ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Can ÖZDEMİR

YÜZEY MODELLEME TEKNİKLERİ VE KÖMÜR YATAĞINA UYGULANMASI

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2013

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZEY MODELLEME TEKNİKLERİ VE KÖMÜR YATAĞINA UYGULANMASI

Ali Can ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 05/08/2013 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

…….....	……	…….....
Doç. Dr. Ahmet DAĞ	Prof. Dr. Suphi URAL	Prof. Dr. Sedat TÜRKMEN
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

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

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MMF2012YL11

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜZEY MODELLEME TEKNİKLERİ VE KÖMÜR YATAĞINA UYGULANMASI

Ali Can ÖZDEMİR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Ahmet DAĞ
Yıl: 2013, Sayfa: 83
Jüri : Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Sedat TÜRKMEN
: Doç. Dr. Ahmet DAĞ

Madencilik sektöründe yapılan faaliyetler kapsamlı ve detaylı çalışmalardan oluşmaktadır. Bu faaliyetlerin başında maden yatağının işletilmeye alınmasından önce yapılan maden planlama aşamaları gelmektedir. Planlama aşamasında maden yatağının optimum bir şekilde değerlendirilebilmesi için cevher yatağının üç boyutlu katı modelinin hassas bir şekilde elde edilmesi gerekmektedir. Günümüzde, geliştirilen bilgisayar yazılımları ile katı modelleme kolay bir şekilde yapılmaktadır. Ancak, katı model oluşturulması sırasında hangi yöntemin kullanılacağı ve katı modelin sınırlarının nasıl belirleneceği önemli bir tartışma konusudur.

Bu çalışma, katı ve yüzey modelleme de kullanılan yöntemlerin araştırılmasını, polinom interpolasyon yönteminin yüzey modellemede kullanılabilirliğini ve bu yöntemin performansının literatürde bulunan bazı yöntemlerle karşılaştırılmasını içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Katı Modelleme, Yüzey Modelleme, İnterpolasyon Yöntemleri

ABSTRACT

MSc THESIS

SURFACE MODELING TECHNIQUES AND THE APPLICATION TO COAL DEPOSIT

Ali Can ÖZDEMİR

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

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ahmet DAĞ
Year: 2013, Page: 83
Jury : Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Sedat TÜRKMEN
: Assoc. Prof. Dr. Ahmet DAĞ

Mining activities comprise comprehensive and detailed studies. Mine planning stages come at the start of these activities. For optimal evaluation of mine deposit in planning stage, obtaining of sensitive three-dimensional solid model of deposit is required. Nowadays, the solid model has been made easily by the software packages. However, which method is used during the creation of a solid model, and how to determine the boundaries of the solid model is an important subject of discussion.

This study covers an investigation of methods which are used on solid and surface modeling, the availability of the polynomial interpolation method using in surface modeling and comparison of performance of this method with some methods in literature.

Keywords: Solid Modeling, Surface Modeling, Interpolation Methods

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu tezin yönetiminde ve oluşumunda aynı zamanda çalışmalarım sırasında karşılaştığım sorunların çözümünde her türlü desteğini esirgemeyen, çalışmalarımda beni yönlendiren, çalışma yapmak için bütün olanakları sağlayan sayın hocam Doç. Dr. Ahmet DAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezim süresince bana manevi destek olan ve çalışmalarımda emeği geçen Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri ve çok değerli arkadaşım Arş. Gör. Mahmut ALTINER'e, oda arkadaşım Arş. Gör. Zehra ALTINÇELEP'e, kadim dostum Maden Yüksek Mühendisi Seda DEMİRCİ'ye, Arş. Gör. Emine ŞEKER'e, ve Arş. Gör. Abdulkadir ÜRÜNVEREN'e sonsuz teşekkür ederim.

Maddi ve manevi destekleri her zaman benimle olan ve beni her zaman destekleyen aileme sonsuz teşekkürler sunar ve minnettar olduğumu belirtirim.

Yüksek lisans çalışmalarım esnasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen bölüm çalışanlarına, maddi destek veren Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ VI
ŞEKİLLER DİZİNİ VII
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1. 3 Boyutlu Modelleme ile İlgili Çalışmalar 5
2.2.Afşin-Elbistan Linyit Havzası ile İlgili Çalışmalar 9
2.3 Netpro/Mine Programı ile İlgili Çalışmalar 14
3. MATERYAL VE METOD 15
3.1. Materyal 15
3.1.1. Çalışma Alanı 15
3.1.1.1. Çalışma Alanının Konumu ve Sınırları 16
3.1.1.2. İklim, Bitki Örtüsü ve Morfoloji 17
3.1.1.3. İşletme Yöntemi 18
3.1.1.4. Havzanın Genel Jeolojisi 19
3.1.1.5. Havzanın Hidrojeolojik Özellikleri 21
3.1.2. Sondaj Verileri 24
3.1.3. Netpro/Mine Programı 25
3.1.3.1. Netpro/Mine Programının Tanıtımı 25
3.2. Metod 28
3.2.1. Katı Model Kavramı, Önemi ve Kullanım Alanları 28
3.2.2. Madencilikte Katı Modellemenin Gelişimi 31
3.2.3. Katı Modelleme Yöntemleri 33
3.2.3.1. Enkesitten Noktaya Katı Modelleme 35
3.2.3.2. Enkesitlerden Katı Modelleme 36
3.2.3.3. Yüzeyler Arası Katı Modelleme 38

3.2.4. Yüzey Modellemenin Önemi 39
3.2.5. Yüzey Modelleme Yöntemleri 39
3.2.5.1. Jeoistatistiksel Analiz Yöntemi 39
3.2.5.1.(1). Yarıvariogram Analizi 43
3.2.5.1.(2). Çapraz Doğrulama 46
3.2.5.1.(3). Ordinary Kriging 47
3.2.5.2. Üçgenleme Yöntemi 49
3.2.5.2.1. Voronoi Diyagramı ve Delanuay Üçgenlemesi 50
3.2.5.3. Polinom İnterpolasyonu Yöntemi 55
3.2.6. İnterpolasyon Yöntemlerinin Performanslarının Belirlenmesi 57
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 59
4.1. Sondaj Verilerinin Değerlendirilmesi 60
4.2. Veri Dosyalarının Oluşturulması 62
4.3. Yüzey Modellerin Elde Edilmesi 63
4.3.1. Ordinary Kriging 63
4.3.2. Üçgenleme Yöntemi 66
4.3.3. Polinom İnterpolasyonu 68
4.4. Modelleme Sonuçlarının Karşılaştırılması 70
4.5. Katı Modelin Elde Edilmesi 73
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 75
KAYNAKLAR 77
ÖZGEÇMİŞ 83

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. Modelleme metotlarının karşılaştırılması (Yangbing ve diğ., 2007: Gülmez, 2008) 34
Çizelge 4.1. Yarıvariogram model ve parametreleri 64
Çizelge 4.2. Üçgen model için hesaplanan parametreler 67
Çizelge 4.3. Polinom interpolasyon fonksiyonu için hesaplanan katsayılar 68
Çizelge 4.4. Modelleme yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması 70
Çizelge 4.5. Tahmin yöntemleri ve Kom1 üst yüzey alanı değerleri 71
Çizelge 4.6. Kom1 damarına ait hacim ve rezerv değerleri 73

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 3.1. Çalışma alanının yerbulduru haritası 17
Şekil 3.2. Taban kilinden bir görünüm (Mert, 2010) 19
Şekil 3.3. Linyit horizonundan bir görünüm (Mert, 2010) 20
Şekil 3.4. Afşin-Elbistan ve çevresinin genelleştirilmiş jeoloji haritası ve kesiti (Gökmen ve ark., 1993: Mert, 2010) 22
Şekil 3.5. Çalışma alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesit (Akbulut ve ark., 2007: Mert, 2010) 23
Şekil 3.6. Sondaj lokasyonlarının dağılımı 24
Şekil 3.7. Netpro/Mine programının ana ekran görüntüsü 26
Şekil 3.8. Kafes model görünümü 29
Şekil 3.9. Yüzey model görünümü 30
Şekil 3.10. Katı model görünümü 30
Şekil 3.11. Katı modelin elde edilmesi için çizilen enkesit ve noktanın görünümü .. 35
Şekil 3.12. Enkesitten noktaya yöntemiyle elde edilen katı model görünümü 36
Şekil 3.13. Katı modelin elde edilmesi için çizilen enkesitlerin görünümü 37
Şekil 3.14. Enkesitlerden katı modelleme yöntemiyle elde edilen katı model görünümü 37
Şekil 3.15. Katı modelin elde edilmesi için oluşturulan alt ve üst yüzey görünümü . 38
Şekil 3.16. Yüzeyler arası katı modelleme yöntemiyle elde edilen katı model görünümü 38
Şekil 3.17. Variogramda uzaklık ve açı parametrelerinin gösterimi (Mert, 2010) 42
Şekil 3.18. Deneysel yarıvariogram grafiği 45
Şekil 3.19. Küresel tip teorik yarıvariogram modeli ve parametreleri 46
Şekil 3.20. Delaunay üçgenlemesi 51
Şekil 3.21. Voronoi diyagramı 51
Şekil 3.22. Üçgen modelleme aşamalarının gösterimi 54
Şekil 4.1. Sondajlara ait orijinal litoloji 61
Şekil 4.2. Sondajlara ait düzenlenmiş litoloji 61
Şekil 4.3. Model ve test veri setlerine ait sondajların lokasyonları 62

Şekil 4.4. Deneysel ve küresel tip yarıvariogram modelleri 63
Şekil 4.5. Deneysel ve gaussian tip yarıvariogram modelleri 64
Şekil 4.6. Gaussian model ile elde edilen Kom1 üst yüzey görünümü 65
Şekil 4.7. Küresel model ile elde edilen Kom1 üst yüzey görünümü 65
Şekil 4.8. Oluşturulan üçgenler ve test verilerinin dağılımı 66
Şekil 4.9. Üçgen model ile elde edilen Kom1 üst yüzey görünümü 67
Şekil 4.10. Model veri ile elde edilen polinom yüzey model görünümü 69
Şekil 4.11. Polinom model ile elde edilen Kom1 üst yüzey görünümü 69
Şekil 4.12. Tahmin edilen ve gerçek test değerlerinin grafiksel görünümü 71
Şekil 4.13. Yüzey modeller ve A-A′ kesiti görünümü 72
Şekil 4.14. A-A′ hattı üzerinden alınan bir bölgedeki yüzeylerin kesit görünümü 72
Şekil 4.15. Polinom interpolasyonu ile elde edilen alt ve üst yüzeylerin görünümü . 74
Şekil 4.16. Yüzeyler arası katı modelleme ile elde edilen katı model görünümü 74

1. GİRİŞ

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ekonomik durumlarına bakıldığı zaman madencilik faaliyetlerinden elde ettikleri gelirlerin göz ardı edilemeyecek kadar önemli bir düzeyde olduğu görülmektedir. Bu nedenle ekonomik ve sosyal kalkınmanın sağlanması bakımından kritik önem taşıyan madencilik, oldukça önemli ve üzerinde durulması gereken sektör olma özelliğini korumaktadır. Birçok ülke yer altı ve yer üstü kaynaklarının değerlendirilmesi amacı ile madencilik sektörüne yaptığı yatırımlarla dünya genelinde adından söz ettirmektedir. Sahip olunan bu doğal maden kaynakları ülkelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak yönünde değerlendirilmektedir.

Ülkemizde ve dünyada sosyal ve ekonomik kalkınmanın en ağırlıklı temel girdisi olan enerjiye gün geçtikçe daha fazla gereksinim duyulmaktadır. Türkiye'de elektrik tüketimi her yıl ortalama %7-8 oranında artmaktadır. Artan talebi karşılamak için ülkemiz yeni enerji projelerine her yıl 3-4 milyar ABD doları tutarında yatırım yapmak zorundadır. Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji yaşamsal bir ihtiyaçtır.

Ülkemizin kendine yeterli, sürekli, güvenilir ve ucuz elektrik enerjisi arzına sahip olabilmesi, ancak; linyit, taşkömürü, hidrolik ve diğer yerli kaynaklarımızın kullanımının enerji üretimindeki payının artırılması ile mümkün olacaktır.

24.199 MW kurulu olan gücü ve 12.191 çalışanı ile EÜAŞ ülkemiz enerjisi ihtiyacının yaklaşık %46'sını karşılamakta ve dünyanın önde gelen enerji üretim şirketleri arasında yer almaktadır. EÜAŞ bünyesindeki ülkemiz linyit yatakları içinde en büyük potansiyele sahip Afşin-Elbistan Linyit Havzası düşük ısıl değerlerine rağmen önemli enerji hammaddesi kaynaklarımızdandır. 2008 tarihinde ki kayıtlara göre A ve B termik santrallerinin toplam 2.795 MW kurulu gücü bulunmaktadır. Kahramanmaraş ilinin Afşin ve Elbistan ilçelerinin kuzeyinde kalan havza 2,6 milyar ton görünür rezerve sahiptir. Afşin-Elbistan Linyit Havzası, diğer linyit sahalarına göre daha ekonomik örtü/linyit oranı ile öncelikle değerlendirilmesi gereken saha olma özelliğine sahiptir (Ural ve Onur, 2000). Bu özelliklerinden dolayı çalışma alanı olarak Afşin-Elbistan linyit havzası seçilmiştir.

Bilindiği gibi madencilik faaliyetleri yüksek maliyetler gerektiren aşamalardan oluşmaktadır. Bir maden yatağının işletilmeye açılıp açılmayacağına karar verilirken bu maliyetler mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Maden sahası işletilmeye başlanılmasından önce bir takım çalışmaların yapılması ve ortaya çıkan sonuçlarının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi zorunludur. Söz konusu çalışmaların başında da üretim planlaması gelmektedir. Planlama aşamasında dikkate alınacak en önemli konular maden sahası içerisinde var olan cevher kütlesinin konumu, yataklanma şekli ve miktarıdır. Bu konularda değerlendirmeyi yapacak olan kişilere hem matematiksel hem de görsel açıdan yardımcı olacak işlem, maden yatağının 3 boyutlu modellenmesi işlemidir.

Madencilik projeleri esnasında yapılan iki boyutlu çizimler, çıkarılan kesitler ve buna benzer planların yapılması maden yatağının güvenilir bir şekilde temsil edilmesine izin vermemektedir (Jiang, 1998; Gülmez, 2008). Bu nedenle planlama aşamasında maden yatağının en iyi şekilde temsil edilmesi ve incelenmesi üç boyutlu modelleme işlemiyle sağlanabilir.

Modelleme işlemleri bilgisayar programları yardımıyla daha az hata ve daha kısa işlem süresi harcanarak yapılabilmektedir. Bilgisayar yardımıyla maden yatağının modellenmesi işlemi ilk defa 1960'ların başlarında kullanılmıştır (Çetiner, 1991; Gülmez, 2008). Zamanla geliştirilen bilgisayarların ve bilgisayar programlarının günümüzde cevher modellenmesi için aktif olarak kullanılması birçok yenilik getirmiştir. Bir maden yatağının her ayrıntısının ve yer kabuğunda kapsamış olduğu sınırların tanımlanabilmesi üç boyutlu olarak temsil edilebilmesine bağlıdır. Bu amaca yönelik olarak genel bilgisayar destekli çizim sistemlerinin (CAD) kullanılması kişilere yardımcı olmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları geçmiş yıllardan günümüze kadar ocak dizaynı ve planlama prosedürlerinde kullanılmaktadır (Jiang, 1998; Gülmez, 2008). Bu uygulamaların geliştirilmesi ve CAD tabanlı bilgisayar programlarının yardımıyla gün geçtikçe yaygınlaşan katı model yaklaşımı ortaya çıkmıştır. Katı model yaklaşımı temelde CAD/CAM (Bilgisayar destekli tasarım/Bilgisayar destekli üretim) endüstrisinde üç boyutlu objelerin sunumu için geliştirilmiş bulunmaktadırlar (Braid, 1975; Krouse, 1985; Mantyla ve Tamminen, 1983; Gülmez, 2008). Ayrıca katı modelleme

yaklaşımı, jeolojik yapıların üç boyutlu modellerini oluşturmak için kullanılan bir araç olarak pek çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Katı modeller tam ve açık bir şekilde, herhangi bir yerde biçimlenmiş, karmaşık sınırlar ve gömülmüş damarlar içeren bir varlığın stratigrafisi olarak tanımlanabilmektedir. Stratigrafinin her bir bileşeni ayrılmış üç boyutlu bir cisim tarafından temsil edilmektedir (Lemon ve Jones, 2003; Gülmez, 2008).

Madencilikte üretim planlaması yapılırken birçok hesaplamanın maden yatağının katı modeli üzerinden yapılacağı bilinmektedir. Bu nedenle katı modelin hassas ve doğru bir şekilde elde edilmesi oldukça önem kazanmaktadır. Günümüzde bahsedilen katı modelleme işleminin yanı sıra planlama aşamasında da yapılması gereken işlemlerin hemen hemen tamamını kapsayan bilgisayar programları bulunmaktadır. Ancak bu bilgisayar programlarının birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle planlama çalışmalarında kullanılacak olan madencilik programının seçimi yapılırken amacımıza uygunluğu değerlendirilmelidir. Genellikle yaygın olarak kullanılan madencilik programları Surpac, Micromine, Datamine, İzotas v.b. şeklinde sıralanabilir. Bu madencilik programlardan birisi de çalışmada kullanılmış olan, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, TKİ ve TÜBİTAK işbirliğiyle maden yatağının bulunmasından sonraki aşamalar ve son olarak üretimin tamamlanması aşamasına kadar tüm planlama tasarımlarının yapılabilmesine olanak veren, bu alanda Türkiye'nin ilk yerli ürünü olan Netpro/Mine bilgisayar programıdır.

Netpro/Mine programı topoğrafik arazi modelinin oluşturulması, yapılmış olan sondajların ve jeolojik araştırmaların yardımıyla 3 boyutlu cevher yatağı modelinin elde edilmesi, kaynak ve rezerv hesaplamalarının yapılması, cevher yatağının hangi yöntemle en verimli şekilde üretileceği v.b. gibi baştan sona tüm aşamalarıyla bir üretim planlaması yapılabilecek şekilde geliştirilmiştir (Arıöz, 2011).

Bahsedilen bilgisayar programları yardımıyla katı modelleme işlemi oldukça kolay ve pratik bir hale gelmiştir. Yer kabuğunun tamamının cevher olamayacağı bilinmektedir ve cevherleşmenin belirli bir sınır içerisinde olacağı düşünüldüğünde, katı modelin oluşturulması için maden sahasında belirli bir sınır belirlenmesi

gerekmektedir. Ancak katı modeli kapsayacak olan bu sınırların farklı yöntemlerle elde edilebilir olması tartışma konusu yaratmaktadır. Bu çalışmanın amacı, literatürde bulunan ve yaygın olarak kullanılan farklı interpolasyon yöntemleri ile polinom interpolasyon yöntemi kullanılarak maden yatağının katı modelinin sınırlarını belirleyecek olan yüzey modellerin elde edilmesi, bu modellerin doğruluğunun karşılaştırılması ve en iyi sonucu veren tahmin yönteminin belirlenmesidir. Ayrıca bu çalışma, performansı en iyi olan tahmin yönteminin Afşin-Elbistan linyit sahasına uygulanıp, elde edilen yüzey modellerin yardımıyla kömür yatağının katı modelinin oluşturulmasını kapsamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. 3 Boyutlu Modelleme ile İlgili Çalışmalar

Literatürde katı modelleme üzerine farklı alanlarda birçok çalışma yapılmış olup bu çalışmaların bazıları bu bölümde özetlenmiştir.

Çetiner (1991) tarafından yapılan, bilgisayar destekli maden yatağı modellemesi ve kesit yöntemiyle rezerv tahmininin Hüsamlar kömür sahasına uygulanması konulu yüksek lisans tezinde, sondaj araştırması yapılmış bir maden yatağını değerlendirmekte kullanılan bir program geliştirmiştir. MADMOD adı verilen söz konusu paket program, yatağın modellenmesinde sıkça kullanılmakta olan kesit yöntemleri ile rezerv tahmini yapabilmektedir. Bunların yanı sıra program harita çizimi, üç boyut yüzey çizimi, hacim hesabı ve kriging veya inverse distance (mesafenin tersi) interpolasyonları ile gridleme vb. yapabilmektedir. Programın güvenilirliğini kontrol etmek amacı ile adı geçen saha ve mevcut maden damarı üzerinde denemiştir. Sonuçları, SURFER adlı programın sonuçları ile karşılaştırarak değerlendirmiştir. Ayrıca programın rezerv hesabı kısmının doğruluğunu ortaya koymak amacıyla hacmi bilinen bir dikdörtgenler prizması üzerinde test etmiştir.

Sides (1997) tarafından yapılan, madencilikte tahmin için maden yataklarının jeolojik modellenmesi konulu çalışmada, maden yataklarının doğru ve eksiksiz değerlendirilebilmesi için kullanılmakta olan jeolojik ve üç boyutlu bilgisayarlı modelleme tekniklerini incelemiştir. Üç boyutlu modelleme tekniklerinin, tarihsel gelişimini irdeleyerek, söz konusu teknikleri farklı açılardan değerlendirmiştir. Özellikle üç boyutlu modelleme tekniklerini sınıflandırarak, sınıflara dahil ettiği metotları kısaca anlatmıştır. Söz konusu çalışma, güncel çalışma alanlarının, günümüz madenciliğine katkılarını ve teknik anlamda modelleme yöntemlerinin geliştirilebilirliğini, daha önce yapılmış çalışmalarla da desteklemiştir.

Jiang (1998) tarafından yapılan, görsel olarak canlandırma ve bilgi sistemi ile interaktif bir üç boyutlu maden modellemesi konulu çalışmada, değişken ve üç boyutlu özellik gösteren maden yataklarının, ancak üç boyutlu görsel bir çevrede doğru olarak sunulabileceğini savunmaktadır. Söz konusu tez, maden yataklarının üç

boyutlu canlandırılması ve bilgi yönetimi sistemini CAD tabanlı GeoTech adlı programda desteklemektedir. Mevcut bilgisayar ortamında üç boyutlu modelleme geliştirirken kullanılmakta olan metodoloji, bu çalışmada tarif edilmiştir.

Akçakoca (2001) tarafından yapılan, maden yataklarının üç boyutlu olarak modellenmesinde yapay sinir ağı sistemlerinin kullanılması ve integrasyonu konulu doktora tezinde, üç boyutlu model oluşturulması ve rezerv hesaplamalarında kullanılacak, üç boyutlu bir yapay sinir ağı sistemi programlamıştır. Turbo Pascal dilinde kodlanan programın, maden yataklarının değişken özelliklerine en uygun parametreleri tespit etmek amacıyla kendini eğitebildiği belirtilmektedir. Hesaplanan optimum hata miktarına ulaşınca, elde ettiği verileri blok modele yayan programın, güvenilirliğini ortaya koymak için dört farklı maden yatağında uygulamalar yapılmıştır. Uygulama sonuçlarını bilinen sonuçlar ile karşılaştırılarak değerlendirmiştir.

Lemon ve Jones (2003) tarafından yapılan, sondaj bilgilerinden ve kullanıcı tanımlı kesitlerden katı model oluşturma konulu çalışmada, sondaj verilerinden yatağın katı modelini elde etmeye yönelik modelleme tekniğinin metodolojisini anlatmıştır. Bu araştırma çerçevesinde, jeolojik model oluşturmak için önce yüzeyler daha sonra da bu yüzeylerin interpolasyonu ile katmanlar elde edilmektedir. Çalışmada bahsedilen yöntem, ayrıntılı olarak farklı aşamaları içeren başlıklar halinde sunulmuştur. Bu yeni yöntem yer altı suyu modellemesinde kullanılacak uygulamalar için oluşturulmuş olup, anlatılan metodun alüvyal sistemlere ideal bir şekilde uygunluk gösterdiği belirtilmektedir.

Erarslan (2003) tarafından yapılan, jeoloji ve madencilik sistemi (JMS) ve bir bakır sahasının değerlendirmesi konulu çalışmada, jeolojik modelleme ve maden değerlendirme konularında kullanılmak üzere Jeoloji ve Madencilik sistemi (JMS) olarak adlandırılan bir yazılım paketi geliştirmiştir. Bu yazılım sistemi yardımıyla, üç boyutlu cevher modelleme yeteneğinin yanı sıra harita ve kesit çizimi gibi görsel, istatistik ve hacim hesaplamaları gibi matematiksel işlemleri de gerçekleşmektedir. Sorgulama araçları, bir bakır sahasında kullanılarak uygulama sonuçları değerlendirmiştir.

Yangbing ve diğerleri (2007) tarafından yapılan, üç boyutlu GIS'de uzaysal modelleme konulu çalışmada üç boyutlu uzaysal modelleme metotlarını araştırılmıştır. Bu inceleme esnasında doğal oluşumların yanı sıra yeraltının insan eli ile şekillendirilmiş çeşitli yapılarını da içeren tüm modelleme yöntemleri derlenmiştir. Araştırma konusu tekniklerin her biri belli kategorilerde sınıflanmıştır. Her sınıfın kendi içinde değerlendirilmesinin yanı sıra tekniklerin her biri özel olarak incelenmiştir. Mevcut inceleme, metotların temel özelliklerinin bir karşılaştırması olarak verilmiştir.

Yünsel (2007) tarafından yapılan, maden yataklarının jeoistatistiksel yöntemlerle analizi ve modellenmesi konulu doktora tezi çalışmasında, klasik istatistik, kriging ve ardışık Gauss simülasyonu içeren jeoistatistiksel yöntemler kullanılarak Tufanbeyli (Adana) ve Çayırhan (Ankara) linyit yataklarının kalite parametrelerini modellemiştir. İncelenen sahaların rezervleri adı geçen modern jeoistatistik yöntemlerle tahmin edilmeye çalışılmıştır. Her iki saha için kalite ve rezerv özelliklerinin tahmin edilmesinin yanı sıra yapısal ve kimyasal değişim modellenmiştir. Çalışmada söz konusu irdeleme yöntemlerinin, kömür başta olmak üzere diğer maden yataklarına uygulanabilirliğine dikkat çekilmektedir.

Alkan (2007) tarafından yapılan, jeoistatistik ve bulanık yaklaşımlar ile Adana çimento hammadde sahasının değerlendirilmesi konulu yüksek lisans tezi çalışmasında, sondaj bilgileri uygun veri dosyaları haline getirerek çeşitli kestirim yöntemleri kullanılmış ve Adana çimento hammadde sahası modellenmiştir. Rezerv hesaplanırken poligon, kriging ve mamdani tipi bulanık modelleme yöntemleri ilgili sahaya uygulanmıştır. Söz konusu tekniklerden elde edilen sonuçlar metot bazında birbirleri ile kıyaslanırken, daha önce yapılan etüt çalışması sonuçları ile de karşılaştırılmıştır.

Gülmez (2008) tarafından yapılan, bir maden yatağının katı modelinin oluşturulması konulu yüksek lisans tezi çalışmasında, sondaj verilerinden elde edilen üç boyutlu koordinat verileri kullanılarak, maden yataklarının 3 boyutlu katı modellerini oluşturan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, Visual Basic dilinde iki yazılım geliştirmiş ve veri üretimi ile AutoCAD ortamında katı model otomasyonu sağlanmıştır. Sonuçların güvenilirliğini test etmek için model

iki farklı saha üzerinde denenmiş ve kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, örnek bir bölge üzerinde daha önce yapılmış araştırmalar ile karşılaştırılmıştır.

Yücel (2010) tarafından yapılan, Hollanda, friesland platformundaki tuz yapılarının 3 boyutlu modellemesi konulu yüksek lisans tezi çalışmasında, Kuzey Hollanda'da sabit bir platform olan ve Avrupa'nın tuz deformasyonu dahilinde bulunan Friesland Platformu bölgesinde 3 boyutlu sismik ve kuyu verileri kullanılarak bilgisayar tabanlı 3 boyutlu modelleme yapılması ve tuz deformasyonu başta olmak üzere bölgenin jeolojik geçmişinin yorumlanması amaçlanmıştır. Model fay ve stratigrafik katmanların zaman tabanlı sismik kesitlerde yorumlanması ve zamandaki modelin derinliğe göçü ile oluşturulmuştur. Bölgenin stratigrafisinin sismiklerle korelasyonu kuyu verisi ile yapılmıştır. Model ana jeolojik yapılar ve sismik stratigrafik birimleri içermektedir. Böylece tuz ve tuz ilişkili yapıları ortaya koyarak bölgenin Permiyen'den günümüze kadar olan aktif tuz deformasyonu ortaya çıkartılmıştır.

Kıvrak (2011) tarafından yapılan, Himmetoğlu (Bolu-Göynük) linyit sahasının jeoistatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi konulu yüksek lisans tezi çalışmasında, Himmetoğlu Linyit Sahası'nın jeoistatistiksel bir incelemesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla mevcut sondaj verileri kullanılarak A, B ve K panolarının katı modellerini oluşturulmuştur. A panosu 50 m x 50 m x 2 m boyutlarındaki bloklara bölünmüş ve ortalamasız kriging yöntemi kullanılarak her bir bloğun ısıl değer, nem, kül içeriklerini tahmin etmiştir. Ayrıca, koşullu ardışık normal benzetim yöntemi ile A panosunun bu değişkenler için 100 farklı kalite modelini üretmiştir. Kestirim ve benzetim sonuçları kalite/tonaj eğrilerinin üretilmesi için kullanılmış ve bu eğrilerdeki belirsizlik değerlendirilmiştir.

