

REZERV HESAPLAMALARINDA İSTATİKSEL YÖNTEMLER VE BİLGİSAYAR UYGULAMALARI

Erkin NASUF (*)

ÖZET

Bu bildiride rezerv hesaplamalarında kullanılan istatistiksel yöntemler ve bilgisayar uygulamaları hakkında bilgi verildikten sonra bu konuda Muğla-Sekköy kömür yatağı ile Bursa-Kestelek kolemanit cevher yatağı için yapılan iki bilgisayar uygulaması anlatılmıştır. Elde edilen bilgisayar sonuçları ile poligon yöntemini kullanarak elle yapılan hesaplama sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Sonuç olarak rezerv hesaplamalarında bilgisayar uygulamaları proje aşamasında mühendislere oldukça yararlı olacak ve çalışmalarını hızlandıracaktır.

ABSTRACT

In this paper the statistical methods and computer applications used for calculating the ore reserves are discussed in detail and two computer applications made to Muğla-Sekköy coal field and Bursa Kestelek -Colemanite field are explained. The results of the computer applications and those of the calculations by hand using polygon method are compared and found to be very close to each other. As a result, it can be said that the computer applications in reserve calculations are very time saving process and quite useful tool for engineers during the project stage.

(*) Yrd. Doç. Dr., İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL.

1. GİRİŞ

Bir maden sahasının planlanmasındaki ilk adım sahanın toplam rezervinin hesaplanması ya da en azından madencilik işlerine başlamayı garanti edebilecek rezerv miktarının önceden saptanmasıdır.

Bununla birlikte günümüzde modern madencilik işlerinin planlanması toplam rezerv miktarının bilinmesinden daha fazlasını gerektirmektedir, özellikle kömür madenciliğinde çıkarılan kömürün kullanılmasını sınırlayan damarın, yapısal ve kül, nem, kalori, kükürt gibi kimyasal özelliklerinin de önceden incelenmesi gerekmektedir. Metal madenciliğinde ise bu sınırlamalar, cevher tenorunun sahadaki dağılımının daha önceden bilinmesi ve böylece yatağın ekonomik analizinde ortaya çıkar.

Bu incelemeler ile ilgili veriler cevher yatağının aranması sırasında yapılan sondajlardan elde edilir. Bu verilerin ileride yapılacak planlamalar için uygun sayısal mühendislik parametreleri hâlinde değerlendirilmesi oldukça zaman harcayan bir işlem olup bunların matematiksel yöntemler ve bilgisayar yardımı ile çözümlenmesi kaçınılmazdır.

2. REZERV HESAPLAMALARINDA KULLANILAN İSTATİKSEL YÖNTEMLER

Bilindiği gibi rezerv hesaplamalarında kullanılan klasik yöntemlerin en basiti üçgen yöntemidir. Bu yöntemde saha içinde rastgele dağılmış olan sondaj noktaları birbirleriyle üçgenler oluşturacak şekilde birleştirilir. Daha sonra her üçgene ait alan ve ortalama kalınlık değeri, üçgenin noktalarındaki değerlerin ağırlıklı ortalanması alınarak hesaplanır ve daha sonra cevher yoğunluğu ile çarpılarak rezerv hesaplanır. Böylece saha boyunca üçgenlere ait rezervler toplanarak toplam rezerv bulunur.

Üçgen yönteminin biraz daha geliştirilmiş şekli ise poligon ya da orta dikme yöntemidir. Burada kullanılan prensip eşit tesir sahaları prensibidir. Bu yöntem kömür sahalarında üçgen yöntemine göre daha iyi sonuç verir. Bu durumda tüm saha herbir sondaj noktası çevresinde poligonlara bölünür ve her poligon sondaj

noktası için ölçülen değeri alır. Poligonların alanları ve sondaj değerleri çarpılarak tüm saha için toplam rezerv hesaplanır.

Üçgen ve poligon yöntemleri popüler oluşlarını basitliklerine borçludurlar. Ancak, bu yöntemler kullanıldığında karşılaşılan sorunlar şu şekilde özetlenebilir.

1 — Yöntemler, yalnız sondaj noktalarının dış sınırları ile oluşan saha içinde kullanılır, önerilen bir maden sahası içinde hiç bir sondaj parametre değerinin atanmadığı alanlar bulunabilir. Bunlar değerlendirme dışında kalmaktadır.

