



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0129

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: October 2010

Accepted: January 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**Ahmet Dağ**

**Betül Alkan**

**Sümevra Cevheroğlu Çıra**

Cukurova University

Dicle University

betulalkankoycu@hotmail.com

Adana-Turkey

**BULANIK MODELLEME YAKLAŞIMININ ÇİMENTO HAMMADE SAHASI KALINLIK  
KESTİRİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**ÖZET**

Hammadde sahalarındaki kalite ve kalınlık gibi değerlerin lokasyonlara bağlı olarak belirlenmesi, çimento üretiminde hammadde homojenliğinin sağlanabilmesi ve optimum üretim planlarının yapılabilmesinden dolayı önemlidir. Herhangi bir lokasyondaki sahaya ait bilgiler için genellikle karotlu sondaj çalışmaları yapılır ancak ilk yatırım maliyetlerin yüksek olması sebebiyle istenilen her noktada yapılması ekonomik değildir. Madencilikte istenilen noktadaki bilgiler bilinen sınırlı sayıda sondajlara ait veriler ile tahmin teknikleri kullanılarak kestirilir. Bu çalışmada, Adana Çimento hammadde sahasına ait 67 lokasyona ait marn formasyonu kalınlık verileri kullanılmıştır. Bu verileri ile poligon, kriging ve mamdani tipi bulanık modelleme yaklaşımları ile kestirimler yapılmış ve kestirim performansları test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bulanık yaklaşım performansının bu hammadde sahası için diğer iki modele göre daha yüksek olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Adana Çimento, Bulanık Yaklaşım, Kriging, Kalınlık Kestirimi

**INVESTIGATION OF APPLICABILITY OF FUZZY MODELING APPROACH IN THICKNESS  
ESTIMATION OF CEMENT ROW MATERIAL SITE**

**ABSTRACT**

Estimation of value such as thickness and quality of row material based on the location in mining is important due to providing of raw material homogeneity and determining of optimum production plans in cement production. Core boring is generally performed for information of site at any location of area, but performing in every desired location is not economic because of high cost of investment. Data of belonging to desired locations are estimated from limited numbers of drillhole data by using of estimating techniques in mining. In this study, 67 thickness values of marn formation belong to raw material field of Adana Cement were used. Thickness estimations were carried out with this data by polygon, kriging and fuzzy modeling interpolation approaches and performance comparisons were made. The obtained results show that the prediction performance of the fuzzy model is higher than polygon and kriging for this row material field.

**Keywords:** Adana Cement, Fuzzy Approach, Kriging, Thickness Estimating

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde çimento endüstrisi gerek üretim kapasitesi, gerek ürün kalitesi açısından önemli gelişmeler göstermektedir. Ürün kalitesi belirleme sürecinde kalite kontrol, standartlaşma ve hammadde hazırlama sektörünün üretim faaliyetlerinin önemli bir parçası haline gelmiştir.

Hammadde hazırlamanın ana amacı uygun kimyasal öğelere sahip homojen bir ham karışım üretmektir. Eğer hammadde ocağının kalite oranlarının ortalama değerleri önemli farklılıklar göstermiyorsa malzemenin homojen olduğu söylenebilir. Hammadde hazırlama ve homojenleştirme sistemlerinde temel birim aşamalarının çoğunun dinamikleri tamamıyla anlaşılmadığı için yüksek kaliteli çimento üretimi için tasarım ve denetim parametrelerinin tamamıyla ortaya çıkarılması mümkün değildir. İstenilen ürün kalitesi hammaddenin ocaktan çıkarılmasından, ürünün paketlenmesi aşamasına kadar bütünsel bir denetim planının hazırlanmasıyla başarılabilir.

Çimento hammadde sahasının kalite dağılımının yanı sıra rezervi de özellikle yatırım planlamasında önemli rol oynar. Sahadaki her formasyona ait kalınlıkların kestirimi bu formasyona ait rezervlerin hesabında önemli bir aşamadır.

Bu amaçlar doğrultusunda, hammadde ocağının güvenilir bir şekilde modellenmesi gerekir. Modelleme sonucunda elde edilen veriler hem optimum üretim planlaması ile harmanlama hem de yatırımların planlanmasında büyük olanaklar sağlayacaktır.