Dautov (2012) tarafından yapılan, Konya-Ilgın Çavuşçu linyit sahasının bilgisayar destekli tasarımı ve planlaması konulu yüksek lisans tezi çalışmasında, Konya-Ilgın linyit ocağının Micromine 11.0 programı ile modellenmesini, rezerv hesaplamalarını, açık işletme dizaynını yaparak uygun işletme ve üretim yöntemine karar verme aşamalarını sunmaya çalışmıştır. Sahanın modellenmesi için daha önce MTA ve John T. Boy Company (American Coal Company) tarafından yapılmış olan

sondaj verilerini programa yükleyerek sondajların üç boyutlu görüntüsünü elde etmiştir. Sonra sondajlardan kesit alarak kömürün katı modelini tasarlamıştır. Rezerv hesaplamalarında, kesit yöntemi ve Grid-tavan-taban izohips yönteminde gridding metodu ile iki metod kullanarak rezerv hesabı yapmıştır ve sonuçta iki metod arasındaki fark değeri karşılaştırmış ve ortalama rezervi bulmuştur. Konya-Ilgın kömür sahasında kömürün yüzeye yakın olduğu varsayımı ile yola çıkarak ve şev yüksekliği, basamak genişliği ve yol eğimi göz önüne alınarak açık işletme dizaynı tasarlanmıştır. Açık ocak maliyet bakımından da incelenmiş olup açık ocağın maliyeti hesaplanmıştır.

2.2. Afşin-Elbistan Linyit Havzası ile İlgili Çalışmalar

Afşin-Elbistan linyit havzasında yapılan ilk çalışmalar kömür etüdü ve rezervi üzerine olmuştur. Daha sonra kömür sahasının fizibilitesi, jeofizik ve jeoteknik çalışmaları yapılmıştır. Bu havzada yapılan belli başlı çalışmalar kronolojik sırayla aşağıda verilmiştir.

Önen (1936) tarafından bölgedeki ilk çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sivas, Malatya, Kahramanmaraş ve Gaziantep illeri civarındaki linyit yataklarını incelemiş ve Kahramanmaraş ili çevresinde dört ayrı yerde kömür oluşumunun bulunduğunu, ancak bunların ekonomik değere sahip olmadıklarını belirtmiştir.

Otto-Gold (1969), Müşavir-Mühendislik firması olarak Alman teknik yardımı çerçevesinde Afşin-Elbistan linyitlerinin varlığına ve daha sonra da fizibilitesine yönelik ayrıntılı çalışmalar yapmıştır. Bu amaçla 1966-1969 yılları arasında linyitlerin aranması, oluşumu, yayılımı, rezervi ve özelliklerine yönelik arazi, sondaj, analiz ve benzeri çalışmalarla Afşin-Elbistan linyitlerinin fizibilite etütlerini gerçekleştirmiştir.

Rheinbraun Consulting (1976) tarafından hazırlanan Kışlaköy Açık İsletmesi üretim planlaması ve rezerv hesaplaması raporunda, Kışlaköy sahasında 1.576×10^6 m^3 örtü + ara kesme ve $577{,}9 \times 10^6$ ton linyit olduğunu belirtmektedir.

Özbek ve Güçlüer (1977), Maraş–Elbistan Çöllolar linyit sektöründe yaptıkları hidrojeolojik çalışmalar sonucunda, temel formasyonlardan kireçtaşlarının

akifer özellik taşıdığını saptamış ve faylanmalar ile bu seviyelerden kömür işletme sahasına etkili miktarda su gelişi olacağını belirtmişlerdir.

Aydoğan (1978), Elbistan-Çöllolar sektöründe daha önce varlığı saptanan linyit yatağının fizibilite çalışmalarında 245 adet sondajın yapıldığını ve bu sondaj verilerine göre kömür kalınlığının doğudan batıya ve kuzeybatıya gidildikçe azaldığını belirtmiştir.

Gürsoy ve ark. (1981), Çöllolar, Hurman ve Sinekli köyleri arasında kalan sahanın kömür rezervine yönelik yapmış olduğu çalışmada 466 milyon ton linyit rezervi tespit etmişlerdir. Linyit damarlarından alınan numunelerden, linyitin yaşı Pliyosen olarak, gidya birimi içinde bulunan Ostrocod'lara göre bu çökeller için Pliyo–Pliyostesen yaşını vermişlerdir.

Perinçek ve Kozlu (1984), Afşin, Elbistan, Doğanşehir arasında kalan alandaki birimlerin stratigrafisi ve bunların birbirleriyle ilişkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, sondaj verilerine göre Kızıldağ ve Afşin arasında kalan alanda kalın kömür damarlarının bulunduğunu belirtmişlerdir.

Yörükoğlu (1991) tarafından, Kışlaköy Açık işletmesinin jeolojisi–hidrojeolojisi, planlama kriterleri, kömür üretim miktarı ile kullanılan makine ve ekipmanları konusunda bir çalışma yapılmıştır.

Gökmen ve ark. (1993) tarafından, Afşin-Elbistan linyit havzası ile ilgili bilgiler derlenmiştir. Derlemeye göre; Neojen öncesi yaşlı kayaçların, linyit içeren birimlerin temelini oluşturduğunu, Neojen yaşlı çökellerin limnik fasiyeste geliştiğini bildirmişlerdir.

Kürkçü, Ersoy ve Ersun (1993), daha önce yapılan çalışmalarla belirlenmiş olan Afşin-Elbistan Çöllolar (B) sektörünü jeoistatistiksel yöntem kullanılarak yeniden irdelenmesini amaçlamışlardır. Çalışmalarının sonucunda Taylor yaklaşımını kullanan 'Contur-II ve Reserve-Coal' programlarıyla elde edilen rezerv miktarı ile kriging yöntemini kullanan 'GEO-EAS' programından elde edilen rezerv miktarı arasında büyük bir fark olmadığı anlaşılmıştır. Bunun nedeni, kömür yataklarının sedimanter bir yapıda olmasıdır. Bir başka değişle jeoistatistik yöntemi ile daha çok uygulama alanı bulan metalik madenlerin yapılaşmasından farklı olmasına bağlanabilir. Yapılan çalışmada hata oranının en aza indirgenmesi yönünde

istatistiksel irdelemelere olanak sağlaması nedeniyle jeoistatistiksel yöntemin uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Öztürk (1994) tarafından, Afşin-Elbistan açık işletmesinde sert kayaç problemi ortaya konmuş ve işletmeyi ne derecede etkilediği gösterilmiştir. Kazıcıların durma sebepleri içindeki payı ortaya konmuştur. Ayrıca işletmede TKİ ve Rheinbraun Consulting tarafından yapılan sondajlara istinaden basamaklara göre sert kayaç hacimleri tespit edilmiştir. Sert kayaç tabakasının şevdeki pozisyonuna bağlı olarak kazıcıların çalışma teknikleri incelenmiştir. Sonuç olarak taşların bertaraf edilmesi için uygulanabilecek yöntemler ortaya konmuştur. Özel taş işletmesi için makine parkı seçilmiş, yatırımların spesifikasyonu yapılmıştır. Ayrıca delme-patlatma ile döner kepçeli kazıcılar için yüklenebilir malzeme oluşturulması incelenmiştir. Yöntemler arasında maliyet ve verimlilik araştırılmıştır.

Saydam (1995) tarafından yapılan, blok boyutu seçiminin kömür rezerv tahminine etkisi konulu çalışmasına, her biri koordinat değerleri (x,y,z) ve kömür kalınlık bilgilerini içeren 305 adet sondaj verilerinin bilgisayar ortamına aktararak bir veri tabanının oluşturulması ile başlamıştır. Bu veri tabanını kullanarak kömür kalınlıklarının istatistiksel analizleri ve variogram analizlerini yapmıştır. Variogram analizinden elde edilen verileri kullanarak, kriging yarıçapı sabit tutulmak suretiyle 100 x 100 m'den başlayarak 1000 x 1000 m'ye kadar olan kuramsal bloklara bölünen cevher yatağındaki her bloğun kömür kalınlık tahminlerini Kriging Yöntemi ile yapmıştır. Daha sonra blok boyutlarını sabit tutup, 300-150 m, 600-300 m, 600-400 m, 800-400 m ve 1200-600 m kriging yarıçaplarının kalınlık tahminine etkisini araştırmıştır. Sabit kriging yarıçapında, blok boyutunun kömür kalınlık tahminini çok az etkilediğini ve kriging yarıçapı arttıkça tahmin edilen kömür kalınlığının düştüğünü belirlemiştir.

Kılıç (1996) tarafından Kışlaköy sahasında stabilite analizleri yapılmıştır. Sahadaki şevlerin stabilitesi için en önemli tabakanın, içsel sürtünme açısı ve kohezyonu en düşük linyitin hemen altındaki kil tabakasının olduğu, bu tabakanın su ile birleştiğinde çok kritik bir hal aldığı vurgulanmıştır. Ayrıca kömür tabakası üstündeki birkaç metrelik kaliç olarak adlandırılan tatlı su kalkerlerinin döner kepçeli ekskavatörlerin çalışma performansını olumsuz etkilediği belirtilmiştir. Sahanın

yeraltı ve yerüstü suyu bakımından zengin olduğu ve stabiliteyi olumsuz etkileyecek birkaç akiferin (Kuvaterner, Gidya, Karstik Kireçtası, Kızıldağ Akiferleri) bulunduğu, bu akiferlerin bulunduğu basamakların mutlak suretle drenaj kuyuları vasıtasıyla yeraltı suyunun drenajının sağlanması gerektiği ifade edilmiştir.

Dağ (1997) tarafından Çöllolar sektörü üzerinde yapılmış 305 adet sondaj verisi jeoistatistiksel yöntemler ile değerlendirilerek sektörün blok modeli oluşturulmuş, bilgisayar destekli üretim planlaması için bir yazılım geliştirilerek, açık işletmenin nihai sınırları tespit edilmiş ve üretim planlaması yapılmıştır.

Ural (1999) tarafından Afşin-Elbistan (A) Termik Santrali'nin performansının düşük olmasının nedenleri araştırılmış ve bu nedenlerin birisi de yakıt olarak kullanılan linyitlerin kalitesini belirleyen sınırlayıcı parametrelerin yetersizliği olarak belirlenmiştir. Satılabilir kömürün kalitesini belirleyen en önemli iki sınırlayıcı parametre Afşin-Elbistan linyitlerinin dayanım özellikleri ve ısıl değeri ile kül oranı arasındaki orantıdır. Linyitlerin dayanımlarını belirleyebilmek için düzeltilmiş darbe dayanım deneyi adı verilen bir yöntem geliştirilmiştir. Afşin- Elbistan linyitlerinin darbe dayanım değerleri %9,8 ile %56 arasında değişmektedir. Satılabilir linyitlerin ortalama darbe dayanım değeri %45 ve varyansı da %4 olmalıdır. Bu nedenle farklı özelliklere sahip linyitlerin harmanlanması gerektiği tespit edilmiştir.

Ergüder ve ark. (2000), Kışlaköy Açık İşletmesi doğu nihai şevlerinde jeofizik etüdü kapsamında bu yöredeki fayların doğrultu ve eğimlerinin tespitine yönelik çalışmalar yapmışlardır. Mevcut fayların ocak işletme yönünde devam ettiğini saptamışlardır.

Koçak (2000) tarafından Elbistan Linyit Havzasındaki Hurman Çayı'nın batısında yer alan C ve E sektörleri güncel veriler ile yeniden değerlendirilmiş, iki sektörde 796 milyon ton işletilebilir linyit rezervinin bulunduğunu ve havzanın batısında sondaj yapılması durumunda rezervin artabileceği belirtilmiştir.

Kılıç ve Onur (2001) tarafından Afşin-Elbistan Linyitleri Kışlaköy açık işletmesinin iç döküm sahası ile ilgili dinamik duraylılık analizleri, bölgenin deprem önemi de dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen dinamik duraylılık hesaplama programları ile üç değişik su durumu ve deprem etkisi göz önüne alınarak "Bishop, Carter, Sarma" yöntemleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu

hesaplamalar sonucunda döküm sahası şevinde bütün olasılıklar ve deprem katsayısının hesaba katılması durumunda bile herhangi bir kayma tehlikesinin olmadığı tespit edilmiştir.

Koçak ve ark. (2003), bölgenin linyit rezervine yönelik yaptıkları çalışmalarda, havzada görünür rezervin 4,3 milyar ton, ekonomik işletilebilir linyit rezervinin ise 3,8 milyar ton olduğunu belirlemiştir.

Ural ve Yüksel (2004), Kışlaköy Açık İşletmesinde duraylılık konusunda yaptıkları araştırmalarda, stabiliteyi etkileyen faktörlerin; yeraltı suyu seviyesinin yüksek olması, gidya biriminin zayıf zon olması, linyit altındaki kilin potansiyel kaymaya neden olabileceğini ve çalışma alanında yer alan birimlerin makaslama dayanımı değerlerinin, artık makaslama dayanımı değerleri ile temsil edildiğini belirtmişlerdir.

Mert (2010) tarafından yapılan doktora tezi çalışmasında, öncelikle Afşin-Elbistan linyit havzasına ait jeolojik ve sondaj verileri analiz edilerek tablosal veritabanları hazırlanmış, daha sonra madencilik faaliyetlerinde kullanılan sayısal tematik haritalar oluşturularak CBS çatısı altında birleştirilmiştir. Bunun sonucunda, grafik ve grafik olmayan veriler ile bu veriler arasındaki mantıksal ve topolojik ilişkileri bütünleşik olarak işleyebilme ve böylece konuma bağlı analizleri gerçekleştirme olanağına sahip "Üretim Takip ve Planlama Bilgi Sistemi" yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılım yardımıyla, ekskavatörlerin üzerine bir GPS alıcısı yerleştirilerek, sayısal haritalar üzerinden izlenebilmeleri mümkün kılınmış, linyit üretimiyle eş zamanlı olarak üretim miktarı, ısıl değer, %nem, %kül gibi kalite verilerinin takip edilmesi ve stok kayıtlarının veritabanı olarak saklanması sağlanmıştır. Ayrıca, harmanlama ve diğer prosesler açısından önem arz eden bu veritabanları ve geliştirilen bilgi sistemi sayesinde arazi kullanım haritalarının hazırlanabileceği veya ekrandan tanımlanan bir alandaki rezerv-kalite dağılımlarının tespitinin mümkün olacağı ortaya konmuştur.

Turhan (1993) tarafından yapılan, bir linyit yatağında rezerv modelleme yöntemlerinin karşılaştırılması konulu yüksek lisans çalışmasında, bir linyit yatağında damar kalınlığı, kömür kalınlığı, kül oranı, nem oranı, ısıl değer, yüzey kotu ve taban kotu değerlerinin hesaplanması farklı tahmin yöntemleri ile yapılmıştır.

Her bir nokta kestirim tekniği sonucunda, çıkan hataların istatistiksel değerlendirmesini yaparak bu tekniklerin performanslarını karşılaştırmıştır. Yapılan bu karşılaştırmada kriging, mesafenin tersi, mesafenin tersinin karesi ve eğilim yüzeyi analizi yöntemlerinin, poligon, Taylor aproksimasyonu ve üçgen yöntemlerine oranla daha iyi performanslara ulaştığı sonucuna varmıştır.

2.3. Netpro/Mine Programı ile İlgili Çalışmalar

Arıöz (2011) tarafından yapılan, Afşin-Elbistan linyit sahası Çöllolar sektörünün Netpro/Mine yazılımı ile değerlendirilmesi konulu yüksek lisans tezi çalışmasında, MTA tarafından yapılan sondaj verilerinden faydalanmıştır. Netpro/Mine programını kullanarak linyit sahasının jeoistatistiksel değerlendirilmesini, yatağın üç boyutlu dizaynını, blok model oluşturulmasını, tematik haritaların hazırlanmasını ve ayrıntılı rezerv hesaplamalarını gerçekleştirmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar daha önceden yapılan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmış olup aralarındaki farkın kabul edilebilir olduğu görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu çalışma da uygulama alanı olarak, Kahramanmaraş iline bağlı Afşin-Elbistan ilçeleri arasında bulunan Linyit havzasına ait Çöllolar sektörü seçilmiştir. Sektör üzerinde daha önceki yıllarda Maden Tetkik Arama (MTA) Enstitüsü tarafından 215 adet karotlu sondaj yapılmıştır. Bu sondajlardan elde edilen veriler, madencilik sektöründe kullanılan bilgisayar programlarından biri olan Netpro/Mine programı ile değerlendirilmiştir.

Ayrıca çalışma esnasında Netcad ve Matlab gibi bilgisayar programlarından da yararlanılmıştır.

3.1.1. Çalışma Alanı

Afşin-Elbistan linyit havzası Kahramanmaraş iline bağlı Afşin ve Elbistan ilçelerinin kuzeyinde yer almaktadır. Ülkemiz sınırlarında bulunan linyit yatakları arasında en büyük rezerve sahip olan havzadır. Aynı zamanda havza elektrik enerjisi üretimi bakımından Türkiye'nin en önemli potansiyeline sahiptir.

Havzada arama çalışmaları 1966 yılında MTA Enstitüsü ve bir Alman firması işbirliği ile başlamış olup, 1967 yılı itibariyle havzada düşük kalorili bol miktarda linyit rezervi olduğu belirlenmiştir. 1968 yılı yatırım programı kapsamında Afşin-Elbistan linyitlerinden faydalanarak bir termik santral kurulmasına karar verilmiştir. 1973 yılında her biri 344 MW gücünde dört ünite olarak yapımına başlanan santralin ilk ünitesi Temmuz 1984'te üretime başlamıştır.

Kurulduğu yıllarda Türkiye'nin ve dünyanın en büyük elektrik santrallerinden biri olan, Türkiye'nin o güne kadar yaptığı en büyük kamu yatırımı olarak gösterilen, Afşin-Elbistan A Termik Santrali, 24 yıllık süre içerisinde 98 milyar Kwh elektrik enerjisi üretmiş, bu zamana kadar 200 milyon tonun üzerinde linyit kömürü yakmıştır. 2000 yılında yapımına başlanan ve 2004 yılında elektrik enerjisi üretmeye

başlayan Afşin-Elbistan B Termik Santrali ise bugüne kadar toplam 16 milyar Kwh elektrik enerjisi üretmiştir.

Afşin-Elbistan linyit havzası rezervin ve havzanın büyüklüğü nedeniyle linyit rezervinin konumunu belirlemek amacı doğrultusunda A, B, C, D, E, F sektörlerine bölünmüştür. Havzada toplam 3,25 milyar ton linyit bulunmaktadır. Yaklaşık 120 km^2'lik bir alanı kapsayan linyit havzası; Kışlaköy (A), Çöllolar (B) ve Afşin (C) adı verilen üç ana sektör ile D, E ve F sektörlerinden oluşmaktadır. Havzanın ortasından geçen Hurman Çayı'nın batısındaki linyit rezervi, C ve E sektörleri, doğusundaki linyit rezervi A, B, D, F sektörleri ile tanımlanmaktadır.

Havzanın fizibilite raporu 1969 yılında hazırlatılmış ve gerek açık işletme derinliğinin Kışlaköy sektörü kuzeyinde düşük olması, gerekse diğer sektörlerde de termik santral kurulması gerektiği düşüncesinden dolayı linyit kazı çalışmalarının ilk olarak Kışlaköy sektöründe başlatılması kararlaştırılmıştır.

3.1.1.1. Çalışma Alanının Konumu ve Sınırları

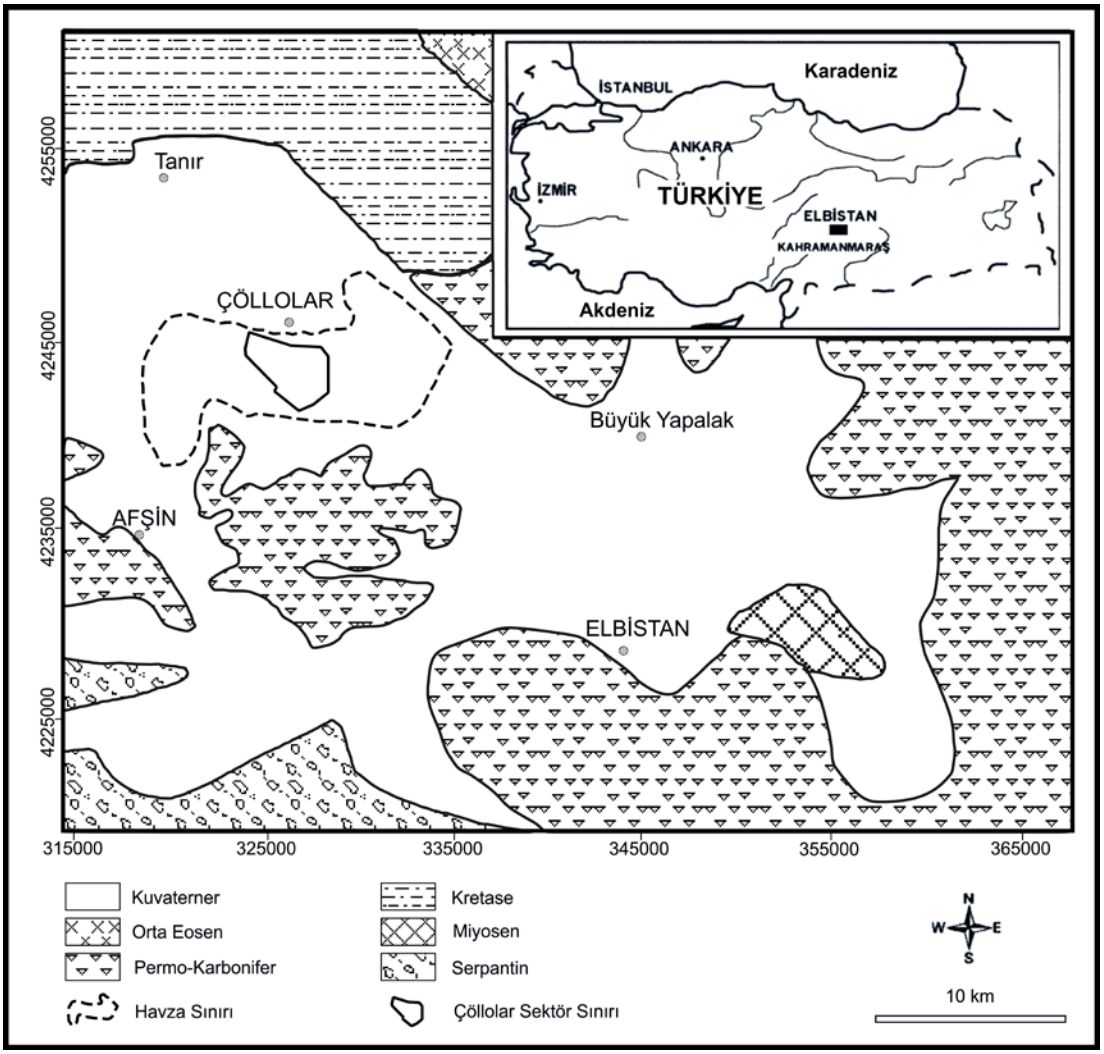
Afşin-Elbistan linyit havzası Türkiye linyit rezervlerinin yaklaşık %46'sını oluşturmaktadır. Bu nedenle Ülkemizin enerji üretimini açısından önemli yer tutmaktadır. Havzanın ve çalışma alanı olan Çöllolar sektörünün genel konumu Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli Afşin L 38 a4 paftasında yer alır. İşletme sahası Kahramanmaraş ili Afşin ilçesinin kuzeydoğu'sunda ilçe merkezine 15 km uzaklıktadır.

Kömür havzası A (Kışlaköy), B (Çöllolar), C (Afşin), D (Kuşkayası), E (Çobanbey) ve F sektörlerine ayrılmıştır. Kışlaköy Açık Ocak İşletmesi (AEL) havzanın A sektöründe yer almaktadır. Afşin–Elbistan havzasının batısında Çoğulhan, GD'sunda Kışlaköy yerleşim alanı bulunmaktadır.

Çalışma sahasının etrafı Binboğa, Nurhak ve Engizek dağları ile sınırlanmıştır. Elbistan'ın 3 km Güneydoğusunda, Pınarbaşı'ndan doğan ve Elbistan'ın ortasından geçen Ceyhan ırmağı şehrin can damarıdır. Ceyhan nehrinin havza içindeki önemli kolu Hurman Çayıdır. Hurman Çayı Afşin-Elbistan havzasının

batısından başlayıp güneyinde havzayı terk etmekte olup, bu çaya Özdere, Karasu Deresi, Taşınardı Deresi ve Atlaskaya Derelerinin suları karışmaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma alanının yerbulduru haritası

3.1.1.2. İklim, Bitki Örtüsü ve Morfoloji

Afşin-Elbistan linyit havzası Akdeniz iklimi ile kara iklimi arasındaki geçiş sahasında bulunur. Havzanın batı kısmı daha çok Akdeniz ikliminin bir geçiş tipini yansıtmaktadır. Soğuk ve nemli bir kış mevsimi, öte yandan doğu kısmı daha karasal bir iklime sahip olup soğuk bir kış mevsimi, sıcak ve kurak bir yaz mevsimi görülür.

Yağışlar yıl içerisinde en çok ilkbahar da Mart-Nisan, sonbahar da Ekim-Kasım aylarında görülür. Kuzeyden esen poyraz rüzgarları, güneybatıdan esen lodos rüzgarları daha çok görülür. Poyraz rüzgarları kışın kar, Lodos rüzgarları ise bölgeye bol miktarda yağmur getirir.

Yarı kurak iklime sahip olan bölgede bitkiler ve ağaçlar yavaş büyüme eğilimindedir. Yarı kurak iklim tipine dayanıklı ağaç türlerinden Ardıç, Meşe, Karaçam ve Sedir türleri bölgede varlığını sürdürmektedir. Özellikle dere kenarlarında söğüt ve selvi ağaçları bulunmaktadır. Çevredeki dağlık kesim kireçtaşlarıyla kaplı olup, bitki örtüsü bakımından çıplaktır. Ovada ise buğday, pancar, fasulye, patates ve ayçiçeği ekimi yapılmaktadır. Hayvancılık az gelişmiş olmakla birlikte sığır ve koyun yetiştirilmektedir.

Elbistan çöküntü alanını kuzeyden ve doğudan sınırlayan dağların yüksek kesimleriyle ova arasında, çeşitli yükselti basamaklarına sıralanmış platolar vardır. 1.500-2.000 metre arasında yer alan bu platolar Ceyhan Vadisi aracılığıyla Akdeniz ikliminin etkilerini taşır. İnceleme alanı Afşin–Elbistan Ovası içinde yer almakta olup, ortalama 1.200 m yüksekliğindedir. Kışlaköy Açık İşletmesinin doğusunda yer alan ve işletmeyi sınırlayan Kızıldağın yüksekliği 1.700 m'dir.

3.1.1.3. İşletme Yöntemi

İşletmede, döner kepçeli ekskavatörler (DKE) tarafından kazılan örtü malzemesi ve kömür, bantlar aracılığıyla bant aktarma noktasına gönderilmektedir. Bant aktarma noktasında, kazı sahasından gelen bantlar, hareketli tamburlar aracılığıyla döküm sahasına giden uygun bir banta göre kolaylıkla ayarlanabilmektedir. DKE'ler yardımıyla kazılan linyitin tamamını stok sahasına gönderilmekte, örtü malzemesi ise dökücüler tarafından dış ya da iç döküm sahasına serilmektedir.

DKE'ler yaklaşık 3.000 m^3/saat yerinde kazma, bulunduğu noktadan 30 m yüksekliğe ve 4 m aşağısına kadar olan kesimde kazı yapabilme kapasitesine sahiptir. Duruma göre DKE'ler aynı basamakta istenilen yüksekliğe kadar kademeler halinde kazı yapabilmektedir. Kazı sahasındaki basamak yükseklikleri kazı verimi açısından

kepçe çark yarıçapına (çark çapı= 12,25 m) orantılı olarak en çok 18-20 m seviyelerinde tutulmaya çalışılmaktadır. Bant konveyörlerin genişliği 1.800 mm, hızı 5,2 m/sn'dir. Basamaklar ilerledikçe kazıcıdan gelen örtü malzemesini taşıyan bantlar, ya açısal ya da paralel olarak bant kaydırma makineleriyle kaydırılmaktadır.

3.1.1.4. Havzanın Genel Jeolojisi

Afşin–Elbistan Havzası Alp Orojenezi sonunda Toros Dağları'nın yükselmesi sırasında oluşmuş kapalı bir basendir. Deniz seviyesinden yaklaşık 1.150 m yüksekliktedir. Sahanın tabanını Permo–Karbonifer yaşlı kireçtaşları teşkil etmektedir. Sahanın kuzeydoğu ve doğusunda yeralan Kızıldağ pembemsi, beyazımsı kristalize kireçteşlarından oluşmuş olup Üst Kretase yaşlıdır. Havzada daha çok Neojen formasyonları yer almaktadır. Havzanın batı kesiminde linyit formasyonu da bu zamanda meydana gelmiştir (Şekil 3.2-3).



Şekil 3.2. Taban kilinden bir görünüm (Mert, 2010)



Şekil 3.3. Linyit horizonundan bir görünüm; Eğimli tabakalar (Mert, 2010)

Neojen; Plio-Pleistosen yaşlı gölsel formasyonlar şeklinde Kızıldağın güneyinde mostra vermekte olup, diğer yerlerdeki Kuvaterner yaşlı çökeller tarafından örtülmüş durumdadır (Şekil 3.4-5).

Akarsu sedimanları çakıl, kumlu kil ve kahverengimsi kırmızı renkli lehm Kışlaköy açık işletme sahasında havza tabanını meydana getiren dolomit ve kireç taşlarının üzerinde yer alır. Bu sedimanlar yukarıya doğru ince taneli klasik materyaller halinde çoğalmakta ve kömür altında kalın kil tabakası halinde devam etmektedir. Killer güneybatıya doğru marnlaşmakta hatta bazen tamamen marn'a dönüşmektedir. Kömür sahasının sınırı dışında bu tabakalar kumlu kısmen de çakıllı metaryaller yamaç molozu ile geçiş göstermektedir.

