

Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Kaynak/Rezerv Sınıflandırması

Erkan Özkan

**DOKTORA TEZİ**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan 2011

Resource/Reserve Classification with Fuzzy Logic Approach

Erkan Özkan

**DOCTORAL DISSERTATION**

Department of Mining Engineering

April 2011

Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Kaynak/Rezerv Sınıflandırması

Erkan Özkan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı  
Maden İşletme Bilim Dalında  
DOKTORA TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof.Dr.Adnan Konuk

Danışman: Yrd. Doç.Dr.Melih İphar

Nisan 2011

## ONAY

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Erkan Özkan'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Kaynak/Rezerv Sınıflandırması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof.Dr. Adnan KONUK

**İkinci Danışman** : Yrd.Doç Dr. Melih İPHAR

**Doktora Tez Savunma Jürisi:**

**Üye:** Prof.Dr. Adnan KONUK

**Üye:**Yrd.Doç.Dr. Melih İPHAR

**Üye:**Yrd.Doç.Dr. D.Volkan OKUR

**Üye:**Yrd.Doç.Dr. Hakan AK

**Üye:**Yrd.Doç.Dr. Hakan UYGUÇGİL

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .....tarih ve..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr.Nimetullah BURNAK  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Maden yataklarında yapılan arama ve araştırma çalışmalarından sonra, kaynak/rezerv sınıflarının belirlenmesi madencilik yatırımlarının planlanması açısından oldukça önemlidir. Kaynak/rezerv sınıflandırmasının ana amacı, bir maden yatağında yapılan tahminlerin güvenilirliğini değerlendirmektir. Maden yataklarında kaynak/rezerv sınıflaması ve güvenilirlik ölçümü, jeostatistiksel bir tahmin yöntemi olan kriging tahmincisi ile hesaplanan kriging varyansı veya interpolasyon varyansı kullanılarak yapılabilmektedir. Kriging tahmincisi olarak ise genellikle ordinary kriging yöntemi kullanılmaktadır.

Ordinary kriging varyansı sadece örneklerin yerleşim düzenine bağlıdır. Bununla birlikte, interpolasyon varyansı ise örneklerin değerlerine bağlı olması ve tahmin edilen değerler ile daha iyi bir ilişki ortaya koyması nedeniyle kaynak/rezerv sınıflandırmasında kullanılan alternatif bir tahmin hatası varyansıdır. Ordinary kriging standart sapması ve interpolasyon standart sapması yardımıyla, belirli bir istatistiksel güvenilirlik seviyesi için tahmin hataları hesaplanabilmekte ve bu tahmin hataları yardımıyla da değişken değeri tahmin edilen bloğun kaynak/rezerv sınıflaması yapılabilmektedir. Ancak, her iki tahmin hatasına göre belirli bir maden yatağı bloğu için yapılan kaynak/rezerv sınıflaması farklı olabilmekte ve bu durum karar vermede belirsizliklere neden olmaktadır. Bu gibi sayısal ve sözel belirsizliklerin bulunduğu problemlerin çözümünde ise bulanık mantık yaklaşımının çözüm üretebileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, kaynak/rezerv sınıflandırmasında ordinary kriging yöntemiyle tahminle birlikte bulanık mantık yaklaşımının kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla; Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağılı sahasındaki linyit kalınlığı verileri kullanılarak kaynak/rezerv sınıflandırmasındaki farklılıkların ortadan kaldırılması amacıyla, girdi değişkenleri ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatası olan ve çıktı değişkeni kaynak/rezerv sınıfı olan bir bulanık sistem oluşturulmuştur. Bulanık sistem, kaynak/rezerv sınıflarındaki kesin sınırların yumuşatılmasını ve her bir bloğun belirli bir üyelik derecesiyle sınıflandırılmasını sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaynak/rezerv sınıflandırması, ordinary kriging hatası, interpolasyon hatası, bulanık mantık.

## SUMMARY

Determining the resource/reserve classes has a vital importance in terms of the mining investments' planning after carrying out ore exploration studies. The main purpose of resource/reserve classification is to evaluate the reliability of the estimations for an ore bed. Resource/reserve classification in ore beds and reliability measurement can be carried out by using interpolation variance or kriging variance calculated with kriging estimator, a geostatistical prediction method. And, ordinary kriging method is usually used as kriging estimator.

Ordinary kriging variance only depends on settlement of samples, whereas interpolation variance is an alternative estimation error variance used in resource/reserve classification since it is related to the values of samples and reveals a better relationship with estimated values. The estimation error for a certain statistical reliability level can be calculated by using ordinary kriging standard deviation and interpolation standard deviation, and the resource/reserve classification of the block whose variable value has been estimated can be made depending on the calculated reliability level. But, resource/reserve classification made for a certain ore bed according to both estimation errors may be different and this situation cause uncertainties in decision making process. And, it is thought that fuzzy logic approach can produce a solution for the problems having such kind of numerical and verbal uncertainties.

In this study, it was aimed to use fuzzy logic approach along with ordinary kriging estimation method in resource/reserve classification. For this purpose; by using lignite thickness data in Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağılı field, a fuzzy inference system whose input variables are ordinary kriging error and interpolation error and output variable is resource/reserve class has been established in order to overwhelm the differences in the resource/reserve classification. Fuzzy system has enabled the sharp boundaries in resource/reserve classes to be softened and classified of each block with a certain membership degree.

Keywords: Resource/reserve classification, ordinary kriging error, interpolation error, fuzzy logic.

## TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım sırasında her konuda yardımlarını esirgemedi, yapıcı yöndeki eleştirileri ve katkıları ile beni yönlendiren tez danışmanlarım Sayın Prof.Dr. Adnan KONUK ve Yrd.Doç.Dr. Melih İPHAR'a,

Tez İzleme Toplantılarında yapıcı yaklaşımları ve önerileri nedeniyle Yrd.Doç.Dr. Hakan AK ve Yrd.Doç.Dr. D.Volkan OKUR'a,

Ayrıca, çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Yrd.Doç.Dr.Hakan UYGUÇGİL'e,

Çalışmalarım sırasında hep yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET .....</b>	<b>v</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>	<b>xii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>xv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....</b>	<b>xvi</b>
<b>1.GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK/REZERV SINIFLANDIRMA KAVRAMLARI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Kaynak/Rezerv Sınıflandırma Sistemlerini Oluşturan Sebepler .....	3
2.1.1. Madencilik politikası .....	3
2.1.2. Finansman.....	4
2.1.3. Girişimciler .....	5
2.2. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasının Tarihçesi.....	5
2.2.1. Yirminci yüzyılın ilk yarısındaki rezerv tanımları .....	6
2.2.2. Yirminci yüzyılın ikinci yarısındaki kaynak/rezerv tanımları.....	7
2.2.2.1. Mc Kelvey sınıflandırma sistemi .....	8
2.2.2.2. SSCB sınıflandırma sistemi .....	9
2.2.2.3. UN sınıflandırma sistemi .....	9
2.2.2.4. USGS sınıflandırma sistemi .....	10
2.3. Uluslararası Sınıflandırma Sistemleri.....	12
2.3.1. CRIRSCO sınıflandırma sistemi .....	12
2.3.2. UNFC sınıflandırma sistemi .....	17
2.3.3. UNFC ve CRIRSICO sınıflandırma sistemlerinin karşılaştırılması.....	22
2.3.4. MTA sınıflandırma sistemi.....	23
2.3.5. Kaynak/rezerv sınıflaması ile ilgili diğer çalışmalar .....	27



<b>3. KAYNAK / REZERV SINIFLANDIRMASINDA JEOİSTATİSTİKSEL ÖLÇÜTLER.....</b>	<b>29</b>
3.1. Jeostatistikte Temel Kavramlar .....	30
3.2. Jeostatistiğin Temel Varsayımları .....	32
3.3. Jeolojik Süreklilik .....	34
3.4. Variogram .....	34
3.4.1. Kuramsal variogram modeli .....	35
3.4.2. Kuramsal variogram parametreleri .....	37
3.5. Tahmin Hatası Varyansı .....	38
3.5.1. Tahmini hata varyansını etkileyen faktörler .....	40
3.5.2. Tahmin hatası varyansının güven aralığı .....	41
3.6. Kriging Tahmin yöntemi .....	43
3.6.1. Simple kriging .....	47
3.6.2. Ordinary kriging .....	47
3.6.3. Blok kriging .....	52
3.7. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasında Kullanılan Varyanslar.....	58
3.7.1. İnterpolasyon varyansı.....	58
3.7.2. Bağıl kriging standart sapması.....	65
3.7.3. Ağırlıklı ortalama lokal varyansı ve birleşik varyans.....	66
3.8. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasında Güven Seviyesi kavramı.....	67
3.9. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasında Normal Dağılım ve T-Dağılımı.....	68
3.10. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasında Hatanın Ölçülmesi.....	68
3.11. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasında Kullanılan Güvenirlilik Ölçütleri .....	70
<b>4. MANTIK VE BULANIK MANTIK KAVRAMI .....</b>	<b>72</b>
4.1. Geleneksel Mantık Kavramı .....	72
4.1.1. Klasik Mantık .....	73
4.1.2. Sembolik Mantık .....	73
4.2. Çok Değerli Mantık .....	73
4.3. Bulanık Mantık Kavramı .....	74
4.3.1. Belirsizlik kavramı .....	75
4.3.2. Belirsizlik türleri.....	78

4.3.2.1. Olasılık kuramı.....	78
4.3.2.2. Klasik küme kuramı.....	79
4.3.2.3. Bulanık küme kuramı.....	80
4.4. Bulanık Kümelerde Temel İşlemler.....	85
4.4.1. Bulanık kümelerde kesişim işlemi.....	86
4.4.2. Bulanık kümelerde birleşim işlemi.....	87
4.4.3. Bulanık kümelerde tümlleme işlemi.....	87
4.5. Üyelik Fonksiyonları.....	88
4.5.1. Üyelik fonksiyonlarının özellikleri.....	89
4.5.2. Bulanık kümelerin sınıflandırılması.....	90
4.5.3. Üyelik fonksiyonu türleri.....	92
4.5.3.1. Üçgen üyelik fonksiyonu.....	93
4.5.3.2. Yamuk üyelik fonksiyonu.....	94
4.5.3.3. Gauss üyelik fonksiyonu.....	94
4.5.3.4. Çan eğrisi şekilli üyelik fonksiyonu.....	95
4.6. Bulanık Sistem.....	95
4.6.1. Bulanıklaştırma.....	98
4.6.2. Kural tabanı.....	98
4.6.3. Durulaştırma.....	99
4.6.3.1. Bulanık kümelerin lambda ( $\lambda$ ) kesimleri.....	100
4.6.3.2. Durulaştırma yöntemleri.....	100
4.7. Bulanık Çıkarım Sistemi.....	108
4.7.1. Mamdani çıkarım sistemi.....	108
4.7.2. Takagi-Sugeno çıkarım sistemi.....	111

## **5. BULANIK MANTIK YAKLAŞIMIYLA REZERV TAHMİNİ UYGULAMALARI ..... 113**

## **6. JEOİSTATİSTİK VE BULANIK MANTIK YAKLAŞIMLARININ KAYNAK/REZERV SINIFLANDIRMASINA UYGULANMASI..... 115**

6.1. Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağılı Linyit Sahası.....	115
6.2. Jeoistatistiksel Yaklaşımla Kaynak/Rezerv Sınıflandırması Uygulaması.....	117

6.2.1. Linyit sahası kalınlık verileri .....	118
6.2.2. Linyit sahası variogram modeli .....	120
6.2.3. Linyit sahasının ordinary kriging ile tahmini .....	121
6.2.3.1. Ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması	122
6.2.3.2. İnterpolasyon hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması .....	128
6.3. Bulanık Mantık Yaklaşımının Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasına Uygulanması .....	134
6.3.1. Matlab yazılımının bulanık mantık alt programı .....	135
6.3.2. Matlab yazılımının kaynak/rezerv sınıflandırmasına uygulanması .....	136
6.4. Kaynak/Rezerv Sınıflandırma Yöntemlerinin Değerlendirilmesi .....	151
<b>7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>155</b>
<b>8. KAYNAKLAR DİZİNİ .....</b>	<b>157</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>170</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>197</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Mc Kelvey kaynak/rezerv sınıflandırma sistemi .....	8
2.2. UN tarafından önerilen sınıflama sistemi .....	10
2.3. USGS kaynak/rezerv sınıflandırma sistemi .....	11
2.4. USGS baz rezerv ve mümkün baz rezerv sınıfları.....	12
2.5. CRIRSCO mineral kaynakları ve rezervleri sistemi.....	14
2.6. UNFC sınıflandırma sistemindeki kaynak ve rezervlerin kodları .....	19
2.7. MTA kaynak/rezerv sınıflandırma sistemi .....	24
2.8. MTA rezerv/kaynak sınıflamasının UNFC sistemine uyarlaması.....	26
3.1. Küresel variogram modeli ve parametreleri .....	36
3.2. Tahmin varyansının hesaplanmasında kullanılan variogram fonksiyonları .....	40
3.3. Blok tahmininde kullanılan örneklerin düzeni ve arama çapı .....	53
3.4. Bir $x$ lokasyonunda merkezlenmiş iki boyutlu bir $V(x)$ bloğunun ayırım noktaları .....	54
3.5. Noktadan bloğa kovaryans yaklaşımı $Cov\{Z(x_i), Z_v(x)\}$ .....	57
4.1. Karakteristik fonksiyon $\mu_A(x)$ ve üyelik fonksiyonunun $\mu_{\bar{A}}(x)$ olası gerçekleşmesi .....	84
4.2. Sedimanter tane boyutu a) karakteristik fonksiyonu, b) ölçeği, c) üyelik fonksiyonu .....	85
4.3. Bulanık küme işlemleri: a) bulanık kümeler, b) kesişim, c) birleşim, d) tümleme .	88
4.4. Bulanık üyelik fonksiyonunun özellikleri.....	89
4.5. Bulanık küme sınıfları: a) normal bulanık küme, b) normalin altı bulanık küme ...	91
4.6. Üyelik dereceleri a) dış bükey bulanık küme, b) iç bükey bulanık küme .....	92
4.7. Üyelik fonksiyonlarının tipleri a) üçgen, b)yamuk, c)gauss, d) çan eğrisi şekilli ...	93
4.8. Genel bulanık sistem.....	98
4.9. Bulanık çıktı.....	101

## ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.10. Maksimum üyelik ilkesi yöntemi kullanılarak $z^*$ 'nin bulunması .....	102
4.11. Ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak $z^*$ 'nin bulunması.....	103
4.12. Ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılarak $z^*$ 'nin bulunması .....	104
4.13. Ortalama en büyük üyelik yöntemi kullanılarak $z^*$ 'nin bulunması.....	105
4.14. Toplamların merkezi yöntemi kullanılarak $z^*$ 'nin bulunması.....	106
4.15. En büyük alanın merkezi yöntemi kullanılarak $z^*$ 'nin bulunması.....	107
4.16. Maksimumların ilki veya sonu yöntemi yöntemi kullanılarak $z^*$ 'nin bulunması	108
4.17. Mamdani çıkarım sistemi.....	110
4.18. Takagi-Sugeno çıkarım sistemi .....	112
6.1. Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağılı linyit sahası genel jeolojisi.....	116
6.2. Beypazarı linyit sahası sektör ayırım haritası .....	116
6.3. Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağılı Kömür linyit sahası üç boyutlu modeli .....	117
6.4. Koyunağılı kömür yatağındaki sondaj yerleri ve kömür kalınlığı aralıkları .....	118
6.5. Kalınlık değerleri için histogram .....	120
6.6. Koyunağılı kömür yatağına ait küresel model.....	120
6.7. Blokların tahmini kalınlığının histogramı.....	122
6.8. Ordinary kriging standart sapmasının histogramı.....	123
6.9. Blokların ordinary kriging standart sapmalarının kontur haritası.....	124
6.10. Ordinary kriging standart sapması ile blokların tahmini kalınlığı serpilme diyagramı .....	125
6.11. Ordinary kriging hatası histogramı .....	126
6.12. Blokların ordinary kriging hatalarının kontur haritası.....	127
6.13. Blokların ordinary kriging hatasına göre kaynak ve rezerv sınıflandırılması .....	128
6.14. İnterpolasyon standart sapmasının histogramı.....	129
6.15. Blokların interpolasyon standart sapmalarının kontur haritası .....	130
6.16. İnterpolasyon standart sapması ile blokların tahmininin serpilme diyagramı .....	131
6.17. İnterpolasyon hatası histogramı .....	132

## ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.18. Blokların interpolasyon hatalarının kontur haritası .....	133
6.19. Blokların interpolasyon hatasına göre kaynak ve rezerv sınıflandırması .....	134
6.20. Bulanık mantık araçlarında bulunan grafik ara yüzler.....	135
6.21. Girdi ve çıktı değişkenlerinin tanımlandığı bulanık çıkarım düzenleyici.....	138
6.22. Üyelik fonksiyonu düzenleyicisi .....	139
6.23. Üyelik fonksiyonu düzenleyicisi aracıyla üyelik fonksiyonlarının eklenmesi ....	140
6.24. Bulanık küme sayısının ve tipinin belirlenmesi.....	141
6.25. Bulanık sistemin girdi değişkenlerini oluşturan parametrelerin üyelik fonksiyonları .....	142
6.26. Üyelik fonksiyonu düzenleyiciyle çıktı değişkeni bulanık kümelerin oluşturulması.....	143
6.27. Bulanık sistemin çıktı değişkenine ait üyelik fonksiyonları .....	144
6.28. Bulanık sistemin kural tabanının oluşturulması.....	145
6.29. Bulanık sistemin sonuçlarının alınması .....	146
6.30. Bulanık sistemin sonuçlarının değerlendirildiği yüzey görüntüleyici .....	147
6.31. Blokların bulanık hatasına göre kaynak ve rezerv sınıflandırması.....	151

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Maden rezervleri hakkındaki ilk tanımlamalar .....	6
2.2. Rezervler, kaynaklar ve temel kaynaklar .....	7
2.3. CRIRSCO tipi mineral kaynak ve rezerv sınıflandırma sistemleri.....	13
2.4. UNFC sisteminde eksenlere bağlı olarak kullanılan sınıflar ve alt sınıflar .....	17
2.5. UNFC sınıflandırma sistemi kodları.....	18
2.6. UNFC sınıflandırma sisteminde kullanılan kodların CRIRSICO sınıflandırma sistemine dönüştürülmesi.....	22
2.7. CRIRSICO ve UNFC sınıflandırma sistemleri arasındaki ana farklılıklar.....	23
3.1. Kaynak/rezerv sınıflandırmasında kullanılan güvenilirlik ölçütleri .....	71
6.1. Kalınlık değerlerinin tanımlayıcı istatistiği .....	119
6.2. Blokların tahmininde kullanılan ordinary kriging parametreleri .....	121
6.3. Blokların tahmini kalınlık değerlerinin tanımlayıcı istatistiği .....	121
6.4. Ordinary kriging standart sapmasının tanımlayıcı istatistiği .....	122
6.5. Ordinary kriging hatası tanımlayıcı istatistiği .....	125
6.6. İnterpolasyon standart sapmasının tanımlayıcı istatistiği ve normal dağılım testi	129
6.7. İnterpolasyon hatasının tanımlayıcı istatistiği ve normal dağılım testi .....	131
6.8. Girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları tipi ve parametreleri.....	137
6.9. Bulanık sistemin çıktı değişkeninin üyelik fonksiyonu parametreleri ve tipi .....	143
6.10. Linyit sahasının farklı yöntemlere göre kaynak/rezerv sınıflandırması .....	152
6.11. Kaynak/rezerv sınıflarının oluşturulan sıralı ikililere göre karşılaştırılması .....	153

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$Y;Z$	Rassal değişken
$z_i$	Rassal değişkenin gerçek değeri
$p_i$	Olasılık değeri
$E\{ \}$	Beklenen değer
$E\{Z\}$	Rassal değişkenin beklenen değeri
$F(z)$	Kümülatif yoğunluk fonksiyonu
$f(z)$	Olasılık yoğunluk fonksiyonu
$a_k$	Sabit sayı
$Var\{ \}$	Varyans
$m$	Ortalama değer
$m_z$	Z rassal değişkenlerinin ortalama değeri
U	Çalışma alanı
x	Lokasyon
$x_i$	Lokasyonlar
$n(x)$	Örnek sayısı
$Z(x_i)$	$x_i$ lokasyonlarındaki rassal değişken
$z(x_i)$	$x_i$ lokasyonlarındaki rassal değişkenin gerçek değeri
$E\{Z(x)\}$	x lokasyonundaki beklenen değer
$m(x)$	x lokasyonundaki beklenen değer
$Cov\{ \}$	Kovaryans
$Var\{Z(x)\}$	Z(x) rassal değişkeninin varyansı
$N(h)$	Örnek çiftleri sayısı
$\gamma(h)$	Semivariogram fonksiyonu
h	Örnekler arasındaki uzaklık
a	Etki mesafesi
$C_0$	Külçe etkisi



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
C	Sill
$\sigma_E^2$	Tahmin hatası varyansı
Z(V)	V bloğunun ortalama değeri
z(v)	v örneklerinin ortalama değeri
$\bar{\gamma}(V, v)$	Bloklar ve örnekler arasındaki ortalama variogram değeri
$\bar{\gamma}(v, v)$	Örnekler arasındaki ortalama variogram değeri
$\bar{\gamma}(V, V)$	Bloğun ortalama variogram değeri
$z^*$	Tahmin edilen değer
$\alpha$	Güven seviyesi
z	Gerçek değer
$Z_{\alpha/2}$	Normal olasılık dağılımındaki $\alpha / 2$ koşulunu sağlayan z değeri
$\mu_{z^*}$	$z_i^*$ tahmini değerlerinin ortalaması
$\lambda_i(x)$	x lokasyonundaki rassal değişkenin ağırlıkları
$Z^*(x)$	Genelleştirilmiş lineer regresyon tahmincisi
$Z_{SK}^*(x)$	x lokasyonunun simple kriging tahmincisi
$\sigma_{SK}^2(x)$	x lokasyonunun simple kriging varyansı
$\lambda_i^{SK}(x)$	Simple kriging ağırlıkları
$Z_{OK}^*(x)$	x lokasyonunun ordinary kriging tahmincisi
$\sigma_{OK}^2(x)$	x lokasyonunun ordinary kriging varyansı
$\lambda_i^{OK}(x)$	Ordinary kriging ağırlıkları
L(x)	Lagrange fonksiyonu

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$\mu_{OK}(x)$	Ordinary kriging tahmincisi lagrange çarpanı
$R(x)$	Artık bileşen
$f_k(x')$	Eğilim bileşenleri koordinatlarının fonksiyonu
$C(0)$	$h=0$ mesafesinde covaryans değeri; bununla birlikte “ $Z(x)$ ” rassal değişkeninin varyansı
$x'_p$	Blok ayırım noktası lokasyonu
$z(x'_p)$	Blok ayırım noktası rassal değişkenin gerçek değeri
$N$	Bir bloğun ayırım noktası sayısı
$z_{OK}^*(x'_p)$	Bloğun ayırım noktalarının tahmini değeri
$z_v(x)$	Bloğun rassal değişkenlere bağlı tahmini değeri
$\lambda_i^{OK}(x'_p)$	Bloğun ayırım noktalarının ordinary kriging ağırlığı
$Z_v^*(x)$	Bloğun tahmini değeri
$\lambda_{iV}(x)$	Örnek değerlerinin bloğa atanmış olan ağırlıkları
$C(x_i - x'_p)$	Örnekten ayırım noktasına kovaryansı
$\bar{C}(x_i, V(x))$	Noktadan bloğa kovaryans
$s^2$	İnterpolasyon varyansı
$S^2$	İnterpolasyon varyansı rassal değişkeni
$S_v^2$	Blok interpolasyon varyansı rassal değişkeni
$S_p^2$	Ayırım noktası interpolasyon varyansı rassal değişkeni
$\sigma_w^2$	Ağırlıklı ortamla lokal varyansı

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\sigma_{CV}^2$	Birleşik varyans
$GA_{\%GS}$	Güven aralığı
$\varepsilon$	Bir tahminin güven aralığına bağlı olan hatası
$\varepsilon_{\text{nokta}}$	Ordinary kriging nokta tahmininin hatası
$\varepsilon_{\text{blok}}$	Ordinary kriging blok tahmininin hatası
$\varepsilon_{\text{interpolasyon}}$	İnterpolasyon blok tahmininin hatası
$\tilde{A}$	Bulanık küme
$\mu_A(x)$	Karakteristik fonksiyon
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	Üyelik fonksiyonu
$\wedge$	Minimum alma işlemcisi
$\vee$	Maksimum alma işlemcisi
$\{a_1, a_2, a_3\}$	Üçgenve çan üyelik fonksiyonunun parametreleri
$\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$	Yamuk üyelik fonksiyonunun parametreleri
$\{m, \sigma\}$	Gauss üyelik fonksiyonu parametreleri
$\lambda$	Bir kümeyi kesen sayı
$A_\lambda$	Bir A kümesinin $\lambda$ kesimi
$Z$	Bulanık çıkarım kümesi
$z$	Bulanık kümenin elemanları
$z^*$	Durulaştırma değeri
$z_1^*$	Maksimumların ilki
$z_2^*$	Maksimumların sonu
inf	Maksimum üyelik derecesine sahip değer in alt sınırı

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

### **Simgeler**

Sup	Maksimum üyelik derecesine sahip değerin üst sınırı
$A_{ij}; B_i$	Üyelik fonksiyonu ile tanımlanan dilsel ifadeler
$R_i$	İncelenen kural
I	“ve”/ “veya” operatörü
$x_r$	Girdi değişkenleri
y	Çıktı değişkeni

### **Kısaltmalar**

### **Açıklama**

UN	United Nations
SSCB	Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
USGS	US Bureau of Mines and US Geological Survey
UN-ECE	United Nations Economic Commission for Europe
CMMI	Council of Mining and Metallurgical Institutions
CRIRSCO	Combined Reserves International Reporting Standards Committee
SME	Society for Mining Metallurgy and Exploration
AusIMM	Australian Institute of Mining and Metallurgy
CIM	Canadian Institute of Mining Metallurgy and Petroleum
IMM	Institution of Mining and Metallurgy
SAIMM	South African Institute of Mining and Metallurgy
UNFC	United Nations Framework Classification
JORC	Joint Ore Reserves Committee of the Australian Institute of Mining and Metallurgy
SAMREC	South African Code for Reporting of Mineral Resources and Mineral Reserves
MTA	Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
SK	Simple kriging
OK	Ordinary kriging
BT	Blok tahmini
OKH	Ordinary kriging hatası
OKHKRS	Ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıfı
INH	İnterpolasyon hatası
INHKRS	İnterpolasyon hatasına göre kaynak/rezerv sınıfı
BUH	Bulanık hata
BUHKRS	Bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıfı
ÜD	Üyelik derecesi
BKSS	Bağıl kriging standart sapması
GBSS	Genel bağıl standart sapma

## BÖLÜM 1

### 1.GİRİŞ

Maden kaynaklarının tahmini, madencilik yatırımlarının ekonomik planlaması için gereklidir. Maden kaynaklarının araştırılma aşamasının sonuçlanmasından sonra kaynak/rezerv sınıflarının belirlenmesi ekonomik fizibilite çalışmalarının temelini oluşturur. Madencilik çalışmalarının planlanması, projenin nakit akışı ve finansal analiz çalışmalarından önce mevcut kaynakların tahmini ve bu kaynakların doğru olarak sınıflandırması önemlidir.

Rezerv tahmininde matematiksel ve jeolojik bilgi temeline dayalı jeostatistiksel tahmin yöntemleri madencilik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeostatistiksel yöntemlerle tahmin işlemi kriging tahmincisi ile gerçekleştirilir. Kriging tahmincisinden tahmini hata varyanslarını en küçükleyen kriging varyansı ve bir lokasyonun (nokta veya blok) tahmini değeri hesaplanabilir. Kriging tahmincileri arasında en yaygın olarak kullanılan yöntem ordinary kriging tahmincisidir.

Ordinary kriging tahmincisinden ordinary kriging varyansı ve interpolasyon varyansı hesaplanabilir. Ordinary kriging varyansı bir variogram modeline dayalı olması nedeniyle tahminde kullanılan örneklerin yerleşim düzenine bağlıdır. Bununla birlikte, interpolasyon varyansı, tahminde kullanılan örneklerin ordinary kriging ağırlıklarından hesaplanan alternatif bir tahmin varyansı yöntemidir.

Ana kütlelerin örnek sayısı ve standart sapması kullanılarak belirli bir istatistiksel güven aralığında tahmin hatası hesaplanabilir. Dolayısıyla, tahmin edilen bir bloğun ordinary kriging standart sapması ve interpolasyon standart sapmasına bağlı olarak belirli bir istatistiksel güven aralığında ordinary kriging tahmin hatası ve interpolasyon tahmin hatası adı verilen tahmin hataları hesaplanabilmektedir. Ordinary kriging tahmin hatası ve interpolasyon tahmin hatası ise kaynak/rezerv sınıflarının (görünür rezerv, muhtemel rezerv, belirtilen kaynak ve yorumlanan kaynak) verilen hata sınırlarına bağlı olarak sınıflandırılması amacıyla kullanılabilir. Fakat ordinary kriging tahmin hatası ve interpolasyon tahmin hatası sonuçlarının farklı olmasından dolayı verilen hata sınırları içerisinde tahmin edilen blokların farklı kaynak/rezerv

sınıflarında yer alması, belirsizliğe neden olmaktadır. Jeolojik belirsizlikler ve arama faaliyetlerinin sınırlamaları göz önüne alındığında verilen hata sınırları içerisinde kaynak/rezerv sınıflarının belirlenmesinde ortaya çıkan problemlerin deterministik yöntemlerle ortadan kaldırılması zordur.