Yatak veya hammadde sahalarının modellenmesinde geleneksel yöntemler olarak belirtilebilecek geometrik hesaplama tekniklerine ek olarak jeostatistiksel modelleme yöntemleri de yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Kriging gibi jeostatistiksel kestirim yöntemlerinin başarılı kestirim yapmalarına karşın bazı sakıncalar içerdiği tespit edilmiştir [2 ve 3]. Bu sakınca veya eksikliklerden en önemlisi veri sayısı az olduğunda anlamlı varyogram modellerinin oluşturulamamasıdır.

Son yıllarda esnek hesaplama ve yapay zeka tekniklerinde hızlı gelişmeler olmuş ve çeşitli modelleme teknikleri (bulanık mantık, sinir ağları gibi) rezerv kestirimi problemine uygulanmıştır [4, 5, 6, 7, 8 ve 9].

Bu çalışmanın amacı, son yıllarda yerbilimlerinde de özellikle kömür ve metalik madenlerde kullanılmaya başlanan bulanık yaklaşım tekniğinin hammadde sahalarına uygulanabilirliğini araştırmaktır.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışma ile Adana Çimento hammadde sahasına ait mevcut sondajlar değerlendirilerek bilinen lokasyonlardaki marn formasyonuna ait kalınlık değerlerini içeren veri dosyaları oluşturulmuştur. Bu veriler ile poligon, kriging ve mamdani tipi bulanık modellemeler ile kestirimler yapılmış ve modellerin kestirim performansları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar son yıllarda yerbilimlerinde de özellikle kömür ve metalik madenlerde kullanılmaya başlanan bulanık yaklaşımın hammadde sahalarında da uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.

## 3. KESTİRİM TEKNİKLERİ (PREDICTION TECHNICS)

Maden yataklarının değerlendirilmesinde kullanılan tenör, kalınlık gibi değişkenler belirli bir bölgeye özgü olup en az bir koordinatla ifade edilirler. Bu özelliklerinden dolayı bu tür değişkenler bölgesel değişken olarak adlandırılırlar. Bölgesel değişkenler, aynı zamanda uzaklığa bağlı bir ilişki gösterirler. Uzaklığa bağlı ilişki, tenör ya da kalınlık değerlerindeki farkların uzaklığa bağlı değişimi olarak tanımlanabilir. Bunun için bir maden yatağının herhangi bir  $x$  noktasındaki kalınlık değerini  $z(x)$ , bundan  $h$  uzaklıktaki kalınlık değerini ise  $z(x+h)$  olduğu varsayılırsa kalınlık değerleri arasındaki fark  $f(h)=z(x)-z(x+h)$  olur. Genelde  $h$  uzaklığı arttıkça kalınlık değerleri arasındaki farkın  $[f(h)]$  artması, uzaklık azaldıkça farkın azalması beklenir. Eğer  $f(h)$  fonksiyonu

biliniyorsa, lokasyonu bilinen bir noktadaki bilinmeyen kalınlık değerini tahmin etmek mümkün olmaktadır.

### 3.1. Poligon (Polygon)

Geometrik interpolasyon yöntemlerinden (poligon, üçgen ve kesit gibi) en yaygın olanı poligon yöntemidir. Bu yöntemde önce birbirine en yakın üç sondaj lokasyonu ile üçgenler elde edilir. Daha sonra her bir sondaj lokasyonuna ait poligonlar oluşturulur. Poligon alanı içinde herhangi bir noktadaki kalınlık değerinin poligonun merkezindeki (temsil eden sondajın) bilinen kalınlık değerine eşit olduğu varsayılır. Bu yöntem daha çok veri sayısı az olduğunda veya yeni modelleme yöntemleriyle bir ilişki sunmayan verilere uygulanır.

### 3.2. Kriging (Kriging)

Jeoistatistik olarak bilinen bu yöntem, uzaklığa bağlı ilişkinin modellenmesine dayanır ve  $f(h)$  fonksiyonu, variogram adını alır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır. Öncelikle bölgesel değişkene ait bilinen verilerden yapılan yoğun analizler sonucu bölgesel değişkene ait variogram parametreleri ve modeli belirlenir.

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

Variogram fonksiyonu örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerlerin kestiriminde kullanılır. Genel olarak kestirim işlemi, bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak yapılır. Matematiksel olarak bu aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (2)$$

Burada,  $z^*(x_0)$ ;  $x_0$  noktasında bilinmeyen ancak kestirilen değeri,  $z(x_i)$ ;  $x_0$  noktasının kestiriminde kullanılacak verileri ve  $\lambda_i$ ; bu verilere atanacak ağırlıkları ifade etmektedir. Jeostatistikte bu ağırlıklar, kestirim hatalarının ortalaması sıfır ve varyansı en küçük olacak şekilde belirlenir. Ağırlıkların bu koşullar altında belirlenmesi işleme kriging adı verilir.