Havzanın yapısal jeolojisi esas olarak iki faktör tarafından belirlenmektedir. Bunlar Alp orojenezi ve Pliosen esnasındaki daha genç çökelmelerdir. Alp orojenezi havza tabanı ve kenarlarındaki normal ve ters atımlı fayları meydana getirmektedir. Pliosen grabeni de KB-GD istikametindeki faylar boyunca bu zayıf zonları takip

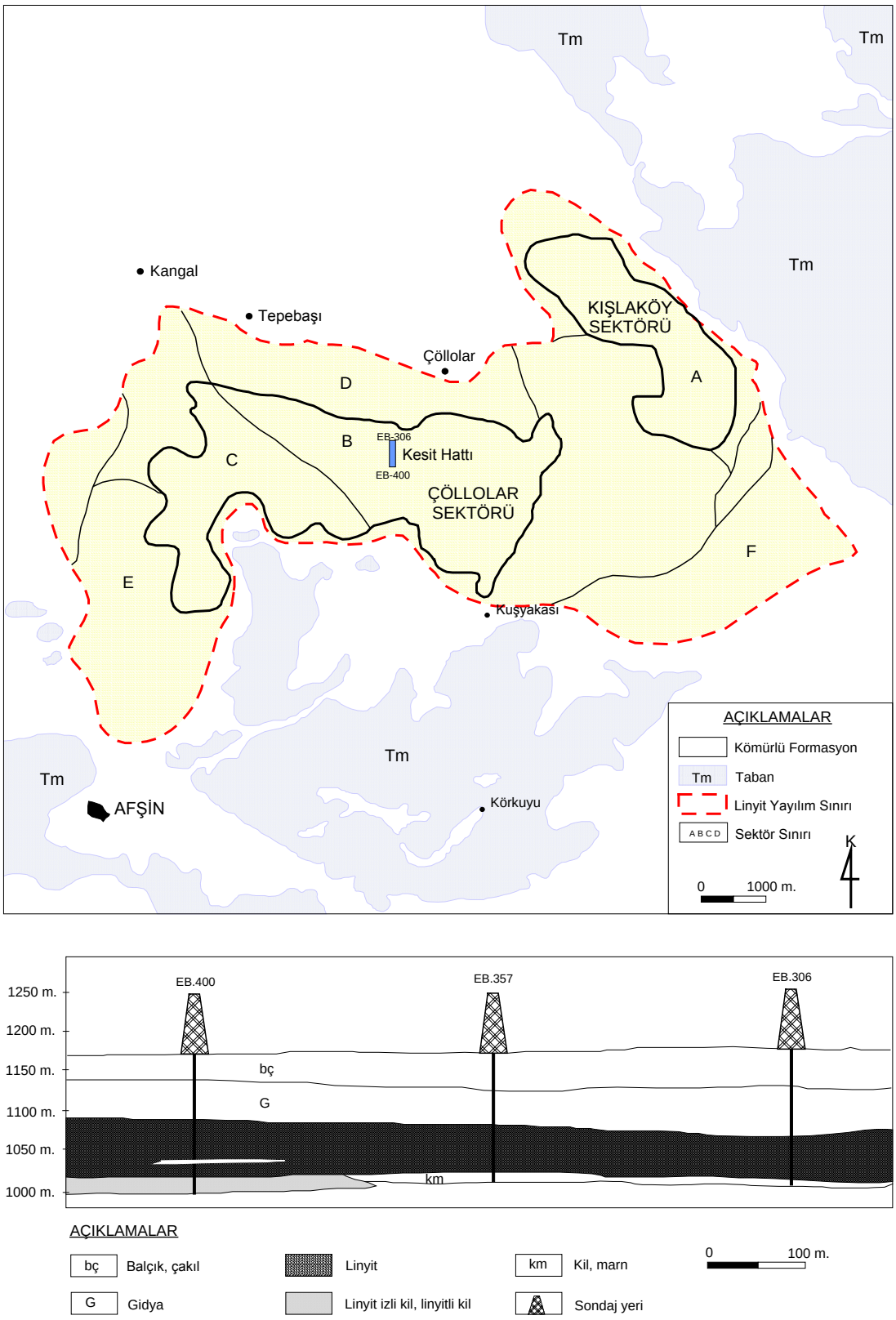
etmektedir. Havzanın kuzeyindeki zayıf zonlar KB'ya doğru dönmektedir. Hemen hemen paralel olan bu faylar Kışlaköy açık işletmesinin kuzeydoğusunda yoğunlaşmakta ve sentetik fay basamağı meydana getirmektedir. Bundan dolayı yer yer tali bölümler meydana gelmiştir. Açık işletmenin kuzeybatısını da etkileyen fayların düşey atımları 50 m civarındadır. İşletme sahasında ise kömür tabakaları 3-20 m arasında atılmışlardır. Fayların eğimleri 60-70 derece GD'ya eğimlidir. Yalnız kuzeydoğuda tektonizmaya fazla maruz kalan sahada kısmen 15 dereceye kadar ulaşmaktadır (Öztürk, 1994).

3.1.1.5. Havzanın Hidrojeolojik Özellikleri

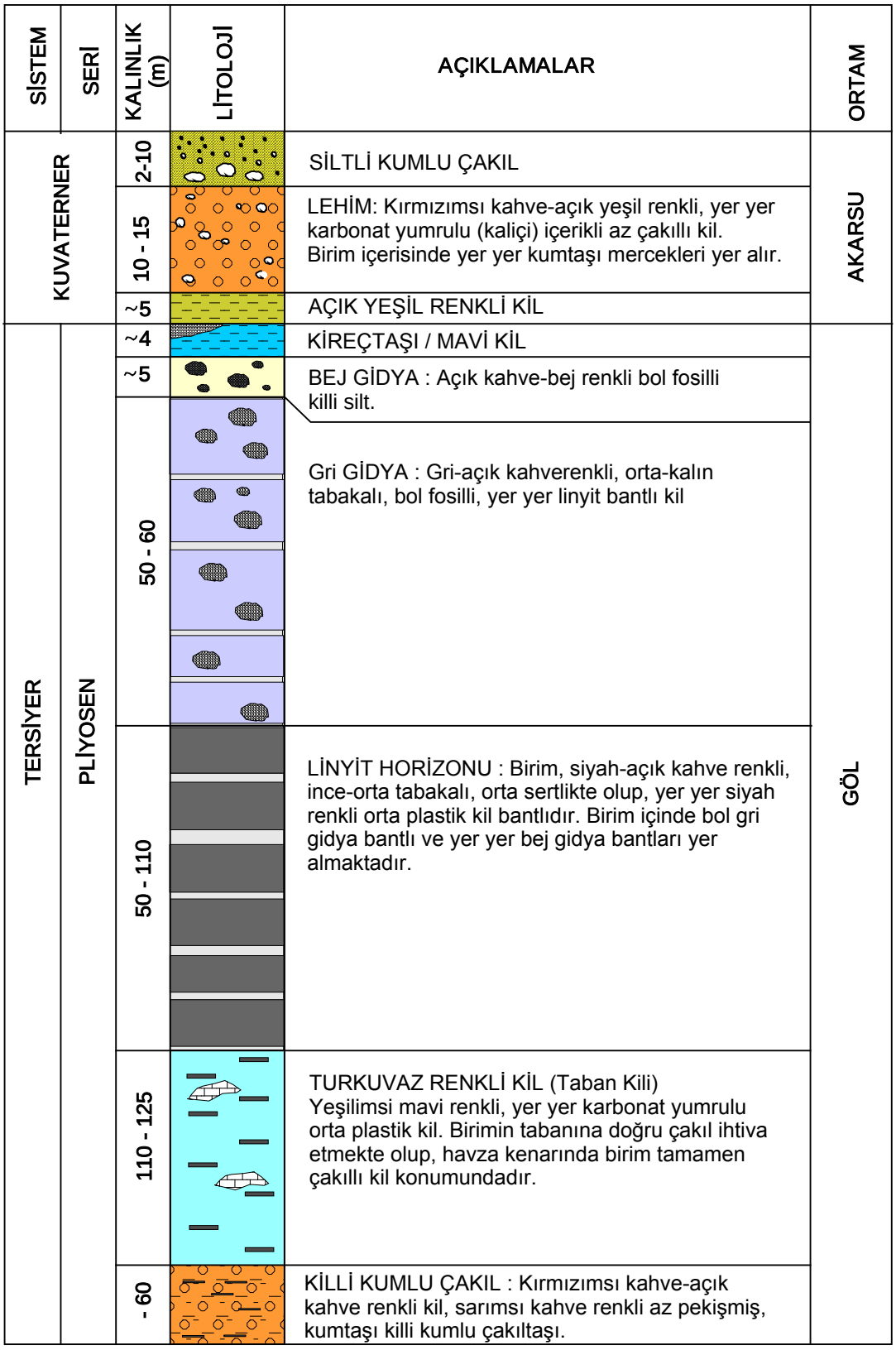
Sahanın yüzey hidrojeolojisini Çoğulhan ve Demirdere gibi küçük çaylar etkilemektedir. Kızıldağ'ın batı ve kuzey yamaçlarından çıkan yüzey sularını kontrolde tutmak için doğu çevre kanalı ve batı çevre kanalı adı verilen iki büyük kanal yapılmıştır. Doğu çevre kanalı hem yüzey sularını hem de karstik sahadan pompalanan suları toplamaktadır. Batı çevre kanalı ise, çevre suları yanı sıra üst Akifer ve Gidya kuyularından pompalanan suları toplamaktadır.

Yeraltı su drenajı ise şu şekildedir. Genellikle kömür üstünde bazende kömürle ara tabakalı gidya %50-70 arası su içermektedir. Gidya da bulunana su başınçlı akifer özelliğini taşımaktadır. Üst seviyesinden yaklaşık 2-3 atm basıncında bir yükselti göstermektedir. Geçirimliliği azdır ve suyu bırakmamaktadır. Geçirimliliğinin azlığı dolayısıyla yeraltı suyunun gidya akiferi içinde akışı çok yavaştır.

Üst akifer Kuvaterner yaşlı çakılların içerdiği suyun bol olmayışı ve geçirimliliği nedeniyle fazla problem teşkil etmediğinden gidya ve üst akiferler drenajı için aynı su kuyusu açılmaktadır. Geçirgenliğin azlığı nedeniyle gidyanın drenajı oldukça zordur. Sudan yeterince arındırılmamış gidya formasyonunun kazılması ve yığılması çok güçtür. Gidyanın drenajı için işletme sahasının kuzeybatısında 200 adet 125 m aralıklı ve 1.000 mm çaplı drenaj kuyuları açılmıştır. Gidya kuyularının su hızları 0,3-0,5 lt/sn'dir. Bu nedenle kuyulara düşük kapasiteli su altı pompalar monte edilmiştir (Öztürk, 1994).



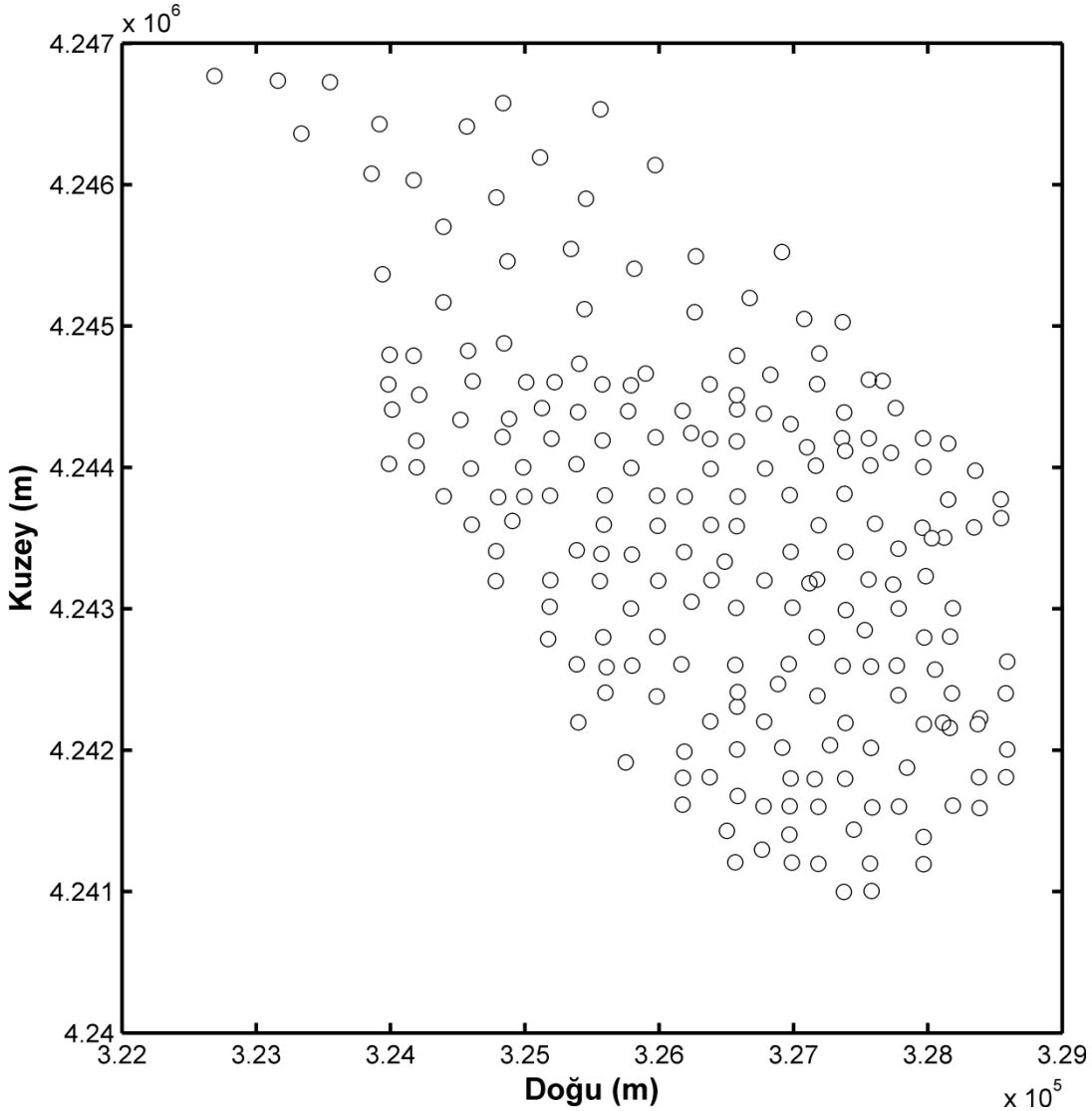
Şekil 3.4. Afşin-Elbistan ve çevresinin genelleştirilmiş jeoloji haritası ve kesiti (Gökmen ve ark., 1993; Mert, 2010).



Şekil 3.5. Çalışma alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesit (Akbulut ve ark., 2007; Mert, 2010)

3.1.2. Sondaj Verileri

Çalışma alanı olan Afşin-Elbistan linyit sahasında önceki yıllarda Maden Tetkik ve Arama (MTA) Enstitüsü tarafından 215 adet karotlu sondaj yapılmıştır. Bu sondajlardan 3 tanesi kömür kesmediği tespit edilmiştir. Bu nedenle bahsi geçen sondajlar veri setinden çıkarılmış olup çalışmalar geriye kalan 212 adet sondaj verisi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sondaj lokasyonlarının dağılımı Şekil 3.6'da görülmektedir. Sondaj verileri; sondaj numaraları ve sondaj noktalarının 3 boyutlu koordinat değerlerinden (X, Y, Z) oluşmaktadır.



Şekil 3.6. Sondaj lokasyonlarının dağılımı

3.1.3. Netpro/Mine Programı

Netcad, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği, TKİ ve TÜBİTAK işbirliğiyle maden yatağının bulunmasından üretimin tamamlanması aşamasına kadar tüm teknik tasarımın yapılabilmesini sağlayan Türkiye'nin ilk yerli ürünü olan Netpro/Mine mühendislik uygulamasını Aralık 2010 tarihinde kullanıma sunmuştur. Netpro/Mine yazılımı hala ilgili kurumlar tarafından geliştirilmeye devam edilmektedir. Netpro/Mine %100 yerli bilgi ile geliştirilen yazılımın Türkçe ve İngilizce sürümleri mevcuttur.

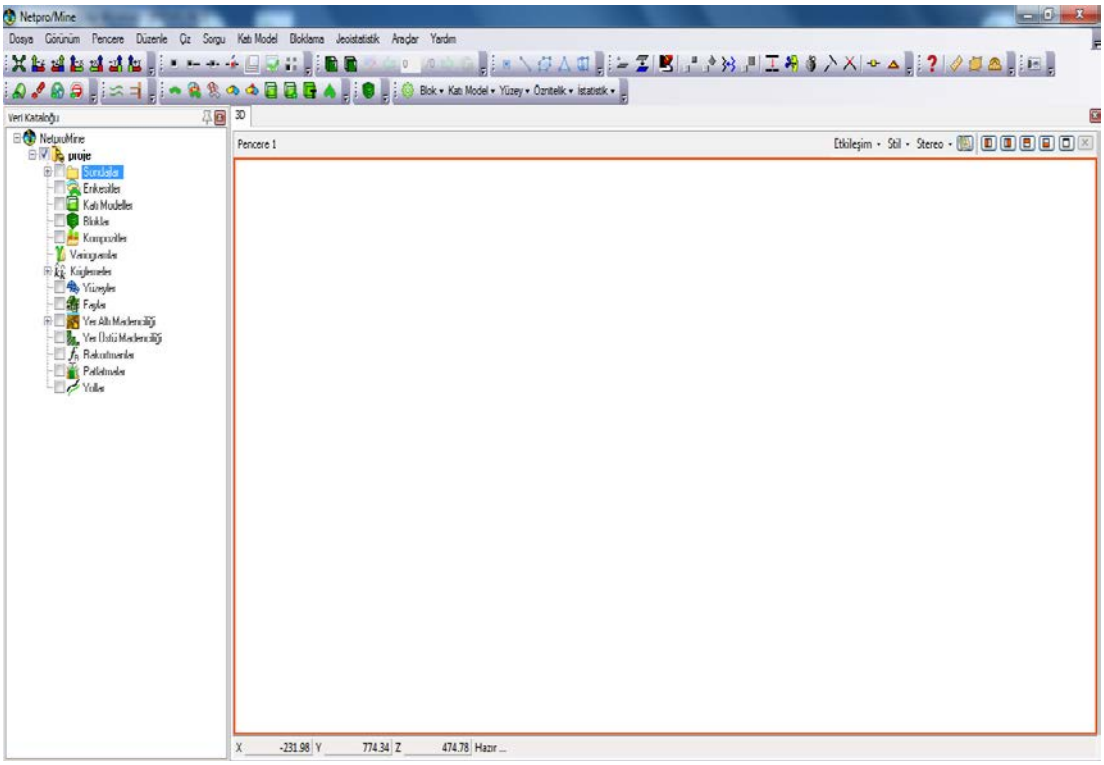
Netpro/Mine maden yatağı modelleme ve maden işletmeciliğinin tüm aşamalarını bir arada gerçekleyen Netcad modülüdür. Veri girişi, sayısal arazi modeli oluşturma, 3B görüntüleme ve sayısallaştırma, jeolojik katı modelleme, blok modelleme, jeoistatistiksel kaynak ve rezerv kestirimi, işletme tasarımı ve üretim planlaması gibi tüm araçların Netcad çatısı altında kullanılabilmesini sağlar.

Ulusal kaynaklı bir program olduğundan dolayı ve kullanım dili avantajı ile önümüzde ki yıllarca madencilik faaliyetleri gerçekleştiren kişiler tarafından tercih edilen bir program olacağı düşünülmektedir.

3.1.3.1. Netpro/Mine Programının Tanıtımı

Madencilik programları arasından Türkiye'nin ilk yerli ürünü olan Netpro/Mine yazılımının en büyük avantajı kullanım dilinin Türkçe olmasıdır. Diğer madencilik programlarının neredeyse tamamı yabancı dillerde yazılmıştır. Ayrıca menüleri ve kısayolları oldukça kullanışlı olup bu özelliği ile programı kullanacak olan kişilere büyük kolaylık sağlamaktadır.

Program kullanıma sunulduktan sonra sürekli olarak denetlenmekte ve kullanıcıların talepleri doğrultusunda güncellenmektedir. Önümüzde ki dönemlerde programa güncel sürümlerine ek uygulamalar yüklenerek programın daha kullanışlı ve modern olan yeni sürümlerinin çıkarılacağı bilinmektedir. Netpro/Mine programının ana ekran görüntüsü Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Netpro/Mine programının ana ekran görüntüsü

Madencilik sektöründe planlama aşaması ve sonrasında yapılması gereken işlemlerin hemen hemen tamamını Netpro/Mine bilgisayar programı ile gerçekleştirebiliriz. Netpro/Mine bilgisayar programı kullanılarak bir maden yatağı ile ilgili yapılabilecek işlemler aşağıda belirtilmiştir.

a) Proje işlemleri ve veri girişi

- Yeni proje oluşturma
- Proje verilerinin oluşturulması
- Veri girişi ve dosya okuma işlemleri

b) Veri değerlendirmesi

- İstatistik İşlemleri
- Kompozitleme İşlemleri
- Histogram İşlemleri
- Diagram İşlemleri

- Kesit alma İşlemleri
- Dilimler İşlemleri

c) 3B modelleme ve görselleştirme

- Enkesitler Üzerinden Sayısallaştırma
- Katı Model Oluşturma
- Damar Modelleme
- Sınır İçerisinde Kalan Alanın Modellenmesi
- Damara Ait Eşdeğer Eğrilerinin Oluşturulması

d) Blok modelleme ve jeoistatistiksel işlemler

- Variogram
- Çapraz Doğrulama
- En Yakın Komşu
- Ters Uzaklık
- Kriging
- KoKriging
- İndikatörKriging

e) Blok model değerlendirme

- Blok model üzerinden tematik haritaların hazırlanması
- Tematik haritaların düzenlenmesi
- Blok listesi raporu alınması
- Tenör tonaj eğrisi raporu alınması
- Blok filtreleme işlemleri
- Rezerv hesaplama işlemleri

f) Faylar

- Fay verisini ekleme ve özelliklerini tanımlama
- Fay atım miktarını araziye uygulanması, yüzeye fay ekleme
- Arazi modeline uygulanan atımın incelenmesi

g) Raporlar

- Sondaj listesinin alınması
- Veritabanı kapsam raporu
- Litoloji kayıtları listesi
- Açı kayıtları listesi
- Ham örnekleme kayıtları listesi
- Blok tonaj raporu
- Blok listesi raporu

h) İşletme tasarımı ve üretim planlaması

- Örtü-kazı oranının belirlenmesi
- Yer Üstü Madenciliği
    - Pasa harmanı tasarımı
    - Basamak tasarımı
    - Yol tasarımı
- Yer Altı Madenciliği
    - Galeriler
    - Tesisat ve taşıma
    - Havalandırma tasarımı
- Patlatma Tasarımı

ı) 3B Sunumlar ve stereo görüntüleme (Arıöz, 2011).

3.2. Metod

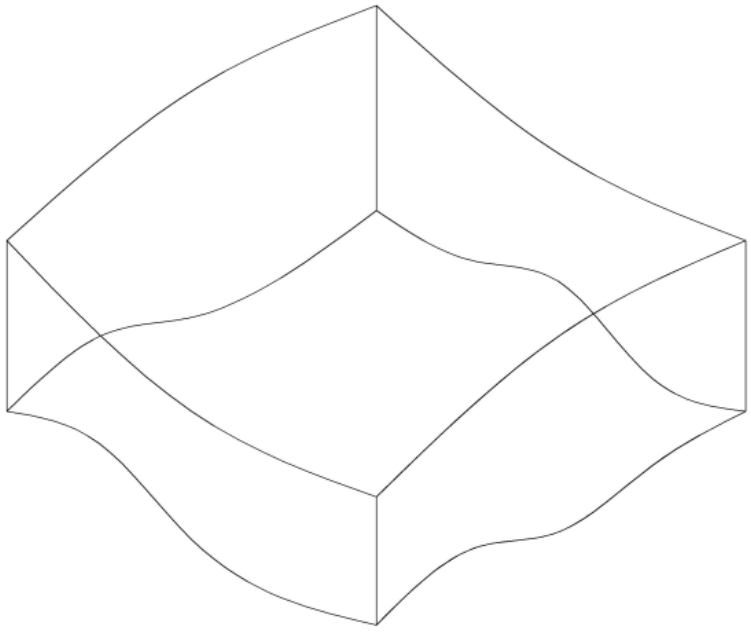
3.2.1. Katı Model Kavramı, Önemi ve Kullanım Alanları

Günümüzde sürekli gelişen teknoloji birçok alana olduğu gibi madencilik sektöründe yenilikler getirmiştir. Bunlardan biri maden yatağının 3 boyutlu olarak modellenmesidir. Geçmiş yıllarda planlama çalışmaları sırasında herhangi bir işlemin uzun süreler alması, hesaplamaların güvenilirliğinin tartışılması, elde edilen çıktıların

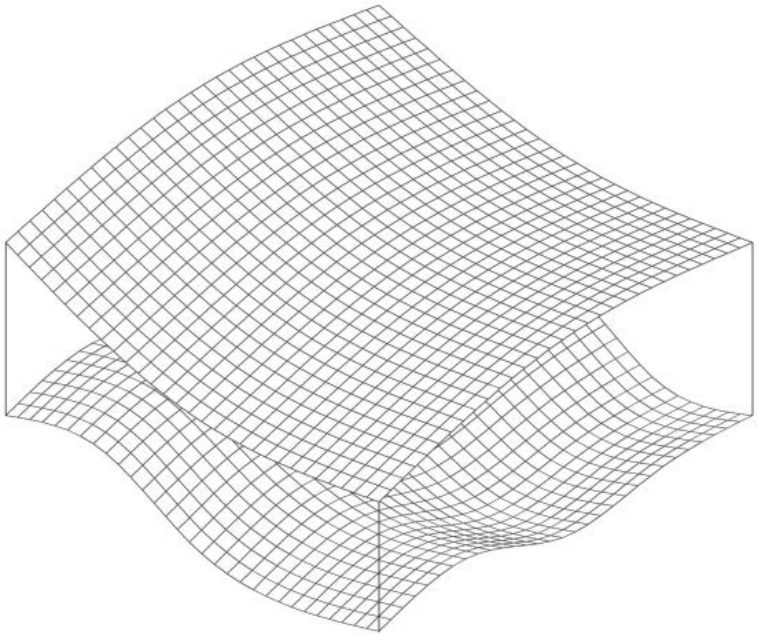
görsel açıdan zayıf olması araştırmacıları yeni yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir. Bu nedenle geçmişte kullanılan yöntemler yavaş yavaş geçerliliğini kaybetmiştir. Özellikle son zamanlarda kullanılan bilgisayar yazılımları ile 3 boyutlu modelleme yani maden yatağının katı modelinin elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Genellikle çalışma alanında yapılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak maden yatağının, tüm formasyonlarını içerisinde bulunduran, doğadaki konumu ve kapladığı sınırları 3 boyutlu olarak temsil eden cisim katı model olarak tanımlanabilir.

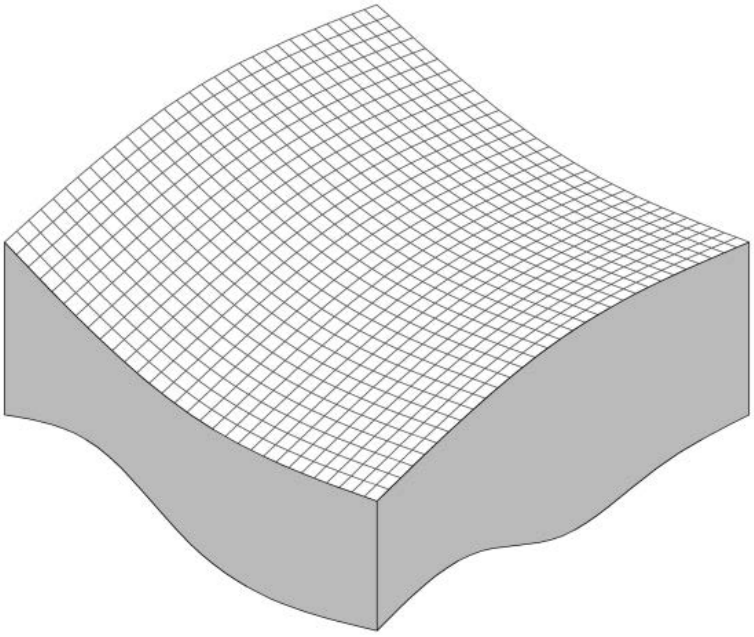
Katı model kavramının, kafes model ve yüzey model kavramları ile karıştırılmaması ve daha iyi anlaşılması için aralarındaki farklar Şekil 3.8-10'da görülmektedir. Kafes model, çizgilerle maden yatağının sadece doğada kapladığı sınırları gösteren ancak içinin boş olduğu modeldir (Şekil 3.8). Yüzey model, 3 boyutlu olmasına rağmen maden yatağının sadece alt ve üst yüzeylerini gösteren, yüzeyler arasının boş olduğu modeldir (Şekil 3.9). Katı model ise tanımında olduğu gibi maden yatağının, sadece çizgilerle veya 3 boyutlu yüzeylerle değil aynı zamanda doğada 3 boyutlu bir şekilde temsil edildiği, sınırlarının ve yüzeylerinin içerisinin tamamen dolu olduğu modeldir (Şekil 3.10).



Şekil 3.8. Kafes model görünümü



Şekil 3.9. Yüzey model görünümü



Şekil 3.10. Katı model görünümü

Katı model kavramının geliştirilmesi madencilik sektöründe çalışan kişilere birçok kolaylık getirmiştir. Katı modelin en önemli avantajı yer kabuğunda bulunan maden yatağının sınırlarının tam anlamıyla tespit edilmesine yardımcı olmasıdır. Bu sayede yer üstü ya da yer altı işletmesine karar verilmesi, ilk kazı noktasının

belirlenmesi, üretim planlamasının nasıl yapılacağı v.b. gibi madencilikte hayati önem taşıyan soruların çoğuna daha doğru ve güvenilir cevaplar verilecektir. Ayrıca sondaj verilerinin değerlendirilmesi, maden yatağının rezervinin hesaplanması, 3 boyutlu kesit görünüşlerin elde edilmesi, yüzey ve katı modellerin elde edilmesi, katı model üzerinden maden yatağının blok modelinin elde edilmesi, açık veya kapalı ocak dizaynı yapılması, patlatma tasarımının yapılması v.b. konularda oldukça faydalı olacağı bilinmektedir.

