

SAYISAL ARAZI MODELLEMESİNDE KULLANILAN KESTİRİM TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON OF ESTIMATION TECHNIQUES USED IN DIGITAL TERRAIN MODELLING

Ahmet ÜNAL W
Hülya TURHAN <••>

Anahtar Sözcükler Linyit, Kestirim, Sayısal Arazi Modellemesi,
Topografya, Damar Kodu

ÖZET

Sayısal arazi modellerinin kurulabilmesi için çok sayıda nokta kestirim yöntemi geliştirilmiştir. Afşin-Elbistan Linyit Havzası'nda yer alan Çöllolar sahasında mevcut sondajlardaki topografya ve damar taban kodu değerleri kullanılarak bu kestirim yöntemlerinin bir performans değerlendirmesi yapılmıştır. Kriging, mesafenin tersi, mesafenin tersinin karesi ve eğilim yüzeyi analizinin poligon, üçgenleme ve Taylor aproksimasyonuna oranla daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur.

ABSTRACT

Numerous point estimation methods have been developed for the construction of digital terrain models. A performance evaluation of the estimation methods have been made using the surface and seam bottom elevation measurements obtained from the drill holes bored at the Çöllolar section of the Afşin-Elbistan Lignite Basin. Kriging, inverse distance weighting, inverse distance square weighting, and trend surface analysis techniques have given better results in comparison to polygonal, triangular, and Taylor approximation methods.

* Doç. Dr., Maden Müh. Böl., ODTÜ, ANKARA
** Araş. Gör., Maden Müh. Böl., ODTÜ, ANKARA

1. GİRİŞ

Sayısal arazi modeli, saha üzerinde yerleştirildiği düşünölen bir ızgaranın düğüm noktalarına karşılık gelen noktalarda yükselti değerlerinin kestirilmesiyle oluşturulmaktadır. Böylelikle, Surfer bilgisayar yazılım paketinde olduğu gibi, eşyükselti haritaları ve düğüm noktalarının oluşturduğu hatlar üzerinde yer alan kesitler kolaylıkla çizilebilmekte, bu-kesitler biraraya getirilerek yüzeyin 3-B (Uç boyut)lu tel ađ (wire mesh) gösterimi mümkün olmaktadır. Ayrıca iki yüzey arasında kalan hacim de kesit ve diğer yöntemler kullanılarak kolaylıkla hesaplanabilmekte olup rezerv ve dekapaj miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Çetiner,1991).

Sayısal arazi modelinin kurulmasındaki kritik işlem düğüm noktalarındaki yükselti değerlerinin kestirilmesidir, zira eşyükselti haritalarının, kesitlerin, yüzeyin gösteriminin ve hacim hesaplarının doğruluğu bu işlem yoluyla elde edilen kestirimlerin doğruluğuna bağlı olmaktadır. Sayısal arazi modellemesinde en sık kullanılan yöntem üçgen yöntemi olmuştur. Son yıllarda mesafenin tersi (MT), mesafenin tersinin karesi (MTK), kriging, eğilim yüzeyi analizi (EYA) ve Taylor aproksimasyonu (TA) yöntemleri de kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada yukarıda bahsi edilen nokta kestirim yöntemlerinin Afşin-Elbistan linyit havzasında yer alan Çöllolar sahasındaki yüzey topografyası ve damar taban kodunu modellemedeki performansları karşılaştırılmaktadır.

2. KESTİRİM YÖNTEMLERİ

Bu çalışmada kullanılan teknikler poligon, kriging, MT, MTK, EYA, TA ve üçgen yöntemleri olup her yöntem değişik yaklaşım ve kabullere dayanmaktadır.

Poligon yönteminde her sondaj noktası için içerisindeki tüm noktalarının o sondaj noktasına diğer sondajlardan daha yakın olduğu bir poligon oluşturulur ve o poligon içerisindeki tüm noktalardaki parametre değerleri poligona esas teşkil eden sondaj noktasındaki parametre değerlerini taşıdığı kabul edilir.

