

Bir Manyezit Açık Ocağında UMREK Koduna Göre Cevher Kaynak
Sınıflandırmasının Araştırılması

Özge Nur Sırakaya

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan 2023

Investigation of Ore Resource Classification According to UMREK Code in a
Magnesite Open Pit

Özge Nur Sırakaya

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mining Engineering

April 2023

Bir Manyezit Açık Ocağında UMREK Koduna Göre Cevher Kaynak
Sınıflandırmasının Araştırılması

Özge Nur Sırakaya

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden İşletme Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Aksoy

Nisan 2023

ONAY

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Maden İşletme Bilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi **Özge Nur Sırakaya**'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Bir Manyezit Açık Ocağında UMREK Koduna Göre Cevher Kaynak Sınıflandırmasının Araştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Aksoy

İkinci Danışman: -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Adnan Konuk

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hakan Uygucgil

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Aksoy

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr.

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Aksoy danışmanlığında hazırlamış olduğum “ Bir manyezit açık ocağında UMREK Koduna göre cevher kaynak sınıflandırmasının araştırılması ” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.
14/04/2023

Özge Nur Sırakaya

İmza

ÖZET

Metal veya bileşikler halinde teknolojik kullanım alanı olan magnezya, dünyada en çok manyezit yataklarından yapılan üretimlerden sağlanmaktadır. Ham olarak üretilen manyezit, kalsine edilerek veya sinterleştirilerek pazarlanabilen bir madendir.

Türkiye’de genellikle sedimanter veya kriptokristalli manyezit yataklanmaları mevcut olup, bu yataklardan yapılacak üretimlerde MgO tenörü yerine cevherin içerdiği empüritelerin (özellikle SiO₂ ve CaO) oranı kalite açısından önemli olmaktadır. Bu nedenle de manyezit yataklarında kaynak raporlamalarında, empüriteleri esas alan güvenilir tahmin yöntemlerinin kullanımı gerekmektedir.

Türkiye’de maden kaynak/rezerv raporlamaları açısından Maden Kanunu’na göre yürürlükte olan UMREK Kodu, artan jeolojik güven derecesine göre maden kaynaklarını, sırasıyla mümkün, belirlenmiş (tanımlanmış) ve ölçülmüş maden kaynakları kategorilerine ayrılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, Eskişehir’e yaklaşık 35 km mesafede bulunan Dutluca Köyü’nün kuzey batısında yer almakta olan Manyezit A.Ş.’ne ait bir manyezit maden yatağının karotlu sondaj logları temel alınmak suretiyle UMREK Koduna uygun bir şekilde cevher kaynak sınıflandırılması yapılması amaçlanmıştır.

Manyezit yatağı sondaj verilerinde empüritelerin (SiO₂ ve CaO) değerleri ve manyezit kalınlıkları esas alınarak NETPROMine yazılımı ile blok model oluşturulmuş, en yakın komşu, uzaklığın tersiyle ağırlıklandırma ve kriging tahmin yöntemleri kullanılarak ölçülmüş kaynak tahminleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, en yakın komşu ve uzaklığın tersiyle ağırlıklandırma yöntemleri ile tahminlerde çapraz doğrulama yapılamaması nedeniyle UMREK Koduna göre güvenilir ölçülmüş kaynak sınıflandırmasının yapılamayacağı, ancak kriging yöntemi ile tahminlerin ise çapraz doğrulama yapılabilmesi nedeniyle UMREK Koduna göre güvenilir ölçülmüş kaynak sınıflandırmasının yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, manyezit yataklarında UMREK Koduna göre kaynak sınıflandırmalarında manyezit kütlelerinin SiO₂ değerlerinin dikkate alınmasının daha güvenilir olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Blok model oluşturma, Netcad, Jeostatistik, UMREK, MAŞ

SUMMARY

Magnesia having technological use in metal or compounds is mostly obtained from the production of magnesite deposits in the world. Raw Magnesite is a mineral that can be marketed by calcining or sintering.

There are generally sedimentary or cryptocrystalline magnesite deposits in Turkey, and the ratio of impurities (especially SiO_2 and CaO) contained in the ore instead of MgO grade is important in terms of quality in the production to be made from these deposits. For this reason, reliable estimation methods based on impurities should be used in resource reporting in magnesia deposits.

In terms of mineral resource/reserve reporting in Turkey, the UMREK Code, which is in force according to the Mining Law, requires mineral resources to be divided into Inferred, Indicated and Measured mineral resources categories, respectively, according to the increasing degree of geological confidence. In this study, it is aimed to classify the ore resource in accordance with the UMREK Code, based on the core drilling logs of a magnesite mine deposit belonging to Manyezit A.Ş., located in the northwest of Dutluca Village, which is approximately 35 km from Eskişehir.

Based on the values of impurities (SiO_2 and CaO) and magnesite thicknesses in magnesite bed drilling data, a block model was created with NETPROMine software, and resource estimates were made using nearest neighbor, inverse distance weighting and kriging estimation methods. As a result of the study, it has been concluded that reliable measured resource classification cannot be made according to the UMREK Code due to the inability to cross-validate estimates with nearest neighbor and inverse-distance weighting methods, but reliable measured resource classification can be made according to the UMREK Code, since estimates can be cross-validated with the kriging method. In addition, it was concluded that it would be more reliable to consider the SiO_2 values of magnesite masses in source classifications according to the UMREK Code in magnesite deposits.

Keywords: Block Model, Netcad, Geostatistics, UMREK code, MAŞ

TEŞEKKÜR

Eğitim yaşamım süresince bana katkılar sunan tüm öğretmenlerim ve meslektaşlarıma, araştırmam esnasında bana yardım edip yolumu ıstıklandıran Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Aksoy’a teşekkürlerimi sunarım.

Bilgisayar programlarının kullanımı ve jeoistatistik konusundaki deneyimlerinden yararlandığım Prof. Dr. Adnan Konuk'a teşekkür etmek istiyorum.

Tez çalışmam sırasında fikir alışverişinde bulunduğum ve çalışmalarımnda bana çok yardımcı olan sevgili arkadaşım Gael Calo Sinda NGBANGANDİMBO'ya teşekkür ederim.

Tüm alanlarda desteklerini gördüğüm, beni büyüten ve daima yanımda bulunan sevgili ailem;

Annemle babam, Hatice-Ziyafettin Akçakoca ve sevgili eşim Levent Sırakaya:

Şu ana kadar gelerek bu çalışmayı bitirebilmemdeki en önemli pay yine sizindir ve sizlere çok teşekkür ediyorum.

Özge Nur Sırakaya

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ ve AMAÇ.....	1
2.MAGNEZİT CEVHERİNİN OLUŞUMU VE ÖZELLİKLERİ.....	4
2.1. Tarihçesi	4
2.2. Magnezyum Elementi.....	5
2.3. Doğada Bulunuşu	6
2.4. Biyolojisi	7
2.5. Önemli Magnezyum Mineralleri	7
2.6. Magnezyum Üretimi İçin Kullanılan Magnezyumlu Mineraller.....	9
2.6.1. Manyezit	9
2.6.2. Dolomit (Mg,Ca)CO ₃	10
2.6.3. Olivin (Mg,Fe) ₂ SiO ₄	10
2.6.4. Brusit Mg(OH) ₂	10
2.7. Evaporitik Oluşumlu Magnezyum Mineralleri.....	11
2.8. Manyezit Cevherlerinde Aranılan Özellikler.....	11
2.9. Ham Manyezit Cevheri ve Sinter Ürünlerinin Özellikleri	11
2.10. Manyezit Cevheri ile Magnezyum Bileşiklerinin Kullanım Sahaları	12
3.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	14
3.1. Jeostatistikle Alakalı Araştırmalar	14
4.MATERYAL VE YÖNTEM	18
4.1.Materyal.....	18
4.1.1. Çalışma alanı	18
4.1.2. İşletme yöntemi	19
<u>4.1.2.1. Sinter manyezit üretimi</u>	<u>19</u>
<u>4.1.2.2. Refrakter harc üretimi.....</u>	<u>20</u>
<u>4.1.2.3. Sürgü-plaka üretimi</u>	<u>20</u>
4.1.3. Sondaj bilgileri	21

4.1.4. NETPROMine	21
4.2. Yöntem	21
4.2.1. Klasik konumsal tahmin yöntemleri.....	21
<u>4.2.1.1. En yakın komşu yöntemi</u>	<u>21</u>
<u>4.2.1.2. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemi.....</u>	<u>23</u>
4.2.2. Jeostatistiksel Tahmin Yöntemleri	24
<u>4.2.2.1. Mesafeye bağlı ilişki işlevi (Variogram).....</u>	<u>26</u>
4.2.3. Variogramdan elde edilen sayısal bilgiler	28
4.2.4. Kriging yöntemi.....	30
<u>4.2.4.1. Kriging kuramı</u>	<u>31</u>
4.2.5. Anizotropi.....	31
4.2.6. Çapraz doğrulama.....	32
4.2.7. Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu (UMREK).....	33
<u>4.2.7.1. Maden kaynaklarının raporlanması</u>	<u>33</u>
5.BULGULAR VE TARTIŞMA	36
5.1. Sondaj Verilerin Tanıtılması ve Değerlendirilmesi.....	37
5.2. Yüzey Oluşturma.....	42
5.3. Katı Model.....	43
5.4. Blok Model.....	43
5.5. İstatistikler	45
5.6. Kompozitleme	47
5.7.Variogram Analizleri.....	49
5.8.Çapraz Doğrulama.....	50
5.9. Ordinary Kriging Yöntemi	52
5.10.En Yakın Komşu Yöntemi	54
5.11. Uzaklığın Tersi Yöntemi	55
6.SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Yer bulduru haritası	18
4.2. Tepe değeri ve yapısal uzaklık	27
4.3. Küresel model variogram	28
4.4. Arama sonuçları, maden kaynakları ve maden rezervleri ilişkisi.....	35
5.1. Yeni proje	37
5.2. CSV formatında hazırlanmış veri tabanı tablosu.....	37
5.3. Sondaj tablosunun içeri aktarımı	38
5.4. Açık tablosunun içeri aktarımı	39
5.5. Litoloji tablosunun içeri aktarımı	39
5.6. Ham örneklem tablosunun içeri aktarımı..	40
5.7. Litoloji renkleri değişim tablosu..	40
5.8. Sondaj lokasyonlarının dağılımı.....	41
5.9. Alt ve üst yüzey.....	42
5.10. Katı model görünümü.....	42
5.11. Blok model görünümü.....	43
5.12. Blok model parametreleri.....	43
5.13. İstatistik menü görünümü.....	44
5.14. Öznitelik ve litoloji penceresi.....	44
5.15. İstatistik sonuç penceresi.....	45
5.16. Kompozitleştirme parametreleri.....	47
5.17. SiO ₂ değerlerinin ortalama semivariogram modeli.....	47
5.18. SiO ₂ değerlerinin ortalama semivariogram parametreleri.....	48
5.19. CaO değerlerinin ortalama semivariogram modeli.....	48
5.20. CaO değerlerinin ortalama semivariogram parametreleri.....	49
5.21. SiO ₂ çapraz doğrulama.....	49

ŞEKİLLER DİZİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.22. CaO çapraz doğrulama.....	50
5.23. SiO ₂ kriging parametreleri.....	51
5.24. SiO ₂ blok tenör.....	51
5.25. CaO kriging parametreleri.....	52
5.26. CaO blok tenör.....	52
5.27. En yakın komşu yöntemi ile CaO blok tenör	53
5.28. En yakın komşu yöntemi ile SiO ₂ blok tenör.....	53
5.29. Uzaklığın tersi yöntemi ile CaO blok tenör.....	54
5.30. Uzaklığın tersi yöntemi ile SiO ₂ blok tenör.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Magnezyumun özellikleri	5
2.2. Magnezyum mineralleri.....	7
2.3. Manyezitin özellikleri.....	12
5.1. Çapraz doğrulama testlerinde hata sonuçları.....	50
5.2. SiO ₂ kriging blok raporu.....	55
5.3. CaO kriging blok raporu	55
5.4. CaO en yakın komşu yöntemi ile blok raporu	55
5.5. SiO ₂ en yakın komşu yöntemi ile blok raporu	56
5.6. CaO uzaklığın tersi yöntemi ile blok raporu	56
5.7. SiO ₂ uzaklığın tersi yöntemi ile blok raporu.....	56
5.8. Toplam ölçülmüş kaynak.....	57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

Al_2O_3	Alüminyum oksit
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum oksit
CO_2	Karbondioksit
Mg	Magnezyum
$MgCO_3$	Magnezyum karbonat
MgO	Magnezyum oksit
$MgSO_4$	Magnezyum sülfat
NaOH	Sodyum hidroksit
Fe_2O_3	Hematit
SiO_2	Silisyum dioksit

Kısaltmalar

Açıklama

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
Dbdf	DeneySEL birikimli dağılım fonksiyonu
DSSM	Deniz suyu sinter manyezit
FM	Fused manyezit
HM	Ham manyezit
İK	Indicatör Kriging

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
KKM	Kostik kalsine manyezit
MAŞ	Manyezit Anonim Şirketi
MTA	Maden Tetkik Arama
NATO ASI	NATO Gelişmiş Araştırma Enstitüsü
PCSV	Point Cumulative Semivariogram
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SM	Sinter Manyezit
UMREK	Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Madencilik, yeraltı cevherlerinin keşfi, çıkarılması ve işletilmesi ile ilgili bir dizi teknik ve yöntemdir. Yeraltındaki cevherler, ekonomik değere sahip endüstriyel hammadde, kömür ve petrol gibi doğal hammaddeleri içerir. Ekonomik açıdan önemli minerallerin endüstriye akılcı bir şekilde sokulması için tasarlanmış uygulamalı bir bilimdir. Maden yataklarının aranması, çıkarılacak madenin tasarımı, işletilmesi ve zenginleştirilmesi ile ilgili faaliyetleri kapsar.

Açık ocak madenciliği; yer altında veya açıkta olduğu tespit edilen (mostra) bir madenin örtü tabakasının yer altına inilmeden ekonomik olarak çıkarılması işlemini ifade eden bir madencilik yöntemidir (Wikipedia,2022).

Ülke ekonomileri açısından büyük önem arz eden madencilik sektörü, onu diğer sektörlerden farklı yapan, tek başına ayrı bir ekonomik faaliyet alanı olarak örgütlenmesini sağlayan temel özelliklere sahiptir. Bu özellikler aşağıda özetlenmiştir.

- Maden kaynakları tükenebilir kaynaklardır.
- Çoğunlukla yer kabuğunun derinliklerinde yer alan yataklanmalar büyük bir belirsizlikler barındırır.
- Madenin üretildiği yer, genellikle ticaretinin yapıldığı veya kullanıldığı pazarlardan uzaktır.
- Üretilen cevherin satılabilir bir ürün olabilmesi için sıklıkla çeşitli işlemlerden geçmesi gerekir.
- Üretim öncesi faaliyetler diğer sektörlerle göre daha uzun, daha detaylı, zor ve maliyetlidir.
- Maden arama işlemi ekonomik olarak çok maliyetli ve risk oldukça yüksektir. Genellikle katlanılan bu büyük maliyetlere rağmen, ekonomik açıdan uygun bir maden varlığı belirlenememe olasılığı olabilir.
- Madencilik sürecinin her aşamasında bir risk unsuru vardır. Arama riskine ek olarak fiyat çalkantıları da diğer sektörlerle nazaran fazladır. Sürekli bulunabilecek aynı veya ikame cevher kaynağı ile rekabet edebilir.

- Ölçek ekonomileri madencilik sektöründe diğer sektörlerle göre çok daha önemlidir.
- Madencilik operasyonlarının kural olarak yerleşim yerlerinden uzakta yürütme ihtiyacı, altyapı inşa etme masraflarının farklı sektörlerle nazaran çok olmasına yol açmaktadır.
- Madencilik operasyonlarının, keşiften maden kapatmaya kadar her aşamada çevre, topluluklar ve yerel topluluklar üzerinde önemli olumlu veya olumsuz etkileri vardır.

Maden kaynakları milyonlarca yılda oluşmuştur ve yenilenemez kaynaklardır. Bu nedenle üretim sırasında etkin bir planlama gerekmektedir. Son yıllarda metal fiyatlarındaki artış, düşük tenörlü ve teknolojik açıdan sorunlu cevherlerin bile değerlendirilmesini ekonomik olarak kârlı hale getirmiştir. Özellikle çevre bilincinin giderek arttığı günümüzde ülke ve dünya ekonomisine en uygun maliyetli ve verimli şekilde kazandırılması oldukça önemlidir. Üretim, ülke gereksinimlerini dikkate almalı ve çevreye özen göstermelidir. Madencilik faaliyetlerinin kaynak kaybı olmadan, çevreye duyarlı, ekonomik kurallara uygun, iş sağlığı ve güvenliğine uygun olarak yürütülmesi için bilimsel verilerin kullanılması şarttır.

Uzun ömürlü büyük bir madeni tasarlamak, işletmek ve yönetmek çok büyük ve karmaşık bir süreçtir. Mevcut kaynakların en iyi şekilde kullanılması olarak tanımlanabilecek optimizasyon sayesinde, bu zor faaliyetler kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Bilgisayar alanında donanım ve yazılımların gelişimine uygun olarak açık ocak tasarımı ve üretim planlamasında optimizasyon yöntemlerini başarılı bir şekilde uygulamanızı sağlayan farklı bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir.

Bu yazılımlardan biri de maden yatağının keşfinden üretiminin tamamlanmasına kadar tüm teknik tasarımın gerçekleştirilmesine olanak sağlayan ve NETCAD firması tarafından bu alanda ilk Türk milli yazılımı olarak geliştirilen NETPROMine bilgisayar programıdır.

NETPROMine'yle topografik arazi modelinin oluşturulması, sondaj ile jeolojik etütler, kaynak ve rezerv hesaplamaları ile üç boyutlu cevher gövdesi modelinin tasarlanması, araziyle cevher modelinin kullanılması, hangi yöntem ile cevher yatağının en prezentabl biçimde üretileceği, üretim tasarımlarına ulaşmak için ekonomik ve çevreye duyarlı bir yaklaşım belirlenmiş ve geliştirilmiştir.

Dinamik bir üretimin planlamasına yönelik olarak evvela manyezit yatağının kalitatif ve kantitatif niteliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Niteliksel özellikler gerçekleştirilecek jeolojik ve jeofizik çalışmalar ile gösterilir. Kaliteyle miktar vb. nicel özellikler, hesaplamalardaki doğruluğa dayalı olarak değişik biçimlerde tanımlanmaktadır. Genel olarak ilk aşama, araştırmayla geliştirme sondajıyla saha faaliyetlerin bitirilmesidir. Ardından bu çalışmalar çerçevesinde, manyezit yatağının geometrisi, cevherleşmeyle devamlılığı, kalitesiyle miktarı vb. özelliklerini saptamak için yatağın jeolojik blok modeli çıkarılmıştır. Bir cevher kütlesinin blok modeli, cevher kütlesinin küçük soyut bloklara bölünmesi ile elde edilmektedir. Belli bir blok modelinde, 3'lü indeks sistemiyle (i, j, k) tek bir blok tanımlanmaktadır. Söz konusu blokların boyutları belirlenirken kalitelerinin değişimi, jeolojik süreklilik, imalat makine kapasiteleri, kaya mekanik özellikleriyle bilgisayar data kapasitesi vb. etkenler dikkate alınır.

Bu bağlamda, manyezit için kalınlık, silis ve kalsiyum oranı gibi cevher yataklarının değerlendirilmesinde önemli olan değişkenlerin yatak boyunca ne kadar dağıldığını tahmin etmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin ortak amacı, her şeyden önce jeolojik blokların kalite değerlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi, ardından dataların haritalanmak suretiyle analize tabi tutulmasıdır.

Çalışmamızda, yeni bir yazılım olan NETPROMine'nın Magnezit Anonim Şirketi Nemli sahasına uygulanması incelenmiştir.

2.MAGNEZİT CEVHERİNİN OLUŞUMU VE ÖZELLİKLERİ

2.1. Tarihçesi

Ülkemiz dünyadaki en iyi tabii manyezit yataklanmalarına ev sahipliği yapmaktadır. Ülkede üretilmekte olan jel tip manyezit hem tüvenan olarak hem de yarı işlenmiş ürün halinde çok uzun yıllardır farklı ülkelerde fazlaca istek kuşağında yer almaktadır.