Katı modelin tüm bu avantajları düşünüldüğünde, maden yatağının değerlendirilmesi aşamasında daha güvenilir, kapsamlı, görsellik açısından anlamlı ve aynı zamanda ayrıntılı hesaplamaların yapılmasına olanak sağlamıştır.

3.2.2. Madencilikte Katı Modellemenin Gelişimi

Madencilik sektöründe ileriye dönük planların dikkatli ve güvenilir bir şekilde yapılması gerekmektedir. Planlama esnasında madencilik projelerini geliştirmek amacı ile sondaj kuyularından elde edilen veriler, genellikle iki boyutlu çizimler, kesitler ve bunların planlarını elde etmek için kullanılmaktadır. Bu işlemler maden yatağının yapısını üç boyutlu ve doğru olarak temsil edilmesini mümkün kılmamaktadır. Bu problem, genel bilgisayar destekli çizim sistemlerinin (CAD) kullanılabilir olması ile kısmen çözülmüş olmaktadır. Aslında CAD uygulamaları uzun yıllardan beri ocak dizaynı ve planlama proseslerinde kullanılmaktadır (Jiang, 1998; Gülmez ve Dağ, 2010).

Başta AutoCAD olmak üzere yaygın CAD programları maden yataklarının değişken ve karmaşık özelliklerini üç boyutlu olarak gösterme de yetersiz olmalarına rağmen çizim tekniklerinin rahatlığı ve çizilen objeler ile mühendislik özelliklerin bazılarını kısmen birleştirebilme yetenekleri sayesinde oldukça sık kullanılmakta olan programlar haline gelmişlerdir (Jiang, 1998; Gülmez ve Dağ, 2010). Bu kapsamda çeşitli araştırmacılar tarafından genel madencilik uygulamaları için paket programlar hazırlanılmıştır. Bunun yanı sıra jeolojik modelleme ve maden değerlendirme konularında, ticari pek çok yazılım bulunmaktadır (Erarslan, 2003; Gülmez ve Dağ, 2010).

Temel işlevleri incelendiğinde, ticari yazılımların sondaj verilerinden veri tabanı oluşturma ve yönetimi, kompozit değer hesaplamaları, kuyu logu kesit çizimi, harita çizimi, 3 boyutlu yüzey modelleme, kesit çıkarma, 3 boyutlu cevher modelleme, ocak tasarımı, alan ve hacim hesapları gibi işlevlere sahip olduğu görülmektedir. Bu paket yazılımların bir kısmında iki, bir kısmında üç boyutla çalışılmaktadır. Ancak bunların çoğunda çatı ya da yüzey modelleme kullanılmaktadır. Dahası, birçok paket programın veri tabanı yönetimi sınırlıdır, bu nedenle yer altı verilerini etkili bir şekilde kullanılamamakta ve görsel olarak temsil edilememektedir (Gülmez ve Dağ, 2010).

Madencilikte daha sağlam katı modelleme yapabilen programlara ihtiyaç duyulmaktadır. Araştırmacıların ve yazılım satıcılarının gayret göstermesine rağmen, madencilik endüstrisi halen tek bir kullanıcı yardımlı çevrede 3 boyutlu maden modellemesi, görsel olarak canlandırma ve bilgi yönetimini kombine eden oldukça entegre sistemler talep edilmektedir (Cazavant, 1993; Henley, 1998; Gülmez ve Dağ, 2010). Madencilik endüstrisinde sık kullanım bulan CAD tabanlı bir program olan GeoTech ise pek çok ihtiyaca cevap verebilmektedir. Söz konusu programda yüzey modelleme ve katı modellemeyi birleştiren bir modelleme anlayışı bulunmaktadır. Sistem üç boyutlu bir CAD ortamında madencilik uygulamalarına yönelik veri işleme olanağı sağlamaktadır. Daha açık bir anlatımla, veri tabanı desteğiyle yatağın karmaşık ve değişken özellikleri ekranda canlandırılabilmektedir. Sistem özel madencilik uygulamaları için esnek bir çatı olarak kullanılmaktadır (Jiang, 1998; Gülmez ve Dağ, 2010).

Üç boyutlu modellemede kullanılmakta olan diğer bir metot da GIS modelleme metotlarıdır. Üç boyutlu GIS, yeryüzü ve yeraltının bütün ayrıntılarının kazanımı, saklanması, yönetimi, görsel olarak canlandırılması ve analizi için etkili bir metottur (Yangbing ve diğ., 2007; Gülmez ve Dağ, 2010).

Günümüzde araştırmacılar tarafından madencilik sektörüne yönelik birçok bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Bu programların tamamı temelde aynı işlevleri görmelerine rağmen kullanım dili, çizimlerin görselliği, matematiksel hesaplamaların güvenirliliği v.b. yönlerden birbirlerine göre üstün veya zayıf oldukları noktalar

bulunmaktadır. Bu nedenle planlama aşamasında amacımıza en uygun bilgisayar programını seçmek faydalı olacaktır.

3.2.3. Katı Modelleme Yöntemleri

Üç boyutlu modelleme yöntemleri temelinde modellenecek objelerinin farklılıklarından dolayı birbirinden farklılık göstermektedir. Üç boyutlu uzaysal modelleme metotları; uzaysal modelleme nesnelerinin farklılıklarına dayandırılarak iki gruba ayrılmakta olup, coğrafik uzay modelleme ve jeolojik uzay modelleme olarak incelenmektedir. Bunlara ek olarak, entegre edilmiş modeller de pratikte kullanılmakta olan başka bir grup olarak tespit edilmiştir.

Bu gruplama içerisinde mevcut modellerin çeşitli özelliklerinin gösterildiği ve üç boyutlu uzaysal veri modelleme tekniklerinin karşılaştırılması Çizelge 3.1'de gösterilmektedir (Yangbing ve diğ., 2007: Gülmez, 2008).

Pratikte uygulanan birbirinden farklı birçok katı modelleme tekniği bulunmaktadır. Bu tekniklerin uygulanma yöntemleri farklı olmasına rağmen aynı işlemi yaptığı bilinmektedir. Bu konuda 3 boyutlu modelleme üzerine yazılan bilgisayar programlarında belirli bir standart yoktur. Farklı bilgisayar programları farklı teknikler kullanabilmektedir. Katı modelleme işleminde kullanılacak olan modelleme tekniğinin seçiminde, maden yatağında bulunan cevherin tipi, cevherin yataklanma türü, çalışma arazisinin jeolojisi gibi birçok parametre göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak bu parametreler değerlendirildikten sonra doğru ve güvenilir bir şekilde katı modelleme işlemi yapılabilir. Bunun dışında planlama yapacak olan kişinin modelleme yöntemleri hakkında bilgi ve tecrübesinin olması gerekmektedir.

Çalışmada kullanılan Netpro/Mine madencilik programı içerisinde enkesitten noktaya katı modelleme, enkesitlerden katı modelleme ve yüzeyler arası katı modelleme olmak üzere 3 farklı katı modelleme tekniği bulunmaktadır. Çalışmanın amacı yüzey modellemenin önemini ve yüzey modellemede kullanılan farklı interpolasyon tekniklerinin araştırılması olduğu için katı modelleme yöntemi olarak yüzeyler arası katı modelleme yöntemi kullanılacaktır.

Çizelge.3.1. Modelleme metotlarının karşılaştırılması (Yangbing ve diğ., 2007: Gülmez, 2008)

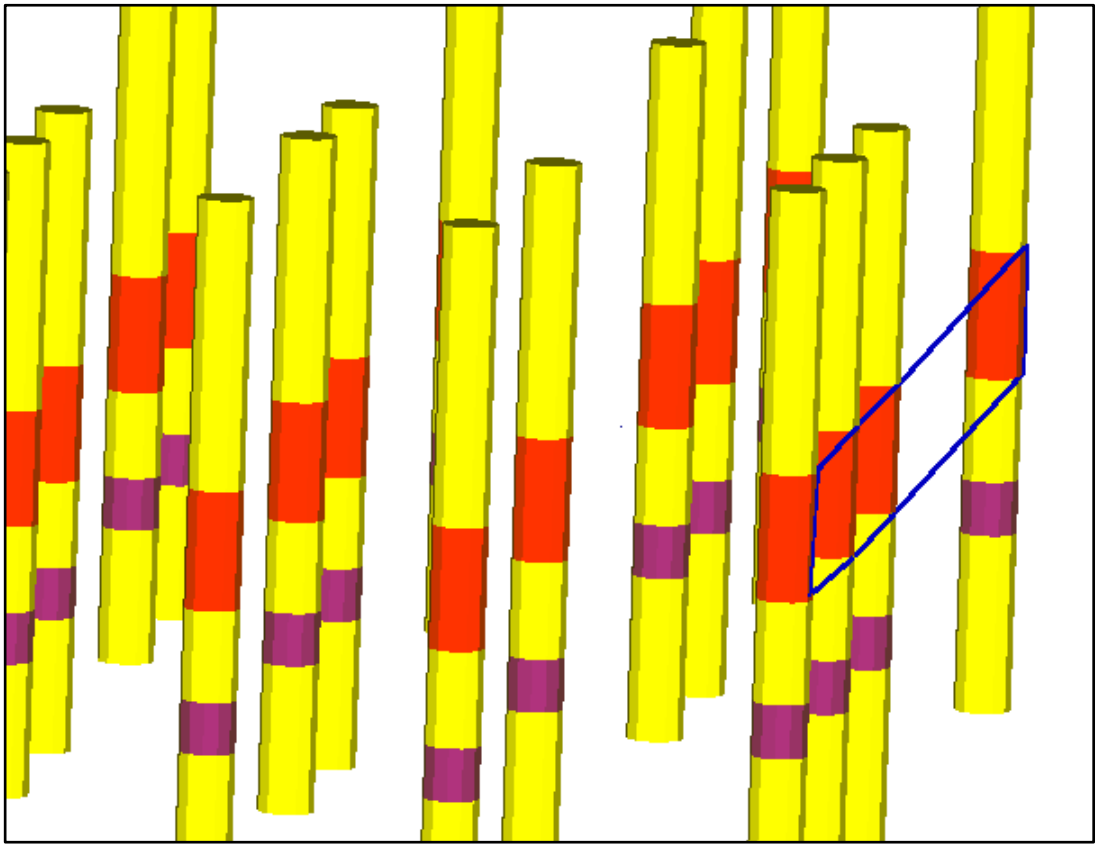
	İsim	Yazar / Tarih	Kullanım	Köken	Bağımsız Nesne	Model Temeli	Avantaj	Dezavantaj
Coğrafik Model	3DFDS	Molenaar, 1990	3D Şehir Modeli	Düğüm, Yay, Kenar	Nokta, Çizgi, Dış Yüzey, Kütle	Tek Değerli Harita	Uzaysal ve uzaysal olmayan nesneler arasında kolay yakınlık kurma	Karmaşık uzaysal nesneleri açıklamada zorluk
	Molenaar, 1990	Pigot, 1992	Jeoloji, Karmaşı yapılar	0-3 Hücre	Karmaşık 0-3 Tuple Hücre	Çoklu n	Toplpjik ifade, kolay muhafaza	Karmaşık uzaysal nesneleri açıklamada zorluk
	SSM	Zlatanova, 2000	Yönlendirilmiş Web, görsellik, sorgu	Düğüm, Düzlemsel Yüzey	Nokta, Çizgi, Dış Yüzey, Kütle	Yalın Kavram	Kolyca teorik kökenler yapmak, küçük bellek	dinamik güncelleme ve modifiyesi karmaşık, nesneler çoklu değerli
	UDM	Coors, 2003	Şehir Canlandırma	Düğüm, Üçgen	Nokta, Çizgi, Dış Yüzey, Kütle	Üçgenleme	Kolyca teorik kökenler,küçük bellek, yüzeysel görselleme	dinamik güncelleme ve modifiyesi karmaşık
	OO3D	Shi Wenzhong, Yang Bisheng, 2002	Şehir Canlandırma	Düğüm, Kısım, Üçgen	Nokta, Çizgi, Dış Yüzey, Hacim	OO Modelleme	Karmaşık nesne, LOD, görselleme	Belli belirsiz topoloji, çok az uzaysal analiz fonksiyonu
Jeolojik Model	3D-TIN	Abdul, 2000	Jeoloji, Arazi	Düğüm, Hat, DışYüzey, Katı Model	Nokta, Çizgi, Dış Yüzey, Kütle	Tek Değerli Harita/FDS	Yüzeysel görselleme	Nesnede özellik yok
	Grid		Arazi	Kare, Dikdörtgen		Yüzey Bölme	Yüzeysel görselleme	masif veri
	TEN	Pilouk, 1996	Jeolojik bilgi, Kirlilik Kümesi	Düğüm, Yay, Üçgen, Dört Yüzlü	Nokta, Çizgi, Dış Yüzey, Kütle	Yalın Kavram	Yüzeysel görselleme, Karmaşık kütle ve yüzey	Karmaşık nesneleri görsellemede zorluk, oldukça büyük bellek
	Octree	Hunter, 1978	CAD/CAM, Jeoloji, deniz	Küp		Kütle Bölme	Basit yapı, iç uzaysal nitelik dönüştürme ifadesi	Jeolojiyi açıklamada zorluk, geometrik sınır, masif ,artık veri
	Solid Model	Simon Houlding, 1994	Jeoloji, Maden	Bileşen	Jeolojik Nesnenin Sınırı	3- Çift	Açıklama içindeki karmaşık yapılar için uygun	Büyük oranda elle çalışmak
	GTP	Wu LiXin, 2004	Jeoloji Mühendisliği	Düğüm, Hat, Yüzey, GTP, Köşegen	Nokta, Çizgi, Dış Yüzey, Kütle	Kütle Bölme	topolojinin tamamı, sondaj verilerine dayanarak jeolojinin 3D açıklanması	Karmaşık jeolojik nesnenin görsellenmesinde zorluk
Birleşik Model	TIN+ CSG	Li Qingquan 1998	3D Şehir Modeli	Düğüm, Kısım, Üçgen	Nokta, Çizgi, Dış Yüzey, Kütle, DEM	Yüzey Bölme	Bir kullanıcı penceresinde iki model birleştirme	Fay, kıvrım, çatlak gibi karmaşık jeolojik nesneaçıklamasında zorluk
	TIN+ Octree	Shi Wenzhong, 1996	3D Şehir Modeli, Jeoloji Mühendisliği	Düğüm, Kısım, Üçgen, Octree		Yüzey TIN ve İç Octree Gösterimi	Topoloji açıklaması, kolay sorgulama	TIN'in değişimi ile Octree verisinde değişiklik, kolayca Gösterge tarafından rahatsız edilmek
	TEN+ Octree	Li Qingquan, Li Deren	Jeoloji Mühendisliği	Octree, TEN		Tüm Octree ve Parçalı TEN Gösterimi	Nesnelerin doğruluğunu arttırmak, veri belleğini azaltmak	Uzaysal nesnelerin topolojilerini oluşturmada zorluk

3.2.3.1. Enkesitten Noktaya Katı Modelleme

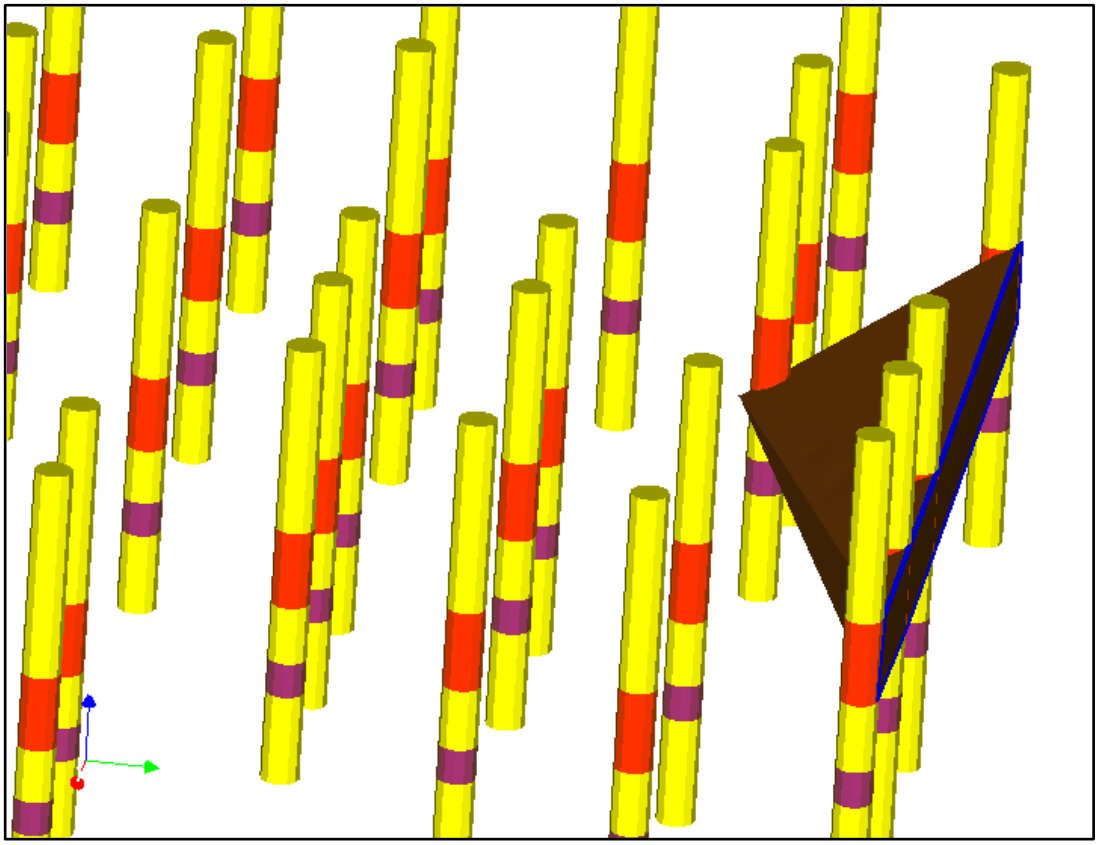
Enkesitten noktaya katı modelleme yöntemi, cevher sınırlarının azalan bir şekilde bittiği durumlarda kullanılmaktadır. Bu yöntemde çizilen enkesite paralel bir şekilde ve makul bir uzaklıkta nokta oluşturulur. Daha sonra bilgisayar programı içerisinde işletilen komut ile seçilen enkesit ve nokta arasında katı model elde edilir.

Enkesitten noktaya katı modelleme yöntemi çok yaygın olmayan ve zorunda kalmadıkça kullanımı tavsiye edilmeyen bir yöntemdir. Genelde oldukça küçük boyutlarda bir modele gerek duyulduğunda kullanılmaktadır.

Şekil 3.11'de sondajlar, cevher sınırları takip edilerek çizilen enkesit, bu enkesite paralel olarak işaretlenmiş nokta görülmektedir. Şekil 3.12'de ise sondajlar, enkesit, nokta ve enkesitten noktaya katı modelle yöntemiyle elde edilen katı modelin görünümü verilmiştir.



Şekil 3.11. Katı modelin elde edilmesi için çizilen enkesit ve noktanın görünümü



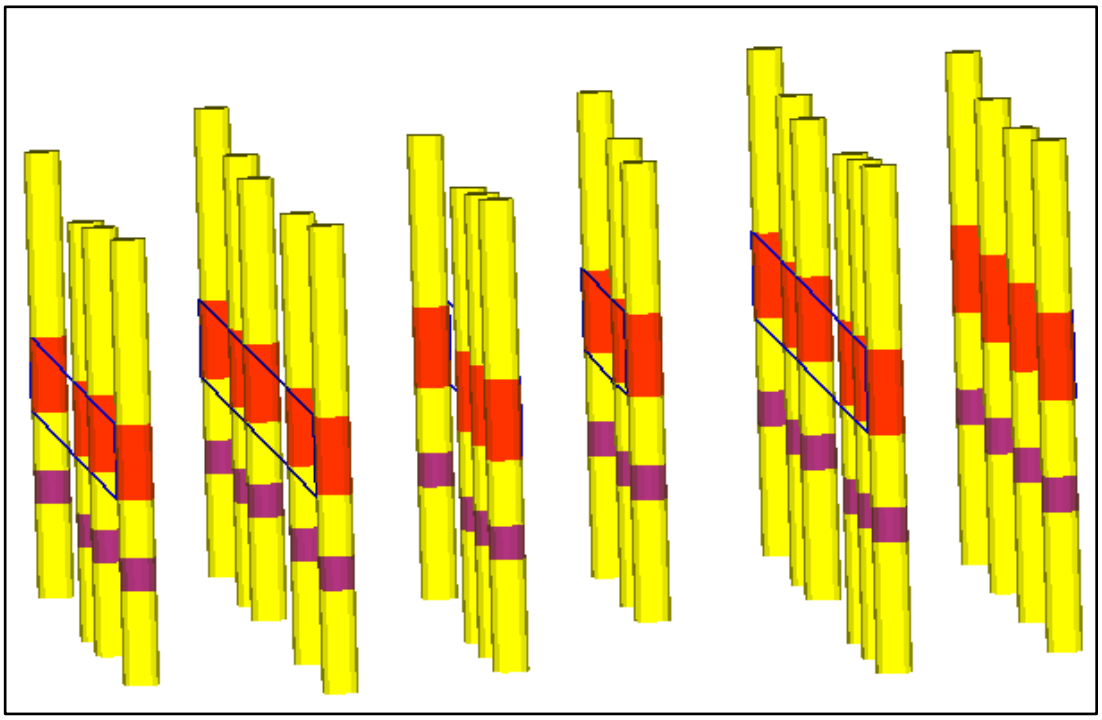
Şekil 3.12. Enkesitten noktaya yöntemiyle elde edilen katı model görünümü

3.2.3.2. Enkesitlerden Katı Modelleme

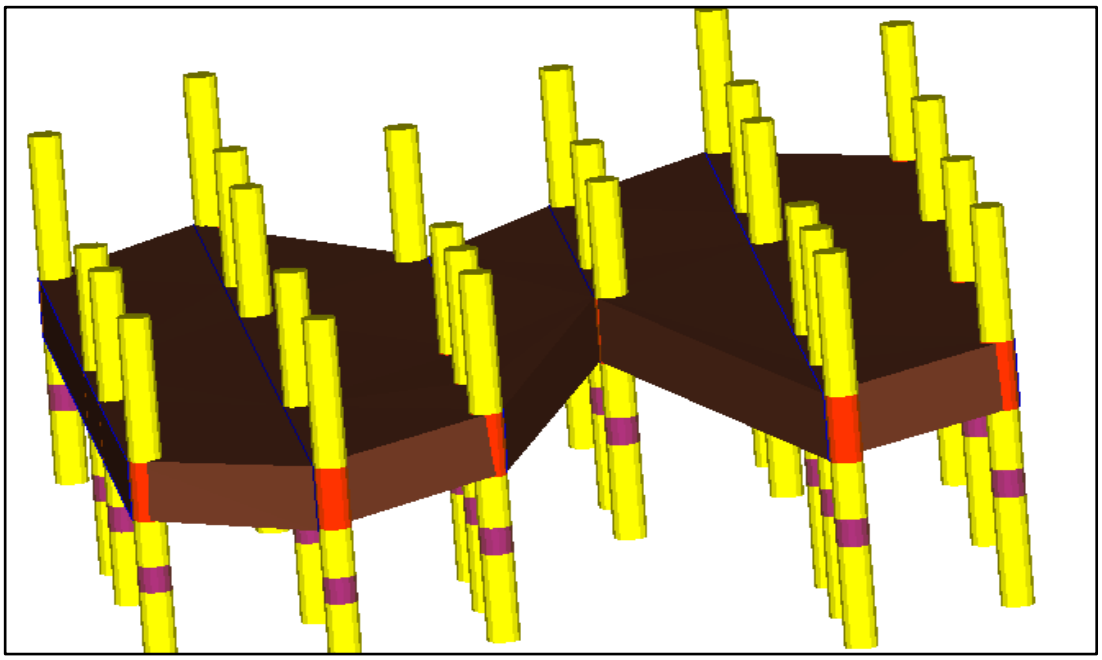
Enkesitlerden katı modelleme yönteminde, maden yatağı olduğu bilinen ve araştırma sondajlarının yapıldığı arazi boyunca belirli bir düzlemde enkesitler sayısallaştırılır. Daha sonra aynı düzlem üzerinde sayısallaştırılan enkesitler sıra ile seçilir ve katı modelleme komutu işletilerek cevher yatağının katı modeli oluşturulur. Yöntemin pratik olmasına rağmen enkesitlerin hassas bir şekilde çizilmesine dikkat edilmelidir.

Enkesitlerden katı modelleme yöntemi topoğrafyası engebeli olmayan daha çok aynı seviyede devam eden arazilerde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra arazide yapılan sondajların mümkün olduğu kadar aynı düzlem üzerinde olması maden yatağının bu yöntemle katı modellenmesinde oldukça iyi performans sonuçları vermektedir. Şekil 3.13'de sondajlar ve cevher sınırları takip edilerek çizilen

enkesitler görülmektedir. Şekil 3.14'de ise sondajlar ve enkesitlerden katı modelleme yöntemiyle elde edilen katı modelin görünümü verilmiştir.



Şekil 3.13. Katı modelin elde edilmesi için çizilen enkesitlerin görünümü

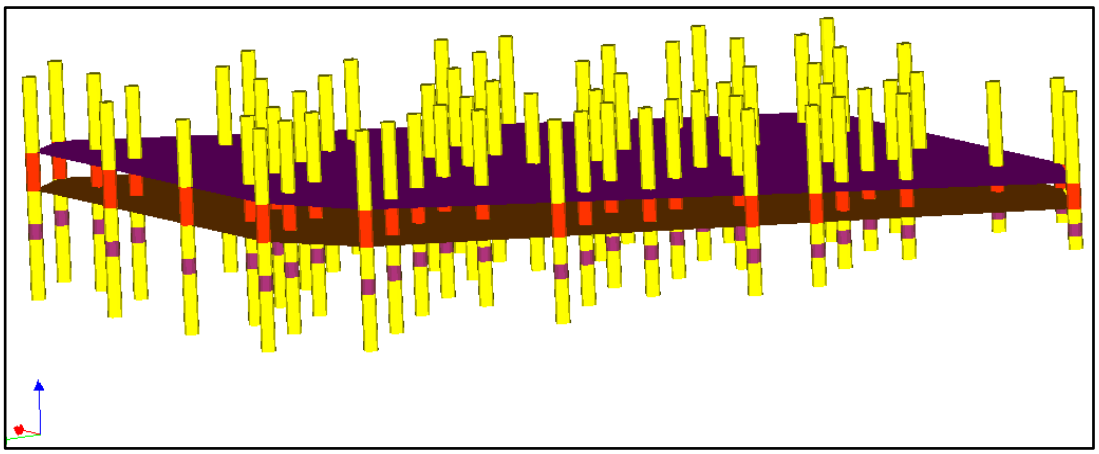


Şekil 3.14. Enkesitlerden katı modelleme yöntemiyle elde edilen katı model görünümü

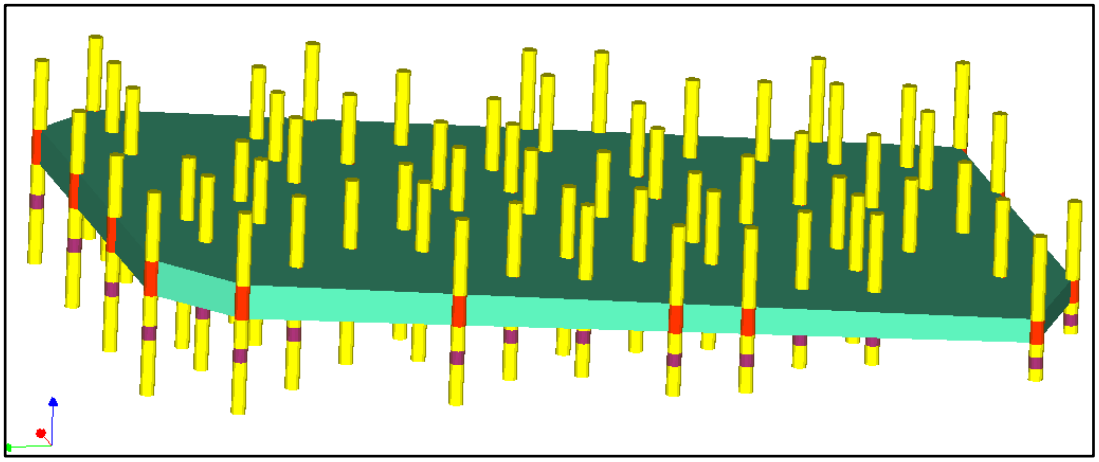
3.2.3.3. Yüzeyler Arası Katı Modelleme

Yüzeyler arası katı modelleme yöntemi, cevher yatağının sınırlarını belirleyen iki yüzeyin (üst ve alt) 3 boyutlu olarak modellenmesi ve bu yüzeylerin arasının modellenerek katı modelin elde edilmesi prensibinden oluşmaktadır. Bu yöntemin avantajı, 3 boyutlu modelleme yapılırken elde edilen yüzeyler sayesinde cevher yatağının sınırları da belirlenmiş olmaktadır.

Şekil 3.15'de sondajlar, cevher başlangıç noktası ve bitiş noktası baz alınarak elde edilen alt ve üst yüzeyler görülmektedir. Şekil 3.16'da ise yüzeyler arası katı modelleme yöntemiyle elde edilen katı modelin görünümü verilmiştir.



