arama elipsoidi için kaynak kestirim sonuçları Çizelge 3.5'de verilen modelleme sonucunda tenör aralıkları %0 Fe_3O_4

ile %80 Fe_3O_4 arasında değişmektedir. Yatağın toplam maden kaynağı, ortalama %44,8 Fe_3O_4 tenörü ile 53.206.305 ton ve toplam Fe_3O_4 kaynağı 23.850.049 t olarak belirmektedir. Blok model içindeki tenör dağılımı Şekil 3.14'den izlenebilir. Yatak kaynak türü bazında değerlendirildiğinde, ölçülmüş kategoride ortalama %47,9 Fe3O4 tenörü ile 4.538.810 ton cevher ve 2.173.983 t Fe kestirimi yapılmıştır. Belirtilmiş kategoride ise ortalama %44,5 Fe3O4 tenörü ile 44.909.329 ton cevher ve 19.993.947 t Fe3O4 kestirimi yapılmıştır (Çizelge 3.6). Maden kaynağının %77'lik bölümü ölçülmüş kaynak sınıfındadır. Blok model içindeki kaynak türü dağılımı Şekil 3.15'de verilmiştir.

Normal arama elipsoidi için kaynak kestirim sonuçları Çizelge 3.7'de verilen modelleme sonucunda tenör aralıkları %0 Fe3O4 ile %80 Fe3O4 arasında değişmektedir. Yatağın toplam maden kaynağı, ortalama %44,8 Fe3O4 tenörü ile 53.206.305 ton ve toplam Fe3O4 kaynağı 23.822.882 t olarak belirmektedir. Yatak kaynak türü bazında değerlendirildiğinde, ölçülmüş kategoride ortalama %44,7 Fe3O4 tenörü ile 26.666.178 ton cevher ve 11.916.225 t Fe kestirimi yapılmıştır. Belirtilmiş kategoride ise ortalama %44,9 Fe3O4 tenörü ile 26.540.128 ton cevher ve 11.906.657 t Fe3O4 kestirimi yapılmıştır (Çizelge 3.8). Maden kaynağının %50,1'lik bölümü ölçülmüş kaynak sınıfındadır.

Büyük arama elipsoidi için kaynak kestirim sonuçları Çizelge 3.9'da verilen modelleme sonucunda tenör aralıkları %0 Fe3O4 ile %80 Fe3O4 arasında değişmektedir. Yatağın toplam maden kaynağı, ortalama %44,8 Fe3O4 tenörü ile 53.206.305 ton ve toplam Fe3O4 kaynağı 23.836.470 t olarak belirmektedir. Yatak kaynak türü bazında değerlendirildiğinde, ölçülmüş kategoride ortalama %44,8 Fe3O4 tenörü ile 49.691.620 ton cevher ve 22.246.822 t Fe kestirimi yapılmıştır. Belirtilmiş kategoride ise ortalama %45,2 Fe3O4 tenörü ile 3.514.685 ton cevher ve 1.589.648 t Fe3O4 kestirimi yapılmıştır (Çizelge 3.8). Maden kaynağının %93,4'lik bölümü ölçülmüş kaynak sınıfındadır.



Şekil 3.14 Arama elipsoidi boyutlarının kaynak türü üzerindeki etkisi

Çizelge 3.5 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak tenör aralıkları bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi küçük)

Alt tenör (%)	Üst tenör (%)	Kaynak hacmi (m^3)	Yoğunluk (t/m^3)	Kaynak tonajı (t)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	Birikimli					Kaynak türü
							Kaynak hacmi (m^3)	Kaynak tonajı (t)	Yoğunluk (t/m^3)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	
70	80	9.730	5,17	50.304	70,9	35.676	9.730	50.304	5,17	70,9	35.676	Tümü
60	70	612.289	5,17	3.165.534	62,7	1.983.870	622.019	3.215.838	5,17	62,8	2.019.546	Tümü
50	60	3.551.455	5,17	18.361.022	54,1	9.940.610	4.173.474	21.576.861	5,17	55,4	11.960.156	Tümü
40	50	3.349.399	5,17	17.316.393	45,4	7.853.490	7.522.873	38.893.253	5,17	50,9	19.813.646	Tümü
30	40	1.328.842	5,17	6.870.113	35,4	2.435.334	8.851.715	45.763.367	5,17	48,6	22.248.979	Tümü
20	30	1.036.295	5,17	5.357.645	25,3	1.356.155	9.888.010	51.121.012	5,17	46,2	23.605.134	Tümü
10	20	241.085	5,17	1.246.409	17,5	217.597	10.129.095	52.367.421	5,17	45,5	23.822.731	Tümü
0	10	162.260	5,17	838.884	3,3	27.318	10.291.355	53.206.305	5,17	44,8	23.850.049	Tümü

Çizelge 3.6 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak kaynak türü bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi küçük)

Alt tenör (%)	Üst tenör (%)	Kaynak hacmi (m^3)	Yoğunluk (t/m^3)	Kaynak tonajı (t)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	Birikimli					Kaynak türü
							Kaynak hacmi (m^3)	Kaynak tonajı (t)	Yoğunluk (t/m^3)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	
70	80	8.537	5,17	44.136	70,9	31.303	8.537	44.136	5,17	70,9	31.303	Belirtilmiş
60	70	508.873	5,17	2.630.873	62,8	1.651.273	517.410	2.675.010	5,17	62,9	1.682.576	Belirtilmiş
50	60	2.952.562	5,17	15.264.746	54,2	8.267.380	3.469.972	17.939.755	5,17	55,5	9.949.956	Belirtilmiş
40	50	2.836.417	5,17	14.664.276	45,3	6.639.333	6.306.389	32.604.031	5,17	50,9	16.589.289	Belirtilmiş
30	40	1.085.701	5,17	5.613.074	35,4	1.984.693	7.392.090	38.217.105	5,17	48,6	18.573.981	Belirtilmiş
20	30	915.452	5,17	4.732.887	25,3	1.195.331	8.307.542	42.949.992	5,17	46,0	19.769.313	Belirtilmiş
10	20	220.752	5,17	1.141.288	17,4	198.570	8.528.294	44.091.280	5,17	45,3	19.967.883	Belirtilmiş
0	10	158.230	5,17	818.049	3,2	26.065	8.686.524	44.909.329	5,17	44,5	19.993.948	Belirtilmiş
70	80	1.193	5,17	6.168	70,9	4.374	1.193	6.168	5,17	70,9	4.374	Potansiyel
60	70	27.412	5,17	141.720	63,9	90.576	28.605	147.888	5,17	64,2	94.949	Potansiyel
50	60	245.317	5,17	1.268.289	52,9	670.408	273.922	1.416.177	5,17	54,0	765.358	Potansiyel
40	50	228.385	5,17	1.180.750	45,8	541.130	502.307	2.596.927	5,17	50,3	1.306.488	Potansiyel
30	40	150.661	5,17	778.917	35,8	279.169	652.968	3.375.845	5,17	47,0	1.585.657	Potansiyel
20	30	65.865	5,17	340.522	26,0	88.591	718.833	3.716.367	5,17	45,1	1.674.248	Potansiyel
10	20	8.085	5,17	41.799	18,8	7.871	726.918	3.758.166	5,17	44,8	1.682.119	Potansiyel
0	10	-	5,17	-	0,0	-	726.918	3.758.166	5,17	44,8	1.682.119	Potansiyel
70	80	-	5,17	-	0,0	-	-	-	5,17	0,0	-	Ölçülmüş
60	70	76.004	5,17	392.941	61,6	242.021	76.004	392.941	5,17	61,6	242.021	Ölçülmüş
50	60	353.576	5,17	1.827.988	54,9	1.002.822	429.580	2.220.929	5,17	56,1	1.244.843	Ölçülmüş
40	50	284.597	5,17	1.471.366	45,7	673.027	714.177	3.692.295	5,17	51,9	1.917.869	Ölçülmüş
30	40	92.480	5,17	478.122	35,9	171.471	806.657	4.170.417	5,17	50,1	2.089.341	Ölçülmüş
20	30	54.978	5,17	284.236	25,4	72.233	861.635	4.454.653	5,17	48,5	2.161.574	Ölçülmüş
10	20	12.248	5,17	63.322	17,6	11.156	873.883	4.517.975	5,17	48,1	2.172.730	Ölçülmüş
0	10	4.030	5,17	20.835	6,0	1.253	877.913	4.538.810	5,17	47,9	2.173.983	Ölçülmüş
70	80	9.730	5,17	50.304	70,9	35.676	9.730	50.304	5,17	70,9	35.676	Tümü
60	70	612.289	5,17	3.165.534	62,7	1.983.870	622.019	3.215.838	5,17	62,8	2.019.546	Tümü
50	60	3.551.455	5,17	18.361.022	54,1	9.940.610	4.173.474	21.576.861	5,17	55,4	11.960.156	Tümü
40	50	3.349.399	5,17	17.316.393	45,4	7.853.490	7.522.873	38.893.253	5,17	50,9	19.813.646	Tümü
30	40	1.328.842	5,17	6.870.113	35,4	2.435.334	8.851.715	45.763.367	5,17	48,6	22.248.979	Tümü
20	30	1.036.295	5,17	5.357.645	25,3	1.356.155	9.888.010	51.121.012	5,17	46,2	23.605.134	Tümü
10	20	241.085	5,17	1.246.409	17,5	217.597	10.129.095	52.367.421	5,17	45,5	23.822.731	Tümü
0	10	162.260	5,17	838.884	3,3	27.318	10.291.355	53.206.305	5,17	44,8	23.850.049	Tümü

Çizelge 3.7 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak tenör aralıkları bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi normal)

Alt tenör (%)	Üst tenör (%)	Kaynak hacmi (m^3)	Yoğunluk (t/m^3)	Kaynak tonajı (t)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	Birikimli					Kaynak türü
							Kaynak hacmi (m^3)	Kaynak tonajı (t)	Yoğunluk (t/m^3)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	
70	80	3.585	5,17	18.534	70,9	13.132	3.585	18.534	5,17	70,9	13.132	Tümü
60	70	388.992	5,17	2.011.089	62,5	1.257.447	392.577	2.029.623	5,17	62,6	1.270.579	Tümü
50	60	3.457.107	5,17	17.873.243	54,0	9.650.621	3.849.684	19.902.866	5,17	54,9	10.921.200	Tümü
40	50	3.647.691	5,17	18.858.562	45,6	8.604.446	7.497.375	38.761.429	5,17	50,4	19.525.646	Tümü
30	40	1.560.894	5,17	8.069.822	35,6	2.872.788	9.058.269	46.831.251	5,17	47,8	22.398.434	Tümü
20	30	954.849	5,17	4.936.569	25,9	1.277.600	10.013.118	51.767.820	5,17	45,7	23.676.034	Tümü
10	20	128.395	5,17	663.802	16,8	111.692	10.141.513	52.431.622	5,17	45,4	23.787.726	Tümü
0	10	149.842	5,17	774.683	4,5	35.157	10.291.355	53.206.305	5,17	44,8	23.822.882	Tümü

Çizelge 3.8 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak kaynak türü bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi normal)

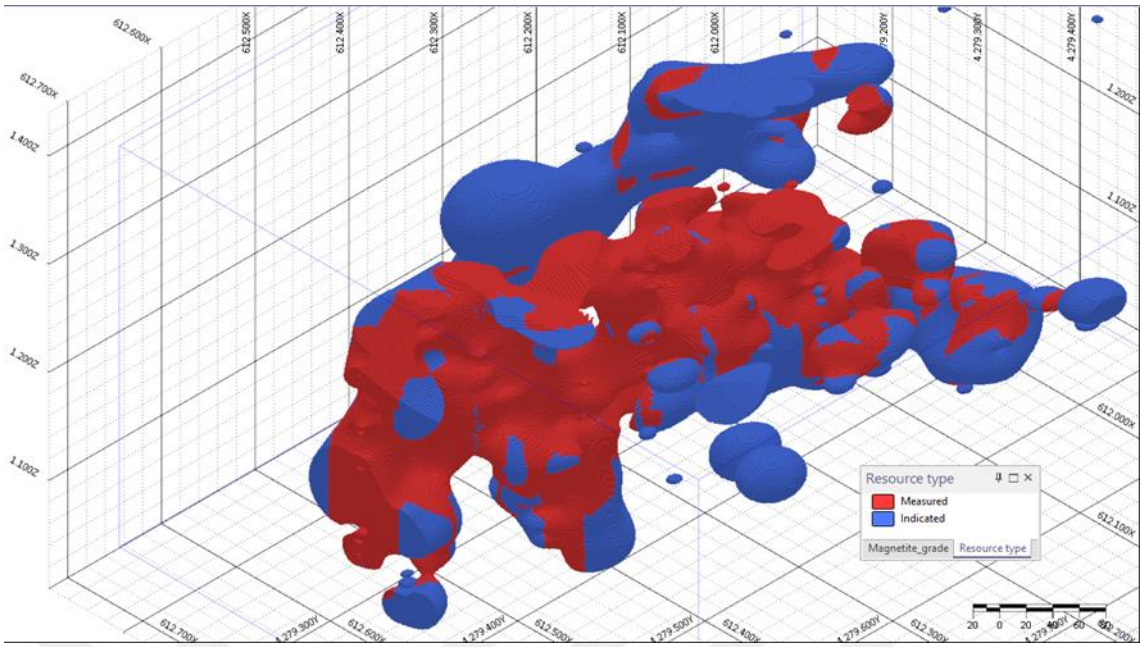
Alt tenör (%)	Üst tenör (%)	Kaynak hacmi (m^3)	Yoğunluk (t/m^3)	Kaynak tonajı (t)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	Birikimli					Kaynak türü
							Kaynak hacmi (m^3)	Kaynak tonajı (t)	Yoğunluk (t/m^3)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	
70	80	3.585	5,17	18.534	70,9	13.132	3.585	18.534	5,17	70,9	13.132	Belirtilmiş
60	70	205.048	5,17	1.060.098	63,0	667.981	208.633	1.078.633	5,17	63,1	681.114	Belirtilmiş
50	60	1.653.626	5,17	8.549.246	53,8	4.601.841	1.862.259	9.627.879	5,17	54,9	5.282.955	Belirtilmiş
40	50	1.924.505	5,17	9.949.691	45,6	4.537.487	3.786.764	19.577.570	5,17	50,2	9.820.441	Belirtilmiş
30	40	771.770	5,17	3.990.051	35,8	1.427.077	4.558.534	23.567.621	5,17	47,7	11.247.518	Belirtilmiş
20	30	447.010	5,17	2.311.042	26,1	602.300	5.005.544	25.878.662	5,17	45,8	11.849.818	Belirtilmiş
10	20	40.400	5,17	208.868	17,3	36.142	5.045.944	26.087.530	5,17	45,6	11.885.961	Belirtilmiş
0	10	87.543	5,17	452.597	4,6	20.696	5.133.487	26.540.128	5,17	44,9	11.906.657	Belirtilmiş
70	80	-	5,17	-	0,0	-	-	-	5,17	0,0	-	Ölçülmüş
60	70	183.944	5,17	950.990	62,0	589.466	183.944	950.990	5,17	62,0	589.466	Ölçülmüş
50	60	1.803.481	5,17	9.323.997	54,1	5.048.780	1.987.425	10.274.987	5,17	54,9	5.638.245	Ölçülmüş
40	50	1.723.186	5,17	8.908.872	45,7	4.066.959	3.710.611	19.183.859	5,17	50,6	9.705.205	Ölçülmüş
30	40	789.124	5,17	4.079.771	35,4	1.445.711	4.499.735	23.263.630	5,17	47,9	11.150.915	Ölçülmüş
20	30	507.839	5,17	2.625.528	25,7	675.300	5.007.574	25.889.158	5,17	45,7	11.826.216	Ölçülmüş
10	20	87.995	5,17	454.934	16,6	75.549	5.095.569	26.344.092	5,17	45,2	11.901.765	Ölçülmüş
0	10	62.299	5,17	322.086	4,5	14.461	5.157.868	26.666.178	5,17	44,7	11.916.225	Ölçülmüş
70	80	3.585	5,17	18.534	70,9	13.132	3.585	18.534	5,17	70,9	13.132	Tümü
60	70	388.992	5,17	2.011.089	62,5	1.257.447	392.577	2.029.623	5,17	62,6	1.270.579	Tümü
50	60	3.457.107	5,17	17.873.243	54,0	9.650.621	3.849.684	19.902.866	5,17	54,9	10.921.200	Tümü
40	50	3.647.691	5,17	18.858.562	45,6	8.604.446	7.497.375	38.761.429	5,17	50,4	19.525.646	Tümü
30	40	1.560.894	5,17	8.069.822	35,6	2.872.788	9.058.269	46.831.251	5,17	47,8	22.398.434	Tümü
20	30	954.849	5,17	4.936.569	25,9	1.277.600	10.013.118	51.767.820	5,17	45,7	23.676.034	Tümü
10	20	128.395	5,17	663.802	16,8	111.692	10.141.513	52.431.622	5,17	45,4	23.787.726	Tümü
0	10	149.842	5,17	774.683	4,5	35.157	10.291.355	53.206.305	5,17	44,8	23.822.882	Tümü