Kriging kestiricisi, veriler ve bu verilere atanacak ağırlıkların toplamından ibarettir. Ağırlıklar, yansızlık ve en küçük hata varyansı ölçütleri göz önüne alınarak oluşturulan doğrusal denklemler sisteminin çözümünden elde edilir. Doğrusal denklem sisteminin katsayılarını variogram fonksiyonunun değerleri oluşturur. Kriging yönteminin diğer kestirim yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü esnek oluşudur. Kriging yönteminin diğer bir üstünlüğü, kriging varyansı aracılığıyla kestirim hatasının büyüklüğünü değerlendirecek bir olanak sunmasıdır.

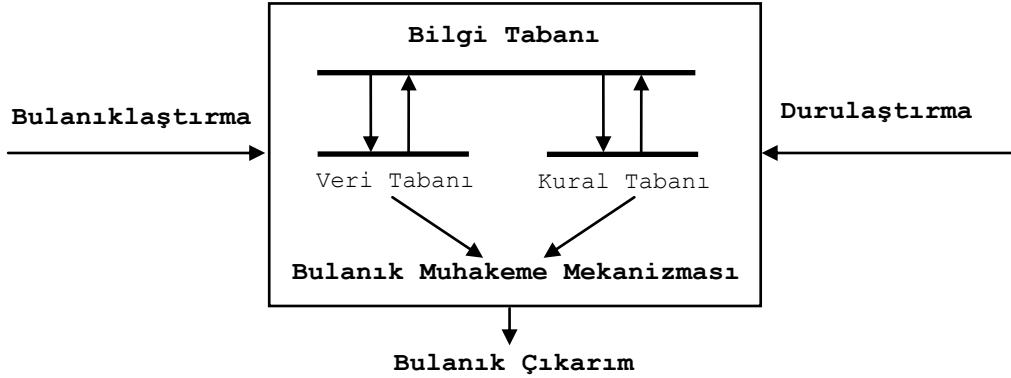
### 3.3. Bulanık Modelleme (Fuzzy Modeling)

Bulanık modeller, değişkenler arasındaki ilişkileri kurallar yardımıyla tanımlamaya yarar. Bulanık modellerin kapalı kutu modellerden (sinir ağları, genetik algoritmalar gibi) en önemli farkı; sistem tanımlamayı basitleştirmesi ve saydam analizler yapılmasına olanak tanımasıdır [10]. Geleneksel bulanık modellemede uzman görüşü kullanılarak, dilsel ifadeler yardımıyla çözüm aranırken, son yıllarda veriye bağlı modellerde artış gözlenmektedir. En genel bulanık modelleme teknikleri şunlardır [11]:

- Mamdani (linguistik) model [12 ve 13]
- Takagi-Sugeno Model [15]

Genel bir bulanık model; bulanıklaştırma aşaması, kural temelli sonuç çıkarım mekanizması (reasoning mechanism) ve durulaştırma aşamalarından oluşmaktadır (Şekil 1).

Bulanıklaştırma, sayısal verilerin ve dilsel ifadelerin bulanık üyelik fonksiyonları olarak ifade edilmesidir. Bulanıklaştırma, tanımlanacak sisteme uygun seçilecek üyelik fonksiyonları yardımıyla yapılabileceği gibi, kümeleme yardımıyla da yapılabilir. Bulanıklaştırma aşamasından sonra, sonuç çıkarma aşamasına geçilir. Bu aşamada, oluşturulan kurallar, bulanık operatörler yardımıyla değerlendirilerek sistem çıktıları elde edilir. Sistem çıktılarının yeniden sayısallaştırılması gerektiğinde, bu işlem için durulaştırma gerçekleştirilir ve model sonuçlandırılır.