Şekil 3.15. Katı modelin elde edilmesi için oluşturulan alt ve üst yüzey görünümü



Şekil 3.16. Yüzeyler arası katı modelleme yöntemiyle elde edilen katı model görünümü

3.2.4. Yüzey Modellemenin Önemi

Günümüz teknolojisi sayesinde gelişen bilgisayar programlarının madencilik sektörüne de katkıları olmuştur. Bu gelişmelerin başında maden yataklarının 3 boyutlu modelleme sayesinde cevherin doğadaki konumu hakkında daha ayrıntılı ve daha kapsamlı bilgilere ulaşılabilineceği gelmektedir. Özellikle yüzey modelleme ve katı modelleme işlemleri madencilik faaliyetleri ile uğraşan kişilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Yüzey modelin en büyük faydası maden yatağının sınırlarının net bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamasıdır. Bunun yanı sıra katı modelleme aşamasında da oldukça yaygın kullanılmaktadır. Blok modelin elde edilmesi, yatağın 3 boyutlu analizinin yapılması, istenilen yönde kesit alabilme imkanı sağlanması, açık veya kapalı maden işletmesinin planlanmasında kolaylık sağlaması, ocak sınırlarının belirlenmesi v.b. planlama aşamalarında yardımcı olabileceği diğer işlemler olarak sıralanabilir.

3.2.5. Yüzey Modelleme Yöntemleri

Araştırmacılar tarafından geliştirilen ve yüzey modelleme amacıyla kullanılan farklı interpolasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanlar; mesafenin tersi ağırlıklı interpolasyon, en yakın komşu, kriging, polinom interpolasyonu, üçgenleme v.b. şeklinde sıralanabilir. Modelleme sırasında kullanılacak olan yöntemin belirlenmesini; cevherin yataklanma şekli, modellemede kullanılacak olan veri seti, kullanılacak olan madencilik programı gibi birçok parametre etkilemektedir.

3.2.5.1. Jeoistatistiksel Analiz Yöntemi

Belirli bir yöreye özgü olan ve en azından bir koordinat ile ifade edilen değişkenler, yöresel değişkenler olarak tanımlanır. Maden sahalarında yöresel değişkenin aldığı değerler o sahada yapılan sondajlar ile belirlenmiş noktalarda

bilinir, diğer noktalarda ki bilinmeyen değerleri hesaplamak gerekir. Bilinmeyen bir değerin hesaplanması, sondajlar ile elde edilen değerler yardımıyla yapılır ve işlem kestirim olarak adlandırılır. Genel kestirim problemi içinde, yöresel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri basit bir fonksiyonel gösterimle ifade edilemeyecek kadar karmaşık ve düzensizdir (Mert, 2010). Ancak jeoistatistiksel yöntem ile bu problemi çözmek mümkündür. Jeoistatistik, belli bir gözlem alanı içerisinde belirli bir yapıya sahip gözlemi bulunmayan yöresel değişkenler ile gözlemi bulunan değişkenler arasında konumlarına göre interpolasyon yaparak değişkenlerin tahmin edilmesini sağlar (Keskiner, 2008).

Bir maden yatağının x noktasındaki tenör değerini z(x), bundan h kadar uzaklıktaki tenör değerini z(x+h) ile göstererek, tenör değerleri arasındaki farkı h uzaklığının bir fonksiyonu olarak f(h)= z(x) – z(x+h) şeklinde gösterebilir, buradaki h fonksiyonunun modellenmesi jeoistatistiğin temelini oluşturmaktadır (Tercan, 1999; Mert, 2010). Şekil 3.17'de variogramda uzaklık ve açı ile ilgili parametreler gösterilmiştir. Jeoistatistik alanında kullanılan belli başlı terimler aşağıda açıklanmıştır;

Variogram: Uzaklığa bağlı değişkenliğin analizi ve modellenmesinde kullanılan bir araçtır. Variogram ile kompozitleme sonucu oluşturulmuş örnekleme kayıtlarının uzaysal bağımlılığının derecesi belirlenmektedir. Variogramlar, örnek verileri kullanılarak belirli uzaklıklarda hesaplanabilirler. Ayrıca variogram fonksiyonlarını rezerv hesabında kullanabilmek için bunların her uzaklıktaki değerinin bilinmesi gerekir. Bu işlem, hesaplanan variogramları modelleyerek gerçekleştirilir. Variogramların modellenmesi, hesaplanan variogram değerlerine bir eğri ya da doğru uydurmak anlamına gelmektedir. Variogram modeli olarak kullanılacak fonksiyonun pozitif tanımlı olması gerekir. Bu, rezerv hesabında negatif varyanslar ve çözümü olmayan sistemlerle karşılaşmamak için zorunlu bir gerekliliktir. Her ne kadar pratikte kullanılan modellerin sayısı sınırlı olsa da bunlarla büyük bir çoğunluğu modellemek olanaklıdır.

Adım Sayısı: Hesaplanan variogram değerlerinin sayısıdır.

Adım Aralığı: Variogramın hesaplanacağı birim uzaklıktır. Pratik olarak variogramlar, sahanın dikkate alınan yöndeki boyutunun yarı uzunluğuna kadar

hesaplanır. Yatay yönde yapılan hesaplamalarda adım aralığı sondajlar arasındaki ortalama uzaklık olarak alınabilir. Düşey yönde yani sondajlar boyunca yapılan hesaplamalarda ise, adım aralığı kompozit uzunluğundan biraz daha büyük seçilmelidir.

Adım Toleransı (Uzaklık Toleransı): Adım aralığının tolere edileceği uzaklıktır. Adım toleransı genel olarak adım aralığının yarısı veya bundan biraz daha büyük alınabilir.

Doğrultu & Eğim: 3-B bir yatakta variogramlar, ilk olarak sondajlar boyunca hesaplanmalıdır. Eğer sondajların hepsi dik olarak yapılmışsa doğrultu 0° ve eğimi -90° şeklinde girmek gerekir. Variogramlar, yatay düzlemde hesaplanacaksa anizotropi dört ana yönde (0°, 45°, 90° ve 135°) incelenebilir.

Tolerans: Variogram hesaplama yönünün, variogram hesaplamak için belirlenen koninin köşesiyle yaptığı açıdır. Eğim açısının toleransıdır. Variogramlar, yatay düzlemde hesaplanacaksa, eğim açısı toleransı 22,5° alınabilir. Pratikte açı toleransı ne çok düşük ne de çok yüksek seçilmelidir. Çok düşük seçildiğinde örnek çifti sayısı ve dolayısıyla variogramların güvenilirliği azalır. Çok yüksek seçildiğinde ise deneysel variogram, ortalama variograma yaklaşır ve gerçekte anizotrop davranış gösteren bir yatağın yanlış bir şekilde izotrop olduğuna karar verilebilir. Gerek açı toleransı ve gerekse uzaklık toleransının seçiminde jeoistatistik konusunda bir uzmana danışılması tavsiye edilir.

Bant Genişliği (Tolerans Uzaklığı): Koni içerisinde aramanın yapılacağı, variogram konisinin sınırlandırıldığı genişliktir. Bant genişliği ilk etapta adım aralığının 4 ya da 5 katı alınabilir. Bu alan boş bırakılırsa herhangi bir sınırlandırma yapılmaz.

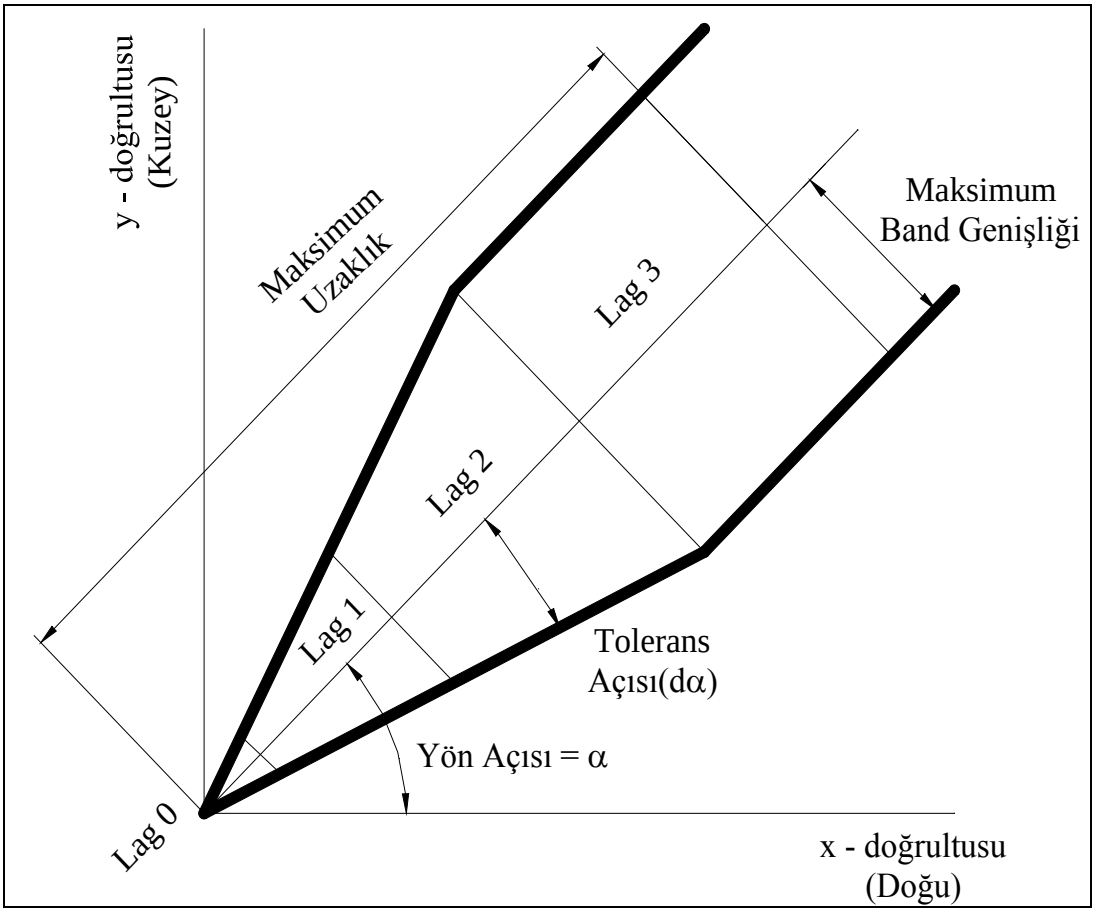
Külçe Etkisi (Nugget) (C_0) : Yarıvariogram grafiğinde yarıvariogram eğrisinin y eksenini kestiği nokta ile orijin arası kontrolsüz (kontrolsüz varyans) etki olarak bilinir (Yünsel, 2007). Ancak madencilikte külçe (nugget) etkisi olarak adlandırılır. h=0 m uzaklıkta yarıvariogramın aldığı değerdir. Cevher yatağının homojenliğini ifade eder. Yüksek değerdeki nugget değeri mineralleşmenin çok zayıf bir şekilde geniş bir sahaya yayıldığını (cevherin, cepler veya adeseler halinde

yoğunlaştığını) veya kötü numune değerlendirilmesi yapıldığını belirtir. Teorik olarak sıfır olması gerekir.

C_0, en iyi sondajlar boyunca hesaplanan variogramdan elde edilir. Farklı yönlerde modellenen variogramların aynı C_0 (külçe etki) değerine sahip olması gerekir.

Eşik Değeri (Sill, C) (C_1+C_0): Yarıvariogram fonksiyonunun belirli bir "h" uzaklığında ulaştığı yarıvaryans değeridir. Pratikte sill, yarıvariogramı hesaplamak için kullanılan tüm örneklerin varyansına denktir.

Etki Mesafesi (Range) (a): Bu alan içinde kalan ve belirtilen bir sondaj noktasından belirli bir uzaklıkta bulunan diğer sondaj noktalarının değerleri, o sondaj noktasının değerini etkilemektedir. Bu uzaklığın dışındaki noktaların etkisi yoktur. Diğer bir deyişle gözlemler arası uzaklık h > a olduğu durumda korelasyon sıfırdır (Arıöz, 2011).



Şekil 3.17. Variogramda uzaklık ve açı parametrelerinin gösterimi (Mert, 2010)

Klasik istatistik yöntemlerinden farklı olarak örnekler arası ilişkiyi örneklerin alındıkları koordinatları da hesaba katarak ele alan bu yöntem maden yataklarının modellenmesinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Mert, 2010). Jeoistatistiksel yöntemin en büyük avantajı yapılan tahmin hatalarının sayısal bir değer olarak ifade edebilmesidir. Bu sayede tahmin işleminin ne kadar güvenilir olduğu hakkında fikir elde edebiliriz; dezavantajı ise, elimizde bulunan veri setinde az sayıda örnek verisi olduğu durumlarda bu tahmin yöntemi olumlu sonuçlar vermeyebilir. Bu nedenle jeoistatistiksel bir yöntem kullanılarak tahmin yapılabilmesi için örnek sayısının en az 30 olması gerekmektedir.

Jeoistatistik yöntemler kullanılarak yapılan bir çalışma dört ana gruba ayrılabilir. Bunlar;

- Yöresel değişkenin değerleri arasındaki farkların, uzaklığı bağlı değişimlerini belirlemeye yarayan yarıvariogram modellerinin tespit edilmesi,
- Yarıvariogram modellerinin test edilmesi,
- Kriging tahmin tekniği ile tahminlerin yapılması,
- Yapılan tahmin hatalarının belirlenmesi.

Jeoistatistiksel bir çalışmada bu aşamaların hepsinin sırası ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Çetin, 1996; Mert, 2010).

3.2.5.1.(1). Yarıvariogram Analizi

Yöresel değişkenlerin tanımladığı noktalar arasındaki uzaklık ile bu noktalardaki gözlenen değerler arasındaki olası bir ilişki, normal olarak uzaklık azaldıkça değerlerin birbirine benzemesi, arttıkça benzerliğin azalması şeklinde beklenir. Başka bir deyişle yöresel değişkenlerin değerleri arasındaki fark, bu değerler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonu şeklinde tanımlanabilir.

Jeoistatistikte, yöresel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ortaya konur. Variogram fonksiyonu tesadüfi

değişkenin değerleri arasındaki farkın varyansı şeklinde ifade edilir ve 2γ(h) ile gösterilir. Literatürde yarıvariogram olarak adlandırılan bu fonksiyon variogram fonksiyonun yarısını ifade etmektedir ve Denklem (3.1)' de olduğu gibi γ(h) ile gösterilir (Çetin, 1996; Mert,2010).

$$\gamma(h) = Var\left[Z(x) - Z(x+h)\right]/2 \tag{3.1}$$

Yarıvariogram fonksiyonları maden yatağının ilgili yöresel değişkenin ne gibi özellikler gösterdiğini belirlemede kullanılır. Örneğin, bu fonksiyon bilindiğinde değişkenin homojenlik ve izotropluk dereceleri, düzenliliği ve bir örneğin etkili olduğu uzaklık belirlenir. Yarıvariogram değerlerinin gözlemler arasındaki h uzaklığına bağlı olarak hesaplanabilmesi için N sayıdaki gözlemin N(N-1)/2 tane olan ikili çiftleri oluşturulur. Eğer gözlem çiftleri yön ve uzaklık gözetilmeksizin oluşturulmuşsa mümkün bütün çiftlerin arasındaki yarıvaryans değeri Denklem (3.2) yardımıyla hesaplanır. Daha sonra her bir h uzaklığına karşılık elde edilen deneysel yarıvaryans değerleri karşılıklı olarak grafiklenerek Şekil 3.18'de görüldüğü gibi yarıvariogram fonksiyonu elde edilir.

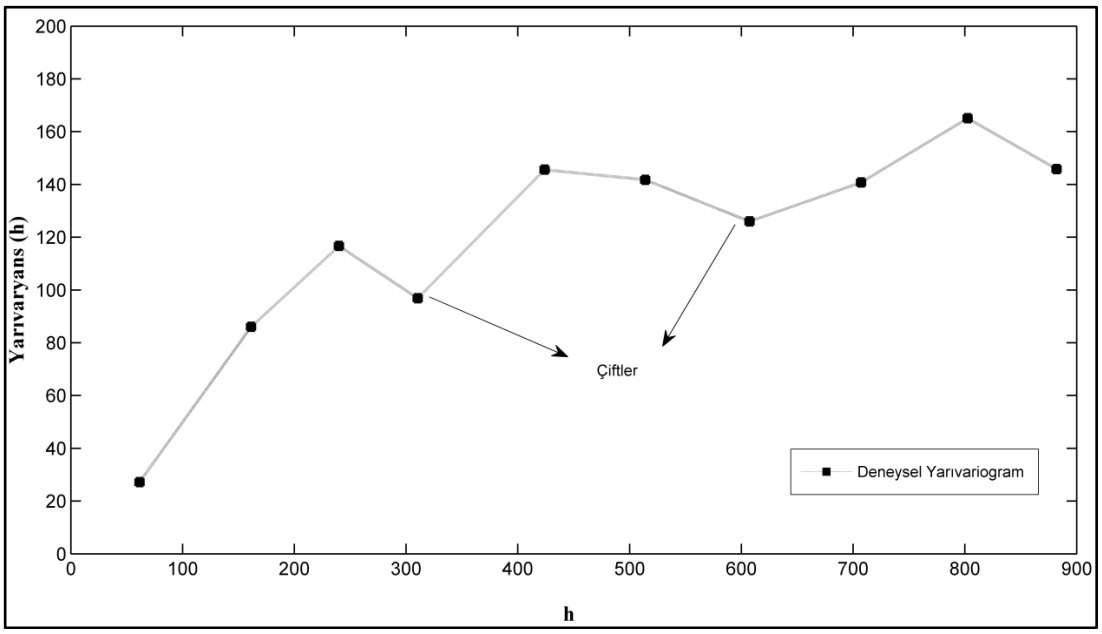
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \left[Z(x_i) - Z(x_i + h)\right]^2 \tag{3.2}$$

Burada;

γ(h): yarıvaryans değerini,

N(h): örnek çiftlerinin sayısını,

$Z(x_i)$: x noktasında rastgele tanımlanmış olan degeri göstermektedir.

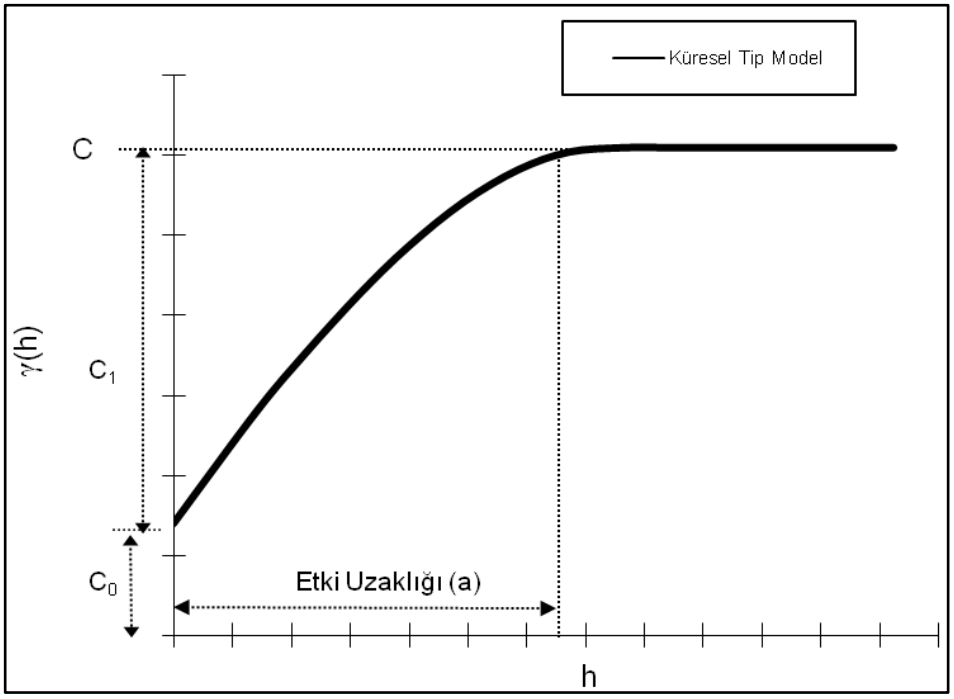


Şekil 3.18. Deneysel yarıvariogram grafiği

Teorik olarak, elde edilen deneysel yarıvariogram yapısını temsil eden yarıvariogram modelinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle teorik yarıvariogram modelleri ve parametreleri iyi bilinmeli, en uygun model ve parametreler seçilerek ortalama yarıvariogram modeli fonksiyonel olarak belirlenmelidir. Küresel, Gaussian, Doğrusal, Üssel, Genelleştirilmiş Doğrusal, Hole Effect ve Paddington Karışık model literatürde bulunan teorik model tipleridir. Çalışmamızda en yaygın olan küresel ve gaussian tip modeller kullanılacaktır. Bu modellerin formülleri Denklem (3.3) ve (3.4)'de verilmiştir. Şekil 3.19'da örnek bir küresel tip model ve bu model üzerinde variogram parametreleri gösterilmiştir.

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1\left[\frac{3}{2}\left(\frac{h}{a}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{h}{a}\right)^3\right] & h \le a \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases} \tag{3.3}$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1\left[1 - e^{\left(-3h^2/a^2\right)}\right] \tag{3.4}$$



Şekil 3.19. Küresel tip teorik yarıvariogram modeli ve parametreleri

3.2.5.1.(2). Çapraz Doğrulama

Yapılan yarıvariogram analizi sonucunda elde edilen yarıvariogram modellerinin doğruluğu ve geçerliliği çapraz doğrulama tekniği ile gerçekleştirilir. Temel olarak, bu test gerçekleştirilirken, sahadaki 1 gerçek değer silinir ve komşu parametreler yardımıyla ve yarıvariogram model parametreleri de kullanılarak o noktada bir tahmin yapılır. Her bir nokta için bu işlemler gerçekleştirilir. Sonuçta her noktadaki gerçek değerlerle tahmin edilmiş değerler karşılaştırılır. Bu işlemler sonucunda standardize edilmiş artık değerlerin ortalamasının "0", standart hatanın da 1'e yakın olması istenir. Bu işlem diğer veriler içinde tekrarlanarak, elde edilen tahmin hataları o tahmine ait kriging standart sapma değerine bölünür ve indirgenmiş hatalar elde edilir. İndirgenmiş hataların ortalamasına ve kareler ortalamasına bakılarak analiz gerçekleştirilir (Denklem 3.5-8).

Tahmin Hataları $\varepsilon_i = \left[Z_i^* - Z_i\right]$ (3.5)

İndirgenmiş Hatalar $x_i = \left[\frac{Z_i^* - Z_i}{\sigma_{\varepsilon,i}} \right]$ (3.6)

İndirgenmiş Hatalar Ortalaması $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} x_i$ (3.7)

İndirgenmiş Hatalar Varyansı $S_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{1}^{N} (x_i - \bar{x})^2$ (3.8)

Bu istatistiksel parametrelere ilişkin arzu edilen kriterlerin bazıları şu şekildedir;

i. İndirgenmiş hataların beklenen değerlerinin 0'a ve varyansları da 1'e yakın olup olmadığına veya $1 \mp 2\sqrt{2/N}$ sınırları arasında kalıp kalmadığına bakılmalıdır.

ii. Diğer bir karar verme tekniği ise, gerçek değerlerin, kestirilen değerler üzerindeki doğrusal regresyonu orijinden geçen 45 derece eğimli bir doğru olmasıdır. Bu koşullu yansızlık olarak bilinir.

iii. Kestirim hatalarının kareler ortalaması, kriging varyanslarının ortalamasına eşit ya da küçük olmalıdır, $\bar{\sigma}_E^2 < \bar{\sigma}_k^2$ (Mert, 2010).

3.2.5.1.(3). Ordinary Kriging

Maden yataklarından alınan örnekler bize sadece alınan noktalarla ilgili bilgiler verebilir. Ancak bu noktalardan alınan örnekler arasındaki uzaklığa bağlı ilişkiyi ortaya koyup bilinmeyen noktalardaki veya bloklardaki değerleri de tahmin etmek gerekmektedir. Bu amaca hizmet eden kriging, yöresel değişkenlerin örneklenmemiş noktalarının tahminlerinde en iyi ve yansız bir tahmin edici olarak kullanılır. Kriging tekniğinin kullanımının artmasına neden olan en büyük avantajı, yapılan tahminin kararsızlığının "Kriging varyansı" adı verilen bir katsayı yardımı ile

tahmin edilmesidir ki bu varyans ile yapılan hesaplamanın istatistiksel olarak güvenli sınırlar içinde olup olmadığının kontrolü mümkün kılmaktadır.

Genel olarak tahmin işlemi, bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak yapılır (Denklem 3.9).

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \tag{3.9}$$

Burada;

Z* : x_0 noktasında tahmin edilen değeri,

$Z(x_i)$: x_0 noktasının tahmininde kullanılacak gözlemlerin değerini,

λ_i : Değişkenin değerlerine verilecek ağırlıkları ifade etmektedir.

Ağırlık faktörü olan λ_i'yi en iyi yolla belirlemek oldukça önemlidir. Bu nedenle ağırlık faktörü şu iki amaç doğrultusunda seçilmelidir;

i. Yansızlık için $E[Z^* - Z] = 0$, bu şartı sağlanmalıdır bundan dolayı Denklem (3.9)'daki ifadede $\sum\lambda_i = 1$ olmalıdır (Burada, Z* tahmin edilen değeri, Z ise gerçek fakat bilinmeyen değeri ifade etmektedir),

ii. Minimum varyans için $Var[Z^* - Z] = \text{minimum}$ olmalıdır (Burada belirtilen varyans kriging varyansı olarak bilinir).

Kestirim simple kriging ile yapılabileceği gibi ordinary kriging yöntemi ile de yapılabilir. Ordinary kriging tekniği daha çok doğrusal kestirim söz konusu olduğunda Simple kriging ise simülasyon ile ilgili uygulamalarda kullanılır. Kestirim, düzenli bir grid için yapılabileceği gibi düzensiz bir nokta kümesi için de yapılabilir (Mert, 2010; Arıöz, 2011).

3.2.5.2. Üçgenleme Yöntemi

Fiziksel yeryüzü gibi düzgün olmayan yüzeylerin matematiksel olarak ifade edilmesinde zorluklar vardır. Tam olarak ifade edilebilmesi için yüzeydeki tüm noktaların tanımlı olması gerekmektedir. Ancak bu durum pratik olarak mümkün değildir. Konumsal verinin modellenmesi ve ara değer interpolasyonu için üçgenleme yapısı sıkça kullanılan bir yöntemdir.

Örnek noktalarının işlenerek üçgenler ağı oluşturulması (üçgenleme), interpolasyon işlemi gibi bir konuda kullanılabilmesi yararlı bir çözüm yöntemidir. Üçgenleme özellikle düzensiz dağılım gösteren örnek noktalarına bağlı yüzey modellemesinde kullanılmaktadır. Yüzey modellemesi yüzeyin tek bir fonksiyonla bütün olarak ifade edilmesiyle yapılabileceği gibi üçgen, kare, dikdörtgen ve benzeri geometrik şekillere bölünerek parça parça ifade edilmesiyle de yapılabilmektedir. Özellikle düzensiz dağılım gösteren dayanak noktalarına bağlı yüzey modellemesinde, dayanak noktalarının işlenerek üçgenler ağı oluşturulması (üçgenleme) sıkça kullanılan bir çözüm yöntemidir (Yanalak, 2001; www.mat.itu.edu.tr).

Üçgenlemenin amacı söz konusu yüzeyi, birbirleri üzerine binmeyen üçgen elemanların toplamı şeklinde ifade etmektir. Yüzeyi oluşturan üçgenlerin köşe noktaları dayanak noktalarıdır ve her bir dayanak noktası en az bir üçgenin köşe noktasını oluşturur. Üçgenleme 2, 3 ve daha büyük boyutlu uzaylarda gerçekleştirilebilir. Üçgenleme, dayanak noktalarının (x, y) konum koordinatları kullanılarak düzlemde gerçekleştirilmektedir. Üçgenlemenin bir diğer amacı dayanak noktalarını ilişkilendirmektir. Bir üçgen kenarını oluşturan iki dayanak noktasının birbiri ile ilişkili olduğu düşünülür. Üçgenlemenin kalitesi dayanak noktaları arasındaki bu ilişkilendirmenin uygunluğuna bağlıdır. Aynı veriler kullanılarak farklı üçgenler ağı oluşturulabilir. Bu üçgenlemelerden bazıları sistematiği olan ve algoritması kurulabilen üçgenlemeler bazıları ise bir sistematiği bulunmayan dolayısıyla programlama olanağı olmayan üçgenlemelerdir. Elle yapılan uygulamalarda sistematik olmayan bir üçgenleme kullanılabilir, fakat dayanak nokta sayısı arttığında elle uygulama olanağı azalır ve sistematik bir üçgenleme algoritması

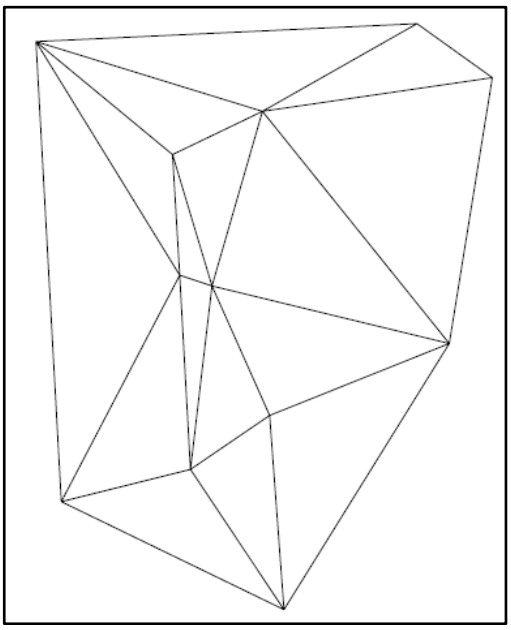
içeren bir yazılıma gerek duyulur. Bu nedenle üçgenleme terimi sistematik olarak modellenebilen üçgenlemeler olarak algılanmalıdır. (Lee ve Preparata, 1984; www.mat.itu.edu.tr).