Manyezit cevheri tüvenan, kalsine veya sinter formda kullanılabilen bir minareldir. Ancak ülkemizde çıkarılan manyezit minerallerinin çoğu 1650-2000°C'de sinterlendirilmesinin ardından refrakter endüstri hammaddesi sinter manyezit üretimi için kullanılabilir. Manyezit minerali keşfedilmeden evvel, 1795'te J. E. Delaneteri, magnezyum karbonat, sülfat, nitrat ve klorit vb. tuzlara "manyezit" demiştir. A. Brongmart da bu kelimeyi magnezyum karbonatla silikatlarla ilgili olarak kullanmıştır. 1803 senesinde "C.F. Ludwing Moravia doğal magnezyumla 1808 senesinde "D.L.G. Karsten" magnezyum karbonatı "manyezit" olarak adlandırmıştır.

Manyezitin metalürjik proseslerde refrakter şeklinde kullanımına ilişkin ilk bilgiler 1866-1868 senelerine dayanmaktadır. 1890'da manyezit Batı'da Bessemer ile açık fırınların astarlanmasında kullanıldı, 1913'te Pennsylvania'da (ABD) dolomitten magnezya (MgO) elde edildi ve Fransa'da 1885'te deniz suyundan magnezyum hidroksitin çökeltilmesiyle sentetik manyezit sağlanmıştır.

MTA Genel Müdürlüğünün raporları çerçevesinde ülkemizde ilk manyezit araması 1808 senesinde "Fransa Electore Coulant" şirketince Sakarya'da gerçekleştirilmiştir. İlk manyezit imalatı 1929 senesinde başlamıştır, 1962 senesine dek artarak sürmüştür ve 1962

senesinden başlayarak hızlı bir biçimde artışa geçmiştir. Kalsine manyezit imalatı 1940 senesinde başlamıştır, 1964 senesine dek ciddi bir artış görmemiş ve bu tarihin ardından imalatın fazlalaştığı görülmüştür.

1960'lı senelerde Fransızlarla Avusturyalılar Eskişehir merkez Sepetçi köyüyle Margı (Kozlubel) köyünde kalsine manyezit üretimine yönelik olarak bir işletme kurdular, fakat söz konusu işletmeler faaliyet göstermemektedir.

2.2. Magnezyum Elementi

Magnezyum; yerkabuğunda en fazla bulunan elementtir ve periyodik çizelgede toprak alkali grubunda yer almaktadır. Magnezyum elementine ait fiziki ve kimyevi özellikler Çizelge 2.1'dir.

Çizelge 2.1 Magnezyumun özellikleri

Simge	Mg
Atom numarası	12
Atom ağırlığı	24.312
İyon değeri	2
Kaynama noktası	1107°C
Ergime noktası	650°C
Yoğunluğu	1.74 gr/cm ³
Elektron düzeyi	382
Kristal yapısı	Hegzagonal
Kovalent yarıçapı	1.36° A
Atom yarıçapı	1.60° A (12 koordinasyon sayılı metalik durumda)
İyon yarıçapı	0.65° A (6 koordinasyon sayılı kristaldeki)
Atom hacmi	14.0 (atom ağırlığı/yoğunluk)
Birinci iyonlaşma enerjisi	176 kcal/mol
Özgül ısı	0.25 cal/g °C
Isı iletkenliği	0.38 cal/cm ² , s.cm.°C (oda sıcaklığında)
Elektrik iletkenliği	0.224 mikroohm ⁻¹ (0°C ile 20°C arasında)
Erime ısı	2.14 kcal/atomgram
Kaynama noktası	32.517 kcal/atomgram
Asit-Baz özelliği	Baz

Magnezyum gümüş renge sahip, parlak ve hafif bir metal olma özelliği taşır. Havada anında mat ince bir oksit tabakasıyla kaplanmıştır. 500°C'nin üstündeki ısıtıldığında parlak bir alevle yanıp MgO (magnezya) halini alır. Söz konusu özellikten ötürü fotoğrafçılık alanında kullanılmaktadır. Kolayca şekillendirilebilir ve ince bir levha şekline gelebilir.

Magnezyum elementine, ateşe dayanıklı malzemenin temel karakterini veren element oksijene afinitesi yüksek olan ve oksijenle (MgO) oluşan magnezya 2800°C'ye kadar erimez ve sağlamlığını korur. Doğada en yaygın oksijen bileşiği olan SiO₂'le oksijeni kolayca bileşikler oluşturabilir ve getirebilir. Yüksek kimyasal reaksiyon yeteneği sebebi ile tabiatta saftır. Doğadaki magnezyum minerallerinin hemen hemen 2/3'ü silikatlardan müteşekkildir.

2.3. Doğada Bulunuşu

Manyezite tabiatta, kullanılma amaçlarına elverişli olarak bulmak oldukça güçtür. Bunun nedeni belli bir yabancı madde manyezit içinde %0,1 oranından az ya da fazla olması, manyezitin günümüz teknolojisiyle iktisadi olarak görülüp görülemeyeceğini belirlemektedir. Fakat Türkiye dünyadaki en nitelikli manyezitlerini barındırmaktadır. Manyezitte düşük gözeneklilik özelliği, yüksek refrakterlikle dayanma, hacim kararlılığı, kimyasal dayanma aranmaktadır.

Kalitesi yüksek amorf manyezit Türkiye'nin dışında Yunanistan, Yugoslavya ve Brezilya'da çıkarılmaktadır. Şimdiye dek yapılan çalışmalarda manyezitin oluşmasının ortamda bulunan pH ile EH değerlerine, Mg⁺² ve CO₃⁻² iyon derişimine, CO₂ kısmi basınca, ortamdaki öteki anyonla katyon türleriyle bunların derişimine, ortam sıcaklığıyla basıncına bağlı olduğunu bulunmuştur fakat söz konusu faktörlerin dereceleriyle niceliksel ilişkilerini ortaya koymak zordur.

2.4. Biyolojisi

Magnezyum, insan beden sıvılarındaki iyonlardan bir tanesidir. İnsanların kanında Mg^{+2} iyon miktarı 100 ml'de 2,3 mg kadardır. Magnezyumun tuzlarının kimileri ve bilhassa $MgSO_4$ müşil şeklinde kullanılmaktadır (günlük doz 5 g- 20 g arası).

2.5. Önemli Magnezyum Mineralleri

Çizelge 2.2'de verilen magnezyum içeren minerallerin tamamından magnezyum sağlamak iktisadi bakımdan olanaksızdır. Ham madde şeklinde üretilen magnezyum mineralleri sırası ile deklare edilecektir.

Çizelge 2.2 Magnezyum mineralleri

Mineralin Adı	Bileşenleri
Aktinolit	Demirli tremolit
Ankerit	$(Mg,Fe)Ca(CO_3)_2$
Artinit	$Mg_2(CO_3)(OH)_2 \cdot 3H_2O$
Asarit	$MgHBO_3$
Bisofit	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$
Biyotit	Mg'lu mika
Borazit	$5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 7B_2O_3$
Brusit	$Mg(OH)_2$
Dolomit	$MgCO_3 \cdot CaCO_3$
Enstatit	$MgSiO_3$
Epsomit	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$
Flogopit	Mg'lu mika
Forsterit	Mg_2SiO_4
Hidromagnezit	$Mg_5(CO_3)(OH)_2 \cdot 4H_2O$
Hümit	$Mg_7(SiO_4)_3(OH,F)_2$
Kainit	$KCl \cdot MgSO_4 \cdot 11/4H_2O$
Karnalit	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$

Ludvigit	$(\text{Mg,Fe})_2\text{Fe}(\text{BO}_3)\text{O}_2$
Magnezit	MgCO_3
Olivin	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$
Penin	Mg'lu klorit
Periklaz(Magnezya)	MgO
Pirop	$\text{Mg}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
Polihalit	$\text{K}_2\text{SO}_4.\text{Mg}_5\text{O}_4.2\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$
Sellait	MgF_2
Sepiyolat	$\text{Lületaşı-Mg}_2\text{Si}_4\text{O}_{11}.\text{H}_2\text{O}.n\text{H}_2\text{O}$
Serpantin	$\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Spinel grubu	$\text{MgO}.\text{Al}_2\text{O}_3$
Talk	$\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH}, 3)_8$
Tremolit	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{SiO}_{11})_2(\text{OH})_2$
Vermikülit	Mg kili

Magnezyumun kayalarındaki dağılımına bakıldığında büyük farklılıklar bulunur. Magmatik kayalar arasında ortalamada Mg içeriği en yüksek olan kayaç grubu %34'lük bir değere sahip olan peridotitir. Kayalarındaki SiO_2 içeriği arttığında Mg içeriği hızlıca düşmektedir. Ek olarak magmatik kayalar, derinlerdeki eşdeğerlerinden daha az Mg içerir. Mesela, derinlik kayacı olan diyorit ortalama %6,42 Mg içerirken, andezitlerde söz konusu oran %5,49'dur. Bununla birlikte, derinlikle magmatik kayalar arasındaki Mg farkı, kayalar asitlendikçe kademeli olarak azalır. Mesela diyoritle andezit arasındaki farklılık %0,93'ken asidik granitle riyoit arasındaki farklılık yalnızca %0,25'tir. Ultrabazik kayalarda Mg oranının yüksek olmasıyla derin kayalarda magmatik kayalara göre daha çok Mg bulunmasının tek sebebi, Mg elementinin oksijen karşısında afinitesinin çok yüksek olmasıyla (litofil olmasıyla) bunun sonucunda oluşan MgO 'nun yüksek ergime sıcaklığının olmasıdır.

Metamorfik kayalarındaki ortalama Mg oranları da çok farklıdır ve metamorfizmanın etkisi arttıkça kayalarındaki Mg oranı da artar.

Tortul kayalarda en fazla Mg içeriği karbonatlardadır. Dolomit söz konusu gruptadır ve %23'e dek MgO içerebilir. Genel olarak normal karbonatlar %4,7 Mg içerir iken, denizel karbonatlarda söz konusu oran %4'e düşmektedir.

2.6. Magnezyum Üretimi İçin Kullanılan Magnezyumlu Mineraller

2.6.1. Manyezit

Manyezitin formülü $MgCO_3$ şeklindedir ve bileşiminde teorik olarak %52,3 CO_2 , %47,7 MgO ile çok az, Fe_2O_3 içeren ve sertliği 3,4-4,5 arasında, özgül ağırlığı 2,9-3,1 olan bir maddedir. Rengi beyazla sarı ya da griyle kahverengi arasındadır. Doğada 2 tipte bulunmaktadır: Kriptokristalinle (jelle/amorfla) Kristalin (kaba kristal). Tortul yapılı manyezit yatakları da bulunmaktadır. Kriptokristalen manyezit genelde saf bulunur, ancak biraz demir, kireç, alümin ve daha az serbest silis barındırabilir.

Cevher kalitesinin içindeki bileşiklerin miktarı çerçevesinde artmaktadır veya azalmaktadır. Erzincan'da hemen hemen 30 m kalınlığa ulaşan zonda killi tabakalara manyezitte eşlik eder. Kalsitle dolomitteki gibi, manyezit ısıtıldığında CO_2 içeriğini yitirmektedir (ayrışmaktadır). 700'le 1000°C dolayında ısıtılmak suretiyle kostik kalsine manyezit, maks. %0,5 CO_2 içeren son derece yoğun ve sert; Çakmaktaşı benzeri yoğun bir malzeme olan erimiş magnezyum oksit (erimiş manyezit), Elektrik Ark Ocaklarında 2500°C'nin üzerinde ısıl işlemle sağlanır. Erimiş manyezitin özgül ağırlığı 3,65'tir ve çok yüksek ısılara dayanabilir.

Magnezyum hem metal hem de bileşik şeklinde günümüz teknolojisinin değerli bir hammaddedir. En büyük magnezyum tüketimi, magnezyum bileşikleri (MgO , $MgCl_2$, $Mg(OH)_2$, $MgSO_4$, gibi) şeklinde gerçekleşir. Tüm bunların başındaysa dünyadaki toplam tüketiminin %80'ini oluşturan ve magnezya denilen MgO (Sinter Manyezit) gelmektedir. Çünkü MgO , yüksek erime noktasından dolayı refrakter malzeme sektörünün en kritik girdisidir.

İşte söz konusu magnezyayla öteki magnezya ürünlerinin en mühim kaynağı manyezittir. Manyezit bir magnezyum karbonat minerali olarak tabiatta çok karşılaşın bir bileşiktir.

2.6.2. Dolomit (Mg,Ca)CO₃

Kalsiyum ve magnezyum karbonattan oluşur. Kuramsal şekilde %45,65 MgCO₃ içermektedir. Uygulamada ise %10'la %40 arasında değişir. Dolomitten MgO eldesiyle ilgili evvela Ca ayrıştırılır (yani manyezit bileşenleri sağlanır) ve ardından MgO sağlanır. Söz konusu metot ilk defa 1913 yılında Amerika'da kullanılmıştır fakat bugün Dolomit Mg endüstrisinde deniz suyundan magnezya (MgO) üretmek üzere Fransa, Belçika, Japonya, İngiltere ile Amerika'da katkı maddesi şeklinde kullanılır.

2.6.3. Olivin (Mg,Fe)₂SiO₄

Kuramsal olarak içinde %23.4 MgO bulunan bir magnezyum-demir silikattır. Yeşil renkli olduğu için İngilizce (olive) zeytin olarak adlandırılmıştır. Mg/Fe oranı 15-16 civarlarındadır. Forsterit, alüminyumla magnezyum döküm işleriyle kalıp üretiminde kullanılır.

2.6.4. Brusit Mg(OH)₂

Bir magnezyum hidroksit olan brusit kuramsal bağlamda %69 MgO içerir. Magnezyum hidroksit, magnezyum tuzlarıyla NaOH çözeltileriyle oluşur.



2.7. Evaporitik Oluşumlu Magnezyum Mineralleri

Karnalit, kieserit, kainit ve polihalit başta gelmek üzere Mg içeren kimi magnezyum klorürlerle sülfatlar, evaporitik magnezyum mineralleri şeklinde tanımlanır. Söz konusu mineraller sondaj eriyiklerinden çözelti madenciliği yöntemiyle sağlanır. Söz konusu yöntem ile üretilmiş olan evaporitik magnezyum mineralleri çoğunlukla metalik magnezyum elde etmek için kullanılır.

2.8. Manyezit Cevherlerinde Aranan Özellikler

Bazik refrakter malzeme imalatının ana hammaddesi olan ve kullanım sahasının en büyük kısmını teşkil eden manyezit cevherinin, refrakter malzeme imalatında kullanılabilmesine yönelik olarak;

Jel magnezitte: maksimum %1 SiO₂, maksimum %1.5 CaO ile maksimum %0.5 Fe₂O₃

Kristalli magnezitte: maksimum %3 SiO₂, maksimum %2.0 CaO ile maksimum %0.6 Fe₂O₃

içermesi gerekmektedir. İstenilen değerler, cevher zenginleştirme metotlarının gelişmesi ile değişebilmektedir.

Söz konusu oranların artması durumunda cevher kullanılamaz duruma gelmektedir. Refrakter tuğla üretiminde tercih edilecek cevherin CaO/SiO₂ oranının 2/1 olması istenmektedir. Söz konusu oranlardaki kalsiyumla silisyum tuğlada bağlayıcı görevi görmektedir.

2.9. Ham Manyezit Cevheri ve Sinter Ürünlerinin Özellikleri

Ham manyezit (HM), kostik kalsine manyezit (KKM), sinter manyezit (SM), erimiş (fused) manyezitle (FM) deniz suyu sinter manyezitinin (DSMM) nitelikleri Çizelge 2.3'te verilmektedir.

Çizelge 2.3 Manyezitin özellikleri

İçerik	HM (%)	KKM 900-1100°C (%)	SM >1650°C (%)	FM >2000°C (%)	DSSM (%)
MgO	45.00 – 46.60	82.00 – 93.50	93.00 – 96.00	96.00 – 99.90	96.00 – 99.00
CaO	0.40 – 1.20	2.00 – 2.50	1.50 – 3.50	0.05 – 1.50	0.70 – 2.30
SiO ₂	0.40 – 4.00	2.50 – 9.00	1.20 – 2.50	0.05 – 0.50	0.10 – 0.70
Fe ₂ O ₃	0.03 – 1.00	0.10 – 0.60	0.30 – 0.50	0.04 – 0.12	0.10 – 0.20
Al ₂ O ₃	0.20 – 1.00	-	0.10 – 0.50	-	0.10 – 0.30
CaO/SiO ₂	0.30 – 1.00	0.30 – 0.80	1.00 – 2.00	1.00 – 3.00	1.00 – 7.00
Yoğ.gr/cm ³	2.90 – 3.00	-	3.30 – 3.40	3.50 – 3.60	3.30 – 3.40

Çizelge 2.3, ülkemizdeki kriptokristalin (ya da jel) manyezitten imal edilen ham cevher, kostik kalsine manyezitle sinter manyezitin kimyevi analizlerinin alt ve üst sınır değerlerini göstermektedir. Bu oranların üzerinde çok sayıda manyezit yatağı bulunmaktadır ve bunlar malzeme teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle işletilememektedir çünkü cevherdeki safsızlıkların çok daha düşük oranlarda olması istenmektedir.

Deniz suyuyla erimiş (fused) manyezit imalatı ülkemizde bulunmadığından Japonya, ABD, Almanya, İngiltere ve Fransa vb. devletlerin ortalama değerleri kullanılmıştır.

2.10. Manyezit Cevheri ile Magnezyum Bileşiklerinin Kullanım Sahaları

İmal edilen manyezitin %90'dan fazlası kostik kalsine manyezitle sinter manyezite dönüştürülüp bazik refrakter tuğla üretiminde kullanılır. %10 ham manyezit, magnezyum

tuzlarıyla kimi ilaçlarla çimento, kağıtla şeker endüstrisinde kullanılmaktadır. Magnezyum bileşiklerinin kullanıldığı sahalar;

- Magnezyum Karbonat: İzolasyon, lastik, cam, mürekkep, seramik, boya, eczacılıkla kozmetik sanayileri,
- Magnezyum Hidroksit: Eczacılıkla şeker rafinasyonu,
- Magnezyum Klorür: Magnezyum metal imalatı, tekstil, kâğıt, seramikle çimento
- Magnezyum Sülfat: Eczacılık, yapay gübre sanayi, biçiminde sıralamak mümkündür.



3.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. Jeostatistikle Alakalı Araştırmalar

Jeostatistik metotlar tarihi olarak madencilik kadar eskiye dayanan bir geçmişe sahiptir. Madencilikle ilgilenen bireylerin çalışmalarında tavsiyelerini görmek üzere gayret sarf etmeleriyle başlayan; örnek alma, kimyasal analizler yapma, cevher kalınlığının belirlenmesi vb. çalışmalar ile beraber ortaya çıkmıştır.

Cevherleşmenin yeraltındaki pozisyonu ve karakteristiği vb. hususların da önemli olmasıyla beraber söz konusu problemlerin çözülmesi için daha yüksek düzeyde bilimsel araştırmalara gereksinim hissedilmiştir fakat klasik metotların bu tip taleplere daima çözüm bulamayacağının anlaşılmasının ardından yalnızca matematiğe dayalı istatistiklerin yetmediği görülmektedir (Matheron, 1963).

Jeolojiyle madencilikte istatistiğin kullanılması tarihte çok eskilere dayanır. Jeostatistik bir müddettir jeolojiyle gerçekte yer bilimlerine tatbik edilen istatistik şeklinde görülmekteydi. 1960'lı senelerin başlarında ve bilhassa 1970'li senelerin ortasında daha ziyade Prof. Georges Matheron'un konuyla ilgilenmesi ile popülerleşmeye başlamıştır. 1975 senesinde NATO ASI (NATO Gelişmiş Araştırma Enstitüsünce) tarafından İtalya'da "Madencilikte Gelişmiş Jeostatistik" başlıklı toplantının yapılmasıyla bilimsel temelleri kuvvetlendirilmiştir.

Dünya genelinde jeostatistiğin madencilik alanına uygulanması 1970'li senelerin sonuna doğru söz konusu olmuştur (David, 1977; Journel ve Huijbregts, 1978; Clark, 1979). Madencilikle başlamış olan jeostatistiğin gelişimini çevresel sorunlarla (bilhassa toprak ve su kirliliği), petrol rezervuarlarının modellenmesi sahalarında devam etmektedir (Journel, 1984; Isaaks ve Srivastava, 1989; Cressie, 1991; Weber ve Englund, 1992; Verhoef ve Barry, 1998; Yao ve Journel, 2000). Dumitrescu (2008), Kanada'da yer alan petrol rezervuarının porozite haritasının çıkarılmasıyla alakalı olarak kimi jeostatistik araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen hesaplamalarda kriging ile cokriging metotları tercih edilmiştir. Porozite haritasının çıkarılmasında sondaj loglarıyla sismik datalar tercih edilmiştir. İlgili petrol rezervuarına uygulanmış olan kriging yöntemiyle rezervuarın porozite haritası daha realist biçimde yapılmıştır.