Deterministik yöntemlerin tümü belirlilik ortamını gerçek sayılara bağlı olarak değerlendirme yaparlar. Gerçek sayıların analizi matematiksel ve istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılır. Deterministik yöntemler ile ortaya çıkan belirsizliklerin değerlendirilmesi zordur ve verilen kararlar kesindir. Yetersiz bilgi nedeniyle ortaya çıkan belirsizlikler yaklaşık düşünce mantığı ile çözüm yapan bulanık mantık ile çözülebilir. Bulanık mantık, bulanık kümeler ve bulanık çıkarım sistemleri aracılığıyla belirsizliği değerlendirmektedir. Yerbilimlerinde belirsizlikler jeolojik değişkenlik, örnekleme hatası, gözlem hatası, ölçüm hatası, jeolojik verilerin değerlendirme hatası, hataların yayılımı ve kullanılan modellere bağlı olarak oluşur (Bardossy and Fodor, 2001).

Ordinary kriging tahmin hatası ve interpolasyon tahmin hatası, verilen hata sınırları içerisinde kaynak/rezerv sınıflarını deterministik olarak değerlendirmektedir. Fakat bir maden yatağının tahmininde kullanılan örneklerin yayılımı arttıkça interpolasyon tahmin hatasının artması ve ordinary kriging tahmin hatasının azalmasından dolayı kaynak/rezerv sınıflarının belirlenmesinde belirsizliğe yol açmaktadır. Bu sorunun ortadan kaldırılması için ordinary kriging tahmin hatası ve interpolasyon tahmin hatası sınırlarının ve kaynak/rezerv sınıfları için oluşturulan hata sınırlarındaki geçişlerin yumuşatılması gerekmektedir. Jeostatistiksel temele dayalı kaynak/rezerv sınıflandırma yöntemlerinde daha önce ele alınmamış olan bu eksikliğin giderilmesi amacıyla bu çalışmada, kullanımı hızla yaygınlaşan bulanık mantık kavramının sınıflama sistemlerine uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, kaynak/rezerv sınıflandırması için tanımlanan yordamlar Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağlı linyit sahasına uygulanmıştır.

## BÖLÜM 2

### 2. KAYNAK/REZERV SINIFLANDIRMA KAVRAMLARI

Kaynak/rezerv sınıflandırma, bir maden yatağının şu anda veya gelecekte değerlendirilmesi için sınıflandırma terimlerinin ve araştırma sonuçlarının raporlanmasında kullanılan kurallar olarak tanımlanabilir. Sınıflandırmada kullanılan raporlama kuralları bir maden yatağının ulusal ve uluslararası alanda güvenilirliğinin belirlenmesinde önemlidir. Günümüze kadar birçok sayıda yazar ve kuruluş maden kaynakları için sınıflandırma ölçütleri oluşturmuştur. Bu ölçütleri oluşturan bazı sebepler vardır.

#### 2.1. Kaynak/Rezerv Sınıflandırma Sistemlerini Oluşturan Sebepler

Süreçler ve olaylar devam ettiği için kaynak/rezerv sınıflandırma ölçütleri incelenmeye ve değişikliğe uğramaya devam etmektedir (Valee, 1998). Maden kaynakları farklı amaçlara ve ihtiyaçlara bağlı olarak çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır. Birçok sınıflandırma sistemi çeşitli politik, ekonomik ve çevre koşulları içerisinde geliştirilmiştir (Subelj, 2001).

Kaynak/rezerv sınıflandırma sistemlerini oluşturan sebepler genel olarak madencilik politikasıyla, finansmanla ve girişimcilerle ilgilidir (Camisani-Calzolari, 2004).

##### 2.1.1. Madencilik politikası

Her ülkenin, maden kaynaklarının genel durumu hakkında mümkün olduğu kadar doğru bir şekilde bilgi elde etmek istemesinin farklı sebepleri vardır. Bu sebepler aşağıda açıklanmıştır.

*Ulusal maden envanterinin oluşturulması:* Her ülke, normal ve olağan üstü durumlar altında madenlerinin ithalatına ve ihracatına bağlı olarak sahip olduğu maden varlıklarını nasıl kullanılabileceğini belirlemek ister.



*Arazi kullanımı:* Maden kaynaklarının işletilmesi durumunda madenlerin bulunduğu arazilerin kullanımında sınırlamalara neden olur. Maden kaynaklarının belirlenmesi arazi kullanımının önceliği üzerinde karar vermek için gereklidir. Özellikle maden kaynaklarının ileride işletilmesi durumunda arazi kullanımı ile ilgili kararların belirlenmesi önemlidir.

*Çevre yasaları:* Çevre ile ilgili yasalar madencilik faaliyetlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Çevre yasaları, maden kaynaklarının işletme koşullarının belirlenmesinde son derece önemlidir.

*Stratejik planlama:* Bazı gelişmiş ülkeler sadece ulusal maden kaynaklarını daha iyi değerlendirmek amacıyla uluslararası maden kaynakları hakkında stratejik plan yaparlar.

Maden kaynaklarının işletilmesi tam anlamıyla yasal olarak düzenlenir. Devlet kurumları uygun ve doğru yöntemle maden kaynaklarının işletilmesine özen gösterirler. Devletler, kendi oluşturdukları sebepleri göz önüne alarak ruhsatlandırma koşulları oluştururlar ve maden kaynaklarının işletilmesini sağlarlar.

### 2.1.2. Finansman

Madencilik faaliyetlerinin farklı aşamalarında gerekli olan sermayenin artması sonucunda kendi ülkelerinde madencilik yapan işletmelerin faaliyet alanları sınırlanmıştır (Vaughan and Felderhof, 2002). Madencilik işletmeleri genellikle büyük miktarlarda sermaye kullandıkları için dış kaynaklı finansmana ihtiyaç duyarlar.

Madencilik faaliyetlerinin finansmanı üç farklı şekilde karşılanmaktadır. Bunlar; öz kaynaklar, krediler ve ulusal/uluslararası sermayelerdir (Subelj, 2002). Büyük miktarda risk sermayesi kullanan madencilik yatırımlarının ihtiyacı olan sermayenin artması madencilik faaliyetlerinin sürdürülmesinde problemlere neden olmaktadır. Madencilik işletmelerinin uygun finansman koşullarında sermayelerini artırılabilmelerinin iki temel sonucu vardır (Vaughan and Felderhof, 2002):

- Maden endüstrisi yatırımları için gerekli olan sermayeyi elde etmenin etkin yollarını geliştirmelidir.

- Madencilik faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için yatırımcıların açık ve kapsamlı bilgiye ihtiyacı vardır.

Bu ihtiyaçların her ikisi birden değerlendirildiğinde, maden kaynakları/rezervleri için dünyaca kabul edilen tanımlamalar kullanılarak uluslararası alanda kabul edilen raporlama standartları gereklidir. Raporlama standartlarının oluşturulması finans kurumları ve yatırımcıların için oluşturulan güvenilir bir belgelendirme sistemiyle gerçekleştirilebilir.

### 2.1.3. Girişimciler

Maden kaynakları arasında ekonomik olarak çıkartılabilen madenlerin tespiti girişimciler için önemlidir. İşletmeler, sadece belirli koşullar altında gelecekte ekonomik değere sahip olabilecek maden kaynaklarıyla ilgilenirler. Bu yüzden madencilik yapan işletmelerin devletlere göre maden kaynaklarına ilgileri sınırlıdır. Bununla birlikte, girişimcilerin ihtiyaçlarına dayandırılarak sınıflandırma sistemleri sadeleştirilmelidir (Subelj, 2002). Sınıflandırma sistmenlerinin sadeleştirilmesinin nedenleri aşağıda verilmiştir (Sinclair and Blackwell, 2002).

- Maden ve arama işletmelerinin temel ana varlıklarının envanterinin oluşturulması,
- Finans kurumları için kabul edilebilir bir güven seviyesinin sağlanması,
- Spekülatif para piyasalarında gelişen fonlardan yararlanılması,
- Orta ve uzun dönemde üretim için ana varlıkların belgelendirilmesi,
- Maden işletme hakkı, vergilendirme ve arazi kullanımının yönetimi için ülkelerin girişimcilere alt yapı sağlaması.

### 2.2. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasının Tarihçesi

1892 yılında kurulan uluslararası bir organizasyon olan IMM (Institution of Mining Metallurgy) kaynak/rezerv tanımlamalarından önce cevher terimini tanımlamıştır.

Cevher; “bir veya daha fazla bileşenden oluşan, ekonomik değeri olan doğal mineral birikimlerinden meydana gelen katıdır.” şeklinde tanımlanmaktadır (Brewis, 1994). Rezervler hakkındaki ilk tanımlamalar yirminci yüzyılın başında yapılmıştır. Ekonomik, teknolojik, sosyal, çevresel ve pazarlama faaliyetlerinin gelişmesi ile beraber rezerv tanımlamalarına ek olarak kaynaklarında tanımlamaları yirminci yüzyılın ikinci yarısında birçok kişi ve kuruluş tarafından yapılmıştır.

### 2.2.1. Yirminci yüzyılın ilk yarısındaki rezerv tanımları

Yirminci yüzyılın başlarında cevherler üç taraftan belirlenebilme derecesine göre sınıflandırılmıştır (Sinclair and Blackwell, 2002). Bu dönemde kaynak ile ilgili tanımlamalara, cevher talebinin arzı karşılması nedeniyle yer verilmemiştir. Bu dönemde yapılan rezerv tanımlamalarının bazıları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Maden rezervleri hakkındaki ilk tanımlamalar (Sinclair and Blackwell, 2002).

Tahminin kalitesi			
Yazar	En yüksek	Orta	En düşük
Kendall, (1901)	Kuralcı (Puritan)	Serbest (Cavalier)	Diğerleri (Others)
	Görünürde cevher, üç tarafından kalite ve tonajı belli olan cevher, rezervde cevher, çıkarılması uygun cevher, görünüşte muhtemel cevher	Orta derecede beklenen cevher, üç boyutundan görülemeyen cevher, muhtemel ama boyutu belli olmayan cevher	Jeolojisi projesi yorumlanmış
Hoover, H.C., (1909)	Görünür cevher (Proven ore)	Muhtemel cevher (Probable ore)	Mümkün cevher (Possible ore)
	Uygulamada sürekliliği olan ve riski olmayan cevher, görünürde muhtemel cevher	Bazı risklerin olduğu cevher, ama sürekliliğin uygun bir şekilde doğrulanan cevher	Görünür ve muhtemel sınıflar içerisinde yer almayan cevher,
Leith, C., (1935)	Güvenilir cevher (Assured ore)	Beklenen cevher (Prospective ore)	Mümkün cevher (Possible ore)
	Madencilik veya sondaj ile üç boyutlu çıkartılmış cevher, başarısızlık riski olmayan	Uzanımları yaklaşık olarak bilinen, olasılığı yüksek, boyutları daha az kesin	Varsayımsal kanıtları olan cevher, ama miktarı belirsiz olan
Fennel, J.H., (1939)	Üç boyutu belli cevher (Ore blocked out)	Muhtemel cevher (Probable ore)	Beklenen cevher (Prospective ore)
	Üç veya dört tarafından ortaya çıkmış cevher	Kısmen bir veya iki tarafından ortaya çıkmış cevher	Ortaya çıkmamış cevher

### 2.2.2. Yirminci yüzyılın ikinci yarısındaki kaynak/rezerv tanımları

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında, gelişmiş ülkelerin maden taleplerindeki artış ve beklenen maden arzlarının gerçekleşmemesinden dolayı rezerv tanımlamalarına ek olarak, gelecekte maden zenginliklerinin planlanabilmesi amacıyla kaynak ile ilgili tanımlamalar yapılmıştır. Bu dönemde yapılan kaynak/rezerv tanımlamalarından bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Blondel ve Lasky (1956), mevcut ekonomik şartlar ve teknolojik uygulama koşulları bakımından bugün (veya rezerv hesabının yapıldığı tarihte) değil, fakat buna yakın veya uzak bir gelecekte yararlanılabilmesi uygun olan potansiyel rezervleri kaynak olarak tanımlamıştır.

Schurr ve Netschert (1960), kaynakları ve rezervleri var olma ihtimali, ekonomik özellikleri ve teknolojik koşullar olmak üzere üç ölçüte bağlı olarak sınıflandırmıştır. Yazarların mevcut madenleri; rezervler, kaynaklar ve temel kaynaklar olarak tanımladıkları sınıflandırma sistemi Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Rezervler, kaynaklar ve temel kaynaklar

Terimler	Koşullar		
	Var olma	Ekonomik Özellikler	Teknolojik Koşullar
Rezervler	Bilinmiyor	Bugünkü maliyet düzeyi	Günün koşullarında işletilebilir
Kaynaklar	Bilinmiyor ve bilinmiyor	Belirlenen herhangi bir maliyet düzeyinde	Günün koşullarında işletilebilir ve gelecekte işletilmesi olası
Temel kaynaklar	Bilinmiyor veya bilinmiyor	Mevcut dışı	İşletilebilir veya işletilemez

Kaynak, rezerv ve temel kaynak tanımlamaları maden varlıklarının sınıflandırması açısından önemlidir (McDivitt ve Manners, 1974).

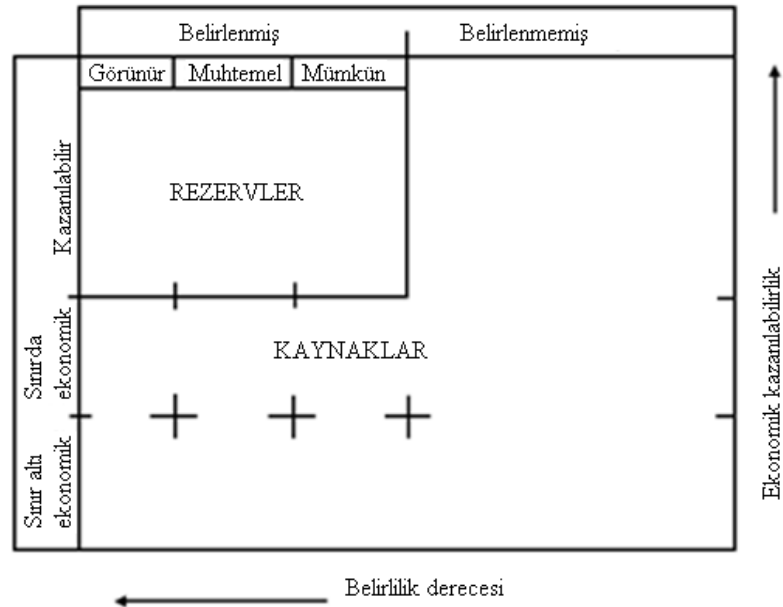
1970’li yılların başından itibaren ülkeler ve kurumlar kendi sınıflandırma sistemlerini oluşturmak için çalışmalar yapmışlardır. Bu sınıflandırma sistemleri, ülkelerin ve kurumların ekonomik, teknolojik, çevresel ve yasal ölçütlerine göre değişiklik göstermektedir.

Aşağıda ülkelerin ve kurumların yapmış oldukları bazı önemli olan sınıflandırma sistemleri verilmiştir:

- Mc Kelvey sınıflandırma sistemi,
- SSCB (Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği) sınıflandırma sistemi,
- UN (United Nations) sınıflandırma sistemi,
- USGS sınıflandırma sistemi (US Bureau of Mines ve US Geological Survey).

### 2.2.2.1. Mc Kelvey sınıflandırma sistemi

Mc Kelvey (1972), kaynakları/rezervleri ekonomik kazanılabilirlik ve belirlilik derecesine göre sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma sisteminde rezervler, ekonomik kazanılabilirliği olan ve varlığı belirlenmiş olarak görünür, muhtemel ve mümkün olarak sınıflandırılmıştır. Kaynaklar ise ekonomik işletilebilirlik ve belirlilik derecesi düşük olarak sınırdaki ekonomik ve sınırın altında ekonomik olmak üzere sınıflandırılmıştır. Mc Kelvey sınıflandırma sistemi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Mc Kelvey kaynak/rezerv sınıflandırma sistemi

### 2.2.2.2. SSCB sınıflandırma sistemi

SSCB rezerv sınıflama sistemi ilk kez 1933 yılında yapılmış ve 1939 yılında gözden geçirilmiştir. SSCB sınıflama sisteminde jeolojik koşullar ve ekonomik işletilebilirlik esas alınmıştır (Gümüş, 1995). Bu sınıflama arama aralıkları, hammaddenin fiziksel özelliklerinin bilinmesi, nitelik (tenör, eser bileşenler, safsızlıklar vb.) ve yatağa ilişkin madencilik koşullarının düzeyine göre A, B, C1 ve C2 simgelerinden oluşan 4 gruba ayrılmıştır (Oygür ve diğerleri, 1992). A grubu görünür rezerv, B grubu muhtemel rezerv ve C grubu mümkün rezerv şeklinde ifade edilebilir. C2 grubundaki rezervler ise ileri arama planlamasında sınıflandırılacak A, B ve C1 grubuyla komşu olan rezervleri belirtir.

### 2.2.2.3. UN sınıflandırma sistemi

Birleşmiş Milletler-UN (1979), UN Ekonomik ve Sosyal Konseyi tarafından oluşturulan “Doğal Kaynaklar Komitesi” bir uluslararası sınıflandırma sistemi önermiştir. Bu sınıflandırma sisteminde, kaynak/rezerv tanımlamaları değişik dillerde farklı anlamlar taşıdığından dolayı kodlama sistemi kullanılmıştır. Jeolojik güvenilirliğe göre üç sınıf ve bu sınıflara ait alt sınıflar oluşturulmuştur. UN'nin yapmış olduğu kaynak/rezerv tanımlamaları aşağıda belirtilmiştir:

“R1” sınıfı kaynaklar; cevher gövdesinin konumunu, boyutunu ve temel niteliklerini görünür ve muhtemel rezervin toplamı olarak tanımlanmıştır.

“R2” sınıfı kaynaklar, belirlenmiş yataklarla doğrudan ilişkilidir. Fakat bazı noktalardaki ölçümlere bağlı olarak tahminlerle ve büyük ölçüde jeolojik bulgularla desteklenir. Bu sınıftaki kaynaklar mümkün rezerv olarak belirtilmiştir.

“R3” sınıfı kaynaklar, belirlenmemiş fakat arama çalışmaları ile tahmin edilen kaynaklardır. Bu sınıftaki kaynaklar bilinmeyen kaynaklar olarak ifade edilmiştir.

Bu sınıflandırmada, “R1” ve “R2” ekonomik “E” ve ekonomik olmayan “S” kaynaklar şeklinde iki alt sınıfa ayrılabilir. “R” sembolü yerinde (in situ) kaynakları göstermektedir. Kazanılabılır kaynaklar “r”nin alt kaynak sınıfları “r1”, “r2”, “r3” şeklinde gösterilmiştir. “M” sembolü, çok yakın gelecekte teknolojik ve ekonomik koşulların değişmesi sonucu işletilebilir duruma gelecek kaynaklar için

kullanılmıştır. 1979 yılında UN tarafından önerilen sınıflama sistemi Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. UN tarafından önerilen sınıflama sistemi

#### 2.2.2.4. USGS sınıflandırma sistemi

USGS (1980), Maden kaynaklarını tanımlamak ve sınıflamak için bir sınıflandırma sistemi önermiştir. Bilinen kaynaklar; jeolojik bulgular yardımıyla bulunduğu yer, tenörü, niteliği ve miktarı bilinen veya tahmin edilen kaynaklardır. Kaynaklar, jeolojik belirlilik derecesine göre değerlendirilebilecek maden varlıkları şeklinde tanımlanmıştır. İşletilebilirlik durumuna göre ise ekonomik, sınırdaki ekonomik ve sınır altı ekonomik kaynak sınıfları aşağıda tanımlanmıştır:

Bilinen kaynakların ekonomik sınıf içerisinde olabilmesi için günün koşullarında işletilebilir olması gereklidir.

Sınırdaki ekonomik kaynak içerisinde olabilmesi için yakın bir gelecekte işletilebilir olması gereklidir.

Sınır altı ekonomik sınıfı içerisinde olabilemesi çok uzak gelecekte işletilebilir olması gereklidir. USGS sınıflandırma sistemi Şekil 2.3’de gösterilmiştir.

Toplam üretim	Bilinen kaynaklar			Bilinmeyen kaynaklar
	Belirlenmiş		Mümkün	Olasılık aralığı
	Görünür	Muhtemel		Varsayımsal veya düşünülen
Ekonomik	Rezervler		Mümkün rezervler	+
Sınırdaki ekonomik	Sınır rezervler		Mümkün sınır rezervler	
Sınır altı ekonomik	Belirlenmemiş ekonomik olmayan kaynaklar		Mümkün ekonomik olmayan kaynaklar	
Diğer varlıklar	Geleneksel olmayan ve düşük tenörlü malzemeleri kapsar			

Şekil 2.3. USGS kaynak/rezerv sınıflandırma sistemi

USGS bununla birlikte bilinen kaynakları baz ve mümkün baz rezerv şeklinde tanımlamıştır.

Baz rezerv; belirlenmiş kaynağın tenör, nitelik, kalınlık ve derinliği de içerecek biçimde, günümüzdeki madencilik üretim uygulamalarına ilişkin minimum fiziksel ve kimyasal ölçütlere göre görünür ve muhtemel rezervin toplamından oluşan kaynaktır. Rezerv; ekonomik rezervleri, sınırdaki kaynakları ve sınır altı ekonomik kaynakların bir kısmını kapsar.

Mümkün baz rezerv; mümkün rezervlerin hesaplandığı bilinen kaynağın yerindeki bölümüdür.

Bilinmeyen kaynaklar ise bilinen kaynaklar sınıfına girmeyen yatakları ve varlığı sadece kabul edilen kaynaklar USGS sınıflandırma sistemine göre aşağıda tanımlanmıştır:

Varsayımsal (hipotetik) kaynaklar; varlığı daha önceki jeolojik bilgilere dayalı olarak umut edilen kaynaklardır.

Düşünülen (spekülatif) kaynaklar; henüz herhangi bir cevher varlığı tespit edilmemiş, cevher bulunması olası olan bir jeolojik alan içerisinde varlığı bilinmeyen kaynaklardır. USGS baz rezerv ve mümkün baz rezerv sınıfları Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Toplam üretim	Bilinen kaynaklar			Bilinmeyen kaynaklar
	Belirlenmiş		Mümkün	Olasılık aralığı
	Görünür	Muhtemel		Varsayımsal veya düşünülen
Ekonomik	Baz		Mümkün	+
Sınırdaki ekonomik	Rezerv		Rezerv	
Sınır altı ekonomik				+

Diğer varlıklar	Geleneksel olmayan ve düşük tenörlü malzemeleri kapsar
-----------------	--

Şekil 2.4. USGS baz rezerv ve mümkün baz rezerv sınıfları

### 2.3. Uluslararası Sınıflandırma Sistemleri

Maden kaynaklarının/rezervlerinin tanımlanması ve raporlanmasını kapsayan ulusal ve uluslararası kuralların belirlenmesi hakkındaki çalışmalar son yıllarda önemli gelişmeler sağlamıştır. Uluslararası sınıflandırma sistemlerinde ülkelerin ihtiyaçları göz önüne alınarak kaynaklar/rezervler için tanımlamalar oluşturulmuştur (Miskelly, 2003).

UN-ECE (United Nations Economic Commission for Europe) ve CMMI'ye (Council of Mining and Metallurgical Institutions) bağlı olan CRIRSCO (Combined Reserves International Reporting Standards Committee) tarafından ülkelerin kaynak/rezerv sınıflandırma tanımlamaları birleştirilmiştir.

#### 2.3.1. CRIRSCO sınıflandırma sistemi

1994 yılında CMMI tarafından, ABD'den SME (Society for Mining Metallurgy and Exploration), Avustralya'dan AusIMM (Australian Institute of Mining and Metallurgy), Kanada'dan CIM (Canadian Institute of Mining Metallurgy and Petroleum), İngiltere'den IMM (Institution Mining and Metallurgy) ve Güney Afrika'dan SAIMM (South African Institute of Mining and Metallurgy) madencilik ve metalürji kuruluşlarının temsilcileri Güney Afrika'nın Sun City şehrinde yapılan 15. CMMI konferansında kaynak ve rezervlerin uluslararası tanımlamalarını yapmak için

Ad-Hoc tanımlama grubunu oluşturmuştur. 1997 yılında Denver’da CMMI tarafından kaynak ve rezerv tanımlamaları hakkında ön koşullu bir anlaşma (Denver Accord) yapılmıştır (Riddler, 1998).

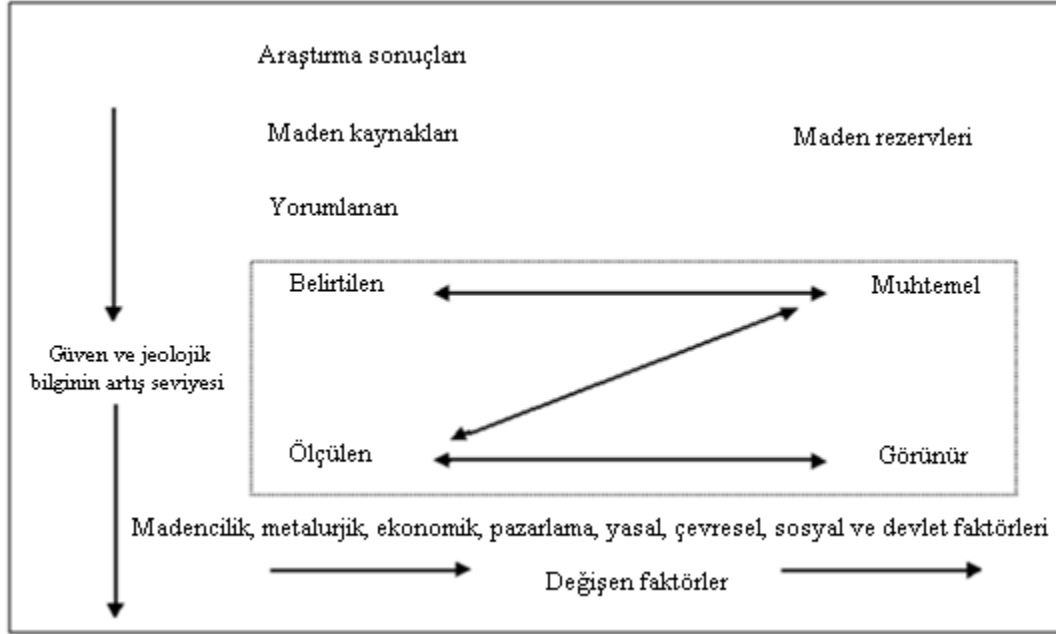
1992 yılından beri UN-ECE farklı ulusların maden kaynak/rezerv sınıflandırmalarının benzerliğini sağlamak için UNFC (United Nations Framework Classification) sistemini geliştirmiştir. CMMI ve UN-ECE 1998 ve 1999 yıllarında Genova’da UNFC sistemine göre CMMI standart raporlama tanımlamalarını birleştirmiştir (Miskelly, 2003).

1999 JORC (Joint Ore Reserves Committee of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists, and Minerals Council of Australia) mineral kaynak/rezerv kuralları göz önüne alınarak Güney Afrika, ABD, Kanada ve İngiltere tarafından maden kaynak/rezerv sınıflandırılması için kurallar oluşturulmuştur (Miskelly, 2003). 2002 yılında Avustralya Queensland’da düzenlenen CMMI kongresinde CMMI kaynak/rezerv sınıflandırma konusunda yapılan çalışmalara CRIRSCO ile devam edilmesi kararlaştırılmıştır. CRIRSCO tipi maden kaynak ve rezerv sınıflandırma sistemlerini kullanan ülkeler, organizasyonlar, standartlar ve yayın tarihleri Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. CRIRSCO tipi mineral kaynak ve rezerv sınıflandırma sistemleri

Ülke	Organizasyon	Standart	Yayın tarihleri
İngiltere, İrlanda, Batı Avrupa	Pan-European Reserves Reporting Committee	Code for Reporting of Mineral Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves	2001
Peru	Joint Committee of the Venture Capital Segment of the Lima Stock Exchange	Code for Reporting on Mineral Resources and Ore Reserves	2003
Avustralya	Australasian Joint Ore Reserves Committee	Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (JORC Code)	2004
Kanada	Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum	CIM Definition Standards on Mineral Resources and Mineral Reserves	2004
Şili	Institute of Mining Engineers of Chile	Code for the Certification of Exploration Prospects, Mineral Resources and Ore Reserves	2004
Güney Afrika	South African Mineral Resource Committee	South African Code for Reporting of Mineral Resources and Mineral Reserves (SAMREC Code)	2007

CRIRSCO tipi mineral kaynakları cevher rezervleri ve araştırma sonuçları arasındaki genel ilişki Şekil 2.5’de gösterilmiştir (Vaughan and Felderhof, 2002).



Şekil 2.5. CRIRSCO mineral kaynakları ve rezervleri sistemi

1999 yılında Genova’da yapılan toplantıda CMMI ve UN-ECE tarafından maden kaynakları ve rezervleri hakkında şu tanımlamalar önerilmiştir (UNECE, 2000):

Maden kaynakları:

- Yorumlanan maden kaynakları,
- Belirtilen maden kaynakları,
- Ölçülen maden kaynakları.