Şekil 1. Bulanık model aşamaları  
(Figure 1. Structure of fuzzy model)

#### 4. UYGULAMA (APPLICATION)

##### 4.1. Çalışma Alanı ve Veriler (Study Area and Data Sets)

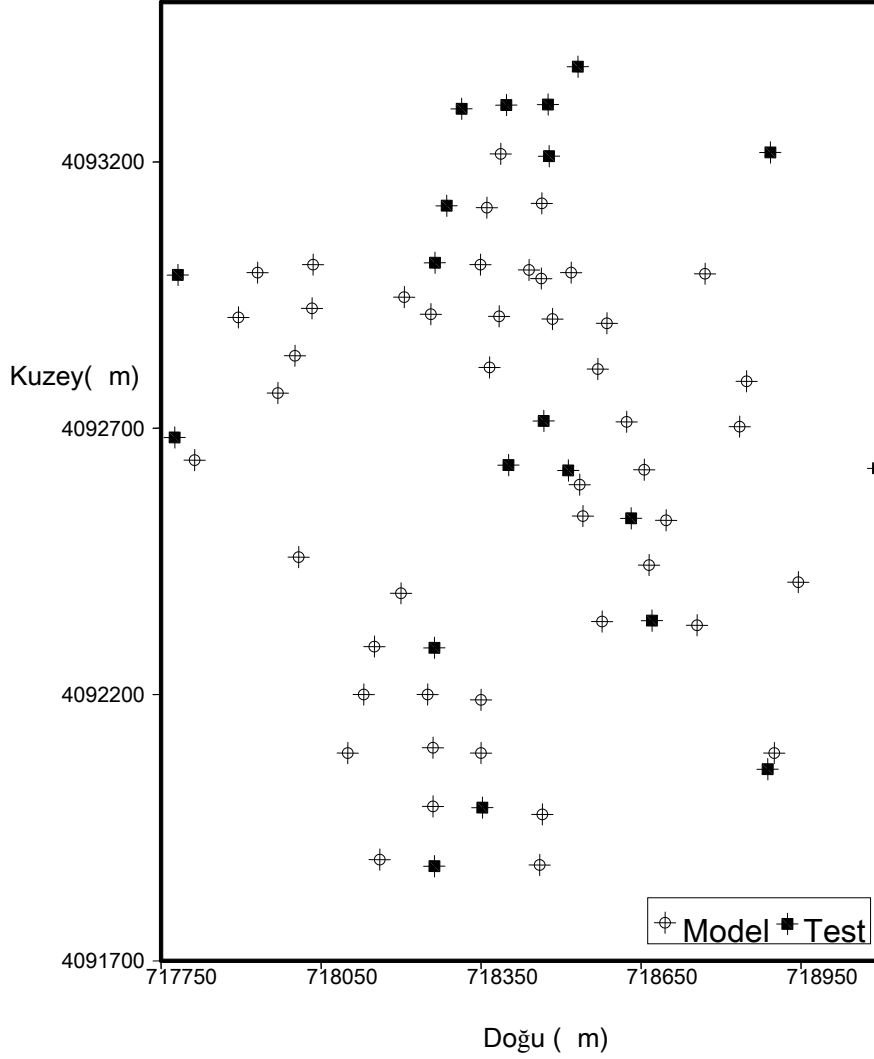
Adana Çimento Sanayi (AÇS)'ne ait hammadde sahası Adana-Ceyhan Karayolunun 12. km'sindeki İncirlik mevkiinde olup, klinker üretim ünitesiyle aynı saha içerisinde yer almaktadır. Bu çalışmada, AÇS'den temin edilen toplam 74 adet sondaja ait kimyasal analizler ve Kühl tarafından CaCO<sub>3</sub> oranına göre yapılan sınıflandırılma ile her bir litoloji için sondaj lokasyonları, toplam kalınlık değerlerinden oluşan veri setleri oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında yapılan modellemelerde en çok kalınlık verisi olan marn formasyonuna ait 67 adet veri seti kullanılmıştır. 0.3 m ile 36.5 m arasında değişen kalınlık değerlerindeki verilerin yaklaşık olarak %70'lik bölümü (47 lokasyon) model, %25'lik bölümü ise (20 lokasyon) test verisi olarak rastgele ayrılmıştır (Şekil 2).

##### 4.2. Kestirimler (Predictions)

47 model verisi ile sırayla poligon, kriging ve bulanık yaklaşımları için modelleme çalışmaları yapılmış elde edilen modellerin performanslarını belirlemek için de test verileri olarak ayrılan ve kalınlık değerleri bilinen lokasyonlar için kestirimler yapılmıştır.