Sarkar (2009), Hindistan’da yer alan petrol rezervuarına ait sondaj kuyusuyla alakalı dataları kullanmak suretiyle yönlü variogram modelleri oluşturmuştur ve petrol yatağını içerecek biçimde blok modellemeler gerçekleştirmiştir. Yapılan blok model üstünde jeoistatistiki metotlardan kriging uygulanmıştır ve ilgili petrol rezervuarının porozitesi, ortalama petrol içeriğiyle rezervuar kalınlığını ortaya koyan uzaysal dağılım haritaları yapılmıştır.

Zelenika vd. (2010), petrol kaynaklarının modellenmesinde önemli yeri olan fasiyes modellemesiyle alakalı kriging çalışması gerçekleştirmiştir. Fasiyes türünün ilgili petrol kaynağının poroziteyle permeabilitesine direkt olarak etkisinin bulunduğu bilinir. Gerçekleştirilen araştırma çerçevesinde Hırvatistan’da yer alan petrol rezervuarındaki 19 sondaj kuyusundan alınan numuneler tercih edilmiştir. İlgili sondaj kuyularından alınmış olan örneklerle jeoistatistik metotlardan olan IK (Indicator Kriging) başarıyla uygulanmıştır.

Türkiye’de jeoistatistiğin madencilikle endüstriyel hammadde kaynaklarına uygulanması çok zayıftır. Gerçekleştirilen alan yazın araştırması çerçevesinde, Türkiye’de jeoistatistiğin madencilikle alakalı akademik araştırmaların oldukça sınırlı olduğu, bunların bir bölümünün kuramsal, bir bölümünün da özel sahalara uygulamalar biçiminde görülmüştür (Kürkçü vd., 1993; Saraç ve Tercan, 1996; Tercan, 1999; Tercan ve Özçelik, 2000; Tercan ve Saraç, 2001; Tercan ve Karayigit, 2001).

Saraç (1994), maden rezervuarlarının değerlendirilmesi noktasında jeoistatistiksel simülasyon yöntemlerinin kullanılması isimli araştırmada genel metotlardan söz edip, sırası ile şartlı-şartsız ve diğer simülasyon metotlarından söz etmiştir.

Kriging tahmin metodunda mühim bir parametre olan örnekleme tasarımını Groenigen (2000) yapmıştır. Çalışmada örnekleme dizaynının tahmin neticelerini ne şekilde etkilemiş olduğu ortaya konmuştur. Araştırma, iyi bir kriging tahminiyle ilgili olarak iyi bir örneklemenin yapılması gerekliliğiyle kriging varyansının örnekleme tasarımının kalitesini değerlendirmek için kullanılabileceğini ifade etmektedir.

Koçer (2001), Ilıcadere (Bayındır-İzmir) Pb-Zn cevherleşmesinin rezerv-tenör değerlendirmesini jeoistatistik metotlardan ordinary kriging’le yapmıştır.

Öztürk (2001), Maden rezervuarlarının jeoistatistik açısından değerlendirilmesinde kriging ve PCSV (point cumulative semivariogram) tekniklerinin kıyaslanması araştırmasını gerçekleştirmiştir, bir alan içinde incelenen değişkenlerin ne şekilde

dağıldığını belirlemek üzere uygulamalarda bulunmuştur. Gerçekleştirilen uygulamaların neticesinde, kriging yöntemiyle noktasal olarak tahminde bulunmak belli kabuller içinde mümkün olmakla beraber PCSV tekniğiyle üzerinde durulan değişkenin nerede ne düzeyde değiştiğini belirlemek mümkündür.

Açık (2002), Karlıktepe kireçtaşı alanının sayısal yöntemlerle modellenmesi isminde araştırma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada Karlıktepe (Sivas) kireçtaşı alanında 41 tane maden arama sondajının verileri kullanılmıştır ve sondaj etki aralıkları değiştirilip tenör aralıkları bazında rezerv hesapları jeostatistik metotlardan ordinary kriging’le gerçekleştirilmiştir.

Yurdagül ve Saraç (2002), Adıyaman’daki rezervuar kayalarında gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğuyla alakalı değerleri jeostatistik simülasyon metodunu uygulayıp ele almıştır. Çalışmanın sonucunda ilgili rezervuar kayalarda jeostatistik simülasyon metodunun geçerliliği ortaya konmuştur.

Murat (2003), Ordinary kriging yöntemiyle kangal kömür alanı kömür kalite modellemesi isimli araştırmayı gerçekleştirmiştir.

Kishne vd. (2003), kriging uygulamasını çevresel kirlilik analizinde kullanmıştır. Araştırmada topraktan alınmış olan ve çarpık bir dağılımı bulunan toplam kadmiyum değerinin dağılımı, data dağılımının çarpık olmasından kaynaklı olarak lognormal kriging ile ordinary kriging’le kıyaslaması gerçekleştirilmiştir.

Deraisme ve Farrow (2004), Kimberlit rezervuarlarına jeostatistik simülasyon uygulama teknikleri belirlemeyle örnekleme stratejilerine ilişkin araştırma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada jeoloji modelleme yazılımı Surpac kullanılmıştı ve farklı simülasyon metotlarının farklılıkları ortaya konulmuştur. Isatis yazılımıyla gerçekleştirilen jeostatistik araştırma neticesinde kimberlit yataklarının jeolojik modellemelerinde jeostatistik simülasyon metodu kullanılmıştır.

Tercan ve Akcan (2005), Linyit Kalitesi-Rezerv eğrilerindeki belirsizliğin jeostatistiksel benzetim aracılığıyla değerlendirilmesiyle alakalı araştırma yayımlamıştır. Jeostatistiksel benzetim metodu kullanılmak suretiyle kalite-rezerv eğrileri oluşturulmuştur, tercih edilen imalat panolarının ortalama kaliteleri ardışık olağan benzetim yöntemiyle modellenmiştir. Çalışmanın neticesinde, eğrilerin kestiriminde kalite değişkenlerinin tamamının eş benzetim (co-simulation) metotlarının kullanılabileceği neticesine de varmıştır.

Ersoy vd. (2006), Çimento hammaddelerinin tenörle rezervinin jeostatistik, metotlardan ordinary krigingyle belirlenmesiyle modellenmesi konulu araştırma gerçekleştirmiştir.

Yarıvariogram modellemesini Olea (2006) yapmıştır. Araştırmada, veri hazırlanmasında yarıvariogram analizine kadarki bir süreç incelenmiştir; eldeki verilere en iyi uyan modelin yapısını saptamak üzere 6 adım verilmiştir. Araştırmada yarıvariogram modellemesi üstüne çok fazla araştırma olmasına karşın, bunun uygulama güçlükleri ifade edilmiştir.

Ersoy vd. (2008), terk edilmiş metal madenindeki kirlenmelerin büyüklüğünün hesaplanmasını jeostatistik metotlardan şartlı simülasyon yöntemiyle incelemiştir.

Ersoy ve Yünsel (2009), Linyit kömürü kalite parametreleri değerlendirmesi araştırmasına yeni ve uygulamalı bir yaklaşım getirmiştir. Bu araştırmada kömür kalite değişkenlerinin saptanmasında kriging ile uzaklığın tersi vb. metotların yumuşatma tesiri yaratmasından kaynaklı olarak yetersiz olduğu belirtilmiştir ve ardışık gauss simülasyonu ile alakalı araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda; yeterli, iyi kalitede çalışma datasının doğru ve güvenilir tahminde bulunmak üzere gerekliliğinden bahsedilmiştir, kömür kalite değişkenlerinin geometrik veya zonal anizotropi ortaya koymadığı belirlenmiş ve tercih edilen simülasyon metodunun geçerliliği simülasyon istatistiği, histogram ile variogram doğrulama testleriyle ortaya konmuştur.

4.1.2. İşletme yöntemi

ISO 9001 kalite güvence sistem belgesini alan firma, Eskişehir'de 7 adet manyezit sahası işletme ruhsatına sahiptir. Tüm bu sahalarda 15 milyon ton manyezit rezervine sahip olup, yılda 400.000 ila 450.000 ton arasında ham cevher üretimi yapmaktadır. Aynı zamanda her bir ton manyezit için 10-15 m³ dekapaj kazısı lazımdır.

Manyezit yatağının işletilmesi, cevherin dağılımına, biçimine, yatak tipiyle boyutuna dayalı olarak değişmektedir. Büyük yekpare yataklar genel olarak açık ocaklar, derin-dar yataklar, yarmalarla yer altı madenleri şeklinde çıkarılır. Magnesit A.Ş.'de açık ocak yöntemi uygulanmaktadır. 10 m yükseklikte 85° şev açılı basamaklar mevcuttur. Zaman zaman bu şev açıları formasyona göre değişiklik gösterir. Delme ve patlatma yöntemleri ile elde edilen cevher kütleleri, son teknoloji cevher hazırlama tesislerinde zenginleştirilerek kullanıma hazır hazırlanmaktadır.

Sinter manyezit, firmanın Eskişehir civarındaki madenlerinden çıkarılmış olan ve öteki madencilerden satın alınmış olan ham manyezitin dikey ve döner fırınlarda 1800°C'de pişirilmesiyle sağlanmaktadır. Sinter manyezit yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğu için demir çelik fırınlarında tuğla malzemesi şeklinde, söz konusu fırınların sıcak tamirinde püskürtme harcı şeklinde kullanılır. Magnesit Anonim Şirketi'nin Eskişehir yakınlarındaki Dutluca Fabrikası'nda; Madencilik ve Zenginleştirme Tesislerine ek olarak, 3 tane dikey fırın, 2 tane döner fırınla harç tesisi vardır. Bunun yanı sıra Çukurhisarda vagonla konteyner yükleme tesisleri, Derince de ise gemi yükleme tesisi bulunmaktadır. İmal edilen sinter manyezitle sprej harç iç ve dış pazarda satılır.

4.1.2.1. Sinter manyezit üretimi

Farklı işlemlere tabi tutulan manyezit cevheri 1800-2200°C arasındaki ısılarda yakılmak suretiyle endüstri minerali olan sinter manyezite dönüştürülmektedir. Sinter manyezitin en önemli niteliği 2800°C'ye varan yüksek ergime sıcaklığında olmasıdır. Söz konusu özelliklerinden kaynaklı olarak sinter manyezit, ateşe dayanıklı (refrakter) malzemelerin ana hammadde olup, Demir Çelik sektörünün vazgeçilmez bir parçasıdır.

Temel hammaddesi sinter manyezit olan birçok malzeme, demir çelik üretim sürecinin farklı aşamalarda yoğun şekilde kullanılır. Dutluca tesisindeki iki döner fırınla üç dikey fırınla senelik 265.000 ton sinter manyezit imalat kapasitesi bulunan MAŞ, aynı anda beş değişik sinter imal edebilmektedir. Bu önemli avantajı, MAŞ'ın her zaman yüksek kaliteli ürünleri müşterilere sunabilmesini sağlamaktadır. Bu ürünler Çukurhisar'daki yükleme istasyonlarından vagonlarla gemiye yüklenmesi için Derince'ye ya da doğrudan müşterilere yollanmaktadır.

4.1.2.2. Refrakter harç üretimi

Türkiye'de refrakter harç imalatında lider olan MAŞ (Magnesit Anonim Şirketi), senelik 90.000 tonluk refrakter harç imalat kapasitesi vardır. MAŞ tarafından üretilen bütün refrakter harçlarda kendi ürünü olan yüksek nitelikli sinter manyezit tercih edilmektedir. Demir-çelik imalatının güç şartlarda yangın dayanımı gereken tüm noktalara çözüm üreten MAŞ, öncelikle Türkiye pazarının ihtiyacını karşılamayı amaçlayarak 1996 senesinde Dutluca'daki çağdaş tesislerinde refrakter harç imalatına başlamıştır. Sürekli Ar-Ge çalışmaları, söz konusu ücretlerin yurt dışında da fazla bir kullanım bulmasını sağlamıştır. Dünyanın tüm kıtalarına yayılmış bir müşteri portföyü bulunan Magnesit Anonim Şirketi, Türkiye'ye döviz kazandırmanın mutluluğunu yaşamaktadır.

4.1.2.3. Sürgü-plaka üretimi

Demir Çelik Fabrikalarında çelik döküm potalarından dışlara sıvı çelik akımının kontrolü Sürgü Plakası sistemleriyle sağlanmaktadır. Söz konusu sistemlerin bileşenleri olan muhtelif tiplerde Sürgü Plakası, İç Nozul, Dış Nozul ve Çanak Tuğlalar sektörün lider şirketi "RHI Refrakterler" kalite güvencesinin altındadır ve MAŞ Sürgü Plaka ve Döküm Atölyelerinde üretilmektedir. Söz konusu ürünler; ülkemiz, Orta Doğu ve Avrupa'daki Demir Çelik Fabrikalarına gönderilmektedir. Ayrıca kullanım sonrasında plakalar tamir edilerek tekrar kullanıma sunulmaktadır.

4.1.3. Sondaj bilgileri

NETPROMine ile proje oluşturabilmek için en az aşağıdaki sütunlara sahip 4 sondaj veri tabanı tablosu bulunmalıdır;

- Sondaj dosyası: Sondaj no, derinlik, X, Y, Z
- Açık dosyası: sondaj no, derinlik, başlangıç, bitiş, doğrultu, eğim
- Litoloji dosyası: sondaj no, başlangıç, bitiş, litoloji
- Ham Örneklem dosyası: sondaj no, başlangıç, bitiş, numune değerleri (SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , Al_2O_3)

4.1.4. NETPROMine

NETPROMine; NETCAD firması tarafından, maden yatağı keşfinden imalatının tamamlanmasına dek bütün mühendislik tasarımını mümkün kılan ülkemizin ilk ulusal ürünüdür. %100 yerli bilgiyle geliştirilmiş olan yazılımın Türkçe ve İngilizce versiyonları vardır. Maden yatağı modellemeye madencilik bütün adımlarını içeren bir NETCAD modülüdür.

NETPROMine ile topografik arazi modelinin yapılması, sondaj ve jeolojik veriler kullanılarak üç boyutlu cevher yatağı modelinin yapılması, kaynakla rezerv hesaplamaları, arazi ve cevher modelinin kullanılması, hangi metotla cevher yatağının en verimli biçimde çıkarılacağı, ekonomik ve çevreye duyarlı üretim tasarımları elde edilebilmektedir.

4.2. Yöntem

4.2.1. Klasik konumsal tahmin yöntemleri

4.2.1.1. En yakın komşu yöntemi

Genel olarak tasnif ve kümeleme işlemlerinde tercih edilen en yakın komşu metodunda, örneklemenin yapılmadığı herhangi bir noktanın değişken değerini öngörmede, örnek noktaları arasında en yakın olanın değişken değeri saptanarak, tahmini yapılacak noktaya ataması gerçekleştirilmektedir.

En yakın komşu yöntemiyle tahminde evvela, örnek noktalarıyla tahmin yapılacak nokta arasındaki uzaklıklar hesaplanmalıdır. Konumsal noktalar arası uzaklıkların hesaplanmasındaysa genel olarak Öklid metodu kullanılmaktadır. Herhangi iki noktanın konumu iki boyutlu düzlem ya da üç boyutlu uzayda ortaya konmasına dayalı olarak, noktalar arası Öklid uzaklıkları aşağıdaki gibi hesaplanır.

- **İki boyutta uzaklık:**

İki boyutlu bir düzlemde (x_1, y_1) koordinatlarında yer alan P_1 noktası ile (x_2, y_2) koordinatlarında yer alan P_2 noktası arasındaki Öklid uzaklığını şu şekilde hesaplarız.

$$d(P_1, P_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

- **Üç boyutta uzaklık:**

Üç boyutlu uzayda (x_1, y_1, z_1) koordinatlarında yer alan P_1 noktası ile (x_2, y_2, z_2) koordinatlarında yer alan P_2 noktası arasındaki Öklid uzaklığını şu şekilde hesaplarız.

$$d(P_1, P_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

Örnekleme yapılmamış noktanın değişken değerini en yakın komşuluk yöntemi ile öngörmede, evvela örnek noktaları arasından en küçük $d(i, j)$ uzaklığındaki örnek noktası ya da k sayıda örnek noktaları saptanmaktadır. Bir komşu noktayla tahminde bulunduğu durumda, en yakın komşu örnek noktası değişken değerleri, örnekleme yapılmamış noktaya atanmakta ve değişken değeri tahmin edilmektedir.

Örnekleme yapılmayan S_A noktasına en yakın k tane komşu S_i noktası değişken değerlerinin $Z(S_i)$ olduğu durumda, uzaklıkla ağırlıklandırılmış ortalama değişken değeri $Z^*(S_A)$ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Z^*(S_A) = \frac{\sum_{i=1}^k d(S_i, S_A) \cdot Z(S_i)}{\sum_{i=1}^k d(S_i, S_A)}$$

En yakın komşu metodu, yalnızca en yakın komşu örnek noktası ya da noktalarının değişken değeriyle tahminde bulunmakta ve daha uzak noktalardaki diğer noktaları dikkate almamaktadır. Tahminlerde kullanılacak komşu noktaların sayısının (k) kaç adet olacağı belirsizdir. Ayrıca, örnek noktaları arasındaki bağımlılığı, devamlılığı ve yönsel sürekliliği ikinci plana atan bir metottur. En yakın komşu metodu genel olarak blok modellemede örnek noktası olmayan bloklara değişken değeri atamada kullanılmaktadır.

4.2.1.2. Uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemi

Bu metot, yakın noktalara uzak noktalardan daha yüksek ağırlık değeri atayan ve bütün mümkün örnek noktalarını dikkate alan bir kestirim (interpolasyon) metodudur. Tüm örnek noktaları, değeri öngörülecek noktaya olan uzaklığı çerçevesinde ters oranda ağırlık değeri almaktadır. x_0 noktasındaki kestirim değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$Z^*(x_0) = \sum W_i \cdot Z(x_i)$$

$$W_i = \frac{\frac{1}{d_i^p(x_i)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p(x_i)}}$$

Bu noktada; $Z^*(x_0)$: x_0 noktasındaki kestirimin değerini,

$Z(x_i)$: x_i noktasındaki örnek noktasının değerini,

W_i : x_i noktasındaki örneğin x_0 noktasına nazaran ters uzaklık ağırlığını,

d : örnek noktasıyla tahmin edilecek nokta arasındaki uzaklığı,

p : üssel değeri,

n : örnek nokta sayısını ortaya koymaktadır.

Eşitlikteki p değeri azaldığı müddetçe, örnek noktalarına atanmış olan ağırlık değerleri birbirlerine yaklaşmaktadır, arttığı zaman değerler farklılaşmaktadır. En yüksek ağırlık değeri en yakın örnek noktası için atanmaktadır. Genel olarak p değeri 1 veya 2 şeklinde kullanılmaktadır.

Uzaklığın tersiyle ağırlıklandırma metodunda kestirim değerleri üzerinde ciddi derecede etkili olan, eşitlikte tanımlanmayan parametreler vardır. Söz konusu parametrelerin en mühimlerinden birisi “*etki mesafesi*”dir. Bu parametre, belli uzaklıktaki gözlem değerlerinin hesaplanmasında kullanılabilir. Etki mesafesinden daha uzaktaki noktalar hesaplamaya dahil edilmez. Söz konusu parametrelerin biri “*hariç tutma açısı*”dır. Söz konusu parametreyle hariç tutma açısının süpürdüğü sahadaki gözlem değerlerinin yalnızca en yakındaki hesaplamaya dahil edilmektedir. Bu sayede tek yönlü oluşacak fazla ağırlık değerinin oluşturacağı yanıltıcı neticelerden kaçınılacaktır (Uyguçgil, 2007).

4.2.2. Jeostatistiksel Tahmin Yöntemleri

Jeostatistik, George Matheron Fransa'daki Morphologie Mathematique Merkezi'nde geliştirmiştir. Temel gayesi bir maden yatağında bulunan tenör değişimlerini değerlendirmek olan "Uygulamalı İstatistik"tir. (Matheron, 1970; Dorsel ve La Breche, 1997). Maden yataklarının analizinde, numune alınan yerlerde belli bir bölgeye ait değişkenleri dikkate almaktadır ve ilgili değişkenlerin olasılık dağılımlarını incelemektedir.