2 — Yöntemler, genellikle sondaj noktaları arasında çukur ve tepelerin olabileceğini varsayıp sondaj değerleri arasında interpolasyon (ara değer bulma) işlemi yapmazlar.

3 — Yöntemler, ancak yapılan sondajlar bir ölçüde az aralıklı ve eevher yatağının homojen bir yapıya sahip olması durumunda doyurucu sonuçlar verirler. *

Klasik rezerv hesaplama yöntemlerinde karşılaşılan sorunlar ve son yıllardaki bilgi yorumu ve analizi üzerine geliştirilen yöntemlerin varlığı, araştırmacıları, rezerv hesaplamalarını daha gerçekçi ve doğru yapabilecek yeni yöntemlerin geliştirilmesine yöneltmiştir. Böylece geliştirilen istatiksel teoriler rezerv hesaplama yöntemlerinde gittikçe artan bir rol oynamaya eğilim göstermektedirler. Gerçekte bu yöntemler yeni olmayıp çoğu zaman belirli uygulamaların amacına yönelik biçimde değiştirilmiş uyarlamalardır. Yöntemlerin avantajı ise rezerv hesaplamalarını istenilen saha sınırları içinde çabuk ve doğru yapabilmeleri ve ayrıca elde edilen sonuçlar için teminat ölçüsü ve hesaplanan belirli bir değerle ilgili olarak olası hata miktarını verebilmeleridir. Rezerv hesaplamalarında kullanılan istatiksel yöntemlerin sağlık derecesi birbirine komşu sondaj değerleri arasındaki yorum ve değerlendirmenin temelini oluşturan prensiplere bağlıdır. Rezerv hesaplamalarında kullanılan istatiksel yöntemler şöyle sıralanabilir;

2.1. Klasik istatiksel Yöntemler

Bu yöntemler kullanıldığında, sahadaki sondaj numune değerlerinin istatiksel yöntemler içindeki normal ya da bilinen diğer dağılımlara yaklaşık olarak uyduğu ve rasgele işlemlerin sonucunda olduğu varsayılır.

Diğer bir deyişle; bir mineral yatağında numune değerlerinin ortalama bir değer etrafında rastgele değiştiği kabul edilir. Buna bağlı olarak cevher yatağının ortalama değer ve rastgele değişimlerinin bazı ölçüleri, örneğin; varyans, kovaryans ve standart sapma, tam olarak açıklanabilir. Regresyon analizleri yardımı ile daha sonra bu değerlerden rezerv hesaplamasında yararlanır.

2.2. Ağırlıklı Hareket Eden Ortalamalar Yöntemi

Klasik rezerv hesaplama yöntemlerinde olduğu gibi sondajlarla saptanmış bir sahanın yalnız sondaj sınırları içinde kalan kısmının değilde sahanın tümünü değerlendirmek için interpolasyon (ara değer bulma) tekniklerinden yararlanmak bilinen istatistiksel yöntemleri bir adım öteye götürmüştür.

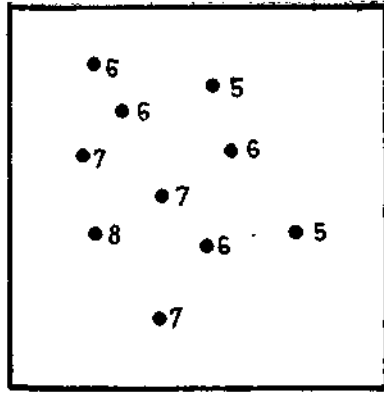
Bu tekniklerin uygulanmasında, bir maden sahasının sistematik bir şekilde değerlendirilmesi için, saha düzgün dağılmış kare ya da dikdörtgenlerden oluşan ızgaralara (GRiD) bölünür (Şekil 1 b). Daha sonra her bir ızgara düğüm noktası için bilinmeyen değerler, sahaya rastgele dağılmış olan sondaj değerleri veri kabul edilerek ağırlıklı hareket eden ortalamalar yöntemi ile hesaplanır (Şekil 1). Bu hesaplama yapılırken her bir ızgara düğüm noktasına en yakın sondaj değerleri gözönünde tutulur. Her düğüm noktasındaki değer, bu noktaya en yakın sondaj noktalarına olan uzaklıklarının tersi ile ağırlıklı bir şekilde yuvarlatılarak bulunur. Buna bir örnek olarak; bir harita üzerinde sondaj noktaları ile bunlara ait ölçülen değerleri göz önüne alalım (Şekil 1 a). Herhangi bir (k) düğüm noktasının en yakın (i) sondaj noktalarına uzaklığı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$D_{ik} = \sqrt{(X_k - X_i)^2 + (Y_k - Y_i)^2}$$

