



**T. C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ CEVHER MODELLEMESİ
VE
AÇIK İŞLETME TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tacettin ÜREDİ
(201492111104)**

**Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ**

**SİVAS
MAYIS 2018**

Tacettin ÜREDİ'nin hazırladığı ve “**BİLGİSAYAR DESTEKLİ CEVHER MODELLEMESİ VE AÇIK İŞLETME TASARIMI**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Prof. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ Cumhuriyet Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Birol ELEVLİ Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Selim DURUTÜRK Cumhuriyet Üniversitesi

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

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

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



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

© Tacettin ÜREDİ, 2018

Çalışma sırasında bana destek olan aileme ve tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

ETİK

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

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

4.05.2018

Tacettin ÜREDİ

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başlangıcından sonuna kadar bilgi, deneyim ve tecrübesi ile yol gösteren, motivasyonu ile bana destek olan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının her aşamasında görüş ve önerilerinden yararlandığım, bu süre içinde ihtiyaç duyduğum desteği esirgemeyen Araştırma Görevlisi Bahadır ŞENGÜN'e teşekkür ederim.

Bana desteklerini, yardımlarını ve sevgilerini esirgemeyen başta eşim ve kızlarıma sonsuz teşekkürler.

ÖZET

BİLGİSAYAR DESTEKLİ CEVHER MODELLEMESİ VE AÇIK İŞLETME TASARIMI

Tacettin ÜREDİ

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ

2018, 83+ii sayfa

Madencilik sektörü yüksek yatırım maliyetlerinin yanında belirsizliklerin oldukça fazla olduğu bir faaliyet alanıdır. Bu nedenle, belirsizliklerin en aza indirilerek üretim hesaplamalarının ve planlamalarının yapılması oldukça önem kazanmaktadır. Bu işlemlerin doğru ve hızlı yapılabilmesi için mevcut bilişim teknolojilerinin kullanılması kaçınılmaz olmaktadır. Günümüzde, maden sektöründe ekonomik büyüklüklerin değerlendirilmesine ve uygulanmasına yönelik olarak geliştirilmiş birçok yazılım mevcuttur. Bu çalışmada, Surpac yazılımı kullanılarak Elektrik Üretim A.Ş.'ye ait (EÜAŞ) Afşin-Elbistan Kömür Havzası E-Sektörü Kömür Sahası ile ilgili verilerin değerlendirilmesi ve açık ocak planlaması konularına yer verilmiştir.

Çalışmada kullanılan veriler EÜAŞ'ın ticari verileri olduğundan değerlendirmeler sahanın küçük bir bölümü ile sınırlandırılmış (11,7 km²) ve on yıllık üretim planı yapılmıştır. Söz konusu alan için örtü-kazı oranları, en yakın komşular yönteminde 4,22, mesafenin tersi yönteminde 4,27, ordinary kriging yönteminde 4,30 ve katı modelde ise 4,15 olarak, ısı değeri yaklaşık 1000 kcal, toplam kömür üretim miktarı en yakın komşular yönteminde 157.900.000 m³, mesafenin tersi yönteminde 156.400.000 m³ ve ordinary kriging yönteminde ise 155.500.000 m³ olarak tespit edilmiştir. Katı modelden bulunan kömür miktarı ise 159.758.377 m³ dür.

Anahtar kelimeler: Açık işletme, surpac, rezerv hesap yöntemleri, dekapaj oranı, maden planlama.

ABSTRACT

COMPUTER AIDED ORE MODELING AND OPEN PIT DESIGN

Tacettin ÜREDİ

Master of Science Thesis

Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ

2018, 83+ii pages

The mining sector is an area of high uncertainty as well as high investment costs. For this reason, it is very important to make the production calculations and planning by reducing the uncertainties to the minimum. The use of existing information technologies is inevitable in order for these operations to be done correctly and quickly. Nowadays, there are many software developed for the assessment and implementation of economic quantities in the mine sector. In this thesis, Sector E coal mine, located Afşin-Elbistan coal basin, had been studied. Block modeling of the coal mine and open pit design was planned. All these studies was carried out in Surpac software.

The data used in the study are limited to a small part of the site (11.7 km²) and a ten-year production plan has been carried out since the data are commercial data of EUAS. The stripping ratio for the area are 4,22 in the nearest neighbors method, 4,27 in the inverse distance, 4,30 in the ordinary kriging method and 4,15 m³ / m³ in the solid model, calorific value is about 1000 kcal, total coal production amount 157.900.000 m³ in the nearest neighbors method, 156.400.000 m³ in the inverse distance method and 155.500.000 m³ in the ordinary kriging method. The amount of coal found in solid model is 159.758.377 m³.

Anahtar kelimeler: Open pit, surpac, reserve calculation methods, stripping ratio, mine planning.

İÇİNDEKİLER

ETİK.....	3
KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR.....	4
ÖZET	5
ABSTRACT.....	6
İÇİNDEKİLER	7
ŞEKİLLER DİZİNİ	9
ÇİZELGELER DİZİNİ	11
KISALTMALAR DİZİNİ	12
1. GİRİŞ	13
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	15
2.1 Teorik Bilgiler	15
2.2 Madencilik Faaliyetlerinde Kullanılan Yazılımlar	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1 Materyal.....	24
3.1.1 Çalışma alanı	24
3.1.2 Surpac yazılımı.....	25
3.1.2.1 Veri tabanı	27
3.1.2.2 Dosya türleri	31
3.1.2.3 Modelleme	32
3.1.2.4 Jeolojik katı model.....	35
3.1.2.5 Blok model	36
3.1.2.6 Ocak ve yol tasarımı	39
3.2. Yöntem	40
3.2.1 Klasik yöntemler	40
3.2.2 Bilgisayar destekli yöntemler.....	45
4. ÖRNEK BİR SAHA ÜZERİNDE BİLGİSAYAR DESTEKLİ CEVHER MODELLEMESİ VE AÇIK İŞLETME TASARIMI	55
4.1 Rezerv Katı Modelin Oluşturulması.....	55
4.2 Blok Model Yardımıyla Rezerv Hesabı	58
4.2.1 Blok model	58

4.2.2 Bloklara değer atanması	62
4.3 Açık İşletme Tasarımı	68
4.3.1 Basamakların grafik ekranda oluşturulması	68
4.3.2 Yıllar itibarıyla ocak ilerleme durumu	70
4.3.3 Topoğrafya yüzeyi ile ocak keşişim hattının belirlenmesi	73
4.3.4 Katı Yüzey Yöntemiyle Kömür Hacminin Hesaplanması	74
4.3.5 Rezerv hesap sonuçları	77
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3. 1 E-Sektörü	24
Şekil 3. 2 Collar tablosu.....	29
Şekil 3. 3 Survey tablosu	29
Şekil 3. 4 Jeoloji tablosu	30
Şekil 3. 5 Analiz sonuçları tablosu	30
Şekil 3. 6 Surpac başlangıç ekran görüntüsü	32
Şekil 3. 7 Sayısal arazi ve sayısal yüzey modeli.....	33
Şekil 3. 8 Raster ve vektör veri modelleri.....	34
Şekil 3. 9 Yüzey oluşturma yöntemleri.....	34
Şekil 3. 10 Kesit yöntemi ile oluşturulan jeolojik katı model.....	35
Şekil 3. 11 Tavan-taban yöntemi ile oluşturulan jeolojik katı model	36
Şekil 3. 12 Blok model	36
Şekil 3. 13 Öznitelik değerleri atanmış bloklar	37
Şekil 3. 14 Blok model üzerinden yapılan işlemler ve sıralaması	38
Şekil 3. 15 Ocak tasarımında yöntem seçenekleri	39
Şekil 3. 16 Üçgen yöntemi.....	41
Şekil 3. 17 Poligon yöntemi.....	42
Şekil 3. 18 Kesit yöntemi.....	43
Şekil 3. 19 Eş kalınlık eğrileri yöntemi	44
Şekil 3. 20 Düzenli bloklar yöntemi	45
Şekil 3. 21 Mesafeyle ters ağırlıklı yöntem	46
Şekil 3. 22 Jeostatistiksel yöntemde iş akışı.....	49
Şekil 3. 23 Yarıvariogram modeli ve bileşenleri	51
Şekil 3. 24 Yarı variogramın özellikleri	53
Şekil 4. 1 Sondajda kalorifik değerler.....	56
Şekil 4. 2 Cevher tavan stringleri.....	56
Şekil 4. 3 Cevher tavan yüzey modeli	57
Şekil 4. 4 Cevher katı modeli elde etmek için kullanılan komut.....	57
Şekil 4. 5 Cevher katı modeli.....	58
Şekil 4. 6 Ana blok uzantı değerleri.....	59
Şekil 4. 7 Blok model ve cevher	59

Şekil 4. 8 Blok model kestirim işlemi.....	60
Şekil 4. 9 Kestirim(composite) stringi ve sondajdaki değerleri.....	60
Şekil 4. 10 Blokların kalori değerlerinin belirlenmesi.....	62
Şekil 4. 11 Değer ataması yapılmış bloklar	62
Şekil 4. 12 Variogram modeli oluşturma.....	63
Şekil 4. 13 Yeni variogram dosyası	63
Şekil 4. 14 Variogram girdi değerleri	64
Şekil 4. 15 .Variogram modeli.....	65
Şekil 4. 16 Yönleri 15° aralıklarla değişen variogramlar.....	65
Şekil 4. 17 Farklı yönlerdeki variogramların tamamı.....	65
Şekil 4. 18 Variogram geçerlilik kontrolü	66
Şekil 4. 19 Variogram geçerlilik kontrolü girdi ekranı.....	66
Şekil 4. 20 Variogram geçerlilik kontrolü girdi ekranı.....	67
Şekil 4. 21 Variogram geçerlilik kontrolü girdi ekranı.....	67
Şekil 4. 22 Variogram geçerlilik kontrolü sonuç değerleri.....	68
Şekil 4. 23 Açılı ve mesafe ile nokta belirleme	69
Şekil 4. 24 Açılı ve mesafe ile nokta belirleme menüsü.....	69
Şekil 4. 25 Örnek nihai ocak geometrisi.....	70
Şekil 4. 26 Örnek nihai ocak katı modeli.....	70
Şekil 4. 27 Bir stringin azimut ve mesafe değerleriyle kopyası	71
Şekil 4. 28 Nihai(10.yıl) ve 1.yıl ocak geometrisi	72
Şekil 4. 29 1, 5 ve 9.yıl ocak geometrisi	72
Şekil 4. 30 Yıllara göre ocak kesitleri ve cevher	73
Şekil 4. 31 Topoğrafik yüzey ve ocak kesişim hattı menüsü.....	73
Şekil 4. 32 Topoğrafik yüzey-ocak kesişim hattı.....	74
Şekil 4. 33 İki SAM arasındaki hacim hesabı.....	74
Şekil 4. 34 1.yıla ait ocak hacim değerleri.....	75
Şekil 4. 35 Ocak içinde kalan kömürün ayrılması	76
Şekil 4. 36 Ocak içinde kalan cevher hacmi	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1 Demir cevheri rezerv raporu (Kangal).....	19
Çizelge 3. 1 Surpac dosya türleri	31
Çizelge 3. 2 Surpac için minimum donanım gereksinimleri (Url-6)	31
Çizelge 3. 3 Yorum yöntemleri.....	38
Çizelge 4. 1 Blok model rezerv hesabı	61
Çizelge 4. 2 Katı model büyüklükleri	77
Çizelge 4. 3 Farklı yöntemlerle yapılan hesaplama sonuçları	78



KISALTMALAR DİZİNİ

EÜAŞ	: Elektrik Üretim AŞ Genel Müdürlüğü
M.T.A	: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SYM	: Sayısal Yüzey Modeli
3B	: Üç boyut



1. GİRİŞ

Maden işletmeciliğinde planlamanın rolü oldukça önemlidir. Eldeki güvenilir veriler ışığında “neyin, ne zaman, hangi sürede, nasıl, nerede, ne kadar maliyetle ve kim tarafından yapılacağı ile gelecekte muhtemel gelişmelerin dikkate alınarak seçenekli süreçler oluşturulması planlamanın ana hedeflerindedir ve risk oranı hayli yüksek olan bu sektörde oldukça önemlidir.

Değişen pazar yapısı, rekabet ortamı, üretim araçlarındaki yeni teknolojiler, madencilik sektöründe planlamanın önemsenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Başlangıçta belirlenen hedefle, nihai gelinen nokta arasındaki örtüşme veya kabul edilebilir fark planlamanın sağlam veriler, doğru yöntem ve araçlarla yapıldığına işaret eder. Kabul edilmelidir ki, doğru ve güvenilir planlama, cevherin büyüklük, tonaj, tenör, kalite özelliklerinin sahadaki dağılımının doğru tespit edilmesi ile yakından ilgilidir. Aynı zamanda bu veriler, üretimin yatırım, maliyet ve kâr hedeflerinin planlanmasında zorunlu verilerdir.

Bir rezerv belirleme işi, maden yatağının geometrisini ve büyüklüğünü belirlemekle sınırlı basit bir çalışma değildir. Yöntem seçiminin, çalışmanın yoğunluğu ve çeşidi, yatağın jeolojisi, araştırma verilerinin değerlendirilmesi, zaman, maliyet ve istenen hassasiyete bağlı olduğu rezerv hesaplamalarının hedefi, mühendislik tecrübe ve muhakemesi ile cevher kazanımı olmalıdır.

20. yüzyılın insanının hayatını doğrudan ve yaygın olarak etkileyen en önemli buluş kuşkusuz bilgisayar ve ona bağlı diğer donanım ve yazılım araçlarıdır. Söz konusu teknolojinin ürünü olan donanım ve yazılımlar, tüm disiplinleri olduğu gibi madencilik disiplinini de etkilemiştir. Bir maden yatağının bilgisayar programı desteğiyle üretim aşamasına getirilmesi ve sonrasındaki devam edecek olan faaliyetler, artık bilgisayar teknolojisi olmadan düşünülemez noktaya gelmiştir. Doğal kaynakların aranmalarından, nihai ürün olarak değerlendirilmelerine kadar geçen süreçte bilgisayarın tanıdığı olanaklar, elle ve hesap makineleriyle yapılan klasik işlerin zamanla bilgisayar yardımıyla yapılması durumuna evrilmiştir.

Sondaj veri tabanı, geometrik ve sayısal analizler, kontur haritaları, yüzeyler, kesitler, üç boyutlu cevher gövdesi blok modelleri, hacim ve rezerv hesaplamaları, ekonomik değerlendirme, klasik değerlendirme yöntemleri, üçgenleme, poligonlar, gridleme ve jeostatistik yaklaşımlar maden değerlendirme başlıkları ve araçlarıdır. Veri tabanı yapısı ile başlayan ve maden tasarımı ve üretim planlaması ile biten uzun ve karmaşık süreç, hesaplamaların yinelenmeli matematiksel yapısı nedeniyle yazılım desteğini gerektirir. Sondaj kompozitler, üçgenleme, çokgen ve grid ağları, kesit çizimleri, kesitler, üç boyutlu cevher modelleri, çeşitli hacim ve rezerv tahminleri, jeolojik ve ekonomik blok modelleri, maden tasarımı ve üretim çizelgeleri, optimizasyon ve simülasyon çalışmalarının bilgisayara bağımlılığı yüksektir. Süreçlerin her aşamasında, birçok ileri matematiksel yaklaşımlar kullanılır.

Bilgisayar donanım teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak gelişen tasarım yazılımları 80'li yılların başından beri giderek artan bir yoğunlukta madencilik sektöründe kullanılmaya başlanmıştır. Bu yazılımlar sayesinde, jeolojik modelleme, rezerv tespiti ve üretim planlaması gibi çalışmalarda, verilerin doğruluğu nispetinde net, alternatifli, insan unsurundan kaynaklı hatalardan arınmış ve kısa sürede sonuç alınmaktadır. Bilgisayarların doğruluğu ve hızı, çeşitli senaryoların makul kısa sürede değerlendirilmesini sağlar.

Bu çalışmada, Afşin-Elbistan kömür havzasında yer alan ve yakın gelecekte üretime açılacak olan E sektörüne ait sondaj verileri ve Surpac bilgisayar programı yardımıyla üretim planlamasına veri sağlayacak olan *Cevher Modellemesi ve Açık İşletme Tasarımı* yapılmıştır. Sahanın bir kısmını temsil eden sondaj verileriyle kesitler alınarak cevherin 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. Cevher yatağındaki kalori dağılımı, basamak genişlik ve yükseklikleri gözönüne alınarak elde edilen blok modelin istatistiksel değerlendirmeleri neticesinde tespit edilmiştir.

Beş bölüm olarak hazırlanmış olan bu çalışmanın 2. bölümünde literatür araştırmasına, 3. bölümünde çalışmada kullanılan yöntemlere, 4. bölümünde EÜAŞ Afşin-Elbistan kömür sahası E-sektörü cevher modelleme çalışmalarına ve örnek açık işletme planlamasına, 5. bölümünde ise sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bir maden yatağının ekonomik olarak işletilebilmesine karar vermek için yatağın doğru şekilde modellenmesi ve rezerv tahmininin yapılması gerekmektedir. Rezerv tahmininde, mineralizasyon yapılarını ve mevcut cevher türlerini kapsayan jeolojinin eksiksiz bir şekilde anlaşılması esastır.

Bilgisayarların madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılmadığı dönemlerde cevher yatağı modelleme ve rezerv hesaplamalarında üçgen, poligon, mesafenin tersi ve kesit yöntemleri kullanılmaktaydı. Günümüzde, geliştirilen bilgisayar yazılımlarıyla söz konusu klasik yöntemlerin yanı sıra rezerv hesaplamalarında istatistiksel yöntemlerin daha fazla kullanıldığı görülmektedir. Yer bilimlerinde alansal değişime uğrayan çok sayıda 'nicelik' varlığı bilinmektedir. Jeostatistik, maden ve petrol aramalarında yaygın olarak kullanılan bir istatistiksel değerlendirme tekniği olup bir büyüklüğün alansal değişkenliğini modelleme / anlama için önemlidir. Jeostatistik, izole edilmiş, bağımsız verilerin kesintisiz bir alan içinde anlamlandırılması için kullanılır. Sonucun, içinde hatayı da barındırdığı göz önüne alındığında jeostatistik, bu şekilde üretilen bir haritaya ne kadar güvenileceğini de değerlendirir.

2.1 Teorik Bilgiler

Alansal istatistiklerin öncülerinden olan ve bölgeselleştirilmiş rasgele değişkenler üzerinde çalışan Prof. Georges Matheron, 1954 yılında bölgesel rastgele değişkenler konusunda DE Wijs ve Krige' nin yapmış oldukları çalışmalarından esinlenerek 1955 yılında 1952'de keşfedilen erken Devoniyen yağlı Gara Djebilet oolitik demir yatağının tenör ve tonajı ile ilgili tahminlerini içeren bir çalışma gerçekleştirmiştir. Jeostatistikte üç boyutlu uzayda çeşitli noktalarda ölçülen veriler kullanılarak yapılan alansal korelasyon çalışması olarak ifade edilen kriging tekniği Dr.Krige'nin Güney Afrikadaki altın yataklarında sürdürdüğü çalışmalarla tanınmıştır (Felix, 2012).

Knudsen (1975), rezerv hesaplamalarında jeostatistiksel yöntemi, klasik yöntemlerden poligon, mesafenin tersi ve mesafenin tersine benzeyen fakat yönlerin ve ağırlıkların farklılaştırıldığı 3 klasik yöntemle mukayese etmiştir. Çalışmada, jeostatistik yöntemin, mesafenin tersi yöntemlerine göre ne daha iyi ne de daha kötü sonuç verdiği işaret edilmektedir. Poligon yöntemi ile rezerv hesabının ise diğer üç

yönteme göre zayıf kaldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, jeostatistiksel yöntemin yapılan tahminin hata sınırlarını da vermesi nedeniyle daha tercih edilebilir olduğu vurgulanmıştır.

Nasuf (1983), Pensilvanya Üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir rezerv programını kullanarak Muğla-Sekköy kömür yatağı ve Bursa-Kestelek kolemanit cevher yatağı için rezerv hesaplamaları yapmış ve sonuçlarını poligon yöntemini kullanarak elle yapılan hesaplama sonuçları ile karşılaştırmıştır. Sekköy linyit sahasının rezerv miktarı poligon yöntemiyle 84.618.000 ton, bilgisayar programı ile 87.009.325 ton hesaplanmış, %97 doğruluk tespit edilmiştir. Bursa Kestelek kolemanit cevher yatağında ise rezerv, sırasıyla 7.356.340 ton ve 7.425.602 ton hesaplanarak, sonucun %99 oranında benzediği görülmüştür.

Nasuf (1983), üçgen ve poligon yöntemlerinin rezerv hesaplama açısından eksikliklerini;

- i. İşlemin, yalnızca sondaj noktalarının dış sınırları ile oluşan saha içinde kullanılması ve dolayısıyla sondaj parametre değerinin atanmadığı alanların değerlendirme dışı kalması,
- ii. Sondaj noktaları arasında çukur ve tepelerin bulunacağını varsayarak değerler arasında kestirim yapılmaması
- iii. Söz konusu yöntemlerin, sondajların sık aralıklı ve cevher yatağının homojen bir yapıya sahip olması halinde gerçeğe yakın bir sonuç vermesi olarak sıralamaktadır.

Kaymakçı vd. (1990), Aydın - Hüsamlar linyit kömürü sahasında sondaj verileri kullanılarak üçgen, poligon, istatistiksel ve ağırlıklı hareket eden ortalamalar yöntemi ile rezerv hesaplamaları yapılmıştır. Üçgen ve poligon yöntemlerinde üçgen ve poligon haritaları, ağırlıklı hareket eden ortalamalar yönteminde ise bir yazılım kullanılmıştır. İstatistik yöntemle de rezerv için %95 güvenilirlik aralığı saptamıştır. Üçgen yöntemi ile 98.484.949 ton olarak bulunan rezerv, poligon yöntemi ile 97.309.245, istatistiksel yöntemle 95.865.298, bilgisayar yazılımının kullanıldığı ağırlıklı hareket eden ortalamalar yöntemi ile ise 89.600.064 ton olarak hesaplanmıştır. Bilgisayar yazılımı

ile elde edilen sonucun diğer yöntemlerin sonuçlarına yakın olduğu sonucuna varılmıştır.

Yalçın (1992), Türkiye 8. Kömür Kongresi' ndeki 'Kriging yarıçapının önemi ve rezerv tahminine etkisi: örnek bir uygulama' konulu bildirisinde kriging yarıçapının kömür kalınlık ve rezerv tahmini üzerindeki etkilerini örnek bir uygulama ile anlatmıştır.

Kriging metoduyla kömür rezerv tahmininde, kömür damarının variogram parametrelerinin hassas bir şekilde tespit edilmesinin yanında, kriging yarıçapının doğru seçilmesinin de önemine işaret edilmiştir. Numune sayısının yeterince fazla ve numune yerlerinin birbirine çok yakın olması durumunda kriging yarıçapının kısa, az ve birbirinden uzak ise yarıçapın uzun alınması gerektiğini ifade ederek, kriging yarıçapının optimumdan küçük seçilmesi durumunda tahmin edilen kömür kalınlıklarının ve rezervin kriging varyanslarının yüksek olduğu, büyük olması durumunda ise varyansın düşük olmasının yanında sahanın bölgesel mineralojik yapısından da uzaklaşıldığı sonucuna varılmıştır.

Yalçın ve ark. (1996), Kriging yöntemini kullanarak Çöllolar kömür sahasının kül ve kükürt içeriklerini değişik blok boyutlarında tahmin etmek üzere çalışma yapmışlardır. Optimum kriging yarıçapının bulunması amacıyla çapraz doğrulama tekniği kullanılmış, hem kül hem de kükürt için gerçek değer ile tahmin edilen değer arasında en az farkın ve standart sapmanın 600 m kriging yarıçapında elde edildiği ifade edilmiştir. Çalışmanın devamında değişik blok boyutlarında kül ve kükürt ortalamaları incelenmiş; blok boyutunun artmasıyla tahmin edilen ortalama kül ve kükürt içeriklerinin ihmal edilebilecek derecede değişim gösterdiği, ancak blok boyutu arttıkça tahmin edilen kömür kalınlıklarının arttığı belirlenmiştir.

Ergin vd. (1998), Surpac2000 paket programı yardımıyla Tekirdağ Saray Linyit Havzası Edirköy Sahası linyit yatağı için kesit, sayısal yüzey belirleme ve blok modelleme tekniklerini kullanarak kalorifik değer ve kükürte bağlı sınıflandırılmış rezerv hesaplaması yapmışlardır. Çalışma 84 adet sondaj verisine dayandırılmış olup her üç yöntemle de yaklaşık 25,5 milyon ton rezerv tespit edilmiştir. Yazarlar aynı

saha için MTA Genel Müdürlüğü tarafından klasik poligon yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamada 18.907.691 ton kömür rezervinin tespit edildiğini ifade etmişlerdir. Görüldüğü gibi klasik yöntemle tahmin edilen rezerv ile bilgisayar yazılımı kullanılarak yapılan tahminler arasında ciddi farklar (yaklaşık 6,5 milyon ton) söz konusudur. Bu çalışmada hangi rezerv tahmin yönteminin daha doğru sonuç verdiği analiz edilmemiştir.

Erel (2011), Surpac yazılımı kullanarak yaptığı çalışmada Balıkesir İli, Balya İlçesi kuzeyinde yer alan Hastanetepe’de bulunan kurşun-çinko-gümüş maden yatağına ait değerlendirmelerde bulunmuştur. Çalışmada yönlü variogram analizi yapılarak, variogram modelleri oluşturulmuştur. Yönlü variogram modellerinde maden yatağının belirli bir yönde ve mesafede anizotropik yönelim gösterdiği tespit edilmiştir. Pb ve Zn için 45 ve 135, Ag için 35 ve 125 derecelik yatay ve düşey yönde variogram modelleri oluşturulmuştur. Variogram modellerinin doğruluğu, etkinliği ve geçerliliği çapraz doğrulama analizi ile test edilmiştir. Oluşturulan variogram parametreleri kullanılarak incelenen çalışma sahası üzerinde jeostatistik yöntemlerden “Ordinary Kriging” kullanılarak ilgili maden yatağının rezerv tahmini ve tenör dağılımı çalışması yapılmıştır. Oluşturulan 5 x 5 x 5 m boyutlarındaki blok model içerisinde kalan blokların Pb, Zn ve Ag kestirimleri atanmıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak, çalışma sahasında işletme sınır tenörü üzerinde yaklaşık olarak 12,99 milyon ton kurşun, 5,82 milyon ton çinko ve 3,91 milyon ton gümüş rezervi hesaplanmıştır.