Uygulamalı İstatistik disiplinlerindeki asıl hedef, incelenen değişkenler arasındaki ilişkiyi değerlendirmektir. Eğer bir ilişki söz konusu ise çalışılan değişkenin varyansı azaltılır ve tutarlı tahminlere ulaşılır. Jeostatistik yöntemlerde, değişkenler arasında bir ilişki, mekânsal bir ilişki veya farklı metallerin kalite ölçütleri arasında bir münasebet var olabilmektedir. Mesela bir sahadaki maden arama sondajlarından sağlanan tenör değerleri, sondajlar arasındaki “ h ” mesafesi çerçevesinde değişmektedir. “ h ” değeri azaldığında tenör değerleri birbirlerine yaklaşacaktır, “ h ” mesafesi arttıkça tenör değerleri uzaklaşır (Journel, 1983).

Tenördeki farklılıkların mesafeye düğümlü bir modelini oluşturmada en gerçekçi yaklaşım, alakalı yatağa ait dataları kullanmakta olan ve söz konusu yatağın özelliklerini taşıyan modeldir. Jeostatistik böyle bir modeldir ve tenör değerlerindeki farklılıkların mesafe ile değişmesi hesaba katar.

Tenör değerlerinin birbirlerinden uzaklaşması, arasındaki münasebetin azalması olarak yorumlanmaktadır. Söz konusu münasebeti ortaya koyan variogram modeliyle bilinmeyen tenör değeri tahmin edilirken bilinen tenör değerlerinin ne kadar bilgiyi taşımış olduğu ortaya çıkar. Söz konusu münasebet, bilinmeyen tenör değerinin tahminiyle bilinen değerlerin ağırlıklandırılmasıyla ilgili kullanılmaktadır. Söz konusu ağırlıklarla düşük varyanslı kriging tahmin edilmektedir (Deutsch ve Journel, 1992).

Matematiksel bakımdan 2 noktadaki tenör değerleri arasındaki farkla $f(h)=z(u)-z(u+h)$ h mesafesinin bir fonksiyonu şeklinde belirtilebilir. Ancak jeostatistik araştırmalarda $(z(u))$ rasgele bir değişken şeklinde kabul edilmektedir ve belli bir ihtimal dağılımına elverişli değerler aldığı varsayılmaktadır. Söz konusu ihtimal dağılımıyla simülasyon yapılmaktadır, yani bir arazinin istatistiki özelliğini ortaya koyan olası bir data üretilmektedir.

Mesafeye bağlı münasebet, rezerv hesaplamalarında geleneksel ve jeostatistik metotlar arasındaki en bariz farktır.

Geleneksel rezerv hesap metotları, etüt alanındaki tüm noktalarda tenörün aynı olduğunu ve noktaların arasındaki mesafe (h) çerçevesinde değişim göstermediğini söyler. Cevherleşmenin devamı bütünüyle tahmin ya da varsayımlara dayalıdır. Hatta tenörler arası mesafeye bağlı olan söz konusu ilintinin aynı yatakta da başka yönlerle göre değişmektedir (Saraç ve Tercan, 1996).

Koordinatları belirli bir noktadaki değerlerle mesafeye bağlı olan bir havza modelinin oluşturulmasında en sahici yaklaşım, ilintili yatağın datalarını kullanan ve yatağın niteliklerini akseden jeostatistiksel bir modeldir.

4.2.2.1. Mesafeye bağılı ilişki işlevi (Variogram)

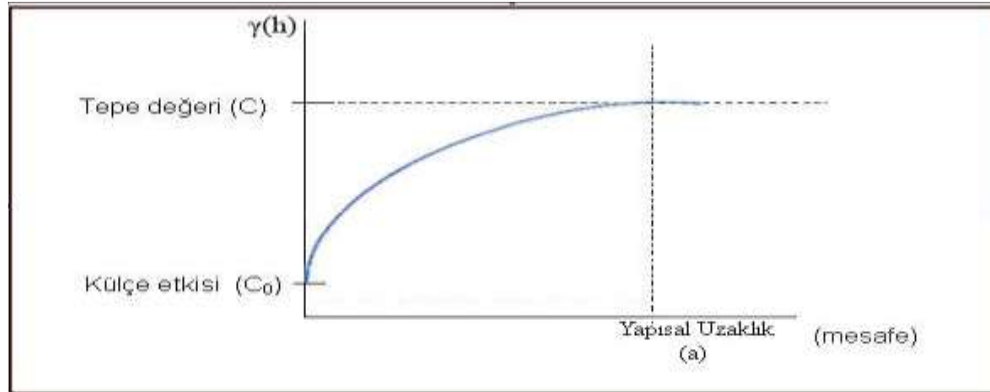
Maden yataklarının değerlendirilmesi noktasında kullanılmakta olan tenörle kalınlık vb. değişkenlerin ana niteliği, belli bir bölgeye has olması ve minimum bir koordinat ile belirtilebilmelidir. Söz konusu niteliğinden kaynaklı olarak bu tip değişkenlere bölgesel değişkenler adı verilir.

Bölgesel değişkenlerin değerleri arasındaki farklar, söz konusu değişkenler arasındaki mesafenin bir işlevidir (Matheron, 1970; Journel, 1986). Jeostatistikte lokal değişkenlerin mesafeye bağılı değişimi variogram fonksiyonuyla saptanı ve söz konusu işlev birbirlerinden h uzaklıkta olan 2 değişken arasındaki farkın varyansı şeklinde belirtilir. Değişkenlerin arasındaki uzaklık arttıkça değişkenlerin değerleri arasındaki farklar artacağından varyans da artacaktır. Varyansın artması, arasındaki münasebetin azalışı şeklinde yorumlanabilmektedir. Diğer bir ifadeyle, 2 husus arasındaki farkın varyansının büyüklüğü, noktalar arasındaki uzaklığın büyüklüğüne dayalıdır (Deutsch ve Journel, 1992).

Variogram işlevi (γ) bilindiği zaman, bir numunenin homojenlikle izotropik düzeyleri, düzenliliğiyle tesir mesafesi sayısal şeklinde belirlenebilmektedir (Tercan ve Saraç, 1998).

Belli bir h mesafesinin ardından değişkenler arasında doğrusal bir münasebet yoktur ve kovaryans sıfıra yaklaşmaktadır. Bu sayede variogramsa sabit bir sayıya yaklaşmaktadır. Başka bir deyişle variogram değerinin belli bir h mesafesinin ardından sabit kaldığı varsayılmaktadır.

Bu değer Tepe değeri (C) olarak adlandırılır ve variogramın söz konusu değeri almış olduğu mesafeye yapısal uzaklık (a) denmektedir. Söz konusu mesafede, kovaryans sıfırdır ve fiziki olarak bir örneğin tesir bölgesinin bittiği yer anlamındadır. Tesir alanı dışındaki örnekler arasında korelasyon bulunmamaktadır ve bunlar birbirlerinden bağımsızdır. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2. Tepe değeri ve yapısal uzaklık

Uzaklık sıfıra eşitse ($h=0$), variogramın değeri de sıfıra eşittir. Bunun yanı sıra, mesafeye dayalı değişimin datalardan saptanabileceği bir sınır mesafe vardır. Bu, tüm örneklerde en yakın 2 örnek arasındaki mesafeye eşittir. Data olmadığından söz konusu mesafeden daha küçük uzaklıklarda variogram değeri belirlenememekte ve variogramın orijininde devamsızlığa yol açmaktadır. Orijindeki süreksizliğin diğer bir sebebi de numune almayla analiz hatalarıdır. Sıfırdan farklı bir değer, örneklemedeki hataları göstermektedir (C. Saraç, 2007).

Bu süreksizlik kaynaklarını birbirlerinden ayırmak imkansızdır. Bu, variogramda "Külçe Tesiri" olarak gösterilir ve C_0 sembolüyle gösterilmektedir. Elverişli olarak aynı noktadan alınmış olan 2 numunenin değeri aynı olacağı için külçe tesirinin de sıfır bulunması lazımdır (Tercan ve Saraç, 1998).

Bilhassa değerlerin geniş bir sahaya seyrek olarak olduğu alanlarda, variogram kestirimi için yeterli sıralı çifti sağlayabilmek için lag mesafesinin büyük seçilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu gibi hallerde külçe tesiri değeri fazla olacaktır.

Genellikle, variogramlar 4 temel yönde hesaplanmaktadır. Söz konusu yönler genel olarak K-G, D-B, KB-GD ve KD-GB'dir. Variogramlar dört tarafta da aynı ise bölgesel değişken izotropiktir; Değilse, anizotropik denmektedir. Anizotropinin olduğu hallerde,

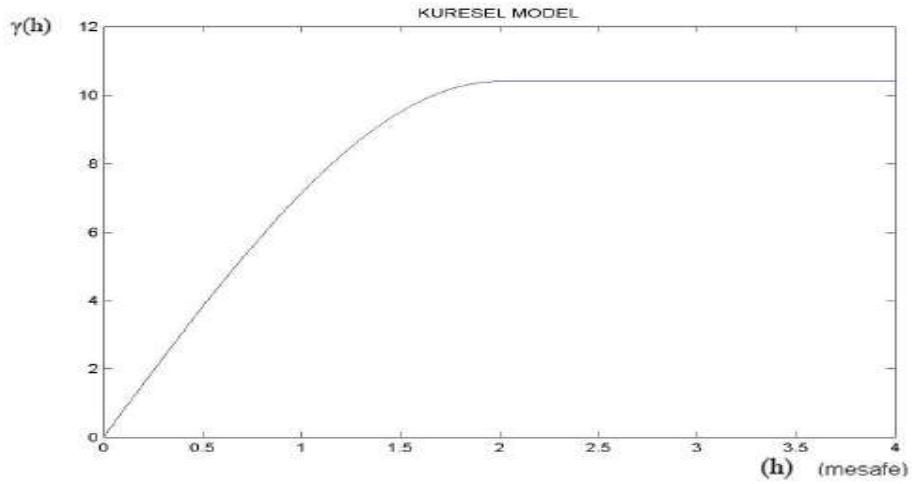
aynı tepe değerleri için değişik yapısal uzaklık değerleri bulunuyorsa anizotropiye “geometrik anizotropi” denir (Journel, 1979).

Araziden sağlanan deneysel variogramlarda belli mesafeler için variogram değerleri hesaplanmakta, diğer mesafelerde variogram değerleri bilinmez. Belli mesafelerle ilgili hesaplanmış olan söz konusu variogram değerleri istatistiki olarak örnek olarak kabul edilir. İstatistiki araştırmaların ereği, bir örneklemden sağlanan istatistikler çerçevesinde kitle(population) için çıkarımlarda bulunmaktır.

- **Küresel model**

Küresel model tüm variogram modelleri içerisinde en fazla tercih edilen variogram modelidir.

Küresel variogram, orijinden h mesafesi arttıkça artmaktadır. Yapısal uzaklığa ulaştığı zaman fazlalığı durmaktadır ve söz konusu uzaklıkta variogram değeri C 'ye eşittir (Isaaks ve Srivastava, 1989). $C=10.4$ ve $a=2$ için örnek küresel model Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Küresel model variogram

4.2.3. Variogramdan elde edilen sayısal bilgiler

Variogramdan saptanan sayısal bilginin anlamı görecelidir. Uygulamada, $Z(u)$ değerinin tekrardan ölçeklendirilmesi, sayısal bilginin göreceli değerini

değiştirmeyeceğinden kabul edilebilir. Bu sayede variogram değerleri bilgisayarın hesaplama hassasiyetini aşmamaktadır (Deutsch ve Journel, 1992).

Cevherleşmenin sürekliliğinin ölçümünde variogram çok önemlidir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Kısa uzaklıklarda başlangıç noktasına göre $\gamma(h)$ değerinin artma hızı mesafe arttıkça azalabilmektedir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Eğrideki yavaş ve düzenli artış, cevherleşmenin sorunsuz sürdüğünü ortaya koyar (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Ters bir durum uç değerlerin yüksek olduğunu ve dolayısıyla cevherleşmenin düzensiz bir nitelik arz ettiğini ortaya koymaktadır.

Bölgesel değişkenin belli bir yönde devamlılık arz ettiği saha tesir sahası şeklinde tanımlanmaktadır (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Örneklemeler belli bir mesafenin ardından birbirlerini etkilemeyecek bir noktaya gelmekte ve söz konusu mesafenin dışındaki değerler o örnekle ilgili bilgileri nakletmektedir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

Farklı yönlerde seçilen yapısal mesafe ve aralık sondajlarının nasıl planlanması ve ne kadar boşluk bırakılması gerektiğine karar verilir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

Bazı yataklarda darbe mesafesinin yatak yönü boyunca daha fazla, dikey yönde ise daha az olması, heterojen yapıyı ortaya çıkarmaktadır (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Variogram analiziyle tesir alanındaki farklılıklarla mineralojik değişimlerin boyutları belirlenebilir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

Variogram işlevi, Öklid uzaklığı h 'yi 2γ benzemezlik mesafesine eşlemiş olan artan bir işlev şeklinde yorumlanabilmektedir. Söz konusu yorum çerçevesinde variogram analizinin en mühim niteliklerinden birisi kriging tahminine yönelik olarak bir ön araştırma olmasıdır. Yani variogram analiziyle sağlanan neticelerle, örneklenmeyen değerlerin kriging tahmin edilmesine yönelik olarak örneklenen değerler için verilecek olan ağırlıklar belirlenir. Tahmini yapılacak örneklenmeyen değerden h mesafesine dayalı olarak, yüksek variogram değerlerine düşük ağırlıklar, düşük variogram değerlerine yüksek ağırlıklar verilmektedir.

4.2.4. Kriging yöntemi

Kriging, uygulamaya dönük istatistikle ilgili bilimlerde yoğun tercih edilen “Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon” yönteminin jeostatistik halidir (Deutsch ve Journel, 1992). Kriging yöntemi çok fazla işleme sahip olduğundan bilgisayar gerektirmektedir. Buna yönelik olarak hazırlanmış bilgisayar programları bulunmaktadır.

Çok değişkenli doğrusal regresyonun amacı, değeri bilinmeyen bir değişkeni tahmin etmekle söz konusu değişkende meydana gelen değişimi bağımsız değişkenlerle doğrusal istatistiksel bir modele dayanarak izah etmeye gayret etmektir. Örneğin bir biyoistatistikçi, geliştirdiği bir ilacın terapötik tesirini hastanın yaşına, daha önce geçirmiş olduğu benzer hastalık sayısına, hastalığa psikolojik bakış açısıyla beslenme düzenine dayalı olarak izah etmek isteyebilmektedir. Bu noktada tahmini yapılacak ve açıklanacak bağımlı değişken, ilacın terapötik tesiridir. Modeldeki bağımsız değişkenler yaş, önceki hastalık sayısı, ruhsal durumla beslenmedir.

Örneklenmeyen bir değer için değişken değerini, bilinen değişken değerleri ile bu rastgele değer etrafından örnekler kullanarak tahminde bulunma metoduna “Kriging” denir (Matheron, 1971). Söz konusu tahmin Çok Değişkenli Regresyon (Multiple Linear Regresyon) analiziyle yapılmaktadır. Bu noktada modele bağlı olarak tahminde bulunulacak ve açıklanacak değişken, değeri bilinmeyen örneklenmeyen değerdir. Modelde yer alan bağımsız değişkenler örnekleyen değerlerdir.

Kriging kuramını derinlikli olarak izah etmek üzere "İstatistikî tahmin kuramı" ile "Regresyon modelleri" alt başlıklarını ele almak lazımdır.

4.2.4.1. Kriging kuramı

Kriging yöntemi, en küçük kareler yöntemini kullanmak suretiyle en iyi lineer denklem sistemini oluşturarak hata varyansını en aza indirmek olarak özetlenebilmektedir. Bu, Kriging'i öteki yöntemlerden üstün hale getiren mühim bir niteliktir.

Deterministik bir metot olan "uzaklığın tersinin karesi" yöntemi yerine getirilerek; Blok değerleri tahmin edilirken örneklem alanının belirsizliğini, blok büyüklüklerinin dikkate alınmamasını ve hataların bilinmezliğini yok etmiştir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

Kriging metodunda kestirimin doğruluk düzeyi:

- Dataların kalitesi (ince ve ölçülü),
- Numune sayısı,
- Verilerin konumu (verilerin homojen sürekliliği),
- Örneklem değerleriyle değeri tahmin edilmek istenilen blok arasındaki uzaklığa dayalıdır (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

4.2.5. Anizotropi

Anizotropi, data setindeki dataların belli yönlerde süreklilik gösterir iken belli bölümlerde genel ortalamadan sapma göstermesidir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Anizotropi, yönlü anizotropiyle bölgesel anizotropi olarak 2'ye ayrılmaktadır. Yönlü anizotropi halinde numunelerin tesir uzaklıkları değişik, bölgesel anizotropi durumundaysa değişik tepe değerlerine (sill değerlerine) ulaşılmaktadır (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

Bölgesel değişken homojen bir değişme göstermiyor ise (anizotropi bulunuyorsa), yani ortalama değer mekansal şeklinde değişiyorsa datanın belli bir eğiliminin bulunduğu bir durum vardır (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Bu da yarı variogramda parabolik bir işlev

şeklinde kendisini göstermektedir. Yönlerin birçoğunda parabolik bir eğrinin görülmesi yönlü bir eğilimin varlığına işaret ederken, söz konusu eğri etki uzaklığının dışında ise ihmal edilmektedir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

4.2.6. Çapraz doğrulama

Yarı variogram analizinin neticesinde oluşturulan yarı variogram modellerinin doğruluğuyla geçerliliği çapraz doğrulama tekniğiyle yapılmaktadır. Temelde çapraz doğrulama testi yapılırken alandaki 1 reel değer çıkarılarak komşu parametreler ve ayrıca yarı variogram model parametreleri kullanılmak suretiyle o noktada bir tahminde bulunulur. Bu işlemler tüm noktalar için yapılır. Buna göre tahmin edilen değerler her noktada gerçek değerlerle karşılaştırılır. Bu işlemler sonucunda normalize edilmiş artıkların ortalaması "0"a, standart hatası ise 1'e yakın olmalıdır. Diğer verilerde de bu işlem tekrarlanmak suretiyle elde edilen tahminsel hatalar, kriging standart sapma değerine bölünmektedir ve indirgenmiş hatalara ulaşılmaktadır. Analiz, indirgenmiş hataların ortalamasıyla karelerin ortalaması incelenerek gerçekleştirilir.

Tahmin Hataları

$$\varepsilon_i = [Z_i^* - Z_i]$$

İndirgenmiş Hatalar

$$x_i = \left[\frac{Z_i^* - Z_i}{\sigma_{\varepsilon,i}} \right]$$

İndirgenmiş Hatalar Ortalaması

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

İndirgenmiş Hatalar Varyansı

$$S_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

Bu istatistiki parametrelerle ilgili istenilen kimi ölçütler şöyledir;

- i. İndirgenmiş hataların beklenen değerlerinin 0'a ile varyansları da 1'e yakın olup olmadığına ya da $1 \pm 2\sqrt{2/N}$ sınırları arasında bulunup bulunmadığına bakmak gerekir.
- ii. Öteki karar verme tekniğiye, reel değerlerin, tahmini değerler üstündeki doğrusal regresyonu orijinden geçen 45 derece eğimli bir doğru olmasıdır. Bu, şartlı yansızlık şeklinde bilinmektedir.
- iii. Kestirimsel hataların kareler ortalaması, kriging varyanslarının ortalamasına eşit veya küçük olmalıdır (Mert, 2010).

4.2.7. Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu (UMREK)

Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu (UMREK), 20.08.2016 tarih ve 6745 sayılı yasayla 3213 sayılı Maden Yasası'na ilave edilen Ek 14. maddesiyle kurulmuştur ve maden alanlarında gerçekleştirilen maden arama, araştırmayla üretim çalışmalarının milletlerarası standartlara göre raporlanmasıyla söz konusu raporlamaların doğru, güvenilir ve saydam olarak yapılabilmesini amaçlamaktadır.

Maden arama, maden kaynaklarının doğru, tutarlı ve güvenilir olarak hesaplanması ve raporlanması için dünyada tutarlı raporlama standartlarını geliştirmek ve yayınlamak için faaliyette bulunan milletlerarası bir örgüt olan CRIRSCO (Uluslararası Maden Rezervi Raporlama Standartları Komitesi) modeline göre UMREK kodu, standart tanımlarla uyumlu hale getirilerek geliştirilmiştir. UMREK Kodu ile amaç, yatırımcıları, finans kuruluşlarını ve borsayı bilgilendirmek amacıyla maden arama sonuçlarının, maden kaynaklarının ve rezervlerinin kamuya açıklanması için asgari standartları ve en iyi uygulamaları belirler. (yermam.org.tr UMREK Kodu 2.versiyon Şubat 2023)

4.2.7.1. Maden kaynaklarının raporlanması

Bir maden kaynağı, ekonomik önemi, tenör veya kalitesi ve boyutu olan ve ekonomik olarak makul bir nihai çıkarılma beklentisine sahip olan, yer kabuğunun içinde veya üzerinde katı madde konsantrasyonu ya da oluşumdur.

