



T.C.

**SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ALPAGUT – DODURGALİNYİTLERİ KAYNAK KESTİRİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oğuzhan KÜÇÜKKARASU

(20169221007)

Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz GÜL

SIVAS

TEMMUZ 2019

Oğuzhan KÜÇÜKKARASU'nun hazırladığı ve “ALPAGUT-DODURGA LİNYİTLERİ KAYNAK KESTİRİMİ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı Dr. Öğr. Üyesi Yavuz GÜL
SivasCumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi Doç. Dr. Didem EREN SARICI
İnönü Üniversitesi

Jüri Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Selim DURUTÜRK
SivasCumhuriyet Üniversitesi

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

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

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





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

© Oğuzhan KÜÇÜKKARASU, 2019



Çalışma sırasında bana destek olan ailem ve sevgili eşim Asude'ye...

ETİK

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

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

18.07.2019

Oğuzhan KÜÇÜKKARASU

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. **Yavuz GÜL**'e çok teşekkür ederim.

Tezime vermiş olduğu değerli katkılarından dolayı tez jüri üyelerim, Sayın Doç. Dr. **Didem EREN SARICI**'ya ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi **Yavuz Selim DURUTÜRK**'e;

Yüksek lisans yaptığım süre boyunca çalışmalarımın her aşamasında beni destekleyen ve bilgi birikimlerini aktararak tez çalışmalarına yön veren mensubu olduğum TKİ Kurumunun Yönetim Kurulu Başkanı ve Genel Müdürü çok kıymetli Sayın **Ömer BAYRAK**'a ve diğer değerli yöneticilerime;

İnceleme verilerinin oluşturulması sırasında bana yardımcı olan değerli görüşlerini aldığım ve önerileriyle katkılarını esirgemeyen Maden Mühendisi Sayın **Barış KÜÇÜKBİÇAKÇI**'ya;

Tez çalışmasının birçok aşamasında ve kaynak kestirimi aşamasında görüşlerini aldığım ve katkılarını esirgemeyen Jeoloji Mühendisi Sayın **Hüseyin ULAŞ**'a ve Maden Mühendisi Sayın **Metin AKTAN**'a;

Çalışmalarımın değişik aşamalarında bana yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarıma;

Çalışmamın her aşamasında desteklerini esirgemeyen, gösterdiği sabır, anlayış ve manevi destekten dolayı sevgili eşim **Asude KÜÇÜKKARASU**'ya;

TEŞEKKÜRLERİMİ SUNARIM.

ÖZET

ALPAGUT – DODURGA LİNYİTLERİ KAYNAK KESTİRİMİ

Oğuzhan KÜÇÜKKARASU

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz GÜL

2019, 62+xiii sayfa

Bu tez çalışmasında, Çorum ili sınırları içerisinde yer alan Alpagut – Dodurga linyit sahalarının kaynak miktarının kestirimi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda sahada yapılmış olan sondajlardan, jeolojik harita ve raporlardan yararlanılarak veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri tabanının doğruluğu sınıdıktan sonra alınan jeolojik kesitlerden jeolojik katı model elde edilmiştir. Daha sonra katı model bloklanarak her bir bloğa ait kalite öznitelik değerleri (kalori, kül, nem) jeostatistiksel metotla kestirilmiştir. Kestirim yöntemi olarak Kriging yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca kestirimin doğruluğunu sınamak için çapraz doğrulama yapılmıştır.

Çalışmanın sonucunda linyit damarları 3 boyutlu olarak modellenmiş ve kaynak miktarı yaklaşık 19,5 milyon m³ olarak hesaplanmıştır. Kestirilen bu kaynak miktarı söz konusu bölgeye ait olan 1955-1989 yılları arasında MTA tarafından yapılmış sondaj verilerine dayalıdır. Kaynak miktarının yeni yapılacak sondajlarla güncellenmesi hem doğruluğunun sınanması açısından hem de rezervin geliştirilmesi açısından oldukça önemlidir.

Anahtar kelimeler: Kaynak kestirimi, jeostatistik, Kriging yöntemi, Alpagut-Dodurga linyit sahası.

ABSTRACT

RESOURCE ESTIMATION OF THE ALPAGUT-DODURGA COAL FIELDS

Oğuzhan KÜÇÜKKARASU

Master of Science

Department of Mining Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Yavuz GÜL

2019, 62+xiii pages

The aim of this thesis was to estimate the amount of resources in Alpagut-Dodurga lignite fields located within the borders of Çorum province. For this purpose, a database was created by making use of drillings, geological maps, and reports. After testing the accuracy of the created database, a geological solid model was obtained from the geological sections. Then, the solid model was constructed and the quality feature values (calorie, ash, moisture) of each block were estimated by the geostatistical method. The kriging method was used as the estimation method. Furthermore, cross-validation was performed to test the accuracy of the estimation.

As a result of the study, lignite veins were modeled in three dimensions and the amount of resources was calculated to be 19,5 million m³. The estimated amount of resources is based on the drilling data that belong to the region in question obtained by MTA between 1955-1989. Updating the amount of resources with new drillings to be performed is very important both in terms of testing the accuracy and developing the reserve.

Keywords: Resource estimation, geostatistics, Kriging method, Alpagut-Dodurga lignite field.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	3
2.1 Maden Kaynağı ve Rezervi.....	3
2.2 Kaynak Kestiriminde Temel İşlemler.....	4
2.3 Jeostatistik	5
2.3.1 Jeostatistiğin avantajları.....	8
2.3.2 Jeostatistiğin dezavantajları.....	9
2.3.3 Variogram modelleri.....	9
2.3.3.1 Külçe etkisi, C_0 (Nugget, Kontrolsüz varyans).....	11
2.3.3.2 Eşik değeri, C (Yapısal varyans).....	11
2.3.3.3 Etki mesafesi, a (Range, Yapısal uzaklık).....	12
2.3.3.4 Variogram özellikleri.....	12
2.3.3.5 Variogram analiz yapılmasının nedenleri	12
2.3.4 Kriging	13
2.3.4.1 Krigleme yöntemi ile kestirimin özellikleri.....	14
2.3.4.2 Krigleme yöntemiyle variogram modelinin çapraz doğrulaması testi	15
3. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI.....	16
3.1 Kuruluş Yeri.....	16
3.2 Tarihçe	16
3.3 Sahanın Genel Durumu.....	20
3.4 Jeoloji.....	21
3.4.1 Jeoloji tarihçesi.....	21
3.4.2 Genel jeolojisi	22
3.4.2.1 Stratigrafi.....	22
3.4.2.2 Temel kayaçlar	23
3.4.2.3 Yapısal jeoloji.....	26
3.4.2.4 Ekonomik jeoloji.....	27
3.4.2.4.1 Linyitin makro özellikleri	27

3.4.2.4.2 Linyit horizonunun litolojik özellikleri.....	27
4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	29
5. LİNYİT SAHASI KAYNAK KESTİRİMİ	31
5.1 Arama ve Sondaj Çalışmaları	31
5.2 Sondaj Verilerinin Değerlendirilmesi ve Veri Tabanı Oluşturulması	36
5.3 Sondajların 3D Gösterimi.....	37
5.4 Ham Verilerin İstatistiksel Değerlendirmesi	38
5.5 Üç Boyutlu Jeolojik Katı Modelleme	41
5.6 Blok Modelleme	44
5.7 Kompozit Alma	45
5.8 Variogram Analizi.....	46
5.9 Çapraz Doğrulama.....	51
5.10 Kaynak Kestirimi.....	54
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	Kaynak ve rezervin madencilikteki süreçleri.....	3
Şekil 2.2	İdeal bir üssel variogram ve parametreleri.....	10
Şekil 3.1	Sahanın yer bulduru haritası	16
Şekil 3.2	Ruhsat sahası ve firma işletme izin alanlarının uydu görüntüsü.....	17
Şekil 3.3	Açık işletme sahası (Çelikler A.Ş.).....	18
Şekil 3.4	Açık işletme faaliyetleri (Çelikler A.Ş.)	18
Şekil 3.5	Yeraltı işletmesi girişi (Kömür İşletmeleri A.Ş.).....	19
Şekil 3.6	Yeraltı işletme faaliyetleri (Kömür İşletmeleri A.Ş.)	19
Şekil 3.7	Genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Kara vd., 1990).....	22
Şekil 3.8	Bölgenin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Erik vd., 2018).....	23
Şekil 5.1	Sondajların uydu görünümü ve ruhsat sınırı.....	33
Şekil 5.2	Sondaj lokasyon haritası	34
Şekil 5.3	MTA tarafından 1989 yılında yapılan bir sondaja ait log (Kara vd., 1990)	35
Şekil 5.4	Sondajların 3D görünümü.....	37
Şekil 5.5	Sahaya ait AID histogram grafiği	38
Şekil 5.6	Sahaya ait kül histogram grafiği	39
Şekil 5.7	Sahaya ait nem histogram grafiği	39
Şekil 5.8	Sahaya ait AID-Kül saçılma diyagramı	40
Şekil 5.9	Sahaya ait AID-Nem saçılma diyagramı	40
Şekil 5.10	Sahaya ait Kül-Nem saçılma diyagramı	41
Şekil 5.11	Sahadan alınan kesitlerin plan görünümü	42
Şekil 5.12	Sahaya ait linyit damarı katı modeli	42
Şekil 5.13	Katı modelin plan görünümü ve özellikleri	43
Şekil 5.14	Birleştirilmiş katı modelin plan görünümü ve özellikleri	43
Şekil 5.15	Blok modele ait plan görünümü.....	44
Şekil 5.16	Blok model özellikleri.....	45
Şekil 5.17	Uzunluk istatistik analiz değerler.....	45
Şekil 5.18	Kompozitleme işlemi	46
Şekil 5.19	AID'ye ait küresel tipte düşey variogram modeli.....	47
Şekil 5.20	AID'ye ait küresel tipte yatay variogram modelleri	48
Şekil 5.21	Kül miktarına ait küresel tipte düşey variogram modeli.....	49
Şekil 5.22	Kül miktarına ait küresel tipte yatay variogram modelleri	49
Şekil 5.23	Nem miktarına ait küresel tipte düşey variogram modeli	50
Şekil 5.24	Nem miktarına ait küresel tipte yatay variogram modelleri	51
Şekil 5.25	Gerçek AID ile Kestirilmiş AID saçılma diyagramı.....	52
Şekil 5.26	Gerçek kül değeri ile Kestirilmiş kül değeri saçılma diyagramı.....	52
Şekil 5.27	Gerçek nem değeri ile kestirilmiş nem değeri saçılma diyagramı	53
Şekil 5.28	AID dağılım haritası	55
Şekil 5.29	Kül dağılım haritası.....	56
Şekil 5.30	Nem dağılım haritası.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Yıllara göre yapılan sondajlar	20
Çizelge 5.1 Veri tabanına esas teşkil eden bazı linyit kalite öz nitelik bilgileri	32
Çizelge 5.2 AID, kül ve nem çapraz doğrulama sonuçları	53
Çizelge 5.3 AID blok raporu	55
Çizelge 5.4 Kül blok raporu	56
Çizelge 5.5 Nem blok raporu	57



1. GİRİŞ

İnsanoğlunun hayatında kömürün önemli bir yeri vardır. Kömür; elektrik üretimi, demir-çelik ve çimento imalatı ve endüstriyel proseslerde buhar üretimi gibi birçok alanlarda kullanılmakta olup aynı zamanda ısınma amaçlı evsel yakıt olarak da tüketilmektedir. Birçok ülkede elektrik üretiminin önemli bir bölümü kömürden karşılanmaktadır. Bu oran; ABD’de ve Almanya’da %53, Yunanistan’da %69, Çin’de %75, Danimarka’da %77, Avustralya’da %83, Güney Afrika’da %93, Polonya’da %95’dir. Türkiye’de ise bu oran, yukarıda verilen örnek ülkelerle kıyaslandığında daha düşük düzeyde olup %32 civarındadır (Url-1).

Son otuz yılda dünya kömür üretimi yaklaşık iki kat artmıştır. Bu artışın en büyük nedeni, başta Çin olmak üzere Asya kıtasındaki ülkelerin elektrik enerjisine olan taleplerinin artmasıdır. Nitekim Asya-Pasifik Bölgesinin elektrik enerjisi üretimi son on yılda yaklaşık olarak iki kat artmış ve bu üretimde yaygın kaynak olarak kömür kullanılmıştır (TKİ, 2016).

2015 yılında Almanya 178 milyon ton linyit üretimi ile dünya linyit üretiminde en büyük paya sahip ülke konumundadır. Dünya linyit üretiminde 2014 yılında beşinci büyük üretici olan ülkemiz ise, 2015 yılında 56,1 milyon ton üretim ile altıncı büyük üretici konumunda yer almıştır (TKİ, 2016).

Ülkemizin gerek artan enerji gerekse ısınma amaçlı evsel yakıt gereksinimlerinin karşılanması amacıyla faaliyet gösteren Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Kurumu hemen hemen tamamı görünür rezerv kategorisine alınmış 3,7 milyar ton rezervi ile ülkemizin linyit rezervlerinin yaklaşık %25’ine sahiptir. Ancak bu rezervlerin değerlendirilmesi aşamasında büyük öneme sahip olan kalori, kül ve nem içeriği gibi kalite değişkenlerinin linyit yataklarında nasıl dağılım gösterdiğine ilişkin sınırlı sayıda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, gerek TKİ’ye ait mevcut sahaların gerekse de diğer sahaların kalite açısından çeşitliliğinin tespit edilerek değerlendirilmesi hususu önem arz etmektedir.

Maden kaynaklarının insanoğlunun hizmetine sunulmasında; bir yandan ekonomik ölçeğin sağlanması, diğer yandan üretim faktörlerinin makul bir düzeyde korunması ve aynı zamanda iş sağlığı ve iş güvenliği kriterlerinin ve/veya emniyet kriterlerinin karşılanması gerekmektedir. Etkin bir üretim planlaması yapılabilmesi için linyit

yataklarının nicelik ve nitelik özelliklerinin belirlenmesi ve bu hedef doğrultusunda madencilik faaliyetlerine yön verilmesi gerekmektedir. Bu husus ancak planlı ve uluslararası standartlara uygun bir şekilde hazırlanan projelerle mümkün olmaktadır. Maden yataklarının bu kapsamda değerlendirilebilmesi amacıyla birçok yöntem (Ters mesafenin karesi yöntemi, en yakın komşu yöntemi, kriging vb.) geliştirilmiştir. Yöntemlerde öncelikli amaçlardan biri jeolojik blokların kalite öznelik değerlerinin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi ve tematik olarak haritalandırılarak analiz edilebilmesidir. Bu yaklaşım sonucunda hedeflenen üretim kapasitesi ve ürün kalitesi ile ekonomi arasındaki optimum nokta belirlenecek ve böylece işletmenin devamlılığı en güvenli şekilde sağlanmış olacaktır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Alpagut – Dodurga Linyit sahalarına ait kömür kaynağının jeostatistiksel yöntemler aracılığıyla kestirilebilmesidir. Bu amaç doğrultusunda yapılmış çalışmalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- i. Çalışma sahasında önceden yapılan sondajlar, jeolojik harita ve raporlardan yararlanılarak bir veri tabanı oluşturulması
- ii. Oluşturulan veri tabanının doğruluğunun kontrol edilmesi ve gerekli düzeltmelerin yapılması
- iii. Sondaj hatlarından kesitler alınarak katı modellerin oluşturulması
- iv. Oluşturulan katı modellerin blok modellere ayrılması
- v. Her bir blok için kalori, kül ve nem içeriği gibi kalite özneliklerinin Kriging yöntemi ile kestirilmesi

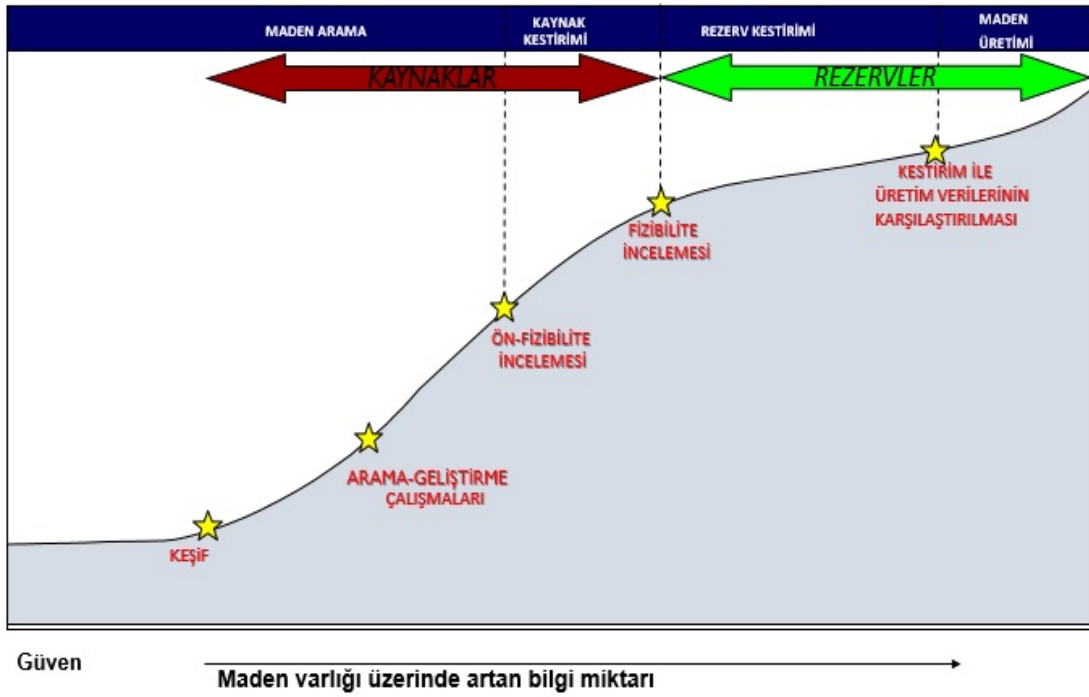
Çalışma, giriş bölümü dahil toplam altı bölümden oluşmaktadır. Her bir bölüm aşağıda özetlenmiştir.

Tezin ikinci bölümünde maden kaynağı ve rezerv kavramları, kaynak kestirimine ait temel işlemler ile jeostatistiksel yöntemlerden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde çalışma alanının tanıtılması amacıyla kuruluş yeri, alt yapı durumu, sahanın tarihçesi, bölgenin coğrafyası ve jeolojisi ile sahada yapılan sondaj çalışmalarına değinilmiştir. Dördüncü bölümde maden havzası ile ilgili daha önceki yıllarda yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir. Beşinci bölüm, sahada yapılan kömür kaynak kestirimini içermekte olup son bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Maden Kaynağı ve Rezervi

Bir madenin arama kısmından üretim kısmına kadar geçen süreçleri maden kaynağı ve maden rezervi ilişkisini de içerecek şekilde Şekil 2.1’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, maden varlığına yönelik bilgilerin artışına bağlı olarak maden kaynağı kavramı maden rezervi kavramı ile örtüşmekte, diğer bir ifadeyle fizibilite çalışması sonucuna bağlı olarak kaynaklar artık rezerv olarak değerlendirilebilmektedir.



Şekil 2.1 Kaynak ve rezervin madencilikteki süreçleri

Maden kaynağı; madencilik boyutu, lokasyonu, sürekliliği ve sınır tenörüne bakılmaksızın yalnızca sondaj ile belirlenen bir cevherleşme değildir. Bununla birlikte günün şartlarında ekonomik bir şekilde üretime izin vermeyen bir maden sahası da maden kaynağı olarak kabul edilmemektedir. Ancak varsayılan, kanıtlanabilen, teknik ve ekonomik olarak işletilebilirlik gösteren bir cevherleşme kaynak içinde yer alabilmektedir.

İleride ekonomik işletilebilirlik açısından potansiyeli olan bir varlık olan maden kaynağı; cevher hazırlama, maden işletme, ekonomik, çevresel ve toplumsal etmenler ile ilgili

birçok bilgiye gereksinim duymaktadır. Bu bilgiler kaynak miktarı ve özniteliklerin lokasyona bağlı değişimlerin belirlenebilmesi açısından önemlidir. Bu yüzden bu bilgilerin doğru bir şekilde düzenlenerek elektronik ortamda saklanması gerekmektedir.

2.2 Kaynak Kestiriminde Temel İşlemler

Kaynak kestirimi; veri tabanının oluşturulması, jeolojik modelleme, blok modelleme ve kalite öznitelik değerlerinin kestirimi olmak üzere dört temel aşamadan meydana gelmektedir. Bu aşamalar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

i. Veri tabanının oluşturulması: Kaynak kestiriminde ilk aşama amaca uygun bir veri tabanının oluşturulmasıdır. Maden kaynağını tespit etmek için toplanan bilgilerin saklandığı veri tabanında; jeolojik veriler, jeofiziksel ve jeokimyasal veriler, sondaj verileri, analiz değerleri, yoğunluk ve kayaç kalitesi gibi veriler yer almaktadır. Bu aşamada; verilerin dağılımı, duruma göre gerekli olması halinde dönüşümünün yapılması ve dönüştürülmüş verilerin dağılımının normal dağılıma olan uygunluğunun araştırılması gerekmektedir.

ii. Jeolojik yorumlama ve modelleme: Veri tabanının nihai olarak oluşturulmasından sonra jeolojik yorumlama ve modelleme aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada cevher sınırını belirlemek amacıyla litoloji, yapısal jeoloji, topoğrafya, yoğunluk ve analiz sonuçları gibi verilerden yararlanılmaktadır. Böylece birbirinden farklı yönlerde alınan kesitler aracılığıyla cevherin jeolojik katı modeli oluşturulabilmektedir. Oluşturulan jeolojik katı model daha sonra bilgisayarda üç boyutlu olarak gösterilmektedir.

iii. Blok model oluşturulması: Cevherin jeolojik katı modeli oluşturulduktan sonra üç boyutlu blok model oluşturulması amacıyla cevherli zonların boyutları, dağılımı, düşünülen maden işletme yöntemi ve kazı ekipmanlarının durumuna uygun bir modelleme tekniği belirlenmelidir. Bu aşamada kompozitleştirme ve blok boyutlarının belirlenmesinde aşağıda açıklananlar dikkate alınmalıdır.

*** Kompozitleştirme:** Sondaj loglarından alınmış farklı uzunluktaki karot örneklerinin eş uzunluktaki örneklere dönüştürülme işlemi kompozitleştirme olarak tanımlanmaktadır. Kaynak kestiriminde, farklı uzunluktaki örnekler

farklı istatistiksel sonuçlara yol açacağından, eş uzunluğun belirlenmesi çok önemlidir. Eş uzunluk; linyit horizonundan alınan numunelerin boyutlarına, basamak yüksekliğine ve damar kalınlıklarına bağlı olarak değişmektedir.