Maden rezervleri:

- Muhtemel maden rezervleri,
- Görünür maden rezervleri.

Maden kaynağı, kalite ve miktarı bakımından ekonomik olarak çıkartılabilen ve ekonomik değeri olan malzemenin oluşumudur. Maden kaynağının yeri, miktarı, jeolojik sürekliliği bilinir, tahmin edilir veya jeolojik kanıtlardan yorumlanır.

Yorumlanan maden kaynağı, düşük güven seviyesinde tahmin edilebilen tonaj, tenör ve maden içeriğine sahip olan maden kaynağının bir bölümüdür. Jeolojik kanıtları yorumlanan ve varsayılan, fakat jeolojisi ve/veya tenör sürekliliği doğrulanmamış kaynaktır. Sınırlı sayıda güvenilirliği belirsiz olan mostra, çukur, hendek, kazı ve sondaj gibi lokasyonlardan uygun teknikler aracılığıyla bilgi toplanmasına dayanır.

Belirtilen maden kaynağı, uygun güven seviyesinde tahmin edilebilen tonaj, yoğunluk, şekil, fiziksel özellikler, tenör ve maden içeriğine sahip olan maden kaynağının bir bölümüdür. Mostra, çukur, hendek, kazı ve sondajlar gibi lokasyonlardan uygun teknikler aracılığıyla toplanan araştırma ve örnekleme bilgisine dayandırılır. Lokasyonlar jeolojik ve/veya tenör sürekliliğinin doğrulanması için oldukça geniş veya uygun olmayan bir şekilde yerleştirilir.

Ölçülen maden kaynağı, uygun güven seviyesinde tahmin edilebilen tonaj, yoğunluk, şekil, fiziksel özellikler, tenör ve maden içeriğine sahip olan maden kaynağının bir bölümüdür. Mostra, çukur, hendek, kazı ve sondajlar gibi lokasyonlardan uygun teknikler aracılığıyla toplanan ayrıntılı ve güvenilir araştırma ve örnekleme bilgisine dayandırılır. Lokasyonlar jeolojik ve/veya tenör sürekliliğinin doğrulanması için oldukça uygun bir şekilde yerleştirilir.

Maden rezervi, ölçülen ve/veya belirtilen maden kaynağının ekonomik olarak madencilik yapılabilen bölümüdür. Madencilikle malzeme üretildiği zaman meydana gelebilen seyrelmiş malzemeler (diluting materials) ve değer kayıplarını (allowances for losses) içerebilir. Fizibilite çalışmalarını içine alan uygun değerlendirmeler tamamlanmış ama gerçeğe uygun olarak önerilen madencilik, metalurjik, ekonomik, pazarlama, yasal, çevresel, sosyal ve hükümetler etkenler göz önüne alınarak değerlendirilmesi yapılmış madenlerdir. Bu değerlendirmeler, raporlama zamanında madenin çıkartılabileceğini gösterir.

Muhtemel maden rezervi, belirtilen maden kaynağının ve bazı koşullar sağlandığında ölçülen maden kaynağının madencilik yapılabilen bölümüdür. Madencilikle ile malzeme üretildiği zaman meydana gelebilen seyrelmiş malzemeler ve değer kayıplarını içerebilir. Fizibilite çalışmalarını içine alan uygun değerlendirmeler

tamamlanmış ama gerçeğe uygun olarak önerilen madencilik, metalurjik, ekonomik, pazarlama, yasal, çevresel, sosyal, hükümsel etkenler göz önüne alınarak değerlendirilmesi yapılmış madenlerdir. Bu değerlendirmeler, raporlama zamanında madenin çıkartılabileceğini gösterir.

Görünür maden rezervi, ölçülen maden kaynağının ekonomik olarak madencilik yapılabilen kısmıdır. Madencilikle malzeme üretildiği zaman meydana gelebilen seyrilmiş malzemeler ve değer kayıplarını içerebilir. Fizibilite çalışmalarını içine alan uygun değerlendirmeler tamamlanmış ama gerçeğe uygun olarak önerilen madencilik, metalurjik, ekonomik, pazarlama, yasal, çevresel, sosyal ve hükümsel etkenler göz önüne alınarak değerlendirilmesi yapılmış madenlerdir. Bu değerlendirmeler, yüksek güven seviyesi ile raporlama zamanında madenin çıkartılabileceğini gösterir.

Bu sınıflamalara ilave olarak UNFC sisteminde üç kaynak sınıfı daha eklenmiştir. Bu kaynaklar zayıf olarak tanımlanmış veya şu anda ekonomik olmadığı uygun teknik ve ekonomik çalışmalarla gösterilen madenleri ifade eder. Bu kaynaklar gelecekte ekonomik olarak kullanılabilir.

Keşfedilen maden kaynağı; bölgesel jeolojik çalışmalar ve haritalar, hava fotoğrafları ve doğrudan olmayan yöntemler, başlangıç ön alan çalışmaları ve bunlara ilaveten yorumlama ve araştırmalara dayandırılır. Maden yatağının tanımlanmasına yönelik ilerideki araştırmalar sonucunda potansiyel değeri artan mineral alanının tanınması amaçlanmaktadır. Güven seviyesi yorumlanmış mineral kaynağının uygulanmasına göre daha düşük seviyededir. Güven seviyesi genellikle belirtilen tonaj ve tenör rakamları için yeterli değildir.

Ön fizibilite maden kaynağı, belirtilen ve bazı durumlarda ölçülen maden kaynağının bir bölümüdür. Ön fizibilite çalışması yerine getirildikten sonra ekonomik olarak madencilik yapılmadığını gösterir. Ön fizibilite çalışması gerçeğe uygun olarak önerilen madencilik, metalurjik, ekonomik, pazarlama, yasal, çevresel, sosyal ve hükümsel etkenler göz önüne alınmış, fakat malzemenin yakında çıkarılmasının uygun olmadığı raporlama içerisinde gösterilmiştir. Bu malzeme teknolojik, ekonomik ve/veya diğer ilgili şartlarda değişikliklere bağlı olarak ekonomik olarak uygun olasılıktadır.

Fizibilite maden kaynağı, ölçülen maden kaynağının bir bölümüdür. Fizibilite çalışması yapıldıktan sonra ekonomik olarak madencilik yapılmadığını gösterir.

Fizibilite çalışması, gerçeğe uygun olarak önerilen metalurjik, ekonomik, pazarlama, yasal, çevresel, sosyal ve hükümetler etkenler göz önüne alınmış, fakat malzemenin yakında çıkarılmasının uygun olmadığı raporlama içerisinde gösterilmiştir. Bu madenler teknolojik, ekonomik ve/veya diğer ilgili şartlarda değişikliklere bağlı olarak ekonomik olarak çıkartılabilecek olasılıktadır.

### 2.3.2. UNFC sınıflandırma sistemi

UNFC sistemi maden kaynaklarının ve rezervlerinin sınıflandırılması/değerlendirilmesi için dünyaca uygulanabilirliği kabul edilen bir düzenlemedir. UNFC sistemi, “E” eksenini ile ekonomik uygulanabilirliğin, “F” eksenini ile fizibilite değerlendirmesinin ve “G” eksenini ile jeolojik çalışmanın gösterildiği üç boyutlu bir sınıflandırma düzenlemesidir. Bu eksenleri oluşturan alt sınıflar Çizelge 2.4’de, Kaynak ve rezerv sınıflarının kodları ise Çizelge 2.5’de gösterilmiştir.

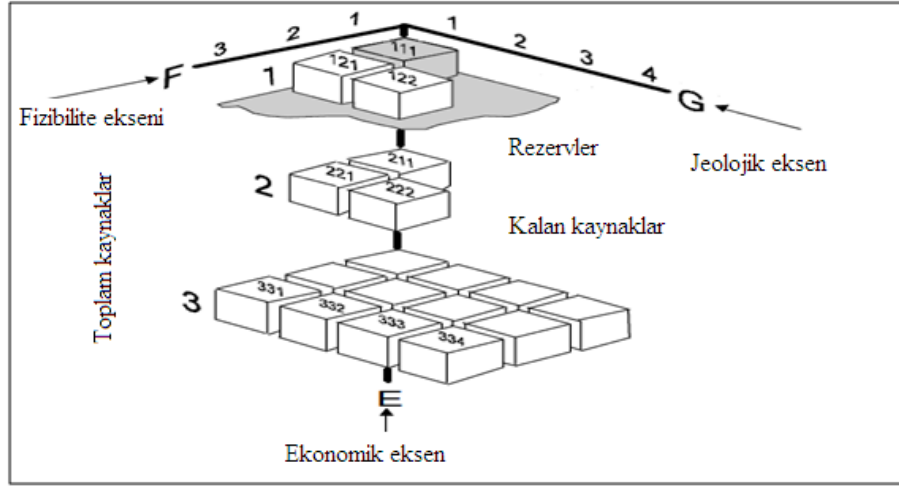
Çizelge 2.4. UNFC sisteminde eksenlere bağlı olarak kullanılan sınıflar ve alt sınıflar

Eksen	Sınıflar ve Alt Sınıflar
E1	Ekonomik (Economic)
E1.1	Normal Ekonomik (Normal Economic)
E1.2	Koşullu Ekonomik (Exceptional or Conditional Economic)
E2	Potansiyel Ekonomik (Potentially Economic)
E2.1	Sınır Ekonomik (Marginal Economic)
E2.2	Sınır Altı Ekonomik (Sub-Marginal Economic)
E3	Doğal Olarak Ekonomik (Intrinsically Economic)
F1	Madencilik Raporu ve/veya Fizibilite Çalışması (Mining Report and/or Feasibility Study)
F1.1	Madencilik Raporu (Mining Report)
F1.3	Fizibilite Çalışması (Feasibility Study)
F2	Ön Fizibilite Çalışması (Pre-feasibility Study)
F3	Jeolojik Çalışma (Geological Study)
G1	Ayrıntılı Araştırma (Detailed Exploration)
G2	Genel Araştırma (General Exploration)
G3	Arama (Prospecting)
G4	Keşif Çalışması (Reconnaissance Study)

Çizelge 2.5. UNFC sınıflandırma sistemi kodları

Ekonomik Eksen	Fizibilite Eksen	Jeolojik Eksen	Kodlar
Ekonomik	Fizibilite Çalışması ve Madencilik Raporu	Ayrıntılı Araştırma	111
Ekonomik	Fizibilite Çalışması	Ayrıntılı Araştırma	121
Ekonomik	Fizibilite Çalışması	Genel Araştırma	122
Potansiyel Ekonomik	Fizibilite Çalışması ve Madencilik Raporu	Ayrıntılı Araştırma	211
Potansiyel Ekonomik	Ön Fizibilite Çalışması	Ayrıntılı Araştırma	221
Potansiyel Ekonomik	Ön Fizibilite Çalışması	Genel Araştırma	222
Doğasında Ekonomik	Jeolojik Çalışma	Ayrıntılı Araştırma	331
Doğal Olarak Ekonomik	Jeolojik Çalışma	Genel Araştırma	332
Doğasında Ekonomik	Jeolojik Çalışma	Arama	333
Belirsiz Ekonomik	Jeolojik Çalışma	Keşif	334

Bu sistemle, kaynak/rezerv sistemleri birbirine benzer ve uyumlu hale getirilmiştir. Bu yaklaşım; piyasa ekonomilerinde enerji ve maden varlıklarının gerekli özelliklerini açıkça ifade eden üç basamaklı sayısal kodların kullanımı aracılığıyla basitleştirilmiştir (UNECE, 2008). Sayılar ve kodlar farklı sınıfların belirlenmesinde kullanılır. Kod 111 sınıfında, ilk basamaktaki “1” rakamı “E” ekseninde ekonomik uygulanabilirliğin en yüksek seviyesini gösterir. Orta basamaktaki “1” rakamı “F” ekseninde fizibilite çalışmalarının en ileri durumda olduğunu ifade eder. Son basamaktaki “1” rakamı “G” ekseninde jeolojik çalışmaların en yüksek seviyede değerlendirildiğini belirtir (UNECE, 2001). UNFC sistemi içerisinde kullanılan kaynak/rezervlerin kodları Şekil 2.6’da gösterilmiştir (UNECE, 2001; UNECE, 2004).



Şekil 2.6. UNFC sınıflandırma sistemindeki kaynak ve rezervlerin kodları

Ekonomik nicelikler, çıkarılması teknolojik, ekonomik, çevresel ve diğer ilgili koşullar altında doğru olan ve gerçekten önerilen niceliklerdir. İşletilmesi, artan doğruluk sırasına göre ön fizibilite, fizibilite ve maden raporunda gösterilir. Tenörü/kalitesi ve tonajı/hacmi raporlanır.

Normal ekonomik nicelikler, çıkarılması rekabetçi pazar şartları altında doğru olanlardır. Bu nedenle, her yıl madencilik yapılan ham maddelerin ortalama değeri gerekli olan yatırımın geri dönüşünü sağlayacak nitelikte olmalıdır.

Koşullu ekonomik nicelikler, normal ekonomik şartlar altında çıkarılması şu anda ekonomik değildir. Koşullu ekonomik olan niceliklerin işletilebilirliği hükümet desteğiyle ve diğer destekleyici önlemler aracılığıyla mümkün olur.

Potansiyel ekonomik, çıkarılması teknolojik, ekonomik, çevresel ve diğer ilgili koşullar altında doğru olmayan bununla beraber gelecekte işletilmesi gerçekten önerilen niceliklerdir. İşletilmesi, artan doğruluk sırasına göre ön fizibilite, fizibilite ve maden raporunda gösterilir. Tenörü/kalitesi ve tonajı/hacmi raporlanır.

Sınırdaki ekonomik nicelikler, işletilmesi (karar zamanında) ekonomik olmayan fakat varlığı sınırdaki niceliklerdir. Bu kaynaklar, teknolojik, ekonomik, çevresel ve/veya diğer ilgili ticari koşullardaki değişikliklerin bir sonucu olarak yakın gelecekte ekonomik olan kaynakları ifade eder.



Sınır altı ekonomik nicelikler, hammadde fiyatlarının oldukça yüksek olduğu veya bu nicelikleri ekonomik kılmak için teknolojideki ilerlemeler sonucunda maliyetler azaldığı zaman kullanılan niceliklerdir.

Doğasında ekonomik nicelikler, gerçekte ekonomik öneminin olduğu jeolojik çalışmalar aracılığıyla tahmin edilen ve tenör/kalitesi ile tonajı/kalitesi ile raporlanan niceliklerdir. Jeolojik çalışma ekonomik uygulanabilirliğin sadece ön değerlendirilmesini içerdiği için, ekonomik ve potansiyel ekonomik olarak ayırt edilemez. Genellikle sadece yerinde olan nicelikler raporlanır.

Madencilik raporu ve/veya fizibilite çalışması, doğru olduğu için raporlanan miktarların çıkarılmasını gösterir. Maliyet verileri uygun doğrulukta olmalıdır. İleri araştırmalara gerek olmadan yatırım kararı alınmalıdır. Doğruluğun bu seviyesi ilişkili temel bilgiler ayrıntılı arama, teknolojik deneyler, ana sermaye ve işletme maliyetlerinin hesaplanmasından oluşur.

Madencilik raporu; mevcut madencilik planlarını kapsayan, madenin ekonomik ömrü süresince maden yatağının işletilebilirlik ve gelişim durumunun belgelendirilmesi için maden işletmecisi tarafından yapılır. Bu çalışmada, raporlama süresince çıkartılan madenin kalitesi ve miktarı fiyatlar ve maliyetlerin değişiminden dolayı ekonomik uygulanabilirlikteki değişimler, ilgili teknolojilerin gelişimi, yeni etki eden çevresel düzenlemeler ve yasalar ile madencilikle eş zamanlı yönetilen arama verileri göz önüne alınır. Bir maden yatağının mevcut durumu ve kalan kaynakların/rezervlerin güncel durumu doğru ve ayrıntılı bir şekilde belirtilir.

Fizibilite çalışması, ayrıntılı olarak maden projesinin ekonomik uygulanabilirliği ve teknik geçerliliğini değerlendirir. Yatırım kararları ve projelerin finansmanını sağlamak için bankalarca geçerli olan dokümanlara temel oluşturur. Fizibilite çalışması, projelerde toplanan tüm jeolojik, mühendislik, çevresel, yasal ve ekonomik bilgilerin denetimini sağlar. Genellikle, ayrı bir çevresel etki çalışması gereklidir.

Ön fizibilite çalışması; bir maden yatağının ekonomik uygulanabilirliğinin ön değerlendirmesini sağlar ve daha ileriki araştırmaların (ayrıntılı arama ve fizibilite çalışması) doğru olması için temel bir çalışmadır. Başarılı bir arama çalışması sonucunda proje döneminde toplanan tüm jeolojik, mühendislik, çevresel, yasal ve ekonomik bilgiler özetlenir. Ön fizibilite ayrıntılı olmamak koşuluyla fizibilite çalışmasındaki başlıklardan oluşur.

Jeolojik çalışma, ekonomik uygulanabilirliğin ön değerlendirmesidir. Ekonomik uygulanabilirlik; tenör, kalınlık, derinlik için uygulanan anlamlı sınır değerler ve benzer madencilik operasyonlarından doğan maliyetlerin tahmini ile elde edilir. Fakat ekonomik uygulanabilirliğin değerlendirmesi için gerekli olan ayrıntıların eksik olmasından dolayı, ekonomik uygulanabilirlik kategorileri jeolojik çalışma sonucunda genellikle tanımlanamaz. Tahmin edilen kaynak miktarları, doğasında ekonomik olan bir maden yatağını gösterebilir. Yani ekonomiklik aralığı potansiyel ekonomiktir. Jeolojik çalışmada genellikle dört ana aşama yerine getirilir. Bu aşamalar: keşif, ön arama, genel arama ve ayrıntılı aramadır. Jeolojik çalışmanın amacı, mineralleşmenin tanımlanması, maden yatağının kalitesi, miktarı ve sürekliliğinin belirlenmesi ve dolayısıyla yatırım fırsatlarının açıklanmasıdır.

Ayrıntılı arama; mostra, hendek, sondaj, kuyu ve tünel gibi örneklemeler aracılığıyla bilinen bir maden yatağının ayrıntılı üç boyutlu şeklinin belirlenmesini kapsar. Yüksek doğruluk seviyesinde oluşturulan büyüklük, şekil, yapı, tenör ve bir maden yatağının diğer ilgili özelliklerine bağlı olarak örnekleme gridleri birbirine yakın olarak yerleştirilir. Kütle örneklemesini (bulk sampling) içeren deneysel süreçler gereklidir. Ayrıntılı arama ile sağlanan bilgiden fizibilite çalışması yapıp yapılmayacağını kararı alınır.

Genel araştırma, tanımlanan bir maden yatağının ön şeklinin belirlenmesini kapsar. Kullanılan yöntemler mineral miktarı ve kalitesinin (eğer gerekliyse laboratuvar ölçeğinde mineralojik testleri) ön değerlendirilmesi için yüzeyden alınmasını, geniş aralıklarla örnekleme, hendek ve sondajları içerir. Araştırmada dolaylı yöntemlere dayanarak sınırlı interpolasyon yapılır. Genel araştırmanın amacı bir maden yatağının ana jeolojik özelliklerini oluşturmaktır. Bunlar; jeolojik süreklilikle ilgili uygun kanıtların verilmesi ve büyüklük, şekil, yapı ile tenörün ön tahmininden oluşmaktadır. Doğruluk derecesi ön fizibilite çalışması için ayrıntılı aramanın yapıp yapılmayacağını kararı için yeterli düzeyde olmalıdır.

Arama; gelecekte zengin maden olasılığı bulunan aşağıya doğru daralan alanlar boyunca maden yatağını araştırmaya yönelik sistematik yöntemlerdir. Kullanılan yöntemler mostra tanımlama, jeolojik haritalama ve jeofiziksel ve jeokimyasal çalışmalar gibi dolaylı yöntemlerdir. Sınırlı sayıda hendek, sondaj ve örnekleme uygulanabilir. Aramanın amacı, ileride araştırılması amaçlanan bir maden yatağını

tanımlamaktır. Tahmin değerleri, jeolojik, jeofiziksel ve jeokimyasal sonuçların yorumlanmasına dayanılarak değerlendirilir.

Keşif çalışması; bölgesel jeolojik çalışmalar, bölgesel jeolojik haritalar, havadan ve dolaylı yöntemler, ön saha incelemesi ile beraber jeolojik yorum ve araştırma sonuçlarına dayandırılan bölgesel ölçekte ilk olarak maden olasılığının zengin olduğu alanların tanımlanmasıdır. Keşif aşamasının amacı, maden yatağının tanımlanmasına doğru ileri araştırmalar sonucunda değerli olan maden alanları tanımlamaktır. Aynı jeolojik özelliğe sahip bilinen maden yatakları ile benzerlik olduğu zaman ve yeterli veri mevcutsa bu durumda sadece değerler tahmin edilmelidir.

### 2.3.3. UNFC ve CRIRSICO sınıflandırma sistemlerinin karşılaştırılması

Birçok ülke kendi sınıflandırma sistemine sahip olmasına rağmen dünyadaki gelişen ekonomilere ve kaynakların azalmasına bağlı olarak uluslararası sınıflandırma sistemlerini kabul etmektedir. Ülkeler bu sınıflandırma sistemlerine uyum için çalışmalar yapmaktadır (UNECE, 2000). UNFC ve CRIRSICO sınıflandırma sistemlerinin dönüştürülmesi Çizelge 2.6'da ve aralarındaki farklar Çizelge 2.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. UNFC sınıflandırma sisteminde kullanılan kodların CRIRSICO sınıflandırma sistemine dönüştürülmesi

Kodlar	CRIRSICO Sistemi	UNFC Sistemi
111	Görünür mineral rezervi	Görünür mineral rezervi
121 ve 122	Muhtemel mineral rezervi	Muhtemel mineral rezervi
211	Ölçülen mineral kaynağı	Fizibilite mineral kaynağı
221 ve 222	Belirtilen mineral kaynağı	Ön Fizibilite mineral kaynağı
331	Ölçülen mineral kaynağı	Ölçülen mineral kaynağı
332	Belirtilen mineral kaynağı	Belirtilen mineral kaynağı
333	Yorumlanan mineral kaynağı	Yorumlanan mineral kaynağı
334	Mevcut değil	Keşif mineral kaynağı

Çizelge 2.7. CRIRSICO ve UNFC sınıflandırma sistemleri arasındaki ana farklılıklar

CRIRSICO Sistemi	UNFC Sistemi
İki boyutlu bir çerçevedir.	Üç boyutlu bir çerçevedir.
Kaynaklar ve rezervler beş alt sınıfa ayrılır.	Kaynaklar ve rezervler on sınıfa ayrılır.
Piyasayla ilişkili bir rapordur.	Hükümet ve piyasayla ilişkili rapordur
Uzman personel gereklidir.	Uygun yeterliliklere sahip bir kişi sorumluluğu almalıdır.
Uluslararası madencilik şirketleri, Batı bankaları tarafından yaygın olarak kullanılır.	Uluslararası madencilik şirketleri Batı bankaları tarafından yaygın olarak kullanılmaz.

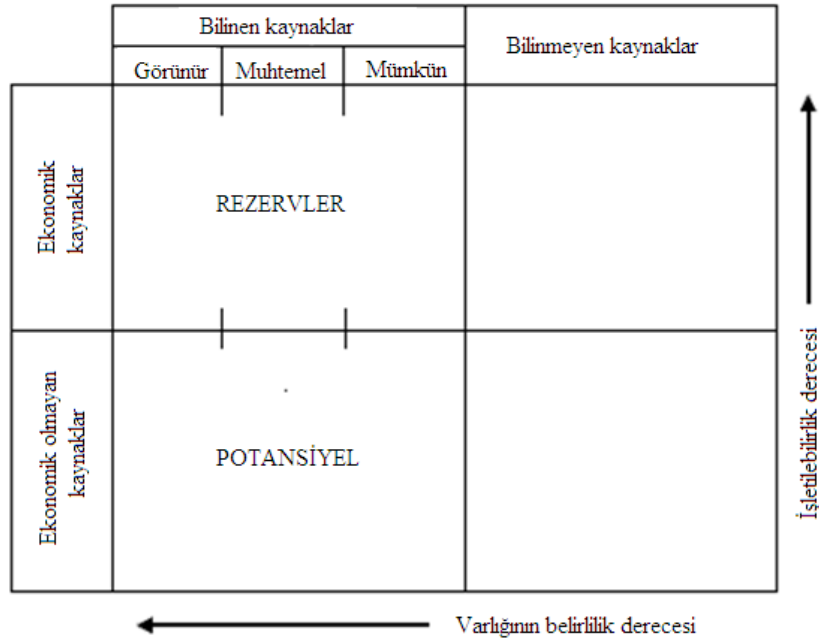
#### 2.3.4. MTA sınıflandırma sistemi

MTA (Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü) tarafından maden yatakları rezerv sınıflandırması yapılmıştır. Bu sınıflandırmada maden yatakları işletilebilir ve potansiyel olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Bu sınıflandırmada her iki maden yatağı grubu üzerinde yapılan aramaların sonuçlarına bağlı olarak rezervler görünür, muhtemel ve mümkün rezerv olarak üçe ayrılmıştır (MTA,1963).

Caner (1976), varlığının belirlilik derecesine ve işletilebilirlik derecesine göre kaynakları ve rezervleri tanımlamıştır. Kaynakları, varlığı belirlenmiş olmakla beraber işletilmesi teknik ve ekonomik nedenlerle günün koşullarında olanaksız olan kaynakları potansiyel kaynaklar ve varlığı belirlenmemiş kaynaklar (bilinmeyen kaynaklar) olmak üzere ikiye ayırmıştır. Potansiyel kaynakları ise günün ekonomik ve teknik koşullarında işletilmesi mümkün olmayan marjinal kaynaklar ve çok daha iyi koşullarda uzak bir gelecekte işletilme olanağı olan mineral kütlelerini atıl kaynaklar olmak üzere ikiye ayırmıştır. Rezervleri ise tüm kaynağın varlığı arama çalışmalarıyla belirlenmiş olan ve işletilebilirliği değerlendirme etütleri ile saptanmış olan bölüm olarak ifade etmiştir. Rezervleri görünür, muhtemel ve mümkün olmak üzere üçe ayırmıştır.

Caner (1983), yer kabuğunda doğal halde bulunan ve ekonomik işletilebilirliği, günün koşullarında veya ileride mümkün görülen katı, sıvı veya gaz içeriklerini kaynak olarak tanımlamış ve diğer tanımlamalar aynen kalmıştır. Bu sınıflandırma sistemini Birleşmiş Milletler Doğal Kaynaklar Komitesinin 1979 yılındaki tanımlamalarına uyarlamıştır. Çalışmada rezervler; görünür, muhtemel ve mümkün olarak üçe ayrılmıştır.

Bumin ve diğeri (2007), MTA'nın önceki çalışmalarını değerlendirerek rezerv sınıflarını aşağıdaki gibi önermişlerdir. Mc Kelvey diyagramından geliştirilmiş olan MTA rezerv/kaynak sınıflandırma sistemi Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. MTA kaynak/rezerv sınıflandırma sistemi

Görünür rezerv, üç boyutu ile belirlenmiş olan ve bu boyutlar içerisinde devamlılığı en az risk taşıyan cevher kütesini belirtir. Prospeksiyon, jeofizik, jeolojik çalışmalar tamamlandıktan sonra kuyu, yarma, galeri gibi çeşitli arama yöntemleri veya sondajlarla üç boyutlu olarak belirlenmiş bulunan, ayrıca jeolojik etkenlerin kesin olarak bilinmesi nedeniyle belirli sınırlara erişmesi beklenen ve bu sınırlar içerisinde devamlılık göstermeme olasılığı çok az olan, dolayısıyla işletme hesaplarına veya planlama çalışmalarına temel alınan bir rezerv sınıfıdır. Hata sınırı genellikle  $\pm$  % 20 olarak kabul edilir.

Muhtemel rezerv, iki boyutu ile belirlenmiş olan ve devamlılığı yüksek risk taşıyan cevher kütesini belirtir. Prospeksiyon, jeolojik ve jeofizik çalışmalar tamamlanmış ve cevherin muhtemelen bulunduğunu gösteren jeolojik kanıtlar bilinmekle beraber kuyu, yarma, galeri gibi madencilik işlemleri veya sondajların çok geniş aralıklarla yapılması nedeniyle, sınırları ve devamlılığı görünür rezervde olduğu kadar kesinlikle tarif

edilemeyen ve dolayısıyla işletme hesaplarına ve planlama çalışmalarına temel alınabilecek gelire ulaşması için ilave arama çalışmaları gerektiren bir rezerv sınıfıdır. Bu rezerv sınıfında sondaj, kuyu ve yarma sıklığı geniş aralıktır. Hata sınırı genellikle  $\pm$  % 40 olarak kabul edilir.