Bir maden kaynağının konumu, boyutu, tenörü ya da kalitesi, sürekliliğiyle öteki jeolojik nitelikleri, örnekleme verileri (numune analizi) dahil olmak üzere belirli jeolojik kanıt ve bilgiler ışığında bilinir veya tahmin edilir ve yorumlanır.

Maden kaynakları, sırasıyla mümkün, belirlenmiş (tanımlanmış) ve ölçülmüş maden kaynakları kategorilerinde artan jeolojik güven derecesine göre tanımlanır.

Mümkün maden kaynağı; Sınırlı jeolojik kanıt ve numune alma (numune analizi) kullanılarak büyüklüğü, derecesi ya da kalitesi tahmin edilen bir maden kaynağının bir kısmıdır.

Jeolojik deliller, maden kaynağına ilişkin çıkarım yapmak için yeterlidir, ancak bunu jeolojik süreklilikle tenör ya da nitelik bakımından doğrulamaz.

Mümkün Maden Kaynağı, Belirlenmiş Maden Kaynağından daha düşük bir güven seviyesine sahiptir ve bir maden rezervi haline getirilmemelidir. Devam eden arama faaliyetleri ile mümkün maden kaynaklarının çoğunluğunun belirlenmiş maden kaynaklarına dönüştürülebileceğini beklemek mantıklıdır.

Belirlenmiş Maden Kaynağı; kaynağın miktar, tenör, yoğunluk, biçim ve fiziki niteliklerinin yeterli bir güvenle tahmin edilebildiği ve detaylı maden planlamasıyla madenin iktisadi olarak işletilebileceğini destekleyecek derecede dönüştürücü faktörlerin uygulanabildiği bir bölümdür.

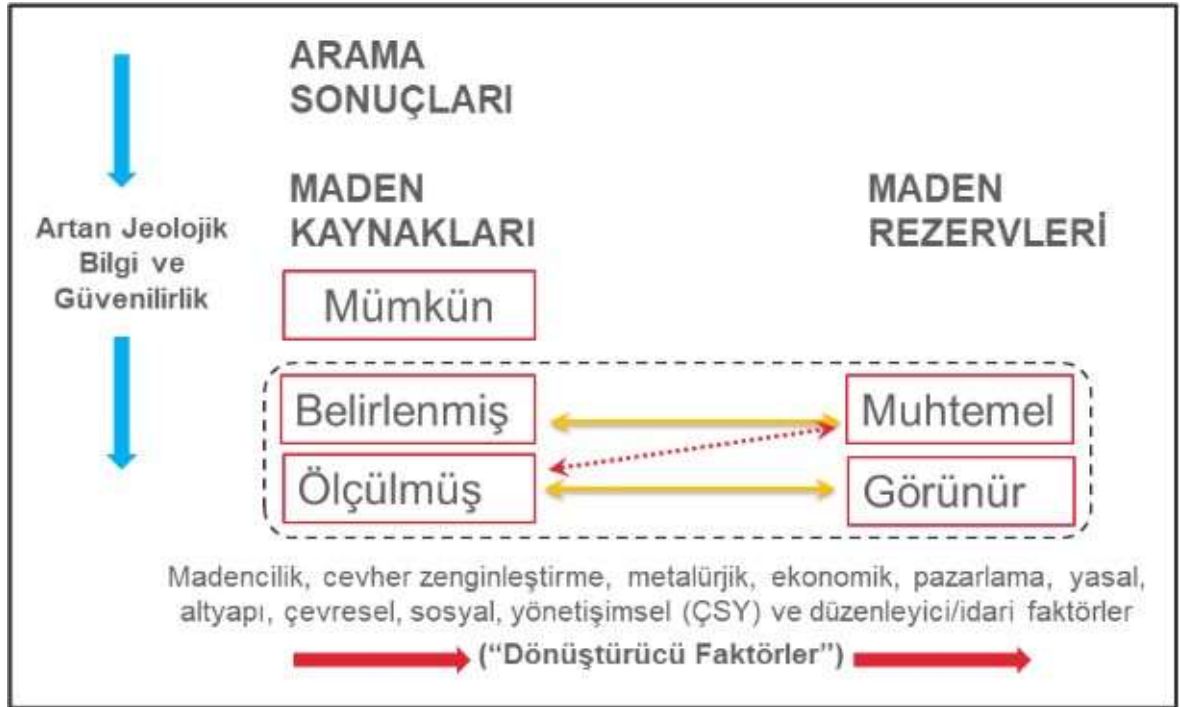
Jeolojik deliller, yeteri kadar ayrıntılı ve güvenilir keşif, numune alma ve test etme yoluyla elde edilmektedir ve gözlemlerin yapıldığı noktalar arasındaki jeoloji, tenör veya kalitenin sürekliliğini tahmin etmek için yeterlidir.

Belirlenmiş Maden Kaynağı, Ölçülmüş Maden Kaynağından daha düşük bir güven düzeyine sahiptir ve sadece Muhtemel Maden Rezervine dönüşebilir.

Ölçülmüş Maden Kaynağı; Miktar, tenör, yoğunluk, şekil ve fiziksel özelliklerin güvenle tahmin edilebildiği ve maden yatağının ayrıntılı planlanmasını ve ekonomik şekilde işletilebileceğini yeteri kadar destekleyecek derecede dönüştürücü faktörlerin uygulanabildiği bir kısımdır.

Jeolojik deliller, ayrıntılı ve güvenilir arama, örneklemeyle testlerin sonucunda elde edilmektedir ve tüm bunlar yeteri kadar olup gözlemin yapıldığı noktalar arasında jeolojik, tenör veya kalitenin devamlılığını doğrulamalıdır.

Ölçülmüş Maden Kaynağı, Belirlenmiş Maden Kaynağı veya Mümkün Maden Kaynağına uygulanmış olandan daha fazla bir güven seviyesine sahiptir. Ölçülmüş Maden Kaynağı, Görünür Maden Rezervine ya da belli şartlar dahilinde Muhtemel Maden Rezervine dönüştürülebilmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Arama sonuçları, maden kaynakları ve maden rezervleri arasındaki genel ilişki

5.BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, Manyezit Anonim Şirketine ait maden yatağının karotlu sondaj logları temel alınmak suretiyle bir database oluşturulmuştur ve söz konusu database 'den yararlanılarak UMREK koduna uygun bir şekilde cevher kaynak sınıflandırılması yapılması amaçlanmıştır.

Bunun için NETPROMine madencilik yazılımıyla sondaj dataları kullanılmak suretiyle, variogram analizi, kriging yöntemiyle yüzey modellemeyle katı modelleme uygulamaları yapılmıştır.

Jeoistatistiksel metotta dağılım yapısı saptanan dataların kapsamlı variogram analizi yapılmıştır, deneysel ve kuramsal yarıvariogram modelleriyle parametreleri saptanmıştır. Ulaşılan kuramsal variogram modellerine çapraz doğrulama testleri uygulanıp modellerin geçerliliğiyle ilgili karar verilmiştir. Ardından, kriging kestirim metoduyla yüzey modellere ulaşılmıştır.

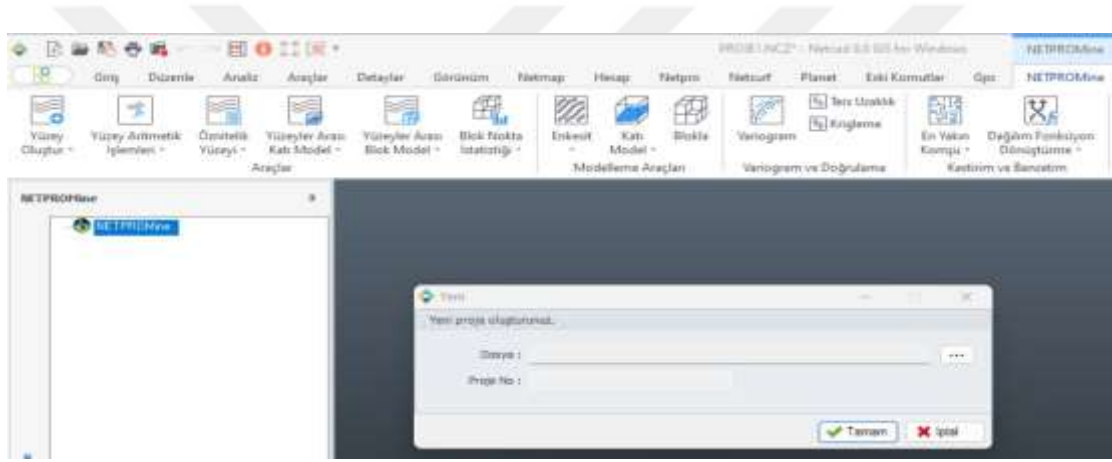
Bu bölümde mevcut veriler kullanılarak aşağıda sıralanmış olan işlemlerle ilgili neticeler elde edilmiştir.

- Sondaj datalarının değerlendirilmesi
- Jeostatistiksel yöntem ile yüzey modelleme
- Katı (Solid) model
- Blok model
- Yarıvariogram analizi
- Çapraz doğrulama işlemi
- Kriging işlemi
- En yakın komşu yöntemi
- Uzaklığın tersi yöntemi
- Kaynak kestirimsel hesaplaması

5.1. Sondaj Verilerin Tanıtılması ve Değerlendirilmesi

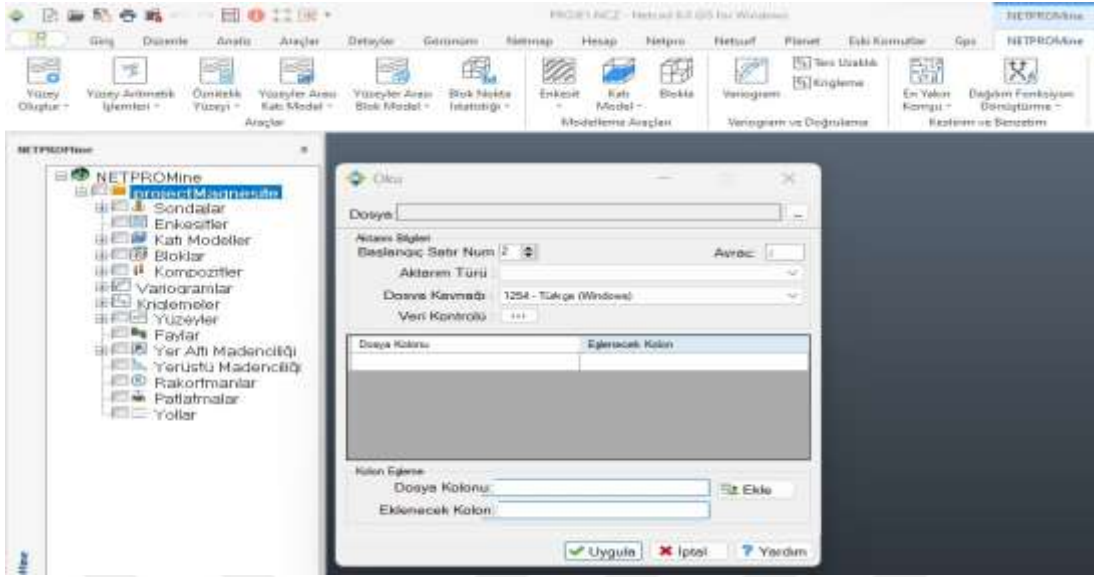
Çalışma alanındaki 26 tane karotlu sondajlarla ilgili eldeki bilgilerden proje veri dosyaları oluşturulur iken aşağıda yer alan işlemler yapılmıştır.

NETCAD programının NETPROMine modülüne gelinerek Şekil 5.1’deki gibi yeni bir proje oluşturulur.



Şekil 5.1. Yeni Proje

Meydana gelen proje üstünde fare sağ tık menüsünden “Oku” komutu seçilmektedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2.”CSV” formatında hazırlanmış veri tabanı tablosu

CSV formatında hazırlanan database tablosu, aktarım türü, tercih edilen araç seçilip, tablo kolonları birebir eşleştirilmiştir ve “tamam” butonuna basılıp tablo bilgileri boş access (*.mdb) dosyası içerisine aktarılmıştır. “Kolon Eşleme” kısmından tüm dosyalar kolonunun ilave edilecek kolondaki karşılığının seçilmesinin ardından “Ekle”yle eşleştirme onaylanmalıdır ve bütün kolonlar için söz konusu işlemle eşleştirilmenin yapılmasının ardından “Tamam”la aktarım yapılmalıdır. Söz konusu işlem tüm tablolar için ayrı ayrı gerçekleştirilmelidir. İşlenecek tablolar aşağıda belirtilmiştir ve işlem pencereleri Şekil 5.3-5.6’da verilmiştir.

- Sondaj
- Açık
- Litoloji
- Ham Örnekleme

Oku

Dosya: C:\Users\Ozge Nur Sirakaya\Desktop\yüksek lisans tez\Yeni klasör\sondaj_final.csv

Aktarım Bilgileri

Başlangıç Satır N: 2

Aktarım Türü: Sondaj

Dosya Kaynağı: 1254 - Türkçe (Windows)

Veri Kontrolü: ...

Dosya Kolonu	Eklenecek Kolon
sondaj no	Sondaj No
x	X
y	Y
z	Z
sondaj derinliği	Derinlik

Kolon Ekleme

Dosya Kolonu: ...

Eklenecek Kolon: ...

Ekle

Uygul İptal Yardı

Şekil 5.3. Sondaj tablosunun içeri aktarımı

Oku

Dosya: C:\Users\Ozge Nur Sirakaya\Desktop\yüksek lisans tez\Yeni klasör\ag_final.csv

Aktarım Bilgileri

Başlangıç Satır N: 2

Aktarım Türü: Aç

Dosya Kaynağı: 1254 - Türkçe (Windows)

Veri Kontrolü: ...

Dosya Kolonu	Eklenecek Kolon
sondaj no	Sondaj No
derinlik	Derinlik
eğim	Eğim(Deg)
azimuth	Doğrultu(Azimuth)

Kolon Ekleme

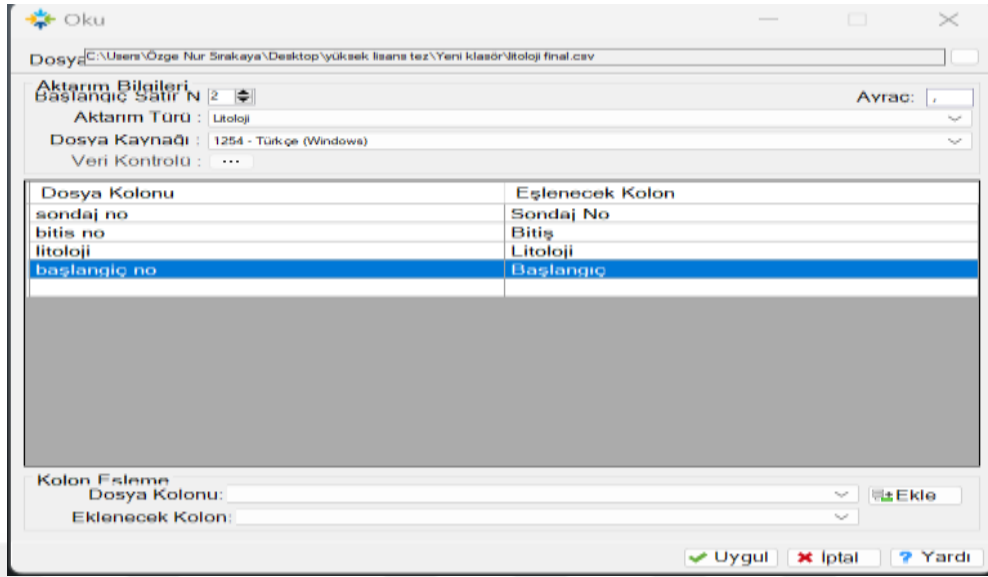
Dosya Kolonu: h

Eklenecek Kolon: j(Azimuth)

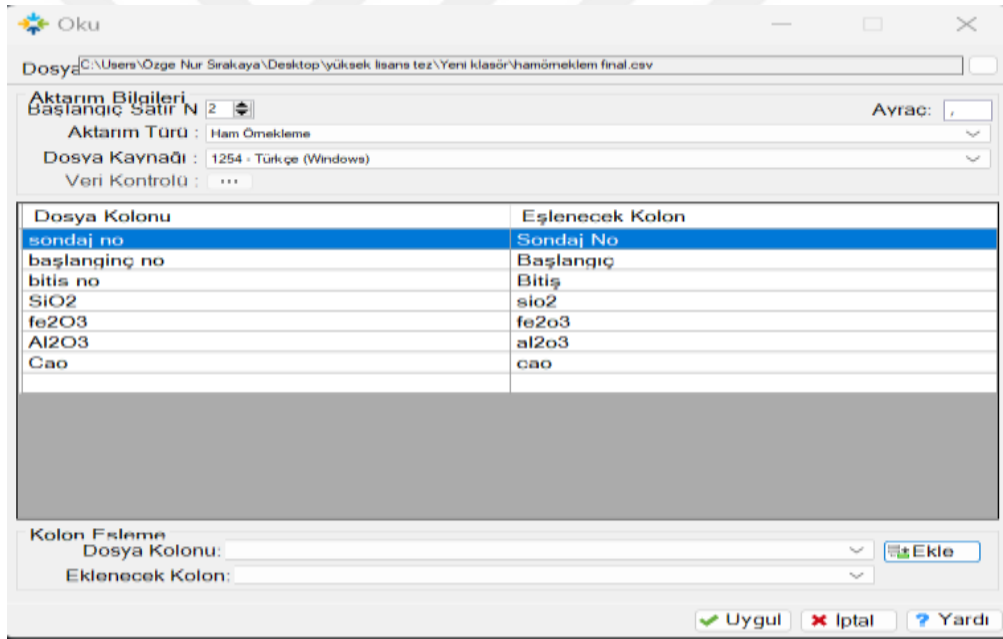
Ekle

Uygul İptal Yardı

Şekil 5.4. Aç tablosunun içeri aktarımı

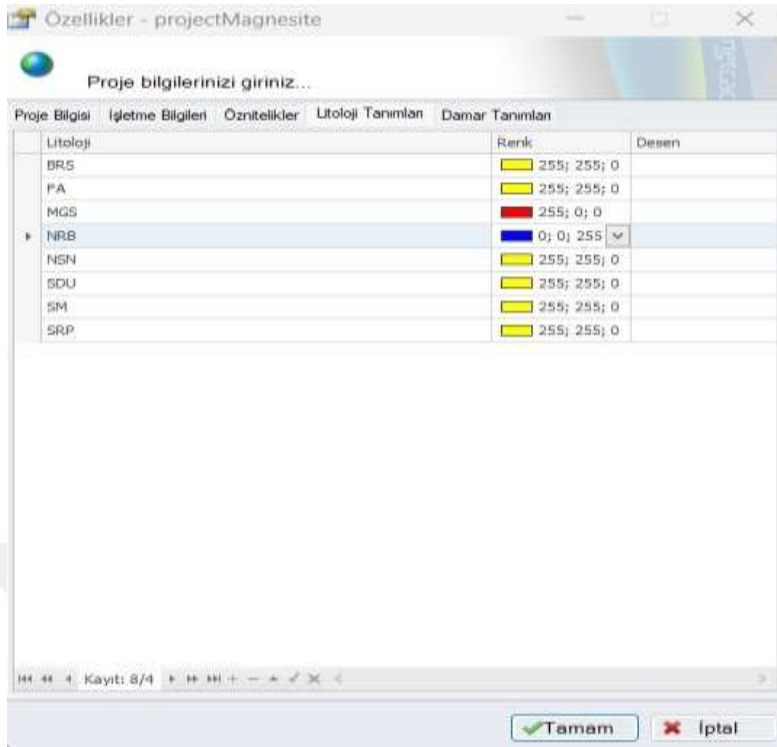


Şekil 5.5. Litoloji tablosunun içeri aktarımı



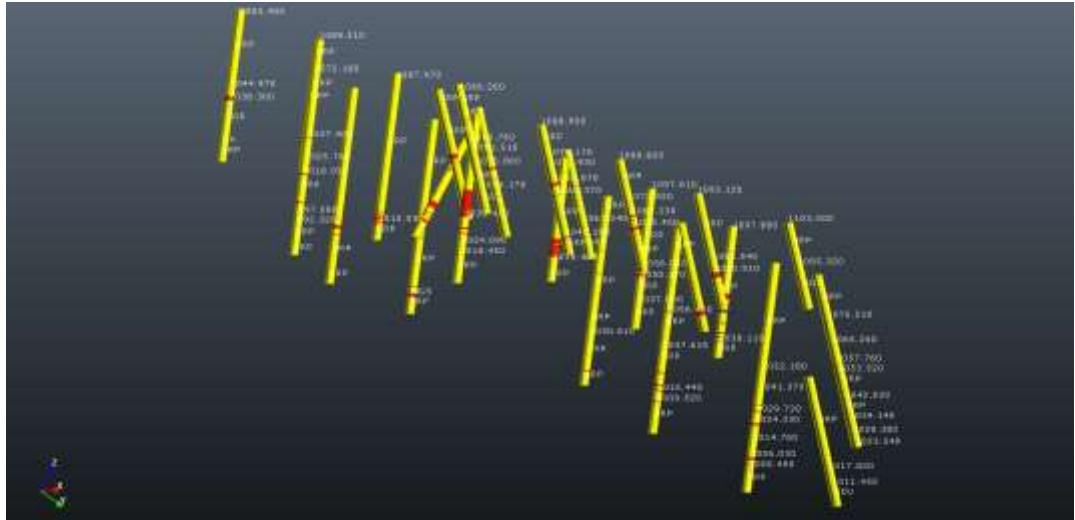
Şekil 5.6. Ham örneklem tablosunun içeri aktarımı

Litoloji kayıtlarındaki birimler, aktarımın ardından “Proje” üstünde fare sağ tuş menüsü → “Özellikler” → “Litoloji” sekmesine otomatik şekilde gelmektedir. Litolojik birimlerle ilgili gösterim renkleri buradan değiştirilebilmektedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Litoloji renkleri değişim tablosu

Tanımlanan veriler ışığında Şekil 5.8’de görünen sondajlar meydana gelmiştir.