Üçgen yönteminde saha, köşeleri sondaj noktalarına yerleştirilmiş üçgenlere bölünür. Çeşitli üçgenleme algoritmaları mevcut olup, en yaygın olanı Delaunay üçgenleme yöntemidir (Isaaks,ve Srivastava, 1989). Üçgenin köşe noktalarında parametre değerleri bilinen sondajlar mevcut olduğundan bu noktalardan bir polinom geçirilebilir. Bu çalışmada olduğu gibi genellikle herhangi bir noktadaki parametre değeri, içinde yer aldığı üçgenin üzerinde uyarlanan düzlemin fonksiyonu ile modellenmektedir. Çalışmada üçgenler kontrol amacıyla ayrılan 130 sondaj noktası için tek tek grafiksel bir bilgisayar yazılımı kullanılarak seçilmiş; seçim sırasında ise köşe noktalarının kontrol noktasına uzaklığı ve kontrol noktasının üçgenin ağırlık merkezine uzaklığı gibi kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Dolayısıyla, bu çalışmada uygulanan üçgenlemenin diğer üçgenleme algoritmalarına oranla daha iyi sonuç verdiği düşünölmektedir.

(x,y) saha üzerindeki herhangi bir noktanın koordinatları, $f(x,y)$ o noktadaki parametre değeri ve n sondaj sayısı ise, sondaj noktalarındaki parametre değerlerinden geçecek n -dereceli tek bir polinom vardır ve 1 no'lu bağlantı ile ifade edilen bu polinomun katsayıları regresyon yöntemi ile bulunabilir.

$$f(x,y) = a + bx + cy + dxy + ex^2 + fy^2 + gx^2y + hxy^2 + jx^3 + \dots + zy^n \quad (1)$$

Bu koşullarda bulunan polinom parametrenin saha içerisindeki genel dağılımını doğru olarak temsil etmeyebilecektir, zira parametre değerlerini ölçmede hata yapılabilecek ve bu hatalar da gerçeğe aykırı kıvrımlara yol açabilecektir. Fakat, daha da önemlisi çoğu kez sahada mevcut genel eğilime ek olarak yerel oynamalar da söz konusu olmakta ve bu yöntem ile gerçeği tam olarak yansıtmayacak bir model elde edilebilmektedir. Bu sebeple, uygulamada yerel oynamalar gözardı edilerek genel eğilimi doğru olarak modellediği düşünülen k-dereceden bir polinom bulunması yoluna gidilir ($k \leq n$). Yani k+1 dereceden bir polinomun k-dereceden bir polinoma tercih edilmesi için istatistiksel olarak belirgin bir aşama kaydedilmesi gerekmektedir ve bunu test eden yöntemler regresyon teorisi içinde bulunmakta olup çözüm için hataların bağımsız, hata varyanslarının da sabit olması gerekmektedir (Davis, 1986). Çalışmada EYA olarak bahsedilen yöntem hataların normal dağıldığı kabul edilen k-dereceden istatistiksel olarak belirgin olan polinom bulunarak uygulanmıştır.

Saha içerisindeki herhangi bir $(x+h, y+k)$ noktasına değer atamak amacıyla kullanılan diğer bir yaklaşım ise bu nokta çevresinde yerel bir parametre fonksiyonu aproksimasyonu yapılmasına dayanmaktadır. TA yönteminde kullanılan aproksimasyon Taylor aproksimasyonu fonksiyonuna dayanmakta olup şöyle ifade edilir :

$$f(x+h, y+k) = f(x, y) + \left(h \frac{\partial f}{\partial x} + k \frac{\partial f}{\partial y} \right) + \epsilon$$

$f(x, y)$ olarak $(x+h, y+k)$ noktasına en yakın sondajın parametre değeri, $\partial f / \partial x$ ve $\partial f / \partial y$ 'in tahmininde ise mesafenin tersi tekniği kullanılmaktadır (VPISSU, 1981).

Mesafenin tersi yönteminde, bir nokta kestirilirken o nokta çevresinde belirlenen bir yarıçap içine düşen tüm noktalara, kestirim noktasına olan mesafesinin tersiyle orantılı bir ağırlık atanır. Bu ağırlık mesafe arttıkça sıfıra yaklaşırken kestirim noktasında 1'e eşit olur. MTK yönteminde ise ağırlıklar mesafelerin tersinin karesiyle orantılı alınarak atanır.