Mümkün rezerv, boyutları hiçbir şekilde belirlenmemiş olan ve varlığı ümit edilebilen cevher kütlesini belirtir. Prospeksiyon, jeolojik ve jeofizik çalışmalar kısmen tamamlanmış ve genel jeolojik yapıya ve varlığı belirlenmiş diğer rezerv sınıflarına dayanarak, bulunacağı ümit edilen, fakat arama işlemlerinin yetersiz olması nedeniyle, konumu ve uzanımı hiçbir şekilde tarif edilemeyen, dolayısıyla işletme ve planlama çalışmalarında hesaba katılmayan bir rezerv sınıfıdır. Mümkün rezerv, jeolojik yaklaşımlarla varlığı düşünülen veya birkaç yarma, birkaç sondaj, tek galeri gibi yetersiz çalışmalarla belirlenen cevherli zonlardır. Hata sınırı genellikle  $\pm$  % 50'den daha fazla olarak kabul edilir.

Bumin ve diğerleri (2007), Caner'in (1983) yapmış olduğu sınıflandırmayı MTA' kaynak/rezerv sınıflama sistemini kullanmışlar ve bu sınıflandırma sistemini UNFC sistemine uyarlamışlardır. Çalışmada, UNFC sisteminin ekonomik, fizibilite ve jeoloji ekseninden oluşan üç boyutlu sınıflandırması MTA'nın varlığının belirlilik ve işletilebilirlik derecesi temel alınarak iki boyuta indirmişlerdir. Yatay eksen (güvenirlilik eksen) ve bilinen maden yatakları ile sınırlandırılmış ve görünür, muhtemel ve mümkün olmak üzere üç sınıfa ayırmışlardır. Düşey eksen ekonomiklik eksenine ise, ekonomik, potansiyel ve doğasında ekonomik olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. UNFC sisteminde kodlamaları ortak sınıf tablosuna yerleştirilerek sınıflama yapmışlardır. MTA rezerv/kaynak sınıflandırma sisteminin UNFC sistemine uyarlanması Şekil 2.8'de gösterilmektedir. MTA kaynak/rezerv sınıflandırma sisteminin UNFC sistemine uyarlanması sonucunda önerilen tanımlamalar aşağıda verilmiştir (Bumin ve diğerleri, 2007).

		Bilinmeyen kaynaklar		
		Görünür	Muhtemel	Mümkün
Ekonomiklik ↑	Ekonomik	Görünür rezerv 111	Muhtemel rezerv 121+122	
	Potansiyel ekonomik	Görünür kaynak 211	Muhtemel kaynak 221+222	
	Doğasında ekonomik	Görünür kaynak 331	Muhtemel kaynak 332	Mümkün kaynak 333+334
		← Jeolojik ve fizibilite güvenilirlik →		

Şekil 2.8. MTA rezerv/kaynak sınıflamasının UNFC sistemine uyarlaması

Ekonomik kaynaklar/rezervler, görünür rezerv ve arama derecesine göre iki farklı muhtemel rezerv sınıfına göre değerlendirilmiştir.

Görünür rezerv (111): Ayrıntılı arama yapılmış alanlarda madencilik ve fizibilite çalışması ile günün koşullarında ekonomik olarak işletilebilirliği kanıtlanmış kaynaklardır.

Muhtemel rezerv (121): Ayrıntılı arama yapılmış alanlarda ön fizibilite çalışması ile günün koşullarında ekonomik olarak işletilebilirliği kanıtlanmış kaynaklardır.

Muhtemel rezerv (122) : Arama yapılan alanlarda ön fizibilite çalışması ile günün koşullarında ekonomik olarak işletilebilirliği kanıtlanmış kaynaklardır.

Potansiyel ekonomik kaynaklar, potansiyel ekonomik görünür kaynaklar ve arama derecesine göre iki farklı potansiyel ekonomik muhtemel kaynak sınıfına göre değerlendirilmiştir.

Potansiyel ekonomik görünür kaynaklar (211) : Ayrıntılı arama yapılan alanlarda önceki madencilik faaliyeti veya fizibilite çalışması ile günün koşullarında ekonomik olarak işletilemeyeceği anlaşılmış olan, fakat gelecekte ekonomik olarak işletilme potansiyeli taşıyan kaynaklardır.

Potansiyel ekonomik muhtemel kaynak (221) : Ayrıntılı arama yapılan alanlarda ön fizibilite çalışması ile günün koşullarında ekonomik olarak işletilmeyeceği anlaşılmış olan, fakat gelecekte ekonomik olarak işletilme potansiyeli taşıyan kaynaklardır.

Potansiyel ekonomik muhtemel kaynak (222) : Arama yapılan alanlarda ön fizibilite çalışması ile günün koşullarında ekonomik olarak işletilebileceği anlaşılmış olan, fakat gelecekte ekonomik olarak işletilebilme potansiyeli taşıyan kaynaklardır.

Doğasında ekonomik kaynaklar, görünür, muhtemel ve mümkün kaynak olarak sınıflandırılmıştır.

Doğasında ekonomik görünür kaynak (331) : Ayrıntılı arama döneminde maden yatağı yüksek duyarlılıkta belirlenmiştir. Ekonomik veriler olmadığından fizibilite veya ön fizibilite çalışması yapılmamış olup, doğası gereği ekonomik olarak işletilebileceği ön görülen kaynaklardır.

Doğasında ekonomik muhtemel kaynak (332) : Arama döneminde maden yatağının boyut, şekil, yapı ve tenörü gibi temel jeolojik özellikleri saptanmıştır. Ekonomik veriler olmadığından ön fizibilite çalışması yapılmamış olup, doğası gereği ekonomik olarak işletilebileceği ekonomik olan kaynaklardır.

Doğasında ekonomik mümkün kaynak (333 + 334) : Bir maden yatağını belirlemek amacıyla ön inceleme ve/veya ön arama çalışmalarına dayanarak tahmin edilir. Bu kaynaklar da doğasında ekonomik kaynaklardır.

#### 2.3.5. Kaynak/rezerv sınıflaması ile ilgili diğer çalışmalar

TS 3517 (1982), maden yatakları rezervlerinin hesaplanmasına ilişkin genel kurallar tanımlamıştır. Bu standartta, bir maden yatağının madencilik ve jeolojik raporları, topoğrafya haritası, jeolojik ve jeofizik haritaları varsa rezerv hesaplamalarının yapılabileceği belirtilmiştir. Rezervi hesaplanacak maden yatağında yapılmış olan sondaj, kuyu, yarma ve galerilerin genel özellikleri açıklanmıştır. Bununla birlikte, rezerv hesaplamasında kullanılan verilerin yorumlama ilkeleri ifade edilmiştir.

TS 5959 (1988), maden yataklarının rezerv miktarı ve tenör değerlerinin hesaplanmasında kullanılan poligon, üçgen, izopak, düzensiz blok, kesit ve mesafe



ağırlıklı interpolasyon yöntemleri açıklanmıştır. Maden yataklarında arama (sondaj, yarma, kuyu, ve galeri) aralıkları düzenli ve düzensiz yataklar için belirlenmiştir.

Yüksek ve Elevli (1998), dünyaca kabul edilen kaynak/rezerv tanımlamalarını karşılaştırmışlar. Türkiye’de kaynak/rezerv sınıflamaları hakkında standart oluşturulması için öneride bulunmuşlardır.

Yüksek ve diğerleri (2001; 2004), madencilik endüstrisinde kullanılan jeolojik kaynak, jeolojik rezerv, mineral kaynağı, mineral, mineral rezervi, cevher, cevher rezervi, işletilebilir rezerv ve endüstriyel mineral gibi tanımlamaların farklı anlamda kullanılmalarının tartışmalara neden olduğunu ifade etmişlerdir. HasaeLebi demir yatağı için kaynak/rezerv tanımlarını karşılaştırmışlardır.

## BÖLÜM 3

### 3. KAYNAK/REZERV SINIFLANDIRMASINDA JEOİSTATİSTİKSEL ÖLÇÜTLER

Jeoistatistik kavramı, uygulamalı istatistiğin özel bir alanı olarak 1963 yılında Matheron tarafından geliştirilmiştir (Matheron, 1963). Geoistatistik, geleneksel istatistiksel yöntemlerin bir maden yatağındaki cevher tenörüne ilişkin değişimlerin tahmini sırasında ortaya çıkan problemlerin iyileştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Geoistatistiksel yöntemler, istatistiksel yöntemleri temel aldığı için yer bilimlerinde çok farklı alanlarda uygulanabilmektedir (Davis, 2002).

Jeoistatistiğin temelini bölgesel değişkenler oluşturur. Bölgesel değişkenler, belirli bir lokasyondan belirli bir hacimde alınan maden yatağını temsil eden örnekler olarak tanımlanır (Matheron, 1963). Rassal değişkenlere benzemeyen bölgesel değişkenler bir lokasyondan diğerine sürekliliğe sahiptir. Fakat, bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri basit bir deterministik fonksiyonla tanımlanamayacak kadar düzensiz ve karmaşıktır (Davis, 2002). Bölgesel değişkene örnek olarak; tenör, porozite, nem içeriği, özgül ağırlık, kalınlık ve çevresel veriler (pH, toprakların ağır metal içeriği) verilebilir.

Bölgesel değişkenlerin aldığı değerler maden yatağının örneklenmiş lokasyonlarında bellidir. Maden yatağının örneklenmemiş lokasyonlarında ki bilinmeyen değerlerin örneklenmiş lokasyonlardaki değerler yardımıyla hesaplanması tahmin olarak adlandırılır (Tercan ve Saraç, 1998). Tahmin işleminde kullanılan formülasyona tahminci denir.

Bir maden yatağından alınan örneklerin boyutu, şekli ve yönelimi bölgesel değişkenin hacmi (support) olarak adlandırılır. Eğer bölgesel değişkenin hacmi değişirse, bölgesel değişken farklı özelliklere sahip olur. Belirli bir hacmi tanımlayan örneğin ortalama değeri jeoistatistik yöntemlerle hesaplanabilir (Isaaks and Srivasta, 1989).

Bir maden yatağında bilinmeyen bir lokasyonun tahmininde bir hata meydana gelir. Bu hata tahmini yapılan lokasyonun hacmine göre değişir. Tahmin yöntemine göre

oluşan hatanın bilinmesi mümkün değildir. Fakat, jeostatistiksel kuram, hataların dağılım varyansının bir variograma bağlı olarak hesaplanabileceğini gösterir.

Nitel olarak, belirsizlik kavramını açıklamakta kullanılan birçok kavram vardır. Güvenirlilik, güven, ve doğruluk gibi kavramlar ile bilinmeyen bir örneğin tahmininin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Tahmin yöntemine göre oluşan hatanın tam anlamıyla bilinmesi mümkün olmasa bile, hatanın büyüklüğünün değerlendirilmesinde kullanılan bazı göstergeler belirsizlik olarak değerlendirilebilir (Isaaks and Srivasta, 1989).

### 3.1. Jeostatistikte Temel Kavramlar

Rassal değişken “Z”, bir olayın verilen olasılık kümesine  $(p_i, i = 1, \dots, N)$  göre gerçekleşmesi  $(z_i, i = 1, \dots, N)$  veya aldığı sonuçların serisi olarak tanımlanabilir (Journel, 1989). Rassal değişkenlerin tüm olası olaylarının olasılık ağırlıklı ortalamasına beklenen değer denir. Rassal değişken “Z”nin beklenen değeri “ $E\{Z\}$ ” ile gösterilir ve rassal değişken “Z”nin ortalaması olarak adlandırılır (Journel, 1989; Goovaerts, 1997). Kesikli ve sürekli rassal değişkenler aşağıda tanımlanmıştır:

Kesikli rassal değişken: Herhangi bir sıralama olmaksızın rassal değişkenlerin olası sonuçlarının sayısıdır. Bir maden yatağını sondajlar ile kesilmesi olasılığı kesikli rassal değişkene örnek olarak verilebilir. Kesikli rassal değişkenin beklenen değeri “ $E\{Z\}$ ” aşağıda tanımlanmıştır:

$$E\{Z\} = m = \sum_{i=1}^n p_i z_i \quad (3.1)$$

Burada; ortalama değer “m”, olasılık değerleri “ $p_i$ ”, değişken değeri “ $z_i$ ” dir.

Sürekli rassal değişken: Doğal bir sıralamaya bağlı olarak rassal değişkenlerin olası sonuçlarının sürekli bir aralıkta olduğu değişkenlerdir (Goovaerts, 1997). Bir maden yatağının tenörü sürekli rassal değişkene örnek olarak verilebilir

Sürekli rassal değişkenin beklenen değeri “ $E\{Z\}$ ” aşağıda tanımlanmıştır:

$$E\{Z\} = m = \int_{-\infty}^{+\infty} z dF(z) = \int_{-\infty}^{+\infty} z f(z) d(z) \quad (3.2)$$

Burada; kümülatif yoğunluk fonksiyonu “ $F(z)$ ”nin türevi olasılık yoğunluk fonksiyonu “ $f(z)$ ” olarak tanımlanır.

Rassal değişkenlerin beklenen değeri lineer bir işlemcidir. Beklenen değerlin lineer özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Bir “ $a_k$ ” sabit sayısının beklenen değeri “ $a_k$ ”dır.

$$E\{a_k\} = a_k \quad (3.3)$$

- Bir “ $a_k$ ” sabit sayısına bağlı rassal değişken “ $Z_k$ ” toplamının beklenen değeri “ $a_k$ ” sabit sayısının toplamı rassal değişken “ $Z_k$ ”nin beklenen değerine eşittir.

$$E\left\{\sum_k a_k Z_k\right\} = \sum_k a_k E\{Z_k\} \quad (3.4)$$

- “ $Y$ ” ve “ $Z$ ” rassal değişkenlerinin toplamının beklenen değeri “ $Y$ ” ve “ $Z$ ”nin ayrı olarak beklenen değerlerinin toplamına eşittir.

$$E\{Z + Y\} = E\{Z\} + E\{Y\} \quad (3.5)$$

- Varyans; “ $Z$ ” rassal değişkeninin ortalaması ya da beklenen değeri olasılık dağılımını tam olarak karakterize edemez. Dağılımın ortalamadan sapmasını ölçmek için varyans kullanılır. Varyans “ $\text{Var}\{Z\}$ ” aşağıda tanımlanmıştır:

$$\text{Var}\{Z\} = E\{[Z - m]^2\} \quad (3.6)$$

- Kovaryans; tek bir rassal değişkenin değişkenliğinin ölçüsünü sağlarken kovaryans iki rassal değişkeninin birlikte değişkenliğinin ölçüsünü verir. “Y” ve “Z” rassal değişkenlerinin beklenen değerleri sırasıyla “ $m_Z$ ” ve “ $m_Y$ ” olarak tanımlanmış olsun “Y” “Z” rassal değişkenlerinin kovaryansı “ $\text{Cov}\{Z, Y\}$ ” aşağıda tanımlanmıştır.

$$\text{Cov}\{Z, Y\} = E\{(Z - m_Z) - (Y - m_Y)\} \quad (3.7)$$

### 3.2. Jeostatistiğin Temel Varsayımları

Rassal fonksiyon, bir çalışma alanı “U” boyunca her bir “x” lokasyonunun birisi için genellikle bağımlı rassal değişkenler “ $Z(x)$ ”’in  $\{Z(x), \forall x \in U\}$  bir kümesi olarak tanımlanır. “ $x_i$ ” ( $i = 1, \dots, N$ ) “ $n(x)$ ” tane rassal değişken  $\{Z(x_1), \dots, Z(x_{n(x)})\}$  bir vektörü olarak tanımlanır. Bu rassal fonksiyonun aldığı gerçek değerler  $\{z(x_1), \dots, z(x_{n(x)})\}$  olarak tanımlanır.

Maden yatağının bir noktasından yalnızca bir defa örnekleme yapılabilir. Bu nedenle yalnızca bir gözlem vardır. Bir gözleme bağlı olarak ortalama ve varyans belirlenemez. Durağan rassal fonksiyonlar ile bir maden yatağı tanımlanabilir. Bu fonksiyonlar maden yatağının bir noktasından diğerine değişmez. Durağan rassal fonksiyon aşağıda tanımlanmıştır:

$$E\{Z(x)\} = m \quad (3.8)$$

Jeostatistikte kullanılan diğer bir varsayımsa durağanlık varsayımdır. Durağanlık varsayımı, “x” lokasyonunda bulunan rassal değişken “ $Z(x)$ ” ile “ $x + h$ ” lokasyonunda bulunan rassal değişken “ $Z(x + h)$ ” arasındaki ilişkinin lokasyonlara

değil aralarındaki “h” uzaklığına bağlı olduğu varsayımdır. Bu ilişkinin kovaryans fonksiyonu “Cov{h}” aşağıda tanımlanmıştır:

$$\text{Cov}\{h\} = E\{Z(x+h), Z(x)\} - m^2 \quad (3.9)$$

Durağan rassal fonksiyon “m” ve kovaryans fonksiyonu’ “Cov{h}”dan oluşan durağanlığa ikinci dereceden durağanlık varsayımı adı verilir. Kovaryansın uzaklığa bağlı olması varyans ve variogramın da uzaklığa bağlı olmasını gerektirir. Varyans ve variograma “ $\gamma(h)$ ” bağlı olarak rassal değişkenler aşağıda tanımlanmıştır.

$$\text{Var}\{Z(x)\} = E\{[Z(x) - m]^2\} \quad (3.10)$$

$$2\gamma(x, x+h) = 2\gamma(h) = \text{Var}(Z(x) - Z(x+h)) \quad (3.11)$$

İkinci dereceden durağanlık varsayımı altında kovaryans ve variogram birbirinden “h” kadar uzaklıkta bulunan iki rassal değişken arasındaki ilişkiyi ölçen eşdeğer fonksiyonlardır. Bu durumda “h” mesafesine bağlı olarak variogram fonksiyonu “ $\gamma(h)$ ” aşağıda tanımlanmıştır.

$$2\gamma(h) = \text{Var}\{Z(x) - Z(x+h)\} = \text{Var}\{Z(x)\} - 2\text{Cov}\{Z(x), Z(x+h)\} + \text{Var}\{Z(x+h)\} \quad (3.12)$$

İkinci dereceden durağanlık varsayımına “ $\text{Var}(Z(x)) = \text{Var}(Z(x+h))$ ” bağlı olarak variogram fonksiyonu  $\gamma(h)$  aşağıda tanımlanmıştır:

$$2\gamma(h) = 2\text{Var}\{Z(x)\} - 2\text{Cov}\{Z(x), Z(x+h)\} \quad (3.13)$$

$h = 0$  için  $\text{Var}\{Z(x)\} = \text{Cov}(0)$  eşitliğinden variogram fonksiyonu “ $\gamma(h)$ ” aşağıda tanımlanmıştır:

$$\gamma(h) = \text{Cov}(0) - \text{Cov}(h) \quad (3.14)$$

Jeostatistikte bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri durağan rassal fonksiyonların olasılığına bağlı olarak modellenir. Bir maden yatağında N lokasyondan oluşan her “ $x_i$ ” için rassal değişkenler “ $Z(x_i)$ ”ye bağlı olarak tanımlanır. “ $Z(x_i)$ ” rassal değişkenlerinin aldığı “ $z(x_i)$ ” değerleri rassal fonksiyonu oluşturur. Bölgesel değişkenler rassal fonksiyonun aldığı değerlere bağlı olarak tanımlanır.

### 3.3. Jeolojik Süreklilik

Maden yataklarının değerlendirilmesinde süreklilik, hem mineralleşmeyi kontrol etmek için jeolojik özellikleri hem de bölgesel değişkenlerin (metalik yataklarda tenör, kömür yataklarında kalınlık gibi) tanımlanması için iki farklı anlamda kullanılabilir

Bölgesel değişkenlerin uzamsal değişimi arazi içersindeki fay ve kırıklardan dolayı verilerin yapısını bozar ve karmaşık hale getirir. Tahmini yapılan her bir bölge boyunca devam eden mineralleşme sürekliliğine göre tahminin değerlendirilmesi yapılabilir (Sinclair and Valée 1994). Maden yatağı içersinde jeolojik süreklilik yoksa kaynak/rezerv sınıflandırmasından söz edilememektedir (Sinclair and Blackwell, 2002).

### 3.4. Variogram

Variogram, jeolojik parametrelerin nicelik kazanmasını sağlayan jeostatistik analizlerin ilk aşamasını oluşturur. Sürekli bir mineral yatağı içersinde belirli aralıktaki numuneler arasında var olan değişimi uzamsal korelasyon ilişkisi ile açıklar. İki çift arasındaki fark bazen pozitif bazen negatif olacağından farkların karelerinin toplamını alıp çift sayısının iki katına bölünmesiyle semivariogram elde edilir. Semivariogram, örnekler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonu olarak örnek çiftleri arasındaki ilişkiyi açıklar. Semivariogram fonksiyonu aşağıda tanımlanmıştır:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (3.15)$$

Semivariogram fonksiyonunun değişkenleri aşağıda açıklanmıştır.

- $z(x_i)$ :  $x_i$  lokasyonundaki bölgesel değişkenin değeri,
- $z(x_i + h)$ :  $i$  noktasından  $h$  kadar uzaklıktaki diğer bir noktanın bölgesel değişken değeri,
- $N(h)$ : birbiriyle  $h$  mesafesinde olan bölgesel değişken çiftlerinin sayısıdır.

#### 3.4.1. Kuramsal variogram modeli

Maden yatağından alınan örneklerden elde edilen deneysel semivariograma uygun eğri tipinin bulunması için birçok kuramsal variogram modeli geliştirilmiştir (Clark, 1979). Bu kuramsal variogram modelleri ve parametreleri aşağıda tanımlanmıştır.

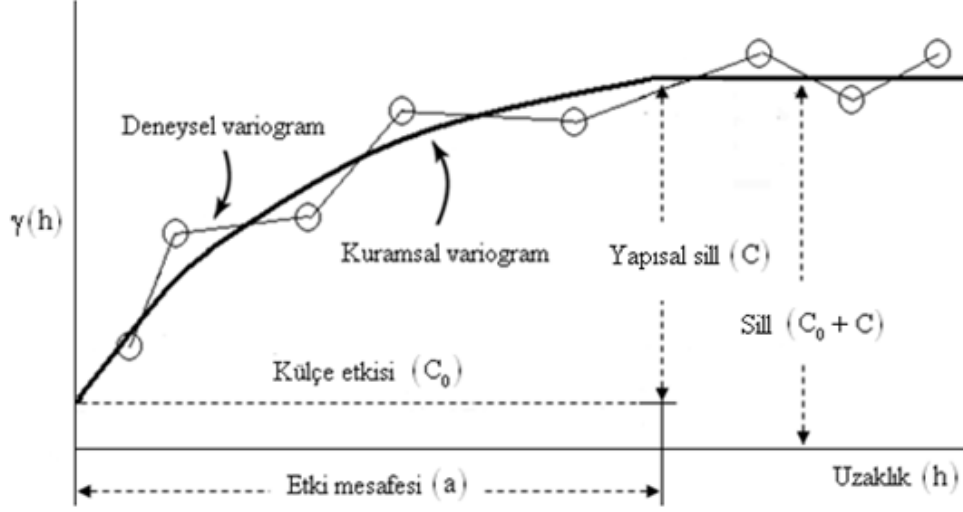
Küresel model en yaygın kullanılan variogram modelidir. Küresel modelde variogram fonksiyonu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left( \frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right), \quad 0 \leq h \leq a \text{ ise} \quad (3.16)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C, \quad h \geq a \text{ ise}$$

Burada, “ $h$ ”; uzaklığı, “ $a$ ” etki mesafesi, “ $C_0$ ” külçe etkisi ve “ $C$ ” sill değerini ifade eder. Küresel variogram modeli ve parametreleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.





Şekil 3.1. Küresel variogram modeli ve parametreleri

Exponansiyel model küresel modele göre orjinden yavaş yavaş yükselir ve sill değerine ulaşmaz. Exponansiyel model variogram fonksiyonu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir:

$$\begin{aligned} \gamma(0) &= 0 \\ \gamma(h) &= C_0 + C \left( 1 - \exp\left(\frac{-h}{a}\right) \right) \text{ eğer } h > 0 \text{ ise} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Doğrusal model sill'siz modeller içerisinde en çok kullanılan modeldir. Bu model orjinden başlayarak doğrusal olarak artan bir modeldir. Doğrusal model variogram fonksiyonu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$\gamma(h) = p \cdot h^\alpha \quad (3.18)$$

Burada p; doğrunun eğimini ve α; doğrunun üssel artış katsayısını göstermektedir. α katsayısı 0 ile 2 arasında değişir.

De Wijsian sill'siz bir modeldir ve uzaklığın “h” logaritmik değerleri alındığında doğrusal olarak değişir. De Wijsian model variogram fonksiyonu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$\gamma(h) = 3\alpha \ln(h) \quad (3.19)$$

Külçe etki modeli, bir lokasyonda değerine ani olarak değişen bir bölgesel değişkeninin davranışını temsil eder. Külçe etki modeli variogram fonksiyonu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= 0 & h=0 \text{ ise} \\ \gamma(h) &= C_0 & h>0 \text{ ise} \end{aligned} \quad (3.20)$$

#### 3.4.2. Kuramsal variogram parametreleri

Etki mesafesi (a): Variogram fonksiyonunun sill değerine ulaştığı uzaklık olarak adlandırılır. Bir maden yatağı içerisinde kalan konumları belli olan bölgesel değişkenler arasındaki ilişkinin ölçüsüdür. Etki mesafesi, değerinden büyük değerlerde örnek değerleri birbirinden bağımsızdır ve bir örneğin diğeri üzerinde etkisi yoktur.

Külçe etkisi ( $C_0$ ): Variogram fonksiyonunun  $h=0$  olduğu noktadaki değeridir. Maden yatağının bölgesel homojenliğini gösterir. Yüksek değere sahip olan külçe etkisi, mineralleşmenin çok zayıf bir şekilde geniş bir sahaya yayıldığıнын (cevherin cepler ve adeseler halinde yoğunlaştığının) göstergesidir. Yüksek külçe etkisi değerinin başka bir nedeni ise örnekleme ve analiz hatalarıdır.

Sill ( $C_0 + C$ ): Variogram fonksiyonunda değişimin bitiği ve belirli bir düzlüğe ulaştığı noktadaki değerdir. Sill değerinin kitle varyansına eşit olması beklenir. Aksi durumda maden yatağında bir yönelim olduğu sonucuna varılır ve anizotropik variogram analizi yapılır. Variogramın tepe noktasına ulaştığı sill değeri ile nugget

arasında kalan varyans, yapısal sill ( $C_0$ ) olarak tanımlanır. Yapısal sill, veri dağılımının bir ölçüsüdür.

Bir maden yatağının özellikleri, bir lokasyondan diğerine doğru değişebilir. Tüm bölge için uzamsal sürekliliğin şeklini tanımlamak için sadece bir variogram modeli kullanılması uygulamada yaygındır. Tahminler için variogram modeli değiştirilemeyeceği için, tek bir variogram modeli, tahminin amaçları için yeterli olabilir. Fakat lokal olarak değişimler varsa, tek bir variogram modeli, belirsizliğin değerlendirmesi amacı için yeterli olmayabilir. Tahmini hata varyansı, variogram modelinden etkilendiği için, variogramdaki değişimler belirsizliğin değerlendirmesinde göz önüne alınır. Bir çok yerbilim verisi, lokal ortalamanın lokal değişkenlikle karşılaştırılmasında oluşan oransal etkiyle tanımlanır. Böyle durumlarda tahminlerin belirsizliği veri değerlerinin büyüklüğünün ağırlıklı lineer kombinasyonuna bağlı olarak değerlendirilebilir (Isaaks and Srivasta, 1989).

### 3.5. Tahmin Hatası Varyansı

Bir maden yatağında, örneklenmemiş bir nokta veya bloğun değerinin hesaplanması tahmin olarak ifade edilir. Her tahmin yöntemi bir tahmin hatası içerir. Tahminde kullanılan örnek değerleri " $z(x_i)$ " ile tahmin edilen lokasyonun " $z^*(x_0)$ " değeri arasındaki fark tahmin hatasını oluşturur. Bir maden yatağının tümünde veya bir bölümünde bilinmeyen bir değer hesaplanmasında ne kadar güven duyulduğunun belirlenmesi önemlidir. Bu güven, tahmin sonucunda ortaya çıkan hatanın büyüklüğüne göre değerlendirilebilir. Hatanın büyüklüğünün tanımlanmasında bir güven seviyesinin kullanılması tercih edilir. Örneğin, bir kömür yatağında ortalama kalınlığın 3 metre olduğunu ifade etmekle % 95 olasılıkla 2 metre ile 4 metre arasında olduğunu ifade etmek arasında fark vardır.