Çizelge 3.9 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak tenör aralıkları bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi büyük)

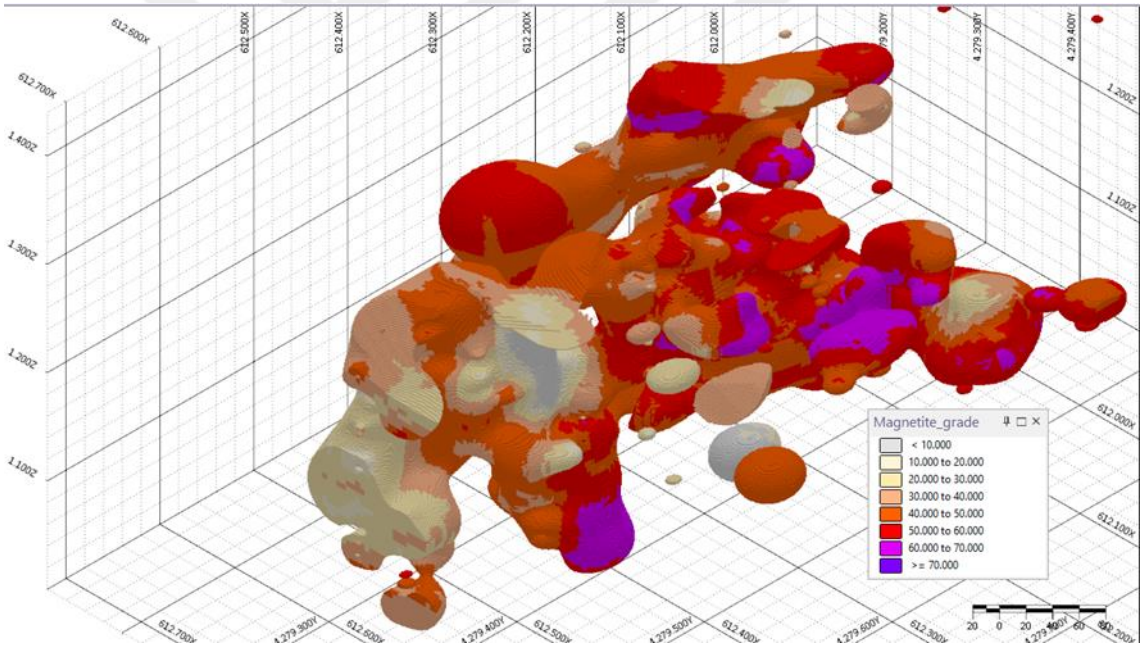
Alt tenör (%)	Üst tenör (%)	Kaynak hacmi (m^3)	Yoğunluk (t/m^3)	Kaynak tonajı (t)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	Birikimli					Kaynak türü
							Kaynak hacmi (m^3)	Kaynak tonajı (t)	Yoğunluk (t/m^3)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	
70	80	125	5,17	646	70,5	456	125	646	5,17	70,5	456	Tümü
60	70	276.996	5,17	1.432.069	62,2	890.201	277.121	1.432.716	5,17	62,2	890.657	Tümü
50	60	3.403.848	5,17	17.597.894	54,0	9.500.716	3.680.969	19.030.610	5,17	54,6	10.391.373	Tümü
40	50	3.846.041	5,17	19.884.032	45,7	9.090.954	7.527.010	38.914.642	5,17	50,1	19.482.327	Tümü
30	40	1.626.181	5,17	8.407.356	35,6	2.995.367	9.153.191	47.321.997	5,17	47,5	22.477.693	Tümü
20	30	896.603	5,17	4.635.438	25,9	1.200.724	10.049.794	51.957.435	5,17	45,6	23.678.417	Tümü
10	20	163.628	5,17	845.957	15,9	134.321	10.213.422	52.803.392	5,17	45,1	23.812.738	Tümü
0	10	77.933	5,17	402.914	5,9	23.731	10.291.355	53.206.305	5,17	44,8	23.836.470	Tümü

Çizelge 3.10 Manyetit kaynağının IDP kestirim algoritması kullanılarak kaynak türü bazında hesaplanan değerleri (arama elipsoidi büyük)

Alt tenör (%)	Üst tenör (%)	Kaynak hacmi (m^3)	Yoğunluk (t/m^3)	Kaynak tonajı (t)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	Birikimli					Kaynak türü
							Kaynak hacmi (m^3)	Kaynak tonajı (t)	Yoğunluk (t/m^3)	Fe_3O_4 (%)	Fe_3O_4 tonajı (t)	
70	80	0	-	-	0,0	-	-	-	-	0,0	-	Belirtilmiş
60	70	50808	5,17	262.677	62,9	165.117	50.808	262.677	5,17	62,9	165.117	Belirtilmiş
50	60	206616	5,17	1.068.205	53,2	568.371	257.424	1.330.882	5,17	55,1	733.487	Belirtilmiş
40	50	285646	5,17	1.476.790	47,7	703.712	543.070	2.807.672	5,17	51,2	1.437.200	Belirtilmiş
30	40	39569	5,17	204.572	34,9	71.312	582.639	3.012.244	5,17	50,1	1.508.511	Belirtilmiş
20	30	27902	5,17	144.253	25,3	36.537	610.541	3.156.497	5,17	48,9	1.545.048	Belirtilmiş
10	20	49419	5,17	255.496	14,5	37.131	659.960	3.411.993	5,17	46,4	1.582.179	Belirtilmiş
0	10	19863	5,17	102.692	7,3	7.469	679.823	3.514.685	5,17	45,2	1.589.648	Belirtilmiş
70	80	125	5,17	646	70,5	456	125	646	5,17	70,5	456	Ölçülmüş
60	70	226188	5,17	1.169.392	62,0	725.084	226.313	1.170.038	5,17	62,0	725.540	Ölçülmüş
50	60	3197232	5,17	16.529.689	54,0	8.932.345	3.423.545	17.699.728	5,17	54,6	9.657.885	Ölçülmüş
40	50	3560395	5,17	18.407.242	45,6	8.387.242	6.983.940	36.106.970	5,17	50,0	18.045.127	Ölçülmüş
30	40	1586612	5,17	8.202.784	35,6	2.924.055	8.570.552	44.309.754	5,17	47,3	20.969.182	Ölçülmüş
20	30	868701	5,17	4.491.184	25,9	1.164.187	9.439.253	48.800.938	5,17	45,4	22.133.369	Ölçülmüş
10	20	114209	5,17	590.461	16,5	97.190	9.553.462	49.391.399	5,17	45,0	22.230.560	Ölçülmüş
0	10	58070	5,17	300.222	5,4	16.262	9.611.532	49.691.620	5,17	44,8	22.246.822	Ölçülmüş
70	80	125	5,17	646	70,5	456	125	646	5,17	70,5	456	Tümü
60	70	276996	5,17	1.432.069	62,2	890.201	277.121	1.432.716	5,17	62,2	890.657	Tümü
50	60	3403848	5,17	17.597.894	54,0	9.500.716	3.680.969	19.030.610	5,17	54,6	10.391.373	Tümü
40	50	3846041	5,17	19.884.032	45,7	9.090.954	7.527.010	38.914.642	5,17	50,1	19.482.327	Tümü
30	40	1626181	5,17	8.407.356	35,6	2.995.367	9.153.191	47.321.997	5,17	47,5	22.477.693	Tümü
20	30	896603	5,17	4.635.438	25,9	1.200.724	10.049.794	51.957.435	5,17	45,6	23.678.417	Tümü
10	20	163628	5,17	845.957	15,9	134.321	10.213.422	52.803.392	5,17	45,1	23.812.738	Tümü
0	10	77933	5,17	402.914	5,9	23.731	10.291.355	53.206.305	5,17	44,8	23.836.470	Tümü



Şekil 3.15 IDP ile Fe_3O_4 tenörü bazında kaynak blok modeli (Güneybatıya izometrik bakış)



Şekil 3.16 IDP ile kaynak türü bazında kaynak blok modeli (Güneybatıya izometrik bakış)

3.6 Ocak Optimizasyonu

3.6.1 Nihai ocak optimizasyonu

Bu bölümde, manyetit kaynağının kazançlı biçimde işletilebilmesine dönük olarak nihai ocak sınırlarının oluşturulması amaçlanmıştır. Lerchs-Grosmann optimizasyon algoritması temel alınarak ve ardışık senaryolar oluşturularak manyetit maden kaynağının en büyük bölümünün kazançlı biçimde işletilebileceği en derin ocak kabuğu ve en geniş ocak sınırları belirlenmiştir. Lerchs-Grosmann algoritması gelir-maliyet tabanlı olduğu için Türkiye'de konumlu benzer kuruluşlardan işletme ve zenginleştirme maliyetleri ile cevherin ocak başı satış fiyatlarına dair veri

ve bilgi edinilmiştir. Toplam beş senaryo üzerinde çalışılmış olup, her senaryoda kullanılan girdi parametre değerleri Çizelge 3.11'de sunulmuş ve aşağıda açıklanmıştır.

Birinci senaryoda Mart 2022 fiyatları dikkate alındığında satılabilir cevherin stokhole getirilerek alıcıya teslim edilmesine kadar oluşan maliyet 1,0 US$/m³, pasa malzemesinin harmana döküm aşamasına kadarki maliyet de 1,0 US$/m³ alınmıştır. Modellemede çevre düzenlemesi için maliyet ayrılmamıştır. Cevher ve pasa (MCAF) ile çevre düzenleme (RCAF) maliyetlerinin ocağın derinliği, kayaç yapısındaki farklılaşma ya da ölçülmüş/belirtilmiş cevher türü gibi faktörlerden etkilenmediği ve tüm işletme için sabit kaldığı varsayılmıştır. Böylece MCAF ve RCAF için 1 değeri atanmıştır. Manyetit ocağının işletilmesi sırasında tüm yönlerdeki genel şev açıları 35° olarak girilmiştir. Ancak bu varsayım herhangi bir jeoteknik çalışmaya dayanmamaktadır.

Cevher zenginleştirme maliyeti ile genel ve idari giderler, satılabilir cevherin tonu başına 1,5 US$ ve 0,5 US$ olarak alınmıştır. Zenginleştirme işlemlerindeki kazanım oranı da %95 alınmıştır. Ayrıca, cevherin mineral yapısının değişmediği ve bundan ötürü farklı zenginleştirme süreçlerine gerek bulunmadığı kabulü ile ayar katsayısı (PCAF) 1'dir. Sonuç olarak, zenginleştirilmiş manyetit cevherinin tesis çıkışında 125 US$/t bedel ile satılabileceği ve satış maliyetinin beher ton başına 1,25 US$ olacağı varsayılmıştır. Takip eden optimizasyon senaryolarında yalnızca satış fiyatı değiştirilmiş olup bunlar Çizelge 3.11'de kalın sayılarla vurgulanmıştır. Nihai ocak optimizasyonu senaryolarının üretim, maliyet, gelir, tenör gibi parametrelerine ait değerler Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 Nihai ocak optimizasyonunda kullanılan girdi parametresi değerleri

Senaryolara ait parametreler	1	2	3	4	5
İşletme maliyeti (cevher, US$/m³)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
İşletme maliyeti (pasa, US$/m³)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Çevre düzenleme maliyeti (US$/t)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
İşletme maliyeti ayar katsayısı (cevher MCAF)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
İşletme maliyeti ayar katsayısı (pasa MCAF)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Çevre düzenleme maliyeti ayar katsayısı (RCAF)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Cevher yoğunluğu (t/m³)	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17
Pasa yoğunluğu (t/m³)	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
İşletme aşamasında cevher seyrelmesi (%)	5	5	5	5	5
İşletme aşamasında cevher kazanımı (%)	95	95	95	95	95
İşletme şev açısı (°)	35	35	35	35	35
Cevher zenginleştirme maliyeti (US$/t)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Genel ve idari giderler (US$/t)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Zenginleştirme maliyeti ayar katsayısı (PCAF)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Zenginleştirmede cevher kazanımı (%)	95	95	95	95	95
Zenginleştirilmiş cevher satış fiyatı (US$/t)	125	100	75	50	35
Satış maliyeti (US$/t)	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

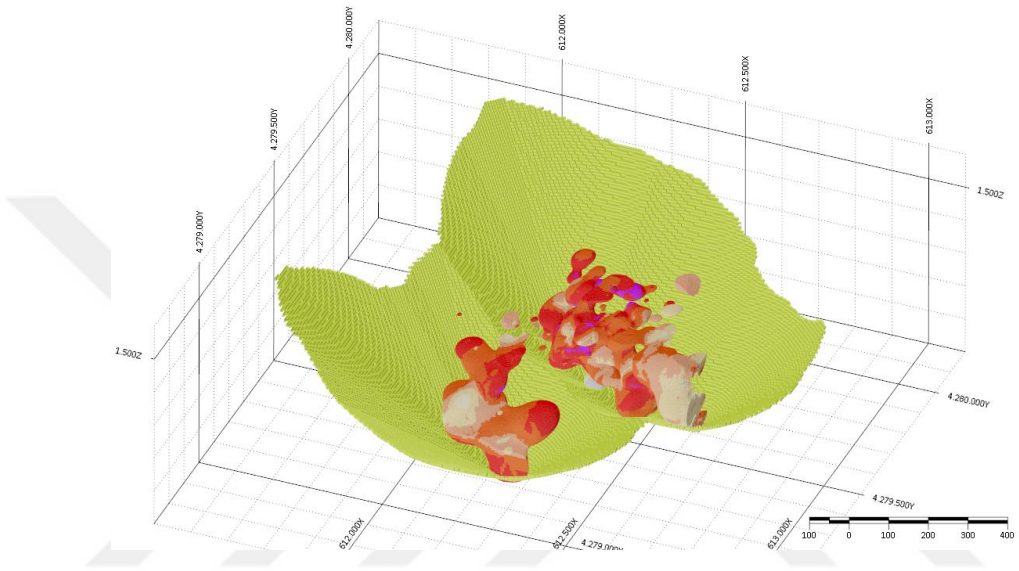
Çizelge 3.12 Nihai ocak optimizasyonu senaryolarının sonuçları

Sonuçlar	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Senaryo-4	Senaryo-5
Ocak taban kotu (m)	1045	1045	1050	1060	1085
Ocak tavan kotu (m)	1570	1570	1570	1570	1570
Yerinde hacim (m³)	115.373.244	114.372.745	112.093.516	104.471.929	97.043.539
Çıkartılan seyrelmiş hacim (m³)	115.373.244	114.372.745	112.093.516	104.471.929	97.043.539
Yerinde manyetit hacmi (m³)	10.229.113	10.214.352	10.176.127	10.062.810	9.956.802
Çıkartılan seyrelmiş manyetit hacmi (m³)	10.203.540	10.188.816	10.150.687	10.037.653	9.931.910
Yerinde pasa hacmi (m³)	105.144.131	104.158.393	101.917.389	94.409.118	87.086.737
Çıkartılan seyrelmiş pasa hacmi (m³)	105.169.703	104.183.929	101.942.830	94.434.275	87.111.629
Yoğunluk (t/m³)	3,10	3,10	3,11	3,12	3,13
Manyetit yoğunluğu (t/m³)	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17
Pasa yoğunluğu (t/m³)	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
Yerinde toplam kütle (t)	357.802.493	354.867.539	348.171.006	325.811.172	304.028.203
Çıkartılan seyrelmiş kütle (t)	357.802.493	354.867.539	348.171.006	325.811.172	304.028.203
Örtükazı oranı (t/t)	5,78	5,74	5,63	5,28	4,92
Yerinde manyetit kütlesi (t)	52.884.515	52.808.200	52.610.577	52.024.728	51.476.667
Çıkartılan seyrelmiş manyetit kütlesi (t)	52.752.303	52.676.180	52.479.050	51.894.666	51.347.975
Yerinde pasa kütlesi (t)	304.917.979	302.059.339	295.560.429	273.786.444	252.551.536
Çıkartılan seyrelmiş pasa kütlesi (t)	305.050.190	302.191.359	295.691.955	273.916.505	252.680.228
İşletme maliyeti-toplam (US$)	115.373.244	114.372.745	112.093.516	104.471.929	97.043.539
İşletme maliyeti-cevher (US$)	10.229.113	10.214.352	10.176.127	10.062.810	9.956.802
İşletme maliyeti-pasa (US$)	105.144.131	104.158.393	101.917.389	94.409.118	87.086.737
Cevher zenginleştirme maliyeti (US$)	79.128.455	79.014.270	78.718.576	77.841.999	77.021.963
İlave cevher zenginleştirme maliyeti (US$)	-	-	-	-	-
Genel ve idari maliyetler (US$)	26.376.152	26.338.090	26.239.525	25.947.333	25.673.988
Satış maliyeti (US$)	26.801.844	26.788.793	26.749.408	26.555.866	26.288.901
Çevre düzenleme maliyeti (US$)	-	-	-	-	-
Toplam maliyet (US$)	247.679.695	246.513.897	243.801.025	234.817.127	226.028.389
Toplam gelir (US$)	2.680.184.448	2.143.103.417	1.604.964.452	1.062.234.655	736.089.216
Net değer (US$)	2.432.504.753	1.896.589.520	1.361.163.427	827.417.528	510.060.826