Jeoistatistiksel bir yöntem olan kriging yalnızca mesafeyi değil aynı zamanda sondaj noktalarının kestirim noktasına ve birbirlerine göre konumlarını da dikkate almaktadır. Geoistatistiksel yaklaşım, bir noktanın parametre değerini kestirmek amacıyla kullanılan tüm noktalarındaki, yani sondaj noktalarındaki, parametre değerlerini rastgele bir fonksiyonun sonuçları olarak kabul eder. Bu yaklaşıma göre herhangi bir nokta üzerindeki parametre değeri rastgele bir değişken olarak kabul edilmekte ve iki nokta arasındaki mesafe ve yöne bağlı olan kovaryans veya variogram fonksiyonu da yerel durağanlık varsayımı kullanılarak modellenmektedir. Bu yaklaşım sayesinde, MT ve MTK gibi mesafe ağırlıklı doğrusal kestirim yöntemleri için kestirim varyansı ifade edilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan ortalamasız (ordinary) kriging yöntemi ise ağırlıkların kestirim varyansını minimize edecek şekilde seçilmesine dayanmaktadır. Bu konu ile ilgili son yıllarda çok sayıda kaynak kitap yayınlanmış olup, bunlar arasında David (1977), Journel ve Huijbregts (1978), Rendu (1981) ve Isaaks ve Srivastava (1989)'nın kitaplarını saymak mümkündür.

3. YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yaklaşık 11.5 km²'lik bir alanı kaplayan Çöllolar sahasında oldukça düzgün aralıklarla yapılmış, koordinatları bilinen, yüzey kodu (topografya) ve damar taban kodu değerlerinin de ölçüldüğü 305 adet sondaj bulunmaktadır. Sondajlardan 130'u yöntemlerin karşılaştırılmasında kullanılmak üzere ayrılmış ve bu seçim yapılırken geriye kalan 175 sondajın sahada düzgün bir dağılım göstermesine özen gösterilmiştir. Ayrılan 130 sondaj noktasında sadece kestirim yapılmış, variogram modellemesinde veya kestirim yapılırken kullanılmamıştır. Böylelikle yükselti değerleri bilinen 130 sondajın herbirisi için üçgen, poligon, MT, MTK, EYA, TA ve kriging yöntemleri kullanılarak birer de yükselti kestirim değeri bulunmuştur.

Kestirim tekniklerinin karşılaştırılmasında ortalama hata, hataların standart sapması, ortalama mutlak hata (OMH), hataların karesinin ortalaması (HKO), maksimum ve minimum hata arasındaki mesafe (range) ve birinci ve üçüncü kuartaylar arası mesafe (interquartile range veya kısaca IQR) gibi kriterler kullanılmıştır.

Yöntemlerin koşullu yansızlığı sağlayıp sağlamadığı kestirilen değerlere karşı çizilen hata grafiklerinden tesbit edilmeye çalışılmıştır. Bir yöntemin yansız olabilmesi için hataların $y=0$ çevresinde simetrik olarak dağılması gerekmektedir.

Hangi yöntemin daha iyi sonuç verdiğini kestirim değerine karşılık gerçek değerlerin işaretlendiği saçılım grafiklerinden de tespit etmek olası ise de bu her zaman kolay olmamaktadır. Bu sebeple, kestirilen değerlere karşı gerçek değerlerin doğrusal regresyonu yapılmış ve regresyon doğrusu ile 45° doğrusu arasında kalan alan hesaplanmıştır. Bu alan ne kadar küçük ise yöntem de o kadar iyi sonuç veriyor demektir. Ayrıca, kestirim değerleri beş sınıfa bölünmüş ve sınıfların içine düşen değerlerin ortalamalarına karşılık gerçek değerlerin ortalamaları koşullu beklenen değer grafiklerinde işaretlenmiştir. İdeal olarak, koşullu beklenen değer grafiği 45° doğrusu üzerinde yer almalıdır.

3.1 Topografya

Çalışmada ele alınan ilk parametre yüzey topografyası olup her sondaj noktasında yüzey yükseltisi ölçülmüş bulunmaktadır. Variogram modellemesi çalışmalarında sahada anisotropik bir yapının mevcut olduğu gözlemlenmiş ve 0° nin büyük eksen, 90° nin ise küçük eksen olduğu geometrik tabir edilen anisotropik bir model uyarlanmıştır. Kriging kestirimleri külçe etkisi (C_0) 11 m², sili'i (C) 112 m², büyük etki mesafesi 5500 m ve açısı 0°, küçük etki mesafesi 4500 m ve açısı 90° olan anisotropik küresel bir variogram modeli kullanılarak bulunmuştur. Kestirim yarıçapı olarak da 2000 m alınmıştır. MT ve MTK yöntemlerinde kestirim yarıçapı olarak 2000 m alınmıştır. EYA yöntemi için ise en uygun polinom derecesinin 3. derece olduğu bulunmuştur.