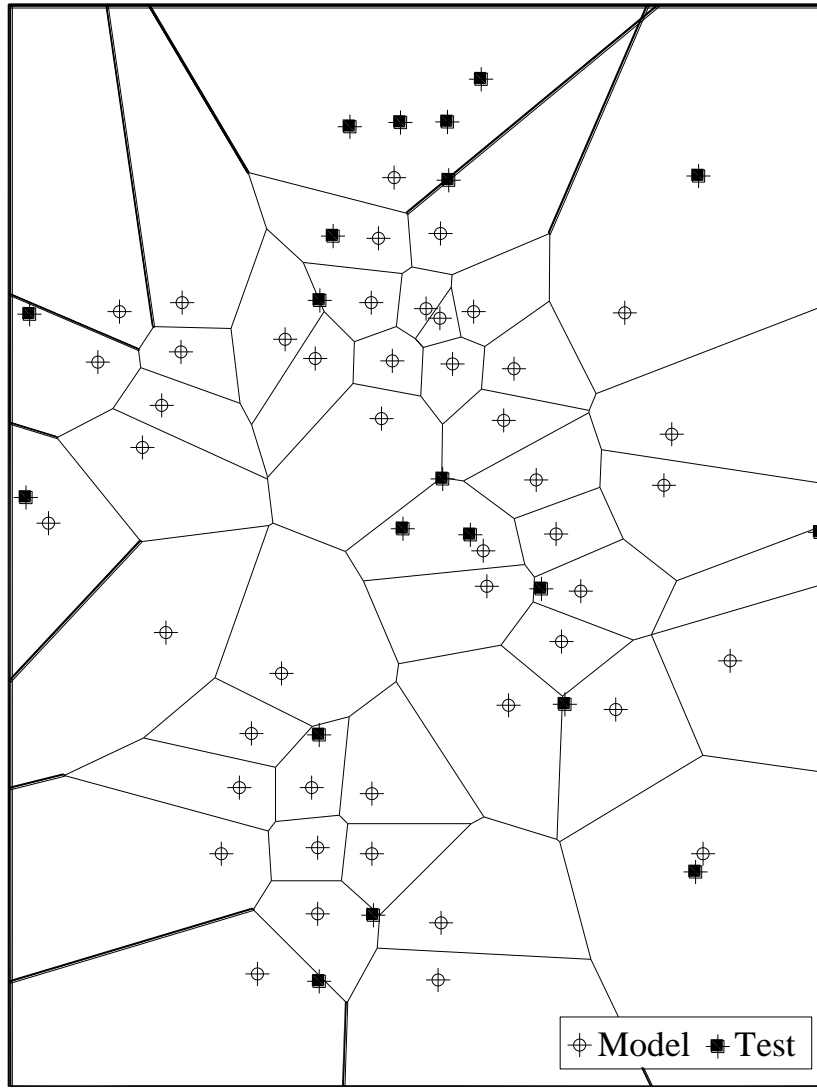
Poligon yöntemi ile kestirim için model verileri ile yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen poligonlar, poligonları temsil eden sondaj lokasyonları ve kalınlık kestirim için test lokasyonların poligonun içerisine düştüğü Şekil 3'de topluca verilmiştir.

Kriging ile kestirimin performansı için yine model verileri ile yapılan analizler sonucu Şekil 4'deki küresel variogram modeli (Denklem 3) ve variogram parametreleri belirlenmiş bunlara göre de test lokasyonlarındaki kalınlıklar tahmin edilmiştir.

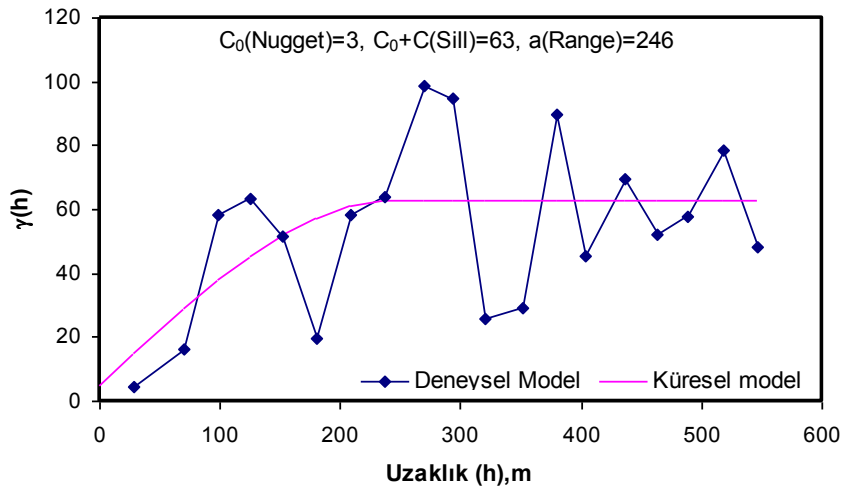


Şekil 2. Veri seti  
(Figure 2. Data sets)