- * **Blok boyutlarının belirlenmesi:** Blok boyutları yine uygulanacak madencilik yöntemine bağlı olarak değerlendirilmekle birlikte en önemli unsurlardan biri olan sınır tenörün belirlenmesi ve sınır tenörü etkileyen saha lokasyonu, büyüklüğü ve maliyetler gibi faktörler de incelenmelidir. Katı modeldeki hacme uygun olacak şekilde model kenarlarındaki blok boyutlarının optimum şekilde belirlenmiş olması gerekmektedir.

iv. Kalite öznitelik değerlerinin kestirimi ve doğruluğunun sınanması: Blokların kalite öznitelik değerlerinin kestirimini yapmada çokgen yöntemi, uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma, krigleme teknikleri ve jeoistatistiksel benzetim gibi kestirim yöntemlerinden hangisinin uygulanacağına karar vermek son derece önemlidir. Bunu belirlemek için cevher yatağının jeolojisi, tenör dağılımı ve yüksek tenörlü değerlerin varlığının bilinmesinin gerektiği kadar araziden alınmış sondaj verilerinin yeterli ve uygun bir şekilde alınmış olması gerekmektedir. Bu aşamada yukarıda verilen jeoistatistiksel kestirim tekniklerinden uygun olanı kullanılarak her bir blok için cevhere ait kalite öz nitelik değerleri (kalori, kül, nem vb.) atanmaktadır. Her bir bloğun sahip olduğu kalite öz nitelik değeri ile birlikte lokasyonu ve büyüklüğünü gösteren harita çizilerek cevher yatağının üç boyutlu jeoistatistiksel değerlendirmesi yapılır. Bu şekilde elde edilen verilerin cevherleşmeyi temsil durumu incelenir. Son süreçte ise kaynak modeline ait doğruluk sınanmaktadır. Blok modelin plan ve kesitler üzerinde kompozit değerleri ile karşılaştırılması, blok ve kompozit ortalamalarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.3 Jeostatistik

Jeostatistik, mekânsal ve/veya mekânsal-zamansal verilerin bir alt kümesine odaklanan istatistiğin bir dalıdır. Yarıçapla ölçülen mekânsal değişkenliğin karakterizasyonu, nokta gözlemlerinden mekânsal enterpolasyon yoluyla tahmin haritalarının oluşturulması ve

enterpolasyonlu haritaların doğruluğunun nicelleştirilmesi yeteneğine sahiptir (Heuvelink, 2014).

Bir başka ifadeyle jeostatistik, kömür ya da cevher rezerv miktarlarının tahmininde ve maden değerlendirme açısından verilerin sahaya dağılımının belirlenmesinde uygulanan istatistik biliminin jeolojik olaylar için geliştirilmiş ayrı bir dalıdır.

Klasik istatistikte, hesaplamalar için yararlanılan parametreler birbirlerinden bağımsız kabul edilirken, jeostatistikte araziden alınan numuneler arasında, aralarındaki uzaklığa bağlı olarak belirli bir ilişkinin olduğu kabul edilmektedir. Bu durum klasik istatistiği jeostatistikten ayıran en önemli özelliktir.

Jeoistatistik; bölgesel değişkenler teorisinin yerbilimleri problemlerine uygulanması sonucunda ortaya çıkmıştır. Bölgesel değişken, belirli bir bölgeye özgü olan ve en az bir koordinatla ifade edilebilen değişkendir. Kalori, tenör, kalınlık gibi parametreler bölgesel değişkenin klasik örneklerindedir (Aktan, 2015).

Bölgesel değişkenler esasına dayanan jeostatistik, alınan numunenin değeri kadar bulunduğu yeri ve yönü bakımından da dikkate alınmalıdır. Bölgesel değişkenin en temel özelliği uzaklığa bağlı bir ilişki göstermesidir. Bu ilişki, bir maden yatağından birbirine yakın olarak alınan örneklerin tenör değerlerinin birbirine yakın olması ve birbirinden uzak mesafede alınan örneklerin tenör değerlerinin uzak olması durumudur. Bu durum “değişkenin etki mesafesi” olarak da tanımlanmaktadır (Kim ve Knudsen, 1977). Numuneler arasındaki bu ilişki “variogram fonksiyonu” ya da kısaca “variogram” olarak bilinmekte ve ayrıca jeostatistiksel bir tahmin yöntemi olan kriging yönteminde kullanılmaktadır.

Tenör değerlerindeki farkların uzaklığa bağlı değişimi aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir (Tercan, 2011).

$$f(h) = z(x) - z(x+h) \quad [2.1]$$

Burada;

$z(x)$: Bir maden yatağının herhangi bir x noktasındaki değerini,

$z(x+h)$: $z(x)$ 'den h kadar uzaklıktaki bir noktanın değerini göstermektedir.

Jeoistatistikte uzaklığa bağlı ilişkinin ölçülmesi ve modellenmesinde $f(h)$ fonksiyonu variogram olarak adlandırılır ve aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır.

$$2\gamma(h) = \frac{1}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x) - z(x+h)]^2 \quad [2.2]$$

Burada;

$\gamma(h)$: Variogram fonksiyonunu,

$n(h)$: Aralarında h mesafesi bulunan örnek çiftleri sayısını,

$z(x)$: Herhangi bir x noktasındaki değeri,

$z(x+h)$: $z(x)$ 'den (h) kadar mesafedeki bir noktanın değerini ifade etmektedir.

Kaynak/Rezerv hesaplamalarında variogram fonksiyonlarından faydalanabilmek için her uzaklık değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bir analitik fonksiyonun variogram modeli olarak sayılabilmesi için variogram modeli olarak kullanılacak fonksiyonun pozitif tanımlı olması gerekmektedir (Tercan,2011).

Bir jeostatistiksel analiz yapabilmek için öncelikle verilerin bazı varsayımları ve koşulları sağlaması gerekmektedir. Bu koşullar aşağıdaki gibi özetlenmiştir (Ersoy ve Yünsel, 2008).

- Örnekler uygun yöntemler ile doğru bir şekilde alınmalı ve tekrar alınabilmeye olanak sağlamalıdır. Bütün örneklere yapılan analizlerde aynı yöntemler uygulanmalıdır (örneğin kimyasal analizler).
- Alınan örnekler alındığı kütleyi temsil etmelidir. Diğer bir ifadeyle, alınan örnekler ile tüm kütle özellikleri benzer özellik göstermelidir.
- Alınan örnekler tüm kütlede tamamlanmamış değil, tüm kütleyi temsil edecek oranda küçük miktardan oluşmuştur.
- Alınacak tüm örnekler ana kütlede rastgele bir şekilde tesadüfen ve kütlede bağımsız olarak alınmalıdır. Buradaki en önemli faktör tarafsızlığın

sağlanmasıdır. Eğer analiz edilecek alanda belli bir bölgeye yoğunlaşırsa, tüm kütlenin değil, belirli bir alanın tarafı olacak sonuçlar tahmin edilecektir.

- Son olarak alınan tüm örnekler yukarıda sayılan koşulları sağlamalı, jeostatistiksel yöntemlerle elde edilen veriler üzerine başarılı bir şekilde uygulanabilmelidir.

Bir jeostatistiksel analiz üç temel aşamadan oluşmaktadır (Ersoy ve Yünsel, 2008).

Tanımlayıcı istatistiksel analiz: Veri dağılımının, özet istatistiğinin, histogramların ve Q-Q grafiklerinin yapıpı incelendiği aşamadır.

Variogram analizi ve model doğrulama testleri: Hammadde devamlılığı, anizotropi, yönlü ve yönsüz variogramlar, çapraz doğrulama, histogram ve variogram geri üretim testleri uygulanır.

Tahmin ve Simülasyon: Tahmin hesaplamaları ile tenör ve rezerv ilişkisi, kalite haritaları, kesitler ve rezerv gibi daha çok sayısal sonuçlar elde edilir. Simülasyon sonucunda gerçek veri dağılımı, değişkenlerin değişimi, olasılık, ortalama ve standart sapma haritaları yapılır. Simülasyon geri veri üretimi ile test edilir. Bunlar madenin işletme ve üretim planlamasında yardımcı olur.

2.3.1 Jeostatistiğinin avantajları

Jeostatistiğinin bazı temel avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Erel, 2011).

- Maden yataklarının sürekliliği ve devamlılığıyla ilgili bilgi sunar.
- Maden yatağındaki uyumsuzlukların büyüklüğünü tespit eder.
- Numune alma işleminin doğruluğu ve optimum numuneleme dizaynı hususunda yardımcı olur.
- Jeostatistiksel tahmin, eldeki verilerin toplam değişkenliğiyle ilişkili olarak yuvarlak bir tahmin değeri veya yakın olabilecek verilere dayanarak korelasyonu kullanır. Veri sayısı çoğaldıkça tahmin edilen değer, ilgili alanı daha iyi tanımlarken, veri sayısının azlığı ilgili alanın belirsizliğini artırır.
- Bazı durumlarda homojen olarak yayılma göstermeyen numunelerin olduğu bölgelerdeki gözlenen kümelenmenin etkisini azaltmak ve homojen bir ağırlıklandırma sağlamak için dağıtma tekniği kullanılır.

- Alınan örnekler sahada belirli yön veya yönlerde daha yüksek korelasyon gösteriyor ise, bu yön veya yönlerde kriging ağırlıkları daha fazla olacaktır. Yönlü yarıvariogramlar ile bu yönler tespit edilebilir.
- Tahmini yapılacak olan sahada, yarıvariogram ilişkisi mevcut olan eldeki veriler ışığında en iyi tahmini yapar. Ancak yarıvariogram mevcut eldeki verilerden türetildiğinden sadece bir yaklaşım olarak kalacaktır. Dolayısıyla sahadaki değişimi tam olarak yansıtmayabilir.
- Maden işletmesi ve üretim planlaması hususunda gerçeğe en yakın olarak yardımcı olur.
- Yapılan tahminlerin sonrasında tahminin hata oranı hususunda da bilgi verir.

2.3.2 Jeostatistiğin dezavantajları

Jeostatistiğin yetersiz yönleri ve veri azlığının olduğu şartlardaki dezavantajları şöyle özetlenebilir (Erel, 2011).

- Bölgesel değişkenlerin uzaysal değişimi, çoğunlukla sahadaki faylarla, çatlaklarla ve kırıklıklarla verinin dağılım yapısını bozması ve karmaşık bir duruma getirmesi ile sonuçlanır. Veri azlığının olması süreksizlik boyunca yumuşatılmış tahminlerin yapılmasına sebep olur. Ancak jeolojik yapıların jeostatistiğe entegre edilmesi ile bu durum çözülebilir.
- Çoğu değişkenler ham veri durumundayken normal dağılım göstermezler. Ancak jeostatistiksel bir analizde verilerin normal bir dağılım göstermesi beklenir. Özellikle benzetim tekniğinde bu şarttır. Fakat verilerin normal dağılıma uymadığı hallerde, normal dağılım dönüşümleri uygulanır. Bu sefer de geri dönüşümde de bir takım bazı sorunlarla karşılaşmaktadır.

2.3.3 Variogram modelleri

Variogram modelleri, jeostatistiğin ve bölgesel değişkenler teorisinin ana unsurlarından biridir. Basit bir örnek ile araziden sondajla veya el ile alınan numuneye ait olan herhangi bir veri bölgesel değişkendir ve bölgesel değişkenin en önemli özelliği rastgele olmasıdır.

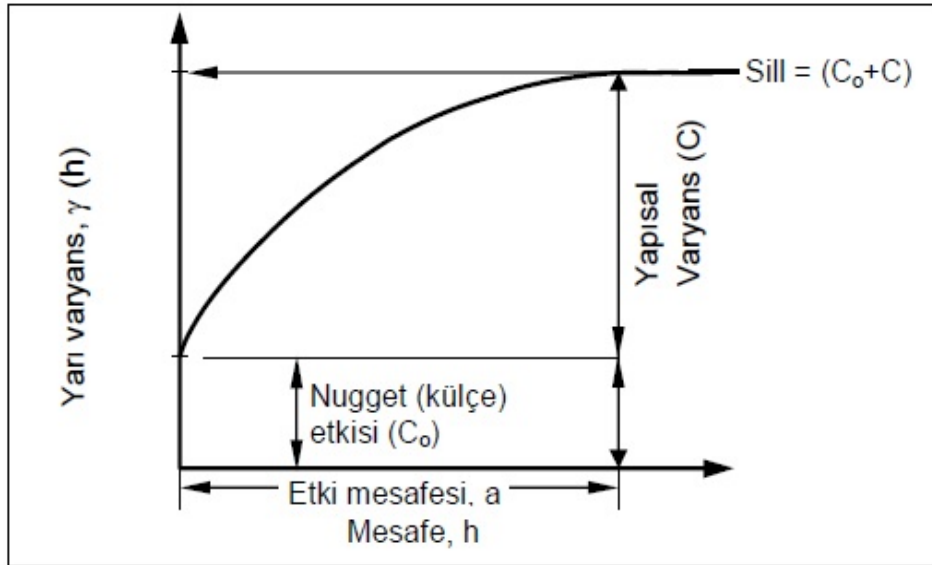
Variogram modellemesi ve yorumlaması, spatial (uzaysal) korelasyonun ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Üç boyutlu modellerin davranışında variogramın çok büyük önemi vardır. Genel olarak variogram analizi, veri

dağılımının uzaklığa ve yöne bağlı olarak değişimini tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle veriler dağılım yapısına uygun bir şekilde modellenir. Daha sonraki tahmin aşamasında faydalanılmak üzere bu model parametreleri temel teşkil eder.

Variogram bir cevher yatağında tenörün mesafe ile nasıl bir değişim gösterdiğini anlatan eğridir (Royle, 1979; Royle,1982).

Variogram değişkenleri sill değeri, külçe etkisi ve etki mesafesidir. Variogram fonksiyonunun belirli bir düzlüğe eriştiği nokta sill değeri olarak tanımlanır. Pratikte bu değer variogram hesaplama amacıyla kullanılan tüm örnek numunelerin varyansıdır. Külçe etkisinin yüksek olması, mineralleşmenin çok zayıf bir şekilde sahaya yayılım gösterdiğini ya da numune değerlendirilmesinin iyi yapılmadığını ifade eder. Etki mesafesi ise variogram fonksiyonunun düzlüğe eriştiği noktaya uzaklıktır. Belirtilen bir sondaj noktasından belirli bir uzaklıkta bulunan diğer sondaj noktalarının değerlerinin o sondaj noktası değerini etkilediğini anlatmaktadır. Bu uzaklık etki mesafesi olarak tanımlanmaktadır ve bu uzaklığın dışındaki sondaj noktalarının, belirtilen sondaj noktasının değerine etkisi bulunmamaktadır (David, 1977; Journel ve Huijbreghts, 1978).

İdeal bir üssel variograma ait parametreler Şekil 2.2’de gösterilmiş olup variogram modelini oluşturan üç parametre ve özellikleri ile variogram analizinin yapılma nedenleri sunulmuştur (Erel, 2011).



Şekil 2.2 İdeal bir üssel variogram ve parametreleri (Erel, 2011)

2.3.3.1 Külçe etkisi, C_0 (Nugget, Kontrolsüz varyans)

Uzaklığa bağlı değişimin mevcut veriler aracılığıyla tespit edilebileceği sınır bir uzaklık vardır. Tüm örnekler arasında birbirine en yakın iki örnek arasındaki uzaklık, sınır uzaklıktır. Pratikte, bu uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda, bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkın değişimi veri olmadığından tespit edilemez ve bu durum variogramın sıfırdan farklı pozitif bir değer almasına sebep olur (Tercan, 2011).

Genel özellikleri aşağıdaki gibidir.

- i. Nugget, deneysel variogramlarda örneklerin birbirleriyle arasındaki uzaklıkla doğru orantılı iken örneklerin birbirleriyle olan uyumuyla ise ters orantılıdır.
- ii. Verilerin belirli bir yerde toplanması halinde orantılı bir nugget etki görülür.
- iii. Veri azlığı variogramın eksik yorumlanmasına neden olduğu gibi, ölçüm hataları da variogram için model seçimini ve kriging kullanımını engelleyerek variogramın eksik yorumlanmasına sebep olur.
- iv. Nugget etki genel olarak izotropik olarak modellenmektedir. Ancak, etki mesafesinin en küçük örnekleme aralığından daha küçük olması halinde, nugget anizotropik olarak modellenebilir.
- v. Nugget etki, örnekleme kalitesinin bir ölçüsüdür. Nugget etkinin yüksek olduğu örneklerde değişkenlik fazla iken, düşük olduğu örnekler arasındaki uyum ise daha fazla yani, değişkenlik daha azdır.

2.3.3.2 Eşik değer, C (Yapısal varyans)

Eşik değer, bir popülasyondaki birbirinden bağımsız iki farklı numunenin değişkenliğidir. Variogram grafiğinde değişimin sonlandığı ya da sabit bir hal aldığı noktanın ekseni ile kesiştiği nokta olarak ifade edilir.

Yapısal varyans, yarıvariogramın tepe noktasına ulaştığı nokta ile nugget arasında kalan varyansın ifadesidir. Bu ifade veri dağılımının bir ölçüsü olarak ifade edilir.

En tipik özelliği aşağıdaki gibidir:

- i. Yarıvariogram değeri sill değerinden ($C+C_0$) fazla ise negatif korelasyon
- ii. Yarıvariogramın değeri sill değerinden az ise pozitif korelasyon
- iii. Yarıvariogram sill değerine eşitse sıfır korelasyon

2.3.3.3 Etki mesafesi, a (Range, Yapısal uzaklık)

Etki mesafesi matematiksel olarak numuneler arasında korelasyonu gösterecek maksimum uzaklık olarak ifade edilebilir. Bu mesafe aşıldıktan sonra oluşturulacak matematiksel bağıntı rastgele olacaktır. Bir başka ifadeyle, variogram grafiğinde yarıvariogramın sill'e ulaştığındaki y eksenini ile arasındaki yatay uzaklıktır.

Tahmin aşamasında, tahmin edilecek noktanın değerinin belirlenebilmesi ancak çevresindeki numunelerin ne kadar uzaklığa kadar tahmine katkıda bulunacakları ile ilişkili olduğundan etki mesafesi önemli bir parametredir. Etki mesafesi fazla olan bir değişken daha fazla etkili olacağından bu durum yeni sondajların açılmasına ve sondaj yeri belirlenmesine de faydalı veriler sağlamaktadır (Ersoy ve Yünsel, 2008).

2.3.3.4 Variogram özellikleri

Anizotropi, madenin karakteristik özelliklerinin yönlere göre değişmesi iken, izotropi ise bunun tam tersidir. Variogram modellemesinde iki çeşit anizotropi vardır.

- Geometrik anizotropi: Aynı "sill" değerlerine ve farklı "etki mesafesi" değerlerine sahip yönlü variogramlara denir. Değişkenin dağılım mesafelerinin yönlere göre farklı oluşmasının sebebidir.
- Zonal anizotropi: "Etki mesafesi" değerleri aynı, farklı "sill" değerlerine sahip yönlü variogramlara denir. Variogram eğrisi beklenen sill varyansına ulaşmamaktadır. Farklı cevherleşmeler olduğu sonucu çıkabilir (Erel, 2011).

2.3.3.5 Variogram analiz yapılmasının nedenleri

Sondajlardan alınan numunelerin yeterliliğinin tespiti, anizotropluk ve jeolojik eğilim gibi durumların ortaya konulabilmesi ve varsa hataların düzeltilebilmesi açısından variogram analizi yapılması oldukça önemlidir.

Variogram, jeolojik değişim ve numuneler arasındaki uzaklığın bir ölçüsü olarak ifade edildiğinden, variogram modelinin davranışlarını tespit edebilmek için yönlü variogram yapılması gerekmektedir. Variogram dört temel yönde hesaplanmaktadır. Bu yönler; 0^0 (D-B), 90^0 (K-G), 45^0 (KD-GB), 135^0 (KB-GD) (diyagonal) biçimindedir.

Ayrıca, kirlilik, yüzey numunesi gibi 2 boyutlu variogram analizlerinde ya da başka bir ifadeyle noktasal örneklemelerde de 4 temel yön baz alınarak kısmen kolay olabilecek bir anizotropik variogram analizi yapılabilmesine karşın, bazı durumlarda sondaj kuyusu, logu, kompozit veriler, maden rezervi tahmini gibi 3 boyutlu verilerin analizi sırasında bu durum zorlaşmaktadır (Rendu ve David, 1979; Ersoy vd., 2004).

2.3.4 Kriging

Bir cevher bloğunun öz niteliksel değerini (tenör, kalori, kalınlık vb.) bloğun içindeki ya da çevresindeki örnek değerlerinin doğrusal kombinasyonu şeklinde hesaplayan, jeostatistiğin tahmin etme yani kestirebilme ögesi kriging olarak ifade edilir.

Bir başka ifade ile Kriging, gözlenemeyen bir lokasyondaki değer, mekânsal korelasyonu tanımlayan bir modele göre ağırlık değerlerini kullanarak, çevre lokasyonlardaki değerlerin doğrusal bir kombinasyonu ile tahmin edildiği bir jeostatistiksel enterpolasyon yöntemi grubunu ifade eder (Bostan, 2017).

Kuzey Afrikalı olan Maden Mühendisi Daniel Krige'ten ismini alan bu yöntem ile örneklenmemiş bir noktadaki değer, diğer noktalardan faydalanarak en uygun bir şekilde kestirimi yapılmaktadır.

Hemen hemen tüm kriging yöntemleri, verilerin ağırlıklı ortalamalarına dayalı tahminleri hesaplar. Genel olarak kriging tahmin formülü aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^n t_i Z(X_i) \quad [2.3]$$

Burada;

$Z^*(X_0)$: X_0 noktasında bilinmeyen ama tahmin edilen değer,

$Z(X_i)$: X_0 noktasının tahmininde kullanılan veriler,

t_i : Örneklere atanan ağırlıklar veya X_i bilinen noktaların etki ağırlıkları,

n : Hesaplamaya dahil örnek sayısı

Kriging temelindeki teori, kriging varyansı ile tahminlerin doğruluğunu ölçmeyi mümkün kılar. Kriging varyansı, gerçek değerler hakkındaki belirsizliğin bir ölçüsüdür. Başka bir deyişle, enterpolasyonlu değerlerin doğruluğunun bir ölçüsüdür (Knotters vd., 2010).

Kriging yöntemiyle kömür sahasında oluşturulan blokların kömür kalınlıklarının gerçek değerlere çok yakın tahmin edilmesi, sahadan alınan örnek numune sayısına, seçilen kriging planına ve tahmin sırasında kullanılan variogram modelinin ve değişkenlerinin doğruluk derecesine bağlıdır (Broker, 1986; Chaouai ve Fytas, 1991).

2.3.4.1 Krigleme yöntemi ile kestirimin özellikleri

Kriging tahmin yöntemi, veriler ile verilere atanacak ağırlık değerlerinin toplamından meydana gelmektedir. Ağırlık değerleri tarafsız bir şekilde ve en küçük varyans kriterleri dikkate alınarak meydana getirilen doğrusal denklemler çözümünden sağlanır. Optimum kriging ağırlık değerlerinin belirlenmesinde örneklerin birbirlerine olan uzaklıkları kadar tahmin edilmesi düşünülen nokta veya bloğa göre uzaklıkları da göz önünde bulundurulur.

Krigleme yöntemi ile kestirimde, diğer klasik kestirim yöntemlerine göre daha doğru sonuçlar elde edilmektedir. Bu yöntemin özellikleri şöyle sıralanabilir.

- Doğrusal denklem sisteminin katsayıları, variogram fonksiyonunun değerlerinden elde edilir.
- Ağırlık değerleri keyfiyetten uzak olmalıdır.
- Elde olan verilerin objektif ve sistemli olarak önceden analizi yapılır. Bu analiz sonucuna göre variogram fonksiyonu oluşturulur.
- Daha sonra variogram fonksiyonu kullanılarak ağırlık belirlenir.
- Krigleme varyansı ile da kestirim hatasının büyüklüğü değerlendirilir.

Krigleme varyansı, verilerin gerçek değerlerine bağlı değildir. Veri sayısının ve veriler arasındaki mesafenin fonksiyonudur. Bu durumdan dolayı gerçekte sondajlar yapılmadan olası lokasyonları test edip bunlar arasında en uygun olanları tespit etmek amacıyla da kullanılabilir.