Tahmin edilen nokta ya da bloğun gerçek değeri bilinmediğinden tahmin hatası bilinmez. Fakat tahmin edilecek değere ait maden yatağında bir variogram modeli tanımlıysa tahmin hatası varyansını hesaplamak mümkündür. Değeri bilinen " $x_1$ " lokasyonundan " $x_1 + h$ " mesafesinde bulunan değeri bilinmeyen " $z^*(x_0)$ " değerini

“ $z^*(x_1 + h)$ ” olarak tanımlansın. “ $z(x_1)$ ” örneği ile değeri bilinmeyen “ $z^*(x_1 + h)$ ” örneğinin tahmini yapılsın. “ $z^*(x_1 + h)$ ” noktasındaki bilinmeyen değer aşağıdaki gibi gösterilsin:

$$z^*(x_1 + h) = z(x_1) \quad (3.21)$$

Bu durumda yapılacak hata aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\varepsilon(x_1 + h) = z^*(x_1 + h) - z(x_1 + h) \quad (3.22)$$

Bu hatanın varyansı ise aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\text{Var}[\varepsilon(x_1 + h)] = \text{Var}[z^*(x_1 + h) - z(x_1 + h)] = \text{Var}[z(x_1) - z(x_1 + h)] \quad (3.23)$$

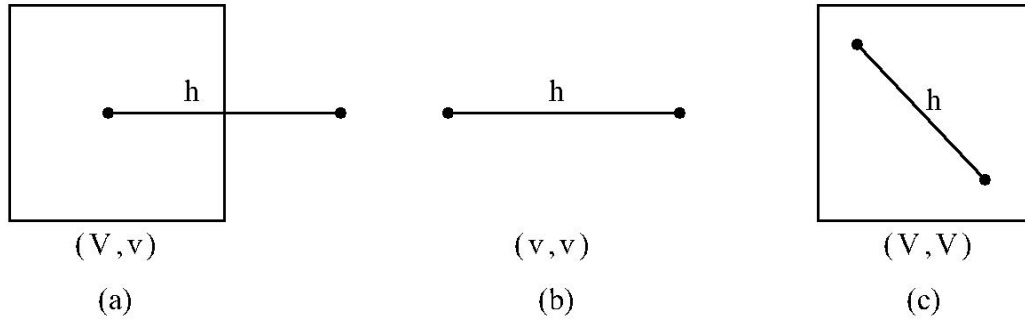
Bu eşitlikten variogram fonksiyonu elde edilir. Variogram, uzaklığa bağlı ilişkinin ölçülmesi yanında tahmini hata varyansının da hesaplanmasında kullanılabilir (Journel and Huijbregts, 1978; Royle, 1977; Royle, 1979).

Sadece noktaların değil düzgün şekilli blokların da tahmini yapılabilir. Bu tahmin işleminde “ $V$ ” bloğuna ait “ $z(V)$ ” ortalama değeri ve “ $v$ ” örneklerinin “ $z(v)$ ” ortalamasına göre tahmini hata varyansı “ $\sigma_E^2$ ” variogramlar cinsinden aşağıda tanımlanmıştır:

$$\sigma_E^2 = \text{Var}[z(V) - z(v)] = 2\bar{\gamma}(V, v) - \bar{\gamma}(V, V) - \bar{\gamma}(v, v) \quad (3.24)$$

Burada; “ $\bar{\gamma}(V, v)$ ”; tahmin edilecek blok ile bu bloğun tahmininde kullanılan örnekler arasındaki ortalama variogram değeri (Şekil 3.2a, “ $\bar{\gamma}(v, v)$ ”; tahmin edilecek blokta kullanılacak örneklerin sayısı ve düzeni için ortalama variogram değeri (Şekil

3.2b), “ $\bar{\gamma}(V, V)$ ” tahmin edilecek bloğun boyutuna ait ortalama variogram değeridir (Şekil 3.2c).



Şekil 3.2. Tahmin varyansının hesaplanmasında kullanılan variogram fonksiyonları

### 3.5.1. Tahmini hata varyansını etkileyen faktörler

Tahmin edilecek bölge ile bu bölgenin tahmininde kullanılan veriler arasındaki uzaklık “ $\bar{\gamma}(V, v)$ ”: “V” ve “v” arasındaki uzaklık arttıkça “ $\bar{\gamma}(V, v)$ ” değerinin artışına bağlı olarak tahmini hata varyansı artar (Tercan ve Saraç; 1998).

Blokların tahmininde kullanılan örneklerin konumuna göre aynı örnek sayısı, sabit etki mesafesi ve farklı külçe etkileri için tahmini hata varyansı değişebilmektedir. Örneklerin blokların etrafında dağılım düzeni, tahmini hata varyansı sonuçlarını etkilemektedir. Örneklerin bloğun etrafında belirli bir bölgede kümelenmesi tahmini hata varyansını artırır. Ancak, örneklerin blokların etrafında düzenli bir şekilde dağılması durumunda tahmini hata varyansı azalır (Blackwell, 1998). Örneklerin sayısı, düzeni, yakınlığı, maden yatağının özellikleri ve variogram modeli birbiriyle etkileşim içindedir. Düzenli bir maden yatağı içerisinde tahmin için kullanılan örneklerin sayısı, örneklerin düzeninden daha önemli olabilir. Düzensiz bir maden yatağı için bazı örnekler tahmini yapılan bloğa yakın örneklerden daha güvenilir sonuçlar verebilir (Isaaks and Srivasta, 1989).

Tahmin edilecek “V” bloğunun geometrisi “ $\bar{\gamma}(V, V)$ ”: Variogram uzaklığın artan bir fonksiyonu olduğundan “ $\bar{\gamma}(V, V)$ ” blok boyutuna bağlı olarak artar. Artan blok boyutuna bağlı olarak tahmin hatasının varyansı azalır.

Tahminde kullanılacak verilerin sayısı ve geometrisi “ $\bar{\gamma}(v, v)$ ”: Tahminde kullanılacak verilerin sayısı arttıkça “ $\bar{\gamma}(v, v)$ ” değerinin artışına bağlı olarak tahmini hata varyansı azalır (Tercan ve Saraç; 1998).

Belirsizliğin değerlendirmesinde kullanılan örneklerin yerleşim düzeni ve sayısı tahminin güvenilirliğini etkileyebilir. Tahminde kullanılan örneklerin sayısı arttıkça daha güvenilir bir tahmin yapılır. Tahmini yapılacak olan bloğa yakın örnekler ve uygun örneklerin seçilmesi, tahmini hata varyansının azalmasına neden olur. Fakat çalışma yapılan maden yatağının özellikleri belirsizliği karmaşıklaştırabilir. Örneğin bazı kömür yataklarında kalınlıkların tahmini için kullanılan örneklerin yerleşim düzeni ve sayısı daha güvenilir tahminler için etkili olabilir. Fakat bir altın yatağında tenörlerin tahmini için kullanılan örneklerin yerleşim düzeni ve sayısı iyi bir tahmin yapılması için yeterli olmayabilir (Isaaks and Srivasta, 1989).

Örneklerin sayısı az ve yüksek külçe etkisinde blokların tahmini hata varyanslarında büyük değişimler görülebilir. Örnek sayısı fazla ise külçe etkisi bloğun tahmini hata varyansını etkilemeyebilir (Blackwell, 1998).

Bir kömür yatağında, etki mesafesinin gerçek değerinden küçük olması durumunda tahmin hatası artmaktadır. Etki mesafesinin gerçek değerinden büyük olması durumunda yapılan tahminler, etki mesafesinin küçük alınması durumuna göre daha az etkilenmekte ve tahmin hatası daha az olmaktadır. Etki mesafesinin küçük ya da büyük alınması durumunda rezerv tahminleri gerçek rezervden fazla bulunmaktadır (Yalçın, 1993).

### 3.5.2. Tahmin hatası varyansının güven aralığı

Jeostatistik kuramı, variograma bağlı olarak hataların dağılım varyansına (tahmin varyansına) göre hesaplanabileceğini ifade eder. Dağılım varyansı, global hata dağılımının yayılımının iyi bir ölçüsüdür ve global tahmin için kullanılabilir. Tahmine

ilişkin büyük bir tahmin varyansı zayıf bir tahmini ifade eder. Böyle bir tahminin gerçeklikten uzak olma olasılığı yüksektir. Küçük tahmin varyansı gerçeğe yakın bir tahmini gösterir. Tahmin varyansı, tahminlerin güvenilirliğinin raporlanmasında kullanılması faydalı olmasına rağmen, hatanın büyüklüğünün mutlak gösteriminde gerekli olan kararlar için faydalı değildir. Bu nedenle global tahmin yapılan alanlarda güven aralığı kavramı kullanılmalıdır (Tercan and Karayiğit, 2001). Hataların global dağılımları oldukça çarpık dağılsa bile simetrik olma eğilimindedir. Bununla birlikte normal dağılımla mutlaka iyi bir şekilde modellenebileceği anlamına gelmez. Maalesef, alternatif model olarak çok az çalışma vardır ve % 95 güven aralığı belirsizliğin raporlanmasında kullanılabilir (Isaaks and Srivasta, 1989). Başka bir önemli konu ise tahmin varyansı ile tahmin hatalarının dağılımı iyi bir şekilde önceden bilinemez. Tahmin varyansı kullanılan tahmin yöntemine bağlıdır.

Güven aralığı, bilinmeyen değerın alt ve üst sınırlarla tanımlanan bir aralıkta bulunma olasılığını ifade eder. Alt ve üst sınırlar tahmin edilen değerin belirli bir güven seviyesine göre tahmin varyansına bağlı olarak oluşturulur. Eğer tahmin hataları sıfır ortalama ve tahmin varyansına eşit bir varyansla dağılım gösteriyorsa, güven aralıkları tahmin işlemine bağlı olarak oluşturulabilir. Bilinmeyen “z” değerine ilişkin güven aralığı aşağıda tanımlanmıştır.

$$\Pr\left[z^* - z_{\alpha/2} \cdot \sigma_E < z < z^* + z_{\alpha/2} \cdot \sigma_E\right] = 1 - \alpha \quad (3.25)$$

Bu eşitlikte; “z<sup>\*</sup>” ifadesi; tahmin edilen değeri, “σ<sub>E</sub>”; tahmin hatasının standart sapmasını, “α” güven seviyesini ve “z<sub>α/2</sub>” ise normal yoğunluk fonksiyonunun altında kalan α/2’lik bir alanı sağa bırakan “z” değerini göstermektedir. Örneğin tahmin edilen “z<sup>\*</sup>” değeri ile gerçek değer “z”ye ilişkin %95 güven aralığı aşağıda ifade edilmiştir.

$$\Pr\left[z^* - 1.96 \cdot \sigma_E < z < z^* + 1.96 \cdot \sigma_E\right] = 0.95 \quad (3.26)$$

Güven seviyesi arttıkça tahmin edilen değer için aralığın genişliği de artar. Global tahmin problemlerinde genellikle %95 güven aralığı kullanılır.

Tahmin işlemine bağlı olarak oluşturulan güven aralıklarının alt sınırı negatif değerler olabilir. Örneğin, tahmin edilen “ $z^*$ ” değerine ilişkin % 0.5 Cu değeri ve tahmin hatası standart sapması “ $\sigma_E$ ” ise bu durumda %95 güven aralığının alt sınırı -1.46 olur. Böyle durumlarda genel bağıl standart sapmayı “GBSS”yi kullanmak gerekir. GBSS aşağıda tanımlanmıştır:

$$GBSS = \frac{\sigma_E}{\mu_{z^*}} \quad (3.27)$$

Burada; “ $\mu_{z^*}$ ” ifadesi; “ $z_i^*$ ” şeklinde tanımlanan bütün tahmin değerlerinin ortalamasıdır. “ $\mu_{z^*}$ ” aşağıda tanımlanmıştır:

$$\mu_{z^*} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i^* \quad (3.28)$$

Genel bağıl standart sapma kullanıldığında “ $z_i$ ” gerçek değerine ilişkin %95 güven aralığı aşağıdaki şekilde tanımlanır (Journel and Huijbregts, 1978):

$$\Pr \left[ z_i^* - 1.96 \left( \frac{\sigma_E}{\mu_{z^*}} \right) z_i^* < z_i < z_i^* + 1.96 \left( \frac{\sigma_E}{\mu_{z^*}} \right) z_i^* \right] = 0.95 \quad (3.29)$$

### 3.6. Kriging Tahmin Yöntemi

Kriging, bir çalışma alanında lokasyonların değişken değerlerinin tahmininde kullanılan jeostatistiksel tahmin yöntemleri dizisidir. Kriging genel ismi, Danie Krige’in 1951 yılında çalışmasındaki tahmin hatası varyansını minimize eden en iyi tahminci formülündeki genelleştirilmiş lineer regresyon çözümlerine Matheron tarafından verilen genel isimdir (Olea, 1999; Goovaerts, 1997; Krige, 1951; Matheron 1963). Luenberger (1969), jeostatistikçilerden bağımsız olarak kriging sistemindeki eşitliklerin optimizasyonu için vektörel yaklaşımıyla kuramı tamamlamıştır.



Kriging bir maden yatağındaki belirli bir lokasyondaki değişken (tenör, kalınlık, kalorifik değer gibi) değerleri, lokasyonun yakınındaki örnek değerlerinin doğrusal bileşenleri olarak hesaplayan bir tahmin yöntemidir (Ersoy ve Yünel, 2008). Kriging, tahminde kullanılan örneklerin değerleri ve bu örneklere atanacak olan ağırlıkların toplamından meydana gelir. Yansızlık ve en küçük varyans ölçütlerinin değerlendirilmesiyle oluşturulan doğrusal denklem sisteminin çözümünden tahmin için kullanılacak ağırlıklar elde edilir. Doğrusal denklem sisteminin değerleri variogram modelinden elde edilen parametrelerden meydana gelir (Tercan ve Saraç, 1998). Kriging tahmin yönteminden elde edilen değişkenler, hem maden yatağı hem de örneklerin birçok özelliğini birleştirmesi sebebiyle kaynak/rezerv sınıflandırmalarında kullanılabilir.

Kriging tahmin yönteminin temel özellikleri aşağıda açıklanmıştır:

Bir çalışma alanı “U” boyunca “n” tane örnekten  $\{z(x_i), i=1, \dots, n\}$  oluşan sadece uygun olan “z” örneklerini kullanarak, örneklememiş “x” lokasyonundaki bir sürekli “z” değişkeninin tahmin edilmesi probleminde tüm kriging tahmincileri için genelleştirilmiş lineer regresyon tahmincisi “ $Z^*(x)$ ” eşitlik 3.30’da tanımlanmıştır (Goovaerts, 1997).

$$Z^*(x) - m(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i(x) [Z(x_i) - m(x_i)] \quad (3.30)$$

Burada; “ $\lambda_i$ ” değişkeni rassal değişken “ $Z(x_i)$ ”nin gerçekleşen değeri olan “ $z(x_i)$ ” örneğine atanmış olan ağırlıkları ifade eder. “ $m(x)$ ” ve “ $m(x_i)$ ” ifadeleri, “ $Z(x)$ ” ve “ $Z(x_i)$ ” rassal değişkenlerinin beklenen değeridir. Tahmini kapsayan örnek sayısına bağlıdır ve örneklerin ağırlıkları bir lokasyondan başka bir lokasyona göre değişebilir. Uygulamada, tahmin edilen “x” noktasına en yakın olan “ $n(x)$ ” tane örnek verisi kullanılır (Goovaerts, 1997).

Rassal değişkenler “ $Z(x)$ ” ve “ $Z(x_i)$ ”ye göre bilinmeyen değer “ $z(x)$ ” ve örnek değerleri “ $z(x_i)$ ”, rassal değişken “ $Z^*(x) - Z(x)$ ” geręekleşmesi tahmin hatası olarak tanımlanır. Kriging tahmin yönteminin tüm çeşitleri tahmincinin tarafsızlığı koşulu altında tahmini veya tahmin varyansını minimize etmeye çalışır. Tahmini hata varyansı “ $\sigma_E^2(x)$ ” eşitlik 3.31’de gösterilmiştir.

$$\sigma_E^2(x) = \text{Var}\{Z^*(x) - Z(x)\} \quad (3.31)$$

Tahmin varyansı “ $\sigma_E^2$ ”nin minimum olması için tahmin hatası rassal değişkenlerinin beklenen değerinin sifıra eşit olması koşulu eşitlik 3.32’de gösterilmiştir.

$$E\{Z^*(x) - Z(x)\} = 0 \quad (3.32)$$

Kriging tahmincisi, rassal fonksiyon “ $Z(x)$ ” kendisi için kabul edilen bir modele bağlı olarak değişim gösterir. Bu model, genellikle artık bileşen (residual component) “ $R(x)$ ” ve eğilim bileşeni (trend component) “ $m(x)$ ”den oluşur.  $Z(x)$  rassal fonksiyonu aşağıda tanımlanmıştır.

$$Z(x) = R(x) + m(x) \quad (3.33)$$

Artık bileşen, kovaryans “ $C_R(h)$ ” ve sifır ortalama ile durağan rassal fonksiyonun özellikleri eşitlik 3.36’da belirtilmiştir.

$$\begin{aligned} E\{R(x)\} &= 0 \\ \text{Cov}\{R(x), R(x+h)\} &= E\{R(x) \cdot R(x+h)\} = C_R(h) \end{aligned} \quad (3.36)$$

Bir “x” lokasyonunki “Z” rassal değişkeninin beklenen değeri bu lokasyondaki eğilim bileşenin değerine eşit olması durumu eşitlik 3.37’de gösterilmiştir.

$$E\{Z(x)\} = m(x) \quad (3.37)$$

Eğilim modeli “m(x)” için göz önüne alınan modele göre kriging değişkenleri üçe ayrılabilir. Bunlar;

- Simple kriging; bir çalışma alanı “U” boyunca sabit ve bilinen ortalama “m(x)”e göre eşitlik 3.38’de gösterilmiştir.

$$m(x) = m, \text{ bilinen } \forall x \in U \quad (3.38)$$

- Ordinary kriging; lokal komşuluk “W(x)” ortalamanın durağan etki alanını sınırlandırması ile ortalamadaki lokal değişimleri göz önüne alması eşitlik 3.39’da tanımlanmıştır.

$$m(x') = \text{bilinmeyen fakat sabit, } \forall x' \in W(x) \quad (3.39)$$

- Simple kriging ordinary kriginge benzemez ve ortalamanın bilinmediği farz edilir. Bir eğilim modeline bağlı olan kriging bilinmeyen lokal ortalama “m(x’)” her bir lokal komşuluk “W(x)” içerisinde değiştirilebildiği göz önüne alınır. Bundan dolayı tüm çalışma alanı boyunca bilinmeyen ortalama kullanılabilir. Eğilim bileşeni koordinatların “f<sub>k</sub>(x’)” fonksiyonlarının lineer bileşenleri olarak modellenmesi 3.40’da gösterilmiştir.

$$m(x') = \sum_{k=0}^K a_k(x') f_k(x') \quad (3.40)$$

ile  $a_k(x') \approx a_k$  sabit fakat bilinmeyen  $\forall x' \in W(x)$

Burada; “ $a_k(x')$ ” değişkeni eğilim modeli “ $m(x')$ ”in bilinmeyen katsayılarıdır. Bilinmeyen katsayılar her bir lokal komşuluk içerisinde sabit sayılır. Sıfırncı terim  $k = 0$  olursa “ $f_0(x') = 1$ ” için ordinary kriginge (sabit fakat bilinmeyen ortalama ( $a_0 = m$ ) eşdeğer olur (Journel, 1989; Goovaerts 1997).

### 3.6.1. Simple kriging

Simple kriging, eğilim bileşeni “ $m(x)$ ” modelinde bilinen durağan ortalama “ $m$ ” ile tanımlanan genelleştirilmiş lineer tahmincede (eşitlik 3.30) yerine konulması ile elde edilir. Bir “ $x$ ” lokasyonunda simple kriging ile tahmini “ $Z_{SK}^*(x)$ ” eşitlik 3.41’de tanımlanmıştır.

$$Z_{SK}^*(x) = m + \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{SK} [Z(x_i) - m] \quad (3.41)$$

Simple kriging varyans “ $\sigma_{SK}^2(x)$ ” eşitlik 3.42’de tanımlanmıştır.

$$\sigma_{SK}^2(x) = C(0) - \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{SK}(x) C(x_i - x) \quad (3.42)$$

Ortalamanın bilinmesi koşulundan dolayı simple kriging tahmin yönteminin uygulanabilirliği sınırlıdır (Davis, 2002).

### 3.6.2. Ordinary kriging

Kriging yöntemlerinin çeşitleri arasında ordinary kriging güvenilir bir tahmin yöntemi olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Kriging, diğer interpolasyon yöntemlerinde olmayan belirli özelliklere (anizotropinin modellenmesi ve

tanımlanması, kümelenmeme (declustering), tarafsızlık) sahiptir. Ordinary kriging tahmin yönteminin diğer bir özelliği de kriging varyansı olarak bilinen minimum tahmin varyansını hesaplamasıdır. Kriging varyansı, tahmincinin kalite göstergesi olarak kullanılır (Diehl and David; 1982, Froidevaux, 1982; Wober and Morgan;1993).

Ordinary kriging tahmin yöntemi matematiksel olarak aşağıda açıklanmıştır:

Bir çalışma alanı “U” boyunca “x” lokasyonunun tahmin edilmesinde kullanılan örneklerin ortalaması değişkendir ve tahminde kullanılan örneklerin ortalamasının durağan olması sınırlı bir etkiye sahiptir. Genelleştirilmiş lineer tahminci (3.30) rassal değişkenler “ $Z(x_i)$ ”nin lineer bileşeni sabit lokal ortalama “ $m(x)$ ” ile toplanması durumunda elde edilen lineer tahminci aşağıda tanımlanmıştır.

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i(x) Z(x_i) + \left[ 1 - \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i(x) \right] m(x) \quad (3.43)$$

Kriging ağırlıklarının toplamının 1 olması durumunda lokal ortalama “ $m(x)$ ” lineer tahminciden çıkarılır. Ordinary kriging tahmincisi “ $Z_{OK}^*(x)$ ” rassal değişkenler “ $Z(x_i)$ ”ve ordinary kriging ağırlıkları “ $\lambda_i^{OK}(x)$ ”e göre eşitlik 3.44’te tanımlanmıştır.

$$Z_{OK}^*(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) Z(x_i) \text{ ile } \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) = 1 \quad (3.44)$$

Ordinary kriging ağırlıkları, tahmini hata varyansını tarafsızlık koşuluna bağlı olarak minimize eder. Ordinary kriging tahmin hatası, “ $Z_{OK}^*(x) - Z(x)$ ” artık rassal değişkenler “ $R(x_i) = Z(x_i) - m(x)$ ” ve “ $R(x) = Z(x) - m(x)$ ” bağlı olarak eşitlik 3.45 ve 3.46’da tanımlanmıştır.

$$Z_{OK}^*(x) - Z(x) = \left[ Z_{OK}^*(x) - m(x) \right] - \left[ Z(x) - m(x) \right] \quad (3.45)$$

$$Z_{OK}^*(x) - Z(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) R(x_i) - R(x) = R_{OK}^*(x) - R(x) \quad (3.46)$$

Ordinary kriging tahmin hatası artık bileşenlerden oluşan rassal değişkenlerin varyansına göre eşitlik 3.47’de açıklanmıştır.

$$\sigma_E^2(x) = \text{Var}\{R_{OK}^*(x)\} + \text{Var}\{R(x)\} - 2\text{Cov}\{R_{OK}^*(x), R(x)\} \quad (3.47)$$

Eşitlik 3.47’deki artık bileşenler kovaryans cinsinden düzenlenirse eşitlik 3.48 elde edilir.

$$\sigma_E^2(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) \lambda_j^{OK}(x) C_R(x_i - x_j) + C_R(0) - 2 \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) C_R(x_i - x) \quad (3.48)$$

Ordinary kriging tahmincisinin tarafsızlığı altında hataların ortalamasının sıfıra eşit olması eşitlik 3.49 ve 3.50’de açıklanmıştır.

$$E\{Z_{OK}^*(x) - Z(x)\} = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) m(x) - m(x) \quad (3.49)$$

$$E\{Z_{OK}^*(x) - Z(x)\} = m(x) - m(x) = 0 \quad (3.50)$$

Ordinary kriging ağırlıklarının bulunması kısıtlı bir optimizasyon problemidir ve Lagrange çarpanları yöntemiyle çözülebilir (Sarma, 2009). Değişkenler sınırlamalara bağlı olduğu zaman Lagrange çarpanları yöntemi farklı değişkenlerin fonksiyonlarının durağan noktalarını (minimum ve maksimum gibi) bulur (Blumenfeld, 2001). Bu durumda Lagrange parametresi “ $2\mu_{OK}(x)$ ” ve ordinary kriging ağırlıkları “ $\lambda_i^{OK}(x)$ ” den oluşan Lagrange fonksiyonu “ $L(x)$ ” tanımlanır. Lagrange fonksiyonu,

tahmin varyansına ve Lagrange çarpanına bağlı olarak eşitlik 3.51’de tanımlanmıştır (Goovaerts, 1997).

$$L(\lambda_i^{OK}, i = 1, \dots, n(x); 2\mu_{OK}) = \sigma_E^2 + 2\mu_{OK}(x) \left[ \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) - 1 \right] \quad (3.51)$$

Lagrange fonksiyonunun her bir değişkene göre kısmi türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse tahmin hatasını minimize eder (eşitlik 3.52) (Olea, 1999).

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{\partial L(x)}{\partial \lambda_i^{OK}(x)} &= \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j^{OK}(x) C_R(x_i - x_j) - C_R(x_i - x) + \mu_{OK}(x) = 0 \\ i &= 1, \dots, n(x) \end{aligned} \quad (3.52)$$

$$\frac{1}{2} \frac{\partial L(x)}{\partial \mu_{OK}(x)} = \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j^{OK}(x) - 1 = 0$$

Ordinary kriging lineer denklem sistemi “ $(n(x)+1)$ ” tane bilinmeyen ve aynı sayıda eşitlikten oluşur. “ $n(x)$ ” tane ordinary kriging ağılıkları “ $\lambda_i^{OK}(x)$ ” ve Lagrange çarpanı “ $\mu_{OK}(x)$ ” in lineer denklem sisteminin çözümü eşitlik 3.53’de verilmiştir.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j^{OK}(x) C_R(x_i - x_j) + \mu_{OK}(x) = C_R(x_i - x) \\ i = 1, \dots, n(x) \\ \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j^{OK}(x) = 1 \end{cases} \quad (3.53)$$

Ortalamanın lokal komşuluk içerisinde sadece durağan varsayılmasına karşın, ordinary kriging artık kovaryansı uygulamada tüm mevcut verilerden çıkarılan global kovaryans benzetilen ordinary kriging sistemi eşitlik 3.54’de tanımlanmıştır (Journel and Huijbregts, 1978).

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j^{OK}(x) C(x_i - x_j) + \mu_{OK}(x) = C(x_i - x) \\ i = 1, \dots, n(x) \\ \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j^{OK}(x) = 1 \end{cases} \quad (3.54)$$

Eşitlik 3.54'te tanımlanan ordinary kriging sisteminin birinci denklemindeki “ $n(x)$ ” tane eşitlik ile yer değiştirmesi sonucunda minimum hata varyansı olarak adlandırılan ordinary kriging varyansı eşitlik 3.55'te tanımlanmıştır.

$$\sigma_{OK}^2(x) = C(0) - \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) C(x_i - x) - \mu_{OK}(x) \quad (3.55)$$

Eşitlik 3.55, eşitlik 3.14'e göre düzenlenirse ordinary kriging varyansı semivariograma bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\sigma_{OK}^2(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) \gamma(x_i - x) + \mu_{OK}(x) \quad (3.56)$$

Tahmin hatasının büyüklüğünü değerlendirmekte kullanılan ordinary kriging varyansı variogram modeline bağlı olduğu için örneklerin gerçek değerlerine değil örneklerin yerleşim düzenine bağlıdır (Journel and Rossi, 1989; Isaaks and Srivastava, 1989). Örneklerin sayısı, örneklerin konumu, örnekler ile değeri tahmin edilen lokasyon arasındaki mesafe ordinary kriging varyansını etkiler (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Bu nedenle, tahmin hatası bir lokasyonun tahmininde örneklerin düzeninin bir göstergesidir ve örneklerdeki değişkenliğin doğruluğunu ölçemez (Journel, 1986). Ordinary kriging varyansı, bu özelliklerden dolayı gerçekte sondaj yapılmadan önce olası lokasyonların test edilmesi ve sondajlar arasından optimum lokasyonların belirlenmesinde kullanılır (Tercan, 1996).

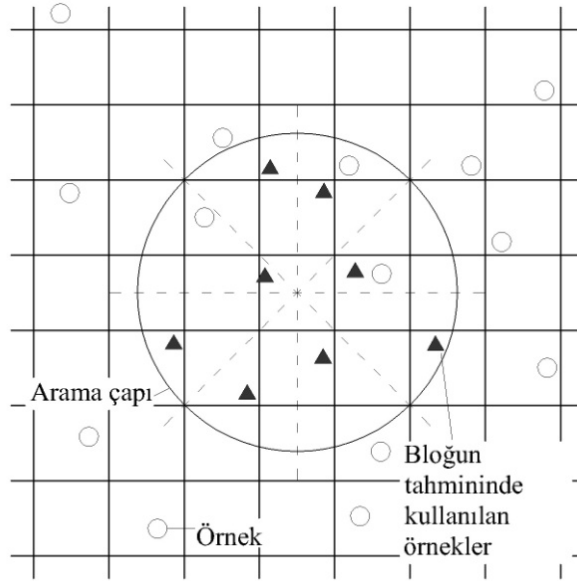


### 3.6.3. Blok kriging

Kriging tahmin yöntemi, bölgesel değişkenlerin noktasal örnekler üzerinden tanımlandığını varsaymaktadır (Tercan ve Saraç, 1998). Noktasal örneklerle kriging tahmin yöntemi blokların boyutunu göz önüne almaz (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Noktasal kriging tahmincisi blok üzerinde oluşturulan noktalar üzerinden bir bloğu tahmin eder. Bu yöntem basit olmasına karşın işlemler zaman alıcı ve pahalı olabilir. Örneğin, madencilik uygulamalarında her bir bloğun 64 noktaya ayrıldığı 400 tane bloğun noktasal kriging ile tahmin edilmesi için 25600 denklem sisteminin çözülmesi gereklidir (Isaaks and Srivasta, 1989).