Şekil 5.8. Sondaj lokasyonlarının dağılımı

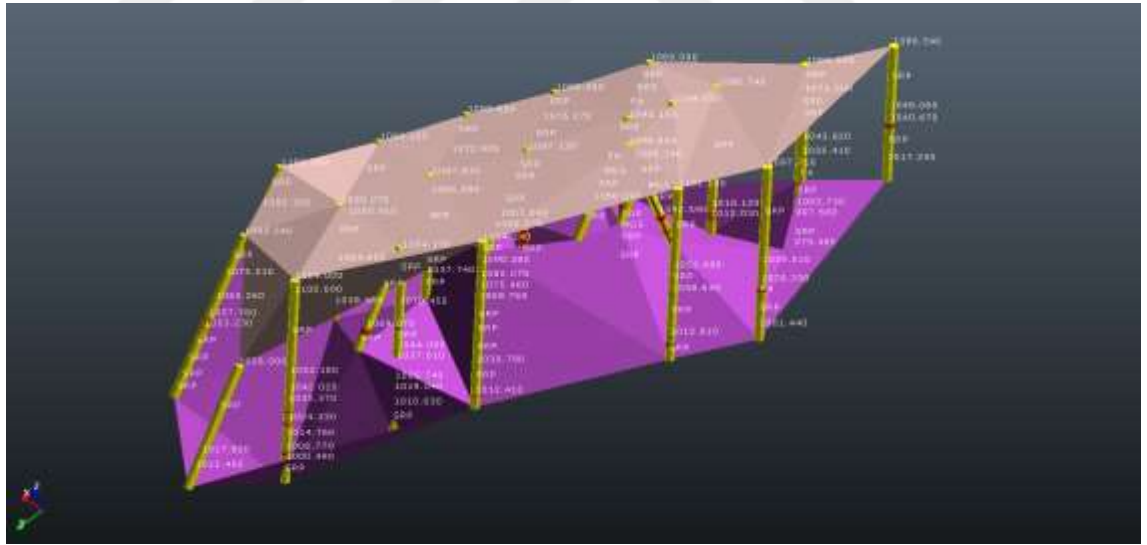
Sondajlardan alınmış olan karotların uzunlukları farklılık arz eder. Farklı uzunluklara sahip karotları, aynı uzunluktaki karotlara dönüştürmek için kompozitleme işlemi yapılır. Kaynak veya rezerv tahminleri kompozit veriler üstünden gerçekleştirilir.

Jeoistatistiksel incelemenin öncesinde cevherleşmenin karakteristiğiyle yapısal farklılıkların saptanması için değişik uzunluklardaki kompozit dataları kendi arasında karşılaştırıldığı zaman çarpıklık değeri sıfıra daha yakın olan, özgün dataları daha iyi temsil eder.

5.2. Yüzey Oluşturma

Kriging yöntemleri ile noktaların tahmini ya da tahminde bulunulmadan damarların üst, orta, alt, en alt seviyeleri oluşturulabilir (Şekil 5.9) Bunun yanı sıra, kullanıcı istediği litolojiyi seçerek o litolojiye ait yüzeyleri oluşturabilmektedir.

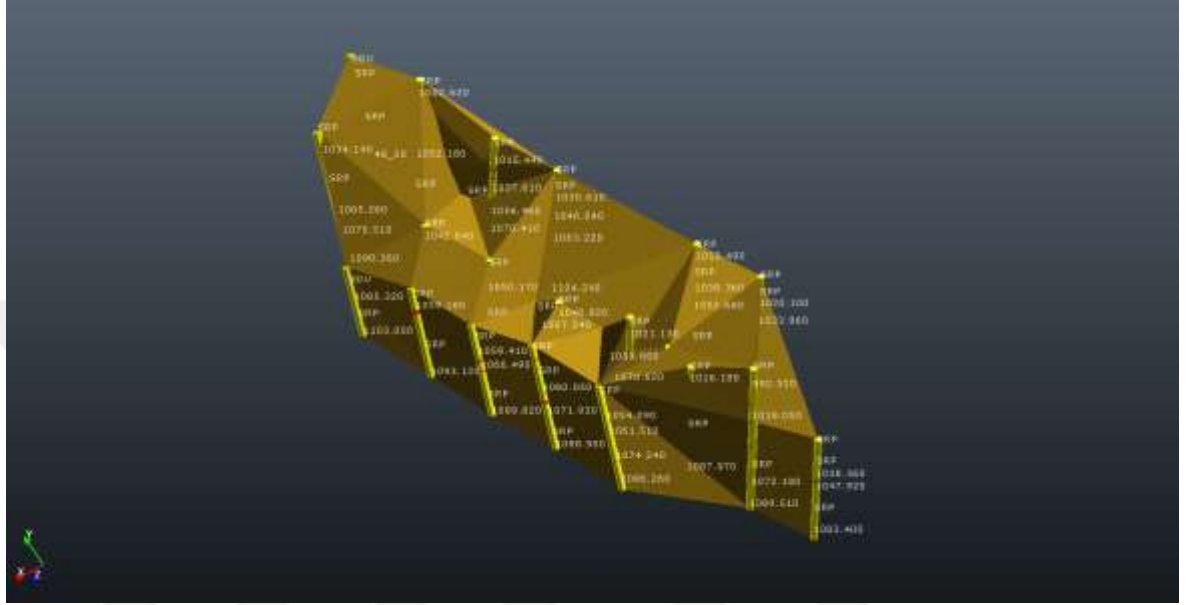
Bilgisayar programı oluşturulan yüzeylere ait yüzey alanı, üçgen sayısı, ortalama kot, en düşük ve en yüksek koordinat değerlerini kullanıcıya sunar.



Şekil 5.9. Alt ve üst yüzey

5.3. Katı Model

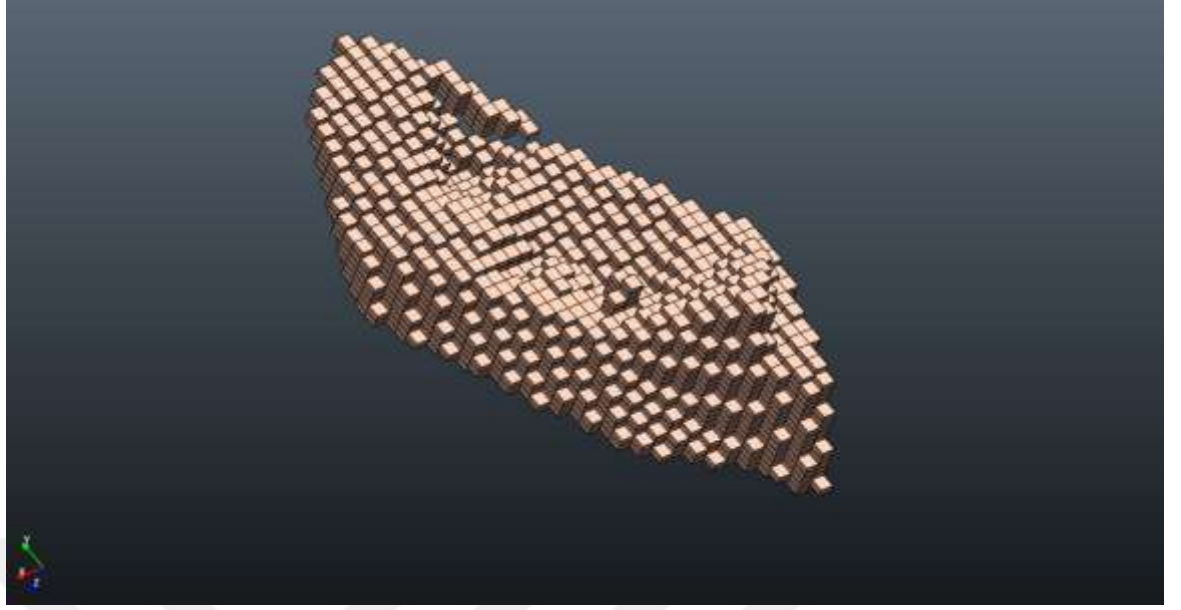
Çalışmaya ait katı model görünümü şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.10.Katı model görünümü

5.4. Blok Model

Blok boylarının mümkün olduğu kadar küçük olması gerçekleştirilecek sorgulamaların doğruluğunu artırır, öte taraftan blok boyu küçüldüğünde de kriging kestirim hatalarının artması kaçınılmazdır. Bunun için denemelerin sonucunda en düşük kestirim hatasıyla blok boyu olan, 10x10x5 m değeri araştırmamızda kullanılmıştır. Çalışmaya ait blok model şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Blok model görünümü

Çalışmaya ait blok model parametreleri şekil 5.12’de verilmiştir.

Özellikler - Block(1)	
Blok	
Toplam Blok Sayısı	5242
Toplam Blok Hacmi (m3)	2.183.045.000 (%98.01)
Katı Modelin Hacmi (m3)	2.227.473.615
Bovut 1 (X: 10.00, Y: 10.00, Z: 5.00)	
Blok Sayısı	5242 (%100.00)
Blok Hacmi (m3)	2.183.045.000 (%100.00)
Geometri	
Minimum X	262.086.313
Maksimum X	262.296.313
Minimum Y	4.403.894.000
Maksimum Y	4.404.294.000
Minimum Z	980.873
Maksimum Z	1.110.873
Acı X	0
Acı Y	0
Acı Z	0
Öznitelik : Densite	
Minimum	1.000
Ortalama	1.000
Maksimum	1.000
Toplam Blok Sayısı	
Blok	
Kapat	

Şekil 5.12. Blok model parametreleri

5.5. İstatistikler

Projenin üstünde fare sağ tuş menüsündeki “İstatistik” komutuyla ham verilerle ilgili uzunluğun ve özniteliklerin özet istatistikleri hesaplanabilir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. İstatistik menü görünümü

Söz konusu hesaplamalar, kullanıcının saptadığı öznitelikle litoloji değerlerine dayalı olarak yapılabilir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14.Öznitelik ve litoloji penceresi

İşlemin sonucunda alınmış olan söz konusu istatistikler kompozitleştirme işlemi yapılır iken kullanıcıyı yönlendirecektir (Şekil 5.15)



Şekil 5.15.İstatistik sonuç penceresi

Örnek Sayısı: Kullanılmış olan toplam data sayısıdır.

Minimum: Örnek değerlerinden en küçük olanıdır.

Ortalama (Mean): Değerlerin toplamının toplam data sayısına oranıdır.

Ortanca (Median): Datalar küçükten büyüğe doğru sıralandığında veri dizisinin ortasındaki değerdir. Data sayısı tek sayıysa veri dizisinin ortasındaki değer; çiftse en ortadaki iki değer ortalaması alınmak suretiyle hesaplanmaktadır.

Mod (Tepe Değeri): Dağılımda en sık gözlemlenen değerdir.

Maksimum: Örnek değerlerinden en büyüğüdür.

Varyans: Dağılım değerlerinin ortalamadan sapmasını ölçmek üzere kullanılmaktadır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$$

σ^2 : varyans

N: örneklerdeki data sayısı

y_i : datanın kendisi

$\bar{y}$: ortalama

Standart Sapma: Varyansın kareköküne eşittir.

Çarpıklık: Dağılımın simetri derecesinin saptanmasında kullanılmaktadır. Pozitifse dağılım sağa çarpık; negatifse sola çarpık anlamına gelir.

5.6. Kompozitleme

Kompozitleme, düzensiz aralıklar ile ilerlemekte olan ham örneklem loglarını düzenli uzunluklarda ilerlemekte olan loglara dönüştürülmesidir. Uzunlukla kabul yüzdesi belirtilip litoloji veya karot verimine dayalı olarak kompozitleme işlemi yapılabilir.

Kompozit Uzunluğu: Oluşturulmak istenilen kompozitlerin birim uzunluğudur. Kaba bir yaklaşım olarak kompozit uzunluğu, örneklerin ortalama uzunluğundan biraz büyük olabilir.

Kabul Yüzdesi: Kompozitleme esnasında kompozit uzunluğundan daha kısa uzunlukta örnekler elde edilebilmektedir. Kabul yüzdesi, kabul edilebilir en küçük örnek uzunluğu saptamak için kullanılmaktadır. Mesela kompozitleme 3 metre uzunluk için yapılıyor ise %50 kabul yüzdesi $0,5 \times 3 = 1,5$ metre uzunluğa kadar örneklerin 3 metrelik kompozit örnekler şeklinde dikkate alınacağını göstermektedir.

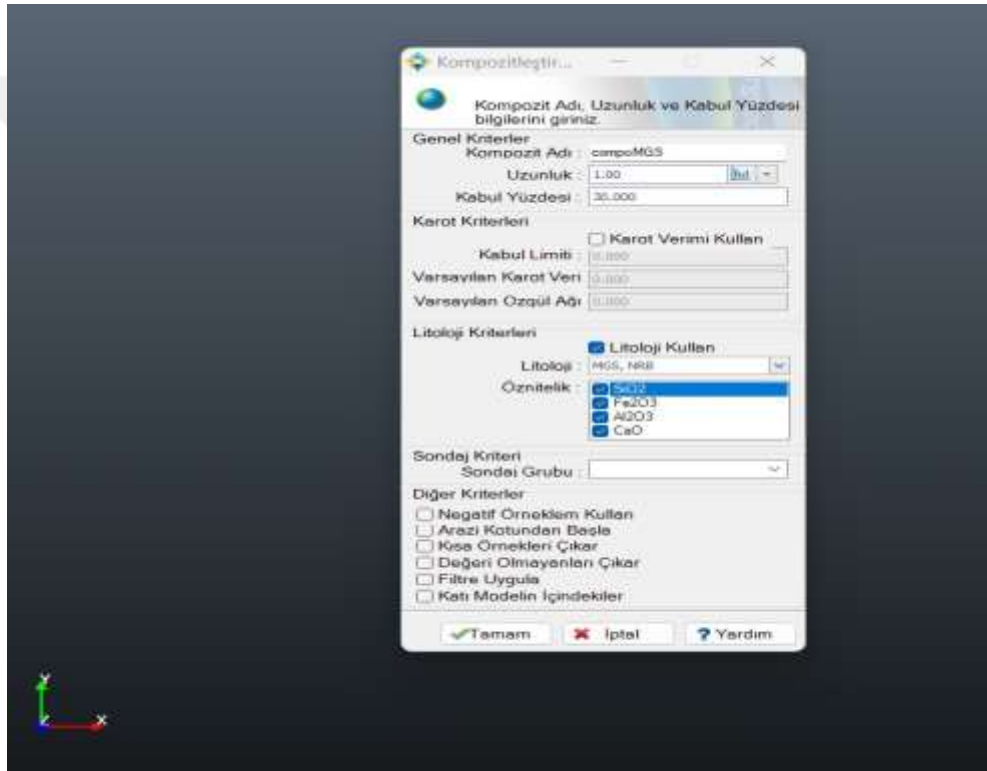
Litoloji Kullanarak Kompozitleme: Kompozitlemenin litoloji belirtilmek suretiyle yapılabilmesidir. Böyle olunca bir veya birkaç litolojik birim seçilip kompozitlemenin yapılması gereken bölümleri belirtilmektedir. “Litoloji Kullanarak” şikkının aktif olmaması durumundaysa, kompozitleme bütün litolojik birimler dikkate alınmak suretiyle yapılmaktadır.

Karot Verimi: Karotiyerin bir ilerlemesinin sonucunda (manevra boyu) içine aldığı karot parçalarının toplam uzunluğunun, karotiyerin ilerleme boyuna (manevra boyu) oranının yüzdesidir.

Özgül Ağırlık: Birim hacim ağırlığıdır.

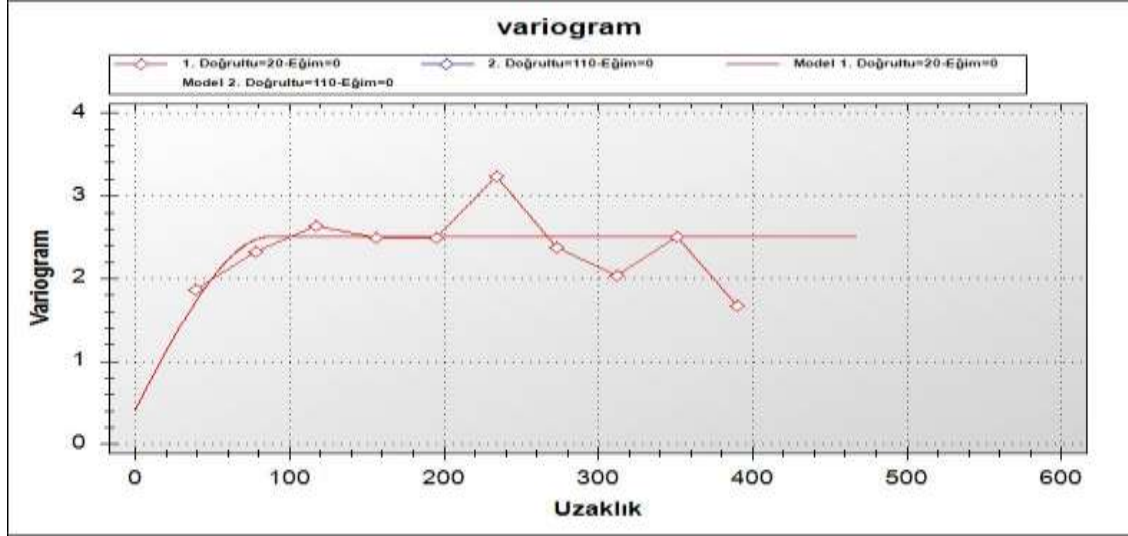
Kompozitleme yapabilmek üzere proje üstünde fare sağ tuş menüsü “Kompozitleştirme” → açılan tablodan kompozit uzunluğu, kabul yüzdesi, öznitelik ile litoloji/ karot yüzdesi bilgileri girilmektedir.

Kompozitlemenin sonucunda verilen parametreler çerçevesinde “Ham Örneklem Kayıtları” tekrar düzenlenmek suretiyle “Örneklem Kayıtları”na aktarılmaktadır (Şekil 5.16).