Çizelge 3.12 Nihai ocak optimizasyonu senaryolarının sonuçları (devam ediyor)

Sonuçlar	Senaryo1	Senaryo2	Senaryo3	Senaryo4	Senaryo5
Fe_3O_4_Yerinde kütle (t)	23.758.425	23.747.117	23.712.890	23.542.408	23.307.703
Fe_3O_4_Yerinde cevher kütlesi (t)	23.757.868	23.746.298	23.711.386	23.539.826	23.303.181
Fe_3O_4_Çıkartılan seyrelmiş kütle (t)	22.570.504	22.559.761	22.527.245	22.365.287	22.142.318
Fe_3O_4_Çıkartılan seyrelmiş cevher kütlesi (t)	22.569.974	22.558.983	22.525.817	22.362.835	22.138.022
Fe_3O_4_Cevher hazırlama tesisinden çıkan kütle (t)	21.441.476	21.431.034	21.399.526	21.244.693	21.031.120
Fe_3O_4_Yerinde kütle tenörü (%)	6,6	6,7	6,8	7,2	7,7
Fe_3O_4_Yerinde cevher kütlesi tenörü (%)	44,9	45,0	45,1	45,2	45,3
Fe_3O_4_Seyrelten tenör (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe_3O_4_Yerinde çıkartılan kütle tenörü (%)	6,3	6,4	6,5	6,9	7,3
Fe_3O_4_Yerinde çıkartılan cevher kütlesi tenörü (%)	42,8	42,8	42,9	43,1	43,1
Fe_3O_4_Yerinde hacim bakımından (t/m³)	0,21	0,21	0,21	0,23	0,24
Fe_3O_4_Yerinde cevher hacmi bakımından (t/m³)	2,32	2,32	2,33	2,34	2,34
Fe_3O_4_Çıkartılan seyrelmiş hacim bakımından (t/m³)	0,20	0,20	0,20	0,21	0,23
Fe_3O_4_Çıkartılan seyrelmiş cevher hacmi bakımından (t/m³)	2,21	2,21	2,22	2,23	2,23
Fe_3O_4_Gelir (US$)	2.680.184.448	2.143.103.417	1.604.964.452	1.062.234.655	736.089.216
MB_Manyetit_Hacim (yerinde m³)	10.248.395	10.238.135	10.208.903	10.103.884	10.009.935
MB_Manyetit_Çıkartılan seyrelmiş hacim (m³)	10.248.395	10.238.135	10.208.903	10.103.884	10.009.935
MB_Manyetit_Yerinde kütle (t)	52.940.432	52.877.171	52.705.627	52.143.843	51.630.752
MB_Manyetit_Çıkartılan seyrelmiş kütle (t)	52.940.432	52.877.171	52.705.627	52.143.843	51.630.752
MB_Manyetit_Maliyetler (US$)	142.554.846	142.379.287	141.916.412	140.449.083	138.994.786
MB_Manyetit_Gelir (US$)	2.680.184.448	2.143.103.417	1.604.964.452	1.062.234.655	736.089.216
MB_Manyetit_NetGelir (US$)	2.537.629.602	2.000.724.130	1.463.048.040	921.785.572	597.094.430
MB_Kaynağı belirsiz_Yerinde hacim (m³)	105.124.849	104.134.610	101.884.613	94.368.044	87.033.604
MB_Kaynağı belirsiz_Çıkartılan seyrelmiş hacim (m³)	105.124.849	104.134.610	101.884.613	94.368.044	87.033.604
MB_Kaynağı belirsiz_Yerinde kütle (t)	304.862.061	301.990.368	295.465.379	273.667.329	252.397.451
MB_Kaynağı belirsiz_Çıkartılan seyrelmiş kütle (t)	304.862.061	301.990.368	295.465.379	273.667.329	252.397.451
MB_Kaynağı belirsiz_Maliyetler (US$)	105.124.849	104.134.610	101.884.613	94.368.044	87.033.604
MB_Kaynağı belirsiz_Gelir (US$)	-	-	-	-	-
MB_Kaynağı belirsiz_Netgelir (US$)	-105.124.849	-104.134.610	-101.884.613	-94.368.044	-87.033.604

Ocak optimizasyonu algoritması Senaryo-1 ile çalıştırıldığında ocak derinliği 525 m olmakta ve üretim katları 1045 m ile 1570 m arasında yer almaktadır. 5,78 t/t örtükazı oranı ile 22.569.974 t'luk bölümü seyrelmiş Fe_3O_4 kütlesi olmak üzere 52.752.303 t manyetit çıkartılmış ve 305.050.190 t dekapaj (toplam 357.802.493 t cevher + dekapaj) yapılmıştır. Böylece 247.679.695 US$ maliyet ve 2.680.184.448 US$ gelir oluşmakta ve paranın zaman değeri dikkate alınmadığında 2.432.504.753 US$ kar elde edilmektedir. Kaynak kestirimi aşamasında tonajı 53.206.305 t olarak belirlenen manyetit kütlesinin, Şekil 3.17'den de izlenebileceği %99,15'lik bölümünün işletilebildiği görülmektedir.



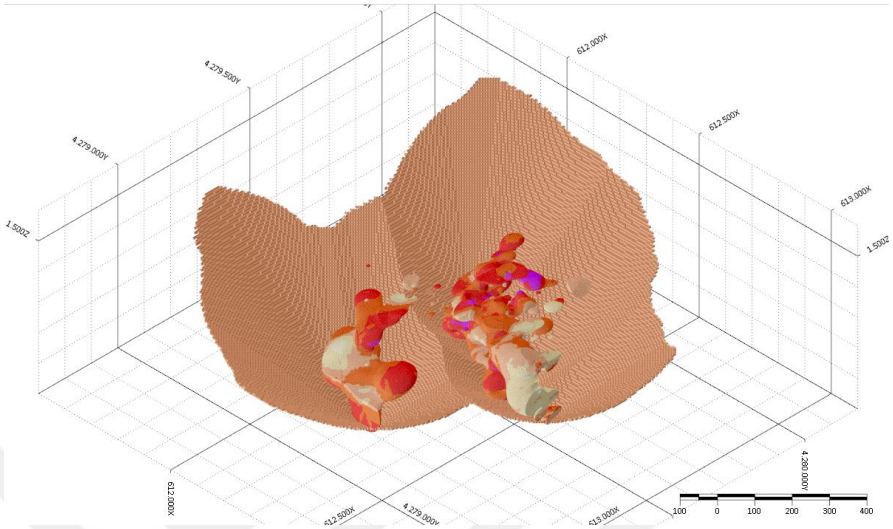
Şekil 3.17 Senaryo-1 sonucunda oluşan nihai ocak kabuğu (Kuzeybatıya izometrik bakış)

İkinci senaryoda manyetit satış fiyatı 100 US$'a düşürülmüş ve diğer değerler sabit bırakılmıştır. Ocak tabanı 1045 m'de kalmış (Şekil 3.18) ancak örtükazı oranı 5,74'e düşmüştür. Çıkartılan 52.676.180 t manyetitin 22.558.983 t'luk bölümü %42,8 tenör ile seyrelmiş Fe_3O_4 kütlesine aittir. 302.191.359 t dekapaj yapılmıştır. Toplam maliyetler 246.513.897 US$, toplam gelir 2.143.103.417 US$ ve günümüze indirgenmemiş net gelir 1.896.589.520 US$'dır. Toplam maden kaynağının %99,0'luk bölümü işletilebilmektedir.

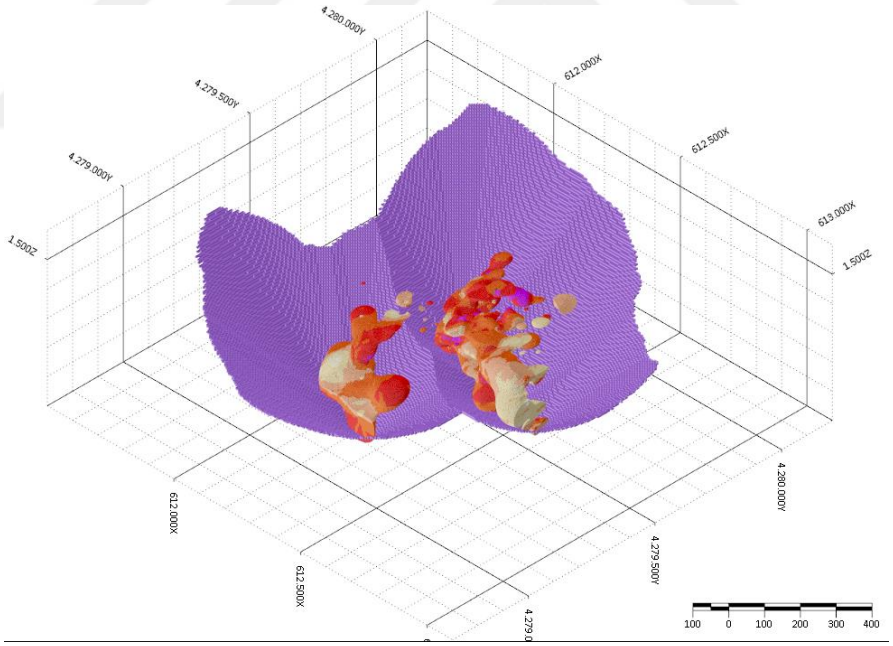
Birinci ve ikinci senaryolarda ocaktaki tüm cevherin üretildiği görüldüğü için üretim miktarının satış fiyatına tepkisini belirleyebilmek amacıyla üçüncü senaryoda manyetit satış fiyatı 75 US$'a düşürülmüş ve diğer değerler sabit bırakılmıştır. Ocak tabanı 1050 m'de konumlanmış (Şekil 3.19) ve örtükazı oranı 5,63 t/t'a inmiştir. Çıkartılan 52.479.050 t manyetitin 22.525.817 t'luk bölümü %42,9 tenör ile seyrelmiş Fe_3O_4 kütlesine aittir. 295.691.955 t dekapaj yapılmıştır. Toplam maliyetler 243.801.025 US$, toplam gelir 1.604.964.452 US$ ve günümüze indirgenmemiş net gelir 1.361.163.427 US$'dır. Toplam maden kaynağının %98,6'lık bölümü işletilebilmektedir.

Üçüncü senaryoda da ocaktaki tüm cevher (%98,6) üretilebildiği için dördüncü senaryoda cevher satış fiyatı 50 US$/t olarak ayarlanmıştır. Ocak tabanı 1060 m'ye yükselmiştir. Buna karşılık örtükazı oranı 5,28 t/t'a azalmıştır. Çıkartılan 325.811.172 t'luk toplam malzemenin (cevher +

dekapaj) 273.916.505 t'luk bölümü seyrelmiş pasa iken 51.894.666 t'luk kısmı manyetittir. Seyrelmiş Fe_3O_4 kütlesi 22.362.835 t olup, tenörü %43,1'dir. Toplam maliyetler 234.817.127 US$, toplam gelir 1.062.234.655 US$ ve günümüze indirgenmemiş net gelir 827.417.528 US$'dır. Toplam maden kaynağının %97,5'lik bölümü işletilebilmektedir.

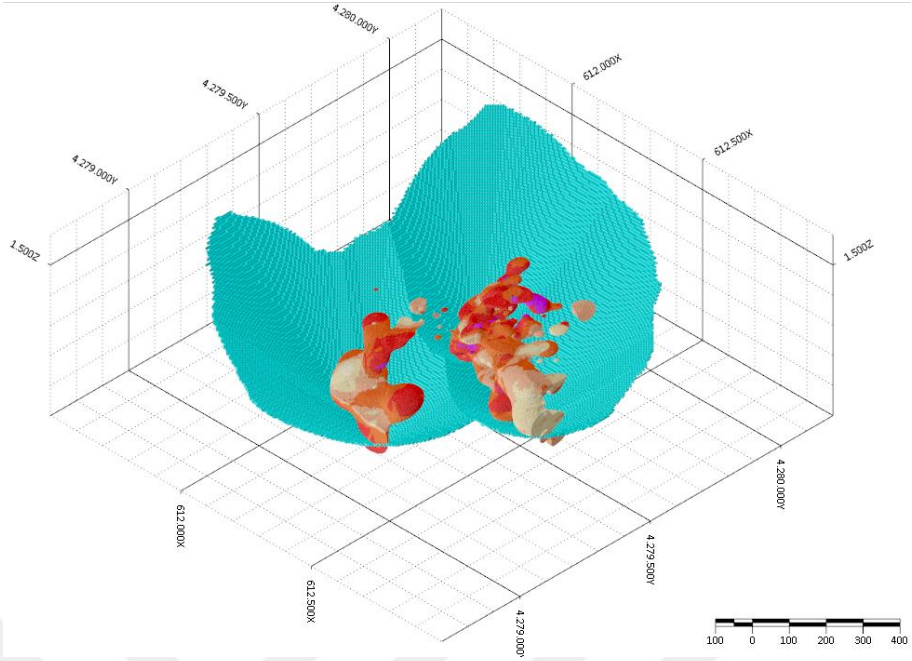


Şekil 3.18 Senaryo-2 sonucunda oluşan nihai ocak kabuğu (Kuzeybatıya izometrik bakış)

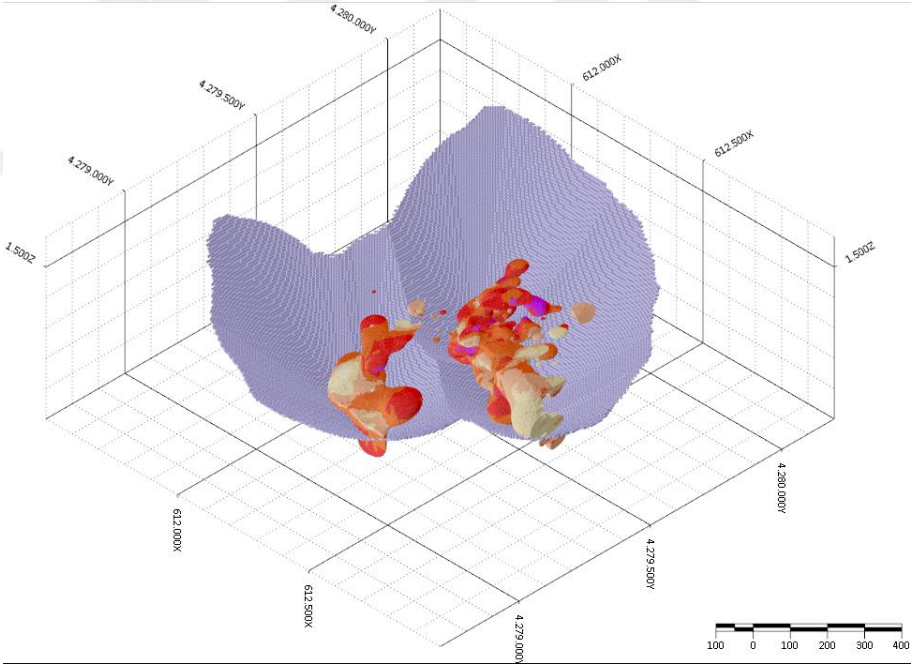


Şekil 3.19 Senaryo-3 sonucunda oluşan nihai ocak kabuğu (Kuzeybatıya izometrik bakış)

Beşinci ve son senaryoda cevher satış fiyatı 35 US$/t'a indirilmiştir. Ocakta (Şekil 3.21) çıkartılan 304.028.203 t'luk toplam kütlenin 252.680.228 t'luk bölümü seyrelmiş pasa iken 51.347.975 t'luk kısmı manyetittir. Örtükazı oranı 4,92 t/t'dur. Seyrelmiş Fe_3O_4 kütlesi 22.138.022 t olup, tenörü %43,1'dir. Toplam maliyetler 226.028.389 US$, toplam gelir 736.089.216 US$ ve günümüze indirgenmemiş net gelir 510.060.826 US$'dır. Toplam maden kaynağının %96,5'lik bölümü işletilebilmektedir.