Açan (2013), bir demir sahasının surpac madencilik entegre yazılımı ile değerlendirilmesi konulu çalışmasında, Sivas ili Kangal ilçesi yakınlarında bulunan ve uzun yıllardır işletilmekte olan bir demir cevheri (hematit) sahasının 124 adet sondaj verilerinden yola çıkılarak projelendirilmesi ve yeniden değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada surpac yazılımı kullanılmıştır. Yazılımla oluşturulan blok modele, en yakın komşu ve mesafenin tersi yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntemle tenör ataması yapılmıştır.

Toplamda rezerv sonuçlarının çok yakın değerler olduğu, tenör dağılımlarının ise birbirlerinden çok farklı olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2.1). Tenör dağılımındaki

farklılığın nedeni olarak, cevher yatağının hidrotermal sokulumlar şeklinde bir oluşum sergilemesi, dolayısıyla marjinal bir geometriye sahip olması gösterilmiştir.

Çizelge 2. 1 Demir cevheri rezerv raporu (Kangal)

En yakın Komşu Yöntemi				Mesafenin Tersisi Yöntemi			
Fe (%)	Hacim (m ³)	Miktar (Ton)	Fe (%)	Fe (%)	Hacim (m ³)	Miktar (Ton)	Fe (%)
0.0 -	5.367.750	18.250.350	36.79	0.0 -	5.057.000	15.878.980	40.82
49,0				49,0			
49.0 -	2.241.875	7.622.375	51.67	49.0 -	3.959.750	12.433.615	51.46
54,0				54,0			
54.0 -	3.334.500	11.337.300	57.92	54.0 -	1.929.250	6.057.845	55.77
99,0				99,0			
Toplam	10.944.125	37.210.025	46.28	Toplam	10.946.000	34.370.440	47.31

Moharaj vd. (2014), surpac maden yazılımının ve Cangshang altın madeni sondaj verilerinin kullanıldığı çalışmada cevher rezervi, mesafenin tersi, en yakın komşu, ve kriging yöntemleriyle hesaplanmıştır. Her üç yöntemde de parametreler değiştirilmemiş, hesaplama süresinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Böylece, en yakın komşu ve mesafenin tersi yöntemlerinin etkinliği, en iyi doğrusal tahmin yöntemi olarak kabul edilen basit kriging yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Buna göre; en yakın komşu yönteminin demir yüzdesini fazla tahmin ettiği, buna karşılık rezerv hacmini düşük tuttuğu, mesafenin tersi yöntemiyle ise gerek demir yüzdesinin gerekse rezerv hacminin fazla tahmin edildiği sonucuna varılmıştır.

Altınbaş (2016), Çanakkale-Çan kömür yatağının Surpac programı kullanılarak ekonomik değerlendirilmesi isimli çalışmasında, yatağı ekonomik olarak kömür jeolojisi açısından incelemiş ve rezervi Surpac yazılımı ile hesaplamıştır.

Linyit Havzası'nın daha önce poligon yöntemi ile 94.778.006 ton, eşkalınlık yöntemine göre ise 93.670.365 ton olarak hesaplanan toplam görünür rezervi, M.T.A tarafından yapılan sondajlardan damarı kesen 52 adet sondajın verisi kullanılarak GEMCOM Surpac 6.5.1 paket programı yardımıyla da hesaplanmış ve rezerv 110.669.297 Ton olarak bulunmuştur.

Çalışmada bulunan değerle, önceki çalışma arasında %10 farkın kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu ve elle yapılan hesaplamalarda oluşabilecek hatalardan kaynaklı olabileceği düşünülmüştür.

2.2 Madencilik Faaliyetlerinde Kullanılan Yazılımlar

Klasik yöntemlerle ve/veya bilgisayar ortamında maden yatağının katı modeli ve rezerv bileşenlerinin ortaya konması son derece önemlidir. Yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları ortaya konulduğunda bilgisayar ortamında yapılan işlerden, verilerin doğruluğu nispetinde net, alternatifli, insan unsurundan kaynaklı hatalardan arınmış ve kısa sürede sonuç alınmaktadır. Bilgisayarların doğruluğu ve hızı, çeşitli senaryoların makul sürede değerlendirilmesini de sağlamaktadır.

Bilgisayar donanım teknolojisindeki gelişmelere paralel üretilen yazılımlar 80'li yılların başından beri giderek artan bir yoğunlukta madencilik sektöründe kullanılmaya başlanmıştır. Günümüze kadar, maden planlaması ve tasarımında kullanılan çeşitli entegre yazılım paketleri arasından en çok tercih edilmiş ve uygulama alanı bulmuş olan programlar aşağıda özetlenmiştir.

i. Datamine: Birleşik Krallık, Londra merkezlidir. Çözümleri, arama jeolojisi, jeostatistik, maden tasarımı, maden planlaması, iş yönetimi ve cevher kontrolüdür. Planlama paketi, planların gerekli üretim hızlarına, ekipman zaman çizelgelerine, cevher harmanlama ve döküm gereksinimleri gibi bir dizi ekonomik süzgece dayalı olarak geliştirilmesine olanak tanır. Cevher çıkarma zamanlaması kullanıcı tarafından kontrol edilir. Örneğin, ekipman mevcudiyeti ile sınırlı bir maden planı oluşturulabilir.

ii. Minex: *Dassault Systemes* tarafından geliştirilen bir dizi jeolojik modelleme ve madencilik mühendisliği yazılım uygulamalarından biridir. Jeoloji, maden planlama ve programında çözümler sunan bir yazılımdır.

iii. Netpro/Mine: Türk yazılım firması Netcad tarafından, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği, TKİ ve TÜBİTAK işbirliğiyle maden yatağının araştırma, bulunma aşamasından üretimin tamamlanması aşamasına kadar tüm teknik tasarımın yapılabilmesini sağlayan bir mühendislik uygulamasıdır.

Netpro/Mine ile; topografik arazi modeli oluşturulması, yapılmış olan sondajların ve jeolojik araştırmaların yardımıyla 3 boyutlu cevher yatağı modeli elde edilmesi, kaynak ve rezerv hesaplamaları, arazi ve cevher modeli kullanılarak cevher yatağının hangi yöntemle en verimli, ekonomik ve çevreye en az zarar verecek şekilde üretileceği belirlenerek üretim tasarımları gerçekleştirilebilmektedir.

Arayüzlerin Türkçe olması, Türk kullanıcılar için kullanım kolaylığı sağlamaktadır (Url-1).

iv. Vulcan: İlk versiyonu Fortran dilinde yazılmış ve 1984 yılında piyasaya sürülmüştür. Jeolojik modelleme ve maden planlaması için 3B görselleştirme sağlayan genel bir maden planlama yazılım paketidir. Maden mühendisleri, jeologlar ve maden araştırmacıları tarafından kullanılır. 3B jeolojik haritalama ve modelleme, maden tasarımı, jeoteknik analiz, maden planlaması ve optimizasyonu, maden rehabilitasyonu yazılımın temel modülleridir. Her on yılda, yeni teknik ve algoritmalarla yazılım güncellenmiştir. Mevcut sürüm C ve C++ dilinde 2005 yılında oluşturulmuştur (Url-2).

v. Surfer: Colorado'daki Golden şehrinde, Mart 1983'teki kurulan Golden Software'e ait madencilik yazılım ürünüdür. Şirket, o zamanlar Colorado School of Mines'daki Madencilik Bölümünde lisansüstü öğrencisi olan Dan Smith ve CSM Bilgisayar öğreticisi Patrick Madison tarafından kurulmuştur. İkisinin ilk işleri, PC'de çalıştırılan nokta vuruşlu yazıcı dili geliştirmek olmuştur. Bilgisayar donanım ve yazılım teknolojisi geliştikçe şirketin yazılım ürünleri de farklılık göstermeye başlamıştır. Surfer, şirketin teknolojik gelişmelerden yararlanmaya yönelik 1985 yılında yazdığı ilk programdır.

Surfer, uzaysal jeolojik verilerin ayrıntılı anlaşılmasını kolaylaştırmak için tasarlanmış 2B ve 3B haritalama, modelleme ve analiz programdır. Yaygın bir kullanımı vardır. Surfer, XYZ verilerini düzenli formlara dönüştürmek için variogramlarla Kriging de dahil olmak üzere 13 farklı gridleme yöntemine sahiptir. Bu gridler yardımıyla grid tabanlı özelleştirilebilir 2B ve 3B haritalar üretilebilir (Url-3).

vi. Micromine: 1986'da Avustralya'da bağımsız bir şirket olarak kurulan şirketin, madencilik faaliyetlerinin her aşaması için çözüm üretmeyi amaçladığı bir yazılımdır. Modülleri arasında, çeşitli yüzey, sondaj ve yeraltı verileri aktarmaya, işlemeye, görüntülemeye ve yorumlamaya izin veren ana modülü, özelleştirilmiş şablonların kullanıldığı grafik ana modülü, gelişmiş bir arama veya kaynak tahmini projesi için gereken görselleştirme, delme yönetimi, analitik ve modelleme araçları, istatistiksel ve jeostatistik işlevselliği içeren arama modülü, maden mühendisleri için özel olarak tasarlanmış, yüzey ve yeraltı madenlerini planlamak ve tasarlamak için güçlü ve sezgisel araçlara sahip, ham madencilik verilerini anlamlı bir 3B tasarımlara dönüştüren madencilik modülü, rezerv analizi ve raporlaması modülü, mineral kaynağı ve bir dizi ekonomik ve metalurjik parametreler göz önüne alınarak, en karlı açık ocağı belirlemek için kullanılan açık ocak optimizasyonu modülü sayılabilir (Url-4).

vii. Surpac: Surpac, Fransız mühendislik yazılımı şirketi *Dassault Systemes* tarafından geliştirilen bir dizi jeolojik modelleme ve madencilik mühendisliği yazılım uygulamalarından bir tanesidir. Eski adı Gemcom olarak bilinen şirket, 1985 yılında madencilik danışmanları SRK Consulting tarafından Vancouver, British Columbia, Kanada'da kurulmuştur. Günümüzdeki ismi *Dassault Systemes GEOVIA*'dır. Surpac yazılımının piyasaya ilk görüldüğü tarih 1982'dir. Geoff Bebb tarafından Güney Avustralya'da Software International (SSI) ismiyle kurulan bir şirket tarafından piyasaya sürülmüştür. 1985 yılında SRK Consulting bünyesinden Gemcom ismiyle ayrılan şirket, zaman içinde çeşitli grupları bünyesine dahil ederek büyümüştür. 2012 yılında Gemcom'u, madencilik danışmanlığı yapan SRK Consulting tarafından Vancouver, British Columbia, Kanada'da 1985 yılında kurulmuş olan Fransız mühendislik yazılım şirketi *Dassault Systemes GEOVIA* satın almıştır (Url-5).

Surpac, delme ve patlatma, ölçme, ocak tasarımı, jeostatistik ve tenör kontrolü, blok modelleme, katı model, açık ocak tasarımı, yer altı tasarımı gibi çeşitli modülleri bulunan tam bir maden planlama yazılımıdır. Kullanıcı ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilmekte, diğer yazılımların ürettiği datalar surpac'da kullanılabilen, modüllerden bazıları yatağın modellemesi ve rezerv tespiti için kullanılabilir. Bir jeoloji ve madencilik yazılımı olan surpac, Windows işletim sistemi altında çalışabilmektedir. Veri yönetimi çeşitli araçlarla yapılır. Jeostatistik, modelleme,

sayısal model analizi, rezervin miktar ve kalitesini tespit, üretim kontrolü, farklı model teknikleri ile cevher kazanımı gibi çok çeşitli araçlara sahip bir programdır.



Afşin-Elbistan Havzası Türkiye linyit rezervlerinin yaklaşık %46'sını oluşturması bakımından ülkemiz sınırlarında bulunan linyit yatakları arasında en büyük rezerve sahip olan havzadır.

E-sektörünün de içerisinde bulunduğu Afşin-Elbistan havzası Doğu Anadolu bölgesinin Yukarı Fırat bölümünün en batı kesiminde yer almaktadır. Bu yer üç ayrı coğrafi bölgenin (Akdeniz Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi) birbirine en çok yaklaştığı alan olup burada Kahramanmaraş ilinin merkezinde görülen bozulmuş Akdeniz iklimin aksine, yükselti ve deniz etkisinden uzaklığa bağlı olarak tamamen karasal iklim özellikleri görülür. Yazları sıcak ve kurak, kışları nispeten soğuk ve kar yağışlıdır. Sektör, genel olarak 1150-1200 rakımları arasında güneye doğru yaklaşık olarak 1-3° eğimlidir.

Afşin Elbistan Kömür Havzasında Prekambriyen-Kuvaterner zaman aralığında oluşmuş, birbirinden farklı yapısal istifler sunan ve farklı stratigrafik özellikler gösteren allokton ve otokton konumlu kayaç birimleri yüzeylemektedir. Doğu Torosların uzantısı üzerinde ve muhtemelen Pliyosen sürecinde biçimlenmeye başlamış bir tektonik çöküntü havzasıdır. Bu havzanın temelini tektonostratigrafik özellikteki istifler oluşturmaktadır. Havza, deniz seviyesinden yaklaşık 1.150 m yüksekliktedir.

3.1.2 Surpac yazılımı

Bir cevherin pazarda bir değer ifade edebilmesi, sahadaki yatağın başlangıçta jeolojik, kimyasal özelliklerinin belirlenmesinden başlayarak, rezerv tespiti, ekonomik analizlerinin yapılması, ocağın işletmeye açılması, işletme sırasındaki üretim planlaması gibi bir çok evrelerinin nihayetinde gerçekleşmektedir.

Bilgisayar destekli madencilik değerlendirmelerinde, klasik değerlendirmelerde olduğu gibi temel veri, sondaj kuyuları ve numune neticeleridir. Sondaj kuyularının logları incelendiğinde, genellikle muntazam bir damar yapısıyla karşılaşmak pek mümkün değildir. Ekonomik değeri olan cevher ara bantlarla kesilir. Bu yüzden, aynı noktaya(x,y) ait birden fazla kimyasal analiz, tenör, kalınlık gibi değerlerin

yorumlanarak birleştirilmesi (kompozite) ve o noktaya ait tek değer haline getirilmesi gerekir.

Yazılımlar, bu gerçek değerlerin teknik yorumundan hareketle tüm sahanın bilinmeyen noktalarına ait ihtiyaç duyulan değerlerine gerçek verilerin doğruluğu nispetinde hızla ulaşmamıza, dolayısıyla bu alanları yorumlamamıza olanak sağlar.

Yazılımlar yardımıyla bir maden tasarımı genellikle;

- Veri tabanını veriler ve ihtiyaçlar doğrultusunda oluşturmak,
- Modelleme; Jeolojik modelleme, Blok model,
- Rezerv hesaplama,
- Ocak tasarımı

gibi aşamalar sonucu gerçekleştirilir.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen işlemlerin hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılabilmesi amacıyla geliştirilmiş Gemcom yazılım paketi içerisindeki Surpac bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bu program; jeolojik yorumlama ve tabakalanmamış katmanlar, yüzey tasarımı, yeraltındaki metal ve ametallerin modellemesi için tasarlanmış jeoloji ve madencilik programıdır (Url-5).

Surpac yazılımının piyasada ilk göründüğü tarihi 1982' dir. Geoff Bebb tarafından Güney Avustralya'da Software International(SSİ) ismiyle kurulan bir şirket tarafından piyasaya sürülmüştür. SURPAC paket programı madencilik ve evre konularında bugün 60'den fazla ülkede, 5000 den fazla kuruluşta (niversite, maden şirketleri, mühendislik müşavirlik şirketleri vb.) kullanılmaktadır. Firmanın yazılım geliştirme bölümü tarafından 1995'de SURPAC 1, 1997'de SURPAC 2, 1998'de SURPAC 3, 2000'de SURPAC 4 geliştirilmiştir. Yazılım, daha sonra 3B grafik özelliği eklenerek 2003 yılında 5.0 versiyonu ve 2006 yılında 5.1 versiyonu olarak kullanıma sunulmuştur.

Surpac, delme ve patlatma, lme, ocak tasarımı, jeostatistik ve tenör kontrolü, blok modelleme, katı model, açık ocak tasarımı, yeraltı tasarımı gibi çeşitli modülleri bulunan, tam bir maden planlama yazılımıdır. Kullanıcı ihtiyaçlarına göre

özelleştirilebilir, diğer yazılımların ürettiği datalar Surpac’da okunabilir, modüllerden bazıları yatağın modellemesi ve rezerv tespiti için kullanılabilir.

Surpac, Windows işletim sistemi altında çalışabilmektedir. Veri yönetimi çeşitli araçlarla yapılır. Jeostatistik, modelleme, sayısal model analizi, rezervin miktar ve kalitesini tespit, üretim kontrolü, farklı model teknikleri ile cevher kazanımı gibi çok çeşitli araçlara sahip bir programdır.

Surpac yazılımı, madencilik faaliyetlerini sonuçlandıran program modüllerine sahiptir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

3.1.2.1 Veri tabanı

Bilgisayar disiplini içinde veri tabanı, farklı senaryolar için kullanılmak üzere birbirleriyle ilişkisi olan verilerin tutulduğu manyetik ortamdaki sayısal veri topluluğudur. Farklı boyutlardaki verilerin kullanım amacına uygun olarak düzenlendiği, mantıksal ve fiziksel olarak tanımlarının yapıldığı ve ihtiyaç halinde tekrar bir erişimine olanak sağlandığı veri depolarıdır.

Artan bilgi hacmi, geleneksel düz dosya tekniğinin terk edilmesine, esnek, kolay ulaşılabilir, kolay filtre edilebilir veri saklama sistemlerinin devreye girmesini ihtiyaç haline getirmiştir. Veri tabanları, irtibatlı olacağı yazılımlarla belli bir sistematik içinde haberleşen, ilişkili bilgilerin depolandığı alanlardır, yönetim sistemleri ile oluşturulur ve yönetilir. Bu sistemlere örnek olarak; Microsoft Access, MySQL, Paradox, Microsoft SQL Server ve Oracle örnek olarak verilebilir.

Surpac, Oracle, Paradox veri tabanlarını, yaygın olarak da **Microsoft Access** veri tabanını kullanır. Microsoft Access veri tabanının tercih edilmesindeki en önemli sebep, özel bir kurulum istememesinin yanında Windows işletim sistemini kullanan PC lerde, Office programları ile birlikte kurulu olmasındandır. Surpac, Network üzerinden veri tabanı ile bağlantı kurma özelliğine de sahiptir. Veri tabanı, Surpac programının diğer modüllerinden önce anlaşılması ve kavranılması gereken bölümüdür.

Tüm madencilik projelerinin başlangıç noktası sondaj verileridir. Sondaj verilerinden anlamamız gereken, sondaj noktasının 3 boyuttaki (x, y, z) yeri ve katmanların yüzeyle olan göreceli sayısal ilişkileridir. Jeolojik rezerv hesapları ve fizibilite çalışmaları bu veriler ışığında yapılır. Surpac veri tabanında en fazla 50 tablo bulunur. Her tablonun alan sayısı 60'ı geçemez. Bu tablolar vasıtasıyla sondaj kuyuları görüntülenir. Katmana ait kalınlık, tenör, kalorifik vb. sayısal değerleri kullanılarak kompozite stringleri elde edilir. Diğer tüm modüllere altlık oluşturacak veriler bu tablolarda kayıtlıdır.

Surpac programının çalışabilmesi için iki temel tablonun hazırlanması zorunludur. Bunlardan birincisi Collar (sondaj konumu) tablosu olup her bir sondajın konum (x, y, z) ve derinlik değerlerini, ikinci tablo ise Survey tablosu olup, her bir sondajın azimut, eğim ve derinlik değerlerini ihtiva eder. Survey tablosunda, sondajın ilerlemesinde farklı eğimler mevcut ise bunları da göstermek mümkündür.

Formasyonların tanımlanabilmesi için sondajla geçilen her bir formasyonun tanımı ve kalınlık değerlerinin yer aldığı Jeoloji tablosuna(Şekil 3.13) ihtiyaç vardır. İlave olarak jeolojik tablosundaki değerleri de ihtiva edecek şekilde birimlerin tenör, yoğunluk, kalorifik değer vb verilerinin yer aldığı Sample(Şekil 3.14) tablosu da hazırlanmalıdır. Ayrıca program tarafından Styles ve Translation tabloları otomatik olarak oluşturulmakta ve program çalıştırıldığında programın ihtiyaç duyduğu bazı veriler bu tablolara kaydedilmektedir.

i. Collar tablosu : Sondaj yerlerinin 3 boyutlu (y,x,z) konumları ile sondajların maksimum derinliklerini içerir. Bu mesafe, sondaj ister lineer ister eğri şeklinde olsun sondaj boyunca olan mesafedir. Collar tablosuna ait farklı bir alan tanımlanması halinde (örneğin, sondaj tarihi, proje ismi gibi) bu alana ait veri her bir sondaj için de kayıt altına alınacaktır (Şekil 3.2).

hole_id	hole_path	max_depth	x	y	z	Click to Add
S1		85	101.98	369.99	1557.53	
S10		161.03	332.23	330.02	1557.61	
S11		53.68	100.5	234.95	1558.61	
S12		81.09	157.76	234.54	1562.05	
S13		83.47	216.06	234.33	1563.05	
S14		99.05	274.15	233.7	1564.05	
S15		47.52	99.07	176.62	1565.05	
S16		78.54	157.54	176.62	1566.05	
S17		81.05	215.73	174.9	1557.68	
S18		101.25	273.63	175.19	1558.01	
S19		108.78	331.25	179.49	1559.21	
S2		102.3	158.91	369.99	1558.53	

Şekil 3. 2 Collar tablosu

ii. **Survey tablosu:** Sondajların derinlik, eğim ve azimuth değerlerini kayıt altına alır. Düşey mesafenin ölçülmediği durumlarda, derinlik, collar tablosundaki maksimum derinlik ile aynı olmalıdır. Bu durumda eğim -90, azimut 0(sıfır) alınmalıdır (Şekil 3.3).

azimuth	depth	dip	hole_id
0	85	-90	S1
0	161.03	-90	S10
0	53.68	-90	S11
0	81.09	-90	S12
0	83.47	-90	S13
0	99.05	-90	S14
0	47.52	-90	S15
0	78.54	-90	S16
0	81.05	-90	S17
0	101.25	-90	S18
0	108.78	-90	S19
0	102.3	-90	S2
0	40.23	-90	S20
0	60.28	-90	S21

Şekil 3. 3 Survey tablosu

iii. **Tercihe bağı diğer tablolar** : Zorunlu tabloların dışında isteğe bağı tablolar , *jeoloji*(Şekil 3.4) ve *analiz sonuçları*(Şekil 3.5) tabloları eklenebilir. Bu tablolarda , programda ihtiyaç duyulabilecek formasyon isimleri, tenör, kalori, nem ve kül oranı gibi değerler kayıt altına alınır.

depth_from	depth_to	hole_id	lithology	samp_id	Click to Add
0	62	S1	TAVANTASI		
62	66.1	S1	CR		
66.1	85	S1	TABANTASI		
0	131	S10	TAVANTASI		
131	144.9	S10	CR		
144.9	161.03	S10	TABANTASI		
0	34.2	S11	TAVANTASI		
34.2	40.2	S11	CR		
40.2	53.68	S11	TABANTASI		
0	46	S12	TAVANTASI		
46	56.8	S12	CR		
56.8	81.09	S12	TABANTASI		

Şekil 3. 4 Jeoloji tablosu

depth_from	depth_to	hole_id	lithology	samp_id	calorific_val
0	2	EB_064	ALLUVIAL	1	
2	30.7	EB_064	CLAYEY LIMESTONE	2	
30.7	85.5	EB_064	UPPER_CLAY_CLAYSTONE	3	
85.5	104.5	EB_064	UPPER_GYTTJA	4	
104.5	126.3	EB_064	CLAYEY LIGNITE	5	869
126.3	144.7	EB_064	LIGNITE	5	1033
144.7	157.8	EB_064	LIGNITE	5	800
157.8	164	EB_064	LOWER_CLAY_CLAYSTONE	7	
0	4	EB_100	ALLUVIAL	1	
4	37	EB_100	CLAYEY LIMESTONE	2	
37	103.25	EB_100	UPPER_CLAY_CLAYSTONE	3	
103.25	106	EB_100	UPPER_GYTTJA	4	

Şekil 3. 5 Analiz sonuçları tablosu

Surpac veri tabanında satır sıralaması son derece önemlidir. Başka bir deyişle, bir sondaja ait düşey mesafe derinliklerinin başlangıç ve bitiş değerleri ile sıralaması eşit olmak zorundadır. Sondajın değerlerinin tamamı toplam derinliğe ulaşmadan diğer sondaja ait değerler araya girmemelidir. Bu durum bütün tablolar için geçerlidir. Aksi halde program hatalı sonuçlar üretebilir.

Gerek veri tabanı oluşturulurken gerekse veri aktarılırken, son adımda kolon isimlerine göre kolon sırası istendiğinden, kolon sırasının önemi yoktur.