Çizelge 1'de hata dağılımlarının istatistikleri verilmiş olup en küçük hata ortalamasını MTK (0.069m) yönteminin verdiği gözlenmektedir. Bu yöntemi sırasıyla üçgen (0.105m), kriging (0.108m), EYA (0.235m), MT (0.384m), Taylor aproksimasyonu (-0.698m) ve poligon (-0.791m) yöntemleri izlemektedirler. Ortalama hata her zaman en iyi kriter olmayabilmektedir, zira çok büyük artı ve eksi hatalar birbirlerini götürerek küçük bir ortalama hata verebilmektedirler.

Standart sapma, OMH ve HKO açısından en küçük değerleri EYA (standart sapma=5.485, OMH=3.691, HKO=29.485) verirken kriging (standart sapma=6.116, OMH=3.868, HKO=36.739) de ikinci sırayı almaktadır. En büyük yayılım ve yanlılığı poligon (standart sapma=7.541, OMH=4.456, HKO=56.585) ve Taylor aproksimasyonu (standart sapma=7.285, OMH= 4.407, HKO=52.660) yöntemleri vermiştir. Maksimum ve minimum arasındaki mesafenin en düşük olduğu yöntemler EYA, kriging ve MTK iken en yüksek olduğu yöntem poligon olmuştur. Aynı şekilde IQR'lar söz konusu olduğunda, en düşük değeri MTK ve kriging verirken en büyük değerleri EYA ve MT vermişlerdir.

Çizelge 1 : Topografya için Hata Dağılımlarının İstatistikleri

	Poligon	Kriging	MT	MIK	TA	EYA	Üçgen
Sondaj Sayısı	130	130	130	130	130	130	124
Ortalama	-0.791	0.108	0.384	0.069	-0.698	0.241	0.105
StA Sapma	7.541	6.116	6.135	6.250	7.285	5.485	6.520
Minimum	-35.170	-19990	-22.670	-21.610	-35.020	-19.170	-22.040
Birinci Kuart	-2.390	-1.570	-2.565	-1.585	-2.505	-2.700	-2.190
IOR	4.305	4.065	6.025	3.695	4.630	5.660	4.740
OçOncüKuart.	1915	2.495	3.460	2.110	2.125	2.960	2.550
Medyan	-0.170	0.075	0.215	0.250	-0.285	0.080	0.045
Maksimum	23.720	23.730	22.200	22.870	23.850	23.860	23.950
Maks-Min.	58.890	43.720	44.870	44.480	58.870	43.030	45.990
OMH	4.456	3.868	4.335	3.987	4.407	3.691	4.147
HKO	56.585	36.739	37.491	38.768	52.660	29.485	42.175