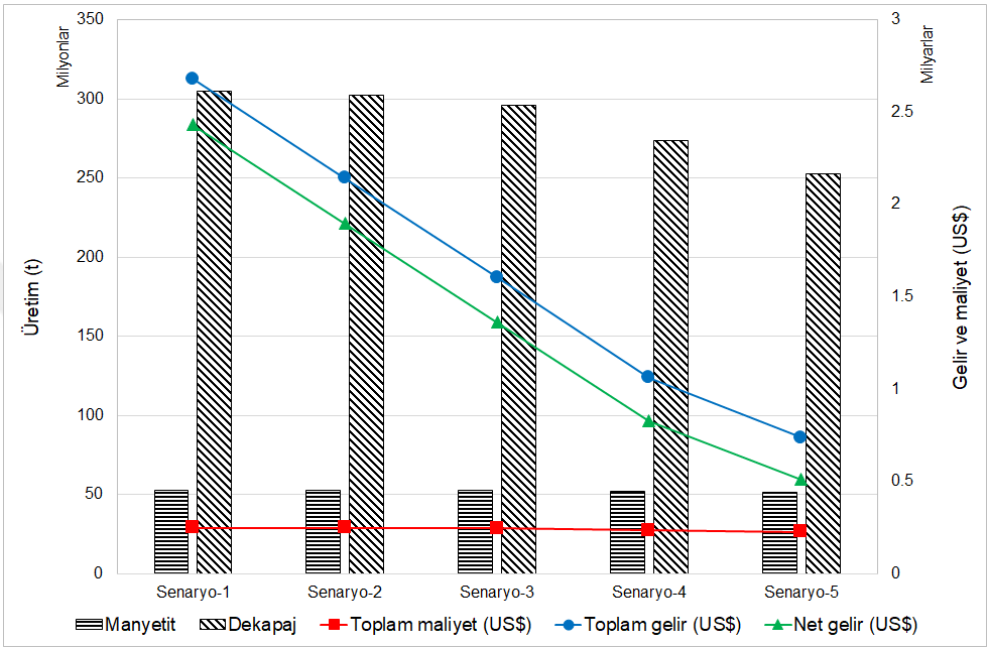
Şekil 3.20 Senaryo-4 sonucunda oluşan nihai ocak kabuğu (Kuzeybatıya izometrik bakış)



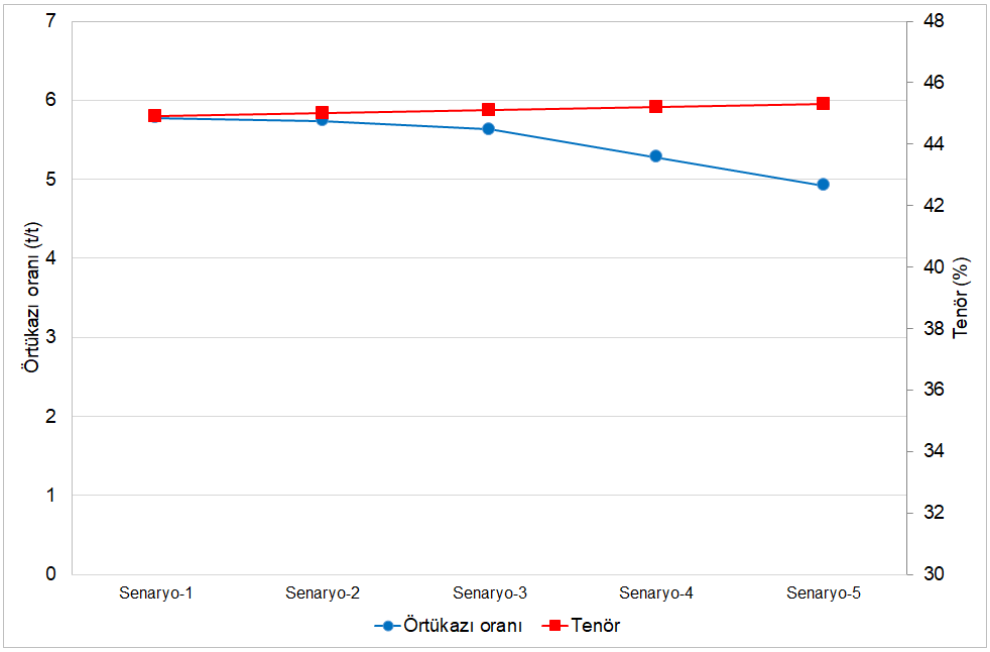
Şekil 3.21 Senaryo-5 sonucunda oluşan nihai ocak kabuğu (Kuzeybatıya izometrik bakış)

Optimizasyon denemeleri sonucunda, nihai ocağa karar verebilmek amacıyla 1-5 arası seçeneklerin cevher üretimi, dekapaj ve gelir-gider değerleri Şekil 3.22'de toplu olarak değerlendirilmiştir. Senaryolar ilerledikçe cevher üretim ve dekapaj miktarları hafifçe azalmaktadır. Şekil 3.23'den de izlenebileceği gibi ocak sığlaştıkça örtükazı oranı da azalmakta ancak üretilen cevherin tenörü hafif biçimde artmaktadır. Nihai ocak senaryoları ilerledikçe cevher satış fiyatları düşürüldüğünden günümüze indirgenmemiş toplam gelir, maliyet ve net gelir

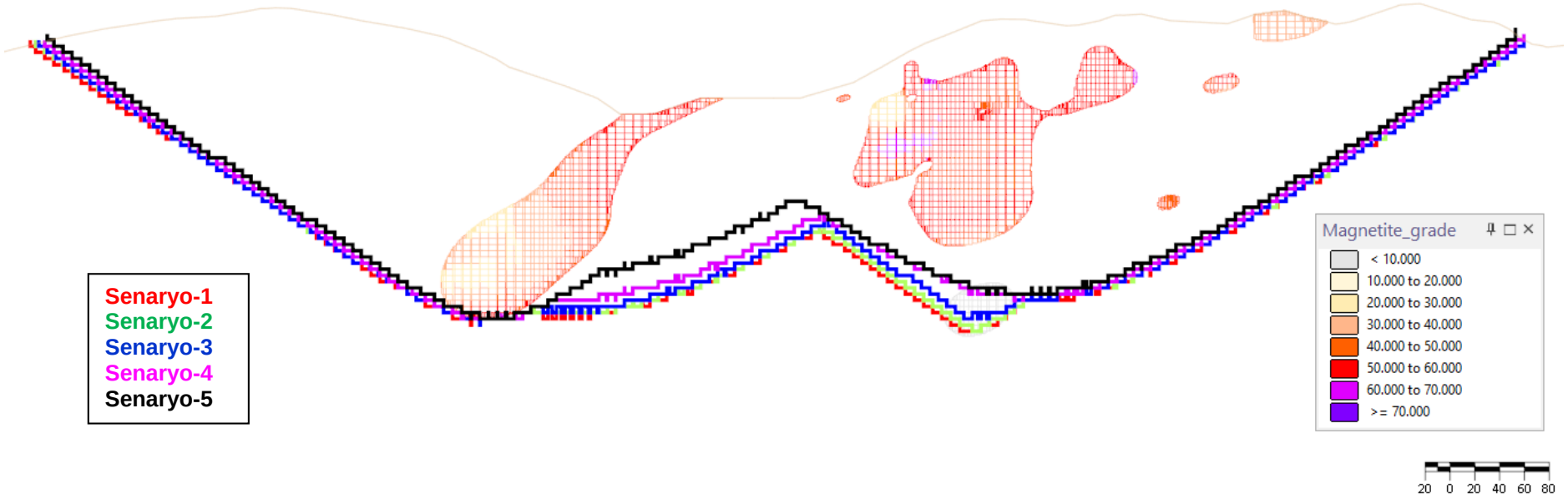
meblağları da azalmaktadır. Cevher satış fiyatının 35 US$/t ile güncel değerinden düşürüldüğü son senaryo gerçekçi olmadığından, değerlendirmeye alınmamıştır. Diğer yandan 1 ve 4 arası senaryoların tümünde ocaktaki maden kaynağının hemen tamamı kazanılmaktadır (Senaryo-1 → %99,15 ve senaryo-4 → %96,5). Güncel ocak başı manyetit satış fiyatları 50 US$/t ile 60 US$/t arasında değiştiğinden, nihai ocak kabuğunun Senaryo-4 ile temsil edilmesine karar verilmiştir. Optimizasyon senaryoları sonucunda düşey kesit üzerinde oluşan nihai ocak kabukları toplu halde Şekil 3.24'de göstermiştir.



Şekil 3.22 Nihai ocak seçeneklerinin üretim ve gelir-gider durumu



Şekil 3.23 Nihai ocak seçeneklerinin tenör ve örtükazı oranı durumu



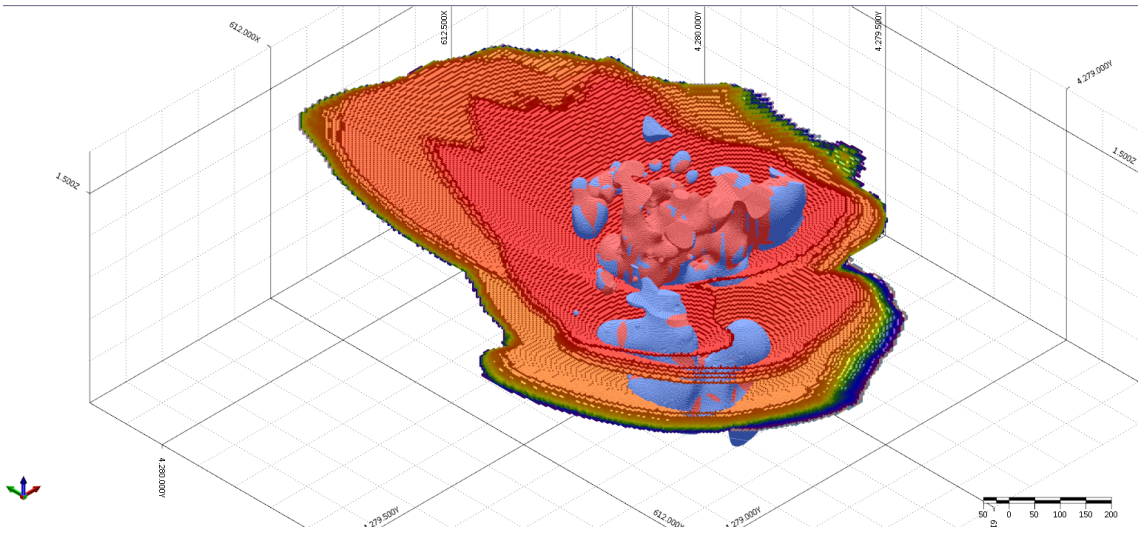
Şekil 3.24 Senaryolar 1, 2, 3, 4 ve 5 sonucunda oluşan nihai ocak kabukları (Kesitten kuzeybatıya bakış)

3.6.2 Yuvalı ocak optimizasyonu

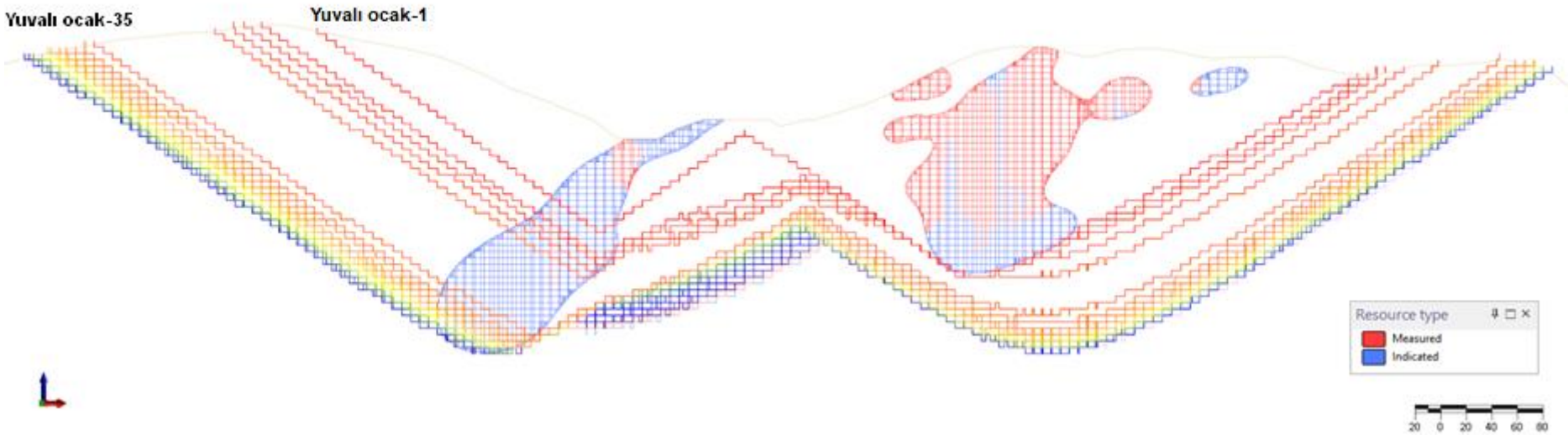
Nihai ocağın oluşturulmasından sonra yuvalı ocakların hazırlanması aşamasına geçilmiştir. Çizelge 3.11'de Senaryo-4 için kullanılan girdiler korunmuş ve gelir ayarlama katsayısı (RAF) 0,2 ile 1,0 arasında 0,02 birimlik artırımlarla değiştirilmiştir. Böylece başlangıç ocağından nihai ocağa kadar toplamda 41 yuvalı ocak oluşturulabilecektir. Ancak her yuvalı ocağın bir sonrakine geçebilmesi için en az 1.000.000 t üretim (cevher + dekapaj) yapılması kısıtı da konulmuştur. Çizelge 3.12'de Senaryo-4 ile verilen nihai ocak içinde toplam 325.811.172 t malzeme olduğu anlaşılmaktadır. Böylece 41 adet yuvalı ocak hazırlanabileceği açıktır.

Yuvalı ocak algoritması, üretim süreci 43 yıla yayılan 35 adet iç içe ocak ile sonuçlanmıştır. Başlangıç ocağı 0,20 RAF değerine karşılık gelen 10 US$/t değerinde, ikinci ocak 0,22 RAF değerine karşılık gelen 11 US$/t değerinde, üçüncü ocak 0,24 RAF değerine karşılık gelen 12 US$/t değerinde, onuncu ocak 0,38 RAF değerine karşılık gelen 19 US$/t değerinde, yirminci ocak 0,60 RAF değerine karşılık gelen 30 US$/t değerinde, otuzuncu ocak 0,84 RAF değerine karşılık gelen 42 US$/t değerinde ve otuzbeşinci, son ocak ta 1,0 RAF değerine karşılık gelen 50 US$/t değerinde oluşmuştur. Her yuvalı ocak, bir sonrakine doğru büyürken en az 1.000.000 t'luk üretim (pushback) gerçekleşmiştir. Ocakların izometrik ve kesit görüntüleri Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'da verilmiştir.

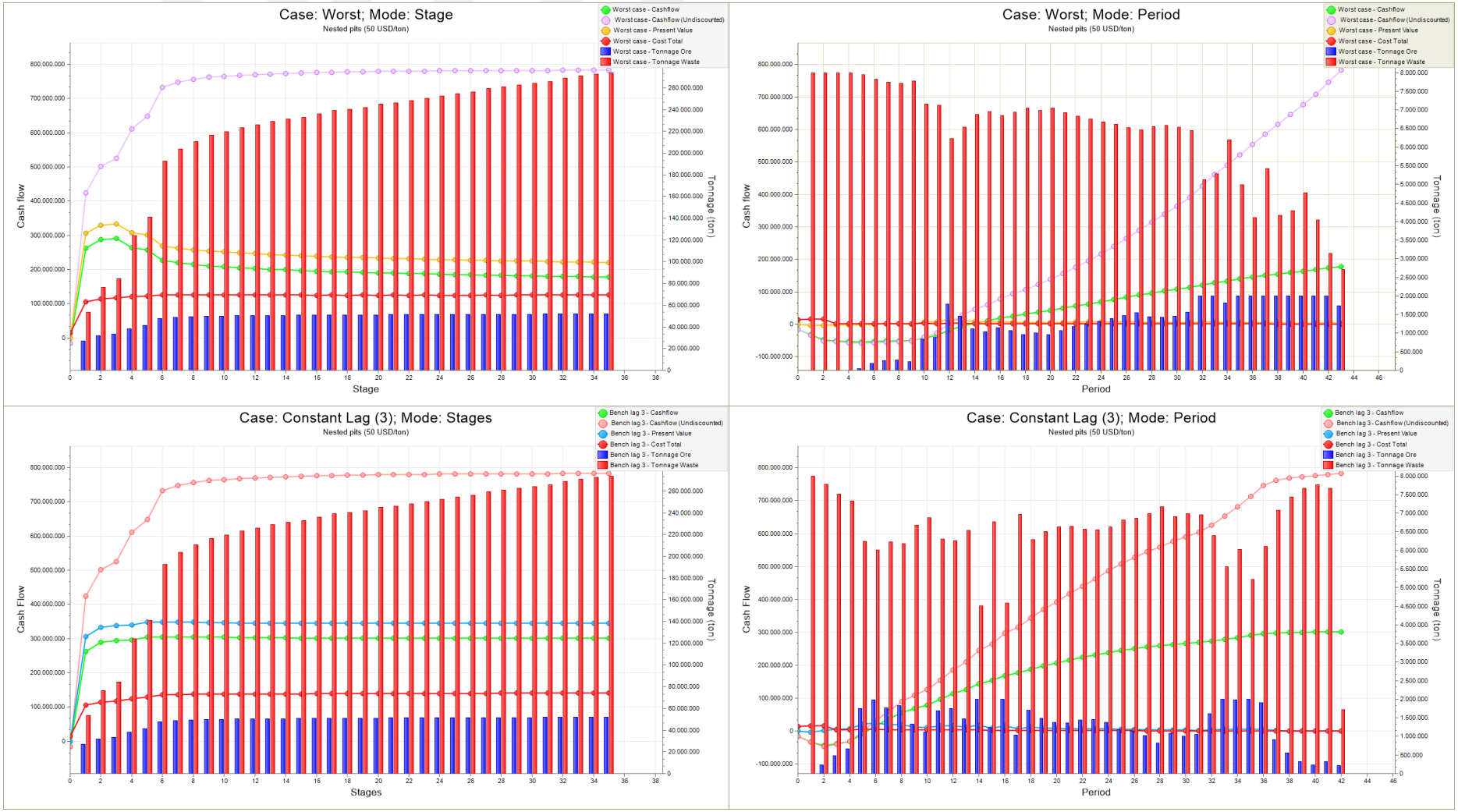
Ocaktaki işletme faaliyetlerinin 'en kötü' (worst case) ve 'eşzamanlı çoklu kat' (constant lag) senaryolarına göre yapılması durumunda üretimin safhalar (stages) ve yıllar (periods) bazındaki değişimine dair analizler Şekil 3.27'de sunulmuştur. Başlangıçta, 1. ve 2. yıllarda 15.000.000 US$ olmak üzere toplamda 45.000.000 US$ yatırım yapılacaktır. İlerleyen yıllarda elde edilen gelirin indirgeme oranı %5 alınmış ve yılda en fazla toplam 8.000.000 t üretim (cevher + dekapaj) yapılmasına izin verilmiştir. Bu üretimin 2.000.000 t'luk bölümü cevher hazırlama tesisinde işlem görecek olup cevher stokta tutulmadan satışa yönlendirilecektir.