2.3.4.2 Krigleme yöntemiyle variogram modelinin çapraz doğrulaması testi

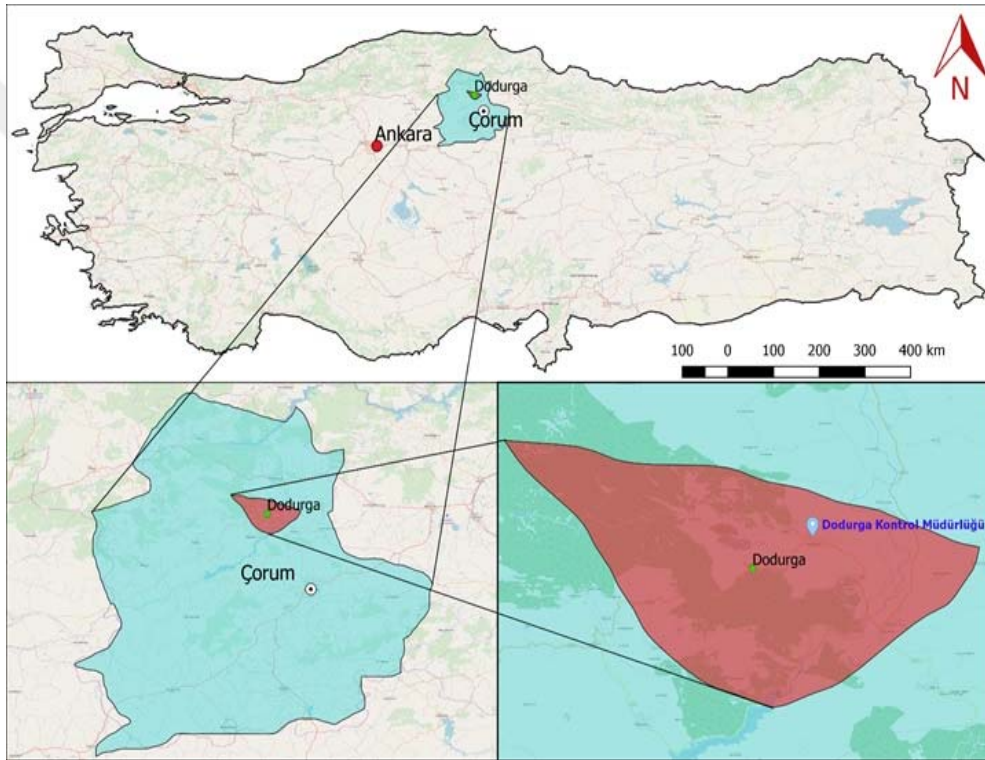
Bu test variogramın en uygun model parametrelerinin tespit edilmesi amacıyla yapılır. Yapılan analiz sonucunda elde edilen modellerin doğruluğu çapraz doğrulama ile test edilmektedir. Çapraz doğrulamayla, yarıvariogram modellemesinin sahadaki verinin gerçek dağılım yapısını ne derece iyi yansıttığı belirlenir. Kısaca bu bir uyumluluk testidir.

Bu test gerçekleştirilirken, arazideki bilinen gerçek bir değer silinir ve etrafındaki komşu parametreler aracılığıyla ve yarıvariogram parametrelerinden de faydalanarak silinen nokta için tahmin yapılır. Tahmin yapılan lokasyonda gerçek değerle kestirilen değer arasındaki fark (tahmin hatası) hesaplanır. Her bir nokta için bu işlem tekrarlanır. Mükemmel bir uyum için tahmin hatalarının dağılımı, sıfır ortalama ve en az varyansla simetrik olmalıdır. “Ortalama hata” veya “Artık değerlerin ortalaması” olarak ifade edilen bu değer, variogram modellerinin doğruluğunun ölçüsüdür. Ortalama hatanın “0” olması gerçek değer ile variogram modelinden kestirilen değerlerin örtüştüğü anlamına gelir. Değerin “0” a yaklaşması kestirimin hassasiyetinin üst düzeyde olduğunu gösterir.

3. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI

3.1 Kuruluş Yeri

Kömür sahaları Çorum'a 49 km ve Osmancık İlçesine 20 km mesafede olup Çiftlikköy-Tutuş ve Alpagut köyleri arasında yer almaktadır. Linyit işletmesinin yerbulduru haritası Şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1 Sahanın yer bulduru haritası

3.2 Tarihçe

Sahadaki linyit varlığı ilk olarak 1938 yılında tespit edilmiş olup ilk işletme ruhsatı Çorum İl Özel İdare uhdesinde Tutuş Köyü Muhtarlığına verilmiştir. Muhtarlık zamanında sahada Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından 55 adet sondaj yapılmış olup sondajlardan elde edilen veriler doğrultusunda Tutuş Muhtarlığı sahayı 1964 yılında TKİ'ye devretmiştir. TKİ'nin buradaki çalışmaları 38 yıl boyunca Alpagut-Dodurga Linyitleri İşletmesi Bölge Müdürlüğü (ADL) tarafından yürütülmüştür.

TKİ bünyesinde bulunan Alpagut-Dodurga Linyitleri İşletmesi Bölge Müdürlüğü ise sahanın devredilmesinden hemen sonra 2002 tarihinde Doğu Anadolu Kontrol Müdürlüğüne, sonrasında 2004 tarihinde Dodurga Kontrol Başmühendisliğine ve daha sonrasında ise 2009 tarihinde Dodurga Kontrol Müdürlüğüne dönüştürülmüş ve halen bu kapsamda faaliyetlerine devam etmektedir.

TKİ Yönetim Kurulunun 19.06.2002 tarih ve 28/201 sayılı kararı ile ADL işletmesinin faaliyetlerinin durdurulması ve yine TKİ Yönetim Kurulunun 09.08.2002 tarih ve 37/255 sayılı kararı ile sahanın ihale edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu şekliyle saha 2002 yılında Çelikler A.Ş firmasına devredilmiştir. Çelikler A.Ş firması sahayı devraldıktan sonra açık ve yeraltı işletmesi şeklinde faaliyetlerine başlamıştır. 2014 yılında Çelikler A.Ş firması tarafından yeraltı işletme faaliyetleri sonlandırılmış ve bu tarihten sonra çalışmalar sadece sahanın bir bölümünde açık işletme faaliyetleri olarak devam etmiştir. 2017 yılında, faaliyetleri durdurulan yeraltı işletmesi ise Kömür İşletmeleri Anonim Şirketi'ne rüdvans usulüyle ihale edildikten sonra 2017 yılından bu yana sahadaki çalışmalar bu iki firma tarafından yürütülmeye başlanmıştır (Şekil 3.2). Sahada açık işletmeden yıllık 200 - 250 bin ton, yeraltı işletmesinden ise 90 - 110 bin ton civarlarında üretim gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.2 Ruhsat sahası ve firmaların işletme izin alanlarının uydu görüntüsü

Sahannın açık işletme ile üretilebilir rezervinin büyük oranda tamamlanması nedeniyle bundan sonraki faaliyetlerin yeraltı işletmesi şeklinde sürdürülmesi planlanmaktadır. Çalışma sahasına ait fotoğraflar Şekil 3.3 - 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.3 Açık işletme sahası (Çelikler A.Ş.)



Şekil 3.4 Açık işletme faaliyetleri (Çelikler A.Ş.)



Şekil 3.5 Yeraltı işletmesi girişi (Kömür İşletmeleri A.Ş.)



Şekil 3.6 Yeraltı işletme faaliyetleri (Kömür İşletmeleri A.Ş.)

Sahada bugüne kadar TKİ, MTA ve Devlet Su İşleri (DSİ) kurumlarınca toplam 169 adet sondaj yapılmış olup yapılan sondajların kurumlara ve yıllara göre dağılımı Çizelge 3.1’de verilmiştir. Yapılan 169 adet sondajın 109 tanesi doğrudan mostra üzerine yapılmış sığ yüzey sondajları iken geri kalan 60 sondaj yeraltı rezervinin geliştirilmesi amacıyla daha derindir.

Çizelge 3.1 Yıllara göre yapılan sondajlar.

YIL	SONDAJI YAPAN KURUM	ADET
1949	MTA	5
1955	MTA	13
1956	MTA	14
1967	MTA	23
1979	DSİ	30
1983-1989	TKİ	45
1986	MTA	1
1988	MTA	4
1989	MTA	29
1993-1994	MTA	5
TOPLAM		169

3.3 Sahanın Genel Durumu

Sahanın morfolojik, hidrografik, ulaşım, iklim ve bitki örtüsü ile ilgili durumu aşağıda özetlenmiştir.

Morfoloji: İşletme sahasının tam ortasında bulunan Alpogut çayı NW-SE istikametindedir. Çayın kuzeyinde bulunan kısmında topoğrafya tatlı bir eğim göstermesine karşılık güney kısımlarda eğimler birden artış göstermektedir.

Hidrografi: Saha içme suyu yönünden oldukça fakir olup yerleşim bölgeleri suyu keson kuyularla temin etmektedir. İşletme sahasında su bulunduran tek kaynak Alpogut çayıdır. Bu çay işletme sahasının tam üzerinden geçtiğinden dere yatağı yeraltı suyunu beslemekle beraber işletme yönünden yer yer tehlike oluşturmaktadır. Yeraltındaki galeri boşluklarına veya eski imalatlara tasmanlardan su sızmakta, sızan bu su işletme tarafından tekrar pompayla dışarı atılmaktadır. Bu atılan su ise işletme maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Alpogut ve çevresinde bazaltlardan gelen sular ise içme suyu olarak kullanılmaktadır.

Ulaşım: İşletme sahası Çorum ili ve Osmancık ilçesine asfalt yollarla bağlı olup Çorum'a 49 km Osmancık'a ise 28 km mesafededir. Saha içerisinde yapılan çalışmalarda yağmurlu günlerde ulaşım güçlükle sağlanabilmektedir.

Yerleşim: Bu yörenin başlıca yerleşim alanları; Dodurga İlçesi, Alpagut ve Tutuş köyleridir.

İklim ve bitki örtüsü: Yöre, İç Anadolu ve Karadeniz bölgesi iklimi özelliklerini gösterir. Bitki örtüsü yönünden bölge zengindir. İşletme çevresi buğday ve meyve bahçeleri, yüksek yerler ise tamamen ormanlarla kaplıdır (Kara vd., 1990).

3.4 Jeoloji

Bölgenin jeolojisi, Kara vd. (1990) tarafından yapılan "Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Çorum-Osmancık-Dodurga-Alpagut Linyit Sahasının Jeoloji Raporu" ve Uğur (1994) tarafından yapılan "Çorum-Osmancık-Dodurga-Alpagut Linyit Sahasının Jeoloji Raporu" adlı araştırmalar kapsamında çalışılmış olup aşağıdaki bölümlerde özetlenmiştir.

3.4.1 Jeoloji tarihçesi

Osmancık-Dodurga-Alpagut yöresi Eosen'de deniz halinde olup, Eosen sonlarına doğru kara haline geçmeye başlamıştır. Eosen sonuna doğru yörede volkanik faaliyetler de başlamış olup volkanik kayaların yer yer soğan kabuğu yapısı göstermesi volkanizmanın kısmen su altı olduğunu göstermektedir.

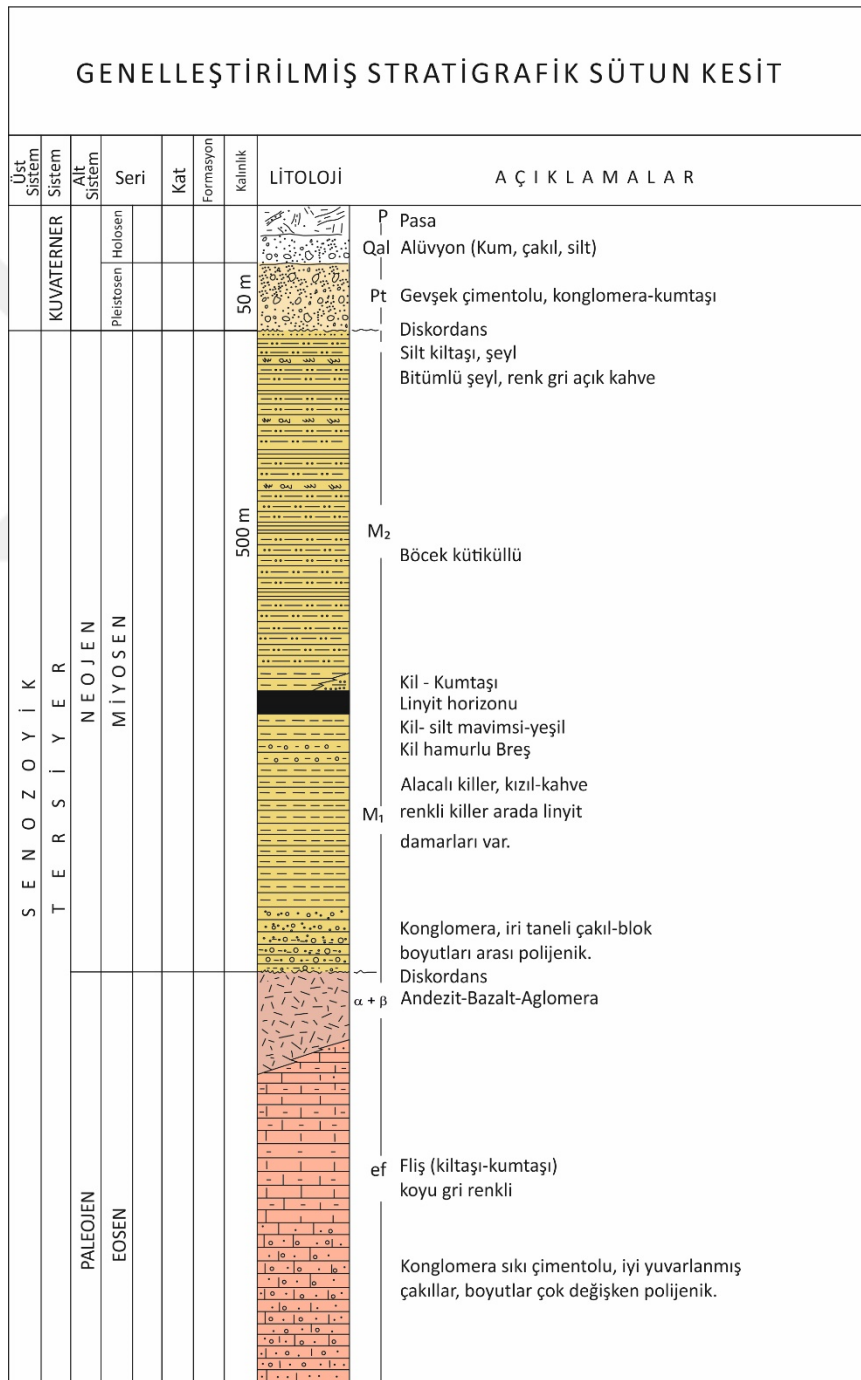
Oligosen'de yöre tamamen kara halinde olup, herhangi bir oluşum görülmemektedir.

Miyosen'de Dodurga-Tutuş-Alpagut yöresinde başlayan çökmeler linyit havzasının oluşumunda etkili olmaya başlamıştır. Havzada başlayan çökmelerin sonucunda m_1 ile simgelenen taban kısmı, iri malzemeler ve çakıl-bloklarla dolmuştur (Şekil 3.6). Bu birimin iri çakıllı ve bloklarla dolmuş olması bu sırada hızlı bir sedimantasyonun olduğunu göstermektedir. Sonrasında havzanın duraylı safhaya geçiminde linyit oluşumu başlamıştır. Linyit oluşumunu takiben; havzada derinleşme sonucu, su düzeyinin yükselmesi ile şeyl, kiltası, kil ve marn oluşmuştur (Kara vd., 1990).

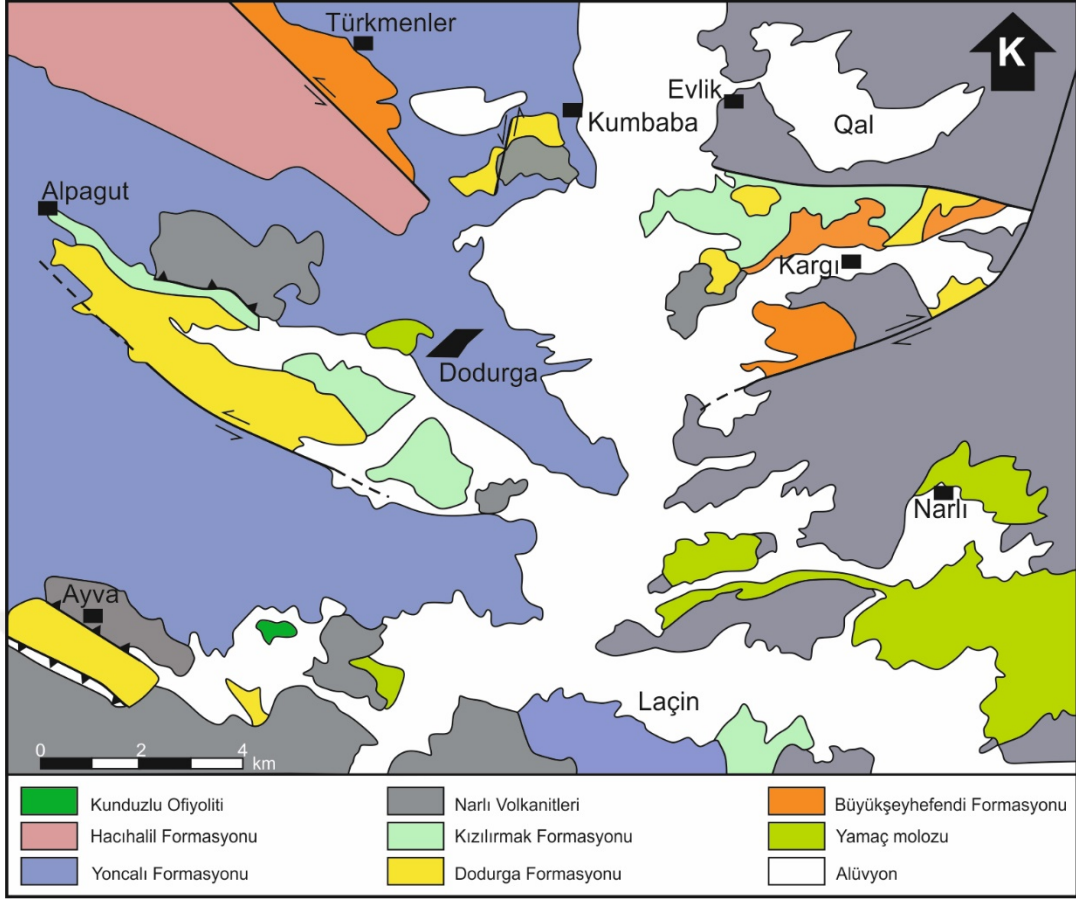
3.4.2 Genel jeolojisi

3.4.2.1 Stratigrafi

Alpagut-Dodurga sahasında linyit oluşumu Miyosen yaşlı gölsel birimler içerisinde yer almaktadır. Linyit içeren birimin temelini Eosen yaşlı kayalar oluşturmaktadır (Kara vd., 1990). Şekil 3.7’de sahanın genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti ve Şekil 3.8’de ise bölgenin basitleştirilmiş jeoloji haritası verilmiştir.



Şekil 3.7 Genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Kara vd., 1990)



Şekil 3.8 Bölgenin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Erik vd., 2018)

3.4.2.2 Temel kayalar

Eosen: Temel kayaların alt seviyesini Konglomera-Kumtaşı ardalanması, üst seviyelerini ise Siltaşı-Marn ardalanmasından ibaret flişler teşkil etmektedir. Dr. Turnowsky bu seviyeye, sahada mevcut açık ocak kuzeyinde bulduğu Globorotalia ex gr Grassata, Clobigerina Mexicana, Bulimina sp Dentalina sp fosillerine dayanarak Eosen yaşı vermektedir. Bu birimin rengi koyu gri ve açık gri renkler arasında değişmektedir. Eosen yaşlı flişler inceleme alanında, Alpagut köyünün kuzey-kuzeydoğusunda yüzeylenmektedir. Flişler üzerine uyumsuz olarak Bazalt, Andezit ve Aglomeralardan oluşan volkanik kayaç topluluğu gelmekte olup linyit havzasının kuzey ve kuzeydoğusunda Mantarlık tepe, Çiğdemlik tepe, Tokmaklı tepe ve Yassı tepede yüzeylenmektedir. Önceki incelemelerde Dodurga köyünün 250 m batısında Killidere ile Alpagut Çayının kavşak noktasından alınan numuneler üzerinde Dr. C. Kief tarafından yapılan petrografik incelemelerde, numuneler iri taneli Bazalt ve Hornblendandezit

olarak tanımlanmıştır. Volkanik kayaların Eosen yaşlı flişleri kesmesine karşılık linyitli Neojeni kesmediği gözlenmiştir (Kara vd.,1990). Ayrıca Miyosenin taban seviyesinde (m_1) volkanik çakıllar görülmektedir (Şekil 3.7). Bu gözlem volkanik kayaların Eosen sonu, Miyosen öncesi zaman aralığında oluştuğunu göstermektedir.

Miyosen: Çalışılan sahada Linyit oluşumu içermesi açısından önemlidir. Yapılan jeolojik haritada, linyit horizonunun tabanına gelen kısım m_1 ile linyit horizonu ve tavan kısmı ise m_2 ile simgelenmiştir (Şekil 3.6). m_1 ile simgelenen Miyosen yaşlı birimler, Eosen yaşlı flişler ve volkanikler üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Alpogut köyü kuzeyi ile Tutuş köyü arasında, Doğu-Batı istikametinde, Çayır mevki ve doğusunda yüzeylenmektedir. Alt seviyelerde iri çakıllar ve bloklar ihtiva etmekte iken üst seviyelere doğru tane boyutlarının azaldığı gözlenmektedir. Ayrıca çakıl litolojileri de farklıdır.

Polijenik yapıli konglomeralar inceleme alanında, Alpogut köyü girişinde linyit damarı ile temel kayalar arasında mevcut şevde görülmektedir. Volkanik kayalar çakılları, üst seviyelerde çok seyrek olmasına karşılık, alt seviyelerde daha sıktır. Gevşek çimentolu konglomera hamurunu killeri oluşturmaktadır.

Çakıllar, temele yakın kısımlarda köşeli, kötü yuvarlanmış, havza içine doğru orta yuvarlanmış şekildedir. Daha üst seviyelerde bulunan kızıl-kahve renkli killeri, sahanın doğusunda Çayır mevki civarında yüzeylenmektedir. Bu kısımda kırmızı killeri arasında linyit oluşumları vardır. Ancak bu seviyedeki linyit oluşumları hakkında yeterli veri yoktur.

Bu seviyenin üzerine breşler gelmektedir. Sahanın kuzey batısında yapılan sondajlarda (89/13, 89/20) bu seviyeler tespit edilmiştir. Breşlerin üzerinde linyit horizonu tabanında mavimsi, açık yeşil renkli killeri yer almaktadır.

Linyitli Seri (m_2): Linyit horizonu ve üzerine gelen tavan birimleri, m_2 ile simgelenmiştir (Şekil 3.7).

Linyit horizonunun üzerine tavan kayalar uyumlu olarak gelmektedir. İnceleme alanında Alpogut köyü güneyinde, Koca dere, Boztepe, Çöpmezit dere, Koca tarla, Ocak deresi ve Yayla obağı mevkiinde yüzeylenmektedir.

İstif, altta linyit damarı üzerinde siltli kil, kıltaşı ile başlar, daha üst seviyede siltli kıltaşları yer alır. Bu seviyelerde bitki izleri ve böcek kitükülleri görülür. Linyit havzası güneyinde bu seviyelere karşılık silttaşı ve Kumtaşı oluşumları gelmektedir.

Daha üst seviyelerde siltli kıltaşı, şeyl, bitümlü şeyller yer almaktadır (Kara vd., 1990). Bu istifin kalınlığı 500 m'ye ulaşmakta olup, ince ve orta kalınlıktaki düzgün katmanlardan oluşmaktadır. Renk dağılımı açık kahve, gri arasında değişmekte olup, m₂'nin üst seviyelerinde renk sarımsıdır.

Silttaşı - kumtaşı tabakaları sarımsı, bitümlü şeyller kahverengimsidir.

Pleistosen: Miyosen yaşlı birim üzerine uyumsuz olarak konglomera ve kumtaşı merceklerinden oluşan pleistosen yaşlı taraçalar gelmektedir. İnceleme alanında Alpagut köyü güneyinde, Tutuş köyü güneyinde, Dodurga'dan Tutaş'a giden yol civarında, Bayramlık mevkiinde yüzeylemektedir.