3.2.5.2.1. Voronoi Diyagramı ve Delanuay Üçgenlemesi

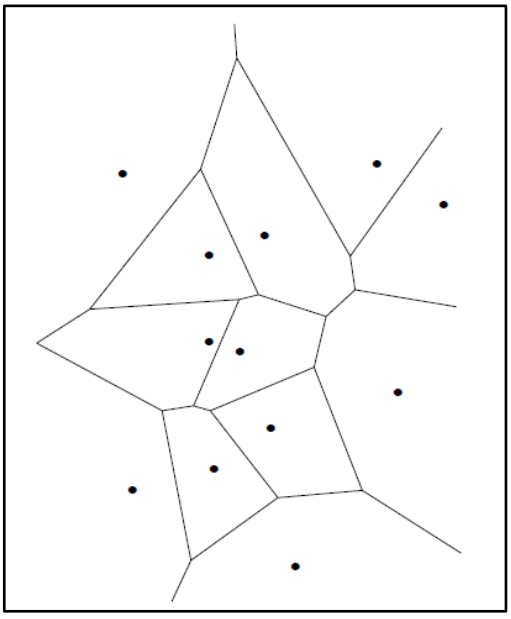
Delaunay üçgenlemesi hesapsal geometride oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Voronoi diyagramı literatürde Dirichlet, Thiessen veya Wigner-Seithz diyagramı olarak da anılmaktadır (Sukumar ve ark., 2001; Watson ve Philip, 1984; www.mat.itu.edu.tr).

Düzlemde yer alan sonlu nokta kümesine ait herhangi bir noktaya, kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda bulunan düzlem noktalarının geometrik yerine o noktanın Voronoi Çokgeni (poligonu) denilmektedir. Kümedeki tüm noktaların Voronoi çokgenlerinin birleşimi, o kümenin Voronoi diyagramını oluşturur.

Voronoi diyagramı en yakın nokta problemleri için kullanılan kesin bir yapıdır. Bir noktanın Voronoi çokgeni herhangi bir noktayı, kendisine en yakın konumdaki komşu noktalardan ayırmaktadır. Çokgenin kenarları, nokta ile komşu noktaları birleştiren doğru parçalarının kenar orta dikmelerinden oluşmakta, her nokta kendisine ait komşu noktalar ile birleştirildiğinde Delaunay üçgenlemesi elde edilmektedir. Şekil 3.20'de bir veri kümesine ait Delaunay üçgenleri Şekil 3.21'de ise Voronoi diyagramı görülmektedir (www.mat.itu.edu.tr).



Şekil 3.20. Delaunay üçgenlemesi



Şekil 3.21. Voronoi diyagramı

Delaunay üçgenlemesine ait bazı önemli özellikler şunlardır:

- Tek anlamlıdır. Başlangıç noktasından bağımsızdır.
- Oluşan üçgenler en olası eşkenar üçgenlerdir (eşaçılık özelliği). Çok dar açılı üçgenlerin oluşumu, dolayısıyla, birbirlerine uzak olan ve direkt ilişkisi

bulunmayan noktalar arasında doğrusal bir ilişki kurulması engellenmektedir.

- Üçgenlerin çevresel çemberi içerisinde bir başka nokta yer almamaktadır (çevresel çember özelliği).
- Veri kümesinin dışbükey çerçevesi üçgenlemede yer almaktadır. Bir nokta kümesinin dışbükey çerçevesi o kümeyi içine alan en küçük çokgendir.
- Dayanak noktaları kümesinde birbirine en yakın konumda bulunan nokta çiftinin oluşturduğu doğru parçası üçgenlemede yer almaktadır.
- Her bir noktayı kendisine en yakın nokta ile birleştiren doğru parçası bir üçgen kenarını oluşturmaktadır (Worbosy, 2000; Yanalak, 1997; www.mat.itu.edu.tr).

Delaunay üçgenlemesine ait bir üçgenin çevresel çemberi içerisinde başka bir dayanak noktası bulunamaz. Her bir üçgenin 3. noktası belirlenirken bu üç noktanın çevresel çemberi içinde bir başka dayanak noktası olup olmadığı kontrol edilir.

Üçgenleme algoritmalarının isteklere karşılık vermesi için çözümlenmesi gereken bazı sorunlar vardır. Algoritma hızlı çalışmalı, bilgi depolama gereksinimi az olmalı ve veri alanı için bir sınır tanımlanmış olmalıdır.

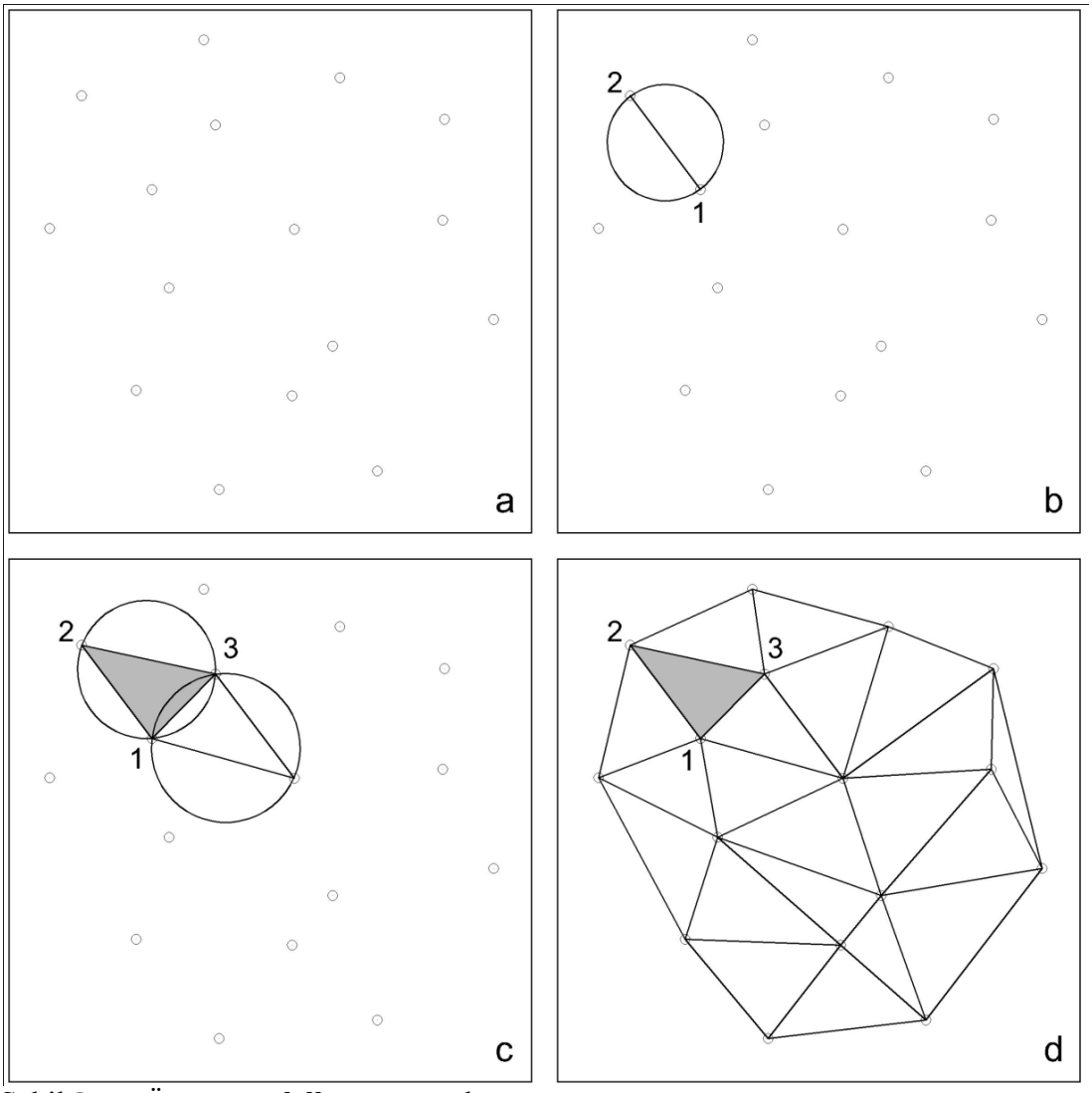
Hız: Algoritmaların doğru sonuç vermelerinin yanı sıra bu sonucu ne kadar kısa sürede verdiği algoritmanın etkinliğini gösteren bir kriterdir. Algoritmanın çalışma süresi yazılıma olduğu kadar kullanılan donanıma da bağlıdır. Bu nedenle algoritmanın etkinliğini donanımdan bağımsız olarak gözleyebilmek için dayanak nokta sayısının artımına bağlı olarak çalışma süresinin artımı incelenir (www.mat.itu.edu.tr).

Depolama: Kullanılan bilgisayarların bellek kapasiteleri her ne kadar artmış bile olsa sonsuz değillerdir. Çok sayıda dayanak noktası ile çalışıldığında bellek yetersizlikleri ortaya çıkabilmektedir. Bellek sorunu, kullanılan programlama dilinin özelliklerine bağlı olarak farklı boyutlarda oluşur. Veri alanının parçalara ayrılmasını içeren algoritmalarda hız bakımından bir avantaj sağlanmasına karşın depolanması gereken bilgi sayısını arttırır. Bu nedenle bilgilerin özel bellek depolama yöntemleri

veya farklı matris yapıları kullanılarak depolanması gerekebilir (Öztan, 1981; Öztan, 1983; Öztan, 1986).

Veri Alanının Sınırlandırılması: Hesap işlemlerinin bir yerde kesilmesi amacıyla üçgenlenecek veri alanının bir sınır ile tanımlanması gerekir. Aksi halde algoritmalar nereye kadar komşu nokta araştırmasına devam edeceğini, işlemi nerede keseceğini belirleyemeyip sonsuz döngü içerisine girebilirler. Üçgenlemenin doğruluğu bakımından veri alanının sınırlandırılması gereği de ortaya çıkabilir. Özellikle fazla girintili çıkıntılı arazilerin uçlarına doğru gereksiz ve yanıltıcı üçgenler oluşur. İnterpolasyonla yanlış bilgi elde etmemek için bu üçgenler dışarıda kalacak şekilde veri alanı sınırlandırılabilir. Veri alanını sınırlandırmak amacıyla şimdiye kadar kullanılmış olan geometrik şekiller, tüm dayanak noktalarını içine alan bir üçgen, en küçük ve en büyük x ve y koordinatlarının sınırlandırdığı bir dikdörtgen veya seçilmiş bir çokgen olmuştur (Auerbach ve Schaeben, 1990; Fang ve Piegl, 1992; Garey ve ark., 1978; Lee ve Preparata, 1984; Lewis ve Robinson, 1977; Macedonio ve Pareschi; 1991; Mirante ve Weingarten, 1982; Tsai, 1993; Watson ve Philip, 1984; Watson ve Philip, 1984; www.mat.itu.edu.tr).

Şekil 3.22'de üçgenlerin oluşturulması için noktaların hangi kurallara göre seçileceği, bir üçgenin oluşturulması için gerçekleştirilen adımlar ve örnek bir üçgen model görülmektedir. Şekil 3.22a'da örnek verilerinin dağılımı görülmektedir. Şekil 3.22b'de bir nokta seçilmiş ve bu noktaya komşu olan en yakın 2. nokta belirlenmiş ardından bu iki nokta birleştirilerek üçgenin bir kenarı oluşturulmuştur. Daha sonra Şekil 3.22c'de görüldüğü gibi üçgeni oluşturacak 3. en yakın komşu noktası belirlenmiş olup bu 3 nokta birleştirilerek üçgenin diğer kenarları da oluşturulmuştur. Bir nokta seçildikten sonra üçgeni oluşturacak diğer en yakın komşu noktalar bir çember çizilerek belirlenmektedir. Sınırları örnek noktalardan geçirilerek çizilen bu çember içerisine üçgeni oluşturan noktalardan başka nokta girmemelidir. Bu üçgenleme yönteminin en önemli kuralıdır. Bu durum hem Şekil 3.22b'de hem de Şekil 3.22c'de görülmektedir. Son olarak Şekil 3.22d'de örnek verilerinin tamamı kullanılarak oluşturulan üçgen model görünümü verilmiştir.



Şekil 3.22. Üçgen modelleme aşamalarının gösterimi

Üçgenleme yönteminde, üçgenin köşelerinden geçen basit bir düzlemsel yüzey denklemi belirlenir. Belirli lokasyonların (φ, λ) sahip olduğu seviye (z) değeri bu denklem ile bulunur. Basit bir düzlemsel yüzeyin denklemi şu şekildedir:

$$z(\varphi,\lambda) = b_0 + b_1\varphi + b_2\lambda \tag{3.10}$$

Burada b_0, b_1 ve b_2 bilinmeyen katsayılardır. Bu değerler üç noktasının (φ_i, λ_i, z_i) koordinatları bilinen bir üçgen için Denklem (3.11)'de bulunan eşitlikler çözülerek hesaplanır (i=1, 2, 3).

$$z_1 = b_0 + b_1\varphi_1 + b_2\lambda_1$$

$$z_2 = b_0 + b_1\varphi_2 + b_2\lambda_2 \quad (3.11)$$

$$z_3 = b_0 + b_1\varphi_3 + b_2\lambda_3$$

3.2.5.3. Polinom İnterpolasyonu Yöntemi

Pratikte basit bir deneysel model gerektiği zaman polinom interpolasyon yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Polinom model, karakterize edilmiş veriler kullanılarak interpolasyon, ekstrapolasyon ya da model uydurma gibi amaçlar doğrultusunda uygulanabilir. Polinom interpolasyon prosesi, örnek veri setinde bulunan noktalar üzerinden geçecek olan eğrinin teorik modelini bulma işleminden meydana gelmektedir. Polinom interpolasyonu yönteminde veri setinde bulunan gerçek değerler (x ve y) doğrudan kullanılmazlar. Bu değerler normalize edildikten sonra elde edilen yeni değerler (φ, λ) polinom interpolasyonunda kullanılmaktadırlar. Örnek verilerinin normalize edilmiş değerleri Denklem (3.12-13) ile elde edilmektedir.

$$\varphi_k = \frac{x_k - \bar{x}}{std_x}, \qquad k = 1,2,\ldots,n_k \quad (3.12)$$

$$\lambda_k = \frac{y_k - \bar{y}}{std_y}, \qquad k = 1,2,\ldots,n_k \quad (3.13)$$

Burada $\bar{x}$ ve $\bar{y}$, x ve y değerlerinin ortalama değerleri ve std_x ve std_y, x ve y değerlerinin standart sapma değerlerini ifade eder ve n_k ise örnek nokta sayısını göstermektedir.

Polinom interpolasyonu yüzeye bir polinom uydurma işlemidir. Yüzey modelleme için kullanılacak olan polinom Denklem (3.14)'de formülize edilmiştir.

$$z^*(\varphi,\lambda) = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{m} b_{ij}\varphi^i\lambda^j \tag{3.14}$$

Burada; z*, z noktasının φ ve λ ile belirlenmiş olan tahmin değerini; n, φ katsayısının derecesini ve m ise λ katsayısının derecesini sembol etmektedir. Ayrıca b_{ij} en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmış olup, $\varphi^i\lambda^j$ ifadesinin katsayısını göstermektedir.

z^*_k-z_k, değeri yani sapmaların kabul edilebilir ölçüde olması için hataların karelerinin toplamı minimum olmalıdır. Bu durum Denklem (3.15)'de ifade edilmiştir (Davis, 2002).

$$\sum_{k=1}^{n_k}\left(z^*_k - z_k\right)^2 = \text{minimum} \tag{3.15}$$

En küçük kareler yöntemi kullanılarak en az sapma ile polinom fonksiyonun katsayıları (b_{ij}) belirlenir. Polinomun derecesi maksimum φ ve λ'nin dereceleri olabilir ve bu pratikte oldukça dikkat edilmesi gereken bir noktadır. Polinom regresyon yöntemi ile yüzey modelleme işleminde, polinomun derecesi serbestlik katsayısına ve noktaların sayısına bağlıdır. En uygun katsayılar belirlenirken, mümkün olduğu kadar en yüksek derece ile başlanmalı ve istatistiksel testler ile belirlenmelidir. Polinom model için φ ve λ katsayılarının dereceleri en fazla 5 olabilir.

Polinom modelin türü "poly" terimini polinom modelin katsayılarının derecesi takip ederek belirlenir. Örneğin, φ'nın derecesi 3 ve λ'nın derecesi 2 ise polinom model "poly32" olarak isimlendirilir.

3.2.6. İnterpolasyon Yöntemlerinin Performanslarının Belirlenmesi

Bir interpolasyon uygulamasında kullanılan yöntemin doğruluğunu ve güvenirliliğini mutlaka test etmek gerekmektedir. Ancak bu şekilde tahmin yönteminin kullanılabilirliği hakkında fikir sahibi olunabilinir. Literatürde tahmin yönteminin performansını ortaya koymak için birçok indikatör veya katsayı olduğu bilinmektedir.

Çalışmada tahmin performanslarını değerlendirmek için birden fazla kritere bakılabilir. Bu kriterler; korelasyon katsayısı (r), ortalama bağıl hata (RE), hataların kareler ortalaması (RMSE) dır. Ayrıca uzaysal değişkenler için önemli olan standart sapma (s) değeri de tahmin yöntemini kıyaslamada kullanılan bir parametredir.

İki değişken arasındaki ilişkiyi ölçülendiren ve yaygın olarak kullanılan kriter korelasyon katsayısıdır. Eğer iki değişken arasında pozitif bir ilişki olduğu biliniyorsa korelasyon katsayısı; 0 ile +1 arasında değer alır ve bu değer 1'e ne kadar yakınsa kullanılan tahmin yöntemi o kadar güvenilir ve geçerlidir şeklinde yorumlanabilir. Ortalama bağıl hata değeri, yüzde olarak ifade edilmektedir ve bu değer %10'dan küçük olması kullanılan tahmin yönteminin başarılı olduğunu gösterir. Hataların kareler ortalaması katsayısı, her bir tahmin yöntemi için hesaplanan sonuçlar karşılaştırıldığında en küçük değeri veren tahmin yönteminin diğerlerine göre geçerliliğini ifade eder. Standart sapma değeri ise hangi tahmin yöntemde gerçek değerlere daha yakın ise o tahmin yöntemi daha geçerlidir.

Korelasyon katsayısı (r), ortalama bağıl hata (RE), hataların kareler ortalaması (RMSE) ve standart sapma (s) formülleri Denklem (3.16-19)'da verilmiştir.

$$r = \frac{N\left(\sum y \bullet y^*\right) - \left(\sum y\right) \bullet \left(\sum y^*\right)}{\sqrt{N\left(\sum y^2\right) - \left(\sum y\right)^2} \bullet \sqrt{N\left(\sum y^{*2}\right) - \left(\sum y^*\right)^2}} \tag{3.16}$$

$$RE = 100 \times \frac{|y - y^*|}{y} \tag{3.17}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (y - y^*)^2} \tag{3.18}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{N}} \tag{3.19}$$

Burada;

N: Veri sayısını,

y: gerçek değeri,

y*: tahmin değeri,

$\bar{y}$: gerçek değerlerin ortalama değerini göstermektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışma kapsamında, Afşin-Elbistan Havzası Çöllolar (B) Sektörü maden yatağının karotlu sondaj logları temel alınarak bir veri tabanı oluşturulmuş ve bu veri tabanından faydalanılarak polinom interpolasyonu yönteminin madencilikte yüzey modelleme işleminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla geleneksel interpolasyon yöntemlerinden olan üçgenleme ve ordinary kriging ile polinom interpolasyonu yöntemleri kullanılarak yüzey modelleme işlemi yapılmış olup, bu yöntemlerin performansları karşılaştırılmıştır. Daha sonra en iyi performansı veren modelleme tekniği ile maden yatağının alt ve üst yüzey modelleri elde edilmiştir ve yüzeyler arası katı modelleme tekniği kullanılarak maden yatağının katı modeli oluşturulmuştur.

Netpro/Mine madencilik yazılımı ile sondaj verileri kullanılarak, variogram analizi, kriging yöntemi ile yüzey modelleme ve katı modelleme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Matlab programı ise üçgenleme ve polinom interpolasyonu yöntemleri ile yüzey modellerin elde edilmesinde kullanılmıştır.

Jeoistatistiksel yöntemde dağılım yapısı belirlenen verilerin kapsamlı variogram analizleri yapılmış olup, deneysel ve teorik yarıvariogram modelleri ve parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen teorik variogram modellerine çapraz doğrulama testleri uygulanarak modellerin geçerliliğine karar verilmiştir. Daha sonra kriging tahmin metodu ile yüzey modeller elde edilmiştir.

Üçgenleme yöntemi ile yüzey modelleme işleminde literatüre uygun şekilde maden sahası sınırlarını kapsayan üçgenler oluşturulmuştur. Katsayıları belirlenen üçgen model kullanılarak yüzey model tahmin edilmiştir.

Polinom interpolasyonu yönteminde ise farklı derecelerdeki polinom fonksiyonları ile yapılan modellemeler değerlendirilmiştir. En güçlü sonucu veren polinom modeli belirlendikten sonra yüzey modelleme işlemi yapılmıştır.

Bu bölümde mevcut veriler kullanılarak aşağıda sıralanan işlemlere ait sonuçlar elde edilmiştir.

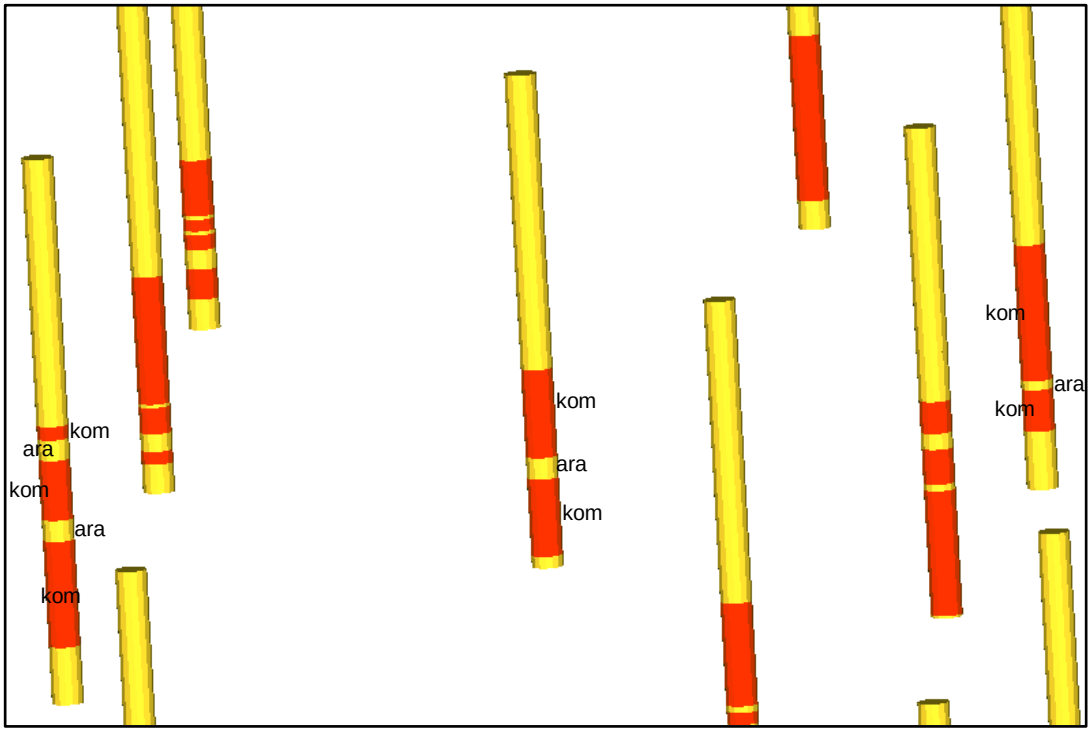
- Sondaj verilerinin değerlendirilmesi,

- Jeoistatistiksel yöntem ile yüzey modelleme,
- Üçgenleme yöntemi ile yüzey modelleme,
- Polinom interpolasyonu yöntemi ile yüzey modelleme,
- Performans sonuçlarının karşılaştırılması
- Katı modelleme

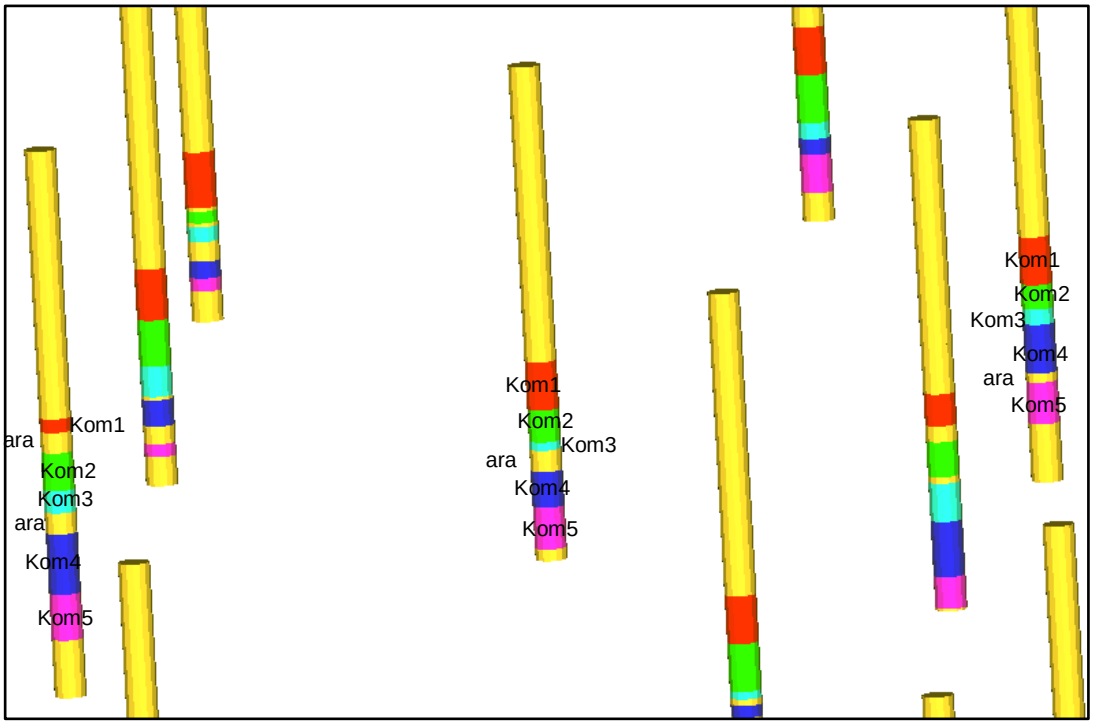
4.1. Sondaj Verilerinin Değerlendirilmesi

Çalışma sahasındaki 215 adet karotlu sondajlara ait mevcut bilgilerden proje veri dosyaları oluşturulurken aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

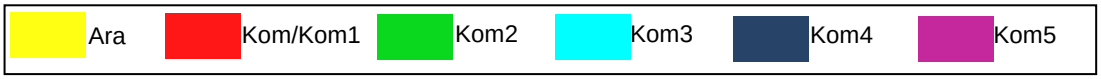
- Selektif kazı kalınlığı 0,3 m olarak düşünülmüştür. Bu nedenle kalınlığı 0,3 m'den küçük olan ara kesmeler kömüre dahil edilmiştir.
- Mevcut karot verilerinde giriş-çıkış arasında bir çok ara kesme olmasına rağmen kömür tek bir damar (kom) olarak ifade edilmiştir (Şekil 4.1). Bu durum yüzey, en kesit ve katı modelleme çalışmalarında sıkıntı oluşturmasından dolayı kömür damarı, kalınlık ve ısıl değerlerine göre Kom1, Kom2, Kom3, Kom4, Kom5 olarak yeniden isimlendirilmiştir (Şekil 4.2).
- Bir modelin doğruluğunun test edilmesinde kullanılan en basit yöntem basit geçerlilik testi yöntemidir. Bu yöntemde verilerin %70'lik kısmı model verileri olarak ayrılır ve geri kalan %30'luk kısmı ise test verileri olarak adlandırılır. Model verileri üzerinden herhangi bir modelleme yöntemi kullanılarak modelleme işlemi yapılır ve daha sonra oluşturulan modelin test edilmesi aşamasında test verileri kullanılır. Bu amaçla veri seti, rastgele seçilerek model verileri (150 adet) ve test verileri (62 adet) olmak üzere 2 ana gruba ayrılmıştır. Sondaj lokasyonlarının dağılımı Şekil 4.3'de görülmektedir. Bütün modelleme işlemleri model veri seti üzerinden yapılmış olup, modellerin geçerliliği ise test veri seti kullanılarak değerlendirilmiştir.