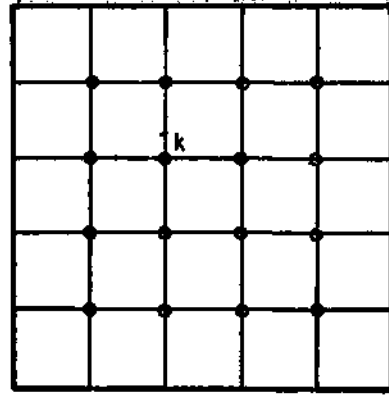
Burada; X_k ve Y_k ızgara düğüm noktası koordinatları olup X_i ve Y_i bu düğüm noktası koordinatlarıdır. Uzaklıklar hesaplandıktan sonra düğüm noktalarındaki değerler (Z_k) ise aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

$$Z_k = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i / D_{ik})}{\sum_{i=1}^n (1 / D_{ik})}$$

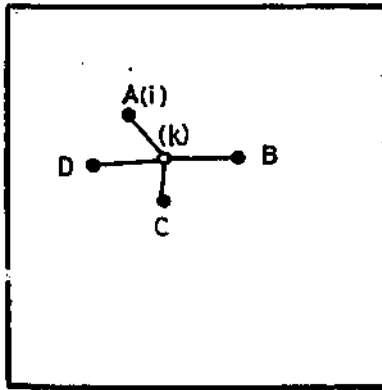
Burada; Z_i sondaj noktalarında ölçülen parametre değerleridir.



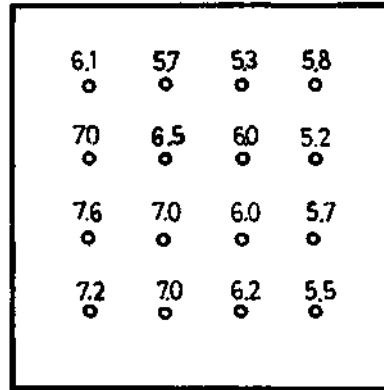
a



b



c



d

Şekil 1. Ağırlıklı hareket eden ortalamalar yöntemi

Numerik bir örnek olarak Şekil 1c'deki (k) düğüm noktası için A, B, C, D noktalarından yararlanılarak (z_i) değerini hesaplırsak; A noktası için uzaklık,

$$D_{ik} = \sqrt{(2.0 - 1.5)^2 + (3.0 - 3.6)^2} = \sqrt{0.61} = 0.78$$

3 noktası için uzaklık,

$$D_{i,,} = \sqrt{(2.0 - 3.0)^2 + (3.0 - 3.0)^2} = \sqrt{1.00} = 1.00$$

C noktası için uzaklık,

$$D_{ik} = \sqrt{(2.0-2.0)^2 + (3.0-2.4)^2} = \sqrt{0.36} = 0.60$$

D noktası için uzaklık;

$$D_{ik} = \sqrt{(2.0-1.0)^2 + (3.0-2.9)^2} = \sqrt{1.01} = 1.00$$

Bu değerleri kullanarak (z_k) değeri

$$Z_k = \frac{32.36}{4.95} = 6.54$$

olarak bulunur.

Aynı işlem bir sonraki düğüm noktası için yapılır. Bir sıra bitince diğer bir sıraya geçilir. Böylece bu işlem tüm saha boyunca yapılarak her bir düğüm noktası için bir değer hesaplanır (Şekil 1 d). Hesaplanan bu değerler arasında interpolasyon (ara değer bulma) yapılarak istenilen aralıkta kontur çizdirmek olanaklıdır. Sahanın rezervini hesaplamak için ilkönce her bir ızgara odasının değeri köşelerindeki değerlerin ortalaması alınarak bulunur ve daha sonra alan ve yoğunlukla çarpılarak ızgara odasının rezervi hesaplanır. Tüm saha boyunca bu işlem yapılırsa toplam rezerv hesaplanabilir.