Konglomeralar polijenik olup, orta yuvarlanmış çakıl ve bloklardan oluşmaktadır. Çakıllar büyük bir ihtimalle eosen yaşlı konglomeralardan yeniden türemiştir. Konglomeraların çimentosu çok sıkı olmayıp, çimento görevini kumtaşı-karbonat birikintileri oluşturmaktadır. Çakıl boyutları çok farklı olup ince çakıldan büyük boy çakıla kadar her boyda çakıl görmek mümkündür. Kötü boylanmalı çakılların taşınması kuzeyden güneye doğrudur.

Çakıllar; volkanik, kireçtaşı ve kumtaşından ibaret olup volkanik kayaç kökenli çakıllar daha yoğundur. Sarımsı renk hakimdir. Konglomeralar arasında merceksel iri taneli kumtaşı teşekkülleri vardır. Bu oluşumun maksimum kalınlığı 50 m'dir.

Alüvyon: Kum-çakıl-blok yığılımlarından oluşmakta olup inceleme alanında Alpagut çayı yatağı boyunca depolanmıştır.

Pasa yığını: İnceleme alanının büyük bir bölümü, açık ocak sahasından çıkan dekapaj malzemesi ile örtülüdür. Pasa yığını kalınlığı ve yayılım sınırları zaman içerisinde değişmektedir (Kara vd., 1990).

3.4.2.3 Yapısal jeoloji

Çalışma alanı, Anadolu'dan ayrılan tektonik birlikler arasında Alpin Orojenik özelliği taşıyan Pontid tektonik birliğine çok yakın mesafede yer almakta olup sahanın kuzeyinden Kuzey Anadolu Fayı geçmektedir.

İnceleme alanında temelde Eosen yaşlı flişler düzgün katmanlı ve kıvrımlı yapı göstermektedirler. Neojende m₁ ile simgelenen taban killeri ve silttaşlarının katmanlanma özelliği belirgin değildir. Linyit horizonu ve üzerine gelen m₂ ile simgelenen tavan kayalar çok düzgün katmanlıdır.

Dodurga Alpagut linyit havzasının konumu kuzeybatı güneydoğu uzanımlıdır. Kuzey kanadı yer yer dikleşen asimetrik bir senklinal yapısı gösterir.

Bu senklinalin kuzey kanadı çok iyi bilinmesine karşılık güney kanatta fasiyes değişiklikleri, tektonik yapının getirdiği konumdan dolayı belirsizlikler vardır. Kuzey kanatta, eğimler güneye doğrudur. Ayrıca Kuzeybatı-Güneydoğu istikametindeki sahada eksenleri Kuzeydoğu-Güneybatı uzanımlı Antiklinaryum ve Senklinaryum oluşumları mevcuttur.

Sahanın kuzeybatı kısmında kuzeyden gelen itkinin fazla olması nedeniyle, bu kısımda senklinal kanatlarında dikleşmeler olmasına karşılık sahanın güney doğusunda itkilerin daha az olması nedeniyle kanatlarda dikleşme olmayıp bu kısımda eğimler 25-35°(°)ler arasında değişmektedir (Kara vd., 1990).

Fay ve Çatlaklar: İnceleme alanında dokanak fayları dışında kalan faylar 2 kısımda değerlendirilebilir.

- i. Kuzey-güney uzanımlı faylar: Sahanın batısında 89/26 ve 89/27 no'lu sondajlar arasından geçen bu fayın atımı yaklaşık 20 m'dir. 2.inci fay 41 ile 21B no'lu sondajın batısından, 89/16 no'lu sondajdan geçer ve 41 no'lu sondaj civarında bu fayın atımı 50 m'dir. 3.üncü fay 89/19 no'lu sondajın batısından geçmekte olup sondajın yakınında bu fayın atımı yaklaşık 30 m'dir.
- ii. Doğu-batı uzanımlı fay: 42 no'lu sondajın kuzeyinden geçmekte olup atımı 10 m civarındadır.

Sahanın kuzeyinde Neojen ile Eosen arasındaki dokanak faylıdır. Tespit edilen bu fayların dışında sahada tespit edilemeyen daha küçük kırık ve fay hatları mevcut olabilir. Tespit edilemeyen bu tür fay ve kırıklar işletmeye yönelik sondajlarla çözülebilecektir (Kara vd.,1990).

Uyumsuzluklar: İnceleme alanında Eosen ile Miyosen yaşlı birimler ve Miyosen ile Pleistosen yaşlı birimler arasında uyumsuzluk vardır. İnceleme alanında linyitsiz boş alanlar vardır. Buna örnek 89/2, 89/12 ve 93/1 no'lu sondajın yapıldığı alandır. Bu alanda linyit olmamasının nedeni büyük bir ihtimalle, linyit teşekkülü sırasında havzada olmuş olabilecek lokal heyelanlardan ileri gelebileceğidir. Bu olaya benzer bir olay da Alpagut köyü girişinde TKİ tarafından yapılan sondajlarda tespit edilmiştir. Neojen içindeki fayların linyit oluşumunda etkili olmadığı, dokanak faylarının Neojen yaşlı birimlerin oluşumunda etkili olduğu gibi, linyit damarının oluşumunda da etkili olabileceği düşünülmektedir. Havzanın güneyinde, inceleme alanı dışında kalan kısımdaki Neojen ile Eosen dokanağı faylıdır. Bu fay, havza gelişimi sırasında aktif olması nedeniyle bu kısımda linyit damarı üzerindeki birimler temele aşmalı olarak gelmektedir (Kara vd., 1990).

3.4.2.4 Ekonomik jeoloji

3.4.2.4.1 Linyitin makro özellikleri

Linyit; parlak, siyah, düzgün tabakalı, kompakt, linyoselüozik bitki parçalıdır. Damarın üst seviyeleri sert ve daha temiz, kil oranı düşüktür. Alt seviyelere inildikçe ezik ve parçalı olup kil oranı artmaktadır.

Bu veriler, yapılan sondajlardan alınan numunelerden, açık işletmeden ve yeraltı işletmesinden tespit edilmiştir. Bu gözlemlere göre linyit damarının üst seviyeleri kaliteli, alt seviyeleri ise düşük kalitededir (Uğur, 1994).

3.4.2.4.2 Linyit horizonunun litolojik özellikleri

İşletme sahasında linyit, (m₁) ile gösterilen petrolü taşıyan killerin üzerine gelmektedir. Bu birimin içerisinde linyitlere rastlanmakta ise de oldukça düşük kalitededir.

Linyit havzası, batıda 89/21 ve 89/27 sondajları, kuzeyde açık işletme sahası, güneyde 56/18B, 89/20, 67/43, 67/42, 56/32, 89/11, 67/37 ve 67/36 sondajları ile sınırlandırılmıştır.

Sahanın batısında yaklaşık 20 m olan linyit horizon kalınlığı, sahanın doğusunda 7 m kalınlığa kadar düşmektedir.

Alpagut-Dodurga sahasında linyit kalorifik değerleri eski çalışmalarda dört kısımda incelenmiştir (Uğur, 1994).

- 3000 kCal/kg ve yukarısı
- 2500-3000 kCal/kg arası
- 2000-2500 kCal/kg arası
- 1500-2000 kCal/kg arası

4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Alpagut-Dodurga Linyit sahasında geçmişten günümüze kadar ulaşılmış olan jeolojik araştırmalar ve diğer çalışmalar kronolojik olarak aşağıda özetlenmiştir.

Sahadaki mevcut linyit oluşumu 1938 yılından beri bilinmektedir. Sahaya yönelik ilk jeolojik araştırmalar Blumental (1938) ve Pekmezciler (1948, 1955-1956) tarafından gerçekleştirilmiştir (Kara vd., 1990). Bu çalışmaların içerikleri Kara vd. (1990) tarafından yapılan çalışmadan alınarak aşağıda özetlenmiştir.

Blumental tarafından 1938 yılında, Çorum-Çankırı linyitlerinin tetkikleri için İskilip, Osmancık ve Tosya arasında bulunan çok geniş bir sahanın ve aynı zamanda Dodurga çevresinin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası yapılmıştır (Kara vd., 1990).

Pekmezciler (1948) tarafından ise sahanın 1/5.000 ölçekli jeoloji haritası yapılmış olup bu çalışmalar sonucu, sahada sondajlı aramalara geçilmiştir. Sahada ilk rezerv değerlendirmeleri de Pekmezciler tarafından, 1955-56 yıllarında yapılan sondaj sonuçlarına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. İzopak harita yöntemiyle muhtemel 30,5 milyon ton linyit rezervi tespiti olmuştur (Kara vd., 1990).

Bender (1955), Dodurga-Alpagut (Çorum) linyit zuhuruna yönelik olarak 1/5.000 ölçekli jeolojik-tektonik haritalandırma çalışmaları yapmış ve sonuçları raporlandırmıştır.

Kara vd. (1990), Çorum-Osmancık-Dodurga-Alpagut linyit sahasının jeolojisini çalışmışlardır. Çalışma kapsamında; MTA ile TKİ Kurumu arasında 1989 yılında yapılan sözleşme gereği, TKİ ruhsatlı Çorum-Dodurga-Alpagut Sahası'nda linyit oluşumunun özelliklerini belirlemek için 29 adet sondaj (toplam metraj 10.319 m) yapılmış olup, ayrıca 1/5.000 ölçekli jeoloji haritası yeniden revize edilmiştir. Sondaj çalışmaları sonucunda, sahanın yapısal jeolojisine kısmen çözümler getirilmiştir. En önemlisi, sahadaki görünür ve muhtemel rezerv miktarları hesaplanmıştır. 1989 yılında sahada yapılan 29 adet sondaj ve önceki yıllarda yapılan 35 adet sondaj birlikte değerlendirilerek; sahada, 21,76 milyon ton görünür, 2,46 milyon ton muhtemel olmak üzere toplam 24,22 milyon ton linyit rezerv tespiti yapılmıştır. Sahada, Pekmezciler tarafından 1955-1956 yıllarına ait sondaj verileriyle yapılan rezerv tespiti (30,5 milyon ton muhtemel rezerv)

dışında Kara vd. (1990)'nin çalışmasına kadar geçen süreçte yeni sondajlar yapılmış olsa da herhangi bir rezerv değerlendirmesi yapılmamıştır.

Uğur (1994) tarafından yapılan çalışmada, Çorum-Osmancık-Dodurga-Alpagut linyit sahasında 1993-1994 yıllarında yapılan 5 adet sondaj değerlendirilmiştir. Bu 5 adet sondaj, işletmenin girmek istediği panoların jeoteknik ve kömür yönünden elverişli olup olmadığını araştırmak amacı ile yapılmış olup 4 adedinde beklenen seviyelerde kömürler kesilmiştir. Bununla birlikte tüm sondajlardan jeofizik log (Density, Gamma Ray ve Rezistivite) alımları gerçekleştirilmiş ve kömürlü zonlardan numuneler alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, işletmeye faydalı olacak gerekli veriler (kömür kalınlığı, yayılımı ve derinliği) tespit edilmiştir.

Toprak (1996), Alpagut-Dodurga (Osmancık-Çorum) bölgesi çevresindeki kömürlerin oluşum ortamları ve özelliklerinin belirlenmesine yönelik bir doktora çalışması gerçekleştirmiştir.

Sahaya yönelik diğer çalışmalarda aşağıda verildiği gibidir.

Saraçoğulları vd. (1994), Çorum-Alpagut toz kömüründen düşük kükürt ve duman emisyonlu biriket üretim olanaklarının araştırılmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Ünlü vd. (2000), Alpagut-Dodurga Linyit İşletmesi şlam kömürünün miktar ve kalitesinin belirlenmesi ve susuzlandırılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır.

Karpuz vd. (2000), Alpagut-Dodurga linyitlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlık derecelerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Altun ve Hiçyılmaz (2002), Alpagut-Dodurga Linyit İşletmesi'nde atık kömürlerinin değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Erik vd. (2018), Çankırı-Çorum havzasında yer alan Erken-Orta Miyosen yaşlı Alt Bitümlü kömürlerin organik jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve hidrokarbon türüm potansiyelleri yanı sıra paleo-ortam özelliklerinin de değerlendirilmesi amacıyla Alpagut Dodurga linyitlerini de kapsayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

5. LİNYİT SAHASI KAYNAK KESTİRİMİ

5.1 Arama ve Sondaj Çalışmaları

Linyit havzasında 1949 yılından bu yana MTA, DSİ ve TKİ tarafından 169 adet sondaj yapılmıştır. Bu sondajların 109 tanesi mostra üzerine yapılmış olup 60 tane sondaj ise MTA tarafından yeraltı rezervinin tespitine ve geliştirilmesine yönelik yapılmıştır. MTA tarafından yapılan 60 adet sondajın 55 tanesinde kömür kesilmiştir. Kömür kesen bu sondajların toplam uzunluğu 19.547,68 metredir.

Sahada yapılmış olan sondajlara ait loglar, sahanın 3 boyutlu modellemesine ve bununla birlikte jeostatistiksel kestirime esas teşkil etmekte olup bu sondajların uydu haritası üzerindeki görünümü Şekil 5.1’de ve lokasyon haritasına ilişkin görsel Şekil 5.2’de verilmiştir.

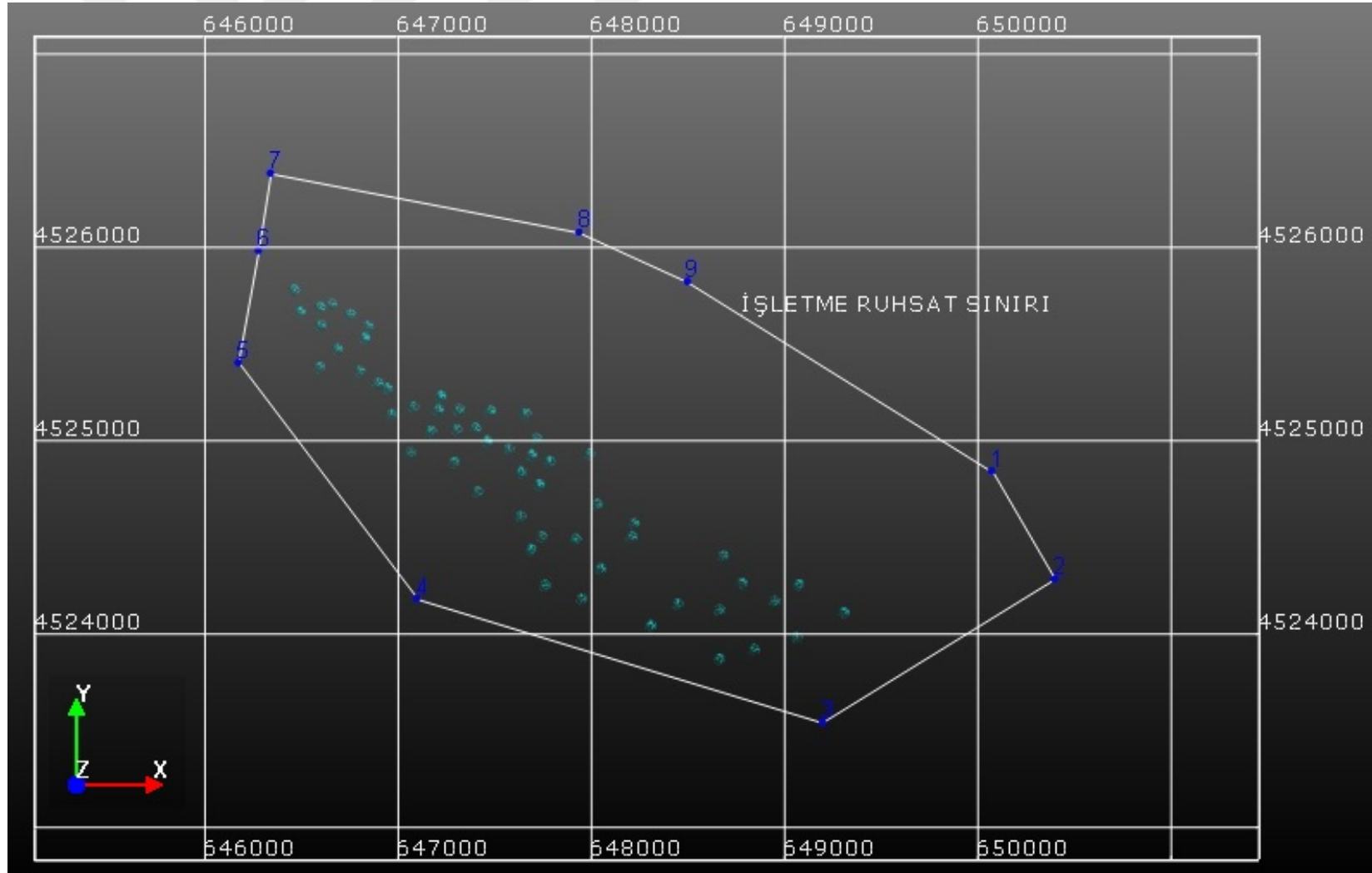
Tez kapsamındaki modelleme çalışmalarında 19.547,68 metre uzunluğundaki 55 adet sondaj dikkate alınarak oluşturulan veri tabanı kullanılmıştır. Diğer 109 adet sondaj mostra üzerinden yapılmış sığ sondajlar olduğundan değerlendirmelere dahil edilmemiştir. Veri tabanına esas teşkil eden sondajların; koordinatları, eğimleri, kömür giriş-çıkış kotları ve kalınlıkları, AID, kül ve nem miktarları toplu olarak Çizelge 5.1’de verilmiştir. Sondajlar arası ortalama mesafe 170 metre olup en kalın linyit damarı 47,45 metre, en ince linyit damarı 2,05 metre, ortalama linyit kalınlığı ise 13 metredir. MTA tarafından 1989 yılında yapılan ve 10,7 metre linyit kesilen bir sondaja ait log örnek olarak Şekil 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Veri tabanına esas teşkil eden linyit kalite öz nitelik bilgileri

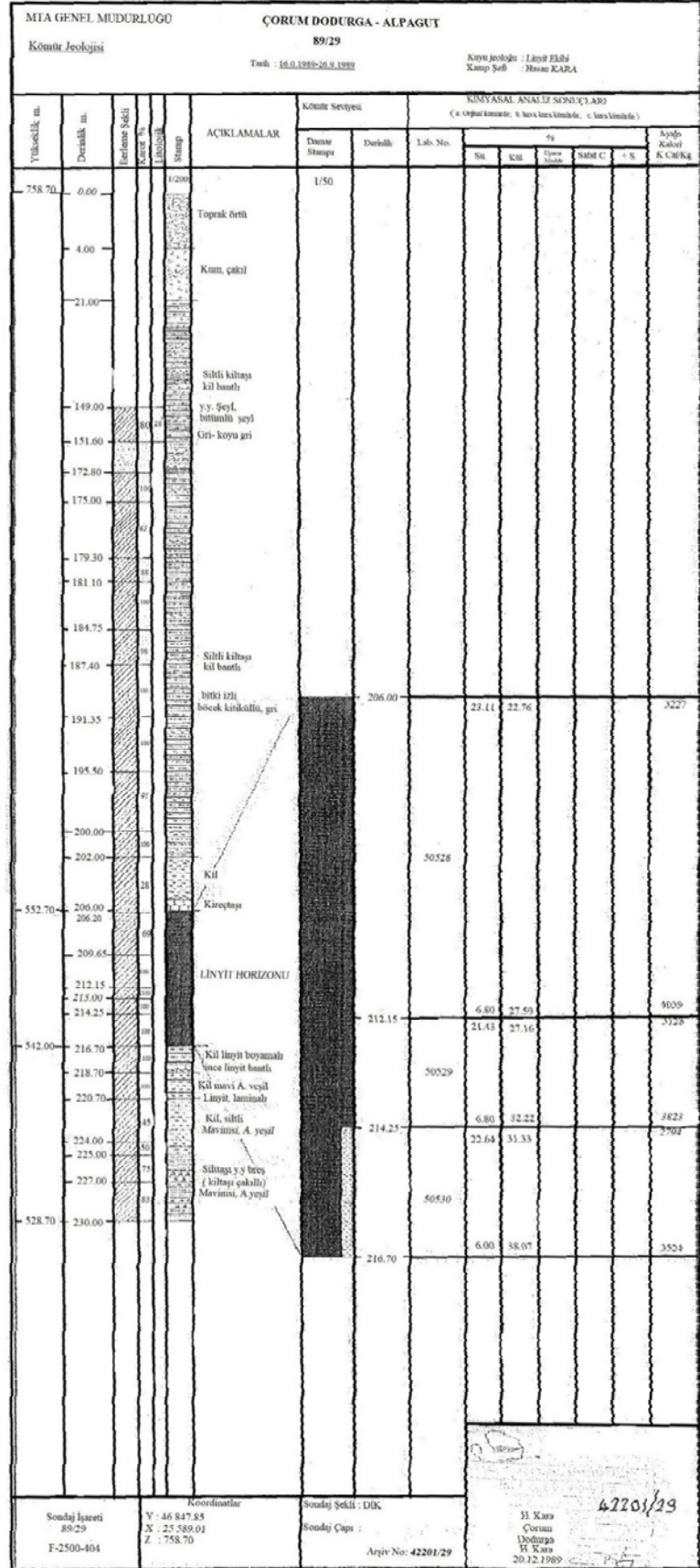
Sondaj No	KOORDİNATLAR (ED-50, 6°)			Eğim (°)	Linyit Horizonu		Kalınlık (m)	Kimyasal Analiz		
	X	Y	Z		Giriş	Çıkış		Nem (%)	Kül (%)	Kalori (kCal/kg)
89/21	4525662,50	646497,40	793,63	-90	435,80	464,60	28,80	24,59	17,15	3773
89/27	4525773,64	646463,94	769,82	-90	225,50	229,10	3,60	25,48	21,97	3304
89/13	4525684,73	646598,64	782,85	-90	316,75	327,70	10,95	27,41	13,39	3852
88/4	4525593,93	646603,64	794,06	-90	423,00	427,20	4,20	29,50	18,45	3036
89/28	4525701,17	646658,62	774,05	-90	236,25	263,35	27,10	24,80	20,48	3538
88/3	4525649,97	646754,47	764,47	-90	240,20	282,00	41,80	27,35	18,18	3426
55/11	4525472,00	646688,00	804,62	-90	331,35	340,20	8,85	-	-	-
89/29	4525589,01	646847,85	758,50	-90	206,00	216,70	10,70	22,67	25,67	3108
88/2	4525528,52	646830,62	767,49	-90	209,50	217,10	7,60	27,57	26,38	2784
67/45	4525357,00	646805,00	790,30	-90	319,75	329,80	10,05	-	-	-
56/18B	4525375,00	646596,00	821,98	-90	467,40	470,80	3,40	-	-	-
89/25	4525291,42	646899,54	762,28	-90	272,10	281,90	9,80	24,56	14,87	3873
89/8	4525267,77	646946,94	750,04	-90	241,40	244,15	2,75	28,14	26,14	2723
55/15	4525133,00	646969,00	779,05	-90	305,40	319,00	13,60	-	-	-
89/9	4525169,01	647082,86	754,44	-90	253,80	279,20	25,40	28,99	20,40	3027
89/3	4525155,03	647211,97	733,39	-90	230,70	245,75	15,05	23,64	23,82	3247
89/4	4525046,65	647172,03	741,42	-90	335,75	343,80	8,05	26,50	16,98	3564
67/43	4524933,00	647066,00	797,48	-90	514,08	520,05	5,97	-	-	-
55/10A	4525226,00	647224,00	747,87	-90	165,70	179,90	14,20	-	-	-
89/7	4525054,81	647305,74	727,70	-90	300,00	318,25	18,25	29,42	21,24	3095
55/12	4524884,00	647292,00	734,29	-90	394,00	404,45	10,45	-	-	-
89/1	4525148,54	647481,37	759,10	-90	260,90	272,07	11,17	23,28	19,08	3658
89/6	4524993,54	647463,89	728,68	-90	339,85	353,00	13,15	23,45	27,37	3051
67/42	4524733,00	647413,00	761,23	-90	547,40	594,85	47,45	-	-	-
55/7	4525136,00	647663,00	755,29	-90	226,25	241,00	14,75	-	-	-
89/24	4524953,89	647574,39	731,60	-90	355,80	372,00	16,20	27,06	18,22	3413
89/5	4524832,70	647638,75	715,74	-90	346,40	372,10	25,70	26,98	19,28	3319
89/10	4524604,34	647637,14	780,65	-90	448,30	482,45	34,15	24,22	27,86	2853
88/1	4524886,65	647787,09	718,08	-90	233,40	249,85	16,45	21,25	26,52	2937
67/40	4524770,00	647733,00	720,49	-90	292,35	296,57	4,22	-	-	-
55/8A	4524928,00	647994,00	734,90	-90	98,80	112,65	13,85	-	-	-
56/21B	4524500,00	647745,00	782,00	-90	365,72	373,67	7,95	-	-	-
67/41	4524431,00	647691,00	813,49	-90	406,45	411,14	4,69	-	-	-
55/14	4524666,00	648033,00	708,74	-90	134,40	144,00	9,60	-	-	-
89/18	4524485,90	647922,19	751,05	-90	281,30	288,50	7,20	25,73	20,44	3337
56/32	4524246,00	647763,00	829,70	-90	470,00	472,05	2,05	-	-	-
67/54	4524570,00	648224,00	707,06	-90	101,59	110,36	8,77	-	-	-
67/39	4524496,00	648213,00	733,75	-90	146,15	179,83	33,68	-	-	-
56/29	4524334,00	648051,00	796,86	-90	311,73	327,45	15,72	-	-	-
89/11	4524177,35	647953,07	841,47	-90	428,30	439,00	10,70	27,39	20,50	3230
67/37	4524038,00	648310,00	835,04	-90	418,88	426,96	8,08	-	-	-
89/22	4524150,67	648449,87	775,01	-90	319,00	321,30	2,30	24,87	29,25	2651
67/35	4524400,00	648685,00	706,11	-90	109,00	114,52	5,52	-	-	-
56/28A	4524120,00	648666,00	842,12	-90	334,36	342,20	7,84	21,91	21,79	3526
67/36	4523867,00	648665,00	842,73	-90	383,65	389,75	6,10	-	-	-
89/19	4524259,68	648784,70	777,63	-90	257,30	264,70	7,40	27,79	23,54	2893
89/17	4524164,21	648951,59	761,35	-90	211,40	224,50	13,10	27,13	24,40	2843
89/23	4523915,18	648846,57	824,52	-90	340,70	363,50	22,80	24,20	27,89	2805
55/25	4523980,00	649066,00	786,86	-90	253,00	255,25	2,25	-	-	-
67/34	4524252,00	649076,00	717,43	-90	176,45	189,15	12,70	-	-	-
67/34B	4524108,00	649312,00	726,66	-90	69,76	74,50	4,74	-	-	-
93/2	4525007,73	647718,70	744,18	-90	265,80	281,35	15,55	23,01	18,19	3725
93/3	4525155,76	647317,76	754,83	-90	252,60	261,20	8,60	24,60	29,59	2749
94/1	4525058,92	647402,78	734,33	-90	312,2	324,30	12,10	22,92	61,39	3408
94/2	4524922,00	647694,92	719,62	-90	306,00	313,40	7,40	20,54	50,12	1817