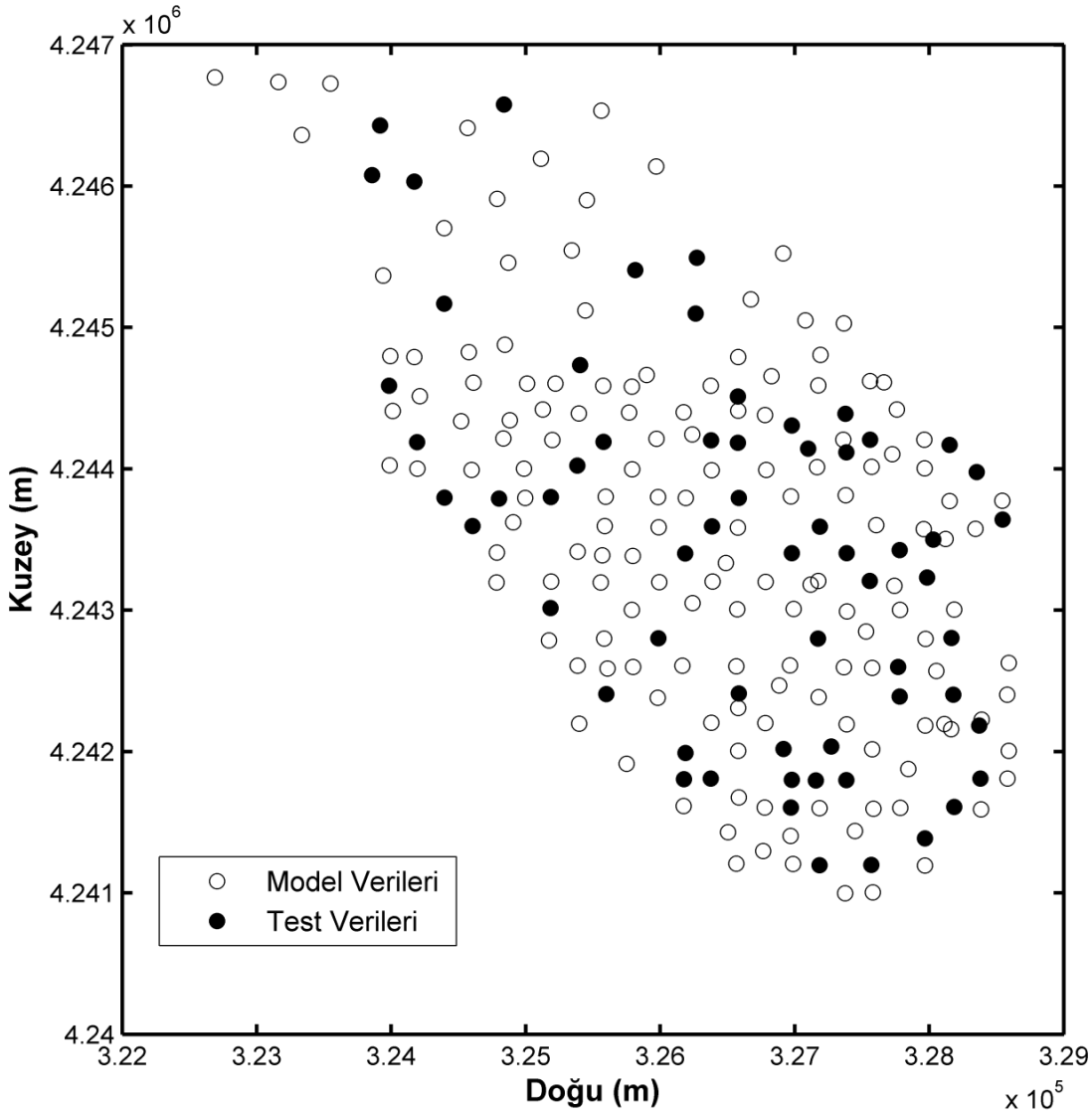


Şekil 4.1. Sondajlara ait orijinal litoloji



Şekil 4.2. Sondajlara ait düzenlenmiş litoloji





Şekil 4.3. Model ve test veri setlerine ait sondajların lokasyonları

4.2. Veri Dosyalarının Oluşturulması

Sondaj verilerinin litolojisi düzenlendikten sonra modelleme işlemlerinin tamamı rastgele seçilen Kom1 damarı için gerçekleştirilmiştir. Model ve test veri dosyalarının içerisinde Kom1 damarı için her bir sondaj noktasının 3 boyutlu olarak Doğu (X), Kuzey (Y) ve seviye (Z) koordinat değerleri bulunmaktadır. Çalışmada bahsedilen tahmin yöntemleri kullanılarak modellenecek yüzey olarak Kom1 damarının üst yüzeyi seçilmiştir.

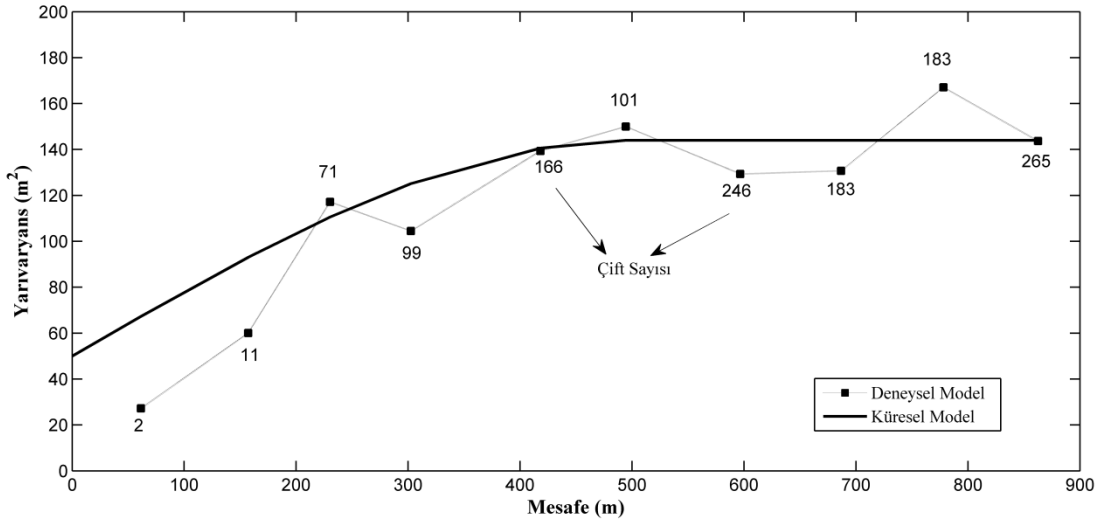
4.3. Yüzey Modellerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada yüzey modelleme yöntemlerinden ordinary kriging, üçgenleme ve polinom interpolasyonu yöntemleri değerlendirilmiştir. Her bir yöntem ile tahmin edilen Kom1 üst yüzey modelinin, gerçek model ile kıyaslanması yapılacaktır. Sonuçlar değerlendirilerek en güçlü ve en güvenilir sonucu veren interpolasyon yöntemi belirlenmiştir.

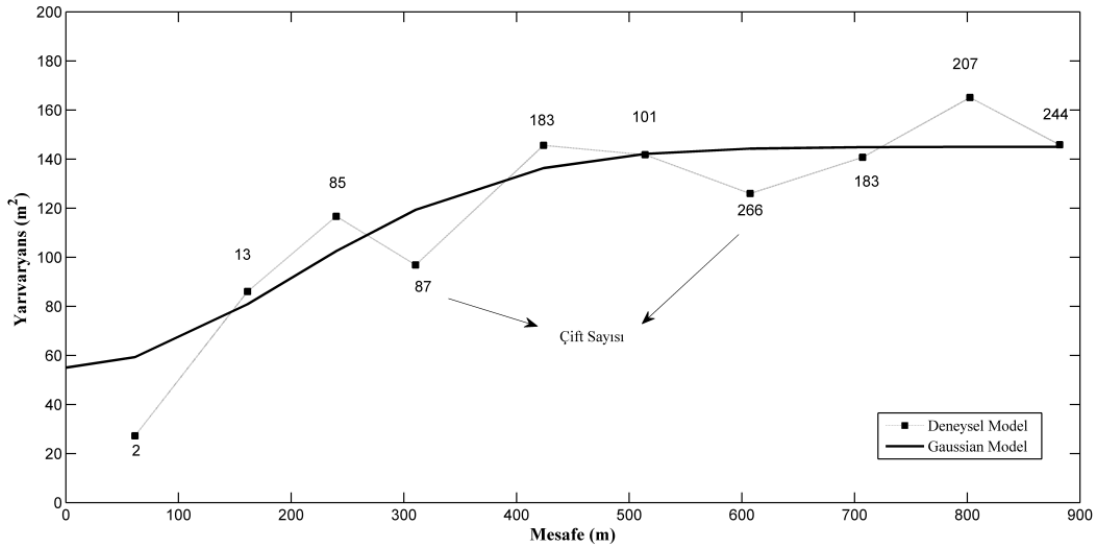
4.3.1. Ordinary Kriging

Jeoistatistiksel bir yöntem olan ordinary kriging kullanılarak Kom1 damarının üst yüzeyi modellenmiştir. Variogram analizi aşamasında deneysel model elde edilmiş olup, bu deneysel modele en uygun teorik model uydurulmaya çalışılmıştır. Bu aşamada pratikte yaygın bir şekilde kullanılan teorik model tiplerinden küresel ve gaussian model seçilerek 2 ayrı teorik model uygulanmıştır.

Çapraz doğrulama yöntemi ile farklı variogram parametreleri değerlendirilerek en uygun variogram belirlenmiştir. Model veri seti kullanılarak yapılan variogram analizi aşamasında elde edilen deneysel yarıvariogram modeli ve bu modele ait küresel tip ve gaussian tip teorik yarıvariogram modelleri Şekil 4.4-5'de görülmektedir.



Şekil 4.4 Deneysel ve küresel tip yarıvariogram modelleri



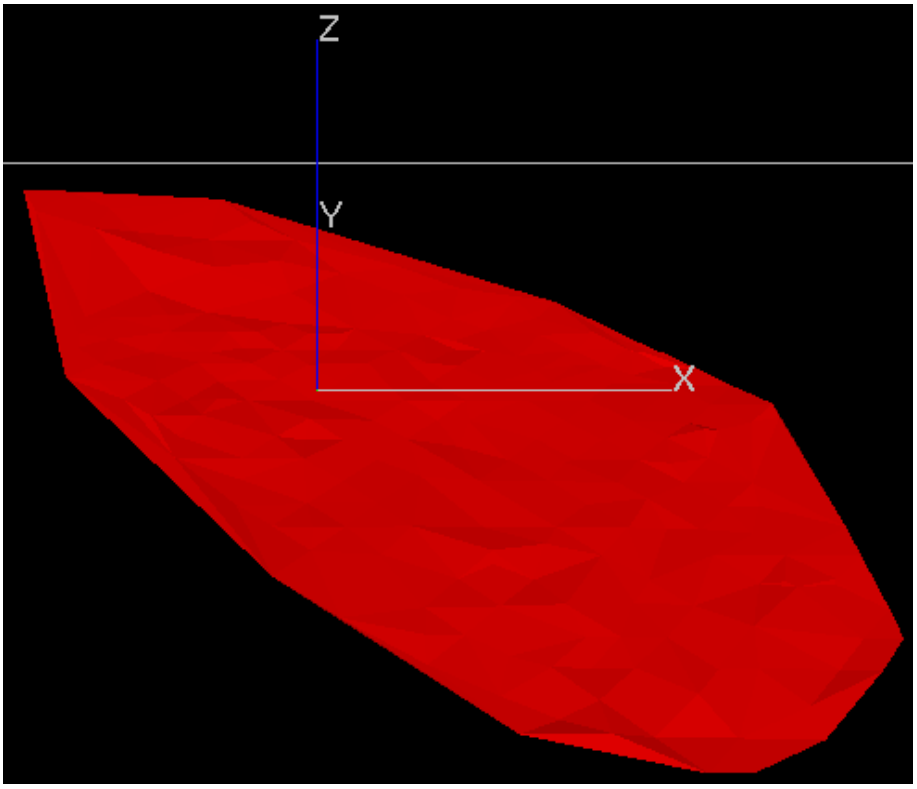
Şekil 4.5. Deneysel ve gaussian tip yarıvariogram modelleri

Yukarıda verilen şekillerde deneysel ve teorik modellerin yanı sıra yarıvariogram hesaplanırken kullanılan çift sayıları da verilmiştir. Kriging tahmin işleminde kullanılacak olan yarıvariogram model ve parametreleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bu parametreler kriging tahmini için oldukça önemlidir ve sonuçları doğrudan etkileyeceğinden hassas hesaplamaların yapılması gerekmektedir.

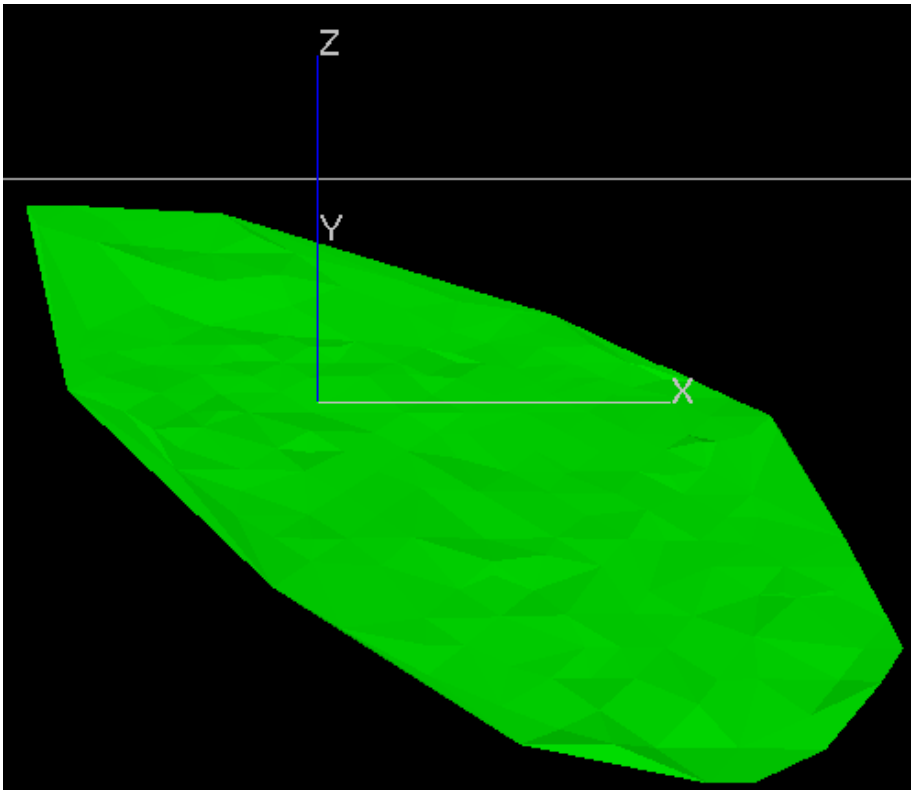
Çizelge 4.1. Yarıvariogram model ve parametreleri

Model	**Külçe Etkisi (C_0), (m^2)**	**Eşik Değeri (C_0+C_1), (m^2)**	**Etki Mesafesi (a), (m)**
Küresel	50	144	498
Gaussian	55	145	480

Ordinary kriging yöntemi uygulanırken iki farklı tip teorik yarıvariogram modeli elde edildiğinden bu iki modelde değerlendirilmiştir. Jeoistatistiksel analiz uygulanarak elde edilen Kom1 damarının üst yüzey görünümü Şekil 4.6-7'de verilmiştir.



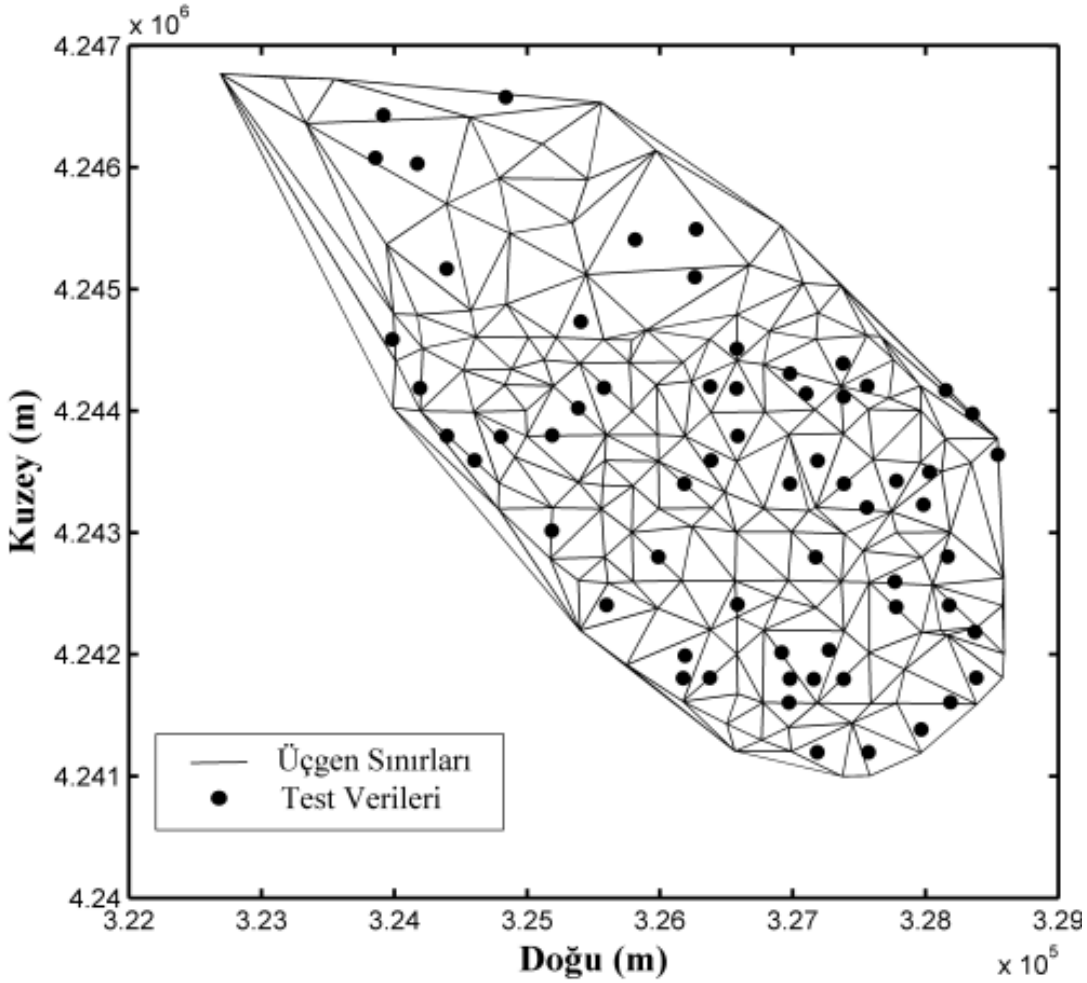
Şekil 4.6 Gaussian model ile elde edilen Kom1 üst yüzey görünümü



Şekil 4.7 Küresel model ile elde edilen Kom1 üst yüzey görünümü

4.3.2. Üçgenleme Yöntemi

Kom1 damarının üst yüzeyinin modellenmesinde kullanılan geleneksel yöntemlerden bir diğeri üçgenleme yöntemidir. Bu yöntem ile oluşturulan üçgenler ve test verilerinin dağılımı Şekil 4.8'de görülmektedir.

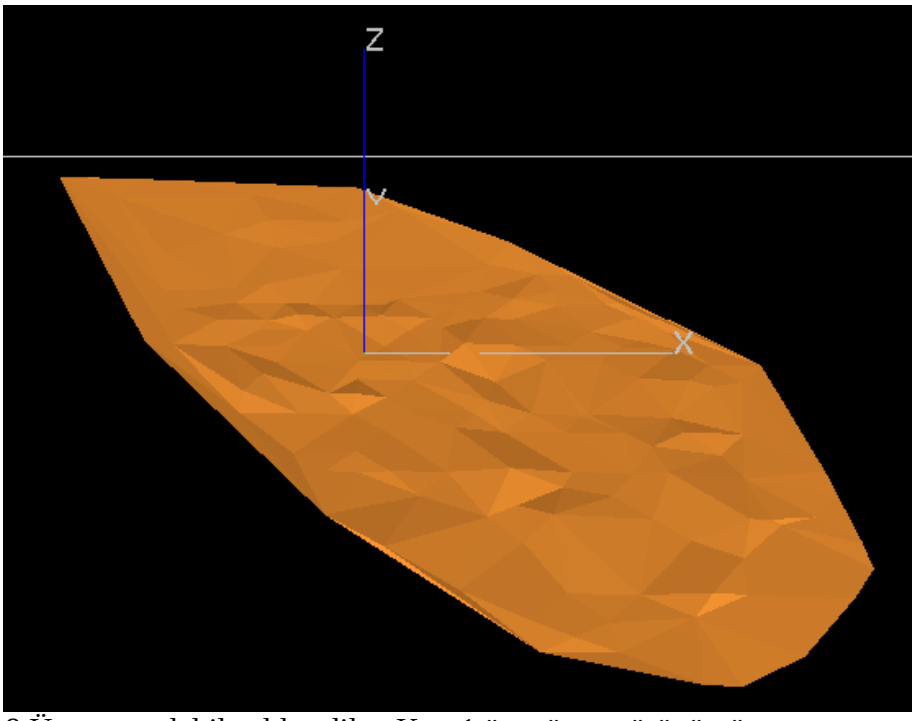


Şekil 4.8. Oluşturulan üçgenler ve test verilerinin dağılımı

Üçgen model oluşturulurken bilindiği gibi bazı formüller ve bu formüllerde kullanılmak üzere katsayılar hesaplanmıştır. Çizelge 4.2'de rastgele hesaplanan üç adet üçgen için kullanılan parametreler ve katsayılar görülmektedir. Üçgen model ile elde edilen Kom1 damarının üst yüzeyi Şekil 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.2. Üçgen model için hesaplanan parametreler

Örnek No	Örnek Lokasyonları		Üçgen Noktalarının Lokasyonları			Katsayılar*			Örnek Seviyeleri	
	Doğu	Kuzey	Doğu-x	Kuzey-y	Seviye-z	b_0	b_1	b_2	Gerçek	Tahmin
1	324838.5	4246577.6	323547.3	4246726.4	1130.09	1131.72	6.00	4.11	1128.34	1133.91
			325561.8	4246533.3	1137.07					
			324567.3	4246412.5	1128.01					
2	326263.4	4245099.7	325443.0	4245120.3	1089.65	1083.47	-3.97	5.95	1089.88	1083.99
			326674.2	4245199.3	1083.42					
			325899.5	4244665.7	1077.35					
3	325184.6	4243016.5	325189.2	4243204.1	1069.40	1067.19	-2.44	1.50	1072.37	1068.27
			325557.6	4243196.0	1065.22					
			325173.4	4242786.9	1066.95					



Şekil 4.9 Üçgen model ile elde edilen Kom1 üst yüzey görünümü

4.3.3. Polinom İnterpolasyonu

Veri değerlendirmesi aşamasında hazırlanan model veri setine polinom interpolasyon yöntemi uygulanmıştır. Modelleme yapılırken farklı modelleme seçenekleri ve yöntemler test edilerek ve istatistik değerleri göz önünde bulundurularak en iyi sonucu veren polinom model belirlenmiştir.

Poly55 olarak isimlendirilen 5. dereceden polinom modeli ile modelleme yapılmıştır. Yüzey modelleme için kullanılan polinom fonksiyonu Denklem (4.1)'de verilmiştir.

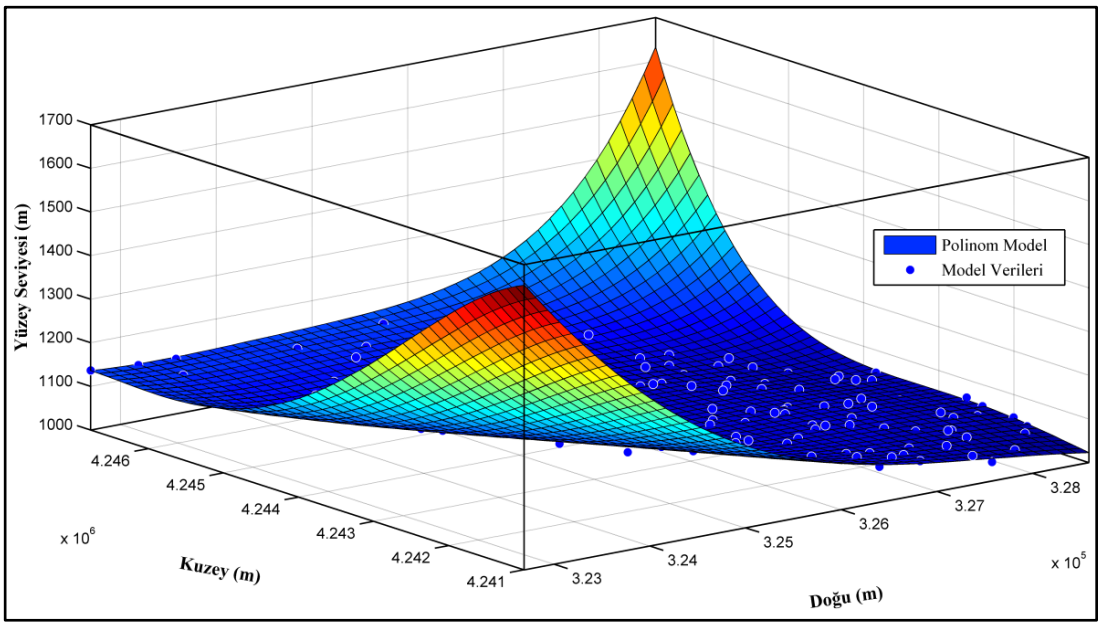
$$\begin{aligned} Z(x,y) = {} & b_0 + b_1 x + b_2 + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2 + b_6 x^3 + b_7 x^2 y + b_8 xy^2 \\ & + b_9 y^3 + b_{10} x^4 + b_{11} x^3 y + b_{12} x^2 y^2 + b_{13} xy^3 + b_{14} y^4 + b_{15} x^5 \\ & + b_{16} x^4 y + b_{17} x^3 y^2 + b_{18} x^2 y^3 + b_{19} xy^4 + b_{20} y^5 \end{aligned} \quad (4.1)$$

Polinom fonksiyonunda yer alan katsayı değerleri ise Çizelge 4.3'de topluca verilmiştir. Model veri ile elde edilen polinom yüzey model görünümü Şekil 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.3. Polinom interpolasyon fonksiyonu için hesaplanan katsayılar

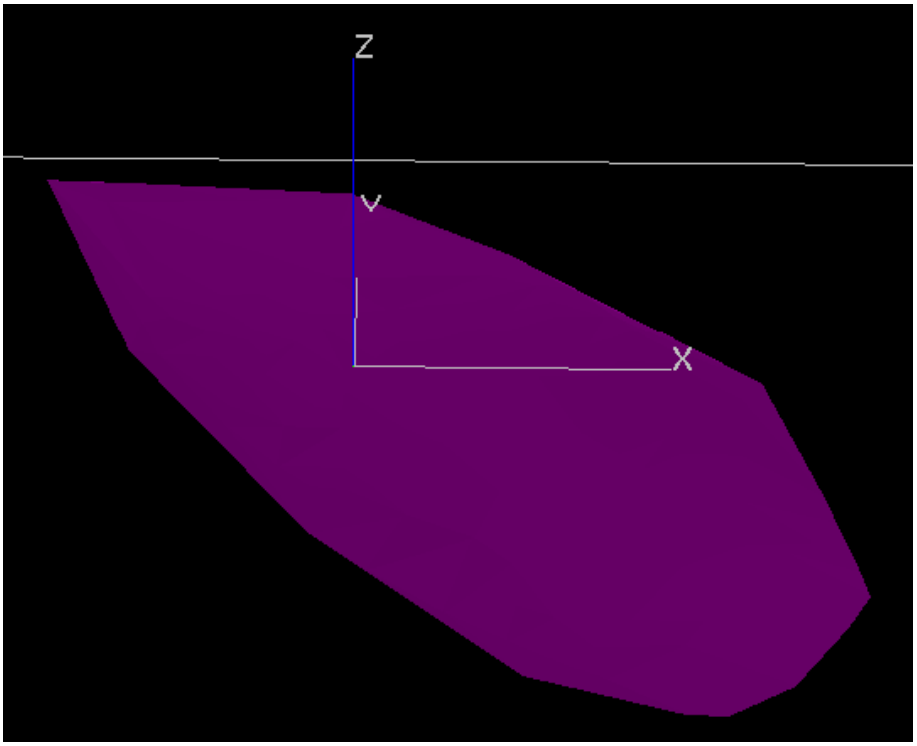
Katsayı	**b_0**	**b_1**	**b_2**	**b_3**	**b_4**	**b_5**	**b_6**
Değer	1069	-1.144	3.918	-4.002	-4.195	4.598	-6.319
Katsayı	**b_7**	**b_8**	**b_9**	**b_{10}**	**b_{11}**	**b_{12}**	**b_{13}**
Değer	-15.59	-14.15	2.005	2.858	8.061	8.064	6.222
Katsayı	**b_{14}**	**b_{15}**	**b_{16}**	**b_{17}**	**b_{18}**	**b_{19}**	**b_{20}**
Değer	1.584	0.3882	1.498	2.736	3.80	2.238	-0.1576

Not: Lokasyonlar (x, y), ortalama ve standart sapma değerleri ile normalize edilmiştir.