Kriging tahmincisi ile sadece noktasal örneklerin değerleri değil, blokların ortalama değerleri de tahmin edilebilir. Bu durumda, tahminde kullanılan örnek değerleri blok boyutuna göre çok küçük olan noktasal örneklere bağlı olarak tanımlanır. Yani blok tahmini problemi noktasal örnekler kullanılarak blok değerlerinin tahmini problemine dönüştürülür. Belirli bir alanda tanımlanan herhangi bir büyüklükteki hacmin veya şeklin ortalama değerinin kriging yöntemiyle tahminine blok kriging tahmin yöntemi adı verilir (Goovaerts, 1997).

Bir bloğun tahmininde kullanılan arama dairesinin çapı maden yatağına göre farklılık gösterir. Blokların tahmininde kullanılan arama çapı içerisinde örneklerin az sayıda olması uygulamada istenilen bir özelliktir. Tahminde kullanılan örneklerin sayısı fazla ise bloğa en yakın örnekler seçilir (Isaaks and Srivasta, 1989). Arama dairesi dört eşit parçaya (quadrant) veya sekiz eşit parçaya bölünerek (octant) her bir bölüm içerisindeki bloğa en yakın örnekler ile blok tahmini gerçekleştirilir. Bloğun tahmininde kullanılan arama çapı ve örneklerin yerleşim düzeni Şekil 3.3'de gösterilmiştir (O'Donell and Ostrowski, 1986).

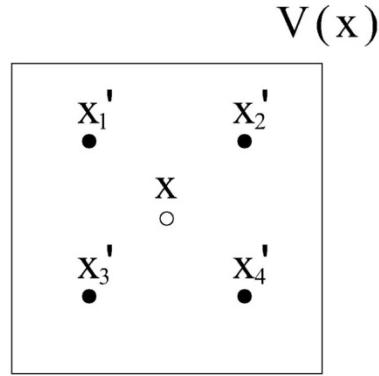


Şekil 3.3. Blok tahmininde kullanılan örneklerin düzeni ve arama çapı

Bir “x” noktasında merkezlenmiş “V” bloğuna ait “z” değişkeninin ortalama değerinin tahmin edilmesi probleminde ortalama blok değeri “ $z_v(x)$ ”in lineer ortalaması eşitlik 3.57’de tanımlanmıştır.

$$z_v(x) = \frac{1}{|V|_{v(x)}} \int_{V(x)} z(x') dx' \approx \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N z(x'_p) \quad (3.57)$$

Burada; “ $|V|$ ” gösterimi bir “V” bloğunun hacmi, alanı veya uzunluğunun ölçüsünü ifade eder. Uygulamada, “ $V(x)$ ” bloğu “N” tane “ $x'_p$ ” ayırım noktalarındaki “z” değerlerinin kesikli toplamına yaklaşır. Örneğin, “ $V(x)$ ” bloğu “ $x'_1 - x'_4$ ”e kadar 4 ayırım noktasına göre Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bir  $x$  lokasyonunda merkezlenmiş iki boyutlu bir  $V(x)$  bloğunun ayırım noktaları

Blok değeri “ $z_v(x)$ ”, “ $N$ ” tane “ $x'_p$ ” ayırım noktasının ordinary kriging tahmini “ $z_{OK}^*(x'_p)$ ”’in lineer ortalaması olarak eşitlik 3.58’de gösterilmiştir.

$$z_v^*(x) = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N z_{OK}^*(x'_p) \quad (3.58)$$

Blok değeri “ $z_v(x)$ ”, “ $x'_p$ ” lokasyonlarındaki “ $z$ ” değişkeninin “ $N$ ” tane ordinary kriging ağırlıkları “ $\lambda_i^{OK}(x'_p)$ ” ve “ $n(x)$ ” tane örnek değerleri “ $z(x_i)$ ”’ye bağlı olarak eşitlik 3.59’da gösterilmiştir.

$$z_v^*(x) = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x'_p) z(x_i) \quad (3.59)$$

“( $n(x)+1$ )” tane bileşenden oluşan ordinary kriging sistemi “ $N$ ” tane “ $x'_p$ ” lokasyonlarının her biri için çözüm yaklaşımı eşitlik 3.60’da tanımlanmıştır.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j^{OK}(x_p') C(x_i - x_j) + \mu^{OK}(x_p') = C(x_i - x_p') \\ i = 1, \dots, n(x) \\ \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j^{OK}(x_p') = 1 \end{cases} \quad (3.60)$$

Eşitlik 3.60'da blokların ve ayırım noktalarının sayısının artması durumunda bu yaklaşımla blokların tahmini zaman alıcı olduğu için örnek değerleri “ $z(x_i)$ ”ye bağlı olarak bir bloğun tahmini “ $Z_v^*(x)$ ” eşitlik 3.61'de tanımlanmıştır.

$$Z_v^*(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_{iV}(x) Z(x_i) \quad (3.61)$$

Burada; “ $\lambda_{iV}(x)$ ” değişkeni örnek değerleri “ $z(x_i)$ ”ye blok kriging ağırlıkları atanır. Eşitlik 3.44'deki nokta tahmincisi blok tahmincisi gibi tarafsız ve tahmin hatası varyansı “ $\sigma_E^2(x) = \text{Var}\{Z_v^*(x) - Z_v(x)\}$ ” minimum olmalıdır. Blok ordinary kriging sistemi eşitlik 3.62'de tanımlanmıştır.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_{jV}^{OK}(x) C(x_i - x_j) + \mu_V^{OK}(x) = \bar{C}(x_i, V(x)) \\ i = 1, \dots, n(x) \\ \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_{jV}^{OK}(x) = 1 \end{cases} \quad (3.62)$$

Blok ordinary kriging sistemi nokta ordinary kriging sisteminde kullanılan eşitliğin sağ tarafındaki noktadan noktaya kovaryans “ $C(x_i - x)$ ”, noktadan bloğa kovaryans “ $\bar{C}(x_i, V(x))$ ” ile yer değiştirmesi sonucu elde edilir. “ $\bar{C}(x_i, V(x))$ ” bir “ $V$ ” bloğundaki tüm noktaların rassal değişkenleri “ $Z(x')$ ” ve rassal değişken “ $Z(x_i)$ ” arasında ortalama kovaryansı ifade eder (Journel and Huijbregts, 1978;

Goovaerts,1997). Ortalama kovaryans “ $\bar{C}(x_i, V(x))$ ” eşitlik 3.63 ve 3.64’te açıklanmıştır.

$$\bar{C}(x_i, V(x)) = \text{Cov}\{Z(x_i), Z_V(x)\} \quad (3.63)$$

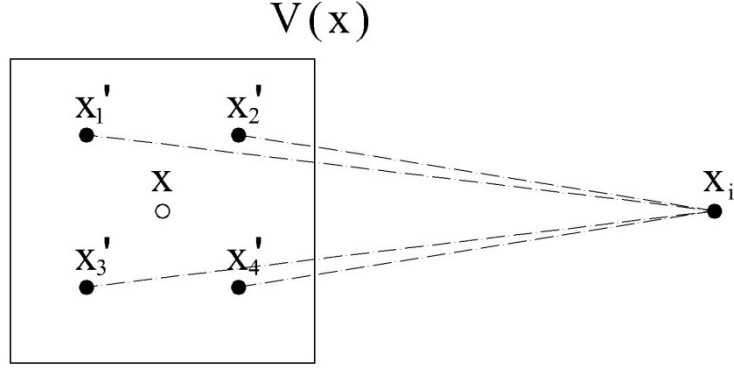
$$\bar{C}(x_i, V(x)) = \frac{1}{|V|_{V(x)}} \int C(x_i - x') du' \quad (3.64)$$

Uygulamada, noktadan bloğa kovaryans “ $\bar{C}(x_i, V(x))$ ” blok “ $V(x)$ ” üzerinde tanımlanan “ $N$ ” tane “ $x'_p$ ” ayırım noktası ve “ $x_i$ ” arasında tanımlanan ortalama nokta hacim kovaryansı “ $C(x_i - x'_p)$ ” nün aritmetik ortalamasına yaklaşır. Ortalama kovaryans  $\bar{C}(x_i, V(x))$  eşitlik 3.65’te tanımlanmıştır.

$$\bar{C}(x_i, V(x)) \approx \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N C(x_i - x'_p) \quad (3.65)$$

Örneğin, iki boyutlu blokta “ $x_i$ ” lokasyonu arasındaki kovaryans ve “ $x_i$ ” lokasyonu “ $x'_1 - x'_4$ ” 4 ayırım noktası arasındaki nokta kovaryansların aritmetik ortalamasına yaklaşır. “ $x'_1 - x'_4$ ” 4 ayırım noktasının her biri ve “ $x_i$ ” lokasyonu arasındaki noktadan noktaya kovaryans  $\text{Cov}\{Z(x_i), Z_V(x'_p)\}$  ortalaması ile nokta blok kovaryansı  $\text{Cov}\{Z(x_i), Z_V(x)\}$  arasındaki ilişki eşitlik 3.66 ve Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

$$\bar{C}(x_i, V(x)) \approx \frac{1}{4} \sum_{p=1}^4 C(x_i - x'_p) \quad (3.66)$$



Şekil 3.5. Noktadan bloğa kovaryans yaklaşımı  $\text{Cov}\{Z(x_i), Z_v(x)\}$

Blok kriging varyansı eşitlik 3.67’de gösterilmiştir.

$$\sigma_{(\text{OK})V}^2 = \bar{C}(V(x), V(x)) - \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_{iV}^{\text{OK}}(x) C(x_i, V(x)) - \mu_V^{\text{OK}}(x) \quad (3.67)$$

“ $x'_p$ ” ve “ $x'_q$ ” herhangi iki ayırım noktası arasındaki kovaryans “ $C(x'_p - x'_q)$ ”nin aritmetik ortalaması bloktan bloğa kovaryans “ $\bar{C}(V(x), V(x))$ ” arasındaki ilişki eşitlik 3.68’de tanımlanmıştır.

$$\bar{C}(V(x), V(x)) = \frac{1}{N^2} \sum_{p=1}^N \sum_{q=1}^N C(x'_p - x'_q) \quad (3.68)$$

Eşitlik 3.60’deki “N” noktalı kriging sistemi ve eşitlik 3.62’deki blok kriging sistemi aynı “ $n(x)$ ” verilerini kullanılır. Her bir blok kriging ağırlıkları “ $\lambda_{iV}(x)$ ” ve “N” tane noktanın kriging ağırlıkları “ $\lambda_i(x'_p)$ ” ortalamasına yaklaşması eşitlik 3.69’da tanımlanmıştır (Journel and Huijbregts, 1978).

$$\lambda_{iV}(x) = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N \lambda_i(x'_p) \quad \forall i=1, \dots, n(x) \quad (3.69)$$

Bu nedenle “N” tane ayırım noktasının ortalama tahmini “ $Z_{OK}^*(x'_p)$ ” ile blok kriging sisteminden elde edilen “ $Z_V^*(x)$ ” in benzerliği eşitlik 3.70’de açıklanmıştır.

$$z_V^*(x) \equiv \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N z_{OK}^*(x'_p) \quad (3.70)$$

Ordinary kriging varyansı blokların ayırım noktası sayısı “N”den etkilenir. İki boyutlu blokların tahmininde 16 (4x4) ayırım noktası sayısı ve üç boyutlu blokların tahmininde 64 (4x4x4) ayırım noktası sayısı bir bloğun ordinary kriging varyansını minimum yapmak için yeterlidir (Journel and Huijbregts, 1978; Isaaks and Srivasta, 1989; Olea 1999).

### 3.7. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasında Kullanılan Varyanslar

Kaynak/rezerv sınıflandırmasında kullanılan tanımlarda yer alan güvenilirliği belirleyen nitel ölçütler (varlığın güven derecesi, jeolojik güven, hata sınırı, yeterli örnekleme, doğruluk sınırları, risk faktörleri gibi) kişisel bilgilere göre yorumlanabilir (Froidevaux,1982). Ulusal ve uluslararası sınıflandırma sistemlerinin nitel olan ölçütleri nicel olan jeostatistiksel ölçütlerle desteklenmesi önemlidir (Mwasinga, 2001). Kaynak/rezerv sınıflandırmasında Bölüm 3.6’da tanımlanan ordinary kriging tahmincisinden ve varyansından hesaplanan diğer varyanslar aşağıda belirtilmiştir.

- İnterpolasyon varyansı,
- Bağlı kriging standart sapması,
- Ağırlıklı ortalama yerel varyansı ve birleşik varyans.

#### 3.7.1. İnterpolasyon varyansı

Froidevaux (1993), interpolasyon varyansı kavramını ilk olarak “ $n(x)$ ” tane komşu örneğe bağlı olarak önermiştir.

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) z(x_i) - \left[ \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) z(x_i) \right]^2 \quad (3.71)$$

Yamamoto (2000), ordinary kriging tahminleri güvenilirliğinin alternatif ölçüsü olarak interpolasyon varyansını noktalar ve bloklar için geliştirmiştir. Genel interpolasyon varyansı “ $s^2$ ” eşitlik 3.72’de tanımlanmıştır.

$$s^2 = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) [z(x_i) - z_{OK}^*(x)]^2 \quad (3.72)$$

Burada; “ $n(x)$ ”; kullanılan örnek sayısını, “ $\lambda_i^{OK}(x)$ ”; her örnek için ordinary kriging ağırlıklarını, “ $z_{OK}^*(x)$ ” ordinary krigingle tahmini yapılan lokasyonun değerini, “ $z(x_i)$ ”; örnek değerlerini gösterir. Bu tanımlamada herhangi bir negatif ağırlık negatif interpolasyon varyansına sebep olacağı için tüm ordinary kriging ağırlıkları pozitif olmalıdır. İnterpolasyon varyansının özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Bir örneğin lokasyonu tahmin edilen nokta ile aynı lokasyonda olursa, diğer ağırlıkların sıfıra eşit olması ile örneğin ağırlığı 1’e ve interpolasyon varyansı sıfıra eşit olur.
- Kullanılan örnek değerlerinin lokasyonda dağılmasıyla interpolasyon varyansı artar.
- İnterpolasyon varyansı, ordinary kriging ağırlıkları “ $\lambda_i^{OK}(x)$ ” aracılığıyla variogram modelini dolaylı olarak kullanır. Tahmini yapılan lokasyonda etkili olan veriye en büyük ağırlık değerini atar.

“ $Z(x)$ ” ve “ $Z(x_i)$ ” rassal değişkenlerinin interpolasyon varyansı “ $s^2$ ” rassal değişken “ $S^2$ ”nin bir sonucudur. Rassal değişken “ $S^2$ ” eşitlik 3.73’de tanımlanmıştır.



$$S^2 = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) [Z(x_i) - m(x)]^2 - [Z_{OK}^*(x) - m(x)]^2 \quad (3.73)$$

“ $E\{Z(x)\} = m(x)$ ” rassal değişkenin beklenen değerine göre eşitlik 3.73’ün düzenlenmesiyle eşitlik 3.74 aşağıda tanımlanmıştır.

$$S^2 = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) [Z(x_i) - Z_{OK}^*(x)]^2 = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) [[Z(x_i) - m(x)] - [Z_{OK}^*(x) - m(x)]]^2 \quad (3.74)$$

Eşitlik 3.74’ün düzenlenmesiyle elde edilen eşitlik 3.75 aşağıda tanımlanmıştır.

$$S^2 = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) [Z(x_i) - m(x)]^2 + [Z_{OK}^*(x) - m(x)]^2 - 2[Z_{OK}^*(x) - m(x)] \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) [Z(x_i) - m(x)] \quad (3.75)$$

Her bir ordinary kriging tahmincisinin tarafsızlık koşulu eşitlik 3.43’e göre eşitlik 3.76 aşağıda tanımlanmıştır.

$$\sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) [Z(x_i) - m(x)] = Z_{OK}^*(x) - m(x) \quad (3.76)$$

Bu durumda; eşitlik 3.76 her bir ordinary kriging tahmincisi için eşitlik 3.75’e göre düzenlenirse eşitlik 3.73 sağlanmış olur.

Rassal değişken “ $S^2$ ” nin beklenen değeri eşitlik 3.77 ve 3.78’de tanımlanmıştır.

$$E\{S^2\} = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) \text{Var}\{Z(x_i) - Z_{OK}^*(x)\} \quad (3.77)$$

$$E\{S^2\} = \text{Var}\{Z(x)\} - \text{Var}\{Z_{OK}^*(x)\} \geq 0 \quad (3.78)$$

İnterpolasyon varyansı “ $S^2$ ”nin ordinary kriging tahmincisinin büyük değerlerini düzeltmek için verilerin yerleşim düzeni için tüm olası değerlerin ortalamasını alır. Eşitlik 3.77 ve 3.78’de tanımlanan rassal değişkenin “ $S^2$ ”nin beklenen değeri eşitlik 3.79’da açıklanmıştır.

$$\begin{aligned} E\{S^2\} &= \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) E\left\{\left[Z(x_i) - m(x)\right]^2\right\} + E\left\{\left[Z_{OK}^*(x) - m(x)\right]^2\right\} \\ &\quad - 2 \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) E\left\{\left[Z_{OK}^*(x) - m(x)\right]\left[Z(x_i) - m(x)\right]\right\} \end{aligned} \quad (3.79)$$

Eşitlik 3.79 varyans olarak düzenlenirse;

$$\begin{aligned} E\{S^2\} &= \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) \text{Var}\{Z(x_i)\} + \text{Var}\{Z_{OK}^*(x)\} \\ &\quad - 2 \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) C\{Z(x_i), Z_{OK}^*(x)\} \end{aligned} \quad (3.80)$$

Her bir varyansın durağanlık özellikleri 3.81’de belirtilmiştir.

$$\text{Var}\{Z(x_i)\} = C(0), \quad \forall i \Rightarrow \sum_{i=1}^{n(x)} \{\text{Var}Z(x_i)\} = C(0) \quad (3.81)$$

Ordinary kriging tahmincisi “ $Z_{OK}^*(x)$ ”in varyansı eşitlik 3.82’de tanımlanmıştır.

$$\text{Var}\{Z_{OK}^*(x)\} = \sum_{i=1}^{n(x)} \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) \lambda_j^{OK}(x) \text{Cov}\{Z(x_i), Z(x_j)\} \quad (3.82)$$

“ $\text{Cov}\{Z(x_i), Z(x_j)\}$ ” beklenen değeri eşitlik 3.83’de tanımlanmıştır.

$$\text{Cov}\{Z(x_i), Z_{\text{OK}}^*(x)\} = E\left\{\left[Z(x_i) - m(x)\right] \left[\sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j^{\text{OK}}(x) Z(x_j) - m(x)\right]\right\} \quad (3.83)$$

Eşitlik 3.83’deki beklenen değer özelliklerine göre düzenlenen eşitlik 3.84 aşağıda tanımlanmıştır.

$$\text{Cov}\{Z(x_i), Z_{\text{OK}}^*(x)\} = \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j^{\text{OK}}(x) E\left\{\left[Z(x_i) - m(x)\right] \left[Z(x_j) - m(x)\right]\right\} \quad (3.84)$$

Eşitlik 3.84’ de durağanlık varsayımına göre düzenlenen eşitlik 3.85 aşağıda tanımlanmıştır.

$$\text{Cov}\{Z(x_i), Z_{\text{OK}}^*(x)\} = \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j^{\text{OK}}(x) \text{Cov}\{Z(x_i), Z(x_j)\} \quad (3.85)$$

Bu durumda; eşitlik 3.85’in çözümü için sisteme Lagrange çarpanı “ $\mu_{\text{OK}}(x)$ ” eklenirse eşitlik 3.86 ve 3.87 elde edilir.

$$\text{Cov}\{Z(x_i), Z_{\text{OK}}^*(x)\} = \text{Cov}\{Z(x_i), Z(x)\} - \mu_{\text{OK}}(x) \quad (3.86)$$

$$\sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{\text{OK}}(x) \text{Cov}\{Z(x_i), Z_{\text{OK}}^*(x)\} = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{\text{OK}}(x) \text{Cov}\{Z(x_i), Z(x)\} - \mu_{\text{OK}}(x) \quad (3.87)$$

Eşitlik 3.55’te tanımlanan ordinary kriging varyansı “ $\sigma_{\text{OK}}^2(x)$ ” rassal değişkenlere göre eşitlik 3.88’de tanımlanmıştır.

$$\sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) \text{Cov}\{Z(x_i); Z(x)\} = C(0) - \sigma_{OK}^2(x) - \mu_{OK}(x) \quad (3.88)$$

Eşitlik 3.82'nin düzenlenmesi sonucunda elde edilen eşitlik 3.89 aşağıda verilmiştir.

$$\text{Var}\{Z_{OK}^*(x)\} = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) [\text{Cov}\{Z(x_i), Z(x)\} - \mu_{OK}(x)] \quad (3.89)$$

Eşitlik 3.88; eşitlik 3.89 ve 3.87'de yerine konursa eşitlik 3.90 sağlanmış olur

$$\sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x) \text{Cov}\{Z(x_i), Z_{OK}^*(x)\} = C(0) - \sigma_{OK}^2 - 2\mu_{OK}(x) \equiv \text{Var}\{Z_{OK}^*(x)\} \quad (3.90)$$

Sonuç olarak, “ $E\{S^2\} = C(0) - \text{Var}\{Z_{OK}^*(x)\}$ ” yani ağırlıklardan bazıları negatif bile olsa eşitlik 3.78 gerçekleşir.

Ordinary kriging blok tahminini ile ilişkili interpolasyon varyansı “ $S_V^2$ ” eşitlik 3.91'de tanımlanmıştır.

$$S_V^2 = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N S_p^2 + \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N [Z_V^*(x) - Z_{OK}^*(x_p')] \quad (3.91)$$

Ordinary kriging blok tahmincisinin kullandığı “ $n(x)$ ” tane örnek ve bir “ $V$ ” bloğunu tanımlayan “ $N$ ” tane örnek bağlı olarak eşitlik 3.58 ve 3.59'dan çıkartılan ayırım noktalarının ordinary kriging tahmini “ $Z_{OK}^*(x_p')$ ” eşitlik 3.92'de tanımlanmıştır.

$$Z_{OK}^*(x_p') = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x_p') Z(x_i) \quad (3.92)$$

Blok tahmincisi “ $Z_V^*(x)$ ”in interpolasyon varyansı eşitlik 3.94’te tanımlanmıştır.

$$S_V^2 = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_{iV}^{OK}(x) [Z(x_i) - Z_V^*(x)] \quad (3.94)$$

Eşitlik 3.94, eşitlik 3.92’ye göre yeniden düzenlenirse eşitlik 3.95 elde edilir.

$$S_V^2 = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_{iV}^{OK}(x) \left[ [Z(x_i) - Z_{OK}^*(x_p')] - [Z_V^*(x) - Z_{OK}^*(x_p')] \right]^2 \quad (3.95)$$

Eşitlik 3.95’in, eşitlik 3.69’a göre düzenlenmesi ile oluşturulan eşitlik 3.96 aşağıda tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned} S_V^2 = & \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N \lambda_i^{OK}(x_p') \left[ \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x_p') [Z(x_i) - Z(x_p')] \right]^2 + \\ & \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x_p') [Z(x_i) - Z(x_p')]^2 - \\ & 2 [Z_V^*(x) - Z_{OK}^*(x_p')] \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x_p') [Z(x_i) - Z_{OK}^*(x_p')] \end{aligned} \quad (3.96)$$

“ $x_p'$ ” lokasyonlarındaki interpolasyon varyansı “ $S_p^2$ ”nin özellikleri aşağıda verilmiştir:

$$\bullet \quad S_p^2 = \lambda_i^{OK}(x_p') [Z(x_i) - Z_{OK}^*(x_p')]^2 \quad (3.97)$$

$$\bullet \quad \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x_p') = 1 \quad \forall p \text{ için} \quad (3.98)$$

$$\bullet \quad \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i^{OK}(x_p') [Z(x_i) - Z_{OK}^*(x_p')] = Z_{OK}^*(x_p') - Z_{OK}^*(x_p') = 0 \quad \forall p \text{ için} \quad (3.99)$$

Sonuç olarak; eşitlik 3.97, 3.98 ve 3.99 eşitlik 3.96’ya göre düzenlenirse eşitlik 3.94 gerçekleşir.

Yamamoto (1999), yerel veri dağılımını ve yakın noktadaki veri düzenini göz önüne alarak ordinary kriging varyansından daha güvenilir olan interpolasyon varyansını kullanmıştır. Çalışmasında, bir bloğun tahmini ile ilişkili hatanın hesaplanmasında interpolasyon varyansının kullanılabilceğini ve belirli hata sınırları içerisinde artan güven derecesine göre ölçülen, belirtilen ve yorumlanan kaynaklar/rezervler olarak sınıflandırılabilceğini açıklamıştır.

### 3.7.2. Bağlı kriging standart sapması

Bir bloğun tahmini sonucu oluşan kriging standart sapmasının tahmin edilen blok değerine oranı bağlı kriging standart sapması (relative kriging standard deviation) olarak tanımlanmaktadır (Diehl and David, 1982; Sabourin, 1983; Blackwell, 1998). Ordinary kriging yöntemine göre bağlı kriging standart sapması (BKSS) aşağıda tanımlanmıştır:

$$BKSS = \frac{\sigma_{OK}}{z_{OK}^*(x)} \quad (3.100)$$

Burada, “ $\sigma_{OK}$ ” ordinary kriging standart sapmasını ve “ $z_{OK}^*(x)$ ” tahmini yapılacak örnekleme lokasyonu gösterir

Diehl ve David (1982), bağlı kriging standart sapması değerlerinin kaynak/rezerv sınıflandırmasında kullanılabilceğini belirtmiştir. Çalışmada, kriging varyansı sınıflandırma amacı için güven aralığının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Sabourin (1983), ölçülen, belirtilen ve yorumlanan kaynaklar için bağlı kriging standart sapmasının sırasıyla 0.2, 0.3 ve 0.5 olduğunu belirtmiştir.

Blackwell (1998), bloğun kriging standart sapması ile bağlı kriging standart sapmasını porfiri bakır yatakları için karşılaştırmıştır. Bağlı kriging standart sapması değerleri ile kaynakların/rezervlerin sınıflandırmasını aşağıdaki gibi önermiştir:

$$\text{Ölçülen kaynak (0.3)} \leq \text{Belirtilen kaynak (0.5)} \leq \text{Yorumlanan kaynak}$$

Blackwell (1998), blokların tahmininde kullanılan örnek sayısı ile bağıl kriging standart sapması arasında bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Blok tahmininde kullanılan örnek sayısı arttıkça tahminin kalitesinin arttığını ifade etmiştir.

### 3.7.3. Ağırlıklı ortalama lokal varyansı ve birleşik varyans

Arik (1999;2002), ağırlıklı ortalama lokal varyansı ile ordinary kriging varyansını birleştirerek belirsizliğin ölçümü için birleşik varyansı önermiştir. Ağırlık ortalama yerel varyansını, yerel veri değişimine bağlı olarak blokların etrafındaki noktaları göz önüne alarak hesaplamıştır. Ağırlıklı ortalama yerel varyansı ( $\sigma_w^2$ ) aşağıda tanımlanmıştır.

$$\sigma_w^2 = \sum_{i=1}^n (\lambda_i)_{OK}^2 [z_{OK}^*(x) - z(x_i)]^2 \quad (3.101)$$

Burada, “n” kullanılan örnek sayısını, “ $\sigma_w^2$ ” ağırlıklı ortalama lokal varyansını, “ $\lambda_i$ ” her veri için kriging ağırlıklarını, “ $z_{OK}^*(x)$ ” tahminini yapılacak örneklenmemiş lokasyonu ve “ $z(x_i)$ ” örnek değerlerini gösterir.

Birleşik varyans  $\sigma_{CV}^2$  aşağıda tanımlanmıştır:

$$\sigma_{CV}^2 = \sqrt{\sigma_{OK}^2 \cdot \sigma_w^2} \quad (3.102)$$

Arik (1999), tek bir blok için iki farklı veri kümesine bağlı olarak birleşik varyans sonuçlarını karşılaştırmış ve birleşik varyansın rezerv sınıflandırmada kullanılabileceğini açıklamıştır.

Souza ve diğerleri (2005), Brezilya’daki bir kömür ocağı için kriging varyans, interpolasyon varyans ve birleşik varyans ölçütlerini blok boyutlarına bağlı olarak karşılaştırmıştır. Çalışmada, interpolasyon varyansı sonuçlarının kriging varyans ve

birleşik varyans sonuçlarına göre hataların hesaplanmasında daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

### 3.8. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasında Güven Seviyesi Kavramı

Güven seviyesi uygulama alanına göre araştırmacı tarafından seçilebilir. Maden ve jeoloji araştırmalarında %90 güven seviyesi kullanılabilir. Normal dağılan ana kütledeki rassal değişkenler için ana kütle ortalaması güven aralığının % 90'ına eşittir. Bazı madenciler, jeologlar ve diğer disiplinlerdeki araştırmacılar % 90 güven seviyesinden fazla olan güven seviyelerini kullanabilmektedirler. Güven seviyesinin % 90 seçilmesinin üç ana sebebi vardır (Koch and Link, 2002):

- Birçok yerbilimlerinde kullanılan verilerin değişkenliği, laboratuvar ortamında kontrol edilebilen deneylerden ve üretim süreçlerinde elde edilen verilerden daha fazladır.
- Araştırma yapılan maden yatağının beklenmeyen yapısal süreksizlikler tarafından sınırlanma olasılığı her zaman vardır.
- Maden yatağının değerlendirilmesini içeren süreçler üretim süreçlerine göre daha fazla risklidir.