3.1.2.2 Dosya türleri

Surpac yazılımı program içerisindeki kullanım amaçlarına göre sınıflandırılmış farklı uzantılara sahip dosyaları kullanmaktadır (Çizelge 3.1)

Çizelge 3. 1 Surpac dosya türleri

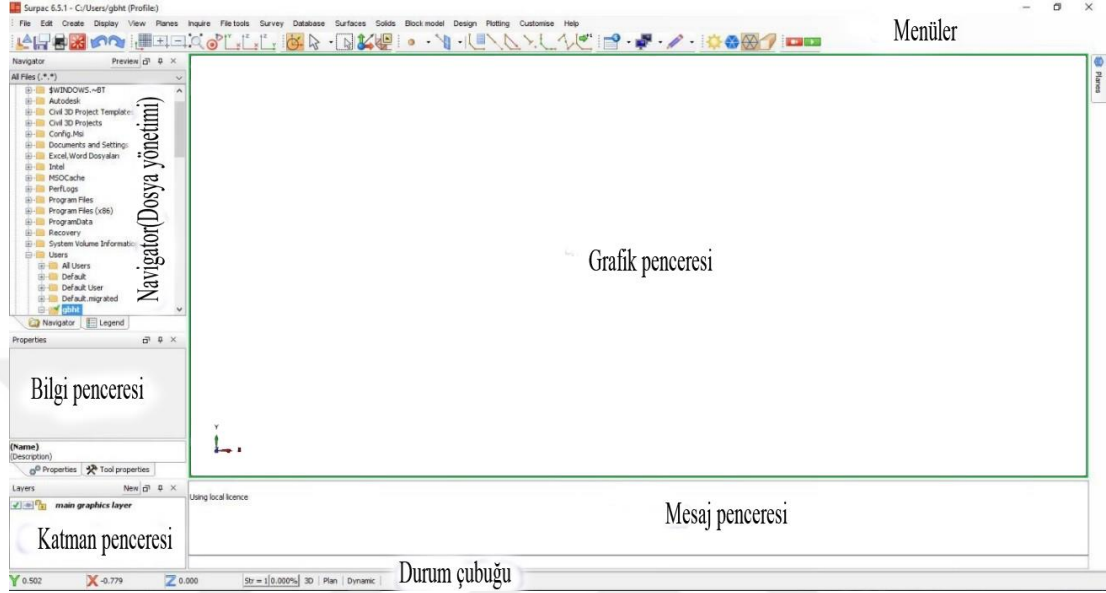
Data Türü	Uzantısı	Data Türü	Uzantısı
String dosyası	.str	Çizim dosyası	.dwf
DTM dosyası	.dtm	Makro dosyası	.tcl
Jeolojik veri tabanı	.ddb	Plug inns dosyası	.dxf(Autocad)
Survey veri tabanı	.sdb	Tema dosyası	.SSI
Blok model dosyası	.mdl		

Surpac programının performanslı bir şekilde çalışması için Çizelge 3.2’ de minimum özellikleri verilen bir bilgisayar yeterlidir (Url-6)

Çizelge 3. 2 Surpac için minimum donanım gereksinimleri (Url-6)

	Minimum	Tavsiye Edilen
İşletim Sistemi	Windows 7 SP1 and Windows 10	Windows 7 SP1 and Windows 10
CPU	i5 2.3Ghz 4 çekirdek 64 Bit Microişlemci	i7/Xeon 2.66 GHz+ 4 çekirdek 64 Bit Microişlemci
Bellek	8GB	16GB+ Note: Büyük dosyalarla yapılan çalışmalarda ilave bellek çalışmanın kalitesini artırır. Örneğin, 20GB lık bir blok modelin yüklenmesi için en az 24GB lık bir belleğe ihtiyaç vardır. Ancak bu dosya 32GB lık bellekte daha iyi bir performans sağlayacaktır.
Graphics Card	Nvidia GeForce GTX serisi veya DirectX 9 veya or OpenGL 2 uyumlu kart	Nvidia Quadro, 2000, 4000, 6000 serisi veya DirectX 11 veya OpenGL 2 uyumlu kart
Ekran Çözünürlüğü	1920 x 1080 LED	1920 x 1080 LED
Microsoft Office 2010 64-bit	Microsoft Office 2010 64-bit	Microsoft Office 2010 64-bit Note: Surpac ile Microsoft Access veri tabanı kullanıldığında bu yazılıma ihtiyaç vardır. 32-bit Surpac ile 32-bit Office kullanılmalıdır.

Programda işlem yapabilmenin ilk koşulu bir veri tabanı oluşturmaktır. Veri tabanından alınan verilerden iki boyutlu(2B) ve üç boyutlu(3B) modellerin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Program, kurulumdan sonra çalıştırıldığında ekran ilk ara yüzü aşağıdaki gibidir (Şekil 3.6).



Şekil 3. 6 Surpac başlangıç ekran görüntüsü

3.1.2.3 Modelleme

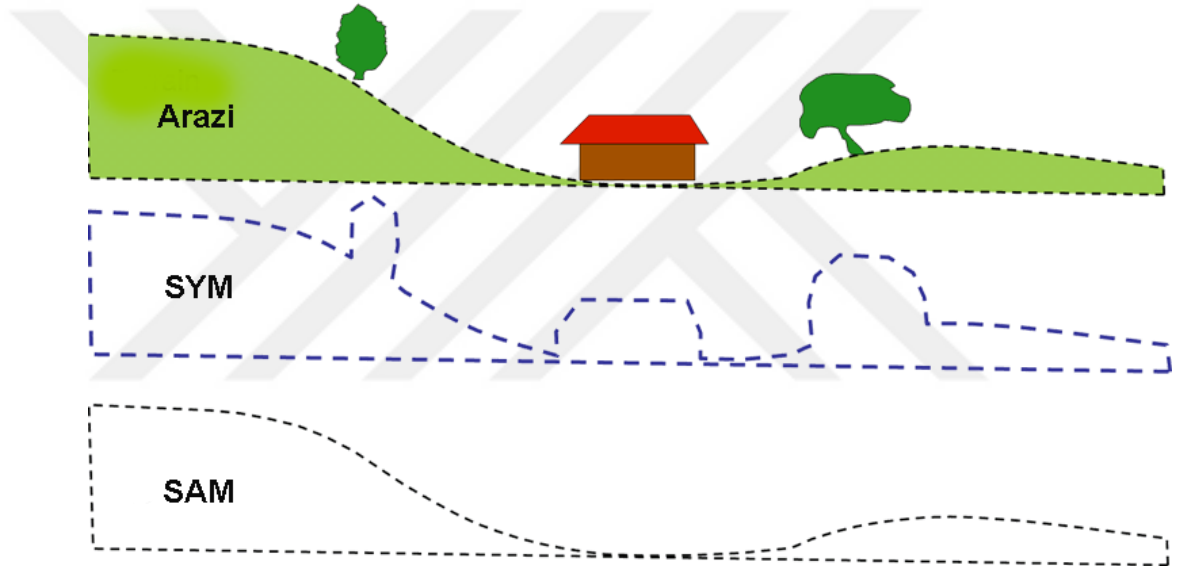
Modelleme, objelerin uzanımlarının, şeklinin, büyüklüğünün, özetle geometrisinin oluşturulması işlemi olarak tanımlanır. Modelleme için 3 boyutta(3B)(x,y,z) veriye ihtiyaç vardır. Madencilik faaliyetlerindeki yüzey modellemesi, arazide ölçüm aletleriyle elde edilen verilerden yararlanarak hazırlanan topoğrafik Sayısal Arazi Modelidir.(SAM). Yüzey modeli, yapılacak diğer bütün işlemlere (katı model, münhane işlemleri, ocak tasarımları gibi) esas teşkil eder.

SAM üzerinde kesit alma, birbirleri arasındaki kesişme hatlarını belirleme, hacim hesapları gibi işlemler ancak modelleme sonrasında gerçekleştirilir

Yüzey modellemesi, sayısal topoğrafya verilerinin işlenmesi ile yapılır. Sayısal topoğrafya verilerinin gerçeğe yakın olması ancak topoğrafik ölçümler neticesinde mümkündür. Eğer topoğrafik ölçüm verileri yoksa, topoğrafik memleket haritalarının sayısallaştırılması neticesinde elde edilen veriler ya da sondaj koordinat değerleri kullanılarak sayısal topoğrafya elde etmek mümkün olabilir. Elde edilen sayısal

veriler, noktalar, eşyüksekti eğriler, mevcut ocaklar için kot değerleri atanmış şev alt ve şev üst çizimleri, yatak yakınlarındaki yer üstü yapılarının çizimleri halinde “.dxf” uzantılı olarak (Autocad dosyası formatında) direkt olarak programa yüklenebilir.

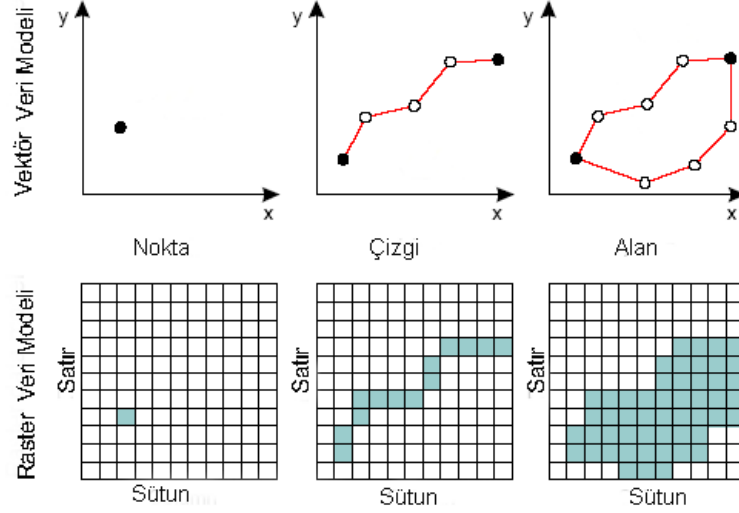
Bir maden yatağını modellemedeki temel amaç, cevherin kalitesinin ve miktarının tespit edilmesidir. Üretim öncesinde yatırımın yapılabilirliğine karar vermek, üretim sırasında ise farklı üretim senaryolarının kısa sürede farklı analiz ve hesaplamalarını yapabilmek için kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 3. 7 Sayısal arazi ve sayısal yüzey modeli

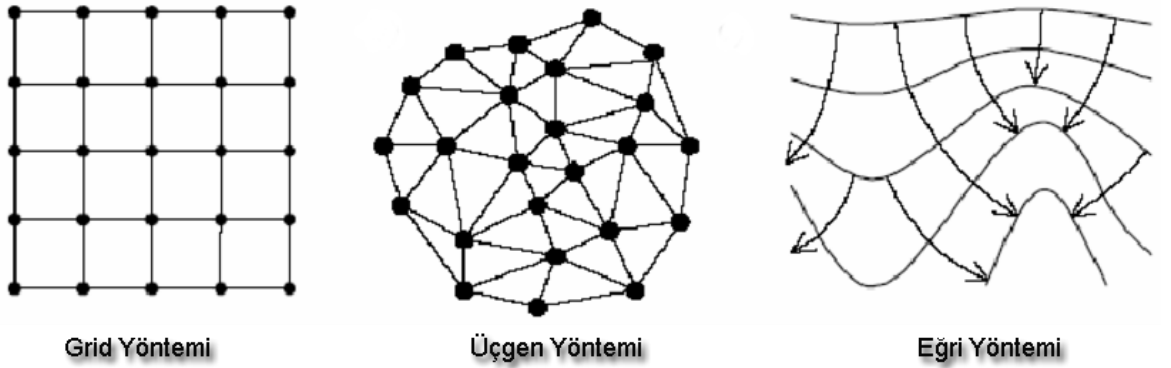
Sayısal yüzey modeli (SYM), SAM gibi doğrudan arazi ölçümlerinden sağlanan verileri ve farklı araçlarla elde edilmiş fotoğraflardan üretilmiş verileri kullanan modeldir. SAM'den farkı bitki örtüsü, nehirler, binalar vb detayları içermektedir. Başka bir deyişle SAM, SYM' nin filtre edilmiş yalnızca arazi yüzeyi kalmış kısmıdır (Şekil 3.7).

SAM, genellikle raster (vektörel verinin karşıtı) veri türü ile ilişkili iken SYM, genellikle vektörel (raster verinin karşıtı) veri türü ile ilişkilidir (Şekil 3.8).



Şekil 3. 8 Raster ve vektör veri modelleri

SAM, İki boyutta açık uçlu yatay çizgilerle oluşturulan kestirimlere veya yine çizgilerle oluşturulan kapalı dikey alanlara(kesit), 3.boyutun eklenmesi işlemidir(3.9). 3.boyutun eklenmesi işleminden, **varolan geometriye bir derinlik kazandırmak** anlaşılmalıdır. Bu işlem, noktasal veriler ya da çizgisel verilerle tanımlanır. En yaygın kullanılan yöntem, üçgen yöntemidir (Grayson, R.B., 1990).



Şekil 3. 9 Yüzey oluşturma yöntemleri

Oluşturulan SAM yüzeyler, çalışma sahasındaki artık alanların düzenlenmesinde, açık ocak tasarımında, hacim hesaplamalarında, topoğrafik harita üretilmesinde, yol projelendirilmelerinde kullanılır ve bu alanlara ait tasarımlara veri oluştururlar.

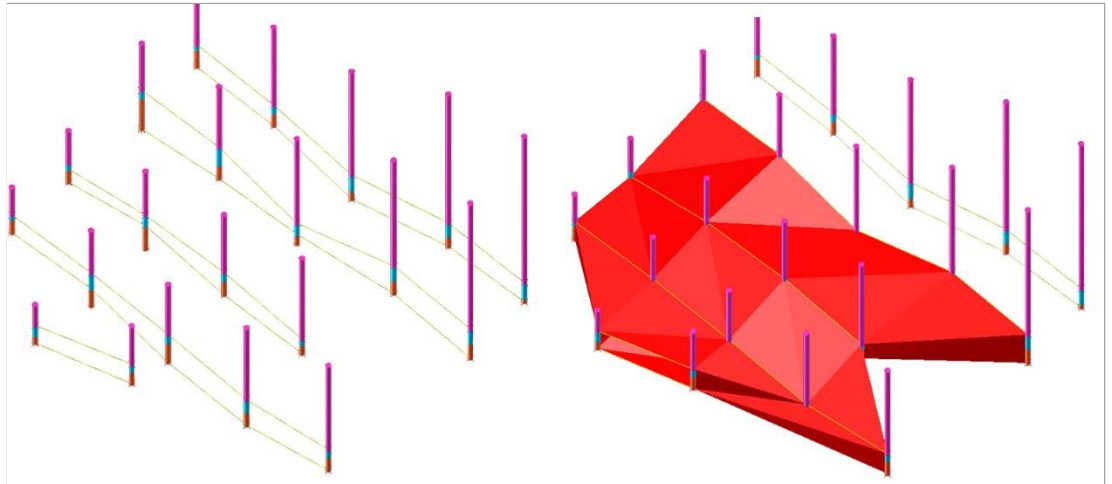
SAM' ler özellikle inşaat, jeodezi, maden, jeofizik, jeoloji mühendisliği ve jeomorfoloji, hidroloji, uzaktan algılama, toprak bilimi, okyanus bilimi, iklim bilimi, coğrafya alanlarında kullanılmaktadır. Başlıca uygulamalar;

1. Arazinin görselleştirilmesi,
2. Yerçekimi ölçümlerinin azaltılması (arazi düzeltmesi) (gravimetri, fiziksel jeodezi)
3. Kartoğrafya ve morfolojide arazi analizleri,
4. Hava veya uydu fotoğraflarının düzeltilmesi,
5. Arazi parametrelerinin çıkartılması, model su akışı veya kütle hareketi

3.1.2.4 Jeolojik katı model

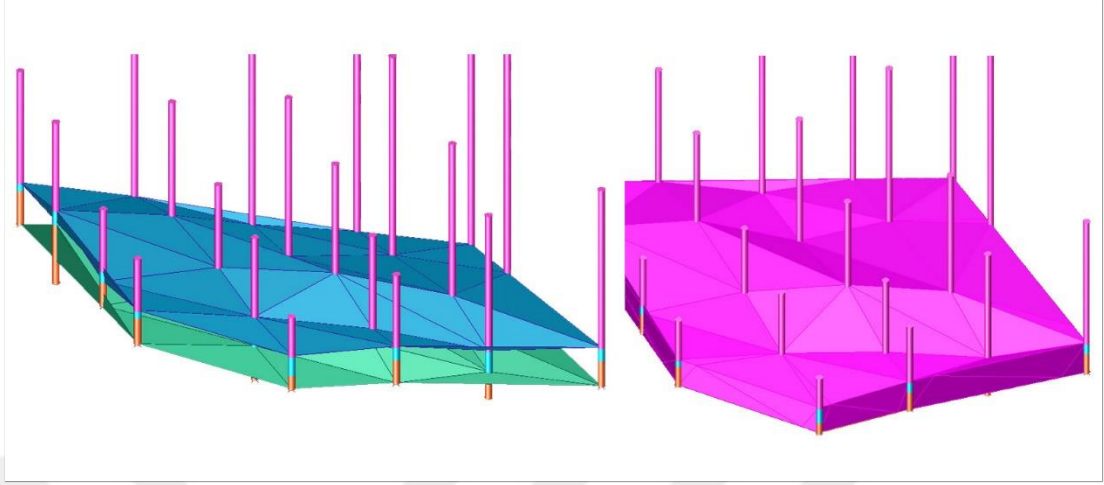
Oluşturulan SAM' ne ait üçgenleri düzenlemek, geçerlilik durumlarını kontrol etmek, hataları gidermek bu kısımda mümkündür. Modelleme bölümünde olduğu gibi hacim hesabının benzerini bu bölümde de kullanmak mümkündür. Surpac' da jeolojik katı modeli oluşturmak için genellikle kesit ve tavan-taban yöntemleri olmak üzere iki yöntem kullanılır.

Kesit yönteminde cevher sınırlarından geçirilen düşey 2B kesitler birleştirilerek katı objeler elde edilir (Şekil 3.10).



Şekil 3. 10 Kesit yöntemi ile oluşturulan jeolojik katı model

Tavan-taban yönteminde ise damarın önceden oluşturulan alt ve üst sınırına ait sayısal arazi modelleri kullanılır (Şekil 3.11).

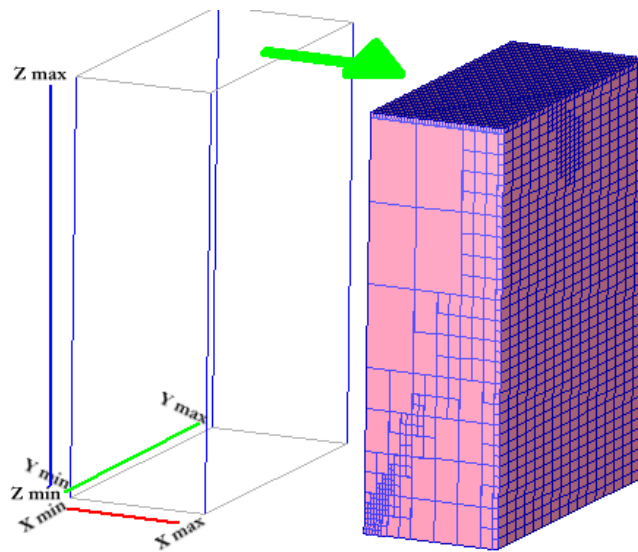


Şekil 3. 11 Tavan-taban yöntemi ile oluşturulan jeolojik katı model

3.1.2.5 Blok model

Veri tabanındaki tenör, kalorifik değer, kül oranı vb değerlerinden hareketle, sınırları 3B' da belli ana blok yardımıyla cevher içindeki birtakım özelliklerin küçük bloklar halinde ortaya çıkarılma işlemlerine ait menüdür.

Blok model , bir katı modelleme aracıdır. Model alanı, uzaysal modelin uzantı değerleridir. Minimum Kuzey(Y), Doğu(X) ve Yükseklik(Z), Maximum Kuzey(Y), Doğu(X) ve Yükseklik(Z) (Şekil 3.12).



Şekil 3. 12 Blok model

Modellemeye konu olan sahanın, boyut, hacim, şekil gibi çok farklı başka yöntemlerle de belirlenecek olan özelliklerinin yanında blok model, esas itibarıyla cevherin model içerisindeki değişimini anlamaya yönelik bir tekniktir. Bu amaçla katı model, kullanıcının boyutlarını belirlediği küp veya dikdörtgenlerden oluşan bloklara ayrılır. Her bir blok, blok koordinatlarının(x,y,z) bilinmesinden dolayı her bir eksendeki geometrik boyutları ile tanımlanır ve modellenecek her özneliği de (tenör, kalori, yoğunluk vb) içerir.

Her bloğun ortalama öznelik değerleri, ölçüm değerlerinden hareketle kestirim yöntemi ile hesaplanır. Blok öznelikleri en yakın komşu, ters uzaklık ve jeostatistiksel yöntemlerle kestirilir. Jeostatistik yöntemler ortalamalı krigleme, ortalamasız krigleme gibi doğrusal olmayan teknikleri de içerebilir. (Şekil 3.13).



Şekil 3. 13 Öznelik değerleri atanmış bloklar

Blok modelin içerdiği tüm özellikler kısıtlamalarla anlamlandırılır. Diğer bir deyişle, bir blok model, kısıtlamalarla anlaşılır, sonuç üretebilir duruma getirilir. Bir kısıtlama, seçilen bloklardaki bir veya daha fazla uzaysal nesnenin mantıksal bir birleşimidir. Kısıtlamalarda kullanılacak nesnelere, düzlem yüzeyleri, SAM' lar, katılar, kapalı

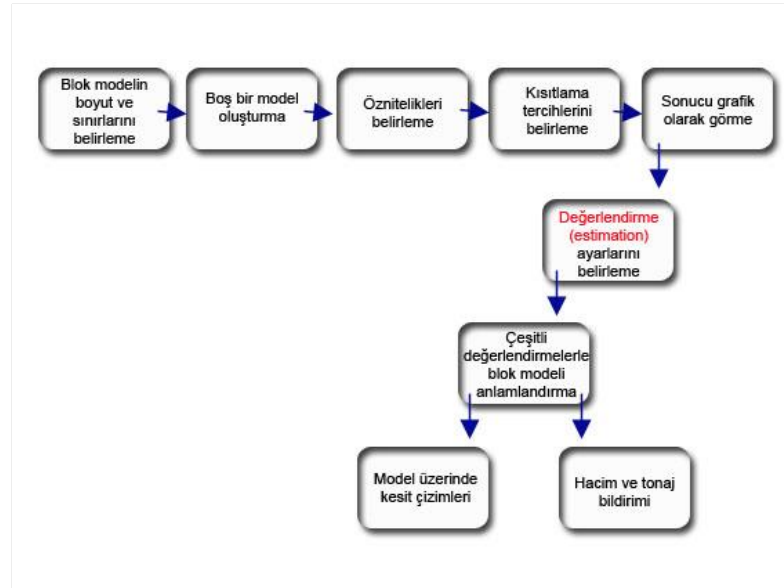
dizeler(string) ve blok öznitelik(attribute) değerleridir. Kısıtlamalar, yeniden ve zaman kaybı olmadan kullanım için bir dosyaya kaydedilebilir ve diğer kısıtlamaların bileşenleri olarak kullanılabilir.

Bir blok model oluşturulduktan ve tüm öznitelikler tanımlandıktan sonra, modelin bazı yorum yöntemleriyle değerlendirilmesi gerekir. Yorumlama(değerlendirme) için gerekli parametreler, X Y Z koordinatları ve ilgili öznitelik değerleridir.

Kullanılan yorum yöntemleri ;

Çizelge 3. 3 Yorum yöntemleri

En yakın komşu	Bir bloka en yakın örnek noktanın değeri atanır.
Mesafenin tersi	Ters mesafe yöntemiyle tahmin edilen değer bloka atanır.
Değer atama	Modeldeki bloğa açıktan değer atanır.
Ordinary Kriging (Basit Kriging)	Jeolojik çalışmalardan elde edilen variogram değerleriyle Krigingi kullanarak blok değerleri belirleme.
Gösterge Kriging	Göstergelerin kriginden türetilmiş tahmini blok tenörü dağılımı ile ilgili fonksiyonlar
Stringden(dize) den değer atama	Kapalı segmentlerin belli alanlarından, ana eksenlerden (X, Y veya Z) birinin yönünde uzanan segmentlerin(bölümlerin) içerdiği blokların özellik değerlerini belirleme.
Dosyadan aktarma	Önceden hazırlanmış blok değerlerini içeren bir text dosyasında bloklara değer atama.

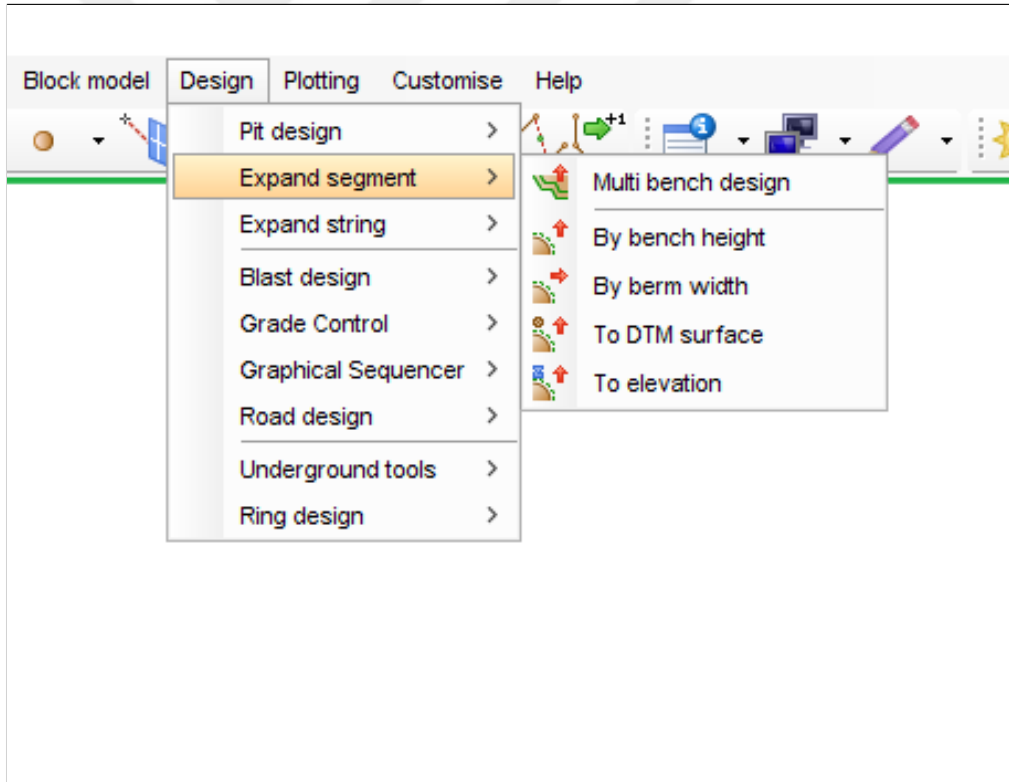


Şekil 3. 14 Blok model üzerinden yapılan işlemler ve sıralaması

Oluşturulan her bir bloğa programın atayacağı analiz değerleri, blok model menüsündeki kestirim(estimation) seçeneği ile belirlenir. Programda tahmin işlemi için mesafenin tersi (inverse distance), normal kriging (ordinary kriging), simple kriging, en yakın komşular (nearest neighbour) yöntemleri bulunmaktadır.