2.3. Polinoma Uyarlama (Trend Surfaces) Yöntemi

Rezerv hesaplamalarında ve kontur çizdirmeye kullanılan diğer bir istatistiksel yöntem polinoma uyarlama yöntemidir. Yöntemin esası, sondajlardan elde edilen veriler yardımı ile yüzeyi tam olarak temsil edebilecek polinom eşitliğinin bulunmasından ibarettir. Yöntem cevher yatağı içindeki herhangi bir değer için yerel değişken olduğunu, yani bulunduğu konumun bir fonksiyonu olduğunu ve bu değer için x, y, z koordinatları ile tarif edilebileceğini kabul eder. Diğer bir deyişle; hesaplanan polinom eğrisi sondaj verilerinin, coğrafik koordinatlarının bir fonksiyonudur. Yapılan uygulamalarda kabul edilen kriter ise sondaj veri değerlerinin hesaplanan değerlerden olan farklarının karesinin en az olmasıdır. Bir polinom eşitliğinin genel formülü aşağıdaki gibidir.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

Ençok kullanılan polinom ise lineer polinomdur ($y = a_0 + a_1X$). Bir polinomun belirlenebilmesi için $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$, katsayılarının bilinmesi gereklidir, iki bağımsız değişkenin bir noktanın X_1 ve X_2 koordinatları olması halinde, lineer polinom eşitliği aşağıdaki gibi olur.

$$y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$$

Bir maden sahasındaki tüm sondaj noktaları için hesaplanacak polinomun katsayıları aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanır.

$$\Sigma Y = a_0n - a_1\Sigma X_1 - a_2\Sigma X_2$$

$$\Sigma X_1Y = a_0\Sigma X_1 - a_1\Sigma X_1^2 - a_2\Sigma X_1X_2$$

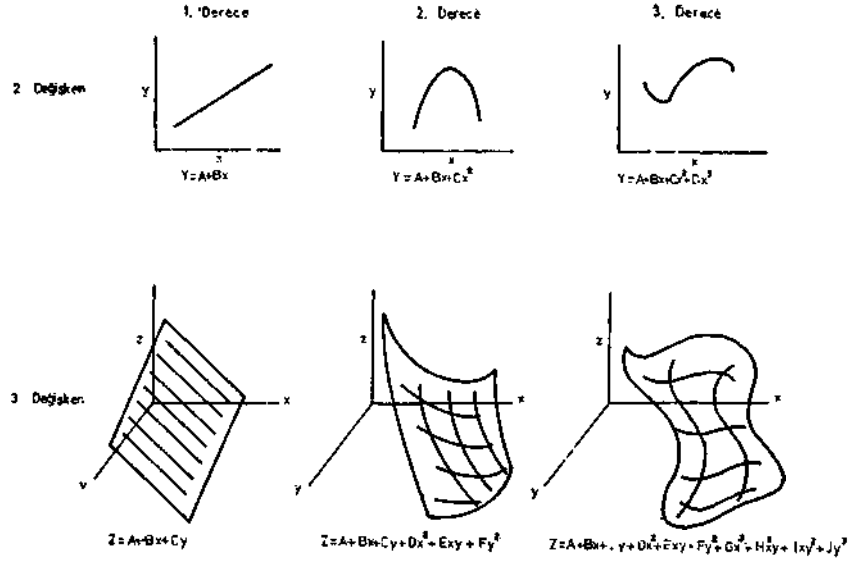
$$\Sigma X_2Y = a_0\Sigma X_2 - a_1\Sigma X_1X_2 - a_2\Sigma X_2^2$$

Bulunan a_0, a_1 ve a_2 katsayıları yukarıdaki eşitliklerde yerine konulduğunda herhangi bir noktadaki değer hesaplanması olanaklı olacaktır- Bu değerler gerçek değerlerle karşılaştırılıp hesaplanan polinom eşitliğinin, gerçek koşulları ne kadar temsil ettiği bulunur.