Kaynak/rezerv sınıflamasında güven seviyesi iki farklı şekilde kullanılmaktadır. Birincisi, kaynak/rezerv sınıflamasında her sınıf için % 90 güven seviyesinin kullanılmasıdır (Wellmer, 1983; Yamamoto, 1999). İkinci yaklaşım ise her sınıf için farklı güven seviyelerinin kullanılmasıdır (Diehl and David, 1982; Wober and Morgan, 1993). Fakat, kaynak/rezerv sınıflandırmasında kullanılan tahmin hataları için farklı güven seviyelerinin kullanılması durumunda sınıflandırma problemleri ortaya çıkabilmektedir. Örneğin, %90 güven seviyesinde tahmin edilen blok  $\pm\%9$  hataya sahipse görünür rezerv sınıfı içerisinde yer alır. Komşu bir blok aynı güven seviyesinde, tahmin hatası  $\pm\%12$  olduğunda muhtemel rezerv sınıfı içerisinde yer alır. Fakat muhtemel rezerv sınıfı için % 80 güven seviyesi kullanılırsa bu durumda hata  $\pm\%10$ 'un altında kalır ve rezervin olası sınıfı belirlenemez. Bu nedenle kaynak/rezerv sınıflandırmasında farklı güven seviyelerinin kullanılması önerilmez.



### 3.9. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasında Normal Dağılım ve T-Dağılımı

Maden yatağındaki tahmini yapılacak bir lokasyondaki değişkenin gerçek değeri bilinmez. Tahmin işlemi maden yatağındaki örneklere bağlı olarak yapılır. Bu nedenle, tahmin işleminde hatanın belirlenmesinde örneklerin sayısı ve dağılımı etkilidir. Bir noktanın tahmini yapılacaksa tahminde kullanılan örneklerin sayısı, bir bloğun tahmini yapılacaksa bloğun ayırım noktası sayısı önemlidir.

Normal dağılıma bağlı olarak güven aralığı, örnek sayısı 30'dan büyük olduğu zaman kullanılır. Örneğin, üç boyutlu bir blokta 64 ayırım noktasına göre tahmin yapılması durumunda normal dağılım kullanılır. Eğer örnek sayısı 30'dan küçükse, örneklerden çıkartılan tahminlerin belirsizliğini değerlendirmek için normal dağılımdan daha geniş bir dağılıma sahip bir olasılık dağılımı olan t-dağılımı kullanılabilir. Örneğin, iki boyutlu bir blokta 16 ayırım noktasına göre tahmin yapılması durumunda t-dağılımı kullanılır. T-dağılım eğrisinin tam şekli ana kütle tahmininde kullanılan örneklerdeki gözlem sayısına göre değişir.

Örneklerdeki gözlem sayısı sonsuz olduğu zaman normal dağılım ve t-dağılımı benzerdir. Ana kütle parametrelerinin bilinmediği durumda bile gözlem sayısı yaklaşık olarak 30'dan büyük olduğu zaman t-dağılımından elde edilen "t değeri" yerine normal dağılımından elde edilen "z değeri" kullanılabilir (Davis, 2002).

### 3.10. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasında Hatanın Ölçülmesi

Kaynak/rezerv sınıflandırmasında temel konu, hatanın ölçülmesidir. Hatanın ölçülmesinde tahmin edilen değer gerçek değeri bilinmez. Bu durumda maden yatağındaki kaynak/rezerv sınıflandırması lokal bir tahmin problemidir. Bu nedenle, maden yatağında tahminlerde ne kadar hata yapıldığı önemlidir.

Çift taraflı güven aralığı bir tahminin etrafında oluşan hataların hesaplanmasında kullanılır. Tahminlerin etrafındaki güven aralığı ve merkezi limit teoremi kullanılarak tahmin hataları  $GA_{\%GS}$  aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$GA_{\%GS} = \frac{s.t}{\sqrt{n(x)}} \quad (3.103)$$

Burada; “s”; standart sapmayı, “n(x)”; örneklerin sayısını, “t”; belirlenen güven seviyesine göre t-dağılımından elde edilen “t”değerini ifade eder.

Bir maden yatağında tahmin yapılan lokasyondaki değişkenin gerçek değeri, tahmini yapılacak değer etrafındaki örneklere bağlı olarak yapılır. Bu durumda, tahmin edilen değer “ $z_{OK}^*(x)$ ”ın hatası “ $\varepsilon$ ”, güven aralığı “ $GA_{\%GS}$ ”ye göre aşağıda tanımlanmıştır:

$$\varepsilon = \frac{GA_{\%GS}}{z_{OK}^*(x)} \quad (3.104)$$

Ordinary kriging ile nokta tahmininde hata “ $\varepsilon_{nokta}$ ” aşağıda tanımlanmıştır:

$$\varepsilon_{nokta} = \frac{\sigma_{OK}.t}{z_{OK}^*(x)\sqrt{n(x)}} \quad (3.105)$$

Ordinary kriging blok tahmini sonucunda oluşan hata “ $\varepsilon_{blok}$ ”aşağıda tanımlanmıştır:

$$\varepsilon_{blok} = \frac{\sigma_{OK}.t}{z_{OK}^*(x)\sqrt{N}} \quad (3.106)$$

Burada; “N” ayırım noktası sayısını ifade eder.

İnterpolasyon standart sapması “s”ye bağlı olarak hesaplanan interpolasyon hatası “ $\varepsilon_{interpolasyon}$ ” aşağıda tanımlanmıştır:

$$\varepsilon_{interpolasyon} = \frac{s.t}{z_{OK}^*(x)\sqrt{N}} \quad (3.107)$$

### 3.11. Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasında Kullanılan Güvenirlilik Ölçütleri

Kaynak/rezerv sınıflandırmasında kullanılan ölçütler sınıflandırma sistemiyle örnek değerleri arasındaki uzamsal korelasyona ve jeostatistiksel sürekliliğin tahminine dayanmaktadır (Wober and Morgan, 1993). Bir maden yatağı nadiren net sınırlar içerisinde belirlenebilir. Bir maden yatağının karakteristiğini bölgesel değişkenler ortaya koyar (Blondel and Lasky, 1956). Örneğin cevher damarı sondajlar ile araştırılmışsa küçük faylar veya yapısal değişimlerin ortaya konması zordur (Taylor, 1994). Geniş alanlara yayılmış maden yatakları daha homojen bir yapıya sahiptir ve problemler daha azdır.

Kaynak/rezerv sınıflandırma sistemlerinin ana amacı belirlilik derecesine göre blokların sınıflarının belirlenmesidir. Fakat sınıflandırma sistemlerinde belirsizliğin ölçülmesinden bahsedilmemektedir. Bu nedenle sınıflandırma sistemleri mesleki tecrübelerden elde edilen yargılara dayanmaktadır. Bir maden yatağı hakkında nicel veriler varsa kişisel sınıflandırmalardan kaçınılmalıdır. Bir tahmin ve tahminin hatası mevcutsa, kaynak/rezerv sınıflama sistemi için bir güvenirlilik ölçütüne karar verilmelidir. Bu ölçüt maden yatağı içerisinde bulunan bilgiyi yansıtmakta kullanılabilir. Güven ölçütlerinin uygulanması için bazı sınıflamalar yeniden üretilerek önerilmiştir. Kaynak/rezerv sınıflandırma sistemlerinin güvenirlilik ölçütü Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Kaynak/rezerv sınıflandırmasında kullanılan güvenilirlik ölçütleri

Yazarlar	Ölçülen kaynak		Belirtilen kaynak	Yorumlanan kaynak
	Görünür Rezerv.	Muhtemel rezerv	Mümkün rezerv	
(Diehl and David, 1982)	Hata: $\bar{\pi}$ % 10 GS:>%80	Hata: $\bar{\pi}$ % 20 GS:%60-80	Hata: $\bar{\pi}$ % 40 GS: %40-60	Hata: $\bar{\pi}$ % 60 GS: %20-40
(Wellmer, 1983)	Hata: $\bar{\pi}$ % 10 GS:%90	Hata: $\bar{\pi}$ % 20 GS:%90	Hata: $\bar{\pi}$ % 30 GS:%90	Hata: $\bar{\pi}$ % 50 GS:%90
(Yamamoto, 1999)	Hata:%20 GS:%90		Hata:%20-%50	Hata>%50
Bu çalışmada*	Hata:%10 GS:%90	Hata:%20 GS:%90	Hata:%30 GS:%90	Hata>%50 GS:%90
GS: Güvenlik seviyesi (* ) Ordinary kriging hatası, interpolasyon hatası ve bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırılması amacıyla kullanılmıştır.				

Ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatası sonuçlarının birbirinden farklı çıkmasından dolayı kaynak/rezerv sınıfları farklı çıkmaktadır. Yamamoto (1999), bu problemi görünür rezerv ve muhtemel rezerv sınıflarını birbirinden ayırmadan ölçülen kaynak olarak tanımlamıştır. Fakat, hata sınırlarının genişletilmesi durumunda ölçülen kaynak belirlenmesine rağmen maden yatırımlarının kararında önemli olan görünür rezerv ve muhtemel rezerv sınıfları belirlenmemektedir. Bu nedenle, Wellmer'in (1983) çalışması kaynak/rezerv sınıfları ve % 90 güven seviyesi için düzenlenerek bu çalışmada kullanılmıştır.

## BÖLÜM 4

### 4. MANTIK VE BULANIK MANTIK KAVRAMI

Mantık, insanın akıl yürütme ilkeleri ve yöntemlerini inceleyen bir bilim dalıdır (Klir and Yuan,1995). Mantık bilimi; geleneksel mantık, çok değerli mantık ve bulanık mantık olarak üç grupta sınıflandırılabilir.

#### 4.1. Geleneksel Mantık Kavramı

Geleneksel mantık yaklaşımı; özdeşlik, çelişmezlik ve üçüncünün olmazlığı ilkelerini içeren iki değerli mantıktır (Aristo mantığı). Geleneksel mantık ile akıl yürütme yapılırken bu üç temel ilkeye uyulmalıdır.

Özdeşlik ilkesi, “her nesne kendi kendisiyle aynı olmak zorundadır” biçiminde ifade edilen ilkedir. Bu ilke, iki nesne arasındaki ilişkinin sayısal ve sözel tanımlamalarının özdeş olması şeklinde de açıklanabilir. Özdeşlik ilkesi mantıkta “P P’dir” önermesine karşılık gelir. Örnek olarak, “blok, görünür rezervdir” önermesi verebilir.

Çelişmezlik ilkesi, bir nesneye ait bir niteliğin olması ve olmaması durumlarının aynı anda olamayacağı düşüncesidir. Bu ilke az, çok, oldukça, hiç, biraz gibi sözel ifadeleri niteleyen ön kelime ve sıfatların genel mantık yaklaşımında göz ardı edilmesine neden olur. Çıkarım yapılabilmesi için belirsiz olan kelimelerin ihmal edilmesi çelişmezlik ilkesiyle gerçekleştirilir. Çelişmezlik ilkesi mantıkta, “P, P olmayan değildir” şeklinde ifade edilebilir. Örnek olarak, “blok, görünür rezervdir” önermesi “blok, görünür rezerv değildir” önermesi ile eş değildir. Bu iki önermeden birisi yanlıştır.

Üçüncünün olmazlığı ilkesi, akıl yürütmede kullanılan geleneksel mantığın temelini oluşturur. Bir önerme “doğru” ve “yanlış” olarak iki kesin bölüme ayrılır. Örnek olarak, “blok, görünür rezervdir” ya da “blok görünür rezerv değildir” önermesinden yalnızca biri doğrudur. Üçüncü bir durum olamaz.

Geleneksel mantık yaklaşımı, klasik ve sembolik mantık olarak iki grupta sınıflandırılabilir.

#### 4.1.1. Klasik Mantık

Klasik mantık, günlük konuşma diline dayalıdır ve kısmen semboliktir. Konuşma dilinde yargıları tanımlayan cümleler önermelerdir. Her önerme bir cümle olmasına karşın, her cümle bir önerme değildir. Bununla beraber, her yargı da önerme olmayabilir. Bir cümlenin bir önerme sayılabilmesi için öznenin ve yüklemnin bir bağlaç ile bağlanması ve doğruluk değerinin olması gerekir. Klasik mantıkta bir önermenin ya yanlış ya da doğru olması gereklidir.

#### 4.1.2. Sembolik Mantık

Modern mantık olarak da ifade edilen sembolik mantık, klasik mantığın sembolik bir gösterimle matematiksel olarak ifade edildiği bir mantık türüdür. Sembolik mantıkta, basit önermeler harflerle sembolleştirilebilir. Eğer bir değişken bir önermeyi temsil ediyorsa buna önerme değişkeni ya da mantıksal değişken denir. Klasik mantık, önermede kullanılan anlamdan etkilenir. Fakat sembolik mantık, biçimsel bir dil geliştirmesi nedeniyle çok anlamlılık ve belirsizliğin doğruluğunun kontrol edilmesindeki güçlükleri ortadan kaldırır.

#### 4.2. Çok Değerli Mantık

İki değerli mantık, önermelerin “doğru” ve “yanlış” olmasını temel alarak çıkarımda bulunur. Fakat, bazı önermelerin doğruluğu ya da yanlışlığı hakkında karar vermek mümkün değildir. Gelecek hakkında yapılan önermeler ne gerçekten doğru ne de gerçekten yanlış olamaz. Önermelerde ikiden fazla değeri kabul eden mantığa çok değerli mantık denir. Çok değerli mantığa örnek olarak Heisenberg’in kuantum mekaniğindeki belirsizlik ilkesi verebilir. Maddeyi oluşturan elektronların buldukları konumların uzayın değişik noktalarında üst üste gelmesiyle oluşan durumu Newton’cu mekanikle açıklamak zordur. Kuantum mekaniğinde, konum ve hız ölçümünün hatasız

yapılamayacağı genellemesi sonucu ortaya çıkan üçüncü gerçek değeri belirsiz olarak adlandırılabilir. Çok değerli mantıkta oluşturulan *belirsiz* ifadesi bulanık mantık kavramının temelini oluşturmuştur.

#### 4.3. Bulanık Mantık Kavramı

Bulanık mantığı geleneksel mantık kavramlarından ayıran en önemli özelliklerden birisi, üçüncünün olamazlığı ve çelişmezlik ilkesi olarak adlandırılan ve geleneksel mantık kavramları için oldukça önemli olan bu iki özelliğin bulanık mantık için geçerli olmamasıdır. Bulanık mantıkta önermeler klasik ve sembolik mantıktan farklı olarak aynı zamanda hem doğru hem yanlış olamaz. Bu durum, bulanık mantıkta doğruluğun çok değerli olmasından ve kullanılan bağlaçlara yüklenen anlamlardan kaynaklanmaktadır. Bulanıklık bir önerme ile önermenin değili arasındaki belirsizlikten kaynaklanır (Baykal ve Beyan, 2004).

Bulanık mantıkta, önermelerin doğruluk değeri kesin doğru ve kesin yanlış arasında yer alan küme değerlerini içerir. Bulanık mantık, önermelerin doğruluk değerlerini  $[0,1]$  gerçek sayı aralığıyla ilişkilendiren sayısal bir fonksiyon olarak tanımlanabilir.

Bir problemin çözümlenmesinde kullanılan sayısal veriler ve sözel ifadeler göz önünde bulundurularak çözüm için en uygun yöntem hakkında karar verilmelidir. Bulanık mantık, sayısal verilerin sözel olarak ifade edildiği durumlarda kullanılan etkin bir yöntemdir.

Günlük konuşma dilinde kullanılan sözel ifadeleri niteleyen ön kelimeler ve sıfatlara (çok, aşağı yukarı, oldukça, biraz, sıklıkla, kabaca gibi) dilsel eşik adı verilir. Geleneksel mantık kavramının temel üç ilkesinden dolayı kullanılamayan dilsel eşikler bulanık mantıkta kullanılabilir.

Bulanık mantık genellikle iki ayrı durumda kullanılabilir. Bunlardan birincisi, incelenen bir olayda yeterli bilginin olmaması ve karmaşık olmasından dolayı kişilerin görüşlerine ihtiyaç duyulmasıdır. İkincisi; incelenen olayda insanların bilgisine, muhakemesine ve karar verme yeteneğine ihtiyaç bulunmasıdır (Şen, 2004).

Mühendislik modellemelerinde, incelenen bir problemin çözümünde kesinliğin artırılması durumunda problemin çözümüne ilişkin maliyetler ve çözüm zamanı

artabilir. Bir problemin çözümünde bulanık mantık uygulanabilmesi için, yapılacak çıkarımların belirli tolerans sınırları içerisinde incelenmesi önemlidir. Problemlerin çözümünde, kesinliğin artırılması problemde karmaşıklığa neden olabilir (Ross, 2004).

Bulanık mantık kavramı iki ayrı anlamda kullanılmaktadır. Dar anlamda, klasik çok değerli mantığın genelleştirilmiş şeklini inceler. Geniş anlamda; bulanık mantık, kesin sonuç yerine yaklaşık çıkarım yolu ile kavramlar, yöntemler ve ilkeleri bir sistem içerisinde tanımlanır (Demicco and Klir , 2004).

Bulanık mantığı, diğer mantık kavramlarından ayırt eden özellikler aşağıda verilmiştir (Alavala,2008).

- Bulanık mantıkta, kesin nedenlere dayalı düşünme ile yaklaşık nedenlere dayalı düşünmenin sınırlı bir durumu olarak incelenir.
- Bulanık mantıkta, her şey  $[0,1]$  aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta, bilgi esnek sınırlar içerisinde yorumlanır.
- Çıkarım, esnek sınırların yayılımının bir işlemi olarak incelenir.
- Her mantık sistemi, bulanık olarak ifade edilebilir.

#### 4.3.1. Belirsizlik kavramı

20. yüzyılın başlarında, matematik ve bilimde, belirsizlik kavramı ile ilgili bir değişim söz konusudur. Geleneksel görüş, belirsizliği istenmeyen bir durum olarak ortaya koymuş ve belirsizliğe neden olan sebepleri önlemek için çözümler aramıştır. Alternatif başka bir görüş ise, “bilim belirsiz olan durumlara katlanmalı ve bilim belirsizlikten kaçamaz görüşüdür”. Geleneksel görüşe göre, bilim de belirliliği ortaya koyan doğruluk, açıklık, kesinlik ve tutarlılık ölçütleri üzerinde çalışmalıdır. Bundan dolayı geleneksel düşünce, belirsizliğini ortaya koyan ölçütleri beklenmeyen, belirli olamayan, tutarlı olmayan ve müphem durumları bilimsel olarak göz önüne almaz. Modern görüşe göre belirsizlik, bilimde göz önüne alınmalıdır. Belirsizlik engel



olunamayan bir durumdur ve belirsizliğe çözüm aranmasının gerçekte büyük bir faydası vardır (Klir and Yuan,1995).

Newton'cu mekanik, matematiksel yöntemlerin ve fiziksel kavramların tanımlandığı klasik mekaniğin ilk aşamasıdır. 19. yüzyılın sonunda, Newton'cu mekaniğin moleküler seviyede problemleri tanımlayamadığı fizikçiler tarafından ortaya konmuştur.

İstatistiksel ortalamaların, mikroskobik varlıklar hakkındaki kesin belirtileri değiştirdiği fark edildiği zaman yeni istatistiksel yöntemler geliştirilmiştir. İstatistiksel yöntemler, çok fazla sayıda mikroskobik varlığın durumlarının özetlenmesine yardımcı olmuştur. Mikroskobik varlıklar, daha sonra uygun makroskobik değişkenler yardımıyla modellenmiştir. Daha sonra, belirsizlik içermeyen yaklaşımların hesaplamaları, istatistiksel yaklaşımdaki olasılık kuramı ile yer değiştirmiştir. Olasılık kuramı, rassal belirsizlik ile ilişkili olan belirsizlik türünü ortaya koymuştur. İstatistiksel yaklaşımların gelişmesinden sonra problemlerdeki belirsizliklerin etkisini göz önüne alan geçen yüzyıl içerisinde bilimde belirsizlik konusunda yeni çözümler aranmıştır. Mantığa uygun güvenilir çözümlerin uygulanması ve aynı zamanda belirsizliğin miktarının ölçülmesi daha sağlam modellerin ortaya konulmasının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Ross, 2004).

19. yüzyılın başından 20. yüzyılın sonuna kadar bilimsel modellerdeki belirsizliğin ölçülmesinde önde gelen kuram olasılık olmuştur. Bu dönemde, bilimde belirsizlik (uncertainty) tanımı yerine müphem (vagueness) tanımı kullanılmaya başlamıştır. Müphem, dilsel veya sezgisel enformasyon ile ilişkili belirsizliğin bir türü olan ifadeleri tanımlamakta kullanılabilir. Örneğin, teknik ressam tarafından çizilen bir çizgi mikroskop altında incelendiğinde soyut geometrideki ideal çizgiden uzak (dalgalı bir çizgi) olduğu görünür. Astronomide “nokta-gezegen”, termodinamikte “mükemmel gaz” ve genetikte “saf türler” gerçek anlamlarında uzaktadırlar. Müphem enformasyona örnek olarak, “verilerin kalitesi iyidir” veya “optik bir nesnenin saydamlığı kabul edilebilir” ifadeleri verilebilir. Nesnelere kesin olarak ayıran sınırlar daha atomik seviyelerde görünür. Matematikçiler mükemmel nesnelere bağlı olarak bir kuram kurarken, deneysel çalışmalar yapan bilim adamları, teorilerindeki yaklaşık doğruları istedikleri nitelikteki nesnelere ölçülmesine dayanarak inceleme yaparlar (Black, 1990).

Özel mühendislik veya bilim problemlerinde enformasyon hakkında yetersiz, kesin olmayan, tamamlanmamış, güvenilmeyen, müphem, çelişkili veya eksik tanımlamalar yapılabilir. Bir problem fazla veriye sahipse, problemin çözümlenmesinde daha az belirsizlik ortaya çıkar. Çok az veriye sahip olan problemler yüksek seviyede belirsizliğe neden olabilirler (Ross, 2004).

Black (1990), kesin sınırlarla açıkça ifade edilemeyen müphem bir önerme tanımlamıştır. Örneğin, ‘bir kişi gençtir’ önermesini inceleyelim. Genç ifadesini farklı kişiler farklı yorumlara bağlı olarak değerlendirebilir. Bir kişinin genç olması göz önüne alınmadığında, bir kişinin yaşına karşı genç görünmesi durumunda yaş konusunda kesin karar verilemez. Bu nedenle önerme müphem olarak tanımlanır. Geleneksel mantık, müphem olan önermeleri belirsiz olarak nitelendirdiği için açıklayamaz. Bu tip önermeleri yorumlamada farklı yöntemler kullanılmalıdır.

Zadeh (1965), bulanık kümeler ile belirsizliğin tanımını ifade etmiştir. Bu çalışmada, iki değerli mantığa dayalı olasılık kuramı ile belirsizliğin betimlenmesinin doğruluğu sorgulanmıştır.

Müphem (vague) ve bulanık (fuzzy) ifadeleri eş anlamlı olarak göz önüne alınmaz. Zadeh (1995), “Genellikle müphem bir önerme bulanıktır, fakat tersi genellikle doğru değildir” ifadesiyle müphem ve bulanık terimleri arasındaki farkı tanımlamıştır.

Zadeh (2002), belirsizlik şekillerini bazı basit örnekler ile ifade etmiştir. Bu durumlar aşağıda verilmiştir.

- “Ben az sonra döneceğim” ifadesi müphem bir durumu gösterir. Bu ifadede zamanın birimi ile ilgili herhangi bir ilişkilendirme yoktur.
- “Ben birkaç dakika içerisinde döneceğim” ifadesi bulanık bir durumu gösterir. Belirsizlik, bilinen en küçük zaman ile ilişkilidir.
- “Ben 2 dakika 6 saniyede döneceğim” ifadesi kesin olmayan bir durumdur. olasılık kuramı ile tam olmayan bu durum ifade edilebilir.

### 4.3.2. Belirsizlik türleri

Belirsizlik, rassallık ve bulanıklık olmak üzere iki türde incelenebilir. Genel olarak, rassallık o olayın meydana gelmesindeki belirsizliğin sayısal ölçümüdür. Rassallığın en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şans olayının rol oynaması ve tahminlerin kesin bir doğrulukla önceden yapılamamasıdır (Baykal ve Beyan, 2004).

Gerçek dünyada karşılaşılan belirsizliklerin tümü rassal karakterde değildir. Birçok problemin çözümünde sayısal bilgi ile beraber görüşlerimizi ve düşüncelerimizi ifade ettiğimiz sözel bilgileri de kullanırız. Rassal karakterde olmayan olayların incelenmesinde kullanılan sözel belirsizlikler “bulanıklık” adını alır.

Belirsizliğin bir türü olan rassallık kavramı olasılık kuramı ile, bulanıklık ise bulanık küme kuramı ile açıklanır.

#### 4.3.2.1. Olasılık kuramı

Olasılık kuramı, matematiğin belirsizlik taşıyan olaylarla ilgilenen bir dalıdır. Bu bilim dalı rassal değişkenleri inceler. Rassal değişken gelecekte bir gözlemede alacağı değer önceden kesinlikle bilinmeyen bir değişkendir. Bir zar atışında gelecek sayı önceden bilinmeyeceğinden rassal değişkendir. Bir yağış ölçüğünde herhangi bir gün gözlenecek yağış miktarını önceden bilmek mümkün olmadığından, günlük yağış miktarı rassal değişkendir (Bayazıt ve Oğuz, 2005).

Rassal değişkenlerin incelenmesinde objektif ve subjektif olasılıklar kullanılabilir. Klasik ve bağıl sıklık tanımlamaları objektif olasılık içerisinde yer alır. Kişisel bir yaklaşım subjektif olasılıkla ifade edilir.

Klasik tanım, bir zarın atılması sonucunda 6 tane olanaklı sonuçtan herhangi birinin diğerlerinden farklı bir olasılıkla gerçekleşmesini etkileyecek bir durum bulunmadığı varsayımına dayanır. Zarın bir kere atılması sonucunda mantıksal bir ön olasılık şeklinde klasik yaklaşım ifade edilebilir.

Bağıl sıklık tanımı, çok defa zarın atılması ile elde edilen sonuçlardan ilgili türden olanların sayısının gelme olasılığı zarın atılma sayısı oranı belirli bir limit değerine yaklaşır varsayımına dayanır. Zarın çok defa atılması sonucunda deneysel bir son olasılık şeklinde bağıl sıklık yaklaşımı ifade edilebilir.

Kişisel görüşlere dayanarak belirlenen olasılıklara subjektif olasılık veya kişisel olasılık adı verilir. Subjektif olasılık gelecekteki bir olay için bireylerin umutlarının ölçüsüdür. Subjektif olasılıklar kişiden kişiye farklılık göstermesinden dolayı genelleştirilemez (Serper, 2004a).

Olasılık kuramının, en önemli sakıncası sezgiye dayalı olan enformasyonu kullanamamasıdır. Çünkü olasılık kuramında sezgilerin anlamını gösterecek ve hesaplamaya katacak bir mekanizma bulunmamaktadır.

#### 4.3.2.2. Klasik küme kuramı

Klasik küme kuramı, aritmetiğin ve mantığın temelini oluşturur. Matematik ve biçimsel nedenleştirmenin en önemli kısmını oluşturduğu söylenebilir. Bu nedenle temel küme işlemleriyle (birleşme ve kesişme), temel mantıksal işlemler (ve, veya ile bağlaçlar) arasında sıkı bir bağ vardır (Baykal ve Beyan, 2004).

Küme, belirli özellikleri tanımlanmış nesnel topluluğu olarak tanımlanabilir. İncelenen olaylar sonucu istenilen karar değişkenleri için belirlenen olabirlikler toplamını içeren topluluğa küme denir (Şen, 2004).

Klasik küme kuramındaki temel mantık üyelik yani ait olmadır. Bir kümede yer alan öğelere o kümenin elemanları denir. Bir olayın sonunda ulaşılacak olabirliklerin her birine küme elemanı denir. Küme elemanları olabirlik taşıyan karar değişkenleridir. Olayın sonunda mutlak küme elemanlarından birine karar verilecektir (Baykal ve Beyan, 2004).

Evrensel küme “X” ile gösterilsin. Evrensel küme, her bir bağlam veya uygulamayı oluşturan kümeler ile ilgili olası tüm elemanları içerir. “A” kümesinin elemanı “x” ile gösterilsin. Eğer “x”; “A” kümesinin elemanı ise “ $x \in A$ ” ile gösterilir. Eğer “x”; A kümesinin elemanı değilse “ $x \notin A$ ” gösterilir (Klir and Yuan, 1995). Klasik küme kuramında, bir eleman bir kümeye ya aittir ya da değildir. Bir A kümesine ait olan elemanlar çeşitli yollarla tanımlanabilir (Hanss, 2005).

Elemanların özelliklerinin tanımlanması yöntemi matematiksel olarak aşağıda gösterilmiştir:

$$A = \{x \mid A(x)\} \quad (4.1)$$

$$A(x) = \text{'x, 10 ile 20 arasındaki tek sayılar'} \quad (4.2)$$

Elemanların listelenmesi yöntemi aşağıda matematiksel olarak gösterilmiştir.

$$A = \{x \mid x; 11,13,17,19\} \quad (4.3)$$

Karakteristik fonksiyonu “ $\mu_A$ ” kullanılarak klasik küme elemanları aşağıda matematiksel olarak gösterilmiştir.

$$\mu_A : X \rightarrow \{0,1\}$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x = 11,13,17,19 \\ 0, & \text{yoksa} \end{cases} \quad (4.4)$$

Eğer, “ $\mu_A(x)=1$ ” ise elemanın kümeye üye olduğunu ve “ $\mu_A(x)=0$ ” ise elemanın kümeye üye olmadığını gösterir.