3.1.2.6 Ocak ve yol tasarımı

Açık ocak, yeraltı ocağı ve yol tasarımlarının gerçekleştirildiği modüldür. Açık işletme tasarımında işin mahiyeti uygulanacak yöntemi belirler. Yöntemlerden biri, ocak tabanından veya yüzeyden basamakları tasarlamak şeklinde olabilir. Bu yöntemle aynı anda rampa tasarımı da yapılabilir. Diğer taraftan bir segmentten başlayarak(bu segment ocak tabanı veya sınırı olabilir) artı eksi belli bir yüksekliğe kadar, belirlenen basamak genişlik ve yüksekliğindeki ocak tasarımı gerçekleştirilebilir. Bu durumda rampa tasarımının ayrıca çalışılması zorunludur (Şekil 3.15).



Şekil 3. 15 Ocak tasarımında yöntem seçenekleri

Önceki modüllerde hazırlanan modellerden bir kısmı (topoğrafik yüzey, cevher katı modeli vb) ocak tasarımı çalışmalarında altlık olarak kullanılır.

3.2. Yöntem

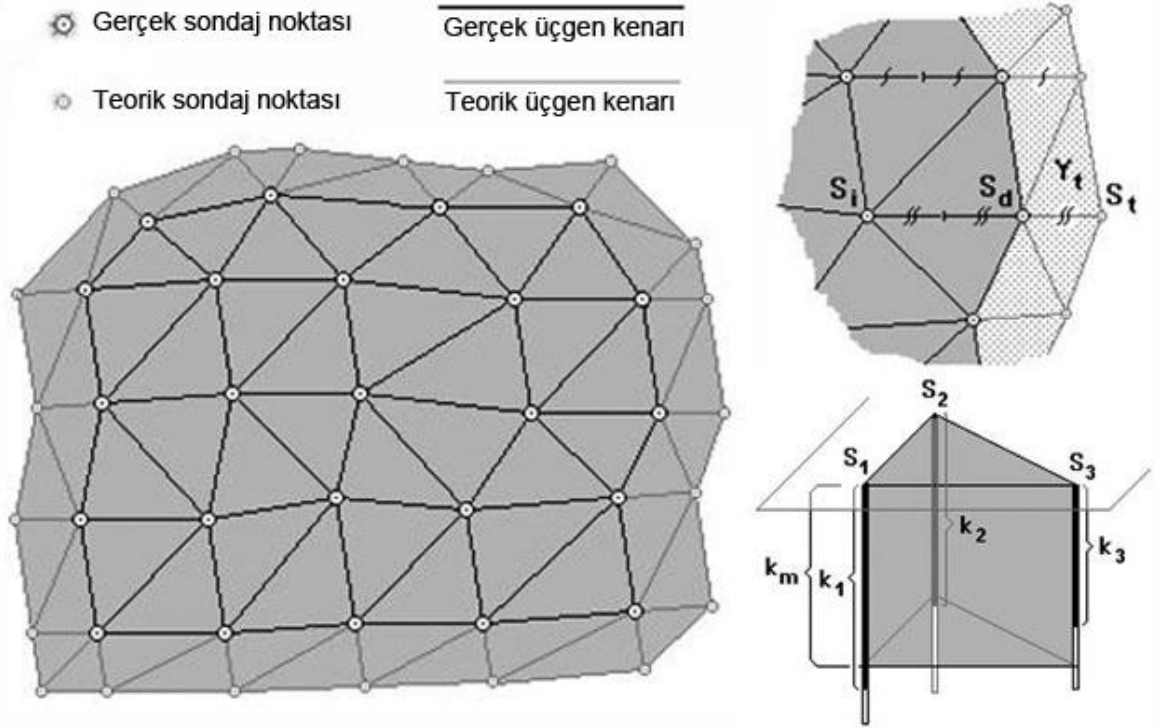
Bir madenin tasarımında ve işletilmesinde kilit nokta, cevher gövde modeli denilen yapının inşa edilmesidir. Maden kaynağı terminolojisi, henüz ne kadarının kazanılacağına bilinmediği bir büyüklük olarak ifade edilir. Rezerv ise, ekonomik koşullar, yasal yönergeler ve teknolojik uygulamalar çerçevesinde ekonomik açıdan çıkarılabilir bir büyüklüktür. Madencilik faaliyetlerinin gelecekte ekonomik anlamda devam edip edemeyeceğinin ilk çalışması, elde edilen çeşitli veriler aracılığıyla rezerv büyüklüğünün farklı yöntemlerle modellenmesi işlemidir. Bu modelleme çalışmasında güvenilir analiz sonuçları, düzenli sondaj dağılımı, yatağın tipi ve oluşumu, seçilen modelleme tekniği ortalama tenör ve tonaj hesabının güvenilirliğini doğrudan etkiler.

İşletilmesi veya üretilmesi planlanan hammadde kaynaklarının rezerv ve tenör dağılımı, genellikle klasik yöntemlerle (örneğin, üçgen prizma, yamuk, poligon, izopak, jeolojik kesit ve blok vb.) hesaplanmaktadır. Üçgen ve poligon yöntemleri, basit oluşları nedeniyle rezerv hesaplamalarında diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilmektedir. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, sondajların birbirleri ile olan mesafeleri arttıkça hesap doğruluk oranının da azalacağına, yöntemlerin doğruluk derecesinin sondaj sayısı ve sağlıklı analiz değerleriyle doğru orantılı olduğunun bilinmesi gerekir. Cevher yatağının homojen bir yapı arz etmesi de hassasiyete katkı sağlayacaktır.

Rezerv hesaplamalarında kullanılan yöntemler; klasik (üçgen, poligon, kesit, eş yükselti eğrileri, mesafenin tersi) ve bilgisayar destekli yöntemler olarak gruplandırılmaktadır.

3.2.1 Klasik yöntemler

i. Üçgen yöntemi: Rezerv hesaplamalarında kullanılan klasik yöntemlerin en basiti üçgen yöntemidir. Bu yöntemde saha içinde rastgele dağılmış olan sondaj noktaları birbirleriyle üçgenler oluşturacak şekilde birleştirilir (Şekil 3.16). Her bir üçgen için alan, ortalama kalınlık, tenör, kalori, nem, kül, kükürt vs. gibi parametreler belirlenir. Alan haricindeki söz konusu büyüklüklerin ağırlıklı ortalaması alınır (Eşitlik 3.1). Her bir üçgenin alanı ortalama cevher kalınlığı ve yoğunluğu ile çarpılarak tonajı elde edilir. Tüm üçgenlerden elde edilen sonuçlardan toplam hacim ve/veya tonaj elde edilir. Yöntemin uygulanışı oldukça zaman alıcıdır.



Şekil 3.16 Üçgen yöntemi

Bir üçgene ait ortalama kalınlık hesabı üçgen iç açılarının cevher kalınlıkları ile ilişkisi esas alınarak,

$$k = k_1 \frac{\alpha_1}{60} + k_2 \frac{\alpha_2}{60} + k_3 \frac{\alpha_3}{60} \quad [3.1]$$

veya kalınlıklarının basit aritmetik ortalaması bulunarak yapılabilir,

$$k = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3} \quad [3.2]$$

Aynı üçgene ait alan A ise hacim,

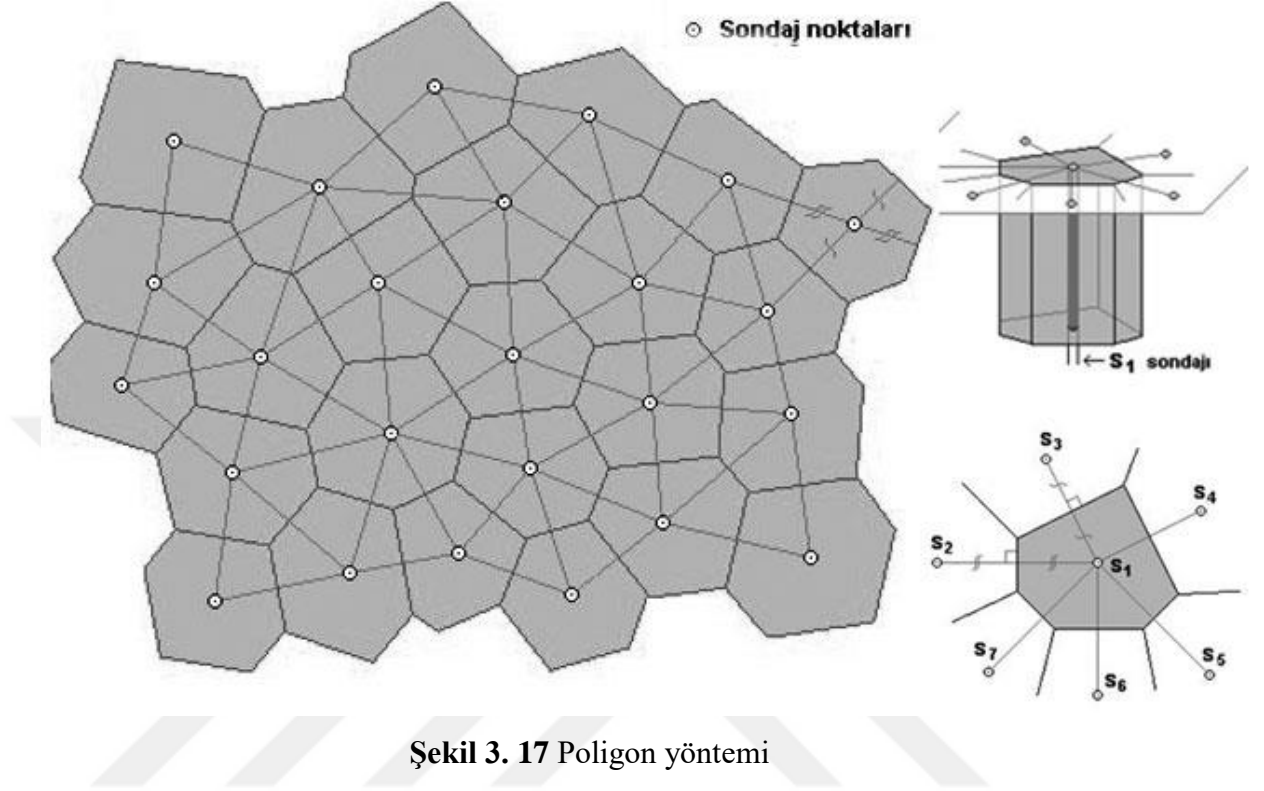
$$V_{\bar{u}} = k \times A_{\bar{u}} \quad [3.3]$$

şeklinde hesaplanır. Toplam hacim ise her bir üçgen için bulunan hacimler toplamıdır.

$$\Sigma V = \Sigma_{i=1}^n V_{\bar{u}} \quad [3.4]$$

ii. Poligon yöntemi: Üçgen yönteminin biraz daha geliştirilmiş şekli ise poligon(çokgen) ya da orta dikme yöntemidir. Burada kullanılan prensip eşit tesir sahaları prensibidir. Bu yöntem üçgen yöntemine benzer, ancak alanın ayrıklaştırılması üçgen yerine çokgenlerle yapılır. Numune noktaları köşede değil, ayrılmış alanın ortasındadır (Şekil 3.17). Veri noktalarının (sondaj kuyuları) orta noktalarından geçen dik doğruların birleştirilmesiyle oluşan poligon içinde kalan

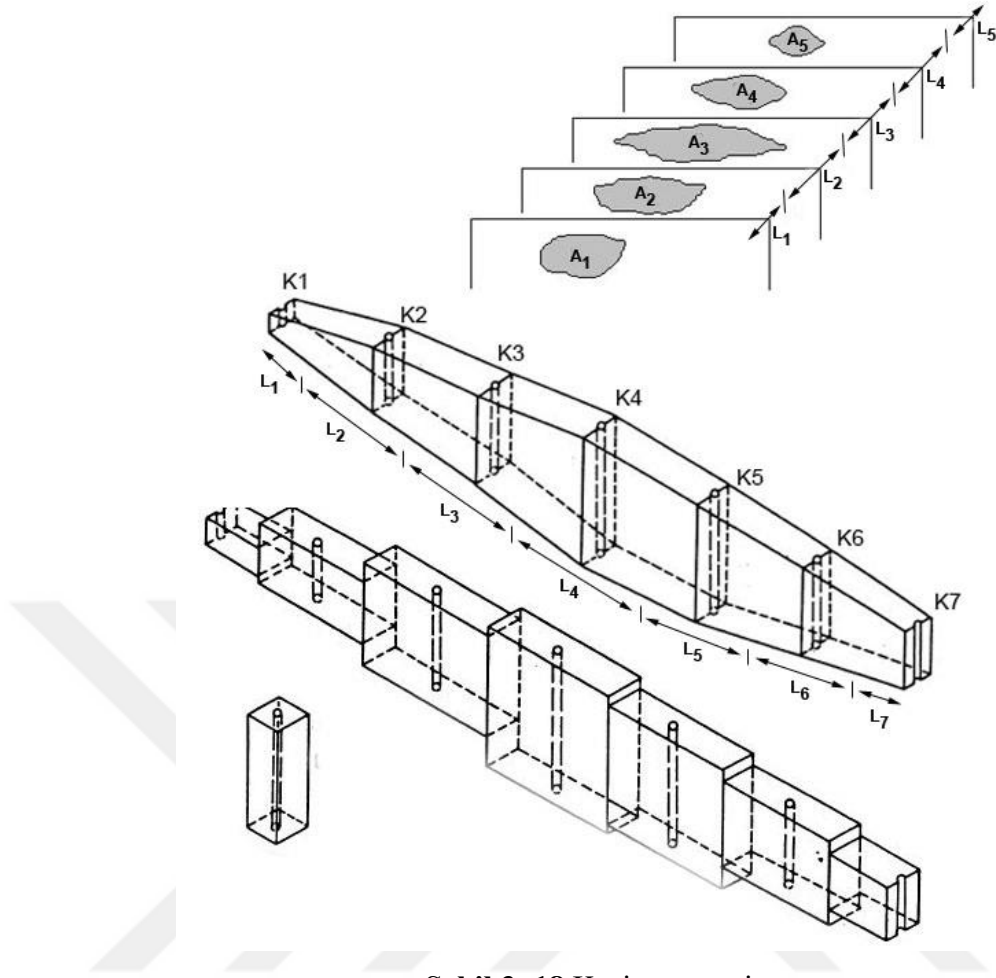
kuyuya ait özellikler, poligonun alanı içinde geçerli kabul edilir (kalınlık, tenör, kalori, nem, kül, kükürt vs. gibi). Her numune noktası, sondaj için ölçülen değeri alır.



Yatay ve yataya yakın yataklarda (özellikle sedimanter yataklarda) başarıyla uygulanmaktadır.

Poligonların oluşturulması ve alan hesaplamalarının basit olmaması, eşit olmayan numune dağılımının kömür dışındaki alanlarda iyi sonuç vermemesi (Felix, 2012) yöntemin eksiklikleri olarak görülebilir. Poligonların alanları ve tespit edilmesi istenen özelliğe ait sondaj değerleri çarpılarak tüm saha için toplam rezerv hesaplanır.

iii. Kesit yöntemi: Kesit tekniği örnekleme noktalarını birbirine bağlar ve kömür yatağı boyunca kesitler oluşturur. Alanlar ve hacimler daha sonra kesit boyunca ve kesitler arasında değişimin doğrusal olduğu varsayılarak hesaplanır. (Şekil 3.18). En kesitlerin oluşturulması halen sıkıcı olsa da, kesit alanları maden planlamasında diğer amaçlar için de yararlıdır.



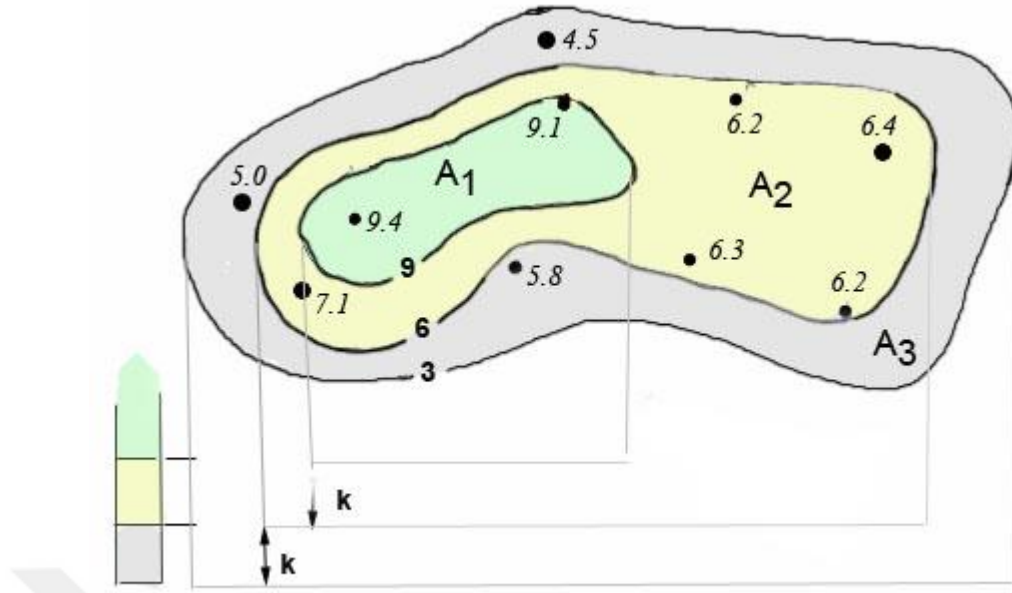
Şekil 3.18 Kesit yöntemi

Kesit alanları Sk_i ve kesit tesir mesafesi L_i olmak üzere kesit yöntemi ile elde edilen toplam cevher hacmi

$$\sum V = \sum_{i=1}^n Ak_i \times L_i \quad [3.5]$$

eşitliği ile bulunmaktadır. Bu yöntemde hacim hesabının yukarıda ifade edilen işlemler dışında farklı yaklaşımlarla da yapılabildiği not edilmelidir.

iv. Eş kalınlık eğrileri yöntemi: Eş kalınlık haritaları, bir noktadan diğerine kademeli ve kesintisiz değişimin olduğu varsayımıyla bilinen noktalar arasında yapılan kestirim işlemiyle oluşturulan haritalardır. Amaca uygun olarak yükseltelerin, sıcaklık değerlerinin eş eğrilerinden bir harita oluşturulabileceği gibi bu yöntemle bir rezerv hesabı için de numune noktalarından alınan verilerle eş kalınlık eğrileri elde edilebilir (Şekil 3.19). Her kalınlık düzeyindeki alanlar, harita eğer sayısal ise bilgisayar vasıtasıyla, değilse planimetre ile bulunarak ardışık alan çiftleri arasındaki hacim ortalama alanlar kuralı ile hesaplanır. Yatağın tamamına ait rezerv, ayrı ayrı bulunan bu hacimlerin toplamıdır.



Şekil 3.19 Eş kalınlık eğrileri yöntemi

$$\Sigma V = \Sigma_{i=1}^n \frac{A_i + A_{i+1}}{2} \times (k_{i+1} - k_i) \quad [3.6]$$

V = İki kalınlık eğrisi arasındaki hacim (m³)

A = Ardışık iki eğri arasında kalan alan (m²)

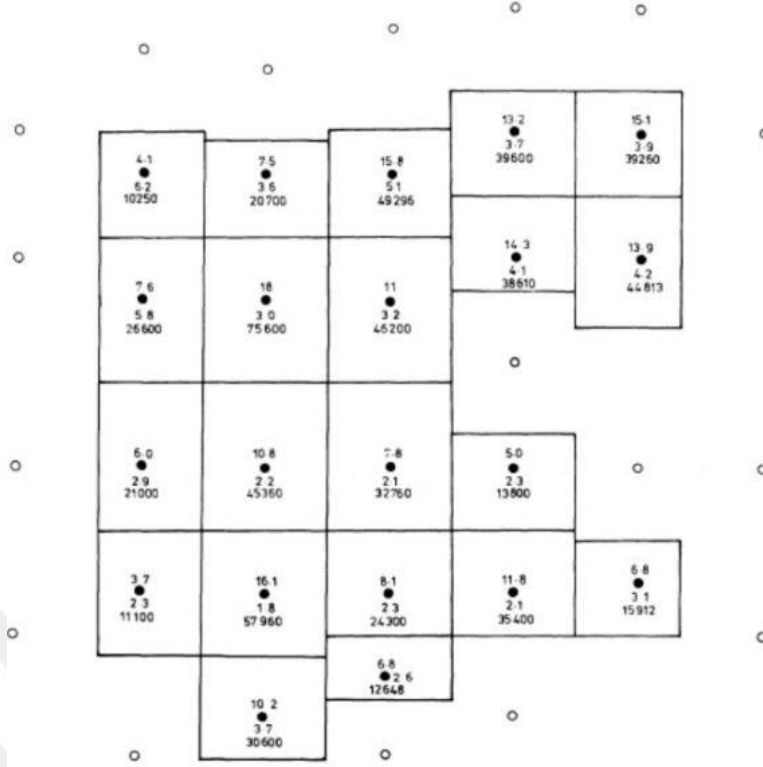
k = kalınlık (m)

Farklı kalite miktarlarının belirlenmesinin, eş kalınlık ve eş kalitesinde şablonların üst üste gelmesi nedeniyle manuel olarak yapılması çok zordur. Bu yöntem şu anda öncelikli olarak bilgisayar yardımı ile kullanılmaktadır (Felix, 2012).

Düzensiz sondaj aralıklarında oldukça kullanışlıdır. Haritada yatağın kalınlık değişimini kolaylıkla görmek mümkündür.

v. Düzenli bloklar yöntemi:

Grid panelinin içine en az bir sondaj düşecek şekilde uygun boyut ve düzene bir grid oluşturulur (Şekil 3.20). Yatağın tahmin edilen genel ortalama değeri, tek tek panel değerlerinin kalınlık ağırlıklı ortalaması olarak kabul edilir.



Şekil 3. 20 Düzenli bloklar yöntemi

Bu basit teknikler, bir etki alanı içindeki kalınlık veya kalitenin eşit olduğunu varsayar. Popüler oluşlarını basitliklerine borçludurlar.

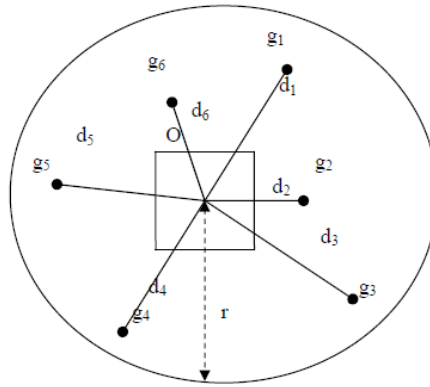
Bilgisayarların yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte, klasik geometrik rezerv hesaplama yöntemlerine göre kısa sürede daha doğru sonucun alınabileceği tekniklerin geliştirilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Bilgisayar destekli bu yöntemlerin avantajı, rezerv hesaplamalarını istenilen saha sınırları içinde farklı senaryolarla çabuk ve hesaplamalardaki insan kaynaklı hatalardan arınmış olarak doğru yapabilmeleri ve hesaplanan belirli bir değerle ilgili olarak olası hata miktarını verebilmeleridir. Bu tür yöntemlerin tamamı Bilgisayar destekli yöntemler olarak adlandırılmaktadır.

3.2.2 Bilgisayar destekli yöntemler

Bilgisayar donanımlarındaki gelişmelere paralel olarak Bilgisayar destekli tasarım yazılımları daha doğru ve kısa sürede cevher rezervlerinin hesaplanmasını ve maden planlamasını mümkün kılmıştır.

i. Klasik yöntemler: Klasik yöntemlerle yapılan hesaplamaların bilgisayar yazılımları aracılığı ile yapılmasıdır. Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen hesaplamalar neticesinde daha kısa zamanda doğru sonuç almanın yanında farklı senaryoları da test etme imkanı elde edilmiş olmaktadır.

ii. Mesafeyle ters ağırlıklı yöntem: Sondajların birbirleri ile olan ilişkileri aralarındaki mesafeyle tanımlanır ve bir fonksiyon olarak ifade edilir. Bu şekilde oluşturulan bloklara değer atanabilmesi için o nokta etrafındaki sondajların ortalama etki ağırlıkları belirlenir (Şekil 3.21).



Şekil 3. 21 Mesafeyle ters ağırlıklı yöntem

Atama yapılacak noktaya, yakın kuyuların daha fazla, uzak kuyuların daha az etki etmesini sağlayarak, değer yaymada kullanılan bir metottur. Mesafenin tersiyle ağırlıklı ortalama alınmaktadır (Eşitlik 3.7-3.9).