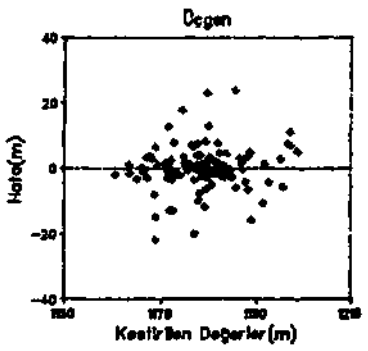
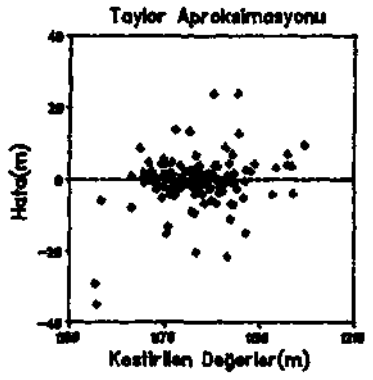
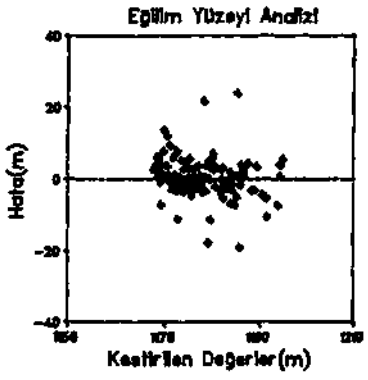
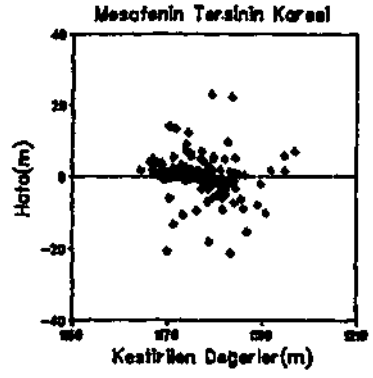
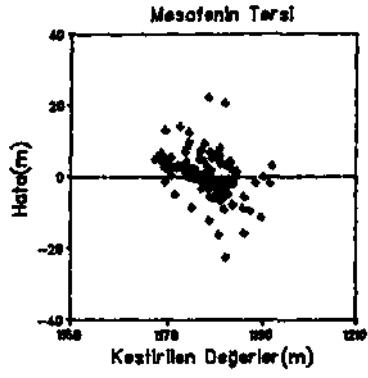
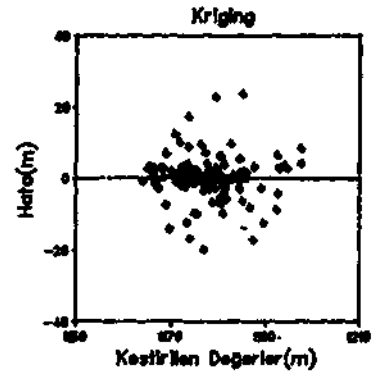
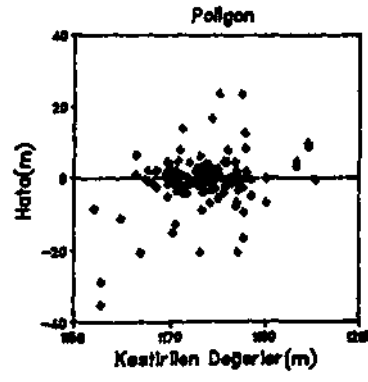
Şekil 1'de kestirilen değerlere karşı hataların grafikleri verilmiş olup kriging, MTK, EYA ve üçgen yöntemlerinin yansız oldukları görülmektedir. Bu gözlemi daha somut bir kritere dayandırmak üzere yapılan regrasyon ve bunun sonucunda elde edilen doğru ile hataların sifıra eşit olduğu doğru arasında kalan alanlar da hesaplanmış ve Çizelge 2' de verilmiştir. Burada en küçük alanı veren kriging, üçgen, MTK ve EYA yöntemlerinin 0* doğrusuna daha yakın sonuçlar verdiği ortaya çıkarken en kötü sonuçları MT yönteminin verdiği görülmektedir.

Çizelge 2 : Topografya için regrasyon doğrusu ile y=0 doğrusu arasında kalan alan, eğim, kesişim noktası ve korelasyon katsayısı

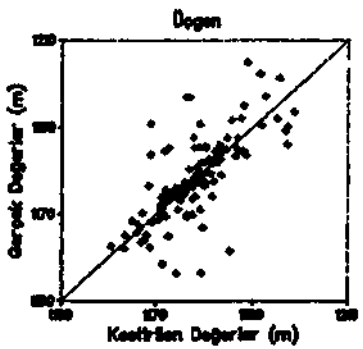
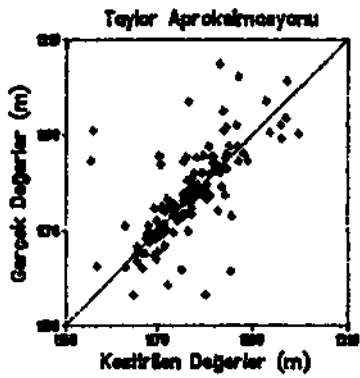
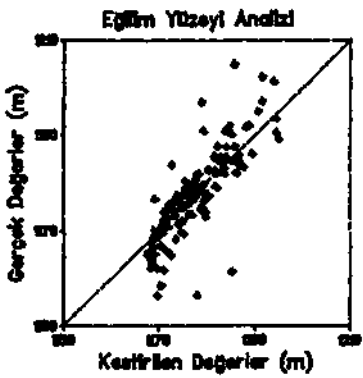
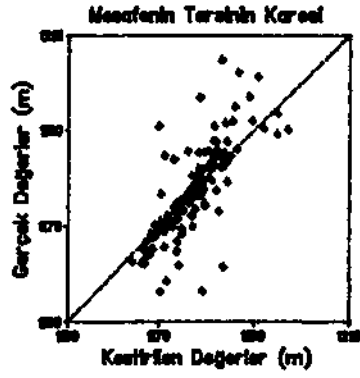
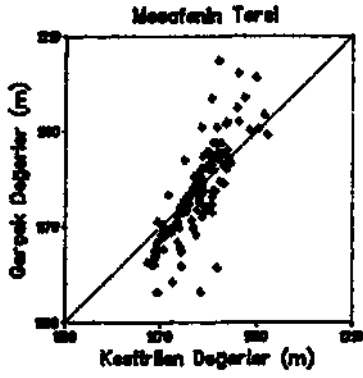
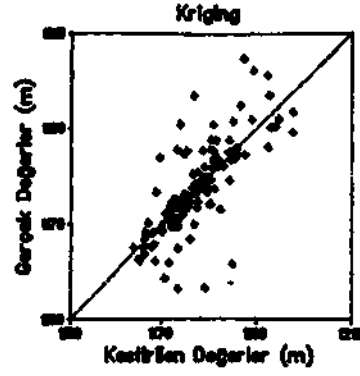
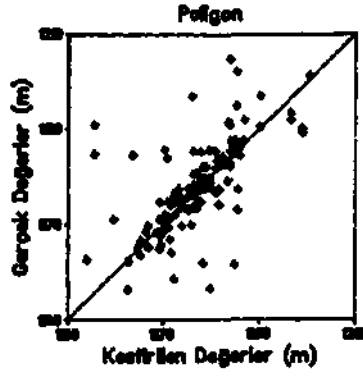
	Poligon	Kriging	MT	MIK	TA	EYA	Üçgen
Korelasyon K.	0.300	-0.004	-0.398	-0.141	0.258	-0.174	0.130
ESim	0.273	-0.004	-0.482	-0.142	0.233	-0.142	0.111
Kesişim N.	-322.262	4.450	568.495	167.706	-274.384	167.482	-130.945
Alan	160.740	13.195	284.303	83.652	139.096	83.757	65.425