Şekil 5.16.Kompozitleştirme parametreleri

5.7.Variogram Analizleri



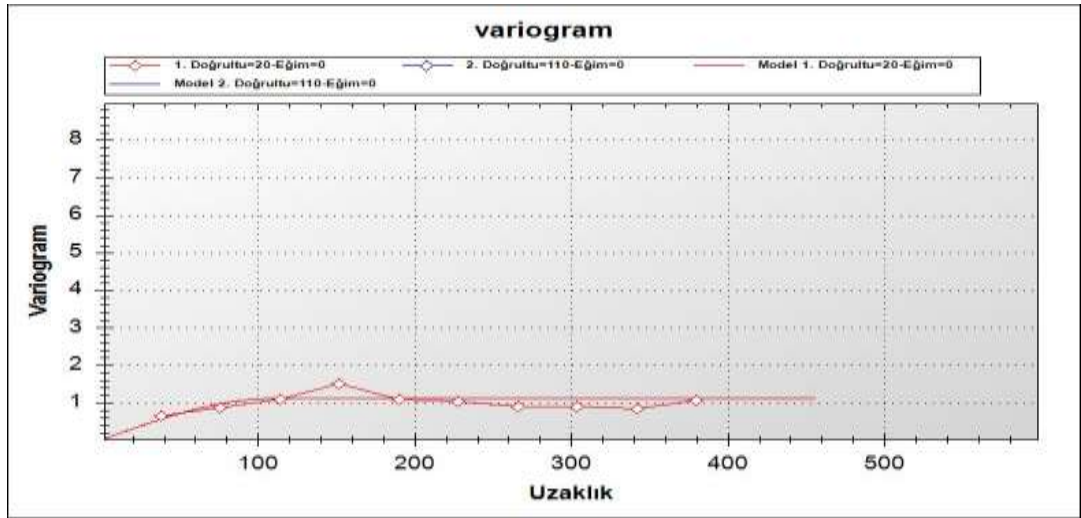
Şekil 5.17. SiO₂ değerlerinin ortalama semivariogram modeli

The screenshot shows the 'Variogram' software interface. It has a title bar with a green 'Y' logo and the text 'Variogram'. The interface is divided into several sections:

- Öznitelikler (Labels):**
 - Birincil Öznitel (Primary Label):
 - İkincil Özniteli (Secondary Label):
 - Min: Maks:
- Adımlar (Steps):**
 - Adım Sayısı (Number of Steps): Oto. Hesapla (Auto. Calculate)
 - Adım Aralığı (Step Interval):
 - Adım Toleransı (Step Tolerance):
- Table:**

	Doğrultu	Eğim	Tolerans	Bant Genişliği	Ölçüm Tipi	Baş Göz. Kes.	Son Göz. Kes.
1	20.00	0.00	20.00	20.00	variogram	0.00	0.00
2	110.00	0.00	20.00	20.00	variogram	0.00	0.00
- Footer:**
 - 114 34 Kayıt: 2/1
 - Buttons: Hesapla (Calculate), Kapat (Close), Yardım (Help)

Şekil 5.18. SiO₂ değerlerinin ortalama semivariogram parametreleri



Şekil 5.19. CaO değerlerinin ortalama semivariogram modeli

Variogram

Öznitelikler
 Birincil Öznitel: CaO
 İkincil Özniteli: CaO
 Min: 0.0 Maks: 0.0

Adımlar
 Adım Sayısı: 11 Oto, Hesapla
 Adım Aralığı: 38.00
 Adım Toleransı: 19.00

Doğrultu	Eğim	Tolerans	Bant Genişliği	Ölçüm Tipi	Baş Gös. Kes.	Son Gös. Kes.
20.00	0.00	20.00	20.00	variogram	0.00	0.00
110.00	0.00	20.00	20.00	variogram	0.00	0.00

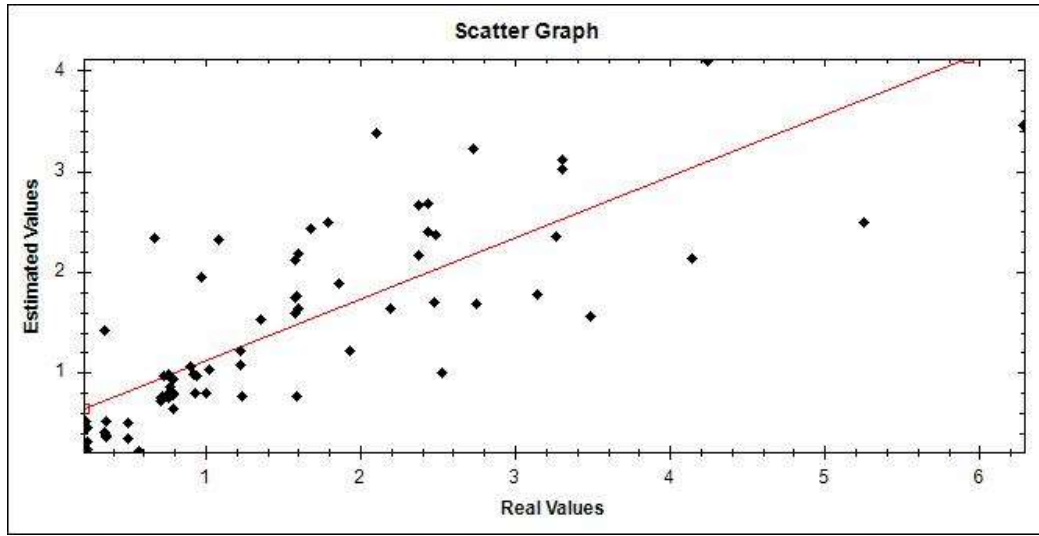
Kayıt: 2/1

Hesapla Kapat Yardım

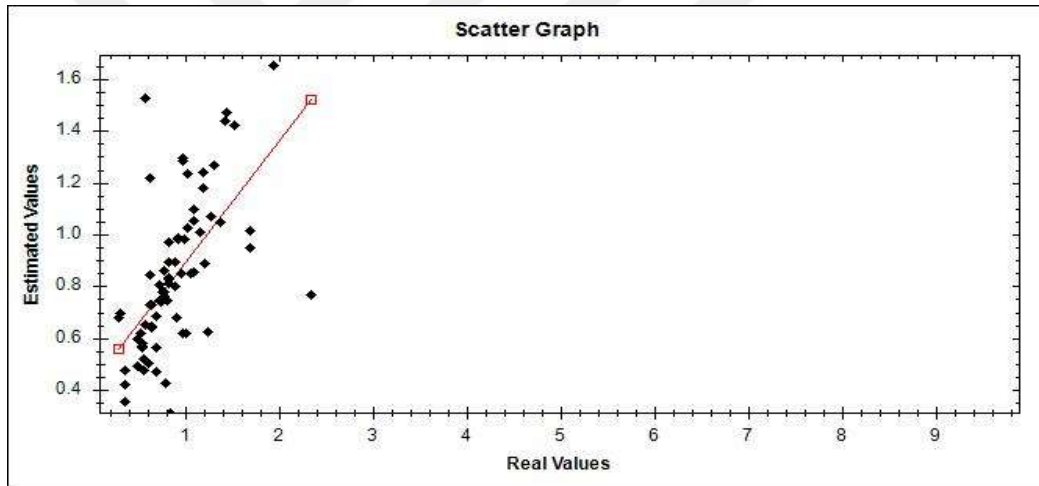
Şekil 5.20. CaO değerlerinin ortalama semivariogram parametreleri

5.8.Çapraz Doğrulama

Çapraz doğrulama testinde bütün kestirim hataları standardize edildiği zaman ortalamalarının 0, standart sapması ya da varyanslarının 1'e yakın olması beklenmektedir. Kriging yönteminin en önemli özelliklerinden biri çapraz doğrulamaya olanak sağlamasıdır.



Şekil 5.21. SiO₂ çapraz doğrulama



Şekil 5.22. CaO çapraz doğrulama

Çizelge 5.1. Çapraz doğrulama testlerinde hata sonuçları

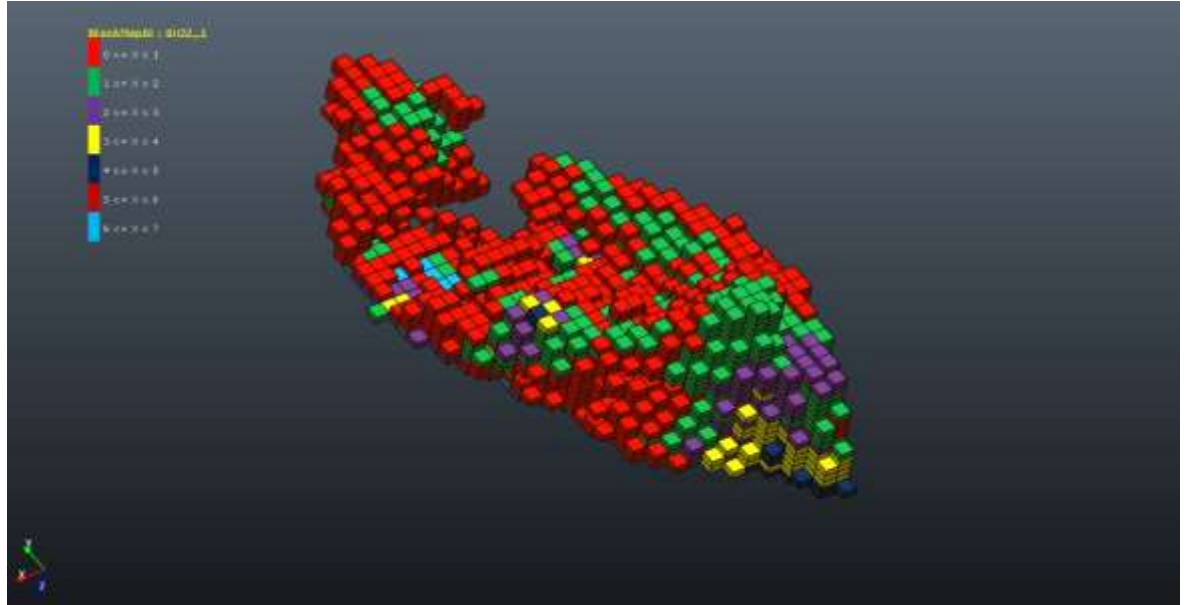
Değişken	İndirgenmiş Hatalar Ortalaması
SiO ₂	0.10970536
CaO	0.17293686

5.9. Ordinary Kriging Yöntemi

Çalışmada kaynak hesaplamalarında kullanılan iki farklı izotopik değişken bulunmaktadır. CaO, SiO₂ değerleri ile iki değişkenli ordinary kriging yöntemi kullanılarak jeolojik kaynak tahmini yapılmıştır.

The screenshot shows the 'Krigleme' (Kriging) software window. The 'Parametreler' (Parameters) tab is active. The 'Parametre Adı' (Parameter Name) is 'krigMapSi'. The 'Krigleme Bilgileri' (Kriging Information) section shows 'Krigleme Tür' (Kriging Type) as 'Ortalamasız Krigleme (I)' (Unweighted Kriging (I)), 'Ortalama' (Mean) as '0', and 'Öznitelik' (Weight) as 'SiO2'. The 'Bölünme Sayısı' (Division Number) section shows 'nX' as '1', 'nY' as '1', and 'nZ' as '1'. The 'Arama Ellipsoidi' (Search Ellipsoid) section shows 'Koşullanma Verisi' (Conditioning Data) with 'Min.' as '0' and 'Maks.' as '12'. The 'Uzaklıklar' (Distances) section shows 'Maks' as '160', 'Orta' as '50', and 'Min.' as '20'. The 'Açılar' (Angles) section shows 'Doğrultu' (Azimuth) as '26', 'Eğim' (Dip) as '0', and 'Yan Yatı' (Strike) as '0'. At the bottom, there are buttons for 'Tamam' (OK), 'İptal' (Cancel), and 'Yardım' (Help).

Şekil 5.23. SiO₂ kriging parametreleri



Şekil 5.24. SiO₂ blok tenör

Şekil 5.25’de CaO mineraline ait krigleme parametreleri yer almaktadır.

Krigleme

Parametre Adı seçiminden sonra alanlar otomatik dolacaktır.

Parametreler Variogram

Parametre Adı: KrigCa

Krigleme Bilgileri

Krigleme Tür: Ortalamasız Krigleme (I)

Ortalama: 0

Öznitelik: CaO

Bölünme Sayısı

nX: 1 nY: 1 nZ: 1

Arama Ellipsoidi

Koşullanma Verisi

Min.: 0 Maks.: 12

Uzaklıklar

Maks: 160

Orta: 50

Min.: 20

Açılar

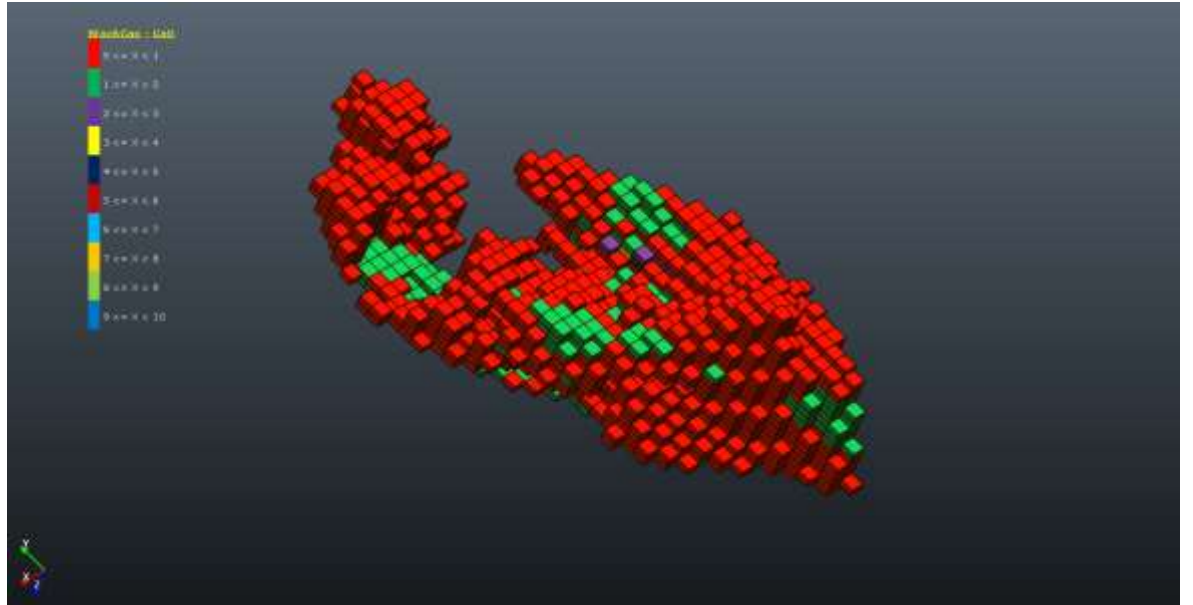
Doğrultu: 24

Eğim: 0

Yan Yatı: 0

Tamam İptal Yardım

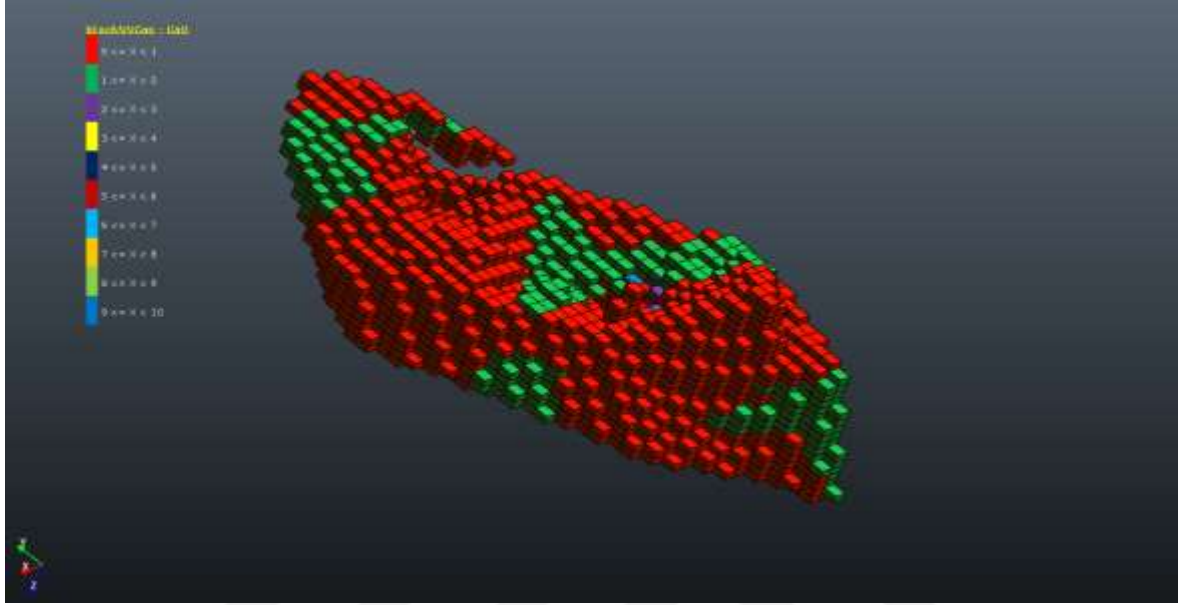
Şekil 5.25. CaO kriging parametreleri



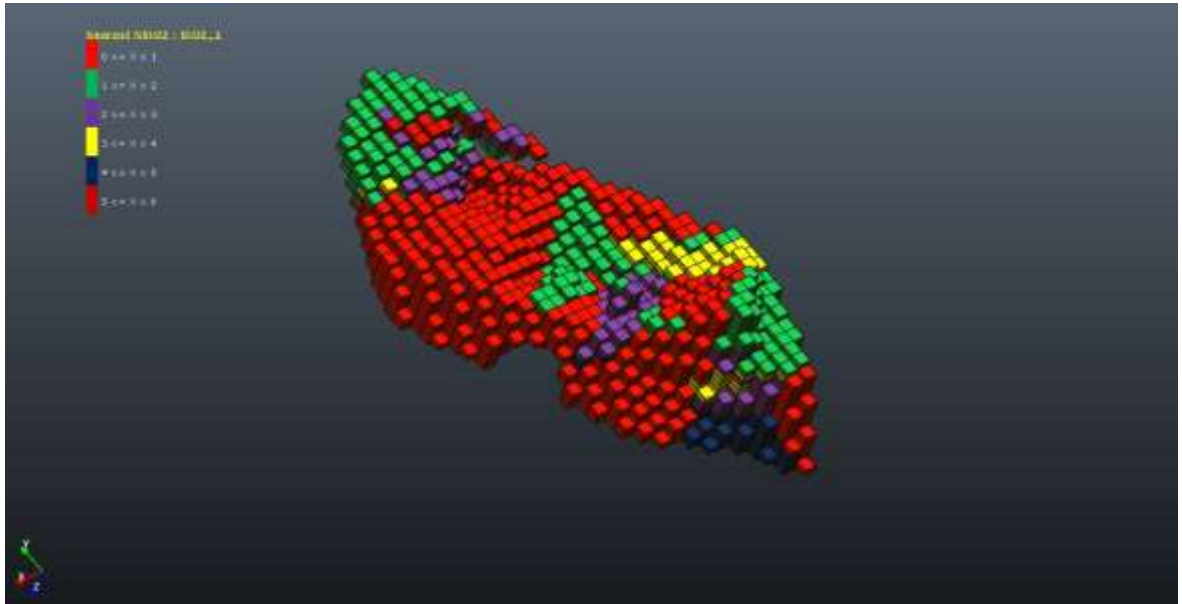
Şekil 5.26. CaO blok tenör

5.10.En Yakın Komşu Yöntemi

En yakın komşu yöntemine ait görüntüler şekil 5.27 ve şekil 5.28’dadır.