Bulanık modelleme de Şekil 5’de verilen modele göre yapılmıştır. Model verileri ile yapılan bulanık yaklaşım modellemesinde girdi parametreleri olarak sondaj lokasyonları (Doğu-x ve Kuzey-y) çıktı parametresi olarak da kalınlık alınmıştır. Bu parametreler önce standartlaştırılmış sonra hem girdi hem de çıktı parametreleri için 7 adet bulanık küme ve her bir küme için de birer adet üçgen üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır (Şekil 6-7). Bu küme ve üyelik fonksiyonlarına göre de Tablo 1’de verilen kurallar sistemi oluşturulmuştur. Model verilerine göre oluşturulan bu çıkarım sistemine girdi olarak test verilerine ait lokasyon değerleri verilip çıktı olarak kalınlık değerleri kestirilmiştir.

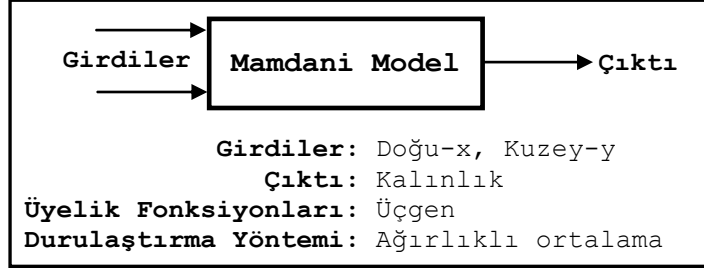


Şekil 3. Model verileri ile elde edilen poligonlar  
(Figure 3. Obtained polygons with model data)

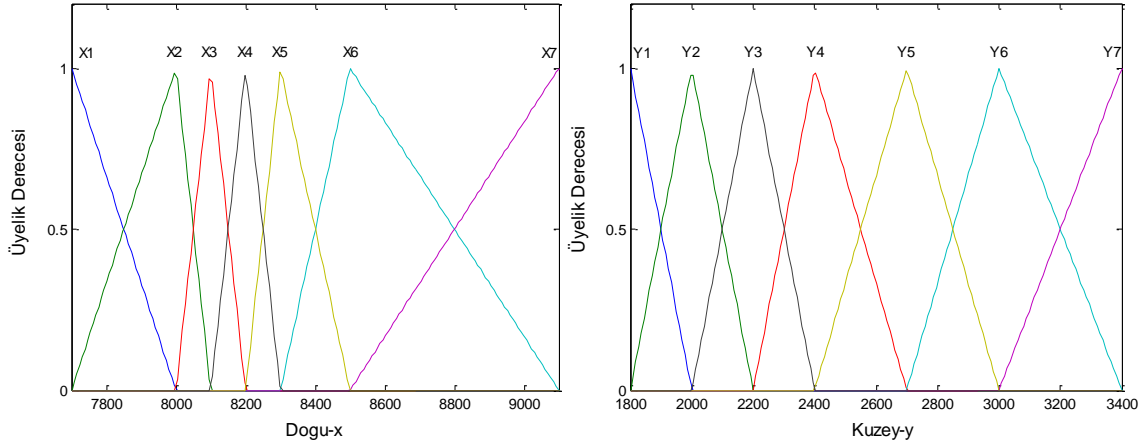


Şekil 4. Model verileri ile elde edilen variogram ve parametreleri  
(Figure 4. Obtained variogram and parameters with model data)

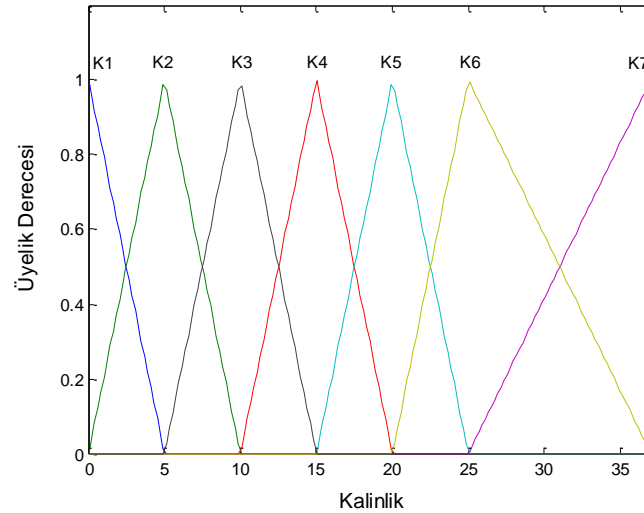
$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{3} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases} \quad (3)$$