Şekil 5.1 Sondajların uydu görünümü ve ruhsat sınırı



Şekil 5.2 Sondaj lokasyon haritası



Şekil 5.3 MTA tarafından 1989 yılında yapılan bir sondaja ait log (Kara vd., 1990)

5.2 Sondaj Verilerinin Değerlendirilmesi ve Veri Tabanı Oluşturulması

Veri tabanı 3 boyutlu bir madencilik yazılımı olan NETPRO MINE programında (Url-2) değerlendirilmiştir.

Kömür kesen 55 adet sondaj verisine dayandırılan veri tabanında; sondajlara ait koordinatlar (Y, X, Z) ve sondaj eğimleri, litoloji tanımları, AID, kül, nem gibi analiz değerleri ve linyit horizonuna giriş ve çıkış kotları gibi bilgiler yer almaktadır. Bu bilgiler NETPRO MINE modelleme veri giriş formatına uygun olarak, dört ayrı [.csv] uzantılı Microsoft Excel dosyalarına aktarılmıştır. Bu dosyalar sırasıyla “sondaj, litoloji, açığı ve ham örneklem” dosyalarıdır. Her bir dosyada yer alan bilgiler aşağıda verildiği gibidir.

<u>Dosyalar</u>	<u>Veriler</u>
Sondaj	: Sondaj no, derinlik, Y, X, Z koordinatları
Litoloji	: Sondaj no, litoloji giriş ve çıkış kotları ve litoloji tanımları
Açı	: Sondaj no, derinlik, eğim ve doğrultu (azimuth) değerleri
Ham Örneklem	: Sondaj no, linyit horizonundan alınan numunelerin giriş ve çıkış kotları ve bu numunelere ait kalori, kül ve nem gibi analiz değerleri

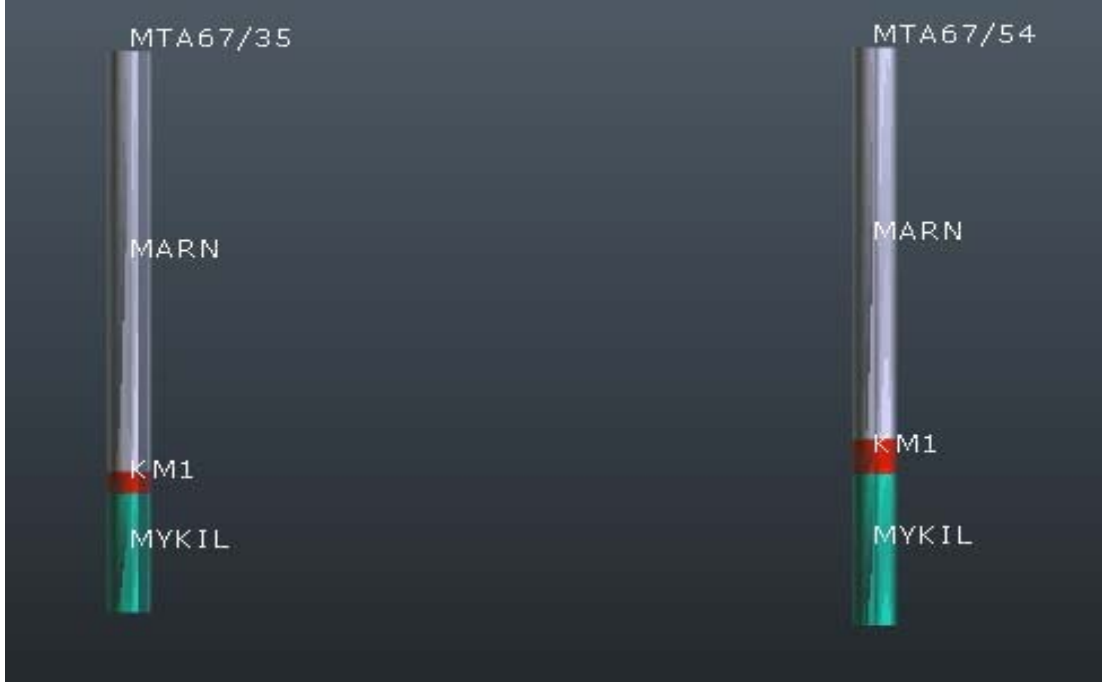
Veri tabanı oluşturulduktan sonra aşağıda işaret edilen kontroller yapılarak eksik veriler tamamlanmış, hatalı girilmiş veya hatalı olduğu tespit edilmiş veriler düzeltilmiştir. Bu aşamada yapılan kontroller şunlardır.

- Sondajlara ait kalori, kül ve nem gibi öznitelik değerlerinin histogram grafikleri oluşturularak en düşük, en yüksek, ortalama, standart sapma ve örnek sayısı gibi basit istatistiksel değerler hesaplanmış ve uyumsuzluk oluşturan değerler incelenmiştir.
- Kalori analiz değeri tespit edilmeyen sondajlara AID olarak ortalama AID (3350kCal/kg) girilmiştir. Ortalama (AID) değeri, AID histogramından (Şekil 5.5) elde edilmiş değerdir.

- Öznitelik değerleri arasında (AID x Kül, AID x Nem, Kül x Nem) saçılma diyagramları çizilmiş ve anormal değerler gözlenmiştir.
- AID x Kül saçılma diyagramından (Şekil 5.8) faydalanılarak regresyon analizi yapılmış ve bu analiz sonucunda elde edilen ortalama kül değeri (%21.3055) numune analizleri yapılmamış sondajlara atanmıştır.
- AID x Nem saçılma diyagramından (Şekil 5.9) faydalanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda ortalama nem değeri %24 olarak hesaplanmış ve bu değer numune analizleri yapılmamış olan sondajlara nem analiz değeri olarak atanmıştır.
- Kalınlığı 1 metreye kadar olan ara kesmeler kömüre dahil edilmiş, ancak herhangi bir öznitelik değeri atanmamıştır.

5.3 Sondajların 3D Gösterimi

Sondajlara ait litolojiler renklendirilerek etiketlenirilmiş ve 3 boyutlu (3D) görüntüler elde edilmiştir (Şekil 5.4).



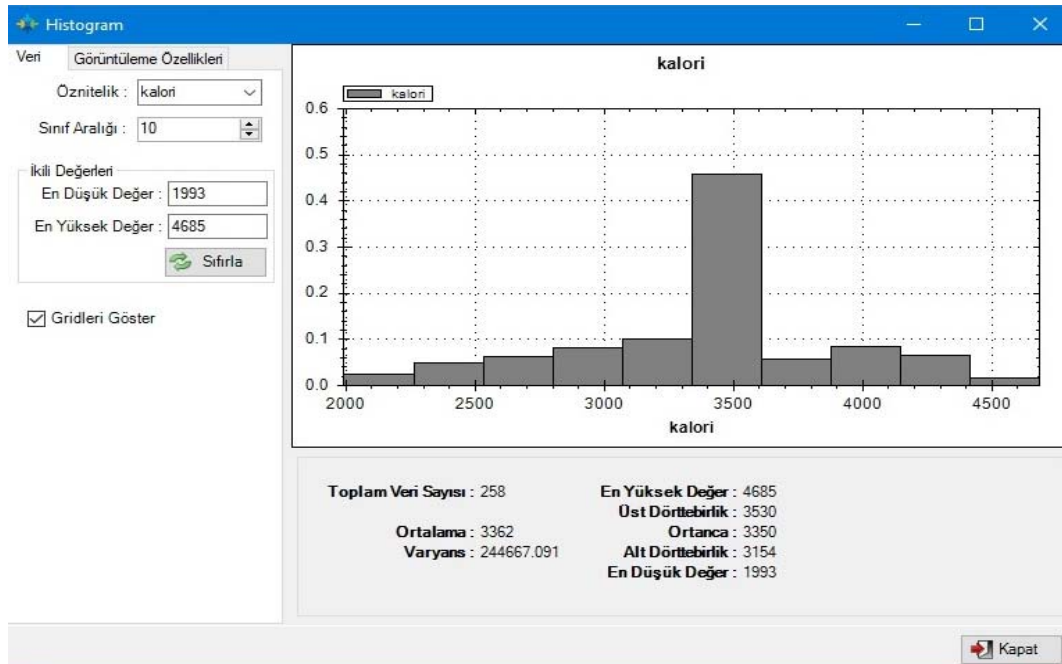
Şekil 5.4 Sondajların 3D görünümü

5.4 Ham Verilerin İstatistiksel Değerlendirmesi

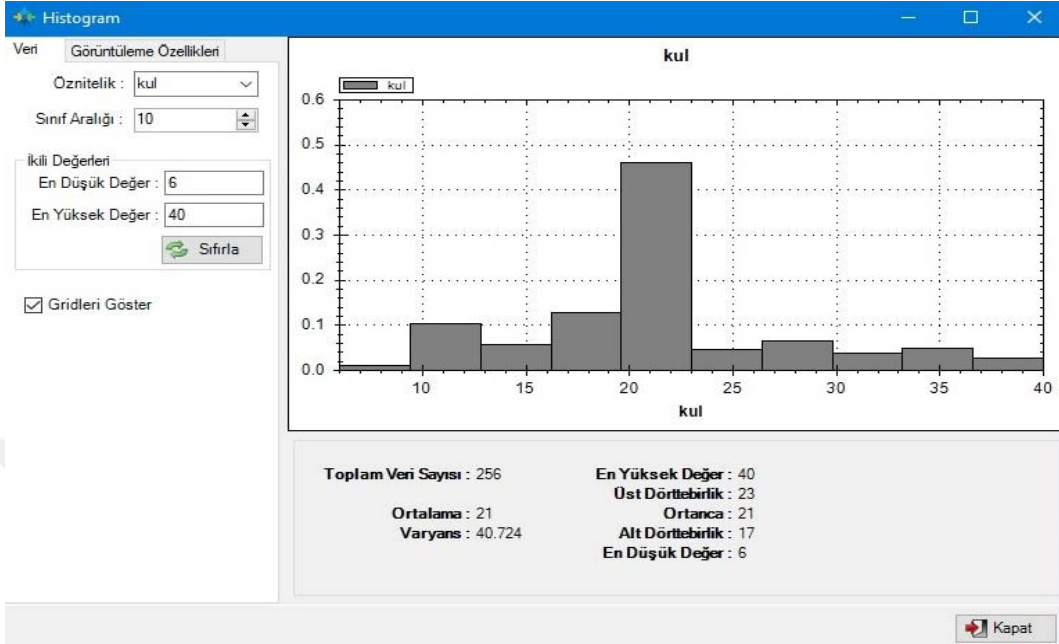
Sondajlarda kesilen linyitlerin kalite öz niteliklerinin (AID, kül ve nem) sıklık dağılımlarını belirlemek amacıyla histogram grafikleri ve öz nitelikler arasındaki ilişkileri ortaya koyabilmek için de saçılma diyagramları çizilmiştir. Histogram grafikleri Şekil 5.5 - 5.7'de, saçılma diyagramları ise Şekil 5.8 - 5.10'da verilmiştir. İstatistiksel değerlendirmelerde kömür kesen 55 adet sondajdan alınan tüm numunelerin (258 adet) analiz sonuçları dikkate alınmıştır.

Histogram grafiklerinden de görüleceği üzere; AID 1993 kCal/kg – 4685 kCal/kg arasında (ortalama 3350 kCal/kg), kül değeri %6 - %40 arasında (ortalama %21) ve nem değeri ise %11 - %34 arasında (ortalama %24) değişmektedir.

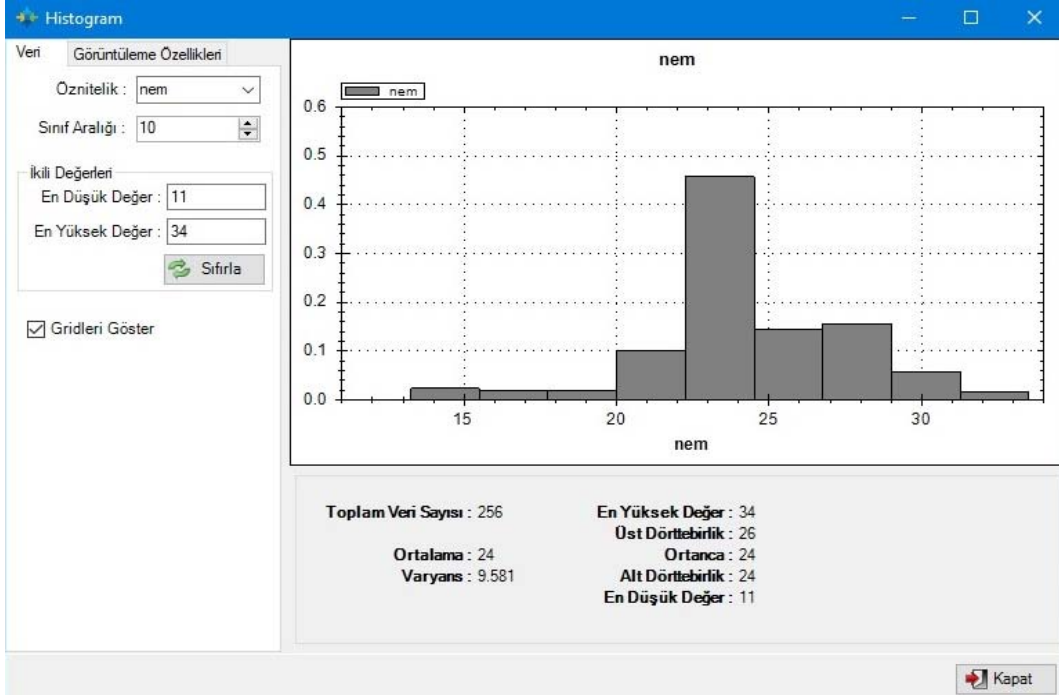
Saçılma diyagramları değerlendirildiğinde; Şekil 5.8'den de görüleceği üzere, AID-Kül arasında belirgin bir ilişki (korelasyon katsayısı, r : 0,87) vardır ve AID arttıkça kül değeri azalmaktadır. Buna karşın AID-Nem ve Kül-Nem (Şekil 5.9 ve 5.10) arasında bir ilişki mevcut değildir.



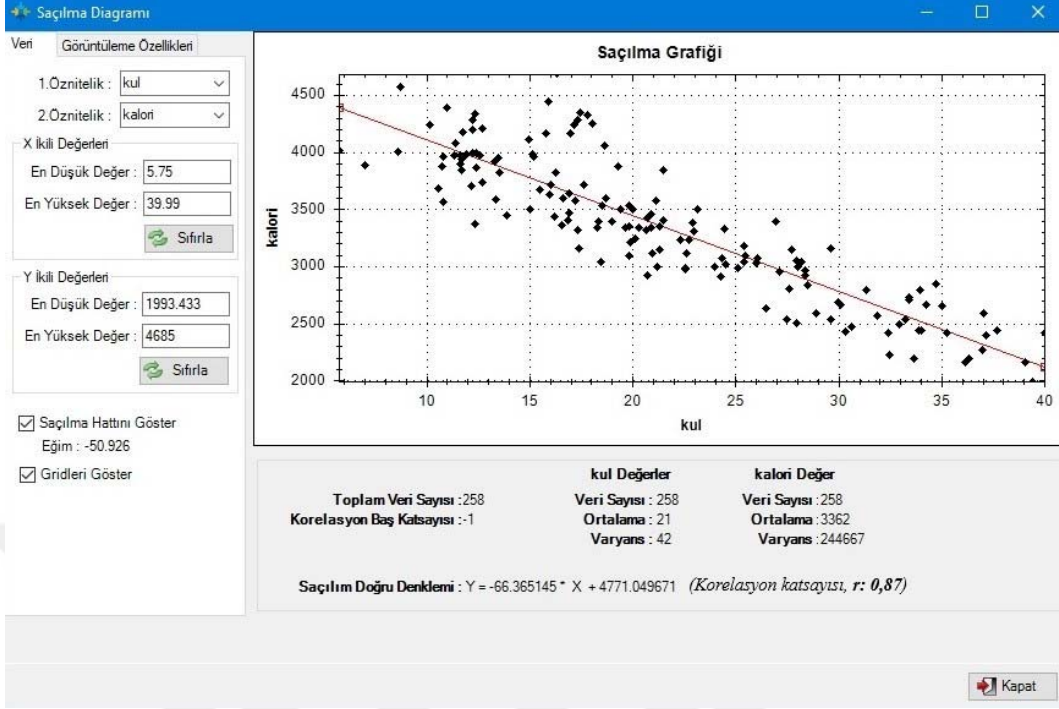
Şekil 5.5 Sahaya ait AID histogram grafiği



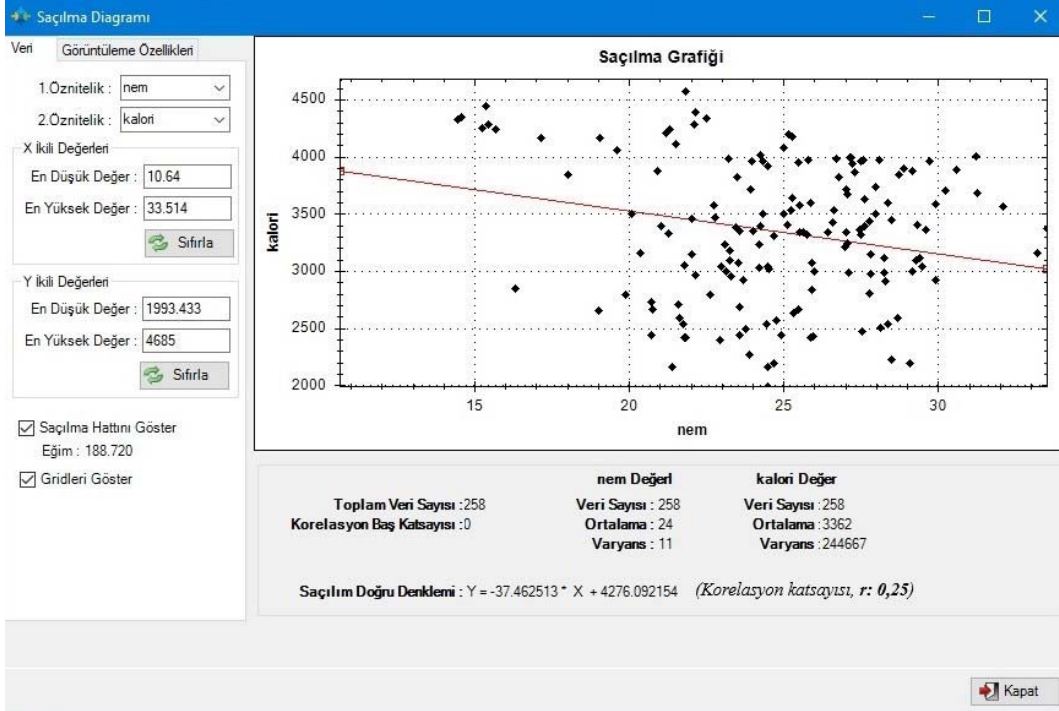
Şekil 5.6 Sahaya ait kül histogram grafiği



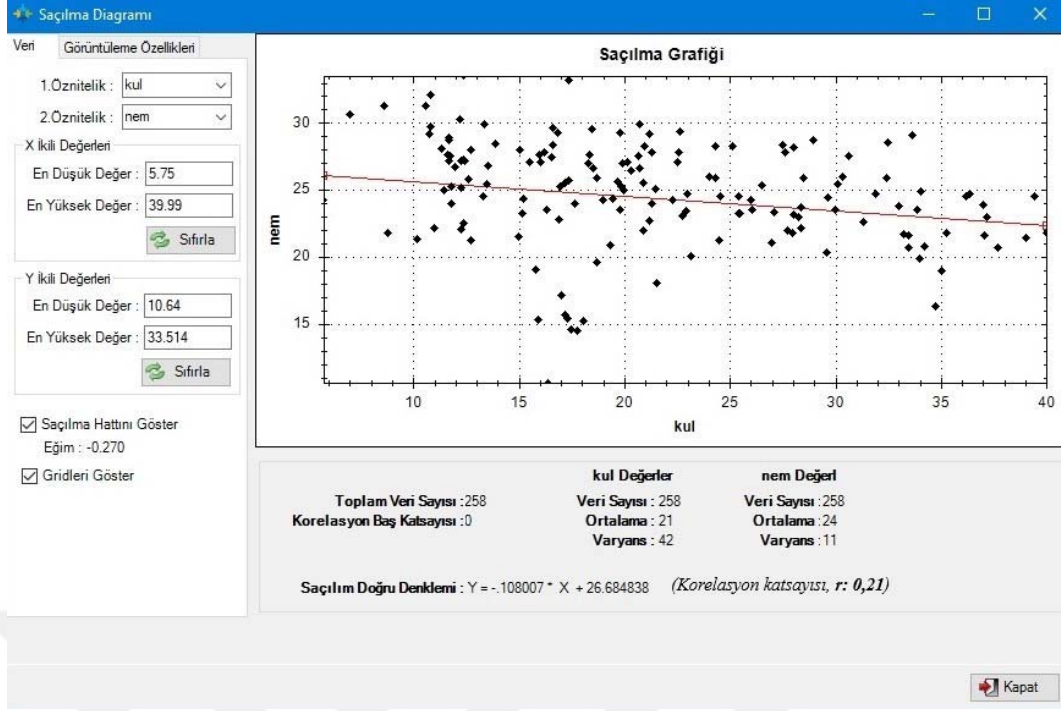
Şekil 5.7 Sahaya ait nem histogram grafiği