Şekil 2'de kestirilen değerlere karşı gerçek değerlerin saçınımları gösterilmektedir. Bu noktaların 45* doğrusuna yakınlığını tesbit etmek için doğrusal regrasyon yapılmıştır. Bu doğru ile 45* doğrusu arasındaki alanlar Çizelge 2'de ki alanlara eşit olup sonuç olarak 45* doğrusuna en yakın noktaları krigingin verdiği görülmektedir.

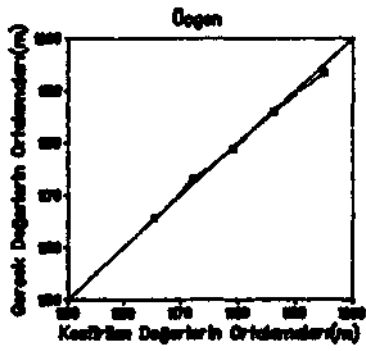
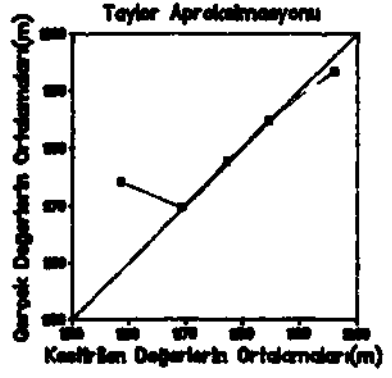
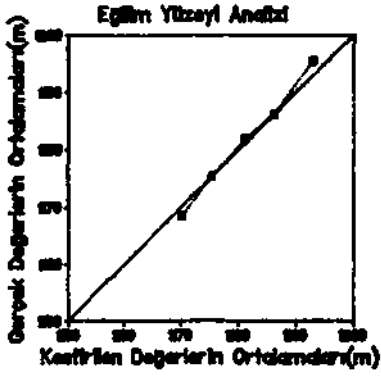
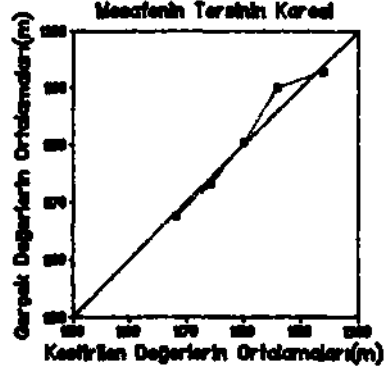
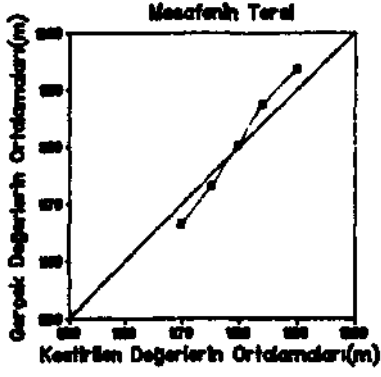
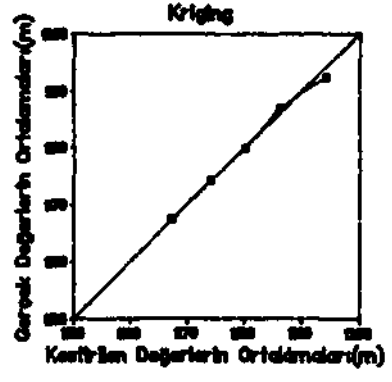
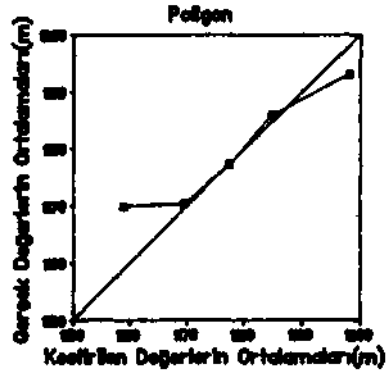
Şekil 3'te koşullu beklenen değer grafikleri görülmektedir. 45* doğrusuna en yakın doğruyu veren kriging, EYA ve MTK yöntemlerinin kestirimlerde daha iyi sonuç verdikleri gözlenmektedir.