Şekil 3.25 Senaryo-4 sonucunda oluşan yuvalı ocak kabukları (Kuzeydoğuya izometrik bakış)



Şekil 3.26 Senaryo-4 temel alınarak hazırlanan yuvalı ocak kabukları (Kesitten kuzeybatıya bakış



Şekil 3.27 Yuvalı ocakların üretim ve gelir-gider durumu (üstte solda: en kötü durum senaryosu, safhalı üretim; üstte sağda: en kötü durum senaryosu, yıllık üretim; altta solda: eşzamanlı çok basamaklı senaryo, safhalı üretim; altta sağda: eşzamanlı çok basamaklı senaryo, yıllık üretim)

Modellemede aynı anda üç katta çalışmaya izin verilmiş ve safhalar bazındaki değerler birikimli olarak, yıllar bazındaki değerler ise o yıla ait olarak sunulmuştur. 'En kötü' senaryolar, ocak sınırları içinde bir kattaki tüm cevher ve pasa tamamen üretilmeden alttaki kata geçilmemesi üzerine kurgulanmışken, eşzamanlı çok basamak yönteminde, gerçek uygulamaya benzer biçimde, aynı anda çok sayıda katta çalışmaya olanak vardır. Senaryo-4 kullanılarak yapılan yuvalı ocak modellemesi sonucunda 43 yılda 35 adet iç içe ocağın oluştuğuna değinilmişti. Buna göre son yuvalı ocakta hem en kötü durum hem de eşzamanlı çoklu basamak senaryoları uyarınca 51.894.666 t manyetit ve 273.916.505 t dekapaj olmak üzere toplamda 325.811.171 t üretim yapılmaktadır. En kötü durum senaryosu ile kazancın net bugünkü değeri (NPV) 220.720.240 US$ iken, ilk üç yılda yapılan toplam 45.000.000 US$ değerindeki sabit yatırımlar da dikkate alındığında kazancın net bugünkü değeri 177.829.084 US$'a düşmektedir. Diğer yandan eşzamanlı çoklu basamak senaryosu ile yatırımlar dâhil edilmeden 344.673.262 US$, yatırımlar çıkartıldığında 301.782.106 US$ net bugünkü değer sağlanmıştır. Bu farkın temel nedeni çoklu basamak senaryosunda cevhere işletmenin erken yıllarında erişilebilmesi ve bu yıllarda sağlanan gelirin, bugüne indirgenmesinde daha az kayıp olmasıdır.

Analizlerin Şekil 3.27'de yıllar bazında verilen sonuçları incelendiğinde, ocaktaki üretimin 43 yıla yayıldığı görülmektedir. Ancak elde edilen gelirin bugüne indirgenmiş net değeri 43. yıl sonuna kadar sürekli artarak, en kötü durum senaryosunda 177.829.084 US$ ve eşzamanlı çok basamak senaryosunda 301.782.106 US$'a yükselmiştir. Bu nedenle, yuvalı ocaklar göz önüne alındığında en uygun seçeneğin, ocağın 43. işletme yılını içeren 35. safha olarak alınmasına karar verilmiştir.

Diğer yandan yuvalı ocakların sonuncusu olan 35. ocak kabuğu, Senaryo-4'da 50 US$/t olarak belirlenen satış fiyatındaki değerde oluşmuştur. Bu durumda toplam maden kaynağının %97,5'lik bölümü de işletilebilmektedir. Gerek yıllar bazındaki gelir gerekse günümüze indirgenmiş net gelirin sürekli artıyor olması nedeniyle bundan sonra yapılacak ocak tasarımında nihai ocağın kullanılmasına karar verilmiştir. Böylece hem çıkartılacak cevherin satışından elde edilecek gelir en yüksek düzeye ulaşırken hem de yeraltında, güncel ekonomik koşullar altında mümkün olan en az miktarda kaynak bırakılarak, ulusal ekonomiye de katkı sağlanmış olacaktır.

3.7 Ocak Tasarımı

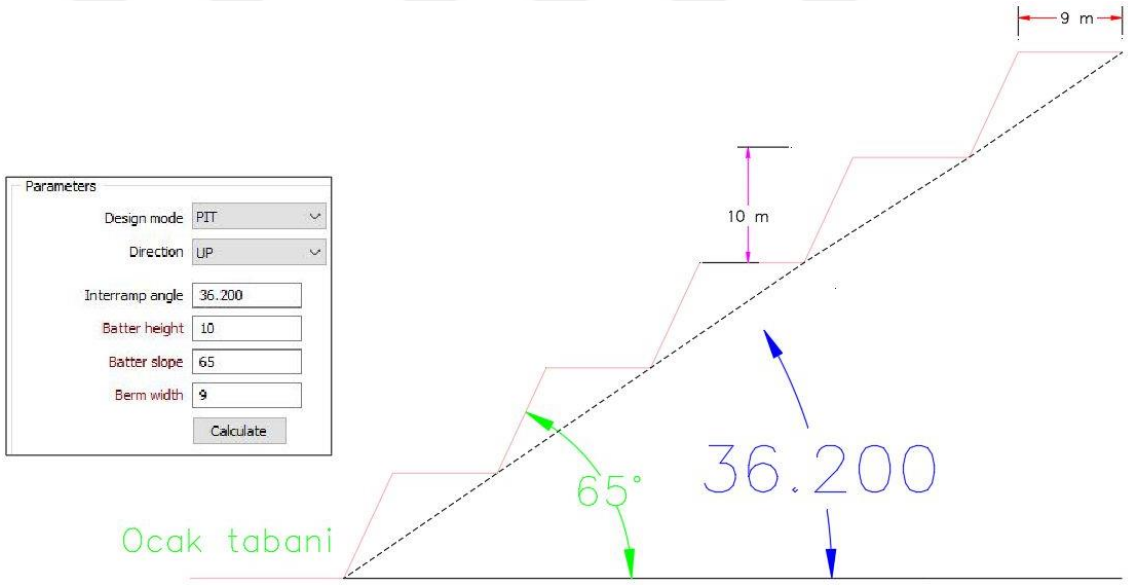
Önceki bölümde mevcut finansal ve işletmeye ait koşullar altında en uygun ocağın, Senaryo-4 ile geliştirilen nihai ocak olduğu ifade edilmişti. Ancak bu kabuk şev geometrisi yerine alt blokların geometrisi dikkate alınarak hazırlandığından işletmecilik bakımından gerçekçi değildir. Bu nedenle bu bölümde, basamak geometrisi değerleri girilerek işletmeciliğe uygun bir ocak tasarımı yapılmıştır.

Ocak, tabandan başlanarak, topografyayı kesecek biçimde yüzeye doğru yükselerek oluşturulan basamaklar ve basamaklar arasında yukarı doğrultuda ilerleyen taşıma yolları ile eşzamanlı olarak hazırlanmıştır. Basamak yüksekliği ve genişliği 10 m ve 9 m, basamak şev açısı 65° alınmıştır. Bu düzenleme ile genel şev açısı, Şekil 3.28'de gösterildiği gibi 36,2°'dir.

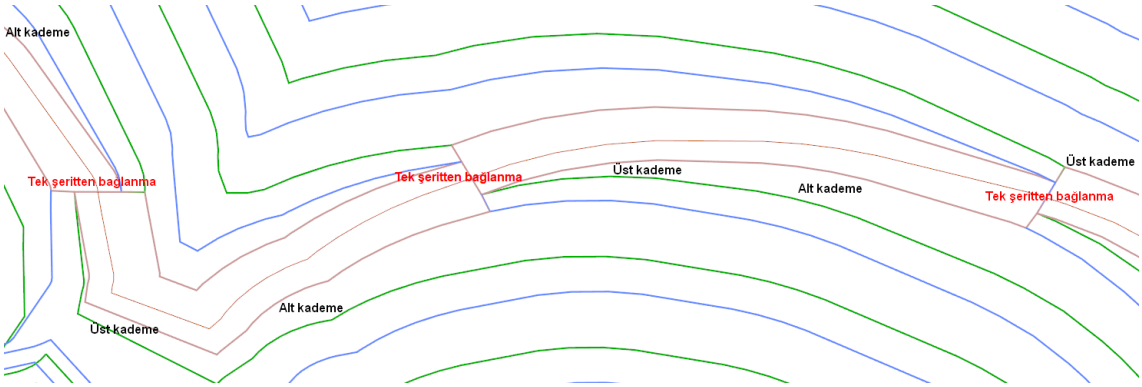
Ocak içi taşıma yolları, dolu ve boş kamyonların kendi şeritlerinde ilerleyeceği biçimde iki şeritli gidiş-geliş tipindeki trafiğe olanak sağlayacak şekilde tasarımlanmıştır. Yollar oluşturulurken, bir yol segmentinin alttaki basamaktan üstteki basamağa bağlanması sonrasında ocak, yol genişliği kadar genişletilmektedir. Ancak taşıma yollarının ocağı haddinden fazla genişletmesine engel olmak için alttan üste doğru bağlanan yolların, üst kademede bir şerit genişliğinde örtüşmesine izin verilmiştir. Bu durum Şekil 3.29'da betimlenmiştir.

Ocak içi taşıma yolları saat ibresi dönüş yönünde ilerleyecek biçimde tasarımlanmıştır. Yol genişliği 8 m ve eğimi, kamyonlar için önerilen %8 - %15 aralığında olmak üzere %9 seçilmiştir. Yol uzunluğu merkez çizgisi boyunca hesaplanmıştır.

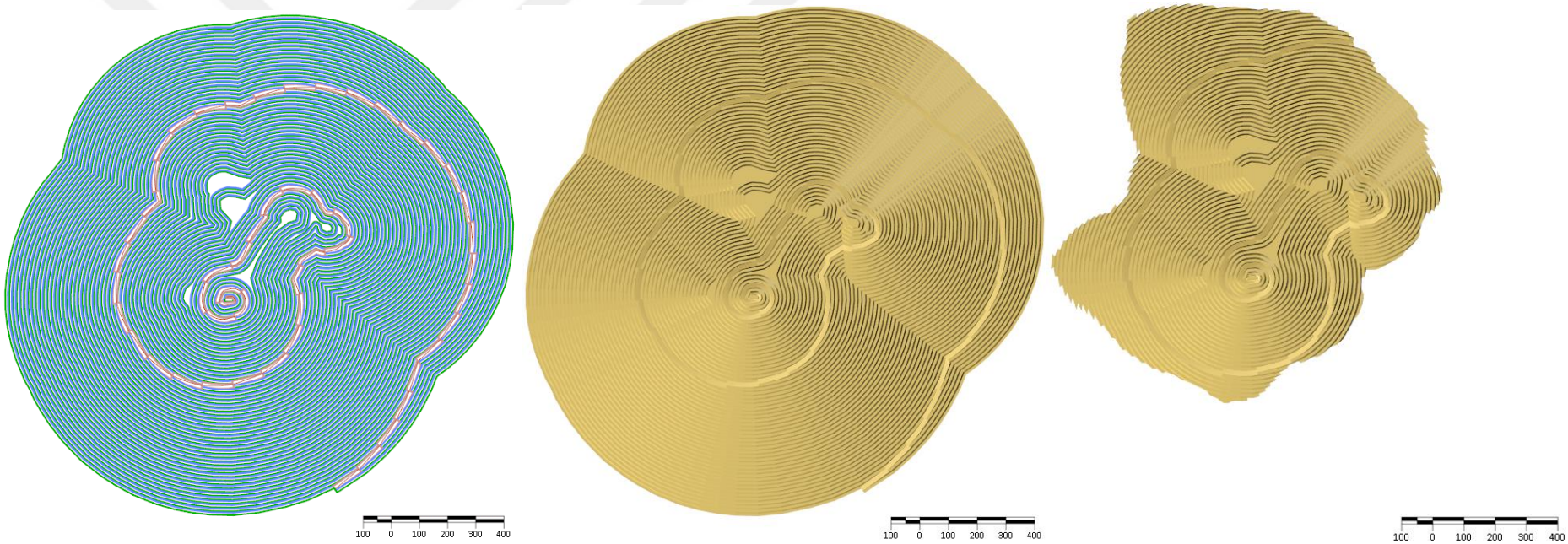
Basamakların ve taşıma yollarının eşzamanlı olarak tasarımlanmasından sonra manyetit ocağı tek kısımda yapılanmıştır. Şekil 3.30'da ocağın telkafes görünümü, giydirilmiş görünümü ve topografya ile kestirilmiş görünümü verilmiştir. Ocağın tüm cevher çıkartıldıktan sonra oluşacak nihai görünümü de Şekil 3.31'de sunulmuştur.