Şekil 5.8 Sahaya ait AID-Kül saçılma diyagramı



Şekil 5.9 Sahaya ait AID-Nem saçılma diyagramı



Şekil 5.10 Sahaya ait Kül-Nem saçılma diyagramı

5.5 Üç Boyutlu Jeolojik Katı Modelleme

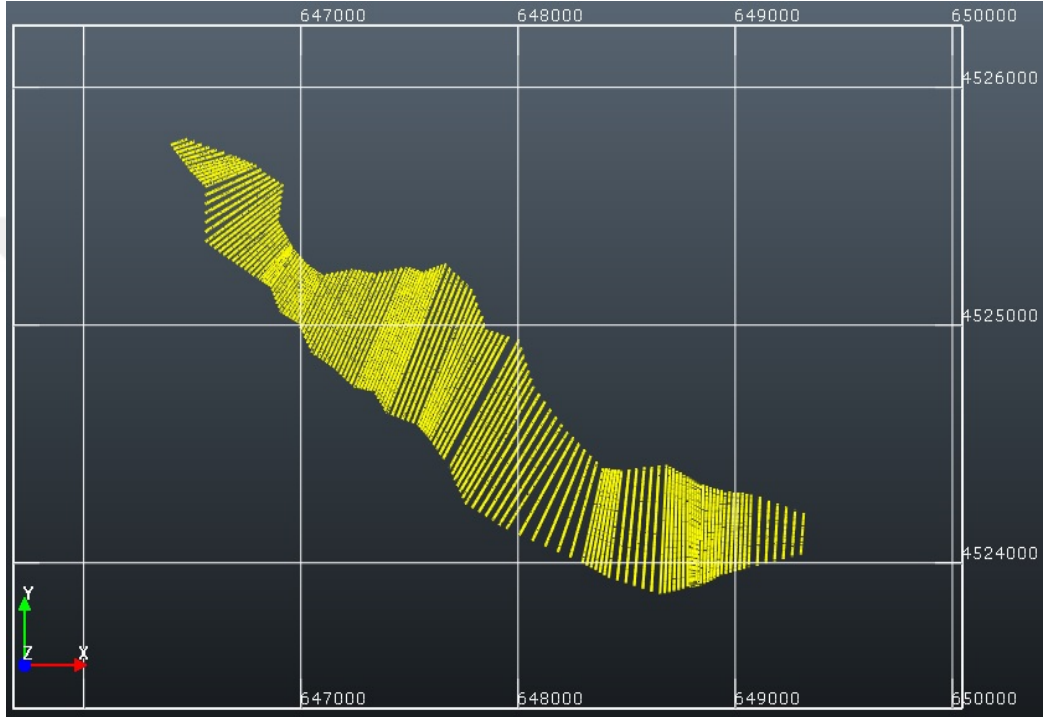
Jeolojik katı modelin oluşturulması sırasında en uygun kesitlerin alınabilmesi amacıyla sondaj logları incelenmiş ve geçmiş yıllarda MTA tarafından hazırlanmış olan jeolojik raporlardan (Kara vd., 1990; Uğur, 1994) ve izohips haritasından faydalanılmıştır.

Sahada yapılan sondajların farklı yıllarda (1955, 1967 ve 1989) ve farklı ekipler tarafından yapılmış olması nedeniyle litoloji tanımlamalarında uyumsuzluklar söz konusu olup bu aşamada hem geçmiş yıllardaki imalat haritalarından hem de yeraltı üretim faaliyetleri sırasında yapılan kontrol sondajlarından yararlanılmış ve bu çerçevede sahadan çok sayıda kesitler alınmıştır. Sahadan alınan kesitlerin plan görünümü Şekil 5.11’de verilmiştir.

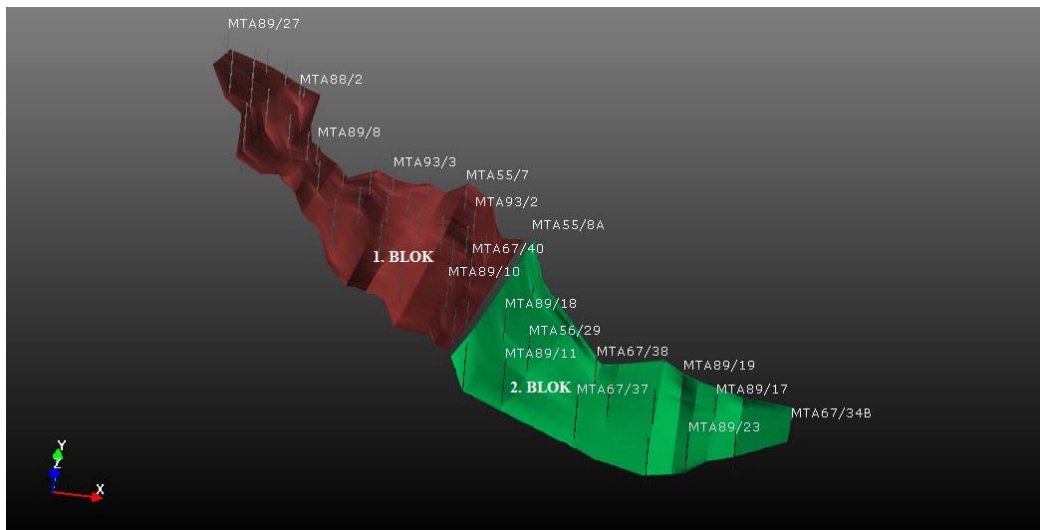
Linyit damarından alınan kesitlerin değerlendirilmesi sonucunda MTA raporlarında da (Kara vd., 1990; Uğur, 1994) belirtildiği üzere ve damarı ikiye bölen bir fayın varlığı görülmüştür. Modelleme alanındaki linyit damarı sahayı ikiye bölen kuzey-güney uzanımlı ve yaklaşık 56 m düşey atımlı bu fay ile kesildiğinden katı model 2 blok halinde oluşturulmuştur (Şekil 5.12). 1. Blok yüzeyden 165 m - 547 m arasında değişen ve

ortalama 312 m derinlikte, 2. Blok ise 70 m - 470 m arasında değişen ve ortalama 265 m derinlikte bulunmaktadır.

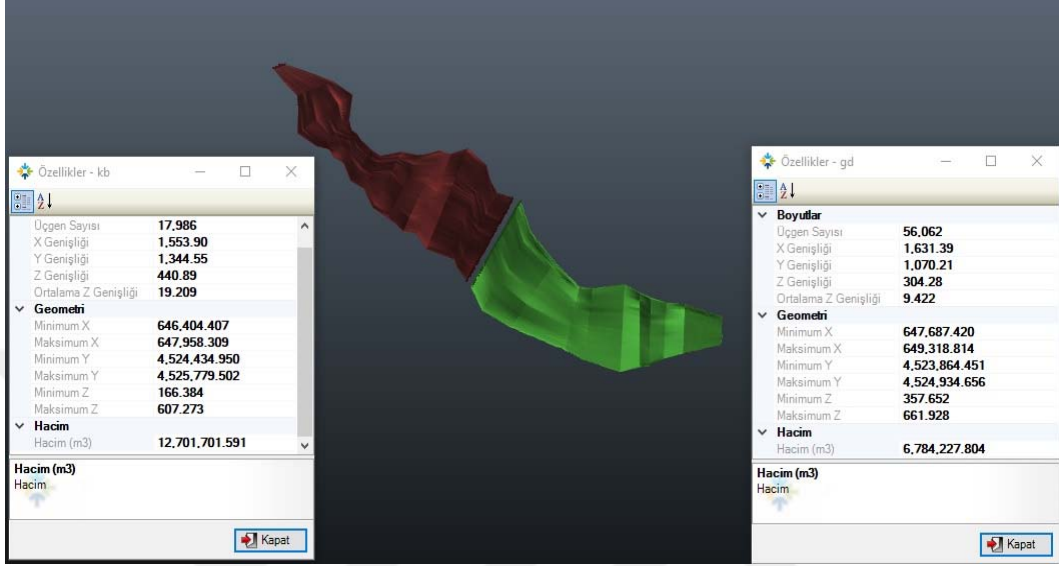
Katı model oluşturulduktan sonra sondajlar ile jeolojik katı model arasındaki uyumluluk görülmüş olup 2 bloğa ait boyut, geometri ve hacim bilgileri Şekil 5.13’de sunulmuştur. Birinci blok 12,7 milyon m³ ve ikinci blok ise 6,8 milyon m³ olmak üzere birleştirilmiş katı model toplam hacmi yaklaşık 19,5 milyon m³’tür (Şekil 5.14).



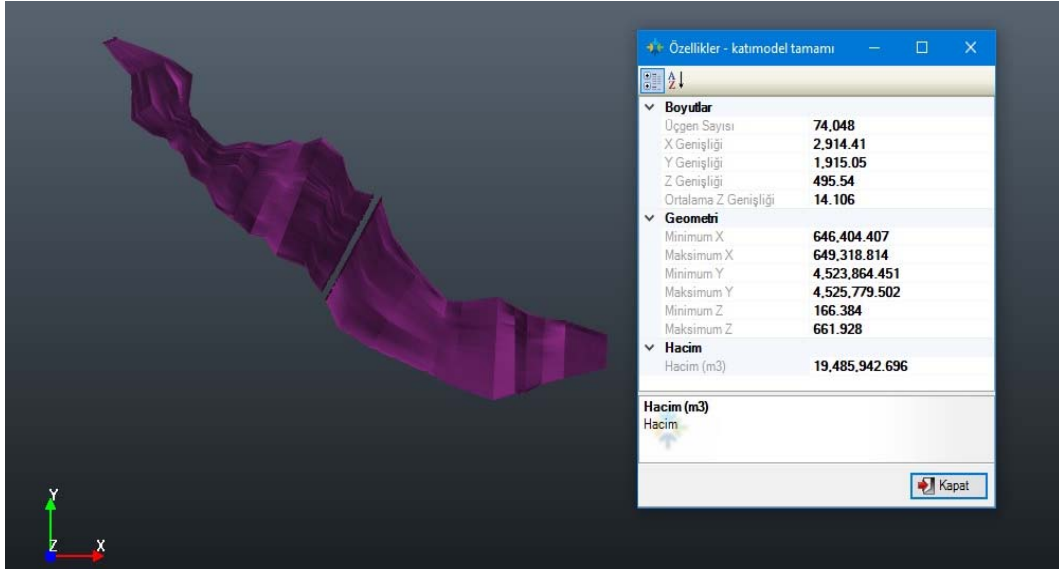
Şekil 5.11 Sahadan alınan kesitlerin plan görünümü



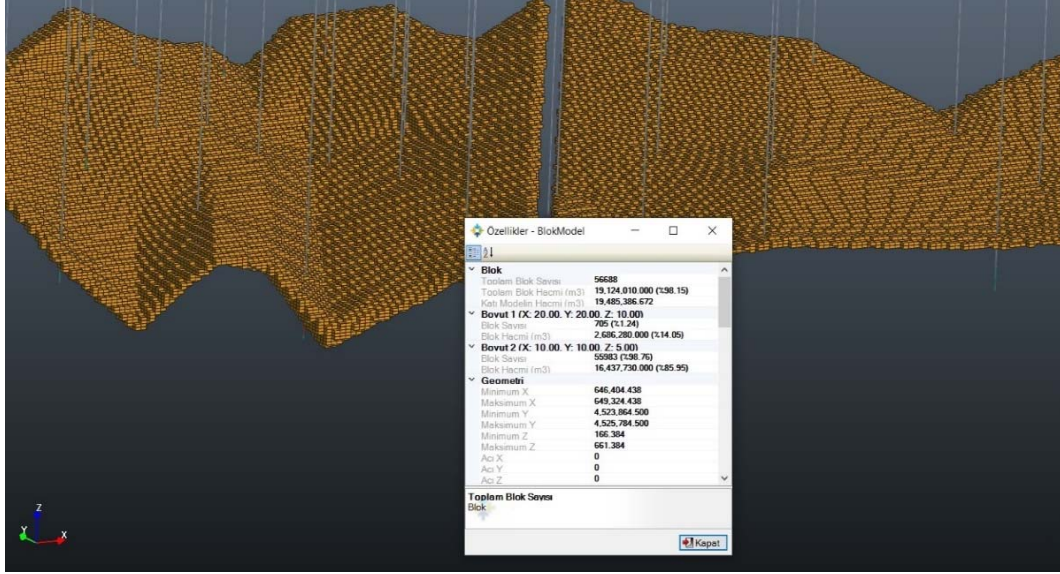
Şekil 5.12 Sahaya ait linyit damarı katı modeli



Şekil 5.13 Katı modelin plan görünümü ve özellikleri



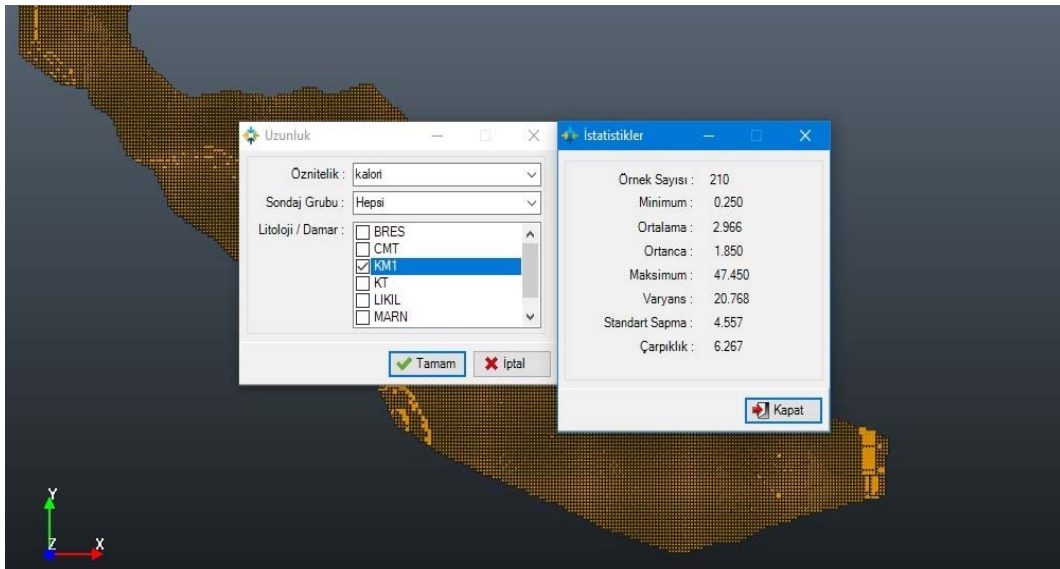
Şekil 5.14 Birleştirilmiş katı modelin plan görünümü ve özellikleri



Şekil 5.16 Blok model özellikleri

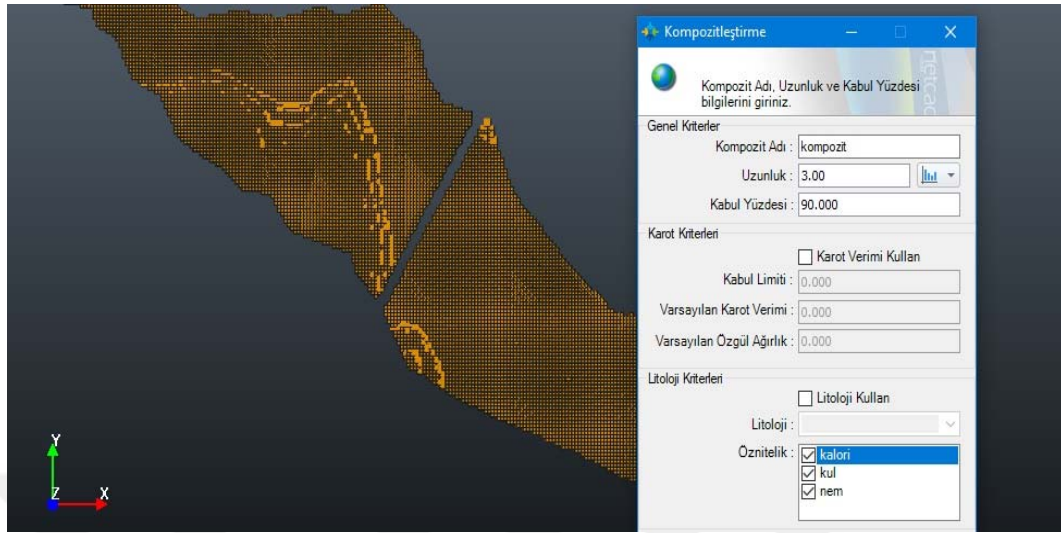
5.7 Kompozit Alma

Kompozitleme, sondaj loglarından alınmış farklı uzunluktaki karot numune boylarının (örneklemenin yapıldığı kömür karot uzunluğu) eşit uzunluklu karot numune boylarına dönüştürülmesi işlemi olup jeoistatistiksel kestirim yapılabilmesi için daha önce oluşturulmuş olan bloklara en uygun jeoistatistik değerlerinin atanabilmesini sağlamaktadır. Kompozit uzunluğunun belirlenmesi amacıyla karot numune boylarının istatistiksel değerlendirmesi yapılmaktadır (Şekil 5.17).



Şekil 5.17 Uzunluk istatistik analiz değerleri

Kompozit uzunluğu basit olarak örneklerin ortalama uzunluğundan biraz fazla seçilebilir. Yapılan analiz sonucunda kompozit uzunluğu 3 m olarak belirlenmiştir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 Kompozitleme işlemi

5.8 Variogram Analizi

Cevherleşmenin sahadaki dağılımını ve kömür kalite öz niteliklerinin (AID, kül, nem) uzaklığa bağlı olarak nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla her bir kalite öz nitelik değişkeni için deneysel variogramları hesaplanarak modellenmiştir. Her kalite öz nitelik değişkeni için düşey ve yatay yönde yapılan variogram analizleri Şekil 5.19-5.24’de verilmiştir.

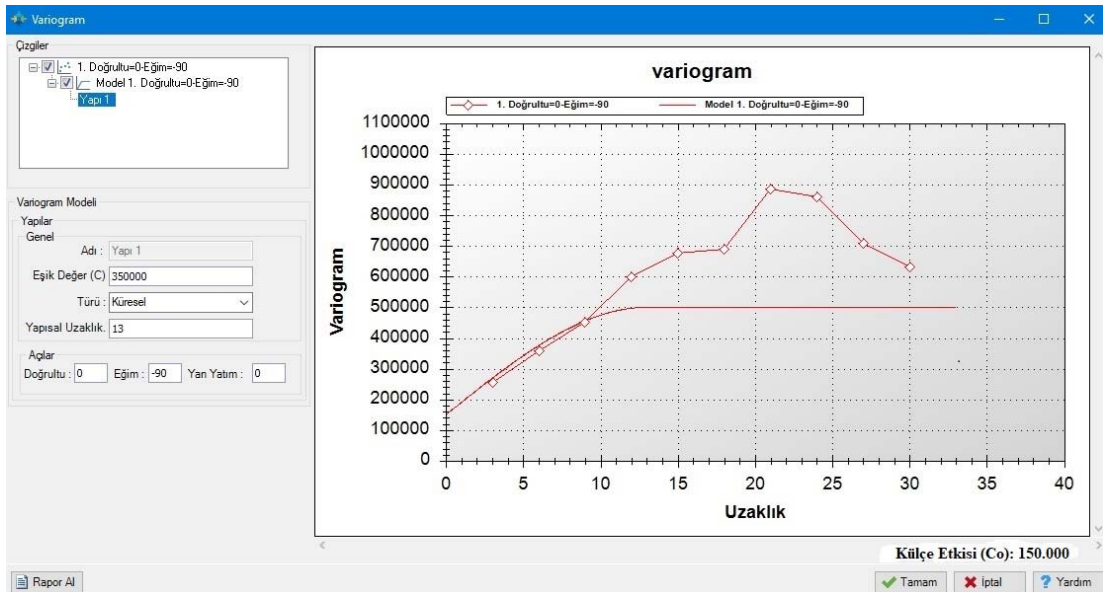
Analiz kapsamında AID verileri uzaklık ve açı toleransları içerisinde gruplandırılmış ve değişkenin yönlü variogram analizleri yapılarak anizotropi testi gerçekleştirilmiştir. Genel olarak variogram fonksiyonlarında etki mesafesinin (a) yönler göre değişimi geometrik anizotropi’ye, etki mesafesinin sabit olduğu ancak eşik değerinin (C) değiştiği durum ise zonal anizotropi’ye işaret eder. Farklı yönlerde modellenen variogramların külçe etkisi değerinin aynı olması gerekmektedir. Külçe etkisi değeri ise (C_0) en doğru şekilde düşey variogramdan belirlenmektedir.

Şekil 5.19’da verilen deneysel düşey variogramdan da görüleceği üzere elde edilen külçe etkisi değeri 150.000, eşik değeri 350.000 ve yapısal uzaklık değeri ise 13 metredir. Yatay yönlerde yapılan variogram modelinde de külçe etkisi ve eşik değer olarak düşey

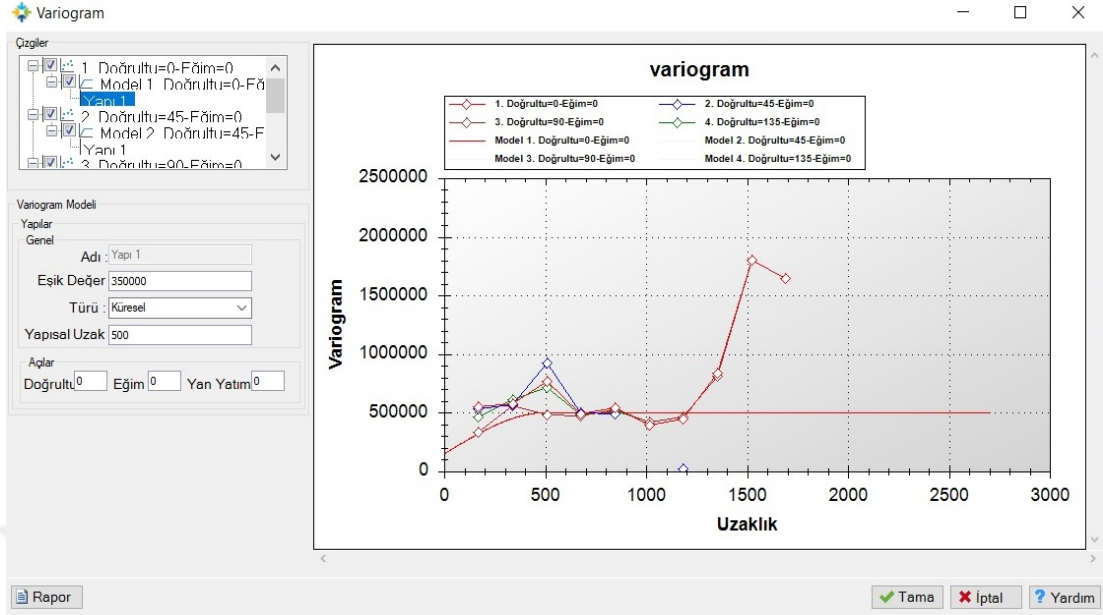
variogram modelinde kullanılan değerler kullanılmıştır. Bu eşik değere ulaşmak için yaklaşık 500 metre etki mesafesinin (a) aynı kaldığı görülmüştür (Şekil 5.20). Bu durum linyit yatağında AID değişkeni için geometrik ve zonal anizotropi olmadığını göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, linyit yatağının AID değişkeni belirli yönde ve mesafede eğilim veya farklılık göstermemektedir.