Rezerv hesaplarına geçiş ise sahayı temsil edecek polinom bulunduktan sonra daha önceki gibi sahayı ızgaralamak ve ızgara düğüm noktası değerlerini bulmaktan ibarettir. Bir yüzeyin polinoma uyarlanması, 2 ya da daha fazla değişken için olduğu kadar 1, 2, 3 derece polinomlar için yapılan hesaplamalarda amaca göre uygulanır (Şekil 2).

2.4. Jeostatiksel Yöntemler

Jeostatiksel yöntemler yukarıda sözü edilen yöntemlerin biraz daha geliştirilmiş halidir. Kullanılan teknikler yerel değişken teorisinden türetilmiş istatiksel teorilerdir. Yerel değişken bir yerden bir yere belirli bir süreklilikle değişen ancak basit ve bilinen fonksiyonlarla ifade edilemeyen değişkenlerdir. Böyle bir değişkene örnek olarak bir cevher içindeki tenor dağılımını verebiliriz. Jeostatiksel yöntemler, bir maden yatağındaki sondaj parametre değerlerinin uzamsal değişimlerinin sürekliliği ve farklı yönlerde var olan değişkenliği gözönüne alır ve herhangi iki parametre de-



Şekil 2. Polinoma uyarlama yöntemi

gerinin birbirine bağımlı olduğu ve bu bağımlılık derecesinin aralarındaki uzaklığın bir fonksiyonu olduğunu varsayar. Ağırlıklı hareket eden ortalamalar yöntemini kullanarak elde edilen ızgara düğüm noktalan değerleri jeostatiksel yöntemler yardımı ile değerlendirildiğinde daha gerçekçi bir sonuç elde edilebilir. Çünkü, Jeostatiksel yöntemlerdeki ağırlık fonksiyonu uzaysal dağılmış bu değerler arasında kovaryans analizi yaparak komşu noktalarla olan fonksiyonel ilişkiyi bulurlar ve daha uzaktaki noktaların bu ilişki üzerinde etkisi olmayacaktır.