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^m}} \quad [3.7]$$

Z_0 = Değer ataması yapılacak nokta

Z_i = Tesir alanı içindeki numunelerin değeri $i = 1,2,3,\dots,n$

d_i = i numaralı numunenin o noktasına uzaklığı

m = Mesafenin kuvveti (genelde 2)

m kuvveti, devamlılığın az olduğu hallerde daha yüksek tutulur. Genelde 2 alınır ve metod ters mesafe karesi adını alır.

$$g_0 = \frac{\sum \left[\frac{g_i}{d_i^2} \right]}{\sum \left[\frac{1}{d_i^2} \right]} \quad [3.8]$$

$$g_0 = \frac{\left[\frac{g_1}{d_1^2} \right] + \left[\frac{g_2}{d_2^2} \right] + \dots + \left[\frac{g_6}{d_6^2} \right]}{\left[\frac{1}{d_1^2} \right] + \left[\frac{1}{d_2^2} \right] + \dots + \left[\frac{1}{d_6^2} \right]} \quad [3.9]$$

r =etki yarıçapı

g_i = i numaralı numunenin tenörü, (%)

d_i = i numaralı numuneyle o bloğu arasındaki mesafe, (m)

Yöntem, tenör dışında kalınlık, topoğrafik yükseklik, kalori ve sair bütün değerlerin yayılması için kullanılmaktadır.

iii. Jeostatistik: Klasik yöntemlerle yapılan rezerv hesaplamaları yaklaşık bir sonuç verir. Jeostatistik yöntemlerin bu yöntemlerden ayırıcı farkı, rezerv tenörünü belli bir hata sınırı içinde ifade ederek güvenilirliğini kuvvetlendirmesidir. Bu yöntemlerde, kömür sahası bloklara bölünmekte ve blokların tenör, kalorifik ve kül gibi içerikleri kriging yöntemiyle tahmin edilmektedir.

Jeostatistik kavramı, istatistik disiplininin ortaya çıkardığı yöntemlerle jeolojik olayları anlama amacına yönelik çalışmaları ifade eden bir kavramdır. Madenlerin değerlendirilmesi söz konusu olduğunda, numunelerle elde edilen gerçek verilerin sahanın tamamına yayılması çalışmaları anlaşılmalıdır.

Bir mineral gövdesi içindeki numune değerlerinin mekansal ilişkilerinin anlaşılmasını sağlayan, jeostatistiksel modelleme teknikleri, Krige (1951, 1952 ve 1962) tarafından yapılan deneysel çalışmalardan yola çıkarak Matheron tarafından olasılıklı bir yorumla (1963) geliştirilen ve bölgeselleştirilmiş değişkenler teorisi (1971) olarak bilinen teorik kavramlar kümesine dayanmaktadır. Jeostatistiğin temel prensibini bölgesel değişkenler teorisi oluşturur. Konumuyla ilişkili olan (mekânsal korelasyon özellikli)

ve hacmi olan herhangi bir değişken, bölgeselleştirilmiş bir değişken olarak adlandırılır. Aslında, yer bilimlerinde karşılaşılan hemen hemen tüm değişkenler, bölgeselleştirilmiş değişkenler olarak kabul edilebilir (Pandey, 2014).

Numunelerin, üç boyutlu koordinat sistemi (uzay) içindeki yeri ile değerleri arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak açıklayan, sahadaki mevcut verileri kullanarak olabildiğince yakın rezerv gerçekliğini çoğaltmayı amaçlayan *bölgesel değişkenler* kavramı, rasgele olmayan davranışın matematiksel bir fonksiyonla ifade edilmesidir ve jeostatistiğin de esasını teşkil eder. Bu esas, numunenin değeri kadar, bulunduğu pozisyon ve yönü de dikkate almaktadır.

Jeostatistiksel yöntemler, veriler normal dağılımlı ve değişmez (ortalama ve varyans arasında 3 boyutta (uzaysal) belirgin bir farkın olmaması) ise tercihi daha uygun yöntemlerdir (Bohling, 2005). Bu yöntemler, yatağın doğal özellikleri, mineralizasyon eğilimine göre numunelerin birbirine bağımlılığının sürekliliğindeki değişiklik, numune değerlerinin birbirine bağımlılığı gibi jeolojik kavramları nicelik olarak tanımlamak amacıyla numune (sondajlar) değerleri arasındaki ilişkilerin anlaşılmasını sağlarlar. Bu niceliklere dayanarak;

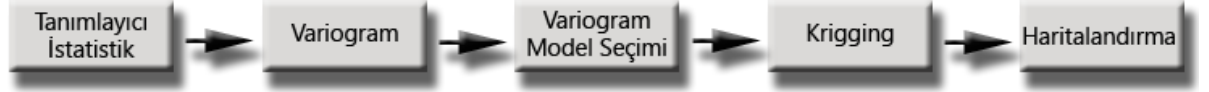
-rezervi minimum varyansla ve diğer yöntemlere göre en az hata ile hesaplar,

-hem yerel ölçekte hem de küresel ölçekte bir tahmin hatası verirler.

Geometrik yönteme göre ayırıcı özelliği, bu iki kriterdir. Bu nedenle jeostatistik, cevher yatak modellemesinde belirli bir bölgeselleşmiş yapı oluşturmaları koşuluyla, kaynağın değerlendirmesinde önemli bir merhaleyi gösterir.

Jeostatistiksel yöntemlerde ilk olarak sondaj değerlerinin istatistiksel incelemesi yapılır. Maden yatağının iki veya üç boyutlu variogram analizlerinden sonra, sondajların birbirleri ile olan ilişkileri incelenerek yatağın değerlendirilmesinde temel alınan değişkenlerin mesafeye bağılı değişimi matematiksel olarak modellenir. Bu incelemeden sonra saha düzenli bloklara ayrılmakta ve elde edilen variogram parametreleri kullanılarak bu bloklara değer ataması yapılmaktadır. Bloklara değer atanmasında kriging, n' inci dereceden uzaklığın tersi, en yakın komşu, direk atama ve stringlerden atama teknikleri en çok kullanılan tekniklerdir. Böylece sahadaki her bloğun içerdiği rezerv, tenör veya başka diğer parametreler elde edilmektedir.

Takip edilen adımlar, kısaca, tanımlayıcı istatistik değerlerinin belirlenmesi, verinin 2 eksenli koordinat sisteminde yayılımının gösterilmesi, variogram fonksiyonunun belirlenmesi, variogram fonksiyonuna uygun bir modelin seçilmesi, Krigging, çapraz doğrulama ve 3 eksenli değişim haritasının çizilmesi olarak belirlenebilir (Şekil 3.22).



Şekil 3. 22 Jeostatistiksel yöntemde iş akışı

Basit olarak ifade etmek gerekirse; jeostatistik uygulaması variogram modelinin oluşturulması ve numune değerlerinin sahaya yayılmasını kapsayan kriging işleminin tamamlanması şeklinde iki ana aşamada gerçekleşmektedir.

a) Variogram:

Variogram, daha önceden belirlenmiş bir yönde örneklenmiş numune çiftleri arasındaki değerlerin farklarını tanımlayan bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır (Journel vd, 1984).

Variogram analizi ise veri dağılımının mesafe ve yöne göre değişiminin belirlenmesidir. Variogram fonksiyonu bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimlerini ortaya koymaktadır ve uzaysal sürekliliği karakterize etmektedir. Maden yatakları için tenör, kalınlık vb. arasındaki uzaysal korelasyonu anlatan ve bunu miktar olarak belirten bir fonksiyona karşılık gelmektedir.

Birbirinden h vektörü ile ayrılmış x ve $x + h$ noktalarında, $Z(x)$ ve $Z(x + h)$ sayısal değerli iki nokta düşünüldüğünde, bu iki sayısal değer arasındaki değişkenlik, rasgele değişkenin olasılığı $\{ [Z(x) - Z(x + h)]^2 \}$ olarak ifade edilen variogram fonksiyonu $2\gamma(x, h)$ ile tanımlanmaktadır (Eşitlik 3.10)(Journel vd, 1984).

$$2\gamma(x, h) = \Sigma \{ [Z(x) - Z(x + h)]^2 \} \quad [3.10]$$

Genellikle, $2\gamma(x, h)$ variogramı hem x noktasının hem de h vektörünün bir fonksiyonudur. Bu yüzden variogramın analizi (değerlendirilmesi), rasgele değişkenler olarak ifade edilen ve $[Z(x), Z(x + h)]$ ikilisinden oluşan numune setleri $[Z_k(x), Z_k(x + h)]$, $[Z_{k'}(x), Z_{k'}(x + h)]$, $[Z_{k''}(x), Z_{k''}(x + h)]$ ile birkaç işlemin gerçekleştirilmesini (yapılmasını) gerektirir. Uygulamada, en azından madencilik uygulamalarında, $[Z(x), Z(x + h)]$ gibi yalnızca tek bir gerçekleşme mevcuttur ve bu da x ve $x + h$ noktalarındaki ölçülen gerçek değer çiftine karşılık gelir. Bu sorunun çözümü için *intrinsic hipotezi* ortaya atılmıştır. Bu hipotez variogram fonksiyonu $2\gamma(x, h)$ ' ın sadece ayırma vektörü h ' a bağlı olduğu, x lokasyonundan bağımsız olduğu şeklindedir. O zaman variogram $2\gamma(x, h)$ 'ı mevcut verilerden tahmin etmek mümkün olmaktadır: $2\gamma(x, h)$, h vektörü ile ayrılmış $Z(x_i), Z(x_i + h)$ gibi herhangi iki noktadaki ölçülmüş deneysel veriler arasındaki farkın karelerinin aritmetik ortalamasıdır (Eşitlik 3.11) (Journel and Huijbregts, 1978).

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad [3.11]$$

Burada,

$2\gamma(h)$: h mesafeli değişkene bağlı variogram fonksiyonunu,

$N(h)$: h vektörü ile ayrılmış $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ numune çiftlerinin sayısını,

$Z(x)$: x noktasındaki Z değerini.

$Z(x + h)$: x noktasından h kadar uzaklıkta bulunan noktanın ($x+h$ noktası) Z değerini ifade etmektedir.

Intrinsic hipotezinin, $[Z(x) - Z(x + h)]$ arasındaki farkın mekana bağlı sabit ortalama ve varyans (second-order stationarity) hipotezi olduğuna dikkat etmek gerekir. Bu durum, D bölgesindeki $Z(x)$ ve $Z(x + h)$ tenörleri arasındaki değişebilirlik yapısının eğer D deki minarelleşme homojen ise sabit ve bu yüzden de x den bağımsız olduğu anlamına gelir.

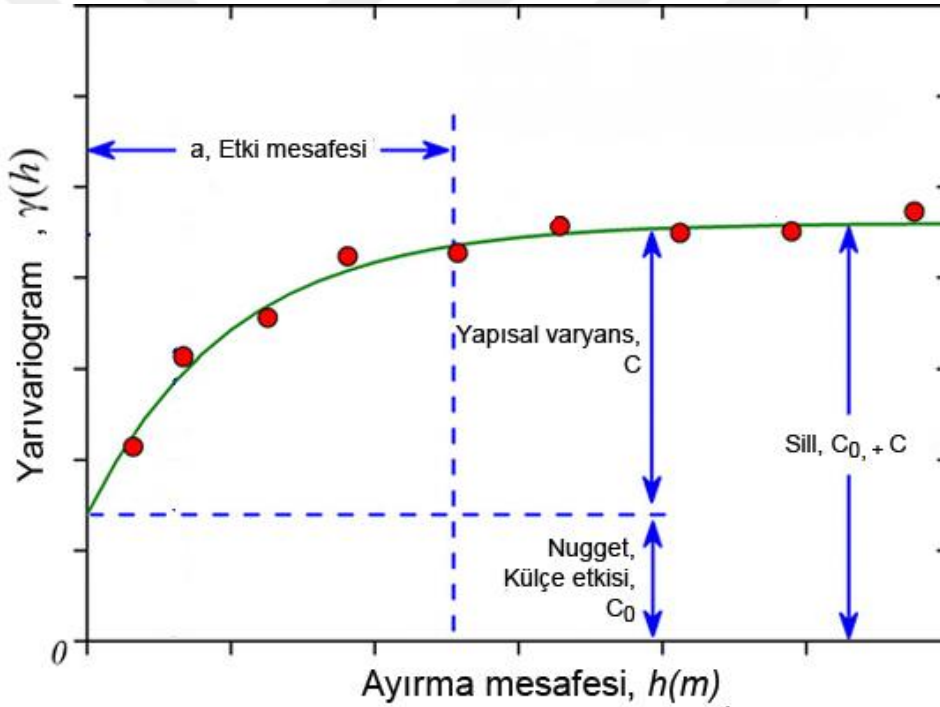
Intrinsic hipotezi, rasgele fonksiyon $Z(x)$ ' ın durağanlık hipotezi kadar güçlü değildir. Uygulamada, *Intrinsic hipotezi* belirli bir bölgeyle sınırlandırılarak azaltılabilir. Böyle bir durumda, $\gamma(x, h)$ fonksiyonu iki terimli olarak ifade edilebilir; $\gamma(x, h) = f(x)$.

$\gamma_0(h)$, D bölgesi üzerinde gerçek bir değişkenlik sabitidir ve $f(x)$, x lokaline bağlı değişkenlik yoğunluğunu temsil eder (Journel vd, 1984).

Eşitlik 3.9'da yer alan $\gamma(h)$ ifadesi yarıvariogram(jeoistatikselsel varyans) olarak tanımlanmaktadır ve söz konusu eşitliğin her iki tarafının 2 ye bölünmesi ile elde edilir (Eşitlik 3.12).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x) - Z(x + h)]^2 \quad [3.12]$$

Yarıvariogram model bileşenlerine ait sayısal değerler, daha sonra yapılacak tahmin aşamalarında veri olarak kullanıldığından aşağıda bu parametrelere ait açıklayıcı bilgiler özetlenmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3. 23 Yarıvariogram modeli ve bileşenleri

- i. **Sill ($C + C_0$):** Variogramın eşik (sill) değeri, fonksiyonun belirli bir dönüm noktasına ulaştığını gösterir.
- ii. **Külçe etkisi (C_0):** Yarıvariogramın külçe etki değeri (nugget), variogram değerinin $h=0$ uzaklığındaki değeridir. Numune alma mesafesi $h=0$ iken, normalde, numune alınan yerin üstünde bulunulduğu varsayılarak, $\gamma(h)$

varyans değerinin de sıfır olması gerektiği düşünülür. Ama, genellikle bir varyans grafiği, $h=0$ mesafesindeki varyansın ($\gamma(h)$) sıfır olmadığını ve bir külçe etkisine sahip olduğuna işaret eder. Örnekleme mesafesinin fazla olması ve düzgün dağılımın olmaması, verilerin yetersiz olması gibi durumlarda külçe etkisinin arttığı görülür.

iii. a : Küresel yarıvariogramda, yarıvariogramın tepe noktasına (sill,eşik, C_0+C) ulaştığı (h) mesafesidir Bu mesafeden sonra numunelerin birbirleriyle korelasyonunun olmadığı, sıfırlandığı anlamına gelir. Variogram eğrisinin, mesafe (h) eksenini ile paralellik gösterdiği nokta olarak değerlendirilebilir. Bu paralel eğri artık her (h) mesafesinde aynı $\gamma(h)$ değerine (varyansa) sahiptir ve 'sill' (eşik) olarak adlandırılır.

iv. Anizotropi; Variogramlar, mesafe(h) - variogram değeri($\gamma(h)$) arasındaki ilişkinin yanında, mesafe(h) - yön ilişkisini de açıklamaya çalışır. Variogram fonksiyonu, numune değerlerinin h mesafesindeki değişimini tek bir yön için izah eder. Bir cevher yatağının farklı yönlerdeki yarıvariogram mesafe – değer ilişkisinin de belirlenmesi gerekir.

Variogramda izotropik tanım, cevher yatağının bütün yönlerde aynı özellikleri göstermesi durumuna karşılık gelir. Eğer, yarıvariogram modeli (uzaysal değişkenlik: spatial variation) yön ile değişirse anizotropi oluşur. Bu durumda farklı yönlere ait variogramlar aynı eşik (sill), fakat farklı etki mesafelerine (a) sahiptirler.

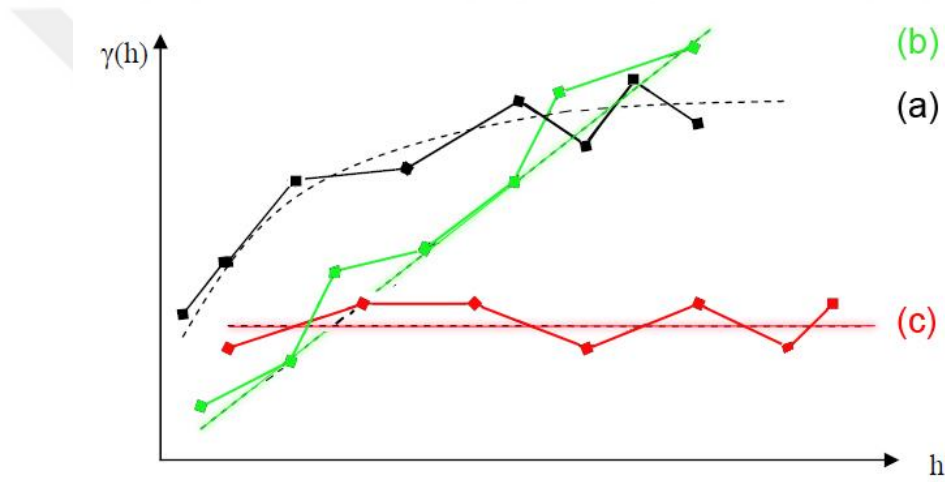
Yarıvariogram modellemesinde iki tür anizotropik durum söz konusudur. (Yünsel, 2007).

i. Geometrik anizotropi: Yönlü yarıvariogramlar aynı "sill" değerlerine sahip farklı "etki mesafesi" değerlerine sahipse geometrik anizotropiden bahsedilir. Değişkenin dağılım mesafelerinin yönlere göre farklı olmasından kaynaklanır.

ii. Zonal anizotropi: Yönlü yarıvariogramlarda "sill" değerleri yön ile değişiyorsa, "etki mesafeleri (değerleri) aynı ise bu durumda zonal anizotropi (stratigrafik tabaklanma) oluşur. Yarıvariogram eğrisi beklenen sill varyansına ulaşmamaktadır. Mineralleşmenin farkından kaynaklanır.

Bir jeostatistiksel çalışmada temel teorik çalışma çerçevesinin oluşturulmasından ve sahada değişimin yapısını temsil eden bir yarıvariogram modelinin tanımlanmasından sonra, maden yatağı hakkında *mineralizasyonun sürekliliği, etki alanı ve etki alanının yönlerine göre değişimi* gibi bilgilere ulaşılabılır. Yarıvariogram, uygulanan veri setinin türüne göre iki ve üç boyutlu olabilir.

Bu eşitliğin madencilikteki karşılığı, maden yatağının ilgili bölgesel değişkeni için ne gibi özellikler gösterdiğinin belirlenmesidir. Örneğin bu fonksiyon bilindiğinde değişkenin homojenlik ve izotropluk dereceleri, düzenliliği, devamlılığı ve bir örneğin etkili olduğu uzaklık, sayısal olarak belirlenebilmektedir (Şekil 3.24)



Şekil 3. 24 Yarı variogramın özellikleri

- (a) Aralığın (h) artmasıyla, istikrarlı bir şekilde orijinden itibaren artan bir varyans eğrisi mineralizasyonun sürekliliğine işaret eder (Şekil 3.24).
- (b) İstikrarlı, sürekliliği yüksek, doğrusal bir h- γ ilişkisi olduğu anlamına gelir (Şekil 3.24).
- (c) Numuneler arasında bir ilişkinin ve mineral devamlılığın olmadığı, bu nedenle jeostatistik yaklaşımla herhangi bir işlem yapılmaması, bilinen olasılık hesaplarının uygulanabileceğine işaret eder (Şekil 3.24).

b) Kriging

Kriging, tamamen variogram modeline dayanan ve örneklenmiş değerlerin doğrusal kombinasyonunu kullanan bir jeostatistik tahmin tekniğidir. Kriging ismi, yöntemi ilk geliştiren Güney Afrikalı maden mühendisi Daniel Krige' den gelmektedir. Teknik, ilk kez Krige (1951) tarafından yayınlanmıştır. Kriging ile ilgili matematiksel denklemler ve kavramlar Matheron tarafından formüle edilmiştir.

Kriging, bölgeselleştirilmiş değişkenler ve variogram modeli teorisine dayanan istatistiksel bir yöntemdir. Kriging tahminindeki temel amaç, komşu örneklerden faydalanılarak ağırlıklı ortalama ile bir değer üretmek, komşu parametrelerin kombinasyonu ile örneklenmiş bir noktaya ait kestirimi elde etmektir. Kriging, Bir bloğun değerini (tenör, kalınlık, vb.) bloğun içinde veya yakınındaki örnek değerlerinin lineer kombinasyonu olarak hesaplayan jeostatistiksel bir araçtır. Kriging'in özelliği, hata varyansını minimuma indirmesi ve böylece kestirim için en iyi lineer denklem sistemini oluşturmasıdır. Bu teknik, ortalamanın sabitliği alanını yakın komşu örnekleri ile sınırlandırır, ortalamanın yerel varyasyonunu hesaplar. En iyi doğrusal olmayan tahmin yöntemi olarak kabul edilir. Kriging, olasılıksal sınırlar içerisinde;

- i. Hata varyansını en aza indirme,
- ii. Sistemik olarak tahmin hatalarının ortalamasını sıfıra ayarlama işlemlerini yapmaya çalışır. Bu yöntemle aşırı fazla veya az tahminlerin önüne geçilir.

Kriging yöntemleri arasında basit, sıradan, evrensel ve iç krigleme gibi çeşitlerini saymak mümkündür. Bu teknikler içerisinde normal kriging tekniği, en basit ve en yaygın kullanılan krigleme tekniğidir. Ortalaması bilinmeyen bir değişkenin doğrusal krigasyonuna normal krigleme denir.

4. ÖRNEK BİR SAHA ÜZERİNDE BİLGİSAYAR DESTEKLİ CEVHER MODELLEMESİ VE AÇIK İŞLETME TASARIMI

Herhangi bir açık ocak tasarımının amacı, emniyet, cevher kazanımı ve mali kazancı dikkate alan optimum bir kazı konfigürasyonunu sağlamaktır. Açık işletme tasarımında, işletme şevlerinin açık işletme ömrü boyunca ve hatta işletmenin kapatılmasından sonra bile duraylı kalması ve/veya en azından bir duraysızlık durumunun yönetilebilir olması beklenmektedir. Aynı zamanda, madenin ömrü boyunca ekonomik gereklilikleri de karşılayacak şekilde cevher kazanımı maksimize ve dekapaj miktarını minimize eden yaklaşımlar dikkate alınmaktadır. Bu ekonomik ve teknik konulara ek olarak, çevresel kaygılar da vazgeçilmezler bağlamında görülmektedir.

Maden işletme planlarının optimum bir şekilde yapılabilmesi için öncelikle maden sahasının üç boyutlu katı modelinin hassas bir şekilde elde edilmesi gerekmektedir. Ayrıca cevhere yönelik büyüklükler (tenör, kül, kalori, nem, tonaj vb) uygun şekilde belirlenmelidir. İlave olarak sahada yapılmış olan jeoteknik ve hidrojeoloji çalışmalarından yararlanılması zorunlu olmaktadır.

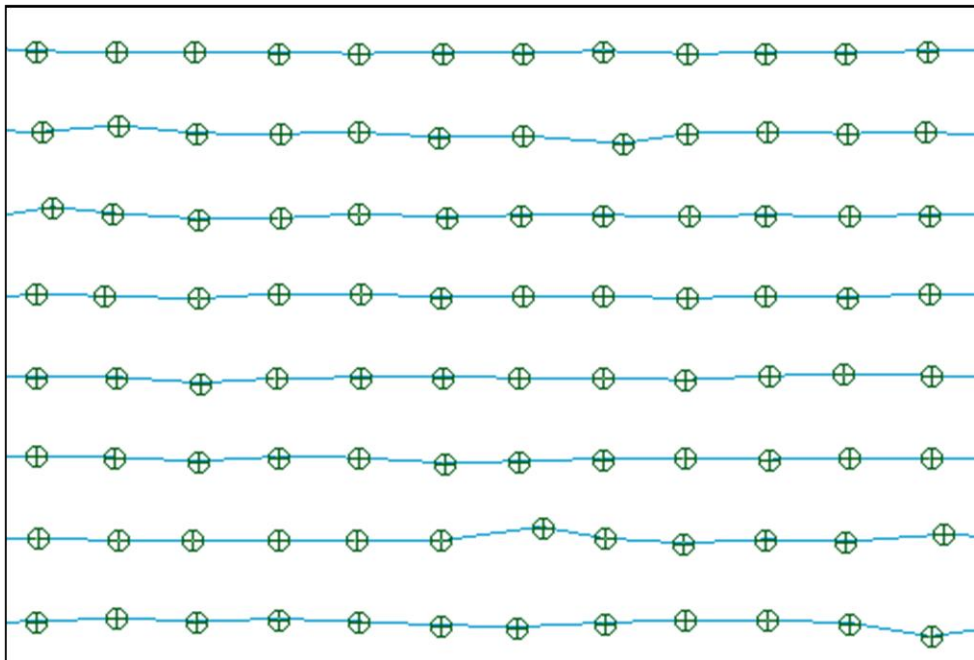
Bu çalışmada örnek bir saha üzerinde cevher yatağı modelleme ve rezerv tahmini ile açık işletme planlaması için Surpac yazılımı kullanılmıştır. Planlama 10 yıllık bir üretim planlaması hedeflenerek yapılmıştır. Saha Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğüne (EÜAŞ) ait olup sahaya ait veriler ticari sır olduğundan sahanın tamamını kapsayan bilgilere yer verilmemiştir.