Mesafe ve yöne bağlı AID ilişkisinin fonksiyonunu belirleyebilmek için elde edilen bu deneysel variogram yapısına karşılık teorik variogram modellerinden biri uydurulmaya çalışılmış ve yatay yöndeki ilişki için en uygun model Şekil 5.20’de gösterilmiştir. Düşey yöndeki ilişkilerde ise Şekil 5.19’daki küresel tip modelin ilişkiyi en iyi temsil ettiği görülmektedir. Şekil 5.19’da verilen düşey variogramdan da görüleceği üzere değişkenler arasında düşey yönde güçlü bir ilişki vardır. Deneysel düşey variogramın AID’si, örnekler arasındaki uzaklık ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Düşey yöndeki ilişkinin etki mesafesi (a) olan 13 metre; jeostatistiksel analizin bir sonraki adımı olan Kriging tahmininde, ilgili variogram fonksiyonuna göre o noktadan düşey yönde 13 metreden daha uzaklıktaki verilerin kullanılmaması gerektiğini ifade etmektedir. Yatay yöndeki variogramların etki mesafesi (a) ise; yine aynı düşünceyle, birbirine 500 metreye kadar olan uzaklık içerisindeki örneklerin küresel fonksiyonla tanımlanan bir ilişkiye sahip olduklarını ve dolayısıyla daha fazla mesafelerdeki örneklerin tahminlerde kullanılmasının hataları artıracaklarını göstermektedir.



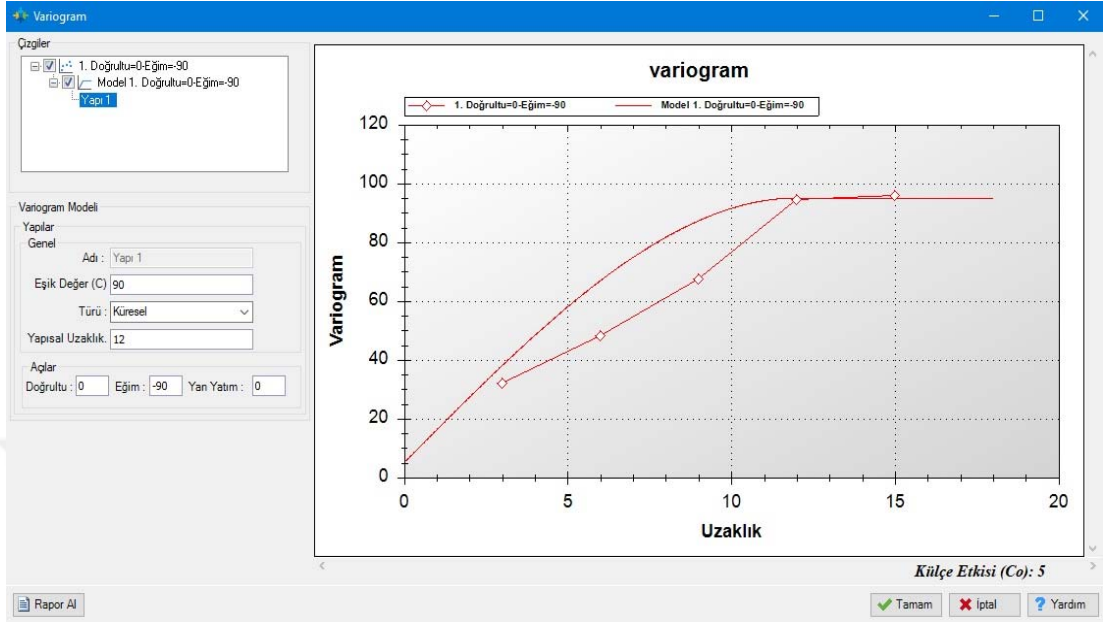
Şekil 5.19 AID’ye ait küresel tipte düşey variogram modeli



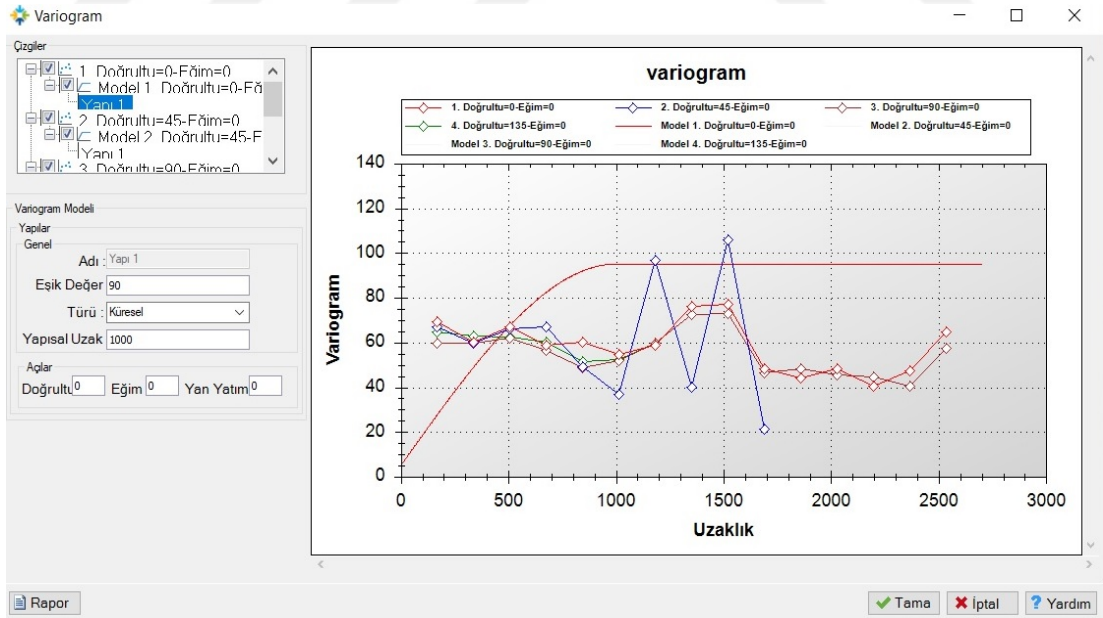
Şekil 5.20 AID'ye ait küresel tipte yatay variogram modelleri

Benzer şekilde kül verileri uzaklık ve açı toleransları içerisinde gruplandırılmış ve değişkenin yönlü variogram analizleri yapılarak anizotropi testi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5.21'de verilen deneysel düşey variogramdan da görüleceği üzere elde edilen külçe etkisi değeri 5, eşik değeri 90 ve yapısal uzaklık değeri ise 12 metredir. Yatay yönlerde yapılan variogram modelinde de külçe etkisi ve eşik değeri olarak düşey variogramdan elde edilen değerler kullanılmış, bu eşik değere ulaşmak için yaklaşık 1000 metre etki mesafesinin (a) aynı kaldığı görülmüştür (Şekil 5.22). Bu durum linyit yatağında kül değişkeni için geometrik ve zonal anizotropi olmadığını göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, linyit yatağının kül değişkeni belirli yönde ve mesafede eğilim veya farklılık göstermemektedir. Mesafe ve yöne bağlı kül değeri ilişkisinin fonksiyonunu belirleyebilmek için elde edilen bu deneysel kül variogram modellerinden en uygununun küresel tip model olduğu ve çiftler arasındaki ilişkiyi temsil ettiği görülmektedir (Şekil 5.21 ve Şekil 5.22). Yukarıda açıklanan hususlar, düşey yöndeki ilişkinin etki mesafesi (a) olan 12 metreden uzaklıktaki mesafelerdeki örnekler ile yatay yöndeki variogramların etki mesafesi (a) olan 1000 metreden uzaklıktaki mesafelerdeki örneklerin tahminlerde kullanılmaması gerektiğini ortaya koymaktadır.



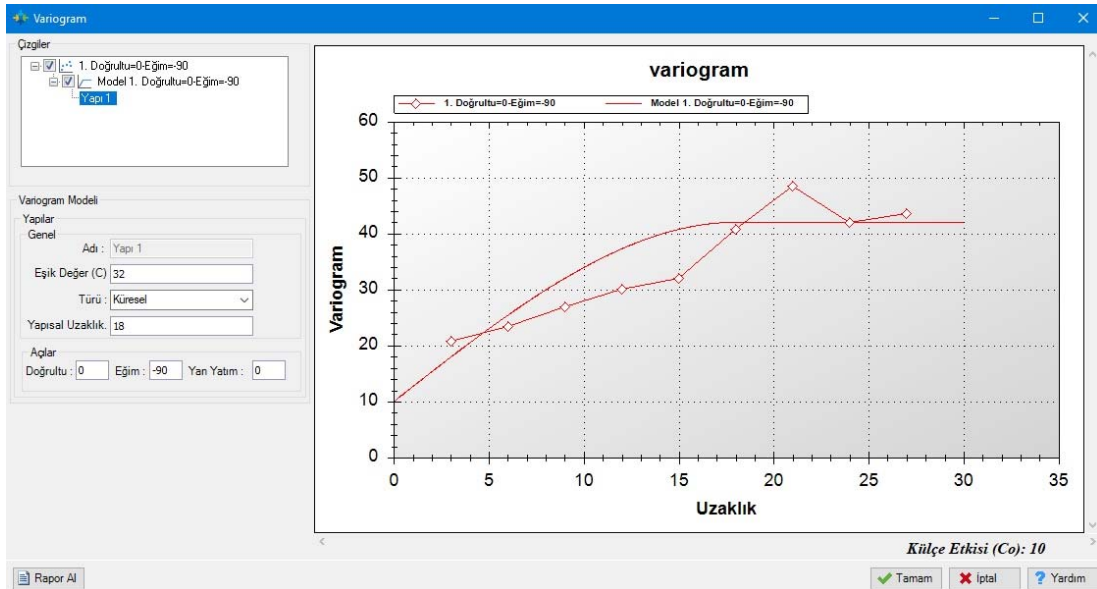
Şekil 5.21 Kül miktarına ait küresel tipte düşey variogram modeli



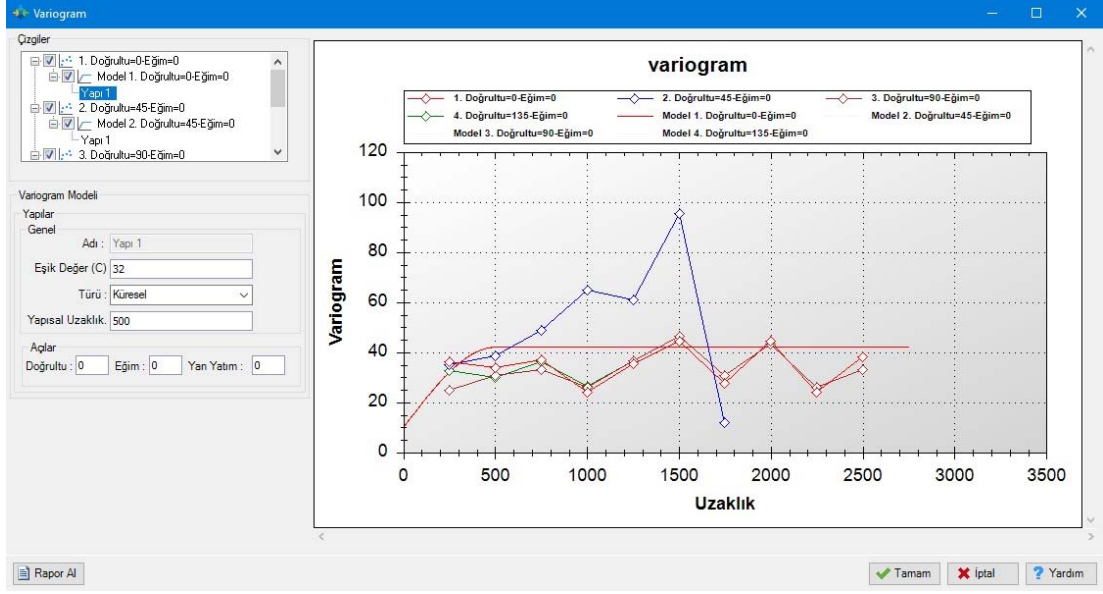
Şekil 5.22 Kül miktarına ait küresel tipte yatay variogram modelleri

Nem verileri uzaklık ve açı toleransları içerisinde gruplandırılmış ve değişkenin yönlü variogram analizleri yapılarak anizotropi testi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5.23’de verilen deneysel düşey variogramdan da görüleceği üzere elde edilen külçe etkisi değeri 10, eşik değeri 32 ve yapısal uzaklık değeri ise 18 metredir. Yatay yönlerde yapılan variogram modelinde de külçe etkisi ve eşik değeri olarak düşey variogram modelinde kullanılan değerler kullanılmıştır. Bu eşik değere ulaşmak için yaklaşık 500 metre etki mesafesinin (a) aynı kaldığı görülmektedir (Şekil 5.24). Bu durum linyit yatağında nem değişkeni için geometrik ve zonal anizotropi olmadığını göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, linyit yatağının nem değişkeni belirli yönde ve mesafede eğilim veya farklılık göstermemektedir. Mesafe ve yöne bağlı nem değeri ilişkisinin fonksiyonunu belirleyebilmek için elde edilen bu deneysel nem variogram modellerinden en uygununun küresel tip model olduğu ve çiftler arasındaki ilişkiyi temsil ettiği görülmektedir (Şekil 5.23 ve Şekil 5.24). Yukarıda açıklanan hususlar, düşey yöndeki ilişkinin etki mesafesi (a) olan 12 metreden uzaklıktaki mesafelerdeki örnekler ile yatay yöndeki variogramların etki mesafesi (a) olan 500 metreden uzaklıktaki mesafelerdeki örneklerin tahminlerde kullanılmaması gerektiğini ortaya koymaktadır.



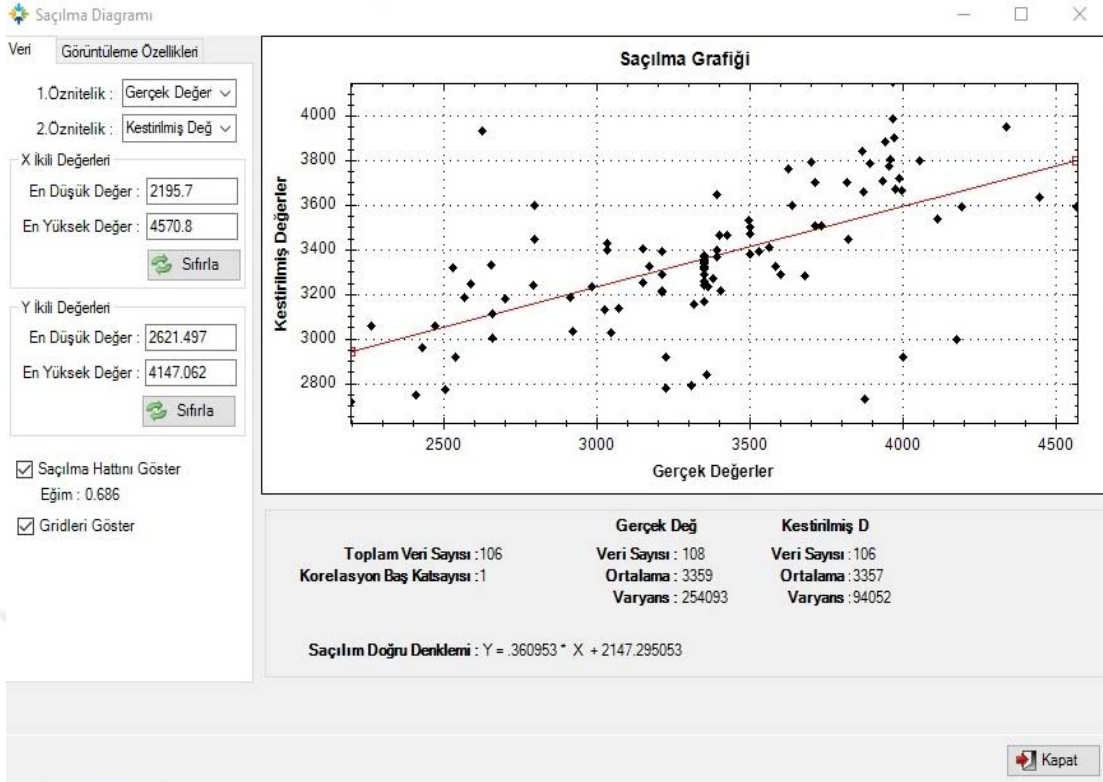
Şekil 5.23 Nem miktarına ait küresel tipte düşey variogram modeli



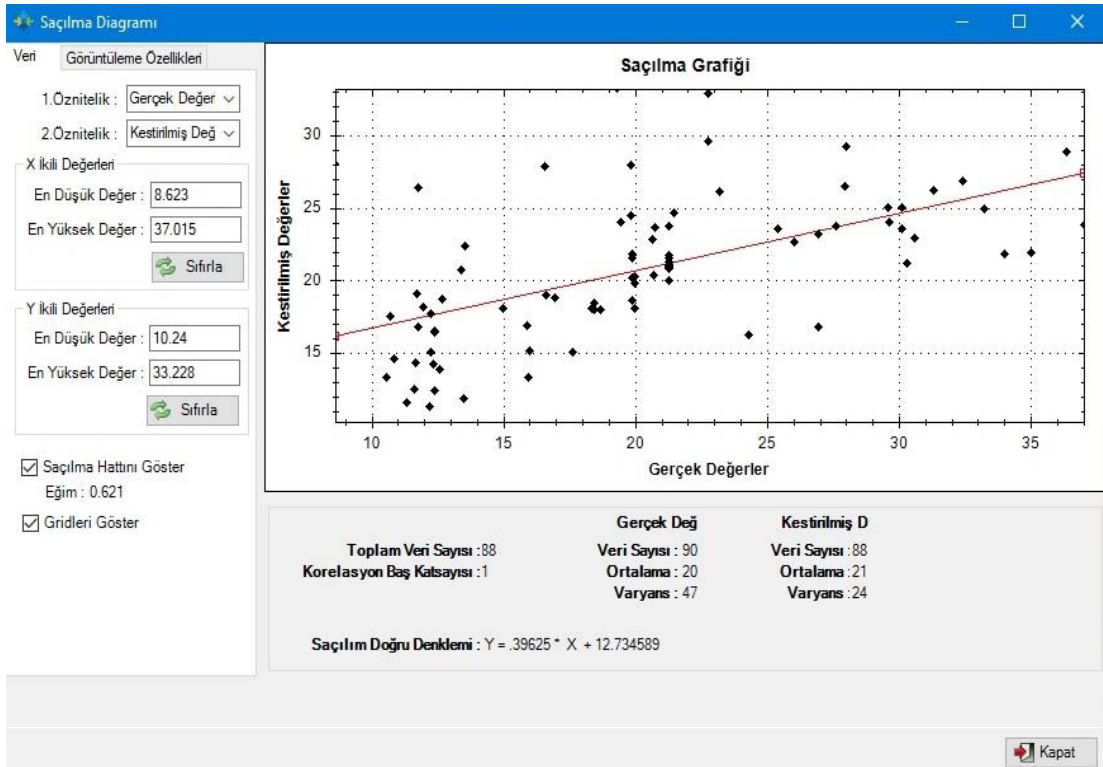
Şekil 5.24 Nem miktarına ait küresel tipte yatay variogram modelleri

5.9 Çapraz Doğrulama

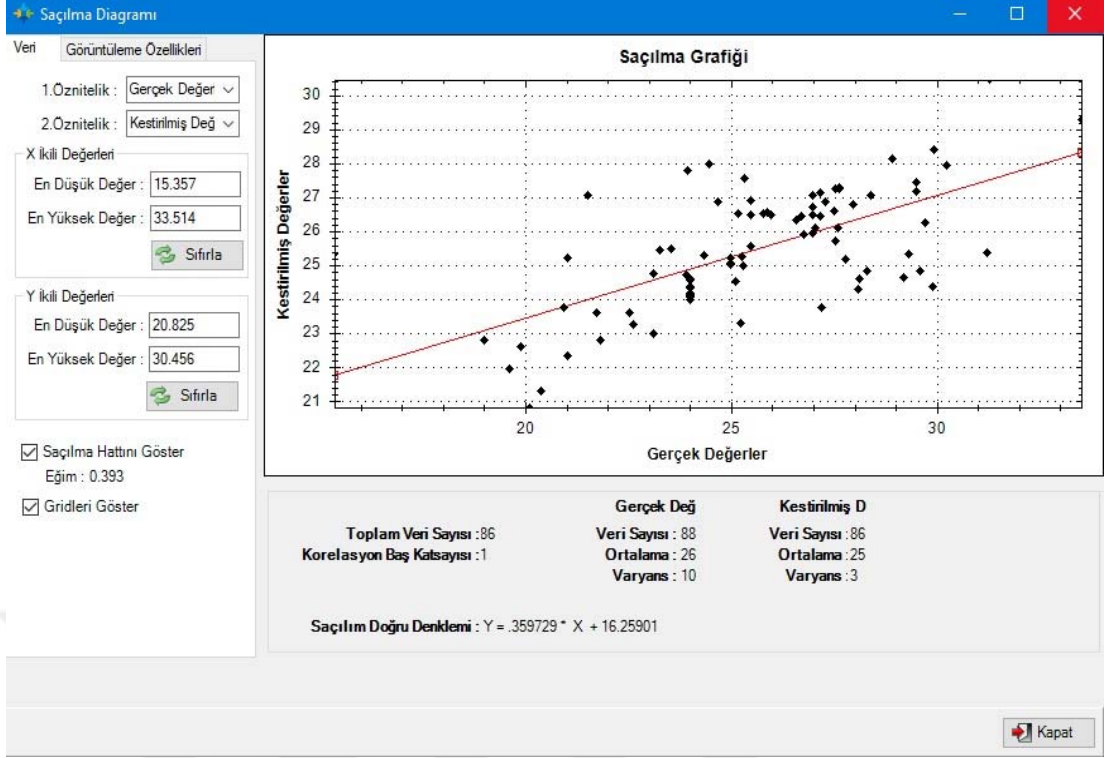
Çapraz doğrulama, bir noktadaki gerçek analiz değerleri ile o noktadaki değerlerin silinerek diğer noktalardan yeniden tahmin edilmesi sonucu elde edilen değerler arasındaki farkın ortaya konulması amacıyla gerçekleştirilen bir işlem olup “ortalama hata” olarak ifade edilmektedir. Tüm tahminler gerçek değerler ile örtüştüğünde ortalama hata “0” olur. Bu değer “0” a yaklaşması gerçek değerler ile tahmin değerlerinin birbirleriyle uyumunun üst düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda AID değişkeni teorik variogram parametrelerinin doğruluğunun test edilmesi amacıyla yukarıda belirtilen çerçevede çapraz doğrulama testi uygulanmıştır. Çapraz doğrulama amacıyla; AID, kül ve nem için oluşturulmuş gerçek değerler ile kestirilmiş değerlere ait saçılma diyagramları Şekil 5.25-5.27’de sunulmuştur. Gerçek değerler ile kestirilmiş değerler arasındaki ortalama hatalar ise topluca Çizelge 5.2’de verilmiştir. Test aşamasında Kriging arama elipsoidi içerisinde kullanılacak en düşük ve en yüksek gözlem sayıları, sondajlardan elde edilen verilerin yetersiz olması nedeniyle, zikredildikleri sıra ile 4 ve 16 olarak belirlenmiştir. Bu değerler deneme yanılma şeklinde elde edilmiş olup tahmin hata yüzdesini en düşük yapan değerler olduğu için tercih edilmiştir.