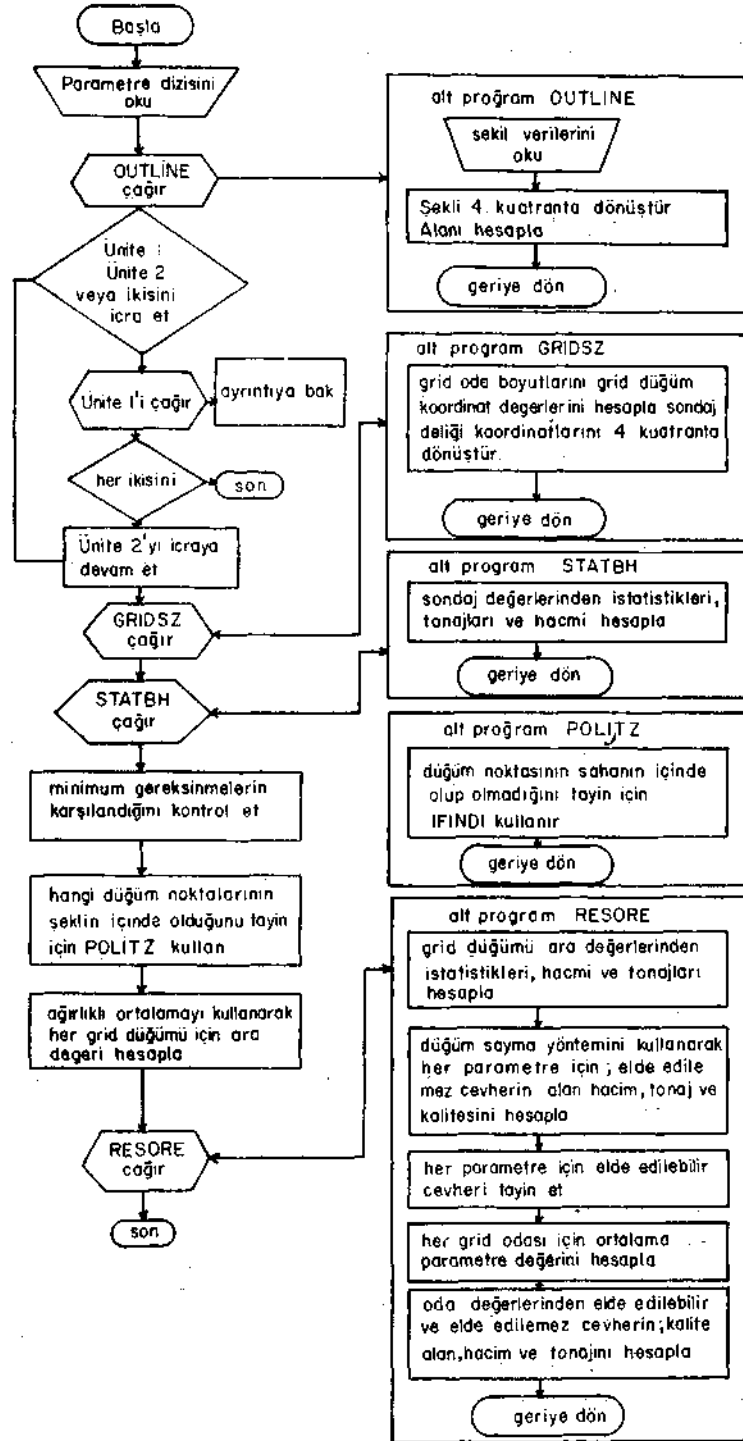
3. BİLGİSAYAR UYGULAMALARI

Rezerv hesaplamaları ile ilgili olarak, Muğla -Sekköy linyit açık ocağı ve Kestelek kolemanit cevher yatağı için Pensilvanya üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir rezerv programı kullanılarak iki bilgisayar uygulaması yapılmıştır. Kullanılan bu program yardımı ile kömür cevherinin kullanılmasını sınırlayan, damar kalınlığı, kül, kükürt, nem ve kalori gibi parametreler ile metal cevherlerinin kullanılmasını sınırlayan, cevher tenörü gibi para-

metreler gözönüne alınarak elde edilebilir toplam rezerv miktarını hesaplamak mümkündür. Programda kullanılan istatistiksel yöntem, ağırlıklı hareket eden ortalamalar yöntemidir. Program iki üniteden oluşmaktadır. Birinci ünite ızgara düğüm noktasındaki değerleri hesaplamada kullanılacak ağırlık sabitlerinin hesaplanması yapılır. İkinci ünite ise sırasıyla her saha için değişik olan bu sabitler kullanılarak ızgara düğüm noktalarındaki değerler hesaplanır. Daha sonra sondaj parametre değerlerinin ortalamaları ve standart sapmaları nem sondaj değerleri hemde düğüm noktaları için hesaplanır. Düğüm noktalarının herbiri için kabul edilebilir sınırlar içinde olup olmadığı incelenir. Kabul edilemeyen değerler için düğüm sayımı yapılır ve inceleme sonunda «elde edilemez» cevherin ortalama değeri, hacmi ve tonajı hesaplanır. Bu işlem herbir parametre değeri için ayrı ayrı tekrarlanır. Sonuçta, her parametre için bir elde edilebilir ya da elde edilemez tonajlar sanki bunlardan yalnız bir tanesi istenmiş gibi bulunur. Bundan sonra tanımlanan saha içindeki herbir ızgara odası için program, ortalama değerleri, hacimleri ve tonajları hesaplar. Ortalamalar, saha içinde yer alan ızgara odalarının her köşesindeki düğüm değerleri kullanılarak hesaplanır. Toplam değerler, hacimler ve tonajlar saptılır. Belirtilen herhangi bir parametre sınırının açılıp açılmadığını kontrol etmek için herbir oda incelenir. Eğer sınır aşılmışsa oda rezerve dahil edilmez. Her inceleme sonunda rezerve dahil edilen ya da edilmeyen odalarla ilgili ortalama değerler, toplam alanlar, hacimler ve tonajlar hesaplanır.

Rezerv hesapları ayrıca poligon yöntemi kullanılarak hesaplandı. Alt programlar ve yaptıkları işler Şekil 3'deki akış diyagramında gösterilmiştir. Programa giriş verileri; maden sahasının sınırlarını tanımlayan maksimum 50 noktanın koordinatları ve her sondajın kestiği damar kalınlıkları ve cevher yoğunluğu gibi bilgileri içermektedir.