4.1 Rezerv Katı Modelin Oluşturulması

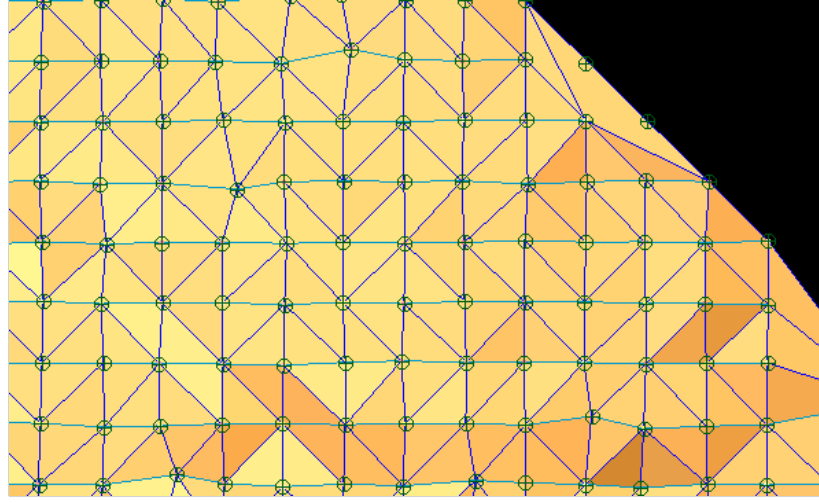
11 Ocak 2017 tarihli “Kahramanmaraş Aşın-Elbistan kömür Havzası E-sektörü Şev Tasarımı” adlı hizmet protokolü kapsamında proje ekibince sayısallaştırılmış olan sondaj verileri surpac yazılımının istediği düzen içerisinde veri tabanına aktararak görüntülenmiştir (Şekil 4.1). Bu verilerden yararlanılarak cevher sınırlarını belirlemeye yönelik çalışmalar sürdürülmüştür. Her bir sondajda cevherin tavan ve taban sınırları baz alınarak ayrı ayrı cevher tavan ve taban string dosyaları hazırlanmış ve görüntülenmiştir (Şekil 4.2). Söz konusu string dosyalarından yararlanarak cevher tavan ve taban yüzey modelleri elde edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4. 1 Sondajda kalorifik değerler

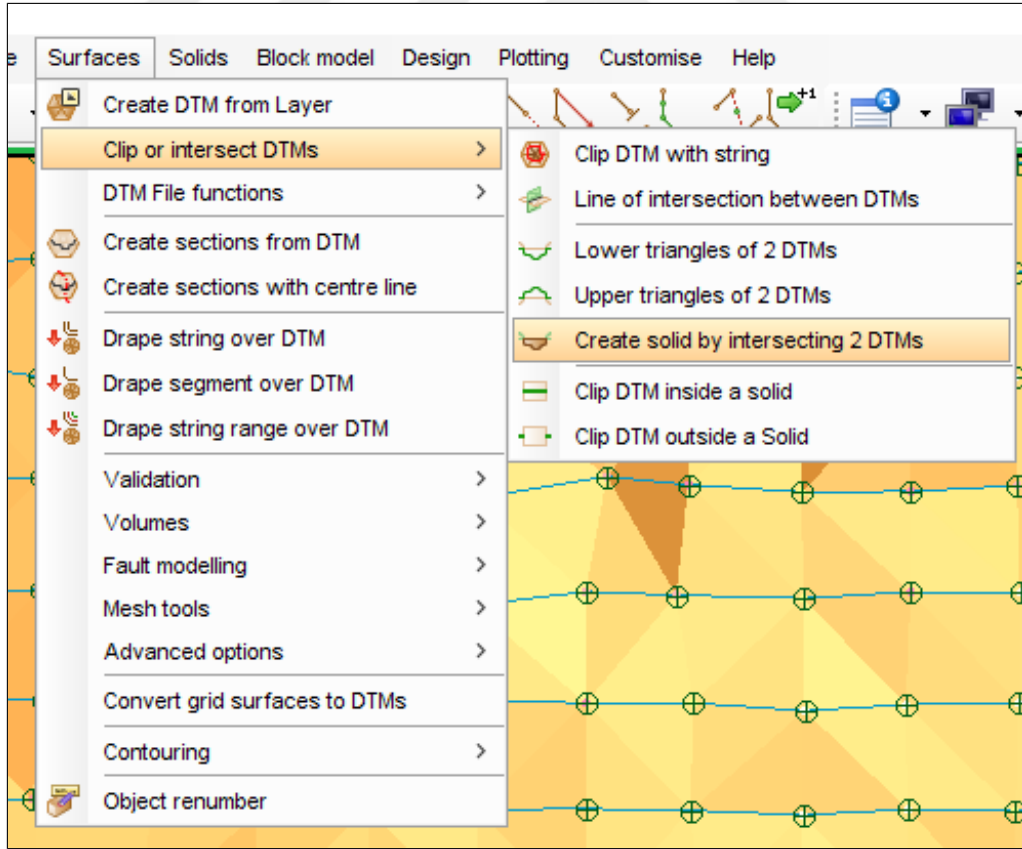


Şekil 4. 2 Cevher tavan stringleri

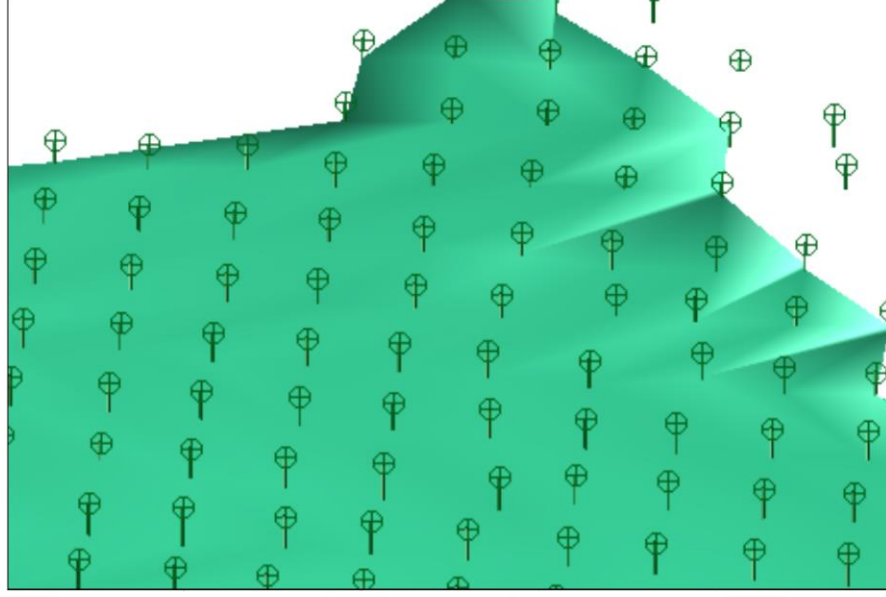


Şekil 4. 3 Cevher tavan yüzey modeli

Tavan ve taban yüzey modellerinden yararlanarak (Şekil 4.4), cevher katı modeli elde edilmiş (Şekil 4.5), cevher bloğunun geometrisi bir dosya halinde varsayılan klasöre kaydedilmiştir.



Şekil 4. 4 Cevher katı modeli elde etmek için kullanılan komut



Şekil 4. 5 Cevher katı modeli

4.2 Blok Model Yardımıyla Rezerv Hesabı

Kömür rezervi SAM ve kalorifik değere bağlı olarak oluşturulan blok model yardımıyla mesafenin tersi, yakın komşular ve jeostatistik yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Söz konusu yöntemlerle bloklara kalori atamaları yapılmış ocak tasarımından sonra yıllara göre ayrıntılı bir üretimin tablosu oluşturulmuştur.

4.2.1 Blok model

Maden sahasındaki cevher rezervine ait büyüklükleri tespit etmek amacıyla veri tabanındaki tenör, kalorifik, kül oranı vb değerleri kullanılmaktadır. Bu amaçla, söz konusu maden sahası bloklara bölünmekte ve blokların kalorifik ve kül gibi içerikleri farklı yöntemler uygulanarak belirlenmektedir.

Blok modelin bir katı modelleme aracı olduğu ve model alanının da cevher rezervinin uzaysal uzantı değerleri olduğunun bilinmesi gerekir. Minimum Kuzey(Y), Doğu(X) ve Yükseklik(Z), Maximum Kuzey(Y), Doğu(X) ve Yükseklik(Z) modelin uzantı değerleridir.

Programda uzantı değerlerine manuel olarak müdahale edilebilmektedir. Daha önce çalışması yapılmış, örneğin nihai açık ocak veya cevher stringlerinden yararlanarak

uzantı değerlerini tespit etmek m¼mk¼nd¼r. Stringden aktarılan sınır değerleri man¼el m¼dahale ile az miktarda genişletilmiştir (şekil 4.6-4.7). Ana blok içindeki değer ataması yapılacak blokların boyutları tespit edilirken cevher rezervinin kalınlığı, basamak y¼kseklik ve genişlikleri g¼z ¼n¼nde bulundurulmalıdır.

Creating new block model definition

Model name aaa.mdl

Description

Define model using Min/Max coords
 Origin coords/extents

Extents **Rotation**

Get extents from string file ?

Coordinate extents

Minimum coordinates		Maximum coordinates	
Y 4242000	Y	4244800	Y
X 332900	X	336200	X
Z 980	Z	1200	Z

User block size

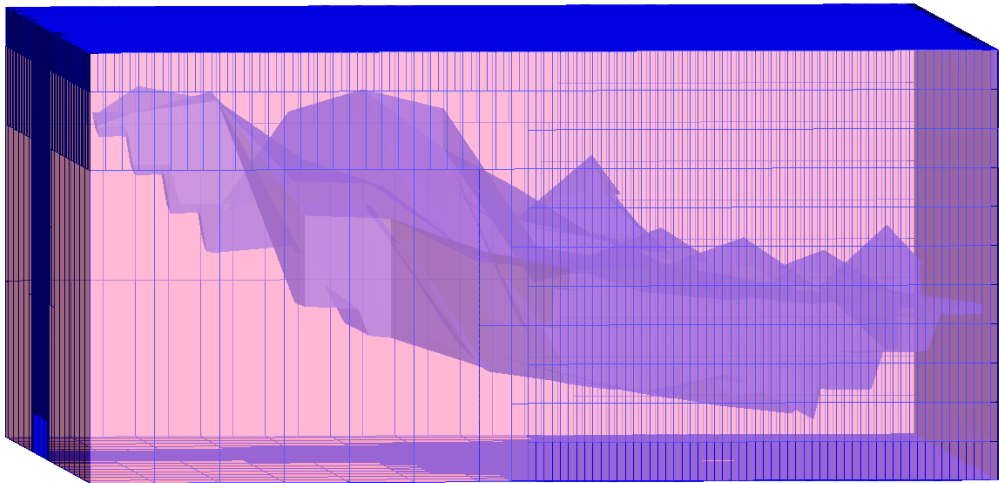
Y 25
X 25
Z 20

Sub blocking None

Maintain audit trail

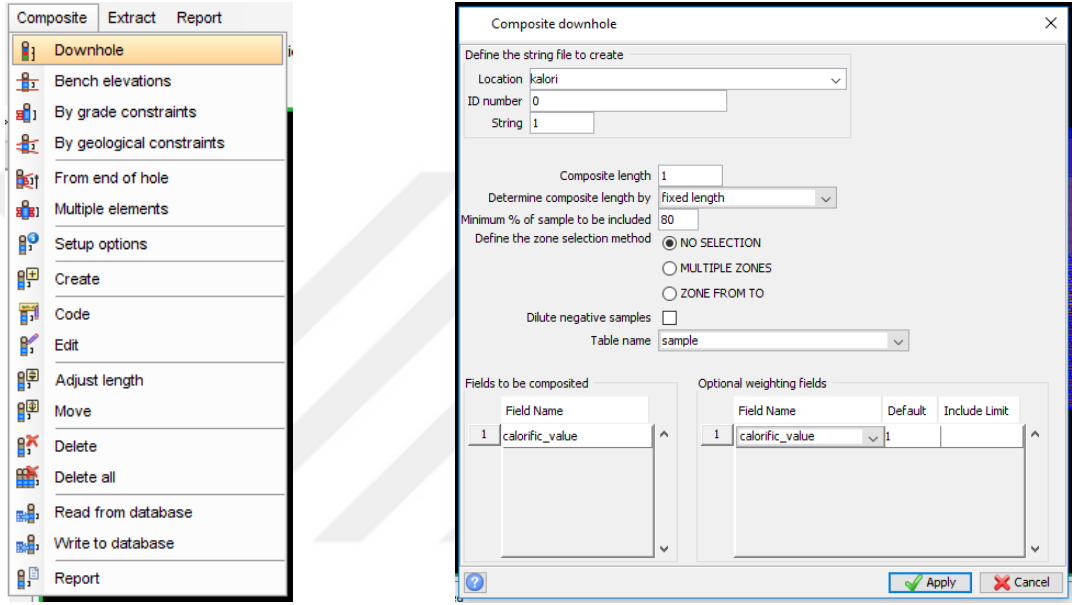
Apply Cancel

şekil 4. 6 Ana blok uzantı değerleri

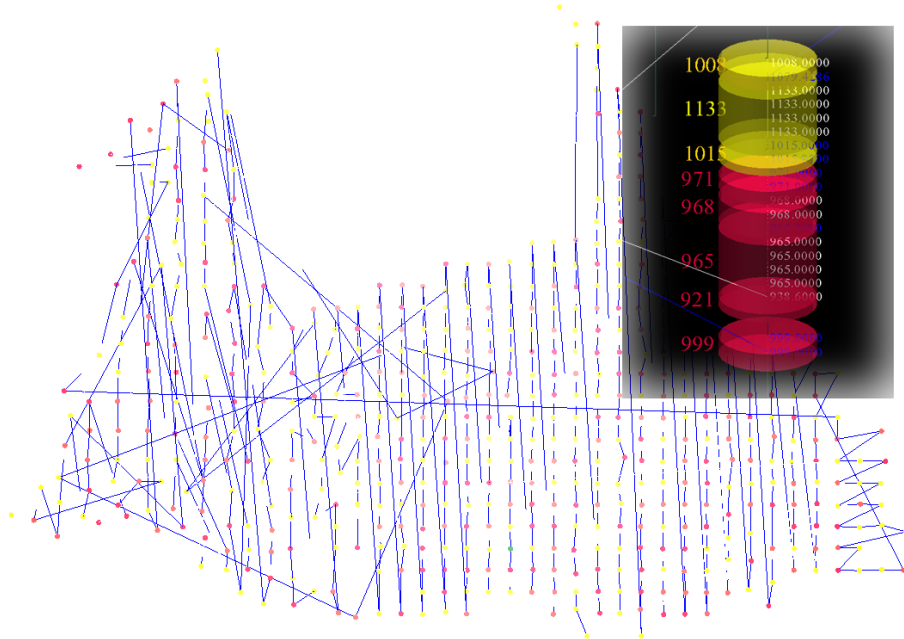


şekil 4. 7 Blok model ve cevher

Her bir blok için atanacak olan kalori, yoğunluk, nem, kül oranı vb. gibi öznelik tanımlarının yapılmasından sonra veri tabanındaki bu değerler üzerinden kestirim(kompozite) işlemi gerçekleştirilir. Yoğunluk gibi her blokta aynı olması muhtemel öznelikler için tanımlama yapılmayabilir. Çalışmamızda, programdaki composite yöntemlerinden biri olan downhole yöntemi kullanılmıştır (Şekil 4.8). Kestirim işlemi yapılırken veri tabanının aktif olması gerekmektedir. Daha sonra kestirim(composite) string dosyası elde edilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4. 8 Blok model kestirim işlemi



Şekil 4. 9 Kestirim(composite) stringi ve sondajdaki değerleri

Blok öznitelik değerlerinin belirlenmesi, blok blok cevher hacminin ve o bloktaki öznitelik değerlerinin de elde edilmesine imkan vermektedir. Bu durum açık işletme sınırları içinde kalan cevher hacminin de rapor edilebilmesinin yanında, ortalama kalori değer, kademeli kalori değerleri arasındaki hacim gibi son derece önemli verileri de öğrenmemize imkân vermektedir.

Çalışmamızda, 3 farklı boyutta belirlenen blok modelin, farklı kestirim(kompozite) uzunluk ve yüzdesi ile 10. yılın sonunda elde edilecek kömür miktarı hesaplanmıştır (Çizelge 4.1).

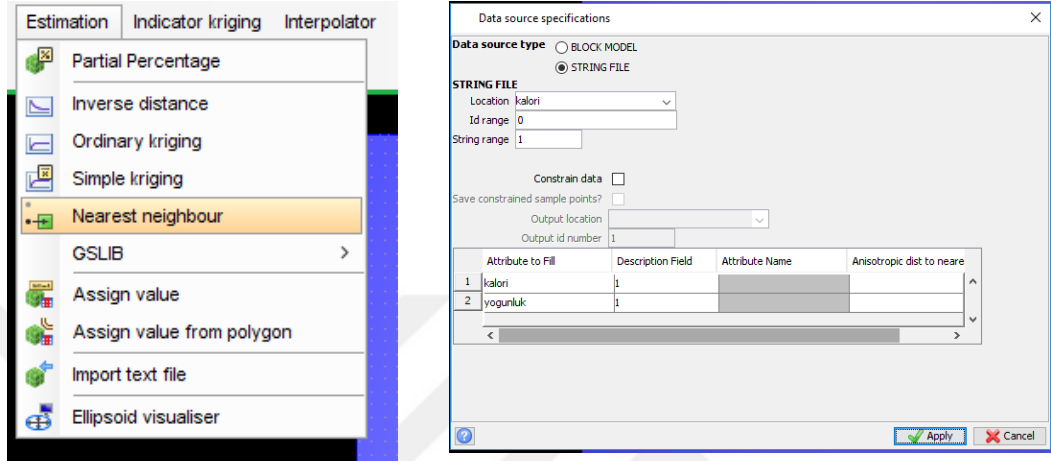
Çizelge 4. 1 Blok model rezerv hesabı

Mesafenin Tersisi							
Composite		100x100x10		50x50x10		25x25x10	
Kestirim Uzunluğu	Max içerik yüzdesi	Hacim	Kalori	Hacim	Kalori	Hacim	Kalori
10	50	156.400.000	1003	156.975.000	1003	155.743.750	1001
10	80	156.400.000	1003	156.975.000	1003	155.743.750	999
1	50	156.400.000	1000	156.975.000	1000	155.743.750	1000
1	80	156.400.000	1000	156.975.000	1000	155.743.750	999
Yakın Komşular							
Kestirim Uzunluğu	Max içerik yüzdesi	Hacim	Kalori	Hacim	Kalori	Hacim	Kalori
10	50	147.600.000	995	147.925.000	996	147.818.750	995
10	80	147.600.000	996	147.925.000	996	147.818.750	996
1	50	157.900.000	1007	158.550.000	1008	158.462.500	1008
1	80	157.900.000	1002	157.650.000	1001	158.462.500	1001

Çizelgeden görüleceği üzere mesafenin tersi yönteminde gerek bloklardaki boyut farklılıkları gerekse farklı kestirim değerleriyle hesaplanan rezerv hacimleri arasındaki fark ihmal edilecek küçüklüktedir. Yakın komşular yönteminde ise kestirim uzunluğunun rezerv hesap sonuçlarının da daha etkili olduğu görülmektedir.

4.2.2 Bloklara değer atanması

Bloklara değer atanabilmesi için yapılan bu hazırlıklardan sonra, her biri ayrı çalışma klasörlerinde olacak şekilde yakın komşular, mesafenin tersi ve ordinary kriging yöntemleriyle bloklara kalori değerlerinin atanması gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.10-4.11).



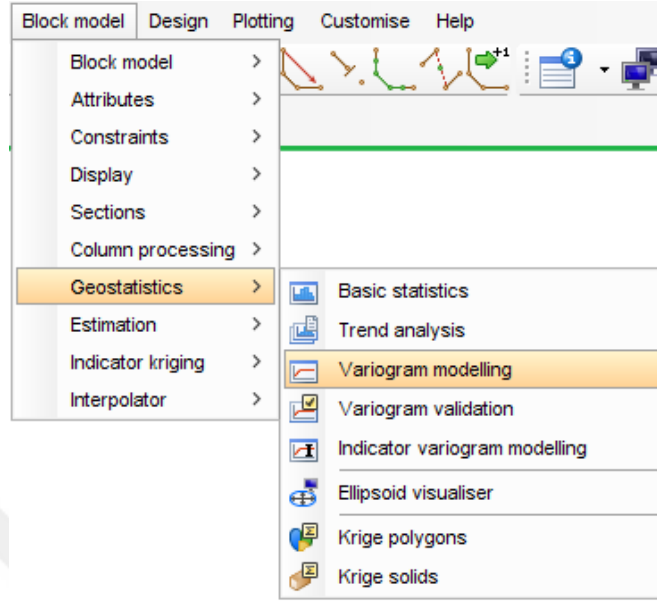
Şekil 4. 10 Blokların kalori değerlerinin belirlenmesi

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	920	920	920	920	920	920	920	920	920	1104.3850	
907	907	907	907	907	907	907	1200	1200	801	801	1138
987	987	987	920	920	920	920	1014.099976	1014.099976	975	975	1147
1034	1034	1034	1024	1024	1024	1024	880	880	930	930	983
844	844	844	912	912	912	912	1114	1114	1158	1158	1156
1142	1142	1142	942	942		942	1002	1002	1082	1082	976
650.799986	650.799986	650.799986	942	942		942	973	973	811	811	801
869	869	869	869	800	1076.650027	1076.650027	1076.650027	1076.650027	1076.650027	1076.650027	1087.739988
800	800	800	800	800	800	800	800	0	0	0	0

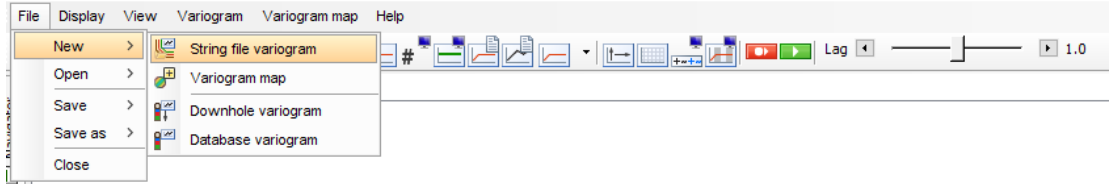
Şekil 4. 11 Değer atanması yapılmış bloklar

Bu yöntemlerden kriging yöntemi, diğer iki yöntemden farklı bir yaklaşıma sahiptir. Kriging yöntemi ile blok kalori değerlerini belirleyebilmek için öncelikle variogram modelinin oluşturulması gereklidir. Variogramın programda oluşturulması işlemleri aşağıda sunulmuştur.

Ekran görüntüsü şekil 4.12 de verilen işlem komutu ile File menü → New → String file seçeneğinden variogram modelinin ilk adımı başlatılmaktadır (Şekil 4.13).



Şekil 4. 12 Variogram modeli oluşturma



Şekil 4. 13 Yeni variogram dosyası

Variogram modeli için değerlerin girildiği ekran görüntüsü (şekil 4.13) da görüldüğü gibidir.

Variogram calculation

Basic **Advanced**

Location: 1e80composite
 Id range:
 String range:
 D field: D1
 Minimum value:
 Maximum value:

Data Selection Windows

	Azimuth	Plunge	Spread	Spread limit
1	0	0	20	20
2	15	0	20	20
3	30	0	20	20
4	45	0	20	20

Lag: 100
 Maximum distance: 4500
 Output report file name: a1
 Output report file format: .not - Surpac Note File
 Display report:

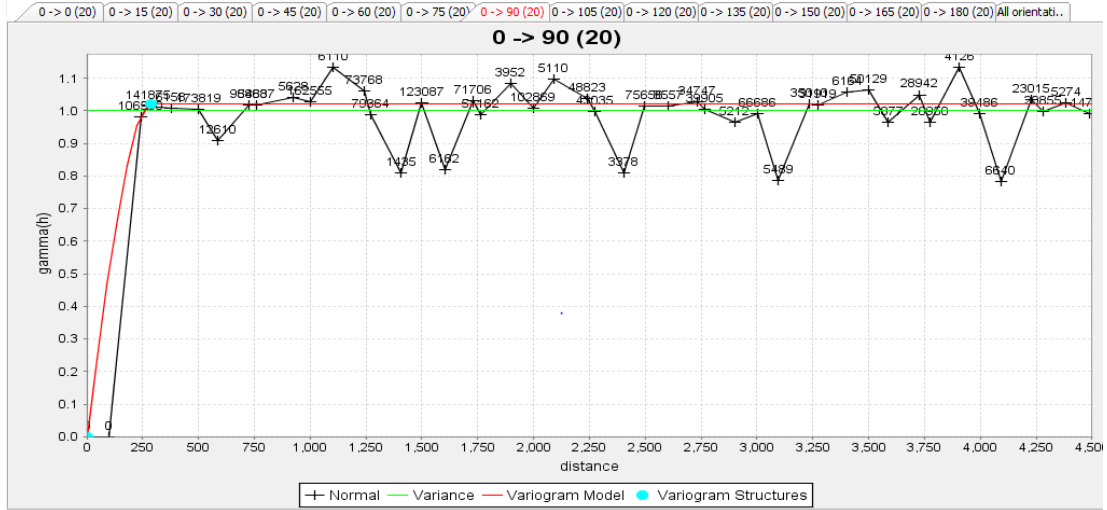
Apply Cancel

Şekil 4. 14 Variogram girdi değerleri

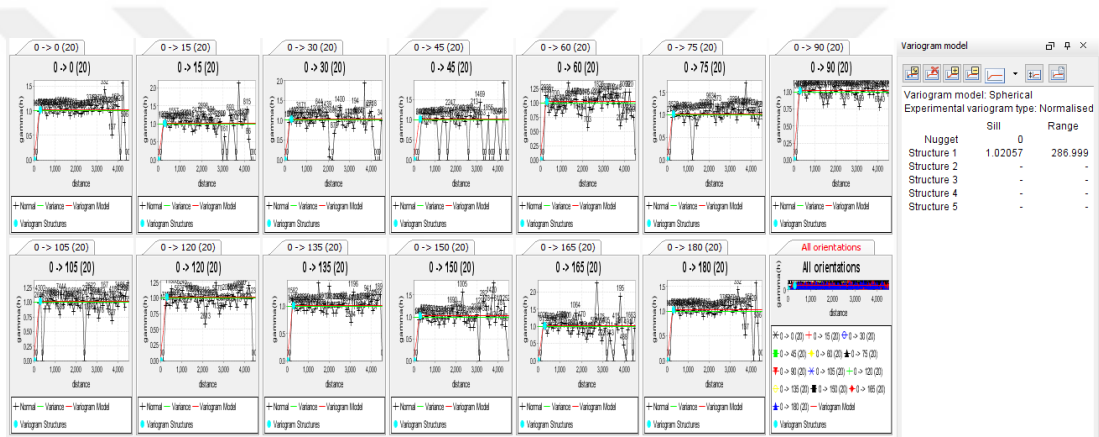
Variogram hesabında birim uzaklık 100 m, tolerans uzaklığı 20 m ve tolerans açısı 20° olarak alınmıştır. Bu değerlerle, her 15° için farklı variogram modelleri oluşturularak cevher dağılımının yönü/yönleri anlaşılmaya çalışılmıştır.