Şekil 5.25 Gerçek AID ile Kestirilmiş AID saçılma diyagramı



Şekil 5.26 Gerçek kül değeri ile Kestirilmiş kül değeri saçılma diyagramı



Şekil 5.27 Gerçek nem değeri ile kestirilmiş nem değeri saçılma diyagramı

Çizelge 5.2 AID, kül ve nem için çapraz doğrulama sonuçları

Çapraz Doğrulama Parametreleri	Ortalama hata Değeri ⁽¹⁾	Ortalama hata yüzdesi ⁽²⁾ (%)
AID (kCal/kg)	64,24	1,93
Kül (%)	0,17	0,84
Nem (%)	0,63	2,51

⁽¹⁾ Hata değeri= Gerçek değer – Kestirilen değer

⁽²⁾ Hata yüzdesi, %= (Hata değeri / Gerçek değer) × 100

Şekil 5.25’den görüldüğü gibi gerçek AID’lerle kestirilmiş AID’ler birbirine yakındır. Gerçek ve kestirilmiş AID’ler arasındaki ortalama hata yüzdesi 1,93’tür (Çizelge 5.2). Bu değerlendirmeye göre variogram model parametrelerimizin linyit yatağında uzaklığa bağlı AID (kCal/kg) değişimini temsil ettiği sonucuna varılmaktadır.

Gerçek kül değeri ile kestirilmiş kül değeri diyagramında da (Şekil 5.26) değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüş olup ortalama hata yüzdesi 0,84 (Çizelge 5.2)

olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, seçilen variogram model parametrelerinin linyit yatağındaki uzaklığa bağlı kül (%) değişimini temsil ettiğini göstermektedir.

Benzer şekilde nem saçılma diyagramında da (Şekil 5.27) gerçek ve kestirilmiş değerler birbirine yakın olup ortalama hata yüzdesi 2.51'dir (Çizelge 5.2) Sonuç olarak, AID ve külde olduğu gibi nem için de seçilen variogram model parametreleri linyit yatağındaki uzaklığa bağlı nem değişimini temsil etmektedir.

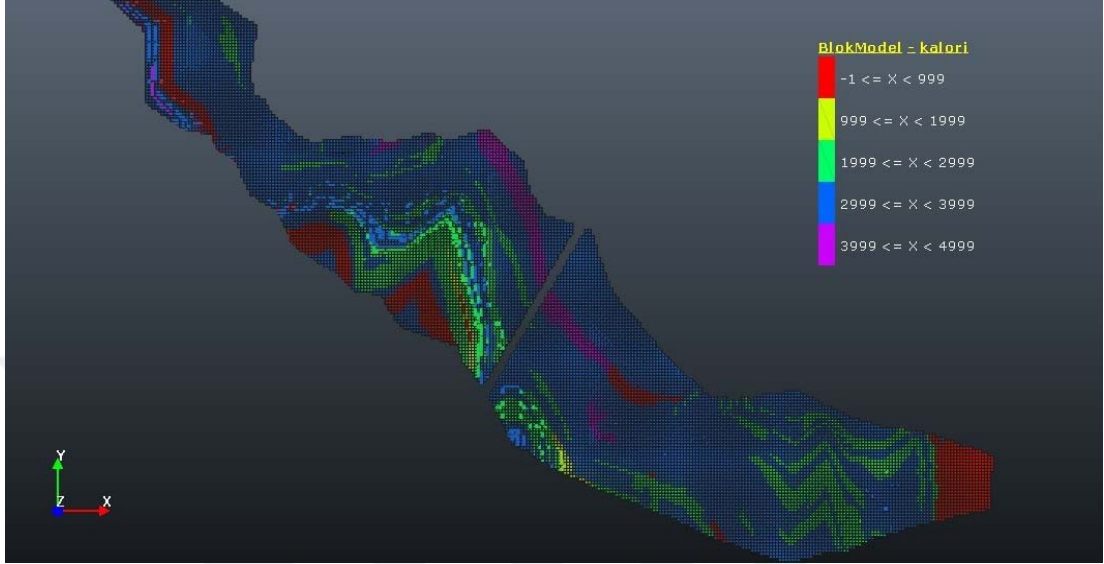
5.10 Kaynak Kestirimi

Her bir kalite öznelik değişkeni için ayrı ayrı kaynak miktarları blok modelden hesaplanarak tematik olarak haritalandırılmıştır (Şekil 5.28-5.30, Çizelge 5.3-5.5). Ayrıca yoğunluk değeri $1,4 \text{ g/cm}^3$ alınarak tonaj hesabı yapılmıştır.

Yapılan modelleme sonucunda linyit yatağının ortalama AID'si 2885,66 kCal/kg, ortalama kül miktarı %18,24 ve ortalama nem miktarı ise %20,6 olarak elde edilmiştir. Bu değerler histogram analiz sonuçlarına (Şekil 5.5-5.7) göre (ortalama AID: 3350 kCal/kg, kül: %21, nem: %24) beklenildiği gibi daha düşüktür. Bu durum veri azlığı ve sondaj lokasyon düzensizliğinden ve bunlara bağlı program tarafından oluşturulan model sınırlarından kaynaklanmaktadır. Hesaplamalara öz nitelikleri kestirilemeyen bloklar dahil edilmemektedir.

Şekil 5.28-5.30 ve Çizelge 5.3-5.5 değerlendirildiğinde aşağıdaki tespitler yapılmıştır.

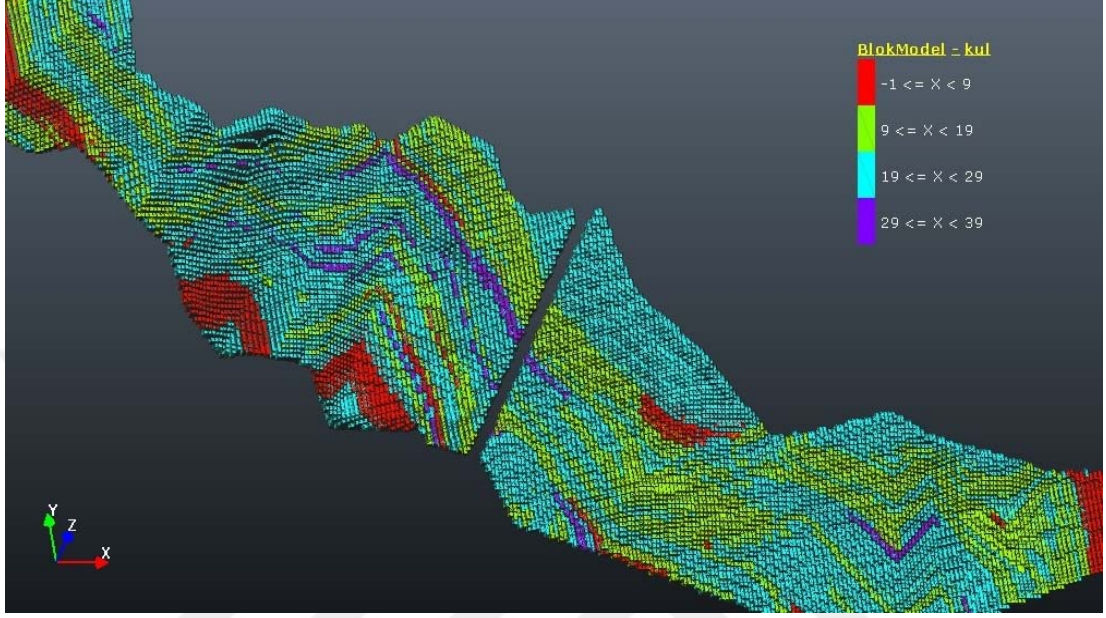
- AID'ler kuzey-kuzeybatı tarafında daha yüksektir (Şekil 5.28).
- Toplam 19,1 milyon m^3 'lük linyit kaynağının yaklaşık %46'lık kısmı 3000-4000 kCal/kg arasındadır (Çizelge 5.3).
- Kül dağılımı sahanın kuzey-kuzeybatı tarafından nispeten daha düşük olmakla birlikte sahada değişkenlik göstermektedir (Şekil 5.29).
- Linyit yatağının yaklaşık %40'ında kül miktarı %19-29 arasında değişmektedir (Çizelge 5.4).
- Nem miktarı sahanın kuzey-kuzeybatı kısmına doğru yükselirken, güney-güneydoğu kısmına doğru azalmaktadır (Şekil 5.30).
- Linyit yatağının yaklaşık %56'lık kısmının nem miktarı %19-29 arasında değişmektedir (Çizelge 5.5).



Şekil 5.28 AID dağılım haritası

Çizelge 5.3 AID blok raporu

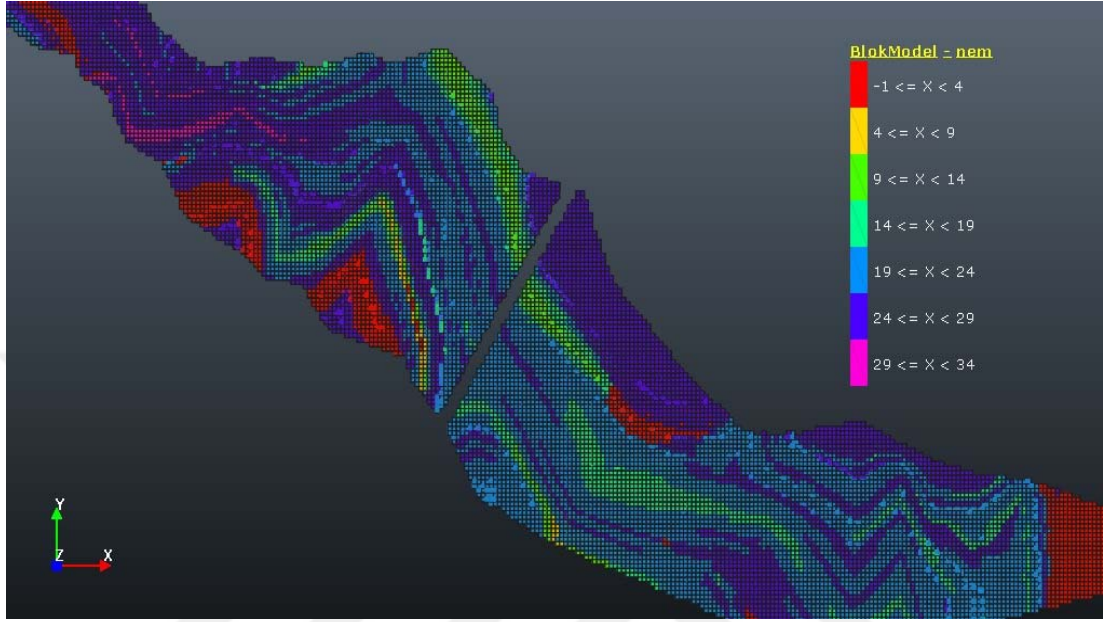
AIDBaşlangıç – AIDBitiş (kCal/kg)	Hacim (m ³)	Tonaj (ton)	Adet	Hacim (%)
-1 - 999	1.997,850	2.796,990	5.737	7,46
999 - 1999	204,070	285,698	481	0,76
1999 - 2999	3.980,160	5.572,224	10.609	14,87
2999 - 3999	12.352,790	17.293,906	37.962	46,14
3999 - 4999	589,140	824,796	1.899	2,20
Toplam	19.124,010	26.773,614	56.688	
Ortalama AID	2.885,660 kCal/kg			



Şekil 5.29 Kül dağılım haritası

Çizelge 5.4 Kül blok raporu

KülBaşlangıç – KülBitiş (%)	Hacim (m³)	Tonaj (ton)	Adet	Hacim (%)
-1 - 9	2.223,88	3.113,432	6.302	8,31
9 - 19	5.708,59	7.992,026	17.752	21,32
19 - 29	10.567,775	14.794,885	30.890	39,47
29 - 39	623,765	873,271	1.744	2,33
Toplam	19.124,010	26.773,614	56.688	
Ortalama Kül	% 18,24			



Şekil 5.30 Nem dağılım haritası

Çizelge 5.5 Nem blok raporu

NemBaşlangıç – NemBitiş (%)	Hacim (m ³)	Tonaj (ton)	Adet	Hacim (%)
-1 - 9	2.131,750	2.984,450	6.021	7,96
9 - 19	1.674,555	2.344,377	5.010	6,25
19 - 29	15.024,990	21.034,986	44.844	56,12
29 - 39	292,715	409,801	813	1,09
Toplam	19.124,010	26.773,614	56.688	
Ortalama Nem	% 20,60			

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında; Alpagut – Dodurga Linyit sahasına ait sondaj verilerinden yararlanarak bir bilgisayar programı ile sondaj verilerinin değerlendirilmesi ve düzenlenmesi, sondajlardan kesit alınması, jeolojik katı model ve blok model oluşturulması, variogram analizi, çapraz doğrulama, krigleme, kaynak kestirimi ve kalite öznitelik değişkenlerinin tematik haritalandırılması çalışmaları yapılmış ve bunlara ilişkin sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- i. Sondaj verilerinden yararlanarak her bir kalite öznitelik değişkeni için histogram grafikleri oluşturulmuştur. AID için ortalama değer 3350 kCal/kg olarak belirlenmiş ve sondajlar içerisinde numune analizi yapılmamış olanlara AID değeri olarak bu değeri atanmıştır.
- ii. Sondaj verileri içerisinde numune analizi yapılmamış olanların kül ve nem değerlerinin belirlenebilmesi için AIDxKül ve AIDxNem arasında regresyon analizleri yapılmış ve ortalama kül değeri %21,3055, ortalama nem değeri ise %24 olarak hesaplandıktan sonra analiz yapılmayan sondajlara bu değerler atanmıştır.
- iii. Çeşitli blok boyutları denemeleri sonucunda sahayı optimum şekilde temsil edecek blok boyutları belirlenmiştir. Blok boyutları 20x20x10 alınmış, alt blok sayısı 1, blok kabul yüzdesi ise %10 olarak belirlenmiştir.
- iv. İstatistiksel analizler neticesinde kompozit uzunluğu 3 m olarak belirlenmiştir.
- v. Cevherleşmenin sahadaki değişimini ve her bir kalite öznitelik değişkeninin uzaklığa bağlı olarak nasıl değiştiğini tespit etmek amacıyla düşey ve yatay (0°, 45°, 90° ve 135° olmak üzere dört yön) yönde variogram analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda geometrik veya zonal anizotropiye rastlanılmamıştır.
- vi. Sondaj örneklemelerinden analiz sonucu belirlenen gerçek öz nitelik değerlerinin (AID, kül ve nem) oluşturulan model üzerinden aynı nokta için kestirilen öz nitelik değerleriyle uyumluluğu çapraz doğrulama ile test edilmiştir. Bu doğrulama sonucunda ortalama hata yüzdeleri AID, kül ve nem miktarı için sırasıyla %1,93, %0,84 ve %2,51 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar; çalışma kapsamında seçilen variogram model parametrelerinin, linyit yatağındaki uzaklığa bağlı öz nitelik değişimlerini temsil ettiğini göstermiştir.
- vii. Modelleme sonucunda linyit yatağının ortalama AID'si 2885,66 kCal/kg, ortalama kül miktarı %18,24 ve ortalama nem miktarı ise %20,6 olarak

belirlenmiştir. Bu değerler sondaj örneklemelerinin histogram analiz değerlerinden (AID: 3350 kCal/kg, kül: %21, nem: %24) beklenildiği gibi düşüktür. Bu durum veri azlığı ve sondaj lokasyon düzensizliğinden ve bunlara bağlı program tarafından oluşturulan cevher blok modelinden kaynaklanmaktadır. Hesaplamalara öz nitelik değeri kestirilemeyen bloklar dahil edilmemektedir. Ayrıca linyit yatağının nihai modeline göre belirlenen diğer sayısal büyüklükler ve tespitlerde aşağıda verildiği gibidir.

- AID'ler kuzey-kuzeybatı tarafında daha yüksektir. Toplam 19,1 milyon m³'lük linyit kaynağının yaklaşık %46'lık kısmı 3000-4000 kCal/kg arasındadır.
- Kül dağılımı sahanın kuzey-kuzeybatı tarafından nispeten daha düşük olmakla birlikte sahada değişkenlik göstermektedir. Linyit yatağının yaklaşık %40'ında kül miktarı %19-29 arasında değişmektedir.
- Nem miktarı sahanın kuzey-kuzeybatı kısmına doğru yükselirken, güney-güneydoğu kısmına doğru azalmaktadır. Linyit yatağının yaklaşık %56'lık kısmının nem miktarı %19-29 arasında değişmektedir.

Çalışma kapsamındaki değerlendirmeler bir bütün olarak ele alındığında aşağıda işaret edilen önerilerin dikkate alınmasında fayda görülmektedir.

- i. MTA tarafından farklı yıllarda (1955, 1967 ve 1989) ve farklı ekipler tarafından yapılan sondajların litoloji tanımlamalarının uyumlu olmaması jeolojik katı modellemesini oldukça zorlaştırmıştır. Bu durum doğruluk hassasiyetini etkilemekte olup yeni yapılacak sondajlarda ortak litoloji tanımlamalarının kullanılması oldukça önemlidir.
- ii. Bazı sondajlarda linyit kalite öz niteliklerinin belirlenmesine yönelik analiz yapılmadığı tespit edilmiştir. Modelleme sırasında bu sondajlarda kesilen linyitler için gerekli öz nitelik değerleri olarak saha ortalamaları kullanılmıştır. Bu husus kaynak kestirim sonuçlarını doğrudan etkileyeceğinden yeni sondaj çalışmalarındaki örneklemeler titiz bir şekilde yapılmalıdır.
- iii. Kaynak kestiriminde sondaj aralıkları ve yayılımı hassasiyet açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle düzensiz sondaj yayılımından kaçınılmalıdır.
- iv. Jeolojik model dikkate alındığında yeni yapılacak sondajların KD/GB yönünde olması kaynak miktarının geliştirilmesi bakımından öncelikli olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aktan, M.** (2015). Sağırılar ve Çivili kömür sahaları kaynak kestirimi. *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 4s, Ankara.
- Altun, N. E., Hiçyılmaz, C.** (2002). Alpagut-Dodurga atık kömürlerinin değerlendirilmesi, *Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 29-31 Mayıs, 113-123, Zonguldak.
- Bender, F.** (1955). Dodurga-Alpagut(Çorum) linyit zuhuru, Ölçek 1:5000 jeolojik-tektonik harita [CD], Ankara.
- Bostan, P.A.** (2017). Basic kriging methods in geostatistics. *Yüzüncü Yıl University*, s11, Van.
- Brooker, P. I.** (1986). A parametric study of robustness of kriging variance as a function of range and relative nugget effect for spherical semivariograms. *Math. Geol.* Vol. 18, No 5, s. 447-488.
- Chaoudai, N.E. ve Fytas, K.** (1991). A sensiuivity analysis of search distance and number of samples in indicator kriging. *CIM Bulletin*, Vol. 84, No 948, s. 37-43.
- David, M.** (1977). Geostatistical ore reserve estimation. *Elsivier Scientific Publishing Company*, 364s, New York.
- Erel, Z.** (2011). Balya polimetallik maden yatağı rezervinin jeostatistik yöntemle analizi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi)*, Adana.
- Erik, N. Y., Aslan, Y. ve Büyüksaraç, A.** (2018). Alpagut-Dodurga kömürlerinin organik jeokimyasal özellikleri. *Pamukkale Üniversitesi Müh. Bilim Dergisi*, 24(3), 566-575.
- Ersoy, A., Yünel, Y. ve Çetin, M.** (2004). Characterisation of land contaminated by past heavy metal mining using geostatistical methods. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 46, pp. 162-175.
- Ersoy, A., Yünel, T. Y.** (2008). Maden Rezerv Hesapları Klasik ve Jeostatistik Yöntemler. *Nobel Kitabevi*, Adana.
- Heuvelink G. B. M.** (2014). Geostatistics Lecture Notes, *Wageningen University*, Netherlands.
- Journel, A., Huijbregts, H. P.** (1978). Mining geostatistics. *Academic Press*, 600s, London.
- Kara, H., Erten, H., Karasmanoğlu, A., Gürsoy, B., Güçlüer, N. ve Polat, N.** (1990). Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Çorum-Osmancık-Dodurga-Alpagut Linyit Sahasının Jeoloji Raporu, *Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü, Enerji Hainmadde Etüd ve Arama Dairesi Başkanlığı*, Rapor No: 08986, Ankara.
- Karpuz, C., Güyagüler, T., Bağcı, S., Bozdağ, T., Başarır, H. ve Keskin, S.** (2000). Linyitlerin kendiliğinden yanmaya yakınlık derecelerinin tespiti:Bölüm 2-TKİ yeraltı ocakları sonuçları, *Madencilik Dergisi*, Eylül-Aralık, Ankara.

- Kim, Y. C. ve Knudsen, H. P.** (1977). Geostatistical ore reserve estimation for a roll-front type uranium deposit. (Practitioner's Guide), GJBX-3(77). U.S. Dep. of Energy Res. and Dev. Administration, 51s.
- Knotters, M., Heuvelink, G. B. M., Hoogland, T., Walvoort, D. J. J.** (2010). A comparison of kriging, co-kriging and kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations, *Geoderma*, 67: 227-246.
- Kürkü, S.N., Ersoy, M., Dursun, E.** (1993). Jeostatistiksel yöntem kullanarak afşin Elbistan havzası çöllolar B-sektörü rezerv belirleme çalışması. *Türkiye 13. Madencilik Kongresi*, 10-14 Mayıs, 29-42, İstanbul.
- Rendu, J. M., David, M.** (1979). A new geostatistical model for the estimation of coal deposits and other sedimentary deposits. Proceedings, 16th APCOM, Society of Mining Engineers, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers (AIEM), p. 182-195.
- Royle, A. G.** (1982). Using geostatistics to estimate coal reserves. *World Coal*, Vol. 8, May, 93-94.
- Royle, A. S.** (1979). Estimating small blocks of ore. How to do it with confidence. *World Mining*, Vol. 32, April, 55-57.
- Saraçoğulları, M., Cenger, Z., Ayaz, E. ve Orta, A.** (1994). Çorum-Alpagut toz kömüründen düşük kükürt emisyonlu biriket üretim olanaklarının araştırılması, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Tercan, A. E.** (2011). Jeostatistiksel Yöntemlere Giriş. *Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü*.
- Toprak, S.** (1996). Alpagut-Dodurga(Osmancık-Çorum) bölgesi çevresindeki kömürlerin oluşum ortamları ve özelliklerinin belirlenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi)*, Ankara.
- TKİ** (2016). Kömür(Linyit) Sektör Raporu, Mayıs 2017.
- TKİ** (2017). Faaliyet Raporu, Mayıs 2018.
- Uğur, H.** (1994). Çorum-Osmancık-Dodurga-Alpagut Linyit Sahasının Jeoloji Raporu, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı*, Rapor No: 9708, Ankara.
- Ünlü, M., Doğan, H. ve Tetik, T.** (2000). TKİ-ADL İşletmesi şlam kömürünün miktar ve kalitesini belirleme ile susuzlandırma çalışmaları, *Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 23-26 Mayıs, 201-212, Zonguldak.
- Url-1**<<http://www.tki.gov.tr>>, alındığı tarih: 28.11.2018.
- Url-2**<<https://www.netpromine.com/tr/anasayfa>>, alındığı tarih: 21.06.2019

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Oğuzhan KÜÇÜKKARASU
Doğum Yeri ve Tarihi	Hatay, 24.10.1989
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Türkiye Kömür İşletmeleri Dodurga Kontrol Müdürlüğü 19060 Dodurga / ÇORUM
E-posta adresi	o.kucukkarasu@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	İskenderun Lisesi
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2007
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2019

İş Tecrübesi

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu	Maden Mühendisi, 2014-....
Sodan Sosyal Danışmanlık	İSG Uzmanı, 2013-2014
Siltaş Silis Kumları A.Ş.	Maden Mühendisi, 2012
Bükköy Madencilik	Maden Mühendisi, 2012