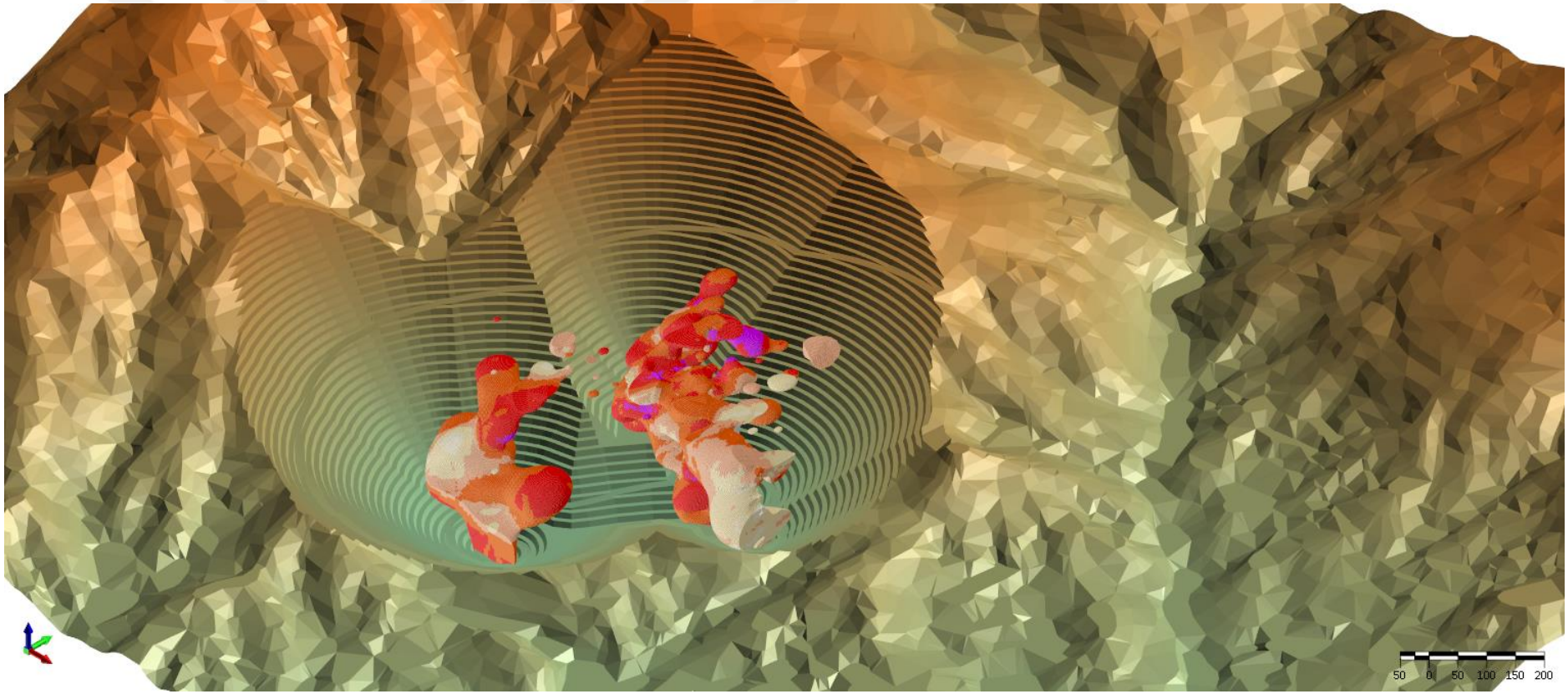
Şekil 3.28 Senaryo-4'deki nihai ocak kabuğu üzerine oturtulan ocaktaki basamak geometrisi



Şekil 3.29 Taşıma yollarının tek şeritten bağlanması



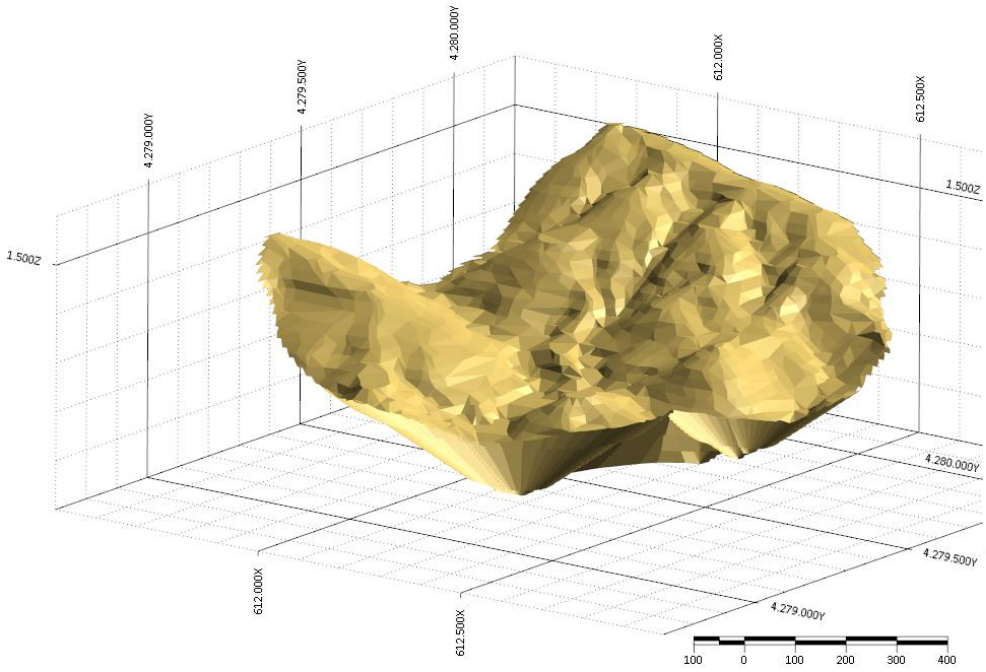
Şekil 3.30 Manyetit ocağı ve taşıma yolları (Solda: telkafes tasarımı, ortada: giydirilmiş görünüm, sağda: topografya ile kesilmiş görünüm) (Plan görünüş)



Şekil 3.31 Manyetit ocağının topografya üzerine oturtulmuş nihai görünümü (Kuzeybatıya izometrik bakış)

Ocaktaki taşıma yolu da, başlangıç tasarımında 1060 ve 1580 kotları arasında %10 eğim ile toplamda 5800.5 m uzunluktadır. Ocak telkafesi topografya ile kestirildiğinde taşıma yolu 3904 m'ye düşmektedir.

Sonuç olarak, Şekil 3.32'te gösterilen ve 112.072.515 m³ hacme sahip bloğun, manyetit madeni işletilerek çıkartılması öngörülmüştür. Blok, GB-KD doğrultusunda yaklaşık 1250 m, KB-GD doğrultusunda yaklaşık 1163 m uzunluğunda olup 1039 m ile 1410 kotları arasında yaklaşık 371 m derinliğe sahiptir.



Şekil 3.32 Manyetit ocağında işletilecek kütle (Güneydoğuya izometrik bakış)

3.8 Tenör-Tonaj

3.8.1 Maden bloklarının oluşturulması

Önceki bölümde hazırlanan 112.072.515 m³ hacimli manyetit bloğu, işletilmek üzere maden bloklarına ayrılmıştır. Cevher K51° doğrultuda uzandığı ve doğrultu boyunca uzanımı (X-ekseni 1250 m) doğrultuya dik uzanımının (Y-ekseni 1163 m) birbiri ile orantılı olduğu için maden bloklarının boyutlarının bu geometri ile uyumlu olması gerekmektedir. Böylece 60 m (X) × 60 m (Y) boyutlu bloklar oluşturulmuştur. Ocakta basamak yüksekliği 10 m olarak tasarlandığından, bir maden bloğunun hacmi 36.000 m³'e erişebilmektedir. Çok küçük blokların işletilmesinden kaçınıldığından, modellemede 5000 m³'ten küçük blokların, bitişiğindeki ile birleştirilerek çıkartılması öngörülmüştür. Böylece manyetit bloğu içinde 3783 adet maden bloğu yer almıştır. Ocak tabanı 1060 m'ye oturmuş ve 1570 katına kadar 51 kat yükselmiştir

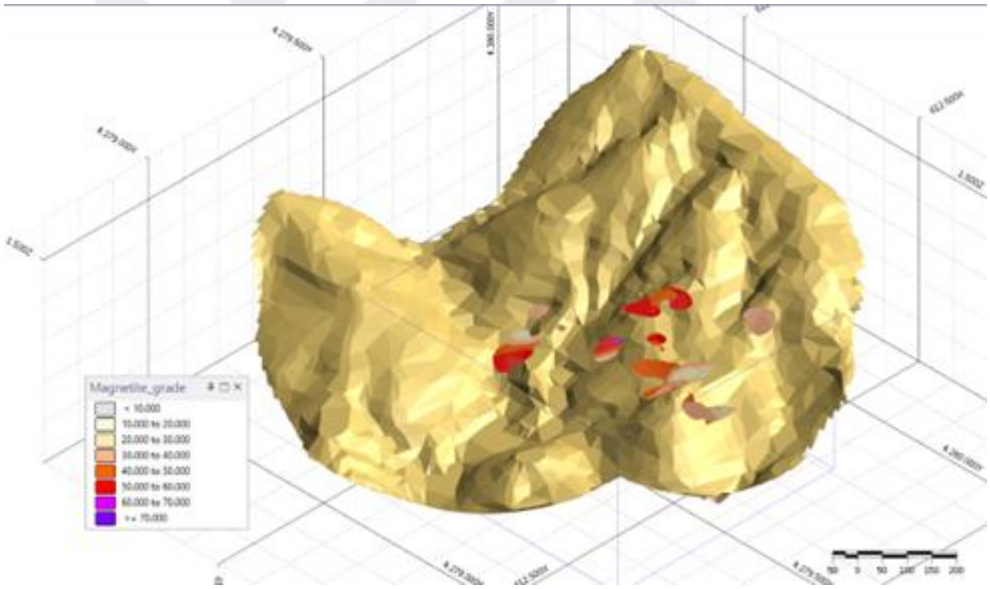
3.8.2 Tenör-tonaj işlemleri

Maden bloklarına aşağıdaki öznitelikler tanımlanarak, kaynak blok modelindeki değerlerin atanması yapılmıştır. Çizelge 3.13'den, manyetit ocağında %45,0 tenörlü 52.195.028 t cevher ve 295.725.306 t pasa bulunduğu anlaşılmaktadır. Ocaktan 23.491.459 ton Fe3O4 elde edilerek cevher hazırlama tesisine gönderilecektir. Maden blokları Şekil 3.33'de de gösterilmiştir.

- Basamak adı
- Cevher yoğunluğu (t/m³)
- Hacim (m³)
- Pasa yoğunluğu (t/m³)
- Sütun
- Fe_3O_4 tenörü, seyrelmiş (%)
- Toplam yoğunluk (t/m³)
- Basamak kotu (m)
- Cevher kütlesi (t)
- Pasa kütlesi (t)
- Sıra
- Fe_3O_4 tenörü (%)
- Toplam kütle (t)

Çizelge 3.13 Manyetit ocağı rezerv bilgileri

	Hacim (m³)	Yoğunluk (t/m³)	Kütle (t)	Fe_3O_4 tenörü (%)	Fe_3O_4 kütlesi (t)
Manyetit	10.095.750	5,17	52.195.028	45,0	23.491.459
Pasa	101.974.243	2,90	295.725.306	-	-
Toplam	112.069.993	3,10	347.920.334	6,8	23.491.459



Şekil 3.33 Cevher ve pasadan oluşan maden blokları (Kuzeybatıya izometrik bakış)

3.9 Maden İşletme Süreci

3.9.1 Üretim çizelgeleme

Maden bloklarına Bölüm 4.8.2'deki özniteliklerin değerleri atandıktan sonra 1000 t/sa üretim oranı ile yılda yaklaşık 8.000.000 üretim yapılmasına ve üretimin 04.04.2022 tarihinde başlatılmasına karar verilmiştir. Takip eden aşamada ocak içindeki 3783 adet maden bloğunun önce katlar bazında düşey bağımlılıkları daha sonra da her kat içinde, verilen bir başlangıç bloğundan itibaren tüm blokların yatay bağımlılıkları çıkartılmıştır.

Çizelgeleme sonrasında manyetit ocağında üretim faaliyetleri 04.04.2022 tarihinde 1000 t/sa üretim oranı ile başlatılmış ve tüm blokların çıkartılma işlemi 22.09.2066 tarihinde sona ermiştir.

Ocak 44 yıl 5 ay ve 18 gün çalıştırılmıştır. Yıllar bazında üretim bilgisi Çizelge 3.14'de verilmiştir. 2023-2025, 2033, 2037-2040 ve 2042 yıllarına karşılık gelen periyodlarda cevher üretimi yapılamamıştır. Diğer yandan yıllık en fazla 10.000.000 t üretim yapılma kısıdının da sağlanmış olduğu izlenmektedir.

Ocaktaki katlar bazında gerçekleştirilen üretim miktarları da Çizelge 3.15'de sunulmuştur. Ocağın üst kotlarındaki 1410 ve 1560 arasındaki katlarda cevher üretimi yapılamamış olup 1180 katı ile 1300 arasındaki katlardaki 2.000.000 t'dan fazla cevher üretimi yapılmıştır.

Cevher ve pasa içeren maden bloklarının katlara dağılımı Şekil 3.34'de verilmiştir.

Çizelge 3.14 Manyetit ocağının yıllık üretim bilgileri

Yıllar	Periyod	Manyetit (t)	Fe_3O_4 kütle (%)	Fe_3O_4 tenör (%)	Dekapaj (t)	Toplam kütle (t)
2022	1	9.856	796	8.1	9.891.561	9.901.414
2023	2	-	-	-	9.993.068	9.993.065
2024	3	-	-	-	9.994.860	9.994.862
2025	4	-	-	-	9.995.057	9.995.057
2026	5	30.736	5,119	16.7	9.961.854	9.992.590
2027	6	209.777	67,007	31.9	9.786.011	9.995.787
2028	7	323.413	77,904	24.1	9.667.154	9.990.569
2029	8	3.907	49	1.3	9.993.718	9.997.625
2030	9	45.113	6,353	14.1	7.380.818	7.425.932
2031	10	62.421	11,552	18.5	572.118	634.538
2032	11	45.414	3,145	6.9	1.175.646	1.221.061
2033	12	-	-	-	659.845	659.845
2034	13	80.136	20,232	25.2	1.157.407	1.237.543
2035	14	252.039	48,078	19.1	2.009.745	2.261.786
2036	15	1.324	5	0.4	331.411	332.734
2037	16	-	-	-	104.297	104.297
2038	17	-	-	-	3.766.250	3.766.250
2039	18	-	-	-	2.821.640	2.821.641
2040	19	-	-	-	267.470	267.470
2041	20	36.921	3,340	9.0	857.601	894.522
2042	21	-	-	-	311.433	311.433
2043	22	359.381	75,907	21.1	2.023.441	2.382.822
2044	23	782.514	214,821	27.5	9.186.955	9.969.470
2045	24	43.623	3,679	8.4	9.953.361	9.996.986
2046	25	2.978.109	935,919	31.4	7.006.294	9.984.404
2047	26	2.721.998	848,917	31.2	7.272.757	9.994.755
2048	27	1.689.972	527,288	31.2	8.308.586	9.998.561
2049	28	1.984.850	618,782	31.2	8.007.347	9.992.200
2050	29	1.435.879	474,773	33.1	8.555.822	9.991.701
2051	30	1.429.928	337,021	23.6	8.565.443	9.995.371
2052	31	1.202.282	524,708	43.6	8.788.503	9.990.785
2053	32	1.101.113	425,520	38.6	8.892.091	9.993.205
2054	33	2.247.813	735,141	32.7	7.752.065	9.999.877
2055	34	956.813	268,003	28.0	9.039.846	9.996.659
2056	35	1.570.712	448,627	28.6	8.425.036	9.995.748
2057	36	2.199.638	827,155	37.6	7.792.840	9.992.474
2058	37	3.885.710	1,569,087	40.4	6.111.610	9.997.320
2059	38	1.142.391	382,773	33.5	8.829.683	9.972.075
2060	39	2.492.528	687,805	27.6	7.503.522	9.996.053
2061	40	3.762.523	1,249,145	33.2	6.225.912	9.988.438
2062	41	3.880.079	1,445,622	37.3	6.115.854	9.995.929
2063	42	1.690.271	541,608	32.0	8.287.718	9.977.990
2064	43	2.532.675	712,606	28.1	7.439.541	9.972.219
2065	44	2.514.941	783,110	31.1	7.475.501	9.990.444
2066	45	3.593.582	1,118,697	31.1	6.362.033	9.955.616
65-66	44-45	2.894.649	954,720	33.0	11.104.579	13.999.229
Toplam		**52.195.028**	**16.955.016**	**32,5**	**295.725.307**	**347.920.350**

Çizelge 3.15 Manyetit ocağının katlar bazında üretim bilgileri

Katlar	Manyetit (t)	Fe_3O_4 kütle (%)	Fe_3O_4 tenör (%)	Dekapaj (t)	Toplam kütle (t)
1060	47.626	21.428	45,0	5.402	9.901.414
1070	114.390	31.824	27,8	92.638	9.993.065
1080	126.938	27.095	21,3	270.258	9.994.862
1090	133.140	28.951	21,7	498.315	9.995.057
1100	266.715	94.563	35,5	952.021	9.992.590
1110	397.034	151.249	38,1	1.432.713	9.995.787
1120	582.467	190.709	32,7	1.919.389	9.990.569
1130	935.699	332.718	35,6	2.371.987	9.997.625
1140	1.191.807	426.860	35,8	2.947.381	7.425.932
1150	1.300.886	403.930	31,1	3.645.654	634.538
1160	1.403.419	382.798	27,3	4.392.626	1.221.061
1170	1.663.190	450.353	27,1	5.074.239	659.845
1180	2.133.580	626.296	29,4	5.880.504	1.237.543
1190	2.435.391	765.314	31,4	6.653.773	2.261.786
1200	2.767.951	888.497	32,1	7.434.514	332.734
1210	2.939.405	968.356	32,9	8.525.225	104.297
1220	2.953.272	1.006.473	34,1	9.569.494	3.766.250
1230	2.952.513	1.064.329	36,0	10.654.114	2.821.641
1240	2.835.689	1.038.187	36,6	11.832.355	267.470
1250	2.859.547	1.080.230	37,8	12.861.869	894.522
1260	2.883.934	1.044.554	36,2	13.582.235	311.433
1270	2.732.024	939.191	34,4	13.989.990	2.382.822
1280	2.429.755	828.923	34,1	14.136.512	9.969.470
1290	2.026.280	658.680	32,5	13.850.133	9.996.986
1300	1.553.669	477.454	30,7	13.539.866	9.984.404
1310	1.795.740	496.117	27,6	12.864.762	9.994.755
1320	2.117.338	624.295	29,5	11.780.301	13.897.642
1330	2.274.330	718.672	31,6	10.860.950	13.135.282
1340	2.068.303	652.850	31,6	10.175.855	12.244.159
1350	1.196.389	298.327	24,9	9.848.297	11.044.687
1360	364.682	67.939	18,6	9.195.744	9.560.428
1370	272.688	56.920	20,9	8.443.135	8.715.824
1380	243.958	60.531	24,8	7.705.361	7.949.318
1390	147.407	40.256	27,3	7.048.696	7.196.102
1400	47.871	10.148	21,2	6.520.328	6.568.198
1410	-	-	-	6.048.156	6.048.156
1420	-	-	-	5.411.841	5.411.842
1430	-	-	-	4.708.010	4.708.010
1440	-	-	-	4.012.492	4.012.492
1450	-	-	-	3.249.230	3.249.229
1460	-	-	-	2.756.110	2.756.108
1470	-	-	-	2.315.615	2.315.613
1480	-	-	-	1.894.020	1.894.020
1490	-	-	-	1.539.603	1.539.603
1500	-	-	-	1.142.692	1.142.692
1510	-	-	-	796.669	796.669
1520	-	-	-	583.148	583.148
1530	-	-	-	398.506	398.506
1540	-	-	-	208.133	208.133
1550	-	-	-	80.193	80.194
1560	-	-	3	24.252	24.252
Toplam	**52.195.028**	**16.955.016**	**32,5**	**295.725.307**	**347.920.350**

3.9.2 Optimizasyon

Bu bölümde modellenen manyetit ocağındaki üretimin önceden belirlenen belirli sayıda kısıdı sağlayarak, verilen bir amacın enbüyüklenmesi ya da enküçüklenmesi denemeleri yapılmıştır.