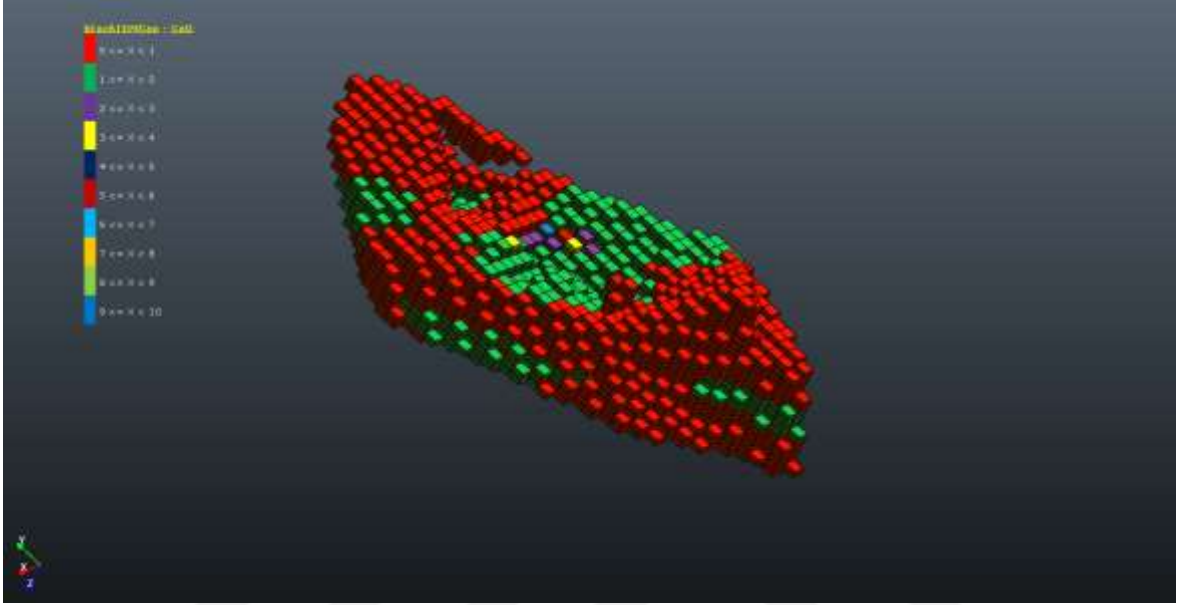
Şekil 5.27. En yakın komşu yöntemi ile CaO blok tenör



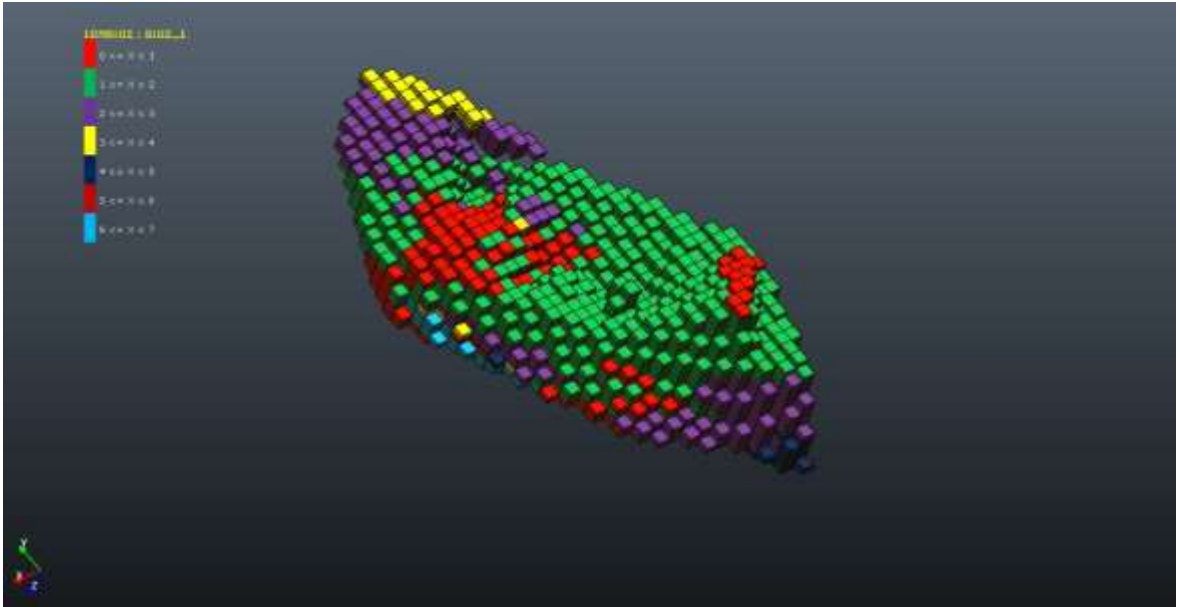
Şekil 5.28. En yakın komşu yöntemi ile SiO₂ blok tenör

5.11. Uzaklığın Tersİ Yöntemi

Uzaklığın tersi yöntemine ait görüntüler şekil 5.29 ve şekil 5.30'dadır.



Şekil 5.29. Uzaklığın tersi yöntemi ile CaO blok tenör



Şekil 5.30. Uzaklığın tersi yöntemi ile SiO₂ blok tenör

Çizelge 5.2. SiO₂ kriging blok raporu

SiO ₂ _1Başlangıç (<=)	SiO ₂ _1Bitiş (>)	Hacim(m ³)	Tonaj (Kg)	Ortalama Tenör	Adet	% Hacim	Kümülatif Toplam Hacim
0.000	1.000	546,460	1,092,920	0.52	1,307	17.31%	546,460
1.000	2.000	482,630	965,260	1.45	1,142	15.28%	1,029,090
2.000	3.000	248,440	496,880	2.44	589	7.87%	1,277,530
3.000	4.000	134,350	268,700	3.47	323	4.25%	1,411,880
4.000	5.000	62,990	125,980	4.38	147	1.99%	1,474,870
5.000	6.000	12,400	24,800	5.47	27	0.39%	1,487,270
6.000	7.000	91,505	183,010	6.28	218	2.90%	1,578,775

Çizelge 5.3. CaO kriging blok raporu

CaO Başlangıç (<=)	CaO Bitiş (>)	Hacim(m ³)	Tonaj (Kg)	Ortalama Tenör	Adet	% Hacim	Kümülatif Toplam Hacim
0.000	1.000	943,665	1,887,330	0.48	2,257	34.28%	943,665
1.000	2.000	300,925	601,850	1.28	733	10.93%	1,244,590
2.000	3.000	32,190	64,380	2.42	79	1.17%	1,276,780
3.000	4.000	19,420	38,840	3.55	44	0.71%	1,296,200
4.000	5.000	30,570	61,140	4.47	69	1.11%	1,326,770
5.000	6.000	18,490	36,980	5.51	42	0.67%	1,345,260
6.000	7.000	12,835	25,670	6.42	32	0.47%	1,358,095
7.000	8.000	9,560	19,120	7.52	20	0.35%	1,367,655
8.000	9.000	5,490	10,980	8.46	11	0.20%	1,373,145
9.000	10.000	3,195	6,390	9.39	8	0.12%	1,376,340

Çizelge 5.4. CaO en yakın komşu yöntemi blok raporu

CaO Başlangıç (<=)	CaO Bitiş (>)	Hacim(m ³)	Tonaj (Kg)	Ortalama Tenör	Adet	% Hacim	Kümülatif Toplam Hacim
0.000	1.000	1,441,160	2,882,320	0.67	3,462	33.01%	1,441,160
1.000	2.000	435,005	870,010	1.28	1,083	9.96%	1,876,165
2.000	3.000	161,990	323,980	2.35	338	3.71%	2,038,155
9.000	10.000	144,890	289,780	9.89	359	3.32%	2,183,045

Çizelge 5.5. SiO₂ en yakın komşu yöntemi blok raporu

SiO ₂ _1 Başlang ıç (≤)	SiO ₂ _1Bitiş (>)	Hacim(m ³)	Tonaj (Kg)	Ortalama Tenör	Adet	% Hacim	Kümülatif Toplam Hacim
0.000	1.000	996,355	1,992,710	0.54	2,383	24.86%	996,355
1.000	2.000	338,330	676,660	1.42	878	8.44%	1,334,685
2.000	3.000	415,770	831,540	2.44	948	10.38%	1,750,455
3.000	4.000	73,485	146,970	3.38	189	1.83%	1,823,940
4.000	5.000	167,295	334,590	4.19	396	4.17%	1,991,235
5.000	6.000	12,385	24,770	5.25	38	0.31%	2,003,620

Çizelge 5.6. CaO uzaklığın tersi yöntemi blok raporu

CaO Başlan gıç (≤)	CaO Bitiş (>)	Hacim(m ³)	Tonaj (Kg)	Ortalama Tenör	Adet	% Hacim	Kümülatif Toplam Hacim
0.000	1.000	1,413,960	2,827,920	0.69	3,405	32.39%	1,413,960
1.000	2.000	748,530	1,497,060	1.16	1,782	17.14%	2,162,490
2.000	3.000	9,650	19,300	2.41	26	0.22%	2,172,140
3.000	4.000	3,045	6,090	3.42	8	0.07%	2,175,185
4.000	5.000	950	1,900	4.34	2	0.02%	2,176,135
5.000	6.000	3,315	6,630	5.78	9	0.08%	2,179,450
9.000	10.000	3,595	7,190	9.89	10	0.08%	2,183,045

Çizelge 5.7. SiO₂ uzaklığın tersi yöntemi blok raporu

SiO ₂ _1Başlangıç (<=)	SiO ₂ _1Bitiş (>)	Hacim(m ³)	Tonaj (Kg)	Ortalama Tenör	Adet	% Hacim	Kümülatif Toplam Hacim
0.000	1.000	387,635	775,270	0.34	980	8.93%	387,635
1.000	2.000	1,174,445	2,348,890	1.41	2,760	27.04%	1,562,080
2.000	3.000	333,555	667,110	2.34	834	7.68%	1,895,635
3.000	4.000	37,805	75,610	3.35	97	0.87%	1,933,440
4.000	5.000	53,285	106,570	4.74	123	1.23%	1,986,725
5.000	6.000	20,905	41,810	5.30	43	0.48%	2,007,630
6.000	7.000	163,860	327,720	6.30	377	3.77%	2,171,490

Çalışmadan elde edilen çıkarımlar sonucunda Çizelge 5.8’de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Kriging yöntemi ile SiO₂ değeri daha yüksek çıkarırken en yakın komşu ve uzaklığın tersi yönteminde ise CaO değeri daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Çizelge 5.8. Toplam ölçülmüş kaynak

Değişkenler	Toplam Ölçülmüş Kaynak		
	Kriging Yöntemi	En Yakın Komşu Yöntemi	Uzaklığın Ters Yöntemi
CaO	2,752,680	4,366,090	4,366,090
SiO ₂	3,157,550	4,007,240	4,342,980

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

MAŞ Dutluca manyezit maden ocağından alınmış olan sondaj karot analiz değerleri kullanılarak UMREK Koduna göre kaynak kestirimi için NETPROMine yazılımı ile gerçekleştirilen çalışmalar ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Manyezit üretiminde SiO_2 ve CaO oranlarını %1 ile %3 arasında olması istendiğinden, ocaktan alınmış olan 26 örnek noktasından müteşekkil veri setinde CaO , SiO_2 impurite (safsızlık) tenör değerleri dikkate alınmış ve MgO ile Fe_2O_3 ve Al_2O_3 değerleri göz ardı edilmiştir.

Tüm zonlar için alt ve üst yüzeyler oluşturulmuş ve bunların arasındaki katı modeller elde edilmiştir. Farklı blok boyutları denenip en düşük kestirim hatasıyla alanı en iyi temsil edecek biçimde optimum blok boyutları saptanmıştır. Blok boyutları 10 x 10 x 5 m olarak alınmıştır. Farklı kompozit uzunlukları denenmiştir, özgün dataları en iyi temsil eden kompozit uzunluğu olarak 1 m kullanılmıştır.

Yarıvariogram analizleri sonucunda deneysel yarıvariogramlar elde edilmiş ve kriging tahminlemesinde kullanılacak olan kuramsal küresel yarıvariogram modellerinin parametreleri saptanmıştır.

Saptanan yarıvariogram modellerinin performanslarını belirlemek için çapraz doğrulama testine başvurulmuştur. Yarıvariogram modeli parametreleriyle Kriging yöntemi için çapraz doğrulama testi gerçekleştirildiğinde, SiO_2 esas alınarak yapılacak tahminlerde %10,97 ve CaO esas alınarak yapılacak tahminlerde %17,29 hata yapılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, sondaj verilerinin arttırılması halinde, daha güvenilir tahminlerin yapılabileceğini söylemek mümkündür.

En yakın komşu ve uzaklığın tersi yöntemleri çapraz doğrulama olanağı sunmadığı için tahmin hatalarının büyüklüğü hakkında güvenilir bilgilerin elde edilemeyeceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kriging yöntemiyle yapılan ölçülmüş kaynak tahminlemesinde SiO_2 esas alındığında 3.157.550 ton ve CaO esas alındığında ise 2.752.680 ton kaynak tahmin edilmektedir. Bu kriging yöntemiyle yapılan ölçülmüş kaynak tahminlerindeki farklılık,

SiO₂ ve CaO verileriyle elde edilen yarıvarioragm parametrelerinin çapraz doğrulamalarında ortaya çıkan tahmin hataları farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. SiO₂ verileriyle elde edilen yarıvariogram parametrelerinin çapraz doğrulasındaki hata oranının CaO ile elde edilene göre daha küçük olması nedeniyle, manyezit yataklarında UMREK Koduna göre kaynak sınıflandırmalarında manyezit kütlelerinin SiO₂ değerlerinin dikkate alınmasının daha güvenilir olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, SiO₂ ve CaO ve diğer empüritelerin birleşik dağılımı dikkate alınmadan tahminlemeler yapılmıştır. Manyezit yataklarında tüm empüritelerin birleşik dağılımını dikkate alan yöntemlerin veya yazılımların kullanımı halinde UMREK Koduna göre daha güvenilir kaynak tahminlerinin yapılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Açık, F.Y., 2002, Karlıktepe (Sivas) kireçtaşı sahasının sayısal yöntemler ile modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, (yayınlanmamış).
- Arıöz, D. (2011) Afşin-Elbistan linyit sahası Çöllolar sektörünün Netpro/Mine yazılımı ile değerlendirilmesi [Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Clark, L., 1979, Practical geostatistics. Applied Sci. Publ., London, 127p.
- Cressie, N.A.C, 1991, Statistics for spatial data. John Wiley, New York, USA.
- David, M., 1977, Geostatistical ore reserve estimation. Elsevier, Scientific Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands.
- Deraisme, J., Farrow, D., 2004, Geostatistical simulation techniques applied to kimberlite orebodies and risk assessment of sampling strategies. Geovariances, Avon, France.
- Dumitrescu, C.C., 2008, Seismic attributes used for reservoir simulation: application to a heavy oil reservoir in Canada. Society of Exploration Geophysicists Las Vegas Annual Meeting, USA.
- Efe, U. (2013). Maden işletmelerinin planlamasında üç boyutlu modelleme (3D) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) uygulamaları [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Ersoy, A., Yünsel, T.Y., 2009, Assessment of Lignite Quality Variables: A Practical Approach with Sequential Gaussian Simulation, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 31:2,175-190.
- Ersoy, A., Atıcı, U. ve Yüksel, T.Y., 2006, Çimento hammaddelerinin kalite ve rezervinin kriging yöntemiyle modellenmesi. Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.201-211, Eylül, Trabzon.
- Ersoy, A., Yünsel, T.Y., Atıcı, U., 2008, Geostatistical Conditional Simulation for the Assessment of Contaminated Land by Abandoned Heavy Metal Mining. Environmental Toxicology, Vol. 23, No. 1, pp. 96-109.

- Eskikaya, Ş., Karpuz, C., Hindistan, M.A. ve Tamzok N. (Ed.) (2008). Maden Mühendisliği açık ocak işletmeciliği el kitabı. (2. Baskı). Ankara: TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları.
- Groenigen, V., 2000, The influence of variogram parameters on optimal sampling schemes for mapping by kriging, Geoderma.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., 1989, An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. New York.
- Journel A.G. and Huijbregts, CH. J., 1978, Mining geostatistics, Academic Press, 600 p.
- Journel, A.G., 1984, New way of assessing spatial distributions of pollutants. In: environmental sampling for hazardous wastes, American Chemical Society Symposium Series 267, Washington, pp. 109-118.
- Kishinev, A.S., Bringmark, E., Bringmark, L., Alriksson, A., 2003, Comparison of ordinary and lognormal kriging on skewed data of total cadmium in forest soils of Sweden. Environ Monit Assess, Volume 84, Number 3, pp.243-63, Sweden.
- Koçer, S., 2001, Ilıcadere (Bayındır, İzmir) Pb-Zn Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Jeostatistiksel Değerlendirilmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni. Cilt 44. Sayı 1.
- Konuk, A. (2011). Coğrafi Bilgi Sistemleri İçin Temel İstatistik. Anadolu Üniversitesi Yayınları, ISBN:978-975-06-1000-4, Eskişehir, 192 s.
- Kürkçü, S.N., Ersoy, M., Dursun, E., 1993, Jeostatistiksel yöntem kullanarak Afşin Elbistan havzası çöllü b- sektörü rezerv belirleme çalışması. Türkiye 13. Madencilik Kongresi, ss.29-42, İstanbul.
- Matheron, G., 1963, Principles of geostatistics. Economic Geology, v. 58, no. 8, pp. 1246-1266.
- Murat, K., 2003, Kriging yöntemi ile Kangal kömür sahası kömür kalite modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, (yayınlanmamış).
- Olea, R.A., 2006, A six step practical approach to semivariogram modeling. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment Volume 20, Number 5, 307-318.
- Öztürk, C.A., 2001, Maden yataklarının jeostatistiksel değerlendirilmesinde kriging ve PCSY tekniklerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (yayınlanmamış).

- Pekin A. ve Konuk, A., 1999, Jeostatistiksel tahmin için uygun tenör dağılım modelinin belirlenmesi, Madencilik Dergisi, Aralık, Cilt:38, No:4, 21-28.
- Saraç, C., Tercan, A.E. 1996, Grade and reserve estimation of the tulovasi borate deposit by block kriging. International Geology Review, vol. 38, p.832-837.
- Saraç, C., 1994, Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel simülasyon yöntemlerinin kullanılması: 47. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 21-24 Şubat 1994, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Sarkar, B.C., Chaliha, M., Saikia, K., 2009, Geostatistical Reservoir Modelling Of An Indian Oilfield Using Kriging and Simulated Annealing. Recend Trends In Exploration, Explotation and Processing of Petroleum Resources. Tata McGraw-Hill Publishing. New Delhi, India.
- Tercan, A E. ve Saraç, C. (1998). Maden yataklarının değerlendirilmesinde Jeostatistiksel yöntemler. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları.
- Tercan, A.E., 1999, Importance of orthogonalization algorithm in modeling conditional distributions by orthogonal transformed indicator methods. Mathematical Geology, vol.31, No.2, pp. 155-173.
- Tercan, A.E., Saraç, C. 2001, Spatial variability of Cr₂O₃% in the Kızılyüksek-Yataardıç chromite deposit, Adana, Turkey. International Geology Review, vol. 43, pp. 676-682
- Tercan, A.E., Özçelik, Y., 2000, Geostatistical evaluation of dimension-stonequarries. Engineering Geology, vol.58, pp 25-33.
- Tercan, A.E., Karayığit, A.I., 2001, Estimation of lignite reserve in the Kalburcayiri field, Kangal basin, Sivas: Turkey. International Journal of Coal Geology, vol.47, pp. 91-100.
- Tercan, A.E., Akcan, E., 2005, Linyit Kalitesi-Rezerv eğrilerindeki belirsizliğin jeostatistiksel benzetimle değerlendirilmesi: örnek bir çalışma, Madencilik Dergi, Cilt 44, Sayı 2, Sayfa 3-16.
- Tüysüz, N., Yaylalı-Abanuz, G., 2005. Jeostatistik-Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar. Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, No:220, Trabzon, 382 s.
- Uyguçgil, H. (2007). Çok değişkenli maden yataklarında rezerv tenör tahmininde

jeoistatistik ve coğrafi bilgi sistemleri tekniklerinin kullanımı [Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

Vann, J., Jackson, S. and Bertoli, O., 2003, Quantative kriging neighbourhood analysis for the mining geologist – a description of the methodwith worked case examples, 5th International Mining Geology Conference.

Verhoef, J.M., Barry, R.P., 1998, Constructing and fitting models for cokriging and multivariable spatial prediction. Journal of statistical planning and inference, vol. 69, pp. 275-294.222

Weber, D., Englund, E.J., 1992, Evaluation and comparison of spatial interpolators. Mathematical Geology, vol.24, No.4, pp.381-391.

Wikipedia, 2022, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Madencilik>

Yalçın, E. (2000). Sondaj yöntemleri ve uygulamaları. (3. Baskı). Ankara: TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları.

Yao, T., Journel, A.G., 2000, Integrating seismic attribute maps and well logs for porosity modeling in a west Texas carbonate reservoir: addressing the scale and precision problem. Journal of Petroleum Science and Engineering, vol.28, pp. 65-79.

YERMAM, 2023, <https://www.yermam.org.tr/kutuphane/ulusal-kodlar>

Yurdagül, A.G., Saraç, C., 2002, Adıyaman yöresi rezervuar kayaçlarının porozite ve hidrokarbon doygunluğu değerlerinin jeoistatistiksel simülasyonu: Türkiye Jeolojisi Bülteni. Cilt 45. Sayı 2, 19-31.

Zelenika, K.N., Malvic, T., Geiger, J., 2010, Mapping of the Late Miocene sandstone facies using indicator kriging. NAFTA, Croatia, Vol 61, No.5, pp.225-233.