Şekil 4.10. Model veri ile elde edilen polinom yüzey model görünümü

Polinom interpolasyon tekniği kullanılarak elde edilen Kom1 damarının üst yüzey görünümü Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Polinom model ile elde edilen Kom1 üst yüzey görünümü

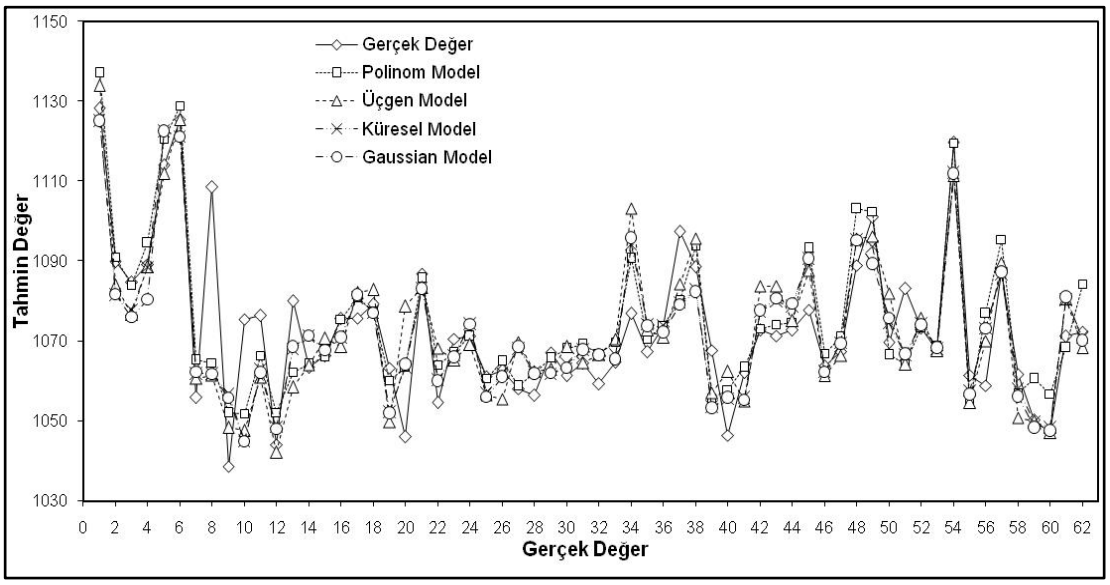
4.4. Modelleme Sonuçlarının Karşılaştırılması

İstatistiksel olarak tahmin sonuçlarını değerlendirmek için kullanılan birçok parametre bulunmaktadır. Bu çalışmada; standart sapma (s), korelasyon katsayısı (r), ortalama bağıl hata (RE), hataların kareler ortalaması (RMSE) parametrelerine bakılarak modelleme sonuçları değerlendirilmiştir. Tahmin değerlerinin, standart sapmasının gerçek değerlerin standart sapmasına yakın çıkması, korelasyon katsayının 1'e yakın çıkması modelin geçerliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, ortalama bağıl hata ve hataların kareler ortalaması değerini ne kadar küçük çıkarsa yapılan modelleme işlemi o kadar güvenilir ve doğrudur şeklinde yorumlanmaktadır. Çizelge 4.4'te çalışmada kullanılan modelleme yöntemleri ve bu yöntemler kullanılarak elde edilen parametre değerleri görülmektedir. Burada kriterleri en iyi sağlayan modelleme yönteminin polinom interpolasyon yöntemi olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.4. Modelleme yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması

	Gerçek Değer	Ordinary Kriging		Üçgen Model	Polinom Model
		Küresel Model	Gaussian Model		
s	18,647	17,240	17,277	18,636	18,530
r	-	0,829	0,819	0,796	0,851
Ort. RE	-	0,693	0,734	0,787	0,648
RMSE	-	10,606	10,925	11,884	10,215

Tahmin edilen ve gerçek test değerlerinin, modelleme yöntemine göre değişimi ise Şekil 4.12'de grafiksek olarak ifade edilmiştir.



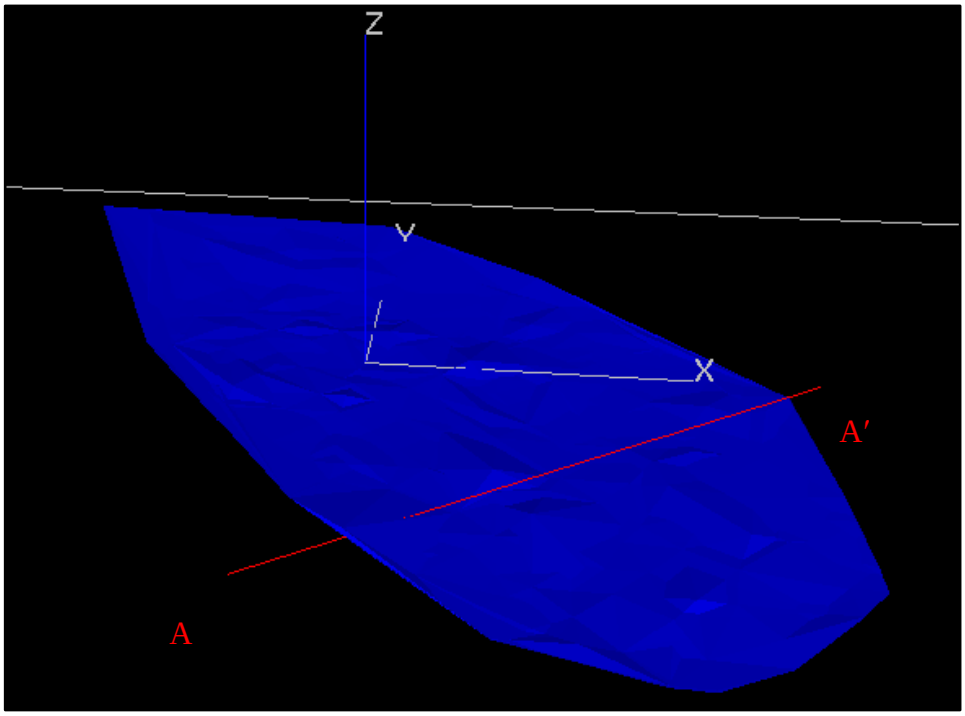
Şekil 4.12. Tahmin edilen ve gerçek test değerlerinin grafiksel görünümü

Çalışmada yüzey modellemenin önemi ve planlama aşamasında yapılacak olan hesaplamalar üzerine etkisi vurgulanmıştır. Ayrıca, yüzey modelle yönteminin seçiminin ne kadar önemli olduğu konusu üzerinde durulmuştur. Çalışmanın sonucunda hesaplanan Kom1 damarının üst yüzey alanı, modelleme yöntemleri arasındaki farkın bir başka göstergesi olmuştur. Çizelge 4.5'de kullanılan tahmin yöntemleri ve Kom1 damarı üst yüzey alanı değerleri verilmiştir.

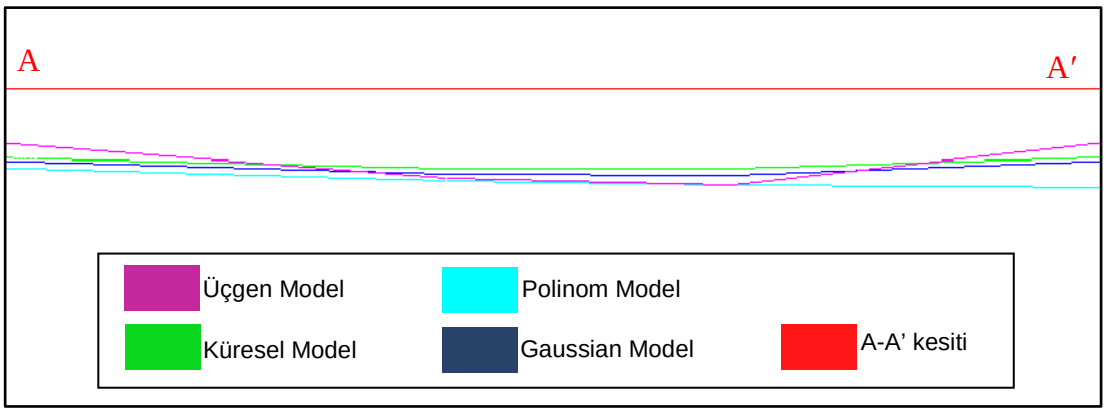
Çizelge 4.5. Tahmin yöntemleri ve Kom1 üst yüzey alanı değerleri

Tahmin Yöntemi	**Yüzey Alanı (m^2)**
Küresel Model	17.920.287,40
Gaussian Model	17.923.978,05
Üçgen Model	19.260.414,33
Polinom Model	19.190.227,56

Çalışmada kullanılan modelleme yöntemlerinin aralarındaki farkı daha iyi gösterebilmek için oluşturulan yüzey modellerden bir kesit alınmıştır. Bu kesit üzerinde aradaki fark görsel olarak ifade edilmiştir. Şekil 4.13'de yüzeylerle beraber A-A′ kesit hattı görülmektedir. Şekil 4.14'de ise A-A′ kesiti üzerinde bir bölgenin büyültülmesi ile elde edilen görünüm verilmiştir. Bu şekilden de anlaşılacağı gibi farklı modelleme teknikleri kullanılarak oluşturulan yüzey modeller arasında önemli farklar bulunmaktadır.



Şekil 4.13. Yüzey modeller ve A-A′ kesiti görünümü



Şekil 4.14. A-A′ hattı üzerinden alınan bir bölgedeki yüzeylerin kesit görünümü

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiği zaman gerek sayısal hesaplamalarda gerekse görsel çizimlerde modelleme yöntemlerinin arasında dikkate değer farklar olduğu bariz bir şekilde görülmektedir. Ayrıca madencilik sektöründe ufak hataların oldukça ciddi sonuçlar doğurduğu düşünüldüğünde, çalışmada vurgulandığı gibi yüzey modelleme işlemi sırasında seçilecek olan yöntemin önemi ortaya çıkmaktadır.

4.5. Katı Modelin Elde Edilmesi

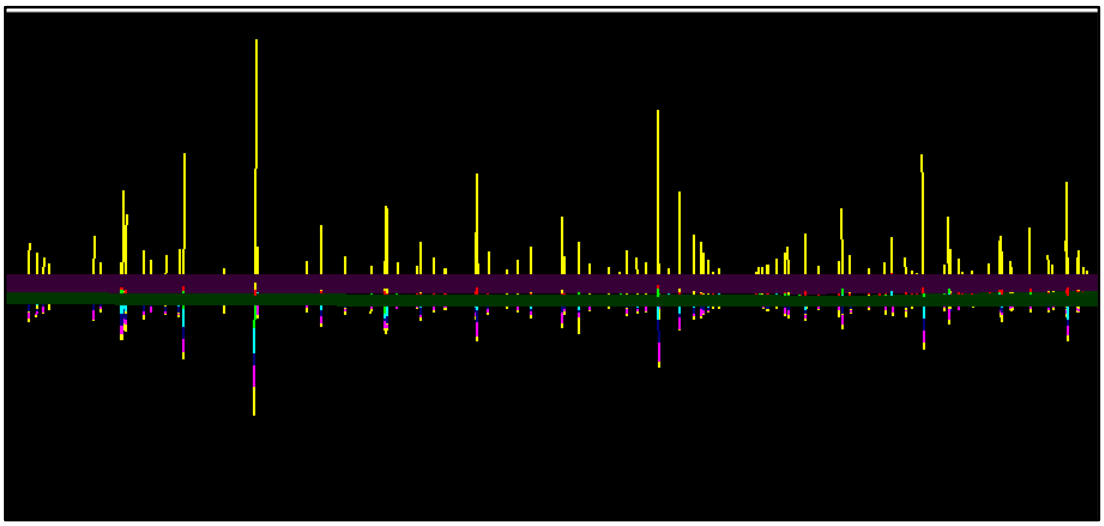
En iyi sonuçları veren modelleme yöntemi polinom interpolasyonu olarak belirlendikten sonraki aşamada Kom1 damarının katı modeli elde edilmiştir. Yüzeyler arası katı modelleme yöntemi kullanılacağından Kom1 damarının üst yüzeyinin yanı sıra aynı damarın alt yüzeyinin de oluşturulması gerekmektedir.

Kömür giriş ve çıkış için elde edilen yüzeyler sırasıyla Kom1 üst yüzey ve Kom1 alt yüzey olarak isimlendirilmiştir. Şekil 4.15'de her ikisi de polinom interpolasyon yöntemi ile modellenen Kom1 üst ve Kom1 alt yüzeyleri görülmektedir.

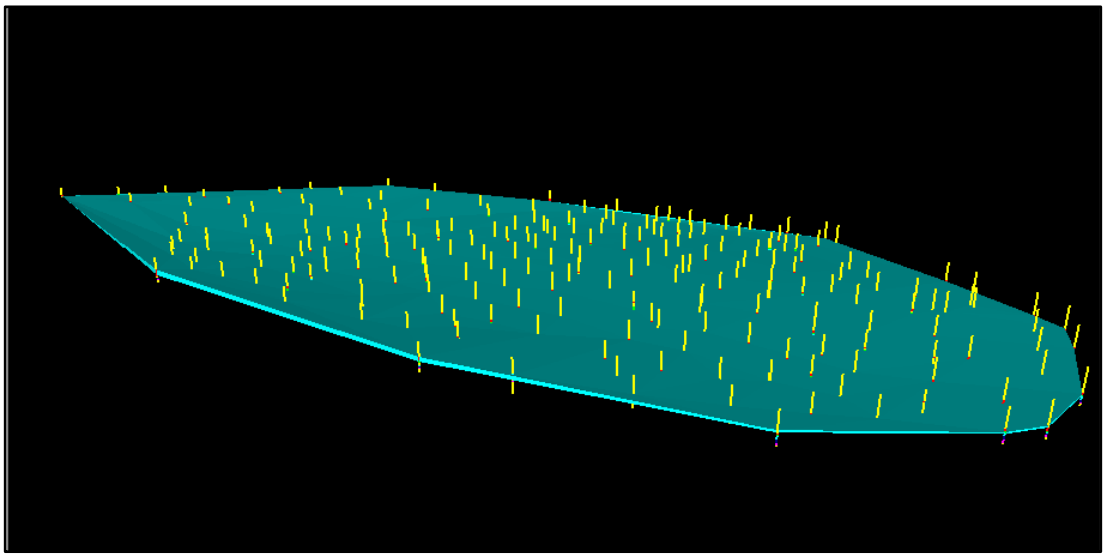
Kom1 üst yüzey ve Kom1 alt yüzey kullanılarak yüzeyler arası katı modelleme tekniği ile elde edilen Kom1 damarına ait katı model Şekil 4.16'da görülmektedir. Katı model üzerinden Kom1 damarı için hacim ve rezerv hesaplamaları yapılmıştır ve sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir. Rezerv hesaplama işlemi sırasında kömürün yoğunluk değeri 1,3 ton/m^3 alınmıştır.

Çizelge 4.6. Kom1 damarına ait hacim ve rezerv değerleri

Hacim (m^3)	Rezerv (ton)
147.628.714,97	191.917.322,42



Şekil 4.15. Polinom interpolasyonu ile elde edilen alt ve üst yüzeylerin görünümü



Şekil 4.16. Yüzeyler arası katı modelleme ile elde edilen katı model görünümü

Çalışma sonucu elde edilen katı model planlama aşamasında oldukça faydalı olacaktır. Maden yatağının 3 boyutlu sınırlarının belirlenmesi, hacim hesaplamalarının yapılabilmesinin yanı sıra jeoteknik çalışmalarda, ilk kazı noktasının belirlenmesi gibi önemli bir konuda, ocak planlamalarının yapılması sırasında, maden yatağının blok modelin elde edilmesi işleminde, rezerv hesaplamalarında ve benzeri konularda planlamacılara kolaylık sağlayacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Afşin-Elbistan Çöllolar (B) Sektörüne ait sondaj verilerinden elde edilen veri setlerinden faydalanılarak 3 boyutlu yüzey ve katı modelleme yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar neticesinde ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesi aşağıda özetlenmiştir.

1. Her bir sondaj logu incelendiğinde ara kesmelerin homojen olmaması ve ilişkili parametrelerin tutarsız bir görünüm sergilemesi nedeniyle orijinal veriler üzerinden hassas bir modelleme yapılamamıştır. Bu problemin çözümü için sondaj logları yeniden gözden geçirilerek her bir sondaj 5 adet kömür zonu içerecek şekilde düzenlenmiştir. Sırası ile Kom1, Kom2, Kom3, Kom4 ve Kom5 olarak isimlendirilen kömür damarlarından Kom1 seçilerek çalışmalar yapılmıştır.

2. Modellerin doğruluğunun değerlendirilmesi için veri seti, rastgele seçilerek model (150) ve test (62) verileri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Modelleme işlemleri model veri seti üzerinden yapılmış olup, modelin doğruluğu ise test verileri kullanılarak değerlendirilmiştir.

3. Jeoistatistiksel yöntemin uygulanması sırasında, yapılan variogram analizlerinde deneysel variograma, küresel ve gaussian olmak üzere iki farklı tip teorik yarıvariogram modeli uydurulmuştur. Variogram parametreleri kullanılarak kriging tahmin tekniği ile Kom1 damarının üst yüzeyi modellenmiştir.

4. Üçgenleme yönteminde, modellenen üçgensel yüzeylere ait koordinat değerleri ile bu yüzeyi temsil eden denklem katsayıları belirlenerek örnek noktasına ait değişken (Z) kolaylıkla tahmin edilmiştir.

5. Madencilikte kullanılabilirliğini araştırdığımız polinom interpolasyon yönteminin uygulanması sırasında, farklı parametreler değerlendirilerek istatistiksel analizlere göre en iyi sonucu 5. dereceden polinom fonksiyonu olan poly55'in verdiği belirlenmiştir. Belirlenen polinom fonksiyonuna ait

katsayılar ile ve örnek noktasına ait değişken (Z) kolaylıkla tahmin edilmiştir.

6. Bir kömür yatağının yüzey modellenmesinde kullanılan modelleme sonuçlarının karşılaştırılması için, standart sapma (s), korelasyon katsayısı (r), ortalama bağıl hata (RE), hataların kareler ortalaması (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar değerlendirilerek; en yüksek korelasyon katsayısı (0,851), gerçek değerlerin standart sapmasına daha yakın standart sapma değeri (18,530), en küçük ortalama bağıl hata (0,648) ve en küçük hataların kareler ortalaması (10,215) ile polinom interpolasyon daha güçlü bir model olduğu görülmüştür.

7. Bir kömür yatağında modelleme çalışmaları yapılırken geleneksel modelleme tekniklerinin yanı sıra polinom interpolasyon gibi yeni yöntemlerin de bu çalışmadaki gibi basit test tekniği ile test edilip güçlü olan yöntem kullanılarak modelleme çalışmalarının yapılması daha doğru olacaktır.

8. Bu çalışmanın sonuçları, aynı saha üzerinde ve aynı veriler kullanılarak Arıöz (2011) tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında ki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Kriter olarak, elde edilen katı modelin hacim ve rezerv değeri belirlenmiş olup sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

AKÇAKOCA, H.,2001. Maden Yataklarının Üç Boyutlu Olarak Modellenmesinde Yapay Sinir Ağı Sistemlerinin Kullanılması ve İntegrasyonu. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, Ankara, 205s.

ALKAN, B., 2007. Jeoistatistik ve Bulanık Yaklaşımlar ile Adana Çimento Hammadde Sahasının Değerlendirmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 75s.

ARIÖZ, D., 2011. Afşin-Elbistan linyit sahası Çöllolar sektörünün Netpro/Mine yazılımı ile değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 91s.

AUERBACH, S., SCHAEBEN, H., 1990. Surface Representations Reproducing Given Digitized Contour Lines, Mathematical Geology, Vol. 22, No. 6.

AYDOĞAN, M., 1978. K.Maraş-Elbistan-Çöllolar Kömür Yatağı Fizibilite Araştırması. MTA Raporu. Derleme No: 6413, Ankara (Yayınlanmamış).

BRAID, I., C., 1975. The Synthesis of Solids Bounded by many Faces. Communications of the ACM, 18 (4), pp. 209-216.

CAZAVANT, A., 1993. Total Integration of Computer Applications: Geological Modelling and Mine Design. APCOM XXIV, Editors; J. Elbrond and X. Tang.

CONSULTING, R., 1976. Quality and Quantity Calculations For Kışlaköy Open Cast Mine. Cologne (yayınlanmamış).

ÇETİN, M. 1996. Jeoistatistiksel Yöntem İle Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi. Örnek Havza Uygulamaları, Çukurova Üniv., Fen Bil. Ens., Doktora Tezi, Adana.

ÇETİNER, E., 1991. Bilgisayar Destekli Maden Yatağı Modellemesi ve Kesit Yöntemiyle Rezerv Tahmininin Hüsamlar Kömür Sahasına Uygulanması. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 71s.

DAĞ, A., 1997. Döner Kepçeli Ekskavatör Açık İşletme Yönteminde Bilgisayar Destekli Üretim Planlaması: Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Çöllolar Sahasına Uygulanması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Doktora Tezi, Adana, 184s.

DAUTOV, K., 2012. Konya-Ilgın Çavuşçu linyit sahasının bilgisayar destekli tasarımı ve planlaması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 99s.

Davis, J. C., 2002. Statistics and data analysis in geology. John Wiley and Sons, 638p.

ERARSLAN, K., 2003. Jeolojik ve Madencilik Sistemi (JMS) VE Bir Bakır Sahasının Değerlendirilmesi. Madencilik, Cilt: 42, Sayı: 4, Sayfa: 3-13, Aralık, 2003.

ERGÜDER, G., KIZILDAĞ, G. ve GÜNKEL, G., 2000. AEL Kışlaköy Açık İşletmesi Doğu Nihai Şevi Jeofizik Rezistivite Etüdü raporu. TKİ Genel Müdürlüğü, Ankara.

FANG, T. F., PİEGL, L. A., 1992. Algorithm for Delaunay Triangulation and Convex-hull Computation Using a Sparse Matrix. Computer Aided Design. Vol. 24, No. 8, s. 425-426.

GAREY, M. R., JOHNSON, D. S., PREPARATA, F. P., TARJAN, R. E., 1978. Triangulation of a Simple Polygon, Information Processing Letters, Vol. 7, No. 4, s. 171-179.

GÖKMEN, V., MEMİKOĞLU, O., DAĞLI, M., ÖZ, D., TUNCALI, E., 1993. Türkiye Linyit Envanteri. MTA, Ankara, s. 269-272.

GÜLMEZ, A., 2008. Bir maden yatağının katı modelinin oluşturulması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, s. 93.

GÜLMEZ, A., ve DAĞ, A., 2010. Üç boyutlu katı modelleme yöntemlerinin madencilik açısından değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cilt: 22-2.

GÜRSOY, E., ÖZCAN, K., YÜCEL, A.R., 1981. K.Maraş Elbistan D1 Sektörü Kömür Yatağı Jeoloji Raporu. MTA Raporu. Ankara.

HENLEY, S., 1998. Mining Software and Computing into the Next Milennium. In 27th International Symposium on Computer Applications in the Mineral Industries, London, pp. 31-45.

http://www.mat.itu.edu.tr/yazokulu/mustafa_yanalak_b.pdf, Erişim Tarihi, Temmuz, 2013.

JIANG, Y., D., 1998. An Interactive 3-D Mine Modelling, Visualization and Information System. Queen's University, Minning Enginering, The Degree of Doctor of Philosophy, Canada, 213p.

KESKİNER, A. D., 2008. Farklı Olasılıklı Yağış ve Sıcaklıkların CBS Ortamında Haritalanmasında Uygun Yöntem Belirlenmesi ve M. TURC Yüzey Akış Haritasının Geliştirilmesi: Seyhan Havzası Örneği. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, s. 100.

KILIÇ, A. M., 1996. Analyse de la Stabilité Des Talus de la Mine de Lignite D'Afşin-Elbistan. Pour Obtenir la Grade de Docteur de I'école Nationale Supérieure Des Mines de Paris en Géologie de L'ingéieur. Paris.

KILIÇ, A. M.,ve ONUR, A. H., 2001. Afşin-Elbistan Linyitleri Açık İşletmesi İç Döküm Sahası Dinamik Duraylılık Analizi. Türkiye 17. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, s. 11-16.

KIVRAK, H., 2011. Himmetoğlu (Bolu-Göynük) linyit sahasının jeoistatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 118s.

KOÇAK Ç., 2000. Afşin-Elbistan Linyit Havzasının Yeniden Değerlendirilmesi. Enerji Dünyası Dergisi, Sayı:32.

KOÇAK, Ç., KÜRKÇÜ, S. N., ve YILMAZ, S., 2003. Afşin-Elbistan Linyit Havzasının Yeniden Değerlendirilmesi ve Linyit Kaynakları Arasındaki Yeri. 24-27 Eylül 2003, Türkiye 9. Enerji Kongresi, İstanbul.

KROUSE, J., K., 1985. Solid Modelling Catches on. Machine Design, 57 (3), pp. 60-64.

KÜRKÇÜ, S.N., ERSOY M., ERSUN, E., 1993. Jeoistatiksel Yöntem Kullanılarak A fşin-Elbistan Havzası Çöllolar B Sektörü Rezerv Belirleme Çalışması. Türkiye 13. Madencilik Kongresi, Ankara.

LEE, D. T.; PREPARATA, F. P., 1984. Computational Geometry - A Survey, IEEE Transactions On Computers, Vol c-33, No. 12.

LEMON, A., M., JONES N., L., 2003. Uilding Solid Models from Boreholes and User-Defined Cross-sections. Pergamon, Computers & Geosciences, 29 (2003), 547-555.

LEWİS, B. A., ROBİNSON, J. S., 1977. Triangulation of Planar Regions With Applications. The Computer Journal. Vol. 21, No. 4, s. 324-332.

MACEDONİO, G., PARESCHİ, M. T., 1991. An Algorithm for The Triangulation of Arbitrarily Distributed Points: Applications to Volume Estimates and Terrain Fitting. Computers and Geosciences. Vol. 17, No. 7, s. 859-879.

MANTYLA, M., TAMMİNEN, M., 1983. Localized Set Operations for Solid Modeling. Computer Graphics, 17 (3), 279-288.

MERT, B.A., 2010. Afşin-Elbistan Kömür Havzasındaki Madencilik Faaliyetlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Küresel Konumlama Sistemlerinin Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Çukurova Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 323s.

MİRANTE, A., WEİNGARTEN, N., 1982. The Radial Sweep Algorithm for Constructing Triangulated Irregular Networks. IEEE Computer Graph. Appl. Vol. 2, No. 3, s. 11-21.

OTTO GOLD, 1969. Lignite Deposit of Afsin-Elbistan Feasibility Report. Vol 1, Köln, p.123

ÖNEN, N., 1936. Orta Anadolu Linyit Yatakları Hakkında Rapor. MTA, Ankara.

ÖZBEK, T., ve GÜÇLÜER, S., 1977. K.Maraş Elbistan Çöllolar – B Linyit Sektörü 1977 Yılı Faaliyet Raporu. MTA Raporu, Ankara.

ÖZTAN, O., 1981. Bir Otoyol Geçkisine Ait Triyangulasyon Ağında Prezisyon Araştırması ve Bazı Öneriler, İ.T.Ü. İnşaat Fak. Jeodezi ve foto. Müh. Doçentlik Tezi.

ÖZTAN, O., 1983. Jeodezik Normal Denklemlerde Band Genişliği Üzerine Bir Eleştiri, İ.T.Ü. Dergisi, Cilt 41, Sayı 1-2.

ÖZTAN, O., 1986. Lineer Deklem Sistemlerinin Çözümünde Modern Bellek Depolama Yöntemleri, İ.T.Ü. Jeodezi Anabilim Dalı Semineri.

ÖZTÜRK, T., 1994. A.E.L. İşletmesi Kazı Sahasında Karşılaşılan Sert Kayaçların Kazı Yöntemlerinin İncelenmesi, İatanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.4-5.

PERİNÇEK, D., and KOZLU, H., 1984. Stratigraphy and Structural Relations of the Units in the Afşin-Elbistan-Doğanşehir Region (Eastern Taurus): in Tekeli. O. and Göncüoğlu, M.C. (Eds), Geology of Taurus Belt, Ankara-Turkey, p.181-198.

RHEINBRAUN CONSULTING, 1976. Quality and Quantity Calculations For Kışlaköy Open Cast Mine. Cologne (yayınlanmamış).

SAYDAM, S., 1995. Blok boyutu seçiminin kömür rezerv tahminine etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 58s.

SİDES, E., J., 1997. Geological Modelling of Mineral Deposits for Prediction in mining. Original Paper, Geol Rundsch (1997) 86:b342-353.

SUKUMAR, N., MORAN, B., SEMENOV, A., BELİKOV, V.V., 2001. Natural Neighbour Galerkin Methods. International journal for numerical methods in Engineering, 50, s. 1-27.

TERCAN, A.E. 1999. Importance of orthogonalization algorithm in modeling conditional distributions by orthogonal transformed indicator methods. Mathematical Geology, vol.31, No.2, pp. 155-173.

TSAİ, V. J. D., 1993. Fast Topological Construction of Delaunay Triangulations and Voronoi Diyagrams. Computers and Geosciences. Vol. 19, No. 10, s. 1463-1474.

TURHAN, H., 1993. Bir linyit yatağında rezerv modelleme yöntemlerinin karşılaştırılması. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 150s.

URAL, S., 1999. Afşin-Elbistan Linyitlerinin Sınıflandırılarak Termik Santralin Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Proje No: FBE. 96.97, Doktora Tezi, Adana, 140s.

URAL, S., ve ONUR, A.H., 2000. Afşin - Elbistan Linyitlerinin Termik Santralin Performansı Üzerindeki Etkileri. Türkiye 12. Kontur Kongresi Bildiriler Kitabı, 23-26 May2000, Zonguldak-Kdz.Ereğli, Türkiye, s-278-286.

URAL, S., ve YUKSEL, F., 2004. Geotechnical Characterization Of Lignite-Bearing Horizons In The Afsin-Elbistan Lignite Basin, SE Turkey. Engineering Geology 75 (2004), 129-146.

WATSON, D. F., PHİLİP, G. M., 1984. Systematic Triangulations, Computer Vision, Graphics and Image Processing, 26, s. 217-223.

WATSON, D. F., PHİLİP, G. M., 1984. Triangle Based Enterpolation. Mathematical Geology. Vol. 16, No. 8, s. 779-795.

WORBOYS, M. F., 2000. GIS: A Computing Perspective. Taylor & Francis Ltd.

YANALAK, M., 1997. Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterpolasyon Yönteminin Araştırılması, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

YANALAK, M., 2001. Transformation of Ellipsoid Heights to Local Leveling Heights. Journal of Surveying Engineering. 127, 3, s. 90-103.

YANGBING, W., LIXIN, W., WENZHONG, S., XIAOMENG, L., 2007. ISPRS Workshop on Updating Geo-Spatial Databases with Imagery & The 5th ISPRS Workshop on DMGISs, 237-240.

YÖRÜKOĞLU, M., 1991. Afşin-Elbistan Projesi ve TKİ Kurumu AELÎ Müessesesinde Madencilik Çalışmaları. Madencilik Dergisi, Eylül 1991, Sayı No:3, Ankara, s.13-29.

YÜCEL, K., 2010. Hollanda, friesland platformundaki tuz yapılarının 3 boyutlu modellemesi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 96s.

YÜNSEL, T.Y., 2007. Maden Yataklarının Jeoistatistiksel Yöntemlerle Analizi ve Modellenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 217s.

ÖZGEÇMİŞ

23 Eylül 1988 yılında Adana'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini Adana'da tamamladıktan sonra 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2009 yılında Maden Mühendisi unvanını almaya hak kazandı.

2009 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2010 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen bu görevini yerine getirmektedir.