Variogramda izotropik tanım, cevher yatağının bütün yönlerde aynı özellikleri göstermesi durumuna karşılık gelir. Elde edilen modellerde etki uzaklıkları farklı, eşik değerleri aynı kalıyorsa geometrik anizotropi söz konusudur.

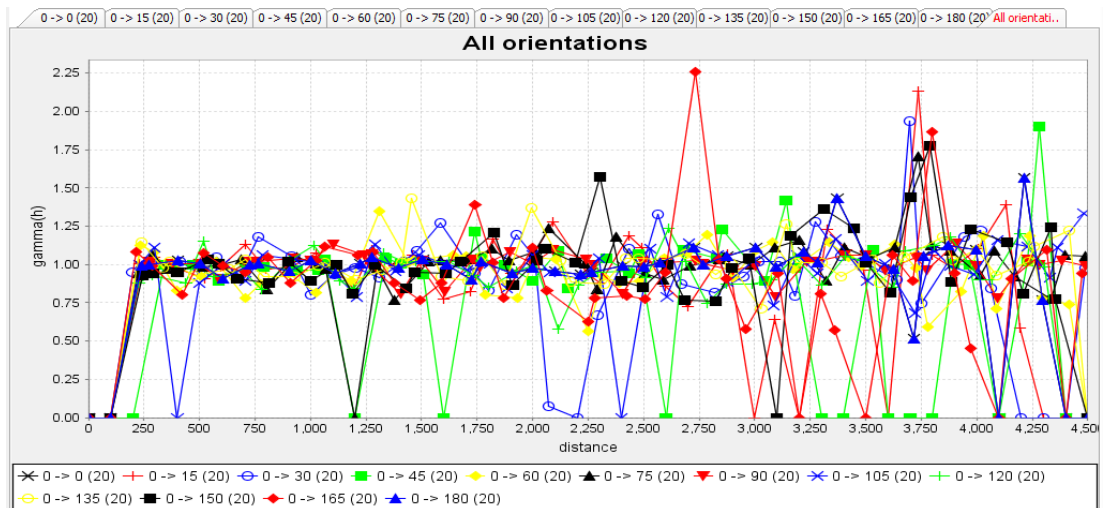
Variogram modellerinde gerek etki uzaklıklarının, gerekse eşik değerlerinin yöne bağlı olarak değişmediği görülmektedir. Dolayısıyla anizotropik bir durum söz konusu değildir. Modeller, dağılımın bütün yönlerde aynı olduğuna işaret etmektedir. (Şekil 4.15-4.17).



Şekil 4. 15 .Variogram modeli

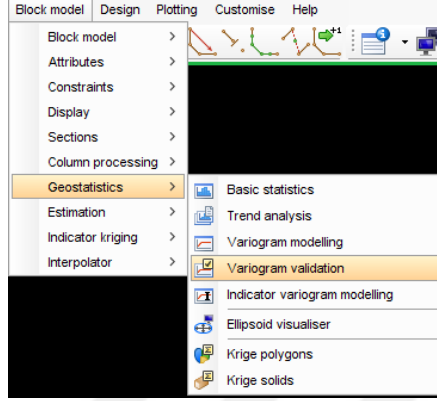


Şekil 4. 16 Yönleri 15° aralıklarla değişen variogramlar

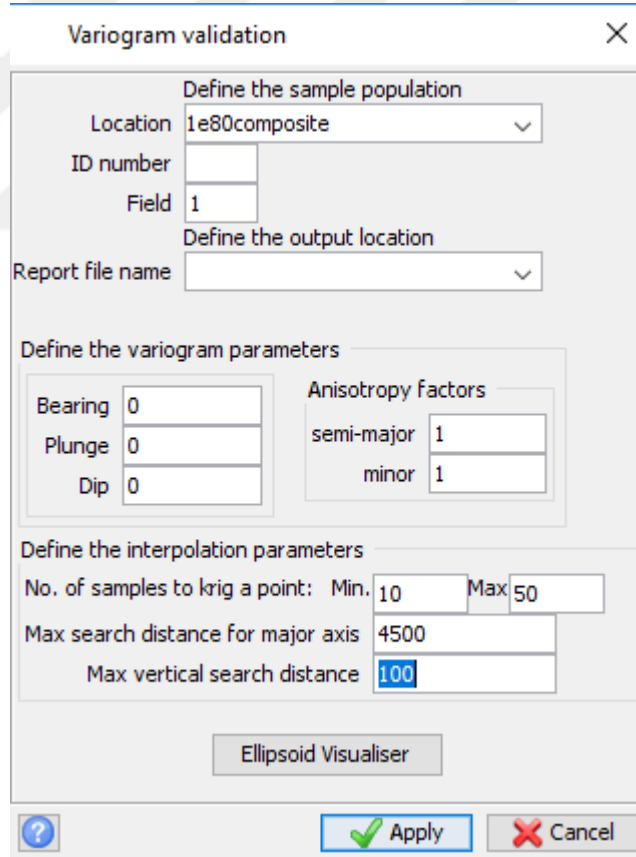


Şekil 4. 17 Farklı yönlerdeki variogramların tamamı.

Yukarıda elde edilen bu variogramların şekil 4.18 de ekran görüntüsü verilen seçenek ile doğruluk derecesini görmek ve gerekiyorsa işlemleri yenilemek gerekir. Korelasyon katsayısının 1' e yakın çıkması bu açıdan önemlidir. İşlem sonucu doğruluk oranı %84 olarak bulunmuştur (Şekil 4.19 – 4.22).



Şekil 4. 18 Variogram geçerlilik kontrolü



Şekil 4. 19 Variogram geçerlilik kontrolü girdi ekranı

Variogram model

Variogram file name: a1.vgm

Define the variogram model: Spherical

Nugget (Co): 0

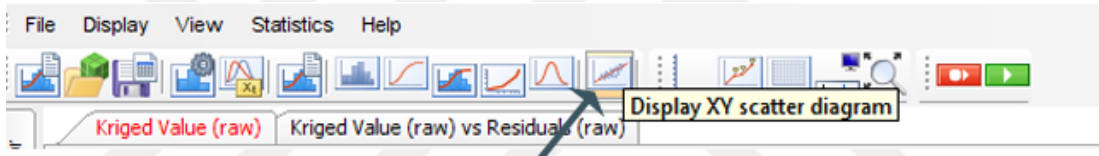
C(#):

1	1.02057
2	
3	
4	
5	

Range (A(#)): 286.999

Apply Cancel

Şekil 4. 20 Variogram geçerlilik kontrolü girdi ekranı



XY plot düğmesi ile açılan pencerede diyagramın eksenleri belirlenir. Doğruluk oranı yeni oluşan tabda görüntülenir.

Xy plot

X Variable: Kriged Value

Y Variable: Grade

Transform: None

Constant: 1

Draw as: Lines Markers

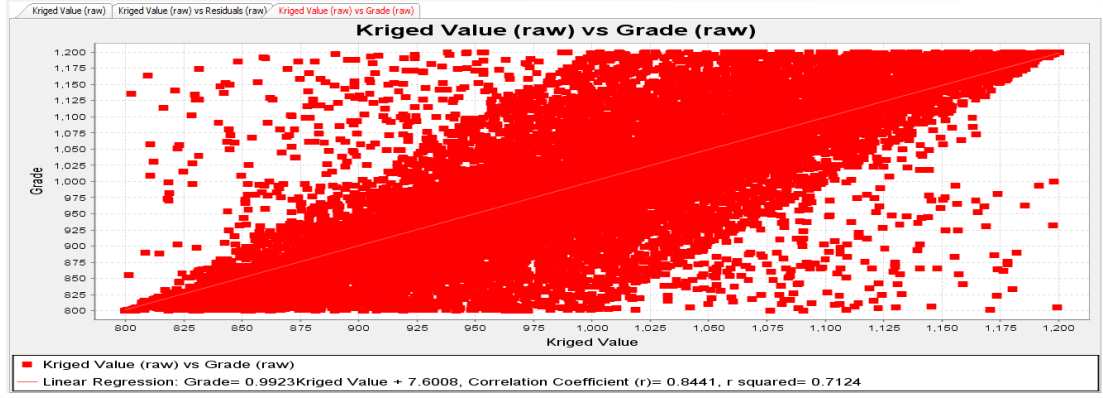
Q-Q plot:

Quantile type: 100

Linear Regression:

Apply Cancel

Şekil 4. 21 Variogram geçerlilik kontrolü girdi ekranı



Şekil 4. 22 Variogram geçerlilik kontrolü sonuç değerleri

4.3 Açık İşletme Tasarımı

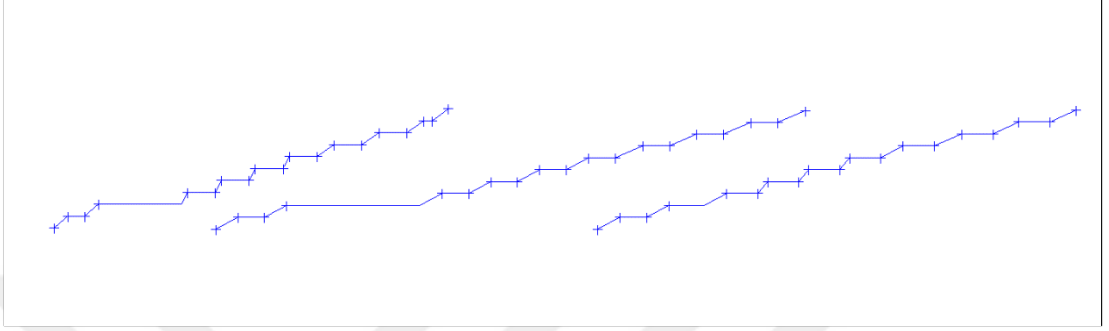
Açık ocak tasarımı aşağıdan yukarı yapılabildiği gibi yukarıdan aşağıya doğru da yapılabilir. Tasarımın yönü, sınırlayıcı alanların varlığı ile ilişkilidir. Çevresel faktörler, izin alanları, yüzey alan özellikleri cevher merkezli tasarım yapılmasına müsaade etmeyebilir. Bu nedenle tasarım, kısıtlamalar sonrasında oluşan sınırlar üzerinde yürütülür. Ocak, sahadaki sınırdan itibaren aşağı yöne doğru oluşturulur. Bu durumda ocağın aşağıdan yukarı doğru tasarlanması daha doğru sonuç üretecekse, aşağıya doğru tasarlanmış ocaklarda ulaşılan taban sınır çizgisi cevher tabanına göre güncellenerek ocak, aşağıdan yukarıya doğru tekrar tasarlanabilir.

Surpac yazılımında yukarıda anlatılan yaklaşımların tümüne yanıt verecek yetenektedir.

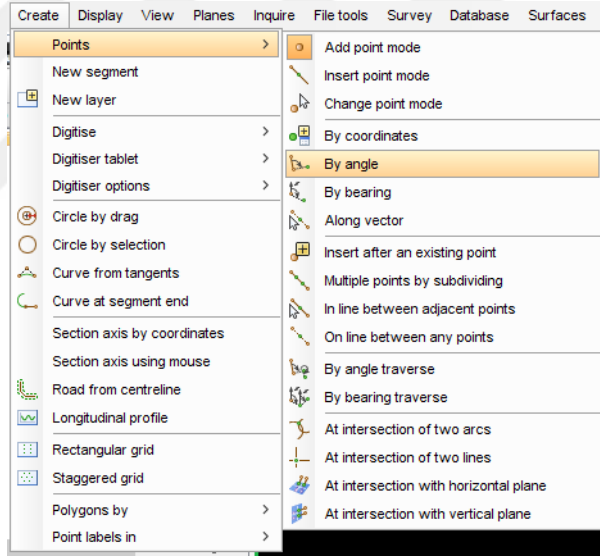
4.3.1 Basamakların grafik ekranda oluşturulması

Bu çalışmada sahada Gül, Görgülü ve ark., (2017) tarafından daha önce yapılmış şev stabilite analizleri baz alınarak; örnek bir alan içerisinde basamaklar oluşturulmuştur. Saha kuzey ve doğu bölümlerinde kömür sahası sınırları ile sınırlandırılmış olup basamaklar bu sınırlardan itibaren yerleştirilmiştir. Basamaklar için minimum 60 m genişlik hedeflenmiş olup yükseklikleri cevher tabanından başlamak üzere 20 m olarak alınmıştır. Basamak genişlikleri doğu şevlerinde 60-100 m, kuzey şevlerinde 100-140 m, güney şevlerinde 130 m ve batı şevlerinde 90 m. olarak alınmıştır. Basamak şev açıları, doğu şevlerinde 18-43°, güney şevlerinde 20-60°, kuzey şevlerinde 18-38°, batı şevlerinde 13-48° aralığında belirlenmiştir (Gül, Görgülü ve ark., 2017). Ocak tabanı kömür tabanı olarak alınmıştır.

Kömür tabanında koordinatları ve kotu belli referans noktalardan itibaren istenen basamak yükseklik, genişlik ve açısına uygun noktalar yerleştirilerek basamak stringleri oluşturulmuştur (Şekil 4.23). Surpac programında söz konusu işlemi farklı seçeneklerle uygulamak mümkündür. Bu çalışmada Şekil 4.24 deki menü kullanılmıştır.

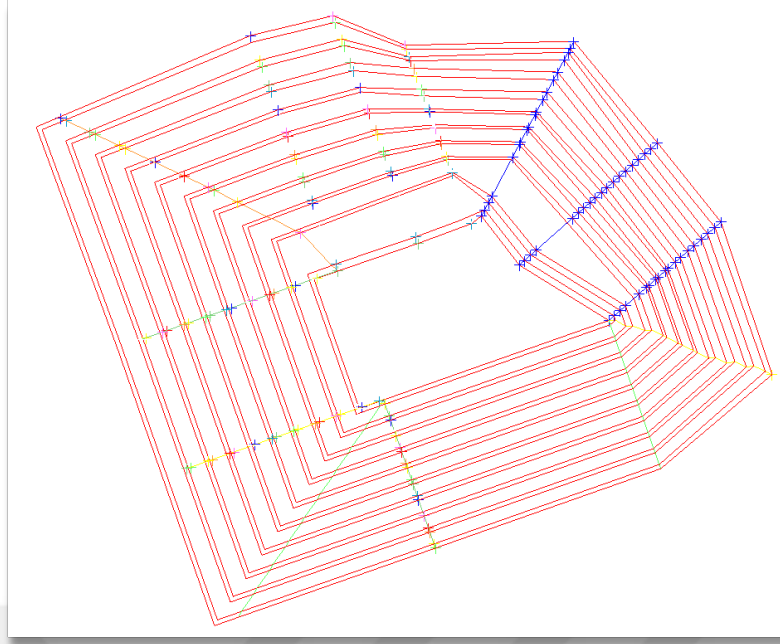


Şekil 4. 23 Açık ve mesafe ile nokta belirleme



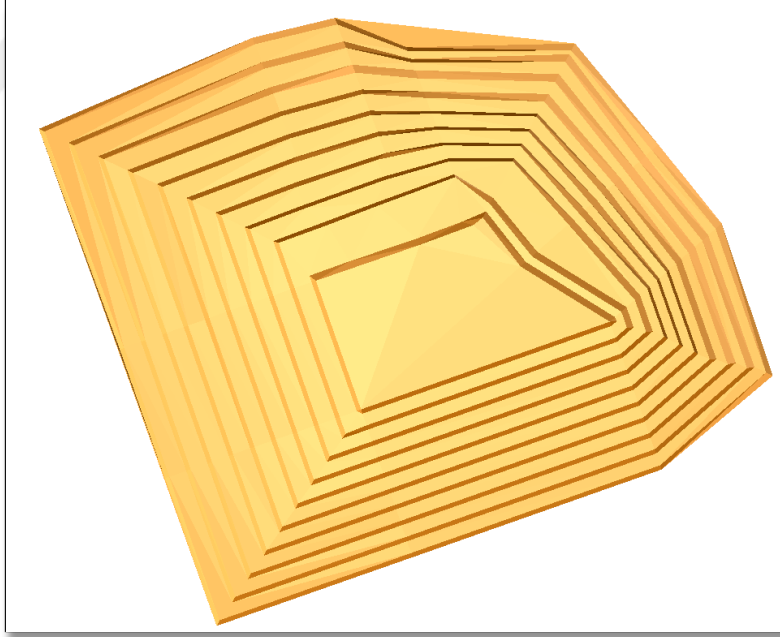
Şekil 4. 24 Açık ve mesafe ile nokta belirleme menüsü

Ocağın bütün yönleri için yapılan bu çalışmadan sonra takip eden noktalar birleştirilmek suretiyle örnek ocağın nihai stringi elde edilmiştir. Sonrasında yıllara göre ocak geometrisi çalışması yapılacağından her segment numarasının aynı olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4. 25 Örnek nihai ocak geometrisi

Bu aşamadan sonra, bu string dosyası kullanılarak SAM elde edilmiştir (Şekil 4.26).

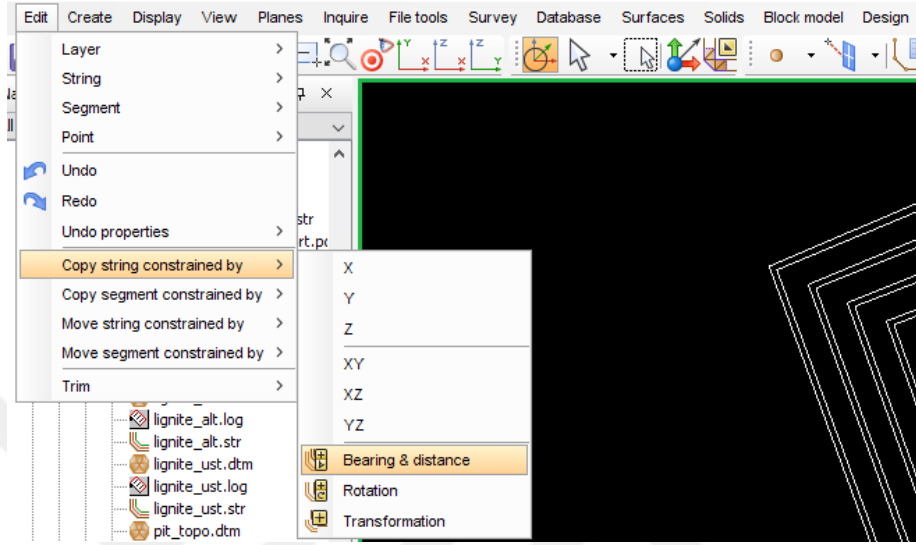


Şekil 4. 26 Örnek nihai ocak katı modeli

4.3.2 Yıllar itibarıyla ocak ilerleme durumu

Bu çalışma 10 yıllık üretim ile sınırlandırılarak sürdürülmüştür. Üretim planlaması çerçevesinde katı modele göre 4. yıldan itibaren 15-20 milyon tona yaklaşan bir cevher üretilmesi hedeflenmiştir. Ocak geometrisi bu hedefe uygun şekilde tasarlanmaya çalışılmıştır.

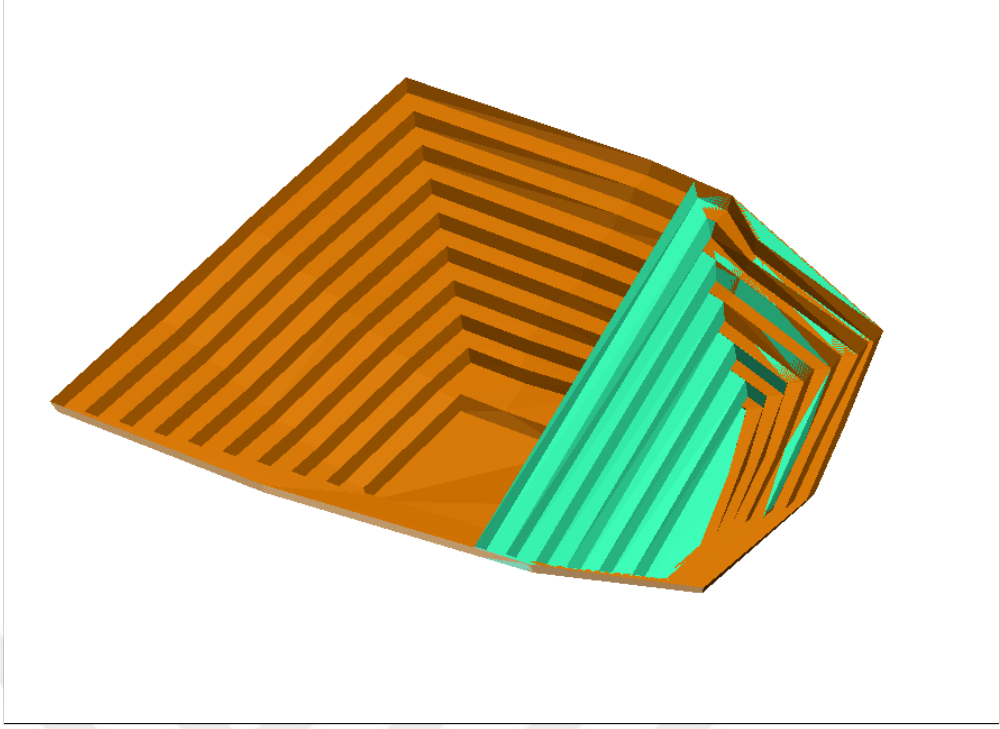
Surpac, nihai ocak geometrisi esas olmak üzere bu altlık üzerinden azimut (kuzeyle yaptığı açı), eğim ve kaydırılacak veya kopyalanacak mesafe verilmek suretiyle, mevcut ekran görüntüsünün bir benzerine veya kaydırılmasına imkân vermektedir (Şekil 4.27).



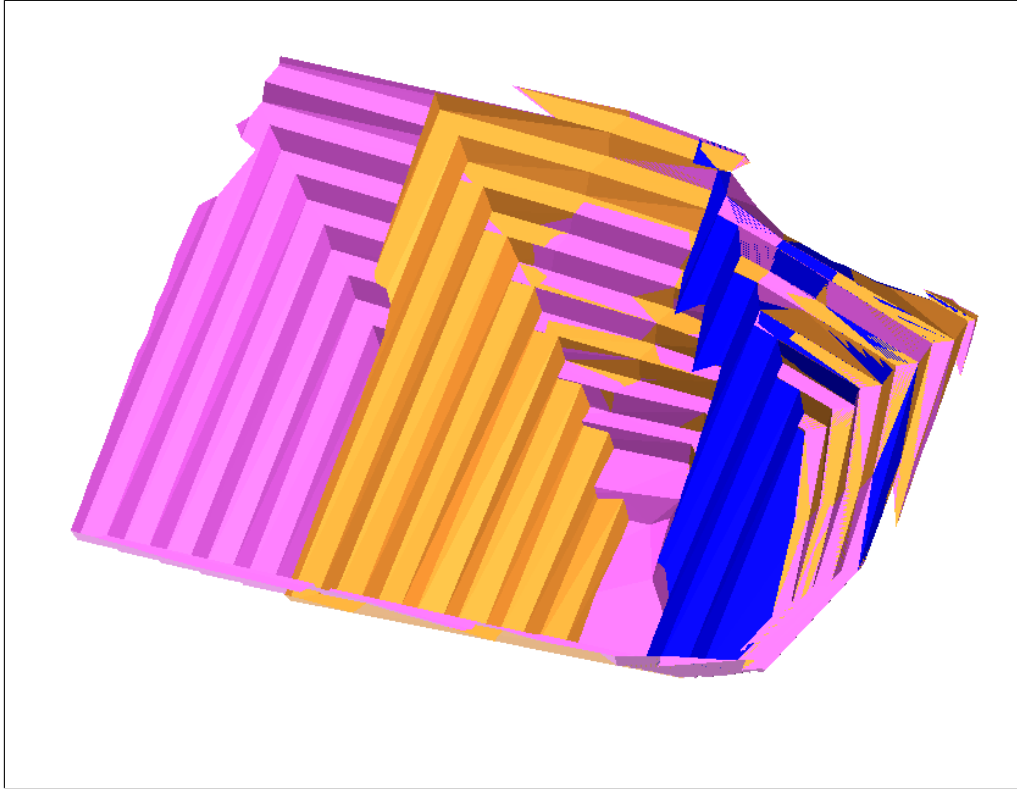
Şekil 4. 27 Bir stringin azimut ve mesafe değerleriyle kopyası

Ocağın doğu istikametinden başlamak ve bu kısımdaki basamaklar korunmak suretiyle yıllık dekapaj+cevher üretim hedefi yaklaşık 80-100 milyon m³ olacak şekilde ilerleme istikameti doğu-batı yönünde tayin edilmiş, bu mihvalde yıl yıl ocak basamakları oluşturulmuştur (Şekil 4.28-4.30).