Birinci denemede ocak, 04.04.2022 tarihinden itibaren 46 yıl boyunca faaliyet gösterirken, çıkartılan toplam malzemenin yıllık en fazla 10.000.000 t olması kısıdı altında, üretilen cevher kütlesini enbüyüklemek amaçlanmıştır. Algoritma tarafından sağlanan çözümün, %75 düzeyinde olması yeterli olacaktır. Bu koşullar altında uygun bir çözüm bulunmuş ve sonuçları Çizelge 3.16'da sunulmuştur. Buna göre 35 yıllık işletme dönemi boyunca 52.195.028 t cevher, 295.725.307 t pasa olmak üzere toplamda 347.920.350 t üretim yapılmıştır. Cevher içerisindeki Fe_3O_4 miktarı 16.955.016 t'dur. Bu senaryoda 2022-2026 yılları arasında cevher üretilmeden, dekapaj yapılmıştır. Üretilen cevherin ağırlıklı tenörü %31,5 ile %52,2 arasında değişmiştir.

İkinci denemede, ocağın 04.04.2022 tarihinden itibaren 35 yıl boyunca faaliyet gösterirken cevher tenörünü enbüyükleyecek biçimde üretim yapılması amaçlanmıştır. Ocaktan çıkartılan toplam malzemenin de yıllık en fazla 10.000.000 t olması, kısıt olarak getirilmiştir. Algoritma tarafından sağlanan çözümün, %75 düzeyinde olması yeterli olacaktır. Bu koşullar altında uygun bir çözüm bulunmuş ve sonuçları Çizelge 3.17'de sunulmuştur. Buna göre 35 yıllık işletme dönemi boyunca 52.046.421 t cevher, 295.647.902 t pasa olmak üzere toplamda 347.694.338 t üretim yapılmıştır. Cevherin 16.907.341 t'luk bölümü Fe_3O_4'tür. 2022-2025 yılları arasındaki dört yıllık dönemi kaplayan süre ile 2033 yılında yalnızca dekapaj yapılmıştır. Ocaktan çıkartılan cevherin tenörü %36,6 ile %54,2 arasında değişmiştir.

Çizelge 3.16 Birinci optimizasyon denemesinde manyetit ocağının yıllık üretim bilgileri

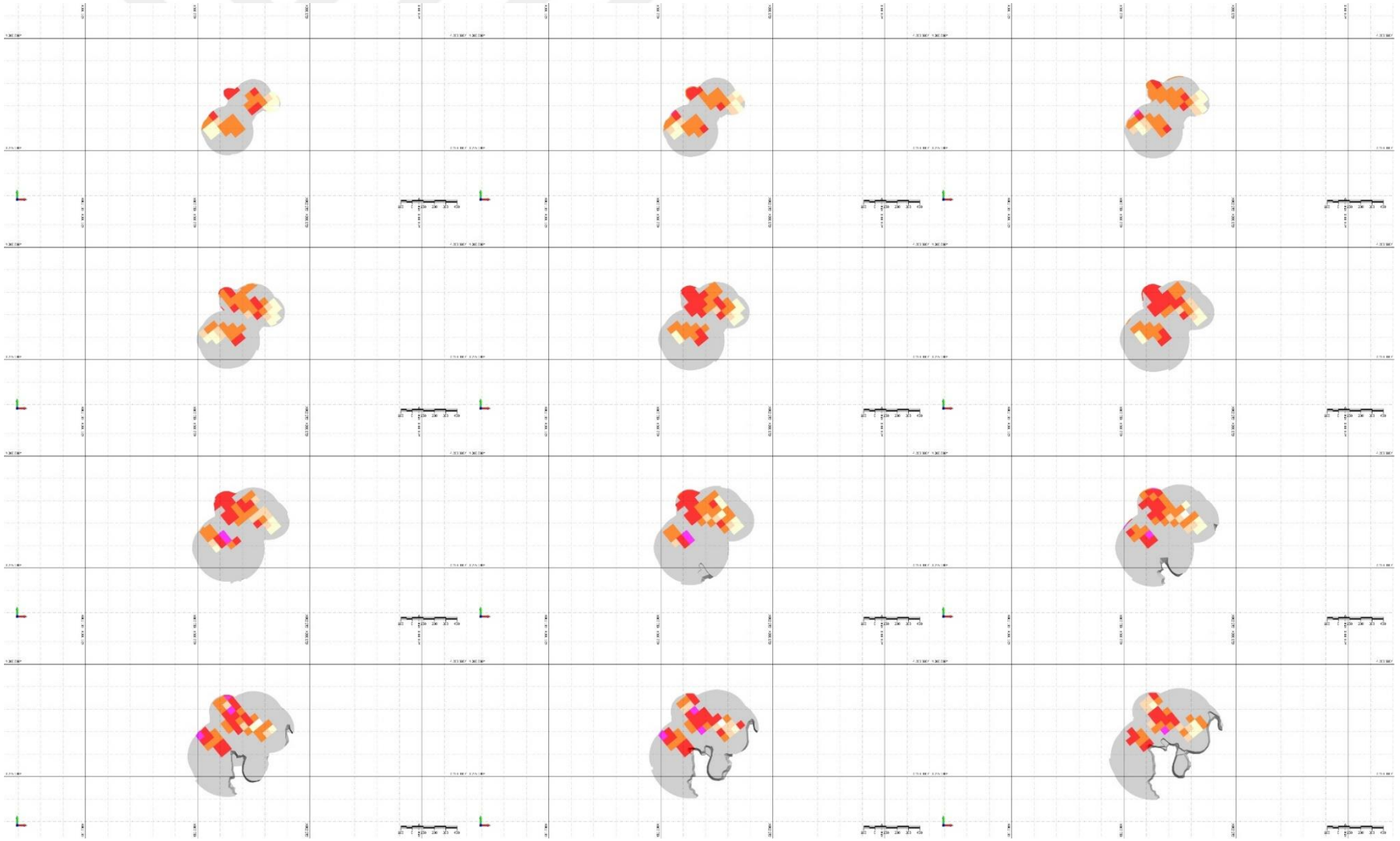
Yıllar	Periyod	Manyetit kütle (t)	Fe_3O_4 tenörü (%)	Fe_3O_4 kütle (%)	Dekapaj kütle (t)	Toplam kütle (t)
2022	1	-	-	-	9.989.308	9.989.305
2023	2	-	-	-	9.921.205	9.921.203
2024	3	-	-	-	9.997.931	9.997.928
2025	4	-	-	-	9.995.194	9.995.196
2026	5	-	-	-	9.951.746	9.951.747
2027	6	75.202	48,8	9.409	9.915.217	9.990.420
2028	7	492.631	50,7	140.670	9.494.087	9.986.715
2029	8	579.156	48,1	121.460	9.419.608	9.998.765
2030	9	2.490.786	48,7	725.485	7.503.197	9.993.983
2031	10	146.376	47,6	60.583	9.851.863	9.998.240
2032	11	2.138.808	43,4	643.594	7.854.141	9.992.953
2033	12	73.025	36,7	12.533	9.926.654	9.999.681
2034	13	2.348.047	49,1	765.468	7.643.672	9.991.722
2035	14	616.264	51,5	191.547	9.378.944	9.995.209
2036	15	2.338.773	40,8	708.166	7.642.905	9.981.678
2037	16	590.241	37,6	168.602	9.405.515	9.995.757
2038	17	2.011.057	47,0	749.626	7.986.645	9.997.703
2039	18	1.009.583	31,5	208.809	8.988.990	9.998.573
2040	19	106.399	43,4	22.357	9.882.642	9.989.042
2041	20	1.977.041	49,7	732.696	8.018.578	9.995.620
2042	21	1.190.725	37,7	336.747	8.804.418	9.995.142
2043	22	3.210.590	46,7	1.175.869	6.788.477	9.999.067
2044	23	1.409.464	36,3	393.325	8.576.670	9.986.133
2045	24	873.805	38,9	244.245	9.126.118	9.999.923
2046	25	3.150.602	46,0	1.095.295	6.848.174	9.998.771
2047	26	2.082.416	49,4	762.630	7.891.159	9.973.575
2048	27	3.313.296	49,2	1.307.467	6.668.220	9.981.519
2049	28	1.154.446	46,3	371.329	8.839.110	9.993.559
2050	29	3.147.291	39,8	940.773	6.826.150	9.973.441
2051	30	3.452.824	45,9	1.221.858	6.546.615	9.999.441
2052	31	2.464.381	44,8	827.426	7.493.136	9.957.517
2053	32	2.408.609	40,9	693.511	7.505.294	9.913.907
2054	33	2.471.164	40,3	666.413	7.493.880	9.965.044
2055	34	2.613.606	46,2	900.538	7.354.477	9.968.086
2056	35	2.258.420	52,2	756.584	6.195.369	8.453.787
Toplam		**52.195.028**		**16.955.016**	**295.725.307**	**347.920.350**

Çizelge 3.17 İkinci optimizasyon denemesinde manyetit ocağının yıllık üretim bilgileri

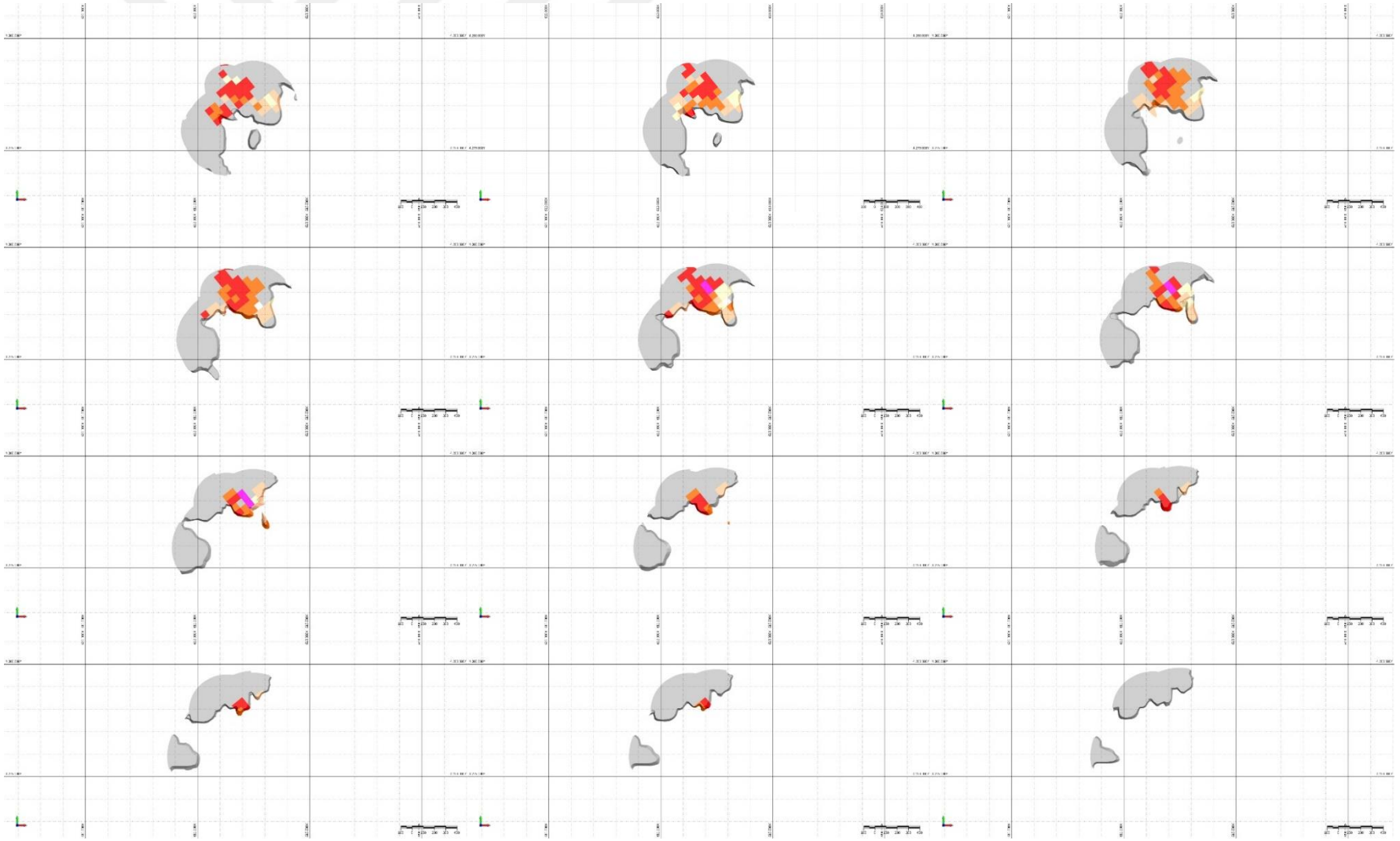
Yıllar	Periyod	Manyetit kütle (t)	Fe_3O_4 tenörü (%)	Fe_3O_4 kütle (%)	Dekapaj kütle (t)	Toplam kütle (t)
2022	1	-	-	-	9.989.849	9.989.845
2023	2	-	-	-	9.995.216	9.995.214
2024	3	-	-	-	9.978.384	9.978.382
2025	4	-	-	-	9.991.509	9.991.509
2026	5	47.871	50,3	10.148	9.946.885	9.994.757
2027	6	44.467	49,1	4.290	9.913.040	9.957.508
2028	7	650.179	48,7	165.147	9.341.871	9.992.048
2029	8	1.851.802	50,8	499.949	8.146.816	9.998.621
2030	9	4.987	40,0	57	9.994.760	9.999.748
2031	10	268.674	39,7	35.355	9.707.269	9.975.942
2032	11	3.631.467	42,4	1.149.055	6.355.042	9.986.512
2033	12	-	-	-	9.976.475	9.976.477
2034	13	1.291.416	50,3	368.027	8.693.221	9.984.640
2035	14	2.420.382	48,2	872.377	7.540.591	9.960.975
2036	15	1.883.944	38,6	503.203	8.095.163	9.979.107
2037	16	565.463	51,2	222.558	9.434.432	9.999.893
2038	17	1.199.243	36,6	307.771	8.794.211	9.993.452
2039	18	107.126	40,0	22.470	9.882.200	9.989.328
2040	19	2.419.489	44,9	813.910	7.573.996	9.993.486
2041	20	1.158.205	50,7	440.061	8.835.519	9.993.725
2042	21	1.704.297	39,1	504.585	8.286.987	9.991.283
2043	22	1.024.745	48,5	382.157	8.962.884	9.987.628
2044	23	3.104.900	50,2	1.221.776	6.888.856	9.993.756
2045	24	1.706.762	45,6	610.889	8.291.725	9.998.488
2046	25	1.225.763	44,2	396.048	8.770.839	9.996.601
2047	26	1.903.341	40,5	551.660	8.082.440	9.985.783
2048	27	2.594.281	43,5	921.926	7.405.474	9.999.755
2049	28	3.105.726	47,2	1.144.077	6.888.470	9.994.197
2050	29	3.053.708	43,7	1.002.183	6.927.513	9.981.222
2051	30	2.713.568	45,5	880.918	7.272.756	9.986.324
2052	31	2.739.488	44,2	813.322	7.253.766	9.993.254
2053	32	2.892.771	41,4	922.512	7.091.815	9.984.586
2054	33	2.262.250	42,9	681.152	7.722.581	9.984.834
2055	34	2.521.595	42,6	816.186	7.475.252	9.996.849
2056	35	1.948.512	54,2	643.569	6.140.097	8.088.609
Toplam		**52.046.421**		**16.907.341**	**295.647.902**	**347.694.338**