Şekil 5. Oluşturulan bulanık model  
(Figure 5. Developed fuzzy model)



Şekil 6. Model verileri ile oluşturulan girdi üyelik fonksiyonları  
(Figure 6. Developed membership functions for inputs with model data)



Şekil 7. Model verilerine göre oluşturulan çıktı üyelik fonksiyonu  
(Figure 7. Developed membership functions for output with model data)

Tablo 1. Model verileri ile oluşturulan kurallar  
(Table 1. Developed rules with model data)

1.	Eğer	(Doğu-x is X7)	and	(Kuzey-y is Y7)	Then	(Kalınlık is K6)
2.	Eğer	(Doğu-x is X1)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K1)
3.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K6)
4.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K1)
5.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y7)	Then	(Kalınlık is K4)
6.	Eğer	(Doğu-x is X1)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K2)
7.	Eğer	(Doğu-x is X7)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K7)
8.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K2)
9.	Eğer	(Doğu-x is X7)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K4)
10.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K4)
11.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K7)
12.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y3)	Then	(Kalınlık is K3)
13.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K3)
14.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y7)	Then	(Kalınlık is K2)

##### 5. KESTİRİM PERFORMANSLARI (ESTIMATION PERFORMANCE)

Kalınlık model verileri ile yapılan çalışmalar sonucu elde edilen poligon, kriging ve bulanık yaklaşım modelleri kullanılarak test verilerine ait bilinen kalınlıklar tekrar tahmin edilmiş, elde edilen kestirimler Tablo 2’de topluca verilmiştir.

Tablo 2. Ölçülen kalınlık ile kestirilen kalınlık değerleri  
(Table 2. Measured and estimated thickness values)

Test Verileri			Kestirilen Kalınlık (m)		
Doğu-x	Kuzey-y	Kalınlık (m)	Poligon	Kriging	Fuzzy
718465	4092716	5.0	6.5	8.1	6.6
718890	4093220	28.5	7.5	20.5	25.8
717773	4092685	1.0	7.0	7.8	2.2
718260	4091880	25.5	2.0	4.3	24.1
718668	4092341	1.0	17.0	11.9	1.7
718629	4092533	4.5	0.5	3.1	7.5
718395	4093309	14.0	14.5	11.7	12.4
718473	4093310	32.0	14.5	10.5	16.5
718529	4093381	13.7	14.5	10.1	21.1
717779	4092990	4.5	16.0	10.4	5.0
718885	4092062	36.0	16.0	13.8	28.2
718511	4092623	5.5	8.5	9.2	5.2
718283	4093120	8.0	15.4	12.0	11.4
719092	4092627	14.0	22.5	10.4	14.7
718261	4093013	14.4	9.0	9.4	14.3
718350	4091990	33.5	3.0	31.7	29.3
718260	4092290	9.5	12.0	8.2	10.0
718399	4092633	10.0	8.5	10.2	7.3
718475	4093213	24.5	14.5	10.4	16.1
718311	4093302	3.0	14.5	11.8	8.7

Modellerin kestirim performanslarını karşılaştırmak için bilinen (ölçülen) kalınlıklar ile her bir model için kestirilen kalınlıklar arasındaki korelasyon katsayılarının (r) yanı sıra, VAF (Variance Account For) ve RMSE (Root Mean Square Error) değerlerine de bakılmıştır. Tablo 3’de topluca verilen performanslara bakıldığında, daha yüksek korelasyon katsayısı (r) ve RMSE, daha düşük VAF değerleri ile bu hammadde sahası için bulanık yaklaşımın daha güçlü bir kestirim olduğu görülmüştür.



$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t}) (t_i^* - \bar{t}^*)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2 \sum_{i=1}^N (t_i^* - \bar{t}^*)^2}} \quad (4)$$

$$VAF = \left[ 1 - \frac{\text{var}(t - t^*)}{\text{var}(t)} \right] \times 100 \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t - t^*)^2} \quad (6)$$

Burada,  $t$  gözlem,  $t^*$  kestirilen,  $\bar{t}$  gözlemlerin ortalamasını  $\bar{t}^*$  ise kestirilen kalınlıkların ortalamasını ifade eden değerlerdir.