Yapılan uygulamalar proje çalışmalarına paralel yürütülmüş ve yalnız Muğla - Sekköy linyit sahasının rezervi hesaplanırken 10 cm. den büyük damarların rezervi hesaplanmış, Kestelek uygulamasında ise herhangi sınırlayıcı bir parametre kullanılmamıştır. Rezerv hesapları ayrıca poligon yöntemi kullanılarak hesaplandı. Bilgisayardan elde edilecek çıkış bilgilerini karşılaştırma olanağı bulunmuştur. Kestelek kolemanit cevher yatağının üst üste tabakalaşmış 3 daman için rezerv miktarı ayrı ayrı hesaplanmıştır.



Şekil 3. Rezerv programı akış şeması

Bilgisayardan elde edilen bu sonuçlar ile poligon yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar ayrıca Çizelge 1'de gösterilmiştir. Buna göre Milas- Sekköy linyit sahası için rezerv miktarı % 97'lik bir doğrulukla hesaplanırken Kestelek kolemanit sahası için % 99'lük bir doğrulukla hesaplanmıştır.

Çizelge 1 — Bilgisayardan ve Poligon Yöntemi Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

Maden Sahasının adı	Poligon yöntemi ile yapılan rezerv hesabı	Bilgisayar ile yapılan rezerv hesabı
Milas - Sekköy	84 618 000 Ton	87 009 325 Ton
Kestelek . Kolemanit	7 356 340 Ton	I. D 868 987 Ton II. D 5226 016 Ton m. D 1330 599 Tön Top : 7 425 602 Ton

Not : Kestelek Kolemanit için Çizelge 1'de verilen sonuçlar bilgisayar uygulamasından sonra yapılan sondajların ilavesiyle danada artmıştır.

i. SONUÇLAR

Yeni geliştirilen istatiksel yöntemler sayesinde artık rezerv hesaplamaları bilgisayarla kolaylıkla yapılabilmektedir. Kullanılan bu istatiksel yöntemler kullanılış amaçlarına göre uygulamada bazı farklılıklar göstermektedir. Bunlardan ağırlıklı hareket eden ortalamalar yöntemi jeostatiksel yöntemlerle birlikte kullanıldığında uzaktaki noktalardan daha çok yakın noktalar gözetildiğinden polinoma uyarlama yöntemine göre daha avantajlı olmaktadır. Zira polinoma uyarlama yönteminde saha içindeki tüm noktalar gözönünde tutulmaktadır. Jeostatiksel yöntemler ayrıca yapılan hatalarında bildirdiğinden daha büyük avantaja sahiptirler.

Milas-Sekköy linyit ve Kestelek kolemanit rezerv hesaplamaları için yapılan uygulamalarda klasik rezerv hesaplama sonuçları ile bilgisayarla elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakın hesaplanmıştır. Böylece rezerv hesaplamalarının bilgisayarla yapılması hem çabuk hemde doğru sonuçlar verdiği için, ilerdeki proje çalışmalarında bilgisayarlardan yararlanmak kaçınılmaz olacaktır.

KAYNAKLAR

1. NASUF, S.E., «Madencilik Endüstrisinde Mini Bilgisayarların Kullanılması». Madencilikte Son Gelişmeler Konferansları, Zonguldak, 24-29 Ocak 1982.
2. NASUF, S.E., «Kömür Sahalarının Bilgisayarla Değerlendirilmesi Ve Muğla - Sekköy Linyit Açık Ocağına Bir Uygulaması» Türkiye 3. Kömür Kongresi, 12 -16 Mayıs 1982, Zonguldak-
3. JOHN. C. DAVIES, «Statistics and Data Analysis in Geology» John Willey and Sons Publications, 1973.
4. JOURNAL A. G., and HUIJBREGTS C. H-, «Mining Geostatistics».
- 5- Jeoloji ve Rezervler Alt Sistemi, «Pennsylvania State University, versity-
6. Design Optimization in Underground Coal Systems Vol II, Reserve Coal Program, Virginia polytechnique Institute and State University, Feb. 1981.