Şekil I: Topografya için kestirelen değerlere karşı hataların grafikleri.



Şekil 2: Topografya için kestirilen değerlere karşı gerçek değerlerin saçılım grafikleri.



Şekil 3: Topografyaya ait koşullu beklenen değer grafikleri

3.2. Damaz: Taban Kodu

Damar taban kodu için de kriging yönteminin uygulanmasına variogram modellemesiyle başlanmış olup 45°'nin büyük eksen 135°'nin ise küçük eksen olduğu belirlenmiştir. Kriging kestirimleri $C_0=95$ mS $C=1000$ m², büyük etki mesafesi 5100 m ve açısı 45°, küçük etki mesafesi 4100 m ve açısı 135° olan anisotropik küresel bir variogram modeli kullanılarak bulunmuştur. Kriging, MT ve MTK yöntemlerinde kestirim yarıçapı olarak 500 m kullanılmıştır. EYA yöntemi için ise en uygun polinom derecesinin 3. derece olduğu bulunmuştur.

Çizelge 3'de hata dağılımlarının istatistikleri verilmiş olup en küçük hata ortalamasını MT (0.107) yönteminin verdiği ve bu yöntemi sırasıyla MTK (-0.145), EYA (0.227), kriging (0.468), üçgen (0.740), TA (-1.573) ve poligon (-1.691) yöntemleri izlemektedir. Standart sapma ve HKO açısından en küçük değerleri kriging ve EYA verirken en büyük değerleri TA ve poligon vermektedir. OMH söz konusu olduğunda MT en küçük değeri verirken bunu MTK, kriging, üçgen, EYA, poligon ve TA yöntemlerinin izlediği gözlenmektedir. Minimum ve maksimum arasındaki mesafeye bakıldığında en küçük mesafeyi kriging ve EYA verirken en büyük mesafeyi poligon ve TA vermektedir.

Çizelge 3 : Damar Taban Kodu için Hata Dağılımlarının İstatistikleri

	Poligon	Kriging	MT	MTK	TA	EYA	Üçgen
Sondaj Sayısı	130	130	130	130	130	130	124
Ortalama	-1.691	0.468	0.107	-0.145	-1.573	0.227	0.714
Std.Sapma	13.225	10.594	10.810	11.315	13.537	10.612	11.535
Minimum	-67.870	-27.750	-42.800	-56.260	-68.758	-29.090	-49.140
Birinci Kuart.	-5.770	-4.575	-4.520	-4.250	-4.720	-7.185	-3.460
IOR	9.955	9.545	8.385	8.850	9.315	13.720	9.080
Üçüncü Kuart.	4.185	4.970	3.865	4.600	4.595	6.535	5.620
Medyan	-0.020	0.700	0.790	0.715	-0.340	1.170	1.185
Maksimum	33.990	28.370	26.830	25.510	31.940	35.470	39.600
Maks. - Min.	101.860	56.120	69.630	81.770	100.698	64.560	88.740
OMH	8.378	7.469	7.395	7.458	8.399	8.111	7.689
HKO	175.939	111.115	115.477	126.596	183.900	111.320	132.008

Topografya için çizilen tüm grafikler damar taban kodu için de çizilmiş fakat fazla yer kapladıklarından bildiriye sokulmamıştır. Kestirilen değerlere karşı hataların grafikleri kriging, MT, EYA, MTK yöntemlerinin yansız olduklarını göstermiştir. Kestirilen noktalardaki hataların sifıra yakınlığını belirlemek amacıyla yapılan regrasyon ve bunun sonucunda elde edilen doğru ile hataların sifıra eşit olduğu doğru arasında kalan alanlar hesaplanmış ve Çizelge 4'te verilmiştir. Buna göre en küçük alanı veren EYA, MT ve MTK yöntemlerinin sifır doğrusuna daha yakın sonuçlar verdiği ortaya çıkarken en kötü sonucu TA yönteminin verdiği görülmüştür.