Tablo 3. Performans ölçümleri  
(Table 3. Performance measures)

Model	Korelasyon Katsayısı (r)	VAF (%)	RMSE
Poligon	-0.06	-30.76	13.19
Kriging	0.51	26.14	10.11
Bulanık Yaklaşım	0.91	79.96	5.11

## 6. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışma ile son yıllarda yerbilimlerinde de özellikle kömür ve metalik madenlerde yatak modellemede kullanılmaya başlanan bulanık yaklaşım tekniklerinin hammadde sahalarına da uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda hammadde sahası olarak Adana Çimento hammadde sahasından elde edilen kalınlık verilerine göre sahanın kalınlık modellemesi için geleneksel bir yöntem olan poligon, yaygın bir şekilde kullanılan jeoistatistiksel modelleme ile son yıllarda kullanılmaya başlanan bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır.

Sahadan alınan model ve test verileri üzerinde geliştirilen modellemeler ile kestirimler yapılmış ve bu kestirimlerin başarıları için korelasyon katsayısının ( $r$ ) yanı sıra RMSE ve VAF değerlerine bakılmıştır. Bu değerlere bakıldığında, daha yüksek korelasyon katsayısı ( $r=0.91$ ) ve RMSE (%79.96), daha düşük VAF (5.11) değerleri ile bulanık mantık yaklaşımının bu sahanın modellenmesinde daha başarı ile uygulanabileceğini göstermiştir.

Bu hammadde sahası için bulanık mantık modellemesinin uygulanabilir bir metot olarak belirlenmesine karşın modelleme aşamalarında (özellikle kuralların oluşturulmasında) dikkatli olunması ve modelin tecrübeli kişilerce oluşturulmasının önem arz ettiği gözlenmiştir.

## NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 14-16 Ekim 2010 tarihinde Dicle Üniversitesinde tamamlanan Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumunda (BUMAT 2010) sözlü sunumu yapılmış ve NWSA yazım esaslarına göre yeniden düzenlenmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Goovaerts, P., (1997). Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Pres.
2. Diehl, P., (1997). Quantification of the Term -Geological Assurance- in Coal Classification Using Geostatistical Methods. Schriftenreihe der GDMB, H.79, pp: 187-203.

3. Bardossy, G. and Fodor, J., (2001). Traditional and New Ways to Handle Uncertainty in Geology. *Natural Resources Research*, Volume: 10, Number: 3, pp: 169-187.
4. Pahm, T.D., (1997). Grade Estimation Using Fuzzy-Set Algorithms. *Mathematical Geology*, Number: 29, pp: 291-304.
5. Bardossy, G. and Fodor, J., (2004). *Evaluation of Uncertainties and Risks in Geology*. Springer.
6. Tütmez, B., (2005). Bulanık Küme Yaklaşımı ile Rezerv Kestirimi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniv. Fenbilimleri Enstitüsü.
7. Tütmez, B. ve Tercan, A.E., (2006). Bulanık Modelleme Yaklaşımının Tenör Kestiriminde Kullanılması. *Madencilik*, Cilt: 45, Sayı: 2, pp: 39-47.
8. Tütmez, B. and Dag, A., (2007). Use of Fuzzy Logic in Lignite Inventory Estimation. *Energy Sources Part B*, Number: 2, pp: 93-103.
9. Dag, A. and Mert, B.A., (2008). Evaluating Thickness of Bauxite Deposit Using Indicator Geostatistics and Fuzzy Estimation. *Resource Geology*, Volume: 58, Number: 2, pp: 188-195.
10. Setnes, M., Babuska, R., and Verbruggen, H.B., (1998). Transparent fuzzymodelling. *Int. J. Human-Computer Studies*, pp: 159-179.
11. Piegat, A., (2001). *Fuzzy Modeling and Control*. Physica-Verlag.
12. Zadeh, L.A., (1973). Outline of a New Approach to The Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC-3*, pp: 28-44.
13. Mamdani, E.H., (1977). Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis. *IEEE Trans. on Computers*, Volume: 26, Number: 12, pp: 1182-1191.
14. Takagi, T. and Sugeno, M., (1985). Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modelling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 15, pp: 116-132.