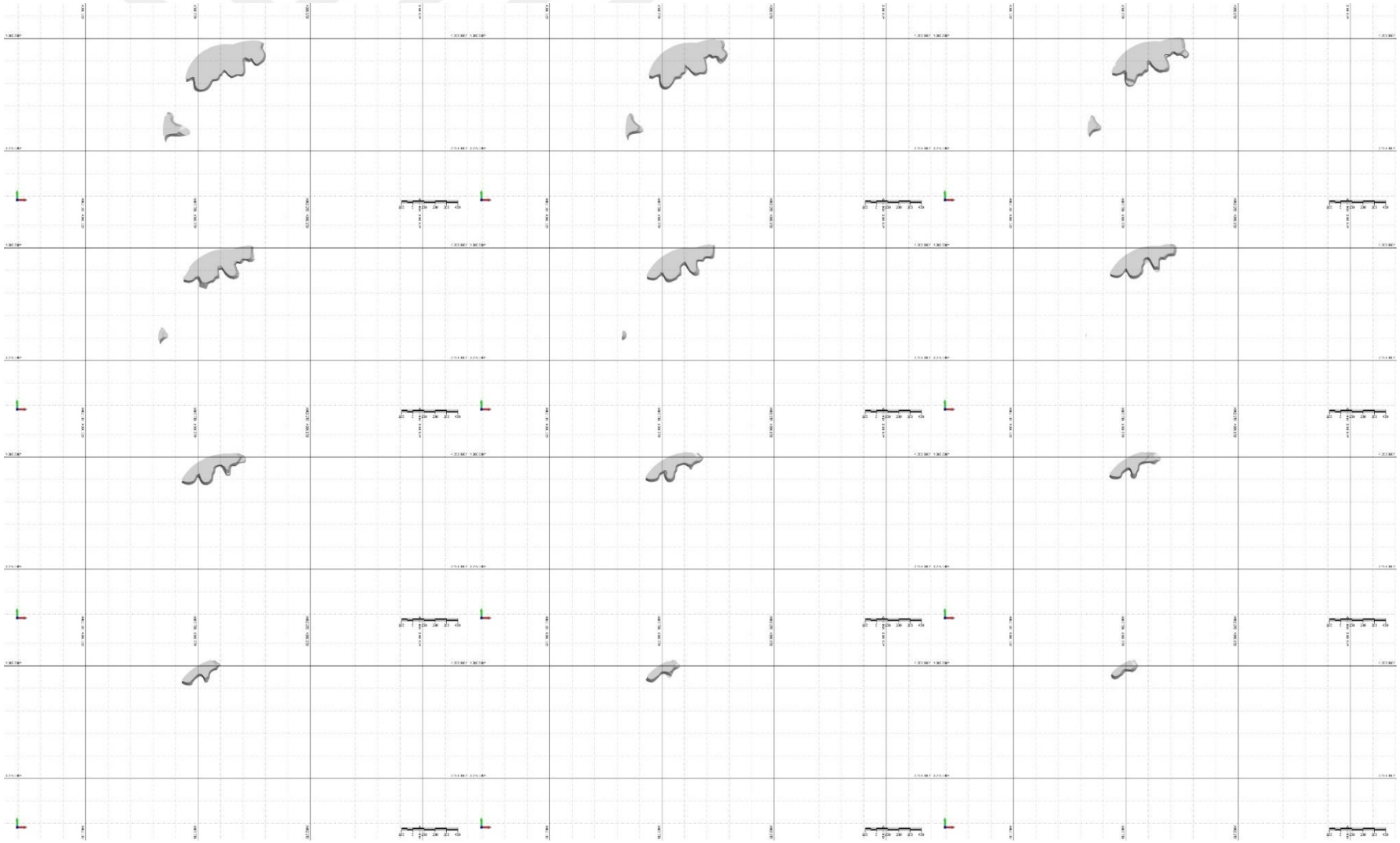
Şekil 3.34 Maden bloklarının katlara dağılımı; üst soldan 1060 katından alt sağda 1170 katına (Plan görünüş)



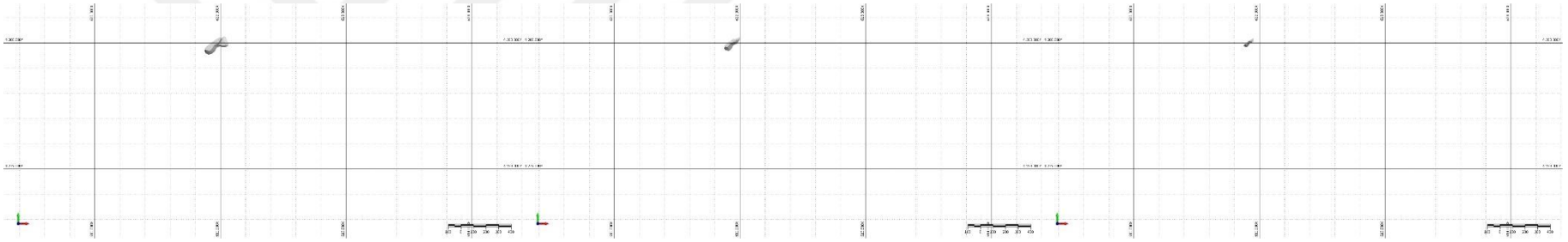
Şekil 3.34 Maden bloklarının katlara dağılımı; üst soldan 1180 katından alt sağda 1290 katına (Plan görünüş) (devam ediyor)



Şekil 3.34 Maden bloklarının katlara dağılımı; üst soldan 1300 katından alt sağda 1410 katına (Plan görünüş) (devam ediyor)



Şekil 3.34 Maden bloklarının katlara dağılımı; üst soldan 1420 katından alt sağda 1530 katına (Plan görünüş) (devam ediyor)



Şekil 3.34 Maden bloklarının katlara dağılımı; üst soldan 1540 katından alt sağda 1560 katına (Plan görünüş) (devam ediyor)

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tezi kapsamında bir demir (manyetit) maden kaynağının açık işletme yöntemi ile üretilebilmesi için kaynak kestirimi, en uygun ocak sınırlarının belirlenmesi, ocak tasarımı ve üretim çizelgelemesi yapılmıştır.

Çalışma sahasına ait 127 adet sondaj verisinden faydalanılarak veri tabanı dosyası oluşturulmuştur. Sondajlar üç boyutlu olarak incelenmiş, dört kadranlı bir arama elipsoidi tasarlanmıştır. Arama elipsoidi özellikleri kullanılarak cevher sahası içinde arama sondajları tarafından kesilen manyetit, amfibolit, granit, şist, fay zonu ve örtü toprağı birimlerine ait katı gövde modelleri, telkafes biçiminde oluşturulmuştur. Elde edilen cevher (manyetit) katı modelinin hacmi 10.285.596 m³ olarak hesaplanmıştır.

Katı gövde modelleme aşamasından sonra boş blok model ve jeolojik blok model oluşturulmuştur. Her bir bloğun, ters mesafe ile ağırlıklandırma kestirim algoritmasına göre tenör aralıkları ve kaynak türü bazında miktarları tahmin edilmiştir.

Ocak optimizasyonunda Lerchs-Grosmann algoritmasına göre, demir maden kaynağının en büyük bölümünün kazançlı biçimde işletilebileceği en derin ocak kabuğu ve en geniş ocak sınırları belirlenmiştir. Kaynak kestirimi aşamasında 53.206.305 t olarak belirlenen manyetit cevher kütlesinin, %99,15'lik bölümünün işletilebildiği tespit edilmiştir.

Yuvalı ocak optimizasyonunda üretim süreci 43 yıla yayılan 35 adet iç içe ocak ile sonuçlanmıştır. Ocaktaki işletme faaliyetlerinin en kötü ve eşzamanlı çoklu kat senaryolarına göre yapılması durumunda üretimin safhalar ve yıllar bazındaki değişimleri incelenmiştir. Son yuvalı ocakta hem en kötü durum hem de eşzamanlı çoklu basamak senaryoları uyarınca 51.894.666 t manyetit ve 273.916.505 t dekapaj olmak üzere toplamda 325.811.171 t üretim yapılmıştır. En kötü durum senaryosu ile kazancın net bugünkü değeri (NPV) 220.720.240 US$ iken, ilk üç yılda yapılan toplam 45.000.000 US$ değerindeki sabit yatırımlar da dikkate alındığında kazancın net bugünkü değeri-177.829.084 US$'a düşmektedir. Diğer yandan eşzamanlı çoklu basamak senaryosu ile yatırımlar dâhil edilmeden 344.673.262 US$, yatırımlar çıkartıldığında 301.782.106 US$ net bugünkü değer sağlanmıştır.

Yuvalı ocakların sonuncusu olan 35. ocak kabuğu, Senaryo-4'de 50 US$/t olarak belirlenen satış fiyatındaki değerde oluşmuştur. Yıllar bazında elde edilen gelir artmakta ancak günümüze indirgenmiş net gelirin, beşinci ve son senaryodaki ocak kabuğundan sonra sabit kaldığı görülmüştür. Ancak sahadaki manyetit kaynağının en büyük bölümünün çıkartılmasına olanak sağladığı için bundan sonra yapılacak ocak tasarımında nihai ocağın kullanılmasına karar verilmiştir.

Açık işletme tasarımı 1440 kotu olan ocak tabanından başlatılmış, topografyayı kesecek biçimde yüzeye doğru yükselerek oluşturulan basamaklar ve basamaklar arasında yukarı doğrultuda ilerleyen taşıma yolları ile eşzamanlı olarak hazırlanmıştır. Basamak yüksekliği ve genişliği 10 m ve 9 m, basamak şev açısı 65° olarak alınmıştır.

Maden işletme sürecinde hem yıllar bazında hem de katlar bazında üretim çizelgelemesi yapılmıştır. Çizelgeleme sonuçlarına göre manyetit ocağının yıllık cevher+dekapaj olmak üzere toplam 8.000.000 t üretim yapılması koşulu ile 2022 – 2066 yılları arasında çalışacağı ve 16.955.016 manyetit (Fe_3O_4) üretilebileceği görülmüştür.

Üretim optimizasyonunda farklı kısıtlar altında denemeler yapılmıştır. Tüm denemeler, algoritma tarafından sağlanan çözümün %75 düzeyinde yeterli olmasına göre değerlendirilmiştir. Birinci denemede ocak faaliyetlerine 46 yıl süresince devam edilmiş, yıllık çıkartılan malzemenin (cevher+pasa) en fazla 10.000.000 t olması kısıtı ile üretilen manyetit kütlesinin enbüyüklenmesi amaçlanmıştır. Bu durumda, 35 yıla yayılan üretim periyodu boyunca 52.195.028 t cevher, 295.725.307 t pasa olmak üzere toplamda 347.920.335 t üretim sağlanabilmektedir. Bu senaryoda 2022-2026 yıllarında cevher üretilmeden, dekapaj yapılmıştır. Üretilen cevherin ağırlıklı tenörü %31,5 ile %52,2 arasında değişmektedir.

İkinci denemede ocak, yine 35 yıl süresince faaliyetlerine devam etmiş ancak çıkartılan cevherin tenörünü enbüyükleyecek biçimde üretim yapılması amaçlanmıştır. Birinci denemede olduğu gibi ocaktan çıkartılan toplam malzemenin de yıllık en fazla 10.000.000 t olması, kısıt olarak getirilmiştir. Bu koşullar altında 35 yıllık işletme dönemi boyunca 52.046.421 t cevher, 295.647.902 t pasa olmak üzere toplamda 347.694.338 t üretim yapılmıştır. Cevherin 16.907.341 t'luk bölümü Fe_3O_4 olarak hesaplanmıştır. 2022-2024 yılları arasında yalnızca dekapaj yapılmıştır. Ocaktaki yıllar bazında toplam üretim, kısıt uyarınca 10.000.000 t ve daha altında gerçekleşmiştir. Ocaktan çıkartılan cevherin tenörü 4. yıldan itibaren %36,6 ile %54,2 arasında değişmiştir.

Maden planlama aşamalarının en önemli girdi parametrelerini, sondajlardan elde edilen ve doğruluğu, tutarlılığı ve bütünlüğü teknik olarak teyit edilmiş veriler (litolojik birim, kalınlık, öznitelik değerleri vb.) ile nihai ocak optimizasyonunda kullanılan parametreler (yıllar bazında yatırım maliyetleri, maden işletme, zenginleştirme, metalürjik işleme ve rehabilitasyon maliyetleri, ürün satış fiyatı, satış maliyeti, stok durumu vb.) oluşturmaktadır. İşaret edilen parametrelerinin doğru bir şekilde elde edilmesi için ön fizibilite ve araştırma çalışmalarına yeterince önem verilmelidir.

Kaynak kestirimi çalışmalarında kaynak miktarı ters mesafe ile ağırlıklandıma algoritması uyarınca hesaplanmıştır. En yakın komşu ya da krigleme algoritmaları da denenerek, kaynak miktarındaki değişimlerin belirlenmesi, mevcut yöntemin tutarlılığını destekleyici sonuçlar verebilir. Ayrıca çapraz doğrulama işlemi ile kullanılan algoritmanın hata varyansının da en küçük değerine eriştiği kontrol edilebilir.

Bu tez çalışmasında ocak şevlerinin duraylılığı herhangi bir jeoteknik çalışmaya dayalı olarak tespit edilmemiş ve gerek tüm tabakalar gerekse ocağın tüm yakaları için karakteristik ve sabit bir nihai şev açısı atanmıştır. İşletme ekonomisi dikkate alındığında basamak şev açısı olabildiğince yüksek olan şevlerin örtükazı oranını enküçükleyeceği açıktır. Bu nedenle maden planlama çalışmalarında jeoteknik etüt raporlarından olabildiğince faydalanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Arden, H., Pıçakçı, Y., (2014) JORC kodu ve Türkiye'deki kaynak ve rezerv sınıflandırmasına etkileri, *Madencilik Türkiye*, Aralık, 100-109.

Eivazy, H., Askari-Nasab, H. (2013) A mixed integer linear programming model for short-term open pit mine production scheduling. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section A*, 121(2), 97-108.

Eşiyok, A. (2019) Micromine, yer altı maden işletmelerinde optimizasyon, stratejik ve operasyonel maden planlama, *Madencilik Türkiye*, 83, 58-60.

Gerdemeli, T. (2019) Hanönü yeraltı bakır madeninin bilgisayar destekli tasarımı ve planlaması. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı (Yüksek Lisans)*, 52 s, İstanbul.

Karakurt, E., Onur, A. H., (2019) Açık ocak üretim planlaması için örnek bir uygulama. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 85-94.

Kasa, F. K. (2021) Kaynak/rezerv raporlama aşamalarının ekonomik ve jeoistatistiksel yöntemlerle analizi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı (Doktora Tezi)*. 158 s, Adana.

Kaydım, H. (2022) Long-term production scheduling optimization for a polymetallic open pit mine. Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences Mining Engineering Department (Master of Science thesis), 76 pp, Ankara.

Kedir, A. W., (2022) Bir cevher sahasında yapılmış arama sondajlarının değerlendirilmesi ve maden tasarımı. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi)*, 44 s, Sivas.

Khezrawi, L. (2022) Bir altın açık ocağının nihai ve en uygun sınırlarının belirlenmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Maden Mühendisliği Anabilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi)*, 52 s, Sivas.

Knudsen, H.P. (1975) A comparison of the geostatistical ore reserve estimation method over the conventional methods. *The University of Arizona,* (Master of Science Thesis), 78s, Arizona.

Kurt, Y. (2020) Istranca masifindeki Dereköy antik bakır madeni ve Demirköy antik demir madeninin jeolojik ve arkeometalürjik incelenmesi. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı (Doktora Tezi), 153 s, İstanbul.

Küçükkarasu, O. (2019) Alpagut – Dodurga linyitleri kaynak kestirimi, *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi)*, 58 s, Sivas.

Maleki, M., Jélvez, E., Xavier, E., Morales, N. (2020) Stochastic open-pit mine production scheduling: a case study of an iron deposit. Minerals, 10(7), 1-10.

Moharaj, M. C. (2014) Ore body modelling and comparison of different reserve estimation techniques, *Department of Mining Engineering, National Institute of Technology* (Bachelor of Technology thesis), 48 pp, Rourkela.

MTA (2017) Dünyada ve Türkiye'de demir, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara.

Ordin, A. A., Vasil'ev, I. V. (2021) Optimization of open pit gold mine design capacity using lag modeling approach. *Journal of Mining Science*, 57, 240-248.

Saleki, M. C., Kakaei, R. K., Ataei, M. (2020) A non-monetary valuation system for open-pit mine design, *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, 54(2), 135-145.

TCC-SBB (2018) 2019 yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı, T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, *Resmi Gazete* (27 Ekim 2018 tarih ve 30578 Mükerrer Sayı).

T.C. Kalkınma Bakanlığı (2018) *Madencilik Politikaları, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, T.C. Kalkınma Bakanlığı, 161-162.

URL-1 (2023) https://tr.wikipedia.org/wiki/Demir (son erişim tarihi: 17.05.2023)