Çizelge 4 : Damar taban kodu için regrasyon doğrusu ile y=0 doğrusu arasında kalan alan, eğim,- kesişim noktası ve korelasyon katsayısı

	Poligon	Kriging	MT	MTK	TA	EYA	Üçgen
Korelasyon K.	0.187	0.108	0.113	0.127	0.224	0.028	0.094
Eğim	0.072	0.034	0.036	0.042	0.087	0.009	0.033
Kesişim N.	-76.284	-34.474	-37.381	-44.011	-91.632	-9.069	-33.554
Alan	388.995	267.166	216.923	236.649	477.979	76.691	250.233

Koşullu beklenen değer grafikleri incelendiğinde 45° doğrusuna en yakın doğruyu veren kriging, üçgen ve EYA yöntemlerinin kestirimlerde daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

4. SONUÇ VB DEĞERLENDİRME

TA ve poligon yöntemlerinin en kötü sonucu veren yöntemler olmasına karşılık kriging, MT ve MTK yöntemleri en iyi sonuçları vermiştir. EYA da bu yöntemlerin performansına yakın bir performans göstermiştir. Bu sebeple verilerin elde edilmesi sırasında büyük çapta ölçme hatalarının yapıldığı ve genel eğilimin dışındaki oynamaları bu şartlar altında tesbit etmenin çok zor olduğu sonucuna varılmıştır.

Jeoistatistiksel bir yöntem olan kriging en iyi sonuçları veren yöntemlerin başında olmakla birlikte bütün kriterler için en iyi sonucu vermemektedir. Kriging yönteminin uygulanması için teorik bir varyogram modelinin seçilmesi gerekmektedir. Bu seçim için ise kesin bir teorik yöntem mevcut değildir. Dolayısıyla, modellemedeki başarı büyük ölçüde uygulayıcının bilgi ve tecrübesine bağlı olmaktadır.

Bu bölümde özetlenen sonuçlar Çöllolar sahasında topografya ve damar taban kodu için geçerli olup diğer değişkenler ve başka sahalarda için de geçerli olup olmadığı ancak çalışmaların diğer değişkenler için başka sahalarda da yapılması ile mümkün olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu bildiriye esas olan araştırma Türkiye Kömür İşletmeleri'nce desteklenen ODTÜ AGUDÖS 90-03-05-01-06 kodlu "Türkiye Kömür İşletmelerinde İleri Teknoloji Uygulamaları" ve Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunca desteklenen TÜBİTAK MAG-987/YBAG-0028 kodlu "Türkiye Madencilik Endüstrisinde İleri Teknoloji Uygulamaları" projeleri çerçevesinde yapılmış olup her iki kuruma da teşekkürü borç biliriz. Burada yazılanlar yazarların kendi fikirleri olup her iki kurumu da bağlamaz.

KAYNAKLAR

-, Surfer Version 4, Golden Software, Inc., Colorado.
- ÇETİNER, ET; 1991; "Bilgisayar Destekli Maden Yatağı Modellemesi ve Kesit Yöntemiyle Rezerv Tahmininin Hüsamlar Kömür Sahasına Uygulanması", Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Zonguldak Mühendislik Fakültesi, 71 s.
- DAVID, M. 1977; Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, Scientific Publishing Company, Amsterdam, 364 s.
- DAVIS, J.C., 1986; Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley & Sons, Inc., New York, 646 s.
- ISAAKS, E.H., ve SRIVASTAVA, R.H., 1989; Applied Geostatistics, Oxford University Press, New York, 561 s.
- JOURNAL, A.G., ve HUIJBREGTS, CH. J., 1978; Mining Geostatistics, Academic Press Inc., London, 600 s.
- RENDU, J.M., 1981; An Introduction to Geostatistical Methods of Mineral Evaluation, South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, 84 s.
- VPI&SU, 1981; "Design Optimazation in Underground Coal Systems, Volume 1: The CONTUR Program", USDOE FE-1231-19, , 57 s.