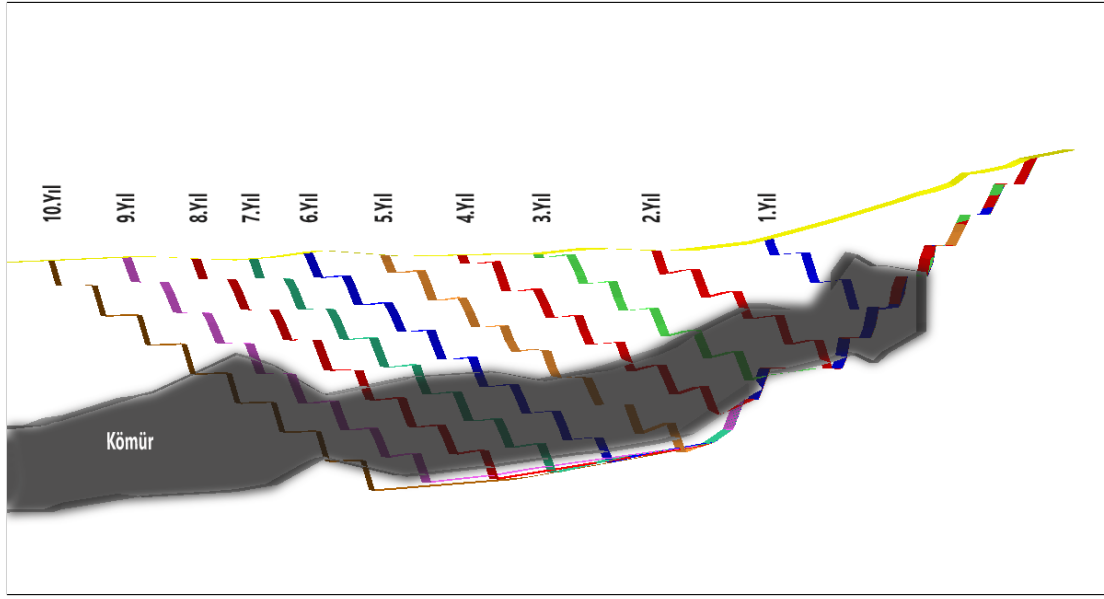
Bunların SAM' leri hazırlanarak bir sonraki aşama topoğrafik yüzeyle kesişim hattını tespit işlemine geçilmiştir. Burada, her yıl için hazırlanmış olan SAM'lerin tüm işlemlerinin sonuçlandırılmasından sonra bir sonraki yıla geçilmesi gerektiği not edilmelidir. Hesaplanan dekapaj ve cevher miktarlarının hedeflenen rakama uygun olmaması işlemleri baştan itibaren tekrarlamamızı zorunlu kılabilir. Her türlü işlemde kasıt, yüzey kesişim hattının belirlenmesi, yıla ait dekapaj ve ocak içinde kalan cevher tonajının hesaplanmasıdır.



Şekil 4. 28 Nihai(10.yıl) ve 1.yıl ocak geometrisi



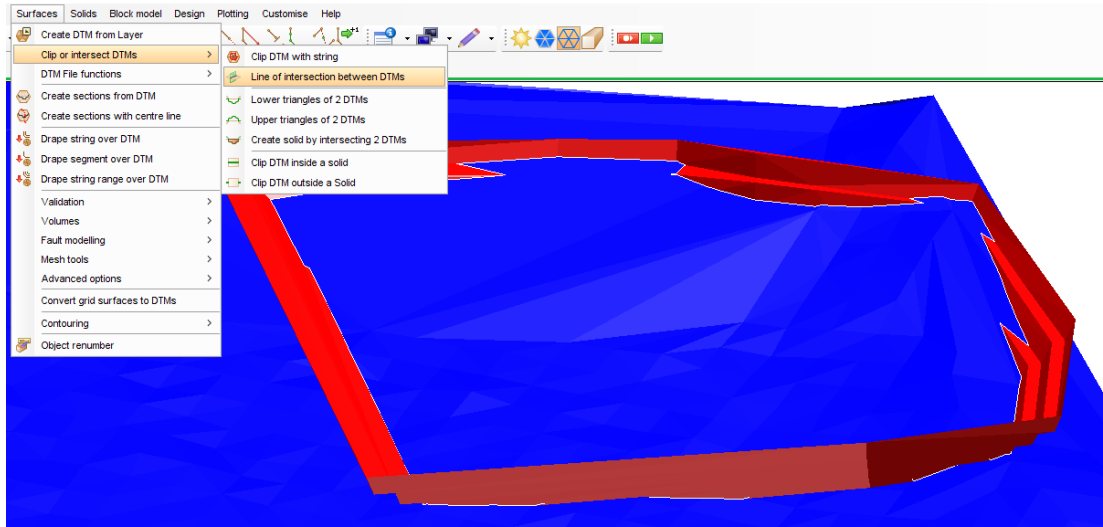
Şekil 4. 29 1, 5 ve 9.yıl ocak geometrisi



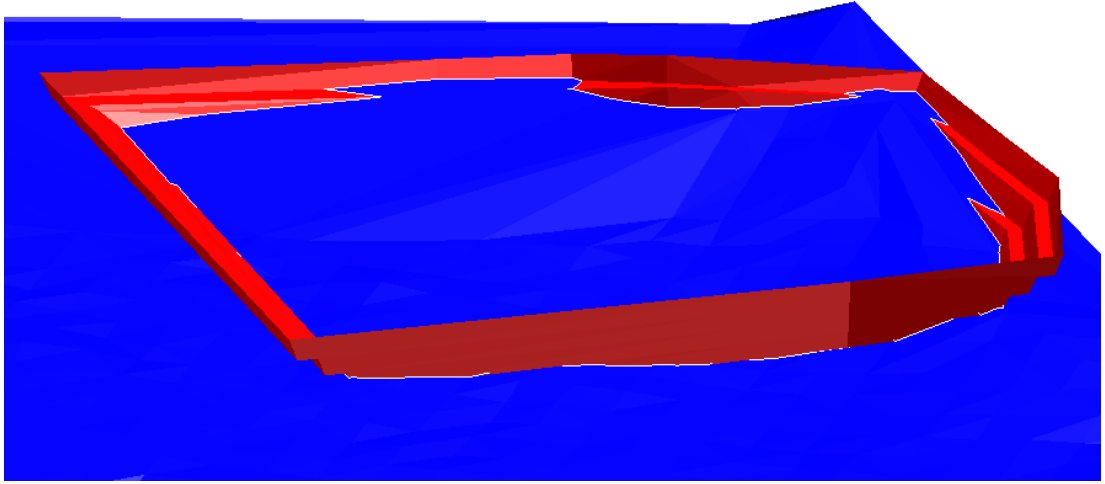
Şekil 4. 30 Yıllara göre ocak kesitleri ve cevher

4.3.3 Topoğrafya yüzeyi ile ocak kesişim hattının belirlenmesi

Kömür üretim ve dekapaj miktarlarının doğru hesaplanabilmesi için sondaj ağızı topoğrafik değerleri ile oluşturulan maden sahası topoğrafya SAM' nin ocakla kesişim hattının belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 4.31-4.32).



Şekil 4. 31 Topoğrafik yüzey ve ocak kesişim hattı menüsü

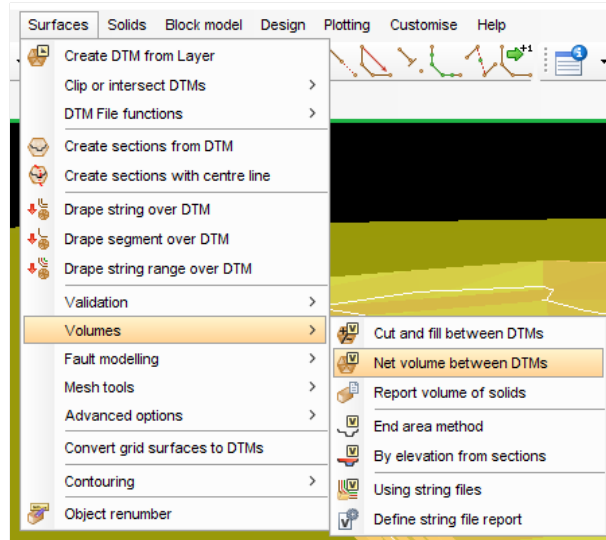


Şekil 4. 32 Topoğrafik yüzey-ocak kesişim hattı

4.3.4 Katı Yüzey Yöntemiyle Kömür Hacminin Hesaplanması

Surpac’ da ocak içinde kalan cevherin hacmi için farklı yöntemler kullanılabilir. Bu çalışmada aşağıda verilen yol izlenmiştir.

Yüzeyle ocak arasındaki hattın belirlenmesi işleminden sonra, hattın alt tarafında kalan geometrinin hacmini hesaplamak için Şekil 4.33’de verilen menü çalıştırılır. Buradan hesaplanan hacim değeri kömür ve dekapaj malzemesinin toplam hacim değeridir (Şekil 4.34).



Şekil 4. 33 İki SAM arasındaki hacim hesabı



VOLUME BETWEEN DTM SURFACES

Jan 11, 2018

Upper surface: yuzey_genis.dtm
Upper surface object ID: 6
Upper surface trisolation ID: 1
Lower surface: yil1.dtm
Lower surface object ID: 3
Lower surface trisolation ID: 1

Boundary file: yil1_yuzey_kes.str
Boundary string: 1
Number of segments: 1
Density: 1.17
Elevation range: 1280,980,-5

Segment Number 1 of 1

Density : 1.170
Surface to surface volume : 80226934
Nett Tonnage: 93865513
Boundary string horizontal area check : 2896633
Total surface area : 5895491



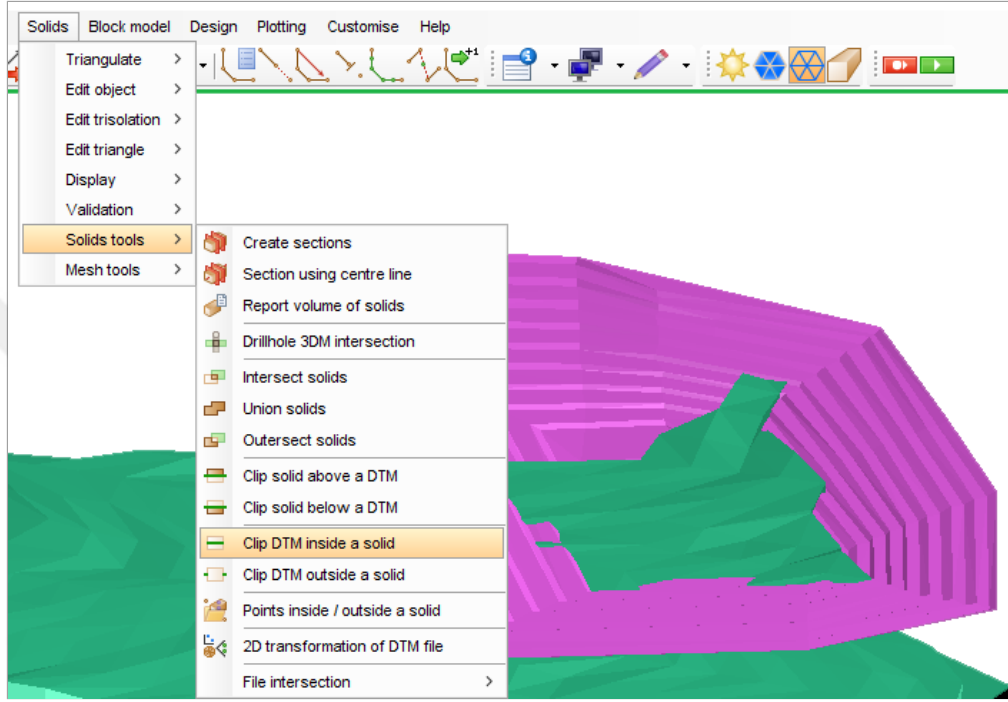
VOLUME BETWEEN DTM SURFACES

Jan 11, 2018

From	To	Volume	Avg. Horizontal Area	Surface Area	Cumulative Volume
1250.0	1255.0	0	0	0	0
1245.0	1250.0	0	0	0	0
1240.0	1245.0	0	0	0	0
1235.0	1240.0	0	0	0	0
1230.0	1235.0	17048	3410	20478	17048
1225.0	1230.0	156477	31295	87812	173525
1220.0	1225.0	395223	79045	94734	568748
1215.0	1220.0	777132	155426	120162	1345880
1210.0	1215.0	1247005	249401	157953	2562885
1205.0	1210.0	1699661	333932	335152	4262546
1200.0	1205.0	2399082	479816	493562	6661628
1195.0	1200.0	3821702	764340	387954	10483330
1190.0	1195.0	4952597	990519	429408	15435927
1185.0	1190.0	5685658	1197132	690076	21421585
1180.0	1185.0	6084873	1218975	369115	27506458
1175.0	1180.0	6717052	1343410	382961	34223510
1170.0	1175.0	7150878	1430176	310584	41374388
1165.0	1170.0	7614894	1522979	466713	48989282
1160.0	1165.0	6585102	1317020	336110	55574394
1155.0	1160.0	5599574	1119915	77807	61173958
1150.0	1155.0	5357450	1071490	54257	66531408
1145.0	1150.0	4785494	957099	389008	71316902
1140.0	1145.0	2709534	541907	180111	74026436
1135.0	1140.0	2381541	476308	42951	76407977
1130.0	1135.0	2197241	439448	43303	78605218
1125.0	1130.0	1621717	324343	425480	80226935
Total		80,226,935			

Şekil 4. 34 1.yıla ait ocak hacim değerleri

Şekil 4.35’den da görüleceği üzere ocak katı modeli içindeki cevheri ayıran menü ile söz konusu yıla ait geometri içinde kalan ve üretilmesi hedeflenen kömüre ait katı model elde edilebilir ve kömürün hacim hesabı yapılabilir (Şekil 4.36). Katı modelden yararlanılarak hesaplanan ve ocak geometrisi içerisinde üretilmesi hedeflenen kömür hacmi yukarıda ifade edilen söz konusu toplam değerden çıkarılarak ilgili yıla ait dekapaj değerine ulaşılmaktadır.



Şekil 4. 35 Ocak içinde kalan kömürün ayrılması

SOLID MODELLING OBJECT REPORT
Layer Name : yıl3_ore.dtm

Object: 5 (4 intersect by 5)

Trisolation: 1

Validated = true

Status = solid

Trisolation Extents

X Minimum: 334474.316 X Maximum: 336054.390

Y Minimum: 4242873.093 Y Maximum: 4244742.724

Z Minimum: 1064.095 Z Maximum: 1170.050

Surface area: 3035433

Volume : 44452815

Şekil 4. 36 Ocak içinde kalan cevher hacmi

10 yıl için yapılan çalışmaların nihayetinde elde edilen veriler ışığında, 2. Yıldan itibaren her yıl yaklaşık 15-20 milyon ton civarında bir cevher olmak üzere 10.yılın sonunda 159.758.377 m³ (186.917.301 ton) cevher üretileceği hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4. 2 Katı model büyüklükleri

Yıl	Katı model		
	Linyit (m ³)	Dekapaj (m ³)	Linyit + Dekapaj (m ³)
1	10.947.725	69.279.210	80.226.935
2	19.152.457	65.262.404	84.414.861
3	14.352.633	71.325.327	85.677.960
4	14.032.422	75.845.638	89.878.060
5	17.923.246	85.104.746	103.027.992
6	16.461.542	82.648.642	99.110.184
7	15.394.421	65.850.474	81.244.895
8	17.621.236	57.705.479	75.326.715
9	16.891.766	67.915.552	84.807.318
10	16.980.929	22.841.647	39.822.576
Toplam	159.758.377	663.779.119	823.537.496

4.3.5 Rezerv hesap sonuçları

Açık işletme sınırları içerisinde kalan katı model hacminin hesabı ile birlikte, yakın komşular, mesafenin tersi ve ordinary kriging yöntemleriyle ayrı ayrı belirlenen cevher kömür hacimleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4. 3 Farklı yöntemlerle yapılan hesaplama sonuçları

Yıl	SAM		En Yakın komşular			Mesafenin tersi			Ordinary Krigging		
	Dekapaj m ³	Kömür m ³	Dekapaj m ³	Kömür m ³	Kalori	Dekapaj m ³	Kömür m ³	Kalori	Dekapaj m ³	Kömür m ³	Kalori
1	69,279,210	10.947.725	70,426,935	9,800,000	1036	71.026.935	9,200,000	1010	71.126.935	9.100.000	1021
2	65,262,404	19.152.457	65.314.861	19,100,000	1022	65.414.861	19,000,000	998	65.814.861	18.600.000	1011
3	71,325,327	14.352.633	70.677.960	15,000,000	1009	70.577.960	15,100,000	996	70.577.960	15.100.000	1004
4	75,845,638	14.032.422	75.978.060	13,900,000	1007	76.078.060	13,800,000	996	76.078.060	13.800.000	1003
5	85,104,746	17.923.246	85.827.992	17,200,000	1014	85.827.992	17,200,000	1000	85.827.992	17.200.000	1005
6	82,648,642	16.461.542	82.610.184	16,500,000	1011	82.610.184	16,500,000	998	82.610.184	16.500.000	1002
7	65,850,474	15.394.421	65.444.895	15,800,000	1005	65.444.895	15,800,000	998	65.444.895	15.800.000	1001
8	57,705,479	17.621.236	57.526.715	17,800,000	1007	57.626.715	17,700,000	1000	58.426.715	16.900.000	1001
9	67,915,552	16.891.766	68.907.318	15,900,000	1004	68.907.318	15,900,000	1001	68.807.318	16.000.000	1000
10	22,841,647	16.980.929	22.922.576	16,900,000	1002	23.622.576	16,200,000	1000	23.322.576	16.500.000	998
Toplam	663.779.119	159.758.377	665.637.496	157.900.000	1001	667.137.496	156.400.000	1000	668.037.496	155.500.000	1005
Örtü/Kazı Oranı	4,15		4,22			4,27			4,30		

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Klasik yöntemlerle rezerv hesaplamaları ve açık ocak planlaması oldukça zaman almakta, doğrulukları üzerinde kuşku barındırmaktadır. Bu nedenle, söz konusu işlemler için klasik yöntemler dışında hızlı ve güvenilir yöntemlerin uygulanması büyük önem kazanmaktadır. Günümüzde bilgisayar donanım ve yazılım teknolojisinin ulaştığı aşama maden planlama çalışmalarında hızlı ve güvenilir bir sonuç üretmesinin yanında selektif kazı yapabilmek için de gereken verileri sağlamaktadır. Bu çalışmada bu amaca yönelik olarak geliştirilmiş Surpac yazılımı ile EÜAŞ E Sektörü açık ocak planlaması konusuna yer verilmiştir. Çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlar ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

Kömür rezervi SAM ve kalorifik değere bağlı olarak oluşturulan blok model yardımıyla mesafenin tersi, yakın komşular ve jeostatistik yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Kömür katı modelini oluşturmak amacıyla, kömür alt ve üst sınırları stringlerle belirlenmiş, her iki yüzeyin ayrı ayrı SAM' ları elde edilmiştir. Kömür katı modeli üzerinden hesaplanan hacim, açık işletme tasarımı ve yıllık üretim planlamasında temel verilerden biri olarak yıllık bazda yapılacak dekapaj ve kömür kazılarına esas teşkil etmiştir.

Tasarım ve planlama çalışmasının sonunda yani 10.yılda katı modelden bulunan kömür miktarı 159 758 377 m³ dür.

Kömür rezervi, özneteliği kalorifik değer olarak belirlenen blok model kullanılarak üç ayrı yöntemle ayrıca hesaplanmıştır. Kömür miktarı yakın komşular yönteminde 157.900.000 m³, mesafenin tersi yönteminde 156.400.000 m³ ve ordinary kriging yönteminde ise 155.500.00 m³ olarak gerçekleşmiştir.

Ortalama kalori değerinin her üç yöntemdeki ortalaması 1000 civarında hesaplanmıştır.

Toplam dekapaj miktarı katı modelde 663.779.119 m³, en yakın komşular yönteminde 665.637.496 m³, mesafenin tersi yönteminde 667.137.496 m³, ordinary kriging

yönteminde ise 668.037.496 m³ olarak hesaplanmıştır. Örtü-kazı oranları, en yakın komşular yönteminde 4,22, mesafenin tersi yönteminde 4,27, ordinary kriging yönteminde 4,30 ve katı modelde ise 4,15 olarak gerçekleşmiştir.

Yazılım kullanılarak yapılan çalışmanın hızlı ve güvenilir olduğu, zamandan küçümsenmeyecek ölçüde bir tasarruf sağladığı doğru bir tespittir. Hızlılık, farklı senaryoların kısa bir süre içinde oluşturulması, bu senaryolara ait ekran ve yazıcı çıktılarının anında alınması, var olan hataların kısa sürede farkedilip düzeltilmesi nedeniyle de fazladan bir güvenilirlik sağlamaktadır.

Blok model yöntemiyle rezervin neredeyse her noktasındaki özneliklerinin tespit ediliyor olması selektif kazı yapılmasına imkan vermektedir. Ortaya çıkan rakamların doğruluğunun olması gereken sıklıkta alınmış ve gereken önem verilerek değerlendirilmiş sondaj verilerine dayandığı da unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

Açan, H. (2013). Bir Demir Sahasının Surpac Madencilik Entegre Yazılımı ile değerlendirilmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek lisans tezi), 184s, İstanbul.

Altınbaş, Z. (2016). Çanakkale-Çan kömür yatağının Surpac programı kullanılarak ekonomik değerlendirilmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 146s, İzmir.

Bohling, G. (2005). Introduction to Geoistatistics and Variogram Analysis., Kansas Geological Survey, 20s, 5.

(<http://people.ku.edu/~gbohling/cpe940/Variograms.pdf>). Erişim Tarihi: 19.04.2017.

David, M. (1977). Geoistatistical Ore Reserve Estimation. Elsevier Scientific Publishing Company Inc., New York,

(<http://www.saimm.co.za/Conferences/Apcom72/027-David.pdf>).

Erişim Tarihi: 18.04.2017.

Ergin, H., Kirmanlı, C. ve Erdoğan, T. (1998). Yeni Bilgisayar Teknikleri ile Kaliteye bağlı Olarak Sınıflandırılmış Kömür Rezervlerinin Belirlenmesi. *Madencilik dergisi* , 4, 13–22

Erel, Z. (2011). Balya (Balıkesir) Polimetallik Maden Yatağı Rezervinin Jeostatistik Yöntemle Analizi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), 81s, Adana.

Felix, O. (2012). Managing mining risk using ore reserve estimates. *Institute of Distance Learning, Kwame Nkrumah University of Science and Technology*, (Master of Science Thesis), 99s, Kumasi.

(<http://ir.knust.edu.gh/handle/123456789/4550>) Erişim Tarihi : 01.03.2017

Grayson, R.B. (1990). Digital Terrain Modeling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications,

(<https://pdfs.semanticscholar.org/bfbd/cb38c3ad4d86c0ad5c8f3d05db8a4897dfcb.pdf>)

Erişim Tarihi: 02.05.2017.

Gül, Y., Görgülü, K., ve ark. (2017). Kahramanmaraş Afşin-Elbistan Kömür Havzası E-sektörü Şev Tasarımı (Protokol), *Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü Maden Sahaları Daire Başkanlığı*, 137s, Sivas.

Journel A.G., Huijbregts, Ch.J. (1984). Mining Geostatistics.
(<https://tr.scribd.com/document/261170689/mining-geostatistics-pdf>).
Erişim Tarihi: 23.04.2017.

Kaymakçı, E., Onur, İ. (1990). Klasik ve İstatistiksel Rezerv Hesaplama Yöntemlerinin Hüsamlar Linyit Sahası İçin Karşılaştırılması, Türkiye 7. Kömür Kongresi, Zonguldak, 16s. 307-322

Knudsen, H.P. (1975). A comparison of the geoistatistical ore reserve estimation method over the conventional methods. *The Universite of Arizona*, (Master of Science Thesis), 78s, Arizona.
(<http://hdl.handle.net/10150/554906>) Erişim Tarihi : 24.02.2017

Moharaj, M.C., W.Y. (2014). Ore Body Modelling and Comparison of Different Reserve Estimation Techniques, *Department of Mining Engineering National Institute of Technology Rourkela – 769008* (Yüksek lisans tezi), 58s, India,

Nasuf, E. (1983). Rezerv Hesaplamalarında İstatistiksel Yöntemler ve Bilgisayar Uygulamaları, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 8. Kongresi, 12s, 11-12, 3-4.

Pandey, S. (2014). Ore Body Modelling, Concepts and Techniques, 33s, 6.
(https://www.academia.edu/9018457/Ore_Body_Modelling-Concepts_and_Techniques).
Erişim Tarihi: 22.03.2017.

Yalçın, E., Saydam, S., Köse, H., (1996). Kriging Yöntemi ile Kömür Kül ve Kükürt İçeriklerinin Tahmini, Türkiye 10. Kömür Kongresi, Zonguldak, 16s, 59-66.

Yalçın, E. (1992). Kriging yarıçapının önemi ve rezerv tahminine etkisi: örnek bir uygulama, Türkiye 8. Kömür Kongresi, Zonguldak, 552s, 421-434.

Url-1 < <http://www.netcad.com/tr/anasayfa>>, alındığı tarih: 07.03.2017.

Url-2 < <http://www.maptek.com> >, alındığı tarih: 08.03.2017.

Url-3 < <http://www.goldensoftware.com/>,
<http://www.mindigis.hu/en/software/golden> >, alındığı tarih: 06.03.2017.

Url-4 < <https://www.micromine.com/>>, alındığı tarih: 06.03.2017.

Url-5 < <https://en.wikipedia.org/wiki/GEOVIA> >, Erişim Tarihi: 06.03.2017.

Url-6 < <https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/GEOVIA/PDF/datasheet/GEOVIA-Surpac-SystemRequirements-64bit-6.8.pdf>>, Erişim Tarihi: 16.03.2017.

Yünsel, T.Y. (2007). Maden Yataklarının Jeostatistiksel Yöntemlerle Analiz ve Modellenmesi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora tezi), 232s, Adana.