#### 4.3.2.3. Bulanık küme kuramı

Zadeh, (1965), bulanık kümeleri üyelik dereceleri sürekli olan elemanların sınıfı olarak tanımlamıştır. Böyle bir kümenin her bir elemanının üyelik derecesi  $[0,1]$  arasında her bir elemana atanan üyelik (karakteristik) fonksiyonu ile karakterize edilir. Gerçek dünyada karşılaşılan nesnelerin sınıfları kesin bir şekilde tanımlanamaz. Örneğin, “muhtemel rezerv olan bloklar” veya “yüksek dayanımı olan kayaçlar” şeklinde tanımlanan sınıflar klasik kümeler kuramı ile oluşturulamaz. Böyle kesin olarak tanımlanamayan sınıfları insan yaklaşık düşünme ve çıkarım yolu ile zihinde canlandırarak çözümlenmeye çalışır.

Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık küme kuramı belirsiz kavramların matematiksel olarak ifade edilmesidir. Bulanık küme kuramı ortaya atılıncaya kadar

belirsizlikle ilgili matematiksel işlemler yalnızca olasılık kuramı ile modellenmiştir (Baykal ve Beyan, 2004). Bulanık küme kuramında, ölçmeye değil sezgiye dayalı enfomasyonda kullanılabilir.

Bulanık mantık alanı içerisinde bulanık küme kuramını kullanmak için, bulanık kümelerin üyelik dereceleri ile bulanık önermelerin gerçeklik dereceleri arasında bir ilişki kurmak gereklidir (Demicco and Klir, 2004).

“ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesinin, “ $X$ ” evrensel kümesinde tanımlanan üyelik fonksiyonu “ $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ” aşağıda matematiksel olarak gösterilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0,1] \quad (4.5)$$

Her bir “ $x \in X$ ” için “ $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ” değeri “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesinde, “ $x$ ” elemanın “ $X$ ” evrensel kümesindeki üyelik derecesi olarak tanımlanır.

Klasik kümelerle bulanık kümeler arasındaki fark şu örnekle açıklanabilir. Dışarıda mümkün olan hava sıcaklıkları olarak tanımlanan “ $x$ ” elemanlarını sürekli ve sayılamayan “ $X$ ” evrensel kümesinin klasik bir kümesi olarak tanımlayalım. “Donma sıcaklığı” olarak tanımlanan “ $A$ ” klasik kümesi elemanlarının listelenmesi yöntemiyle matematiksel olarak gösterimi aşağıda tanımlanmıştır.

$$A = \{x \in X \mid x \leq 0\} \quad (4.6)$$

“ $A$ ” klasik kümesi karakteristik fonksiyonunun matematiksel olarak gösterimi aşağıda tanımlanmıştır:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{ için } x \leq 0 \\ 0 & \text{ için } x > 0 \end{cases}, x \in X \quad (4.7)$$

Bu sebeple, “ $A$ ” klasik kümesinin niteliği matematiksel olarak gösterimi aşağıda tanımlanmıştır:

$$A(x) = "x, donma sıcaklığıdır." \quad (4.8)$$

Burada; “A” klasik kümesi müphem olmayacak şekilde tanımlanmıştır. Bu kümeye ait elemanların ayırımları açık bir şekilde yapılmıştır. “A” klasik kümesine bir eleman ya aittir ya da değildir.

“ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesini “düşük sıcaklıklar” olarak tanımlayalım. Sıcaklıkların sınıflandırılmasında “düşük sıcaklık” ve “soğuk” şeklinde tanımlanan iki küme birbirinden farklıdır. Çünkü iki kümenin de tanımlanması kişisel bakış açısına bağlıdır. Bununla beraber, bu tanımlanan kümelere kesinlikle ait olan elemanların içerisinde bulunduğu evrensel küme için açık bir fikir ayrılığı söz konusudur.

“Düşük sıcaklık” kümesinin bulanık niteliğinin matematiksel olarak gösterimi aşağıda tanımlanmıştır:

$$\tilde{A}(x) = "x, düşük sıcaklık" \quad (4.9)$$

“ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesi tanımından dolayı klasik küme bulanık kümeye doğru genişler. Burada; “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesine ait elemanların üye olması ve üye olmamasına ilaveten iki grup arasında dereceli bir geçişin sağlanmasını olabilirlik kavramı sağlar.

Evrensel kümeden sağlanan elemanlar sadece belirli bir kümeye ait olması veya ait olmaması ile değil bununla beraber belirli bir dereceyle bir kümeye ait olması ile klasik kümeler genelleştirilerek bulanık kümelere bir geçiş sağlanabilir.

Genellikle, “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesinin, “X” evrensel kümesinin “x” elemanlarından oluşan çiftlerin bir kümesi ve “ $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ” varsayılan üyeliğin kesin derecesi aşağıda matematiksel olarak gösterilmiştir:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]\} \quad (4.10)$$

“X” evrensel kümesindeki “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesinin genel gösterimi aşağıda verilmiştir:

$$\tilde{A} = \{\mu_{\tilde{A}}(x), x\} = \{\mu_{\tilde{A}}(x)/x\} \quad (4.11)$$

“ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesi; veri kümesindeki her “ $x_i$ ” değerinin üyelik derecelerine göre gösterimi aşağıda ifade edilmiştir:

$$\tilde{A} = \{\mu_{\tilde{A}}(x_1), x_1 + \mu_{\tilde{A}}(x_2), x_2 + \dots + \mu_{\tilde{A}}(x_i), x_i\} \quad (4.12)$$

“ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesi; veri kümesindeki her “ $x_i$ ” değeri için kesikli olması durumunda aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\tilde{A} = \left\{ \sum \mu_{\tilde{A}}(x_i)/x_i \right\} \quad (4.13)$$

$$0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$$

“ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesinin sürekli olması durumunda, üyelik fonksiyonu aşağıda matematiksel olarak gösterilmiştir:

$$\tilde{A} = \left\{ \int \mu_{\tilde{A}}(x_i)/x_i \right\} \quad (4.14)$$

Bölme işareti “/” üyelik derecesine üyelik fonksiyonu ile atanan değeri ifade etmektedir. “ $\sum$ ” ve “ $\int$ ” işaretleri küme öğelerinin topluluğunu belirtmektedir.

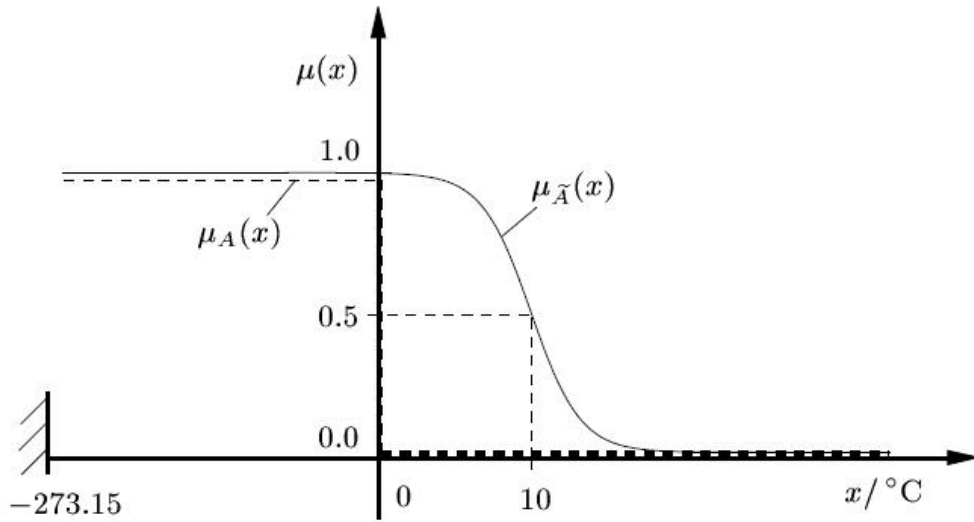
Küme elemanları sonlu ve sayılabilir ise kesikli bulanık kümeler listelenebilir. Üyelik derecesi sıfır olan elemanlar genellikle ihmal edilir. Kesikli bir bulanık küme liste şekil gösterimi aşağıda gösterilmiştir:

$$\tilde{A} = \{(1, 0.2), (2, 0.5), (5, 1.0), (7, 0.9), (9, 0.5)\} \quad (4.15)$$



“X” evrensel kümesinde “ $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ” üyelik fonksiyonunu tanımlanırsa, düşük sıcaklık bulanık kümesi “ $\tilde{A}$ ”nın sürekli üyelik fonksiyonu eşitlik 4.16’da tanımlanmıştır (Hanss, 2005). Düşük sıcaklık, karakteristik fonksiyonu “ $\mu_A(x)$ ” ve üyelik fonksiyonu “ $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ” ile Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

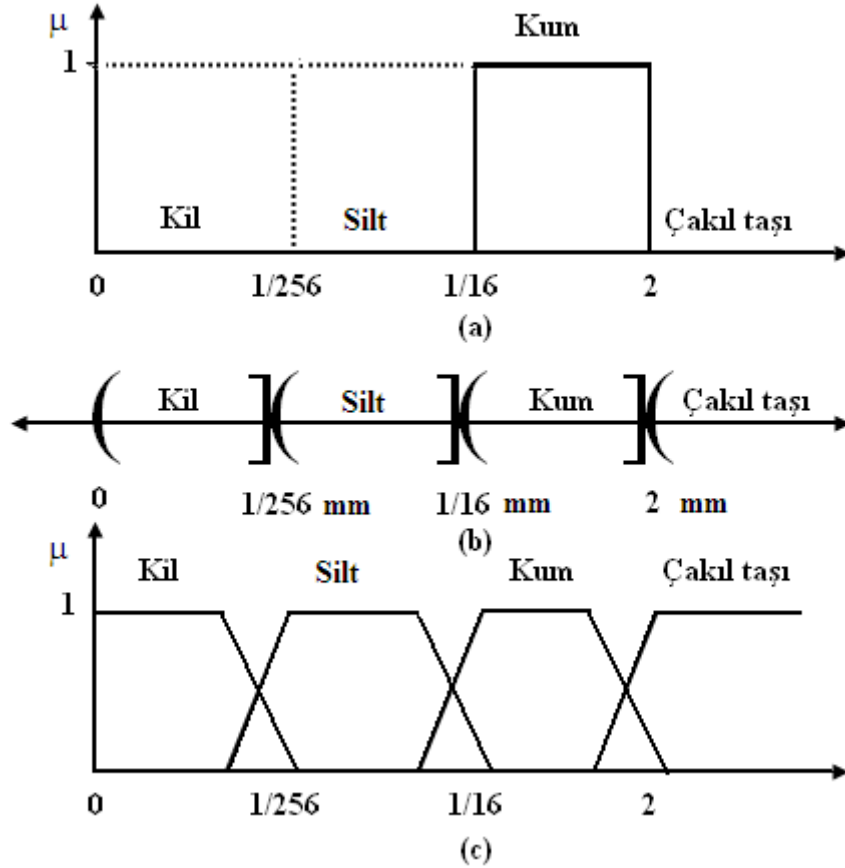
$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{1}{1 + \exp(x-10)}, x \in X \quad (4.16)$$



Şekil 4.1. Karakteristik fonksiyon  $\mu_A(x)$  ve üyelik fonksiyonunun  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  olası gerçekleşmesi

Karakteristik fonksiyon ile üyelik fonksiyonunun karşılaştırılması ile ilgili diğer bir örnek ise jeologların kil, silt, kum, ve çakıl taşı gibi sedimanter tanelerin boyutunu tanımlamakta kullandıkları birbirine benzer terimlerdir. Tanelerin boyutunu birbirinden ayırt etmek oldukça zordur. 1.999 mm çapı olan küresel tane kumdur, oysa ki 2.001 mm çapı olan küresel tane çakıl taşıdır. Eğer klasik küme kuramı ile açıklanacak olursa, (1/16-2]mm boyutları arasında olan taneler kum kümesi içerisinde yer alır ve karakteristik fonksiyon 1 değerini alır. Bulanık küme ile üyelik derecesi verilmiş olan bir küme [0,1] arasında herhangi bir değer alabilir. Bulanık küme varsayımına göre 1.999 mm ile 2.001 mm arasındaki tane çapına sahip malzeme kum ve çakıl taşı kümelerine eş zamanlı olarak üyedirler. Yaklaşık 0.5 üyelik derecesine sahiptirler.

Sedimanter tanelerin boyutları trapez üyelik fonksiyonu ile tanımlanabilir (Demicco and Klir, 2004). Kıl, silt, kum ve çakıl taşı tane boyutlarının klasik kümelerle gösterimi Şekil 4.2a, tane boyutunun ölçeği Şekil 4.2b, ve bulanık kümelerle gösterimi Şekil 4.2c'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sedimanter tane boyutu a) karakteristik fonksiyonu b) ölçeği c) üyelik fonksiyonu

#### 4.4. Bulanık Kümelerde Temel İşlemler

Bulanık küme kuramı, siyah ve beyaz olan klasik küme kuramının iki değerli karakteristik fonksiyonunun grinin tonları şeklinde üyelik fonksiyonu ile ifade edilmesidir. Bu durum klasik küme kuramındaki çelişmezlik “ $(\bar{A} \cap A = \emptyset)$ ” ve üçüncünün olmazlığı “ $(\bar{A} \cup A = X)$ ” ilkelerini ortadan kaldırır. Bu nedenle bulanık kümenin bir elemanının bir kümenin tümleyeni içinde yer alabilmesi mümkündür.

Örnek olarak, yüksek kalorili kömürler ve düşük kalorili kömürler şeklinde iki bulanık kümemiz olsun. “Q” numunesi yüksek kalorili kömürler kümesinin 0.3 üyelik derecesi ile elemanı ise düşük kalorili kömürler kümesinin 0.7 üyelik derecesi ile elemanı olacaktır. “Q” numunesinin kendisi ve tümleyeni her iki kümenin de aynı anda elemanı olmaktadır. Bu durum klasik küme kuramındaki çelişmezlik ve üçüncünün olmazlığı ilkeleri ile çatışmaktadır.

Bulanık kümeler, klasik kümelerdeki matematiksel işlemlere benzer ilişkilere sahiptir. Bu ilişkiler, bulanık modellemenin çeşitli aşamalarında kullanılmaktadır ve problemlerin çözümlerini doğrudan etkilemektedir.

Bulanık küme işlemlerinde kesişim, birleşim ve tümleme operatörleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Üç temel operatör özellikle kural tabanlı bulanık modelleme süreçlerinde önem kazanmaktadır.

#### 4.4.1. Bulanık kümelerde kesişim işlemi

“ $\tilde{A}$ ” ve “ $\tilde{B}$ ” bulanık kümelerinin kesişim işlemi, “X” evrensel kümesi içindeki “x” değeri eşitlik 4.17’de tanımlanmıştır.

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \wedge(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) \quad (4.17)$$

Burada “ $\wedge$ ” işlemcisi minimum alma işlemidir. “ $\tilde{A}$ ” ve “ $\tilde{B}$ ” bulanık kümelerinin kesişiminin diğer bir gösterimi eşitlik 4.18’de belirtilmiştir.

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) \quad (4.18)$$

“ $\tilde{A}$ ” ve “ $\tilde{B}$ ” bulanık kümelerinin kesişimi sonucunda olası çözümler eşitlik 4.19 ve 4.20’de verilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x) \text{ ve } \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (4.19)$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x) > \mu_{\tilde{B}}(x) \text{ ve } \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (4.20)$$

#### 4.4.2. Bulanık kümelerde birleşim işlemi

“ $\tilde{A}$ ” ve “ $\tilde{B}$ ” bulanık kümelerinin birleşim işlemi, “ $X$ ” evrensel kümesi içindeki “ $x$ ” değeri eşitlik 4.21’de tanımlanmıştır.

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \vee(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) \quad (4.21)$$

Burada; “ $\vee$ ” maksimum alma işlemidir. “ $\tilde{A}$ ” ve “ $\tilde{B}$ ” bulanık kümelerinin birleşimine ait diğer bir gösterim eşitlik 4.22’de belirtilmiştir.

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} = \text{mak}(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) \quad (4.22)$$

“ $\tilde{A}$ ” ve “ $\tilde{B}$ ” bulanık kümelerinin birleşimi sonucunda olası çözümler eşitlik 4.23 ve 4.24’te verilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \geq \mu_{\tilde{B}}(x) \text{ ve } \text{mak}(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (4.23)$$

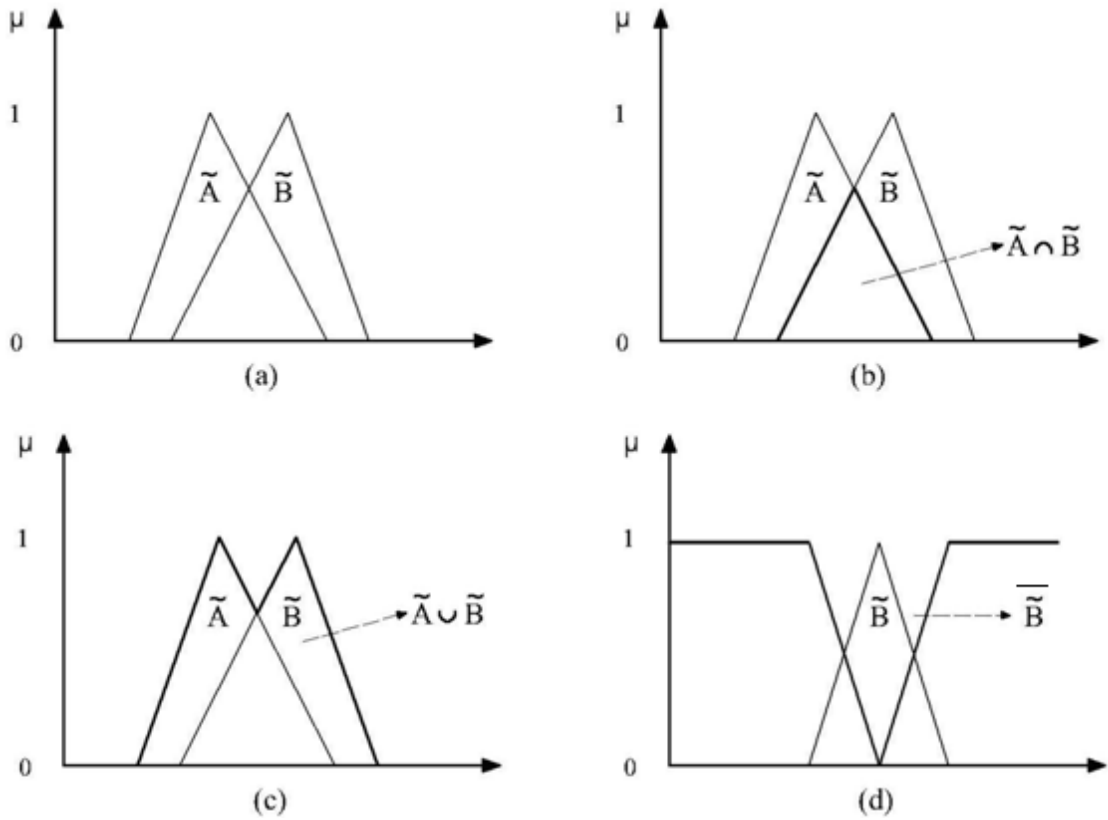
$$\mu_{\tilde{A}}(x) < \mu_{\tilde{B}}(x) \text{ ve } \text{mak}(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (4.24)$$

#### 4.4.3. Bulanık kümelerde tümlenme işlemi

“ $\tilde{B}$ ” bulanık kümesinin tümleneni “ $\tilde{\tilde{B}}$ ” şeklinde gösterilir. “ $\tilde{B}$ ” bulanık kümesinin tümleneni oluşturan elemanların üyelik derecesi eşitlik 4.25’te tanımlanmıştır.

$$\mu_{\tilde{B}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (4.25)$$

“ $\tilde{A}$ ” ve “ $\tilde{B}$ ” bulanık kümeleri Şekil 4.3a, kesişim işlemi Şekil 4.3b, bileşim işlemi Şekil 4.3c ve tümlenme işlemi Şekil 4.3d’de gösterilmiştir.



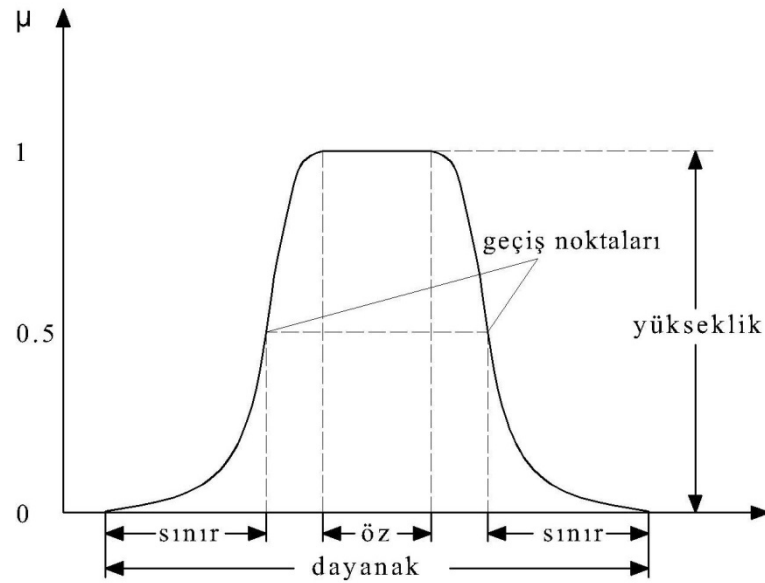
Şekil 4.3. Bulanık küme işlemleri: a) bulanık kümeler, b) kesişim, c) birleşim, d) tümlenme

#### 4.5. Üyelik Fonksiyonları

Bir bulanık kümenin bulanıklığı üyelik fonksiyonu ile karakterize edilir. Üyelik fonksiyonu ile bir kümenin elemanı kesikli veya sürekli olsun veya olmasın gösterilebilir. Fakat, üyelik fonksiyonlarının matematiksel bir fonksiyonla tanımlanması uygundur.

#### 4.5.1. Üyelik fonksiyonlarının özellikleri

Bulanık kümeyi tanımlayan enformasyonun üyelik fonksiyonu üzerinde gösterilecek olması, fonksiyonunun önemini artırmaktadır. Bulanık küme işlemlerinde, problem yapısına uygun, enformasyonu temsil edecek fonksiyonun seçilmesi gerekmektedir. Üyelik fonksiyonunun yapısını oluşturan değişkenler; yatay eksen üzerinde veri değerlerinden, düşey eksen üzerinde ise üyelik derecelerinden oluşur. Üyelik fonksiyonunun sürekli ve kesikli fonksiyonlarda değişmeyen yatay eksen üzerindeki yapısal bileşenleri; öz (core), dayanak (support), ve sınır (boundary); düşey eksen üzerindeki yapısal bileşenleri yükseklik (height) ve geçiş noktası (crossover point) Şekil 4.4'de gösterilmiştir (Sivanandam et.al, 2007).



Şekil 4.4. Bulanık üyelik fonksiyonunun özellikleri

Öz; “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesini tam üyelik derecesi ile karakterize eden evrensel bölgeyi tanımlar. “ $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ ” şartını sağlayan evrensel kümenin elemanlarını kapsar.

Dayanak; “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesini sıfırdan büyük üyelik derecesi ile karakterize eden evrensel bölgeyi tanımlar. “ $\mu_{\tilde{A}}(x) > 0$ ” şartını sağlayan evrensel kümenin elemanlarını kapsar.

Sınır; “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesini sıfır ve tam üyelik derecesi arasında karakterize eden evrensel bölgeyi tanımlar. “ $0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$ ” şartını sağlayan evrendeki elemanları kapsar.

Geçiş noktası; “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesinin üyelik derecesinin 0.5’e eşit olduğu noktadır. “ $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0.5$ ” ifadesi geçiş noktasını gösterir.

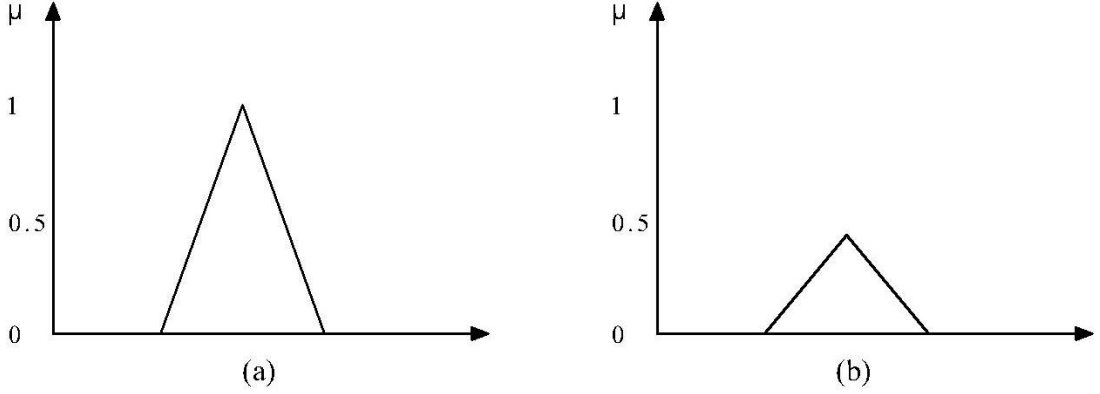
Yükseklik; “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesini üyelik derecesinin maksimum olduğu noktadır. “ $\max(\mu_{\tilde{A}}(x))$ ” ifadesi yüksekliği belirtir (Ross, 2004).

#### 4.5.2. Bulanık kümelerin sınıflandırılması

Bulanık kümeler üyelik fonksiyonlarına göre sınıflandırılabilir. Bulanık kümeler, üyelik fonksiyonlarına göre normal, normalin altı, dış bükey ve dış bükey olmayan bulanık küme şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bir üyelik fonksiyonu normal ve dışbükey bulanık küme özelliklerini taşımaktadır (Baykal ve Beyan, 2004).

Eğer üyelik fonksiyonunun en az bir elemanının üyelik derecesi evrende 1’e eşitse normal bulanık küme olarak tanımlanır. Şekil 4.5a’da normal bulanık küme gösterilmiştir

Eğer üyelik fonksiyonunun üyelik değerleri 1’den az ise, normalin altı bulanık küme olarak tanımlanır. Şekil 4.5b’de normal altı bulanık küme gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Bulanık küme sınıfları: a) normal bulanık küme, b) normalin altı bulanık küme

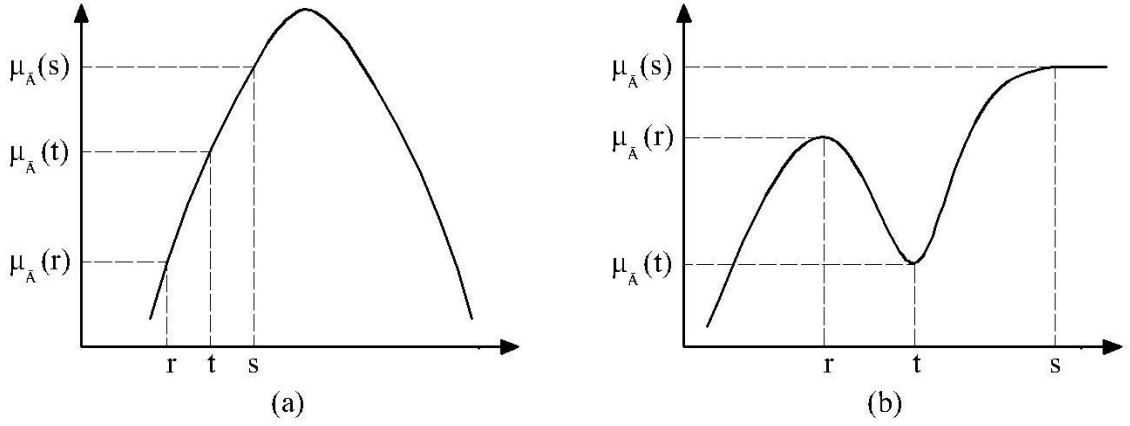
Eğer üyelik fonksiyonun üyelik değeri monoton bir şekilde artıyorsa veya azalıyorsa ya da üyelik değerleri evrendeki elemanların artış değerleri ile hem monoton artıyor hem de azalıyorsa “ $\tilde{A}$ ” bulanık küme olarak tanımlanır. N-boyutlu bir Euclidian vektör uzayı olan “ $R^n$ ”de bir evrensel “ $X$ ” kümesini tanımladığımızı kabul edelim. Tüm “ $\lambda$ ” kesim kümeleri dışbükey ise bu “ $\lambda$ ” kesim kümelerinin bulanık kümesi dışbükeydir. Dış bükey bulanık kümesi aşağıda matematiksel olarak tanımlanmıştır:

$$\mu_{\tilde{A}}(t) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(r), \mu_{\tilde{A}}(s)) \quad (4.26)$$

Burada; “ $t = \lambda r + (1-\lambda)s, r, s \in R^n, \lambda \in [0,1]$ ” şartı sağlanıyorsa “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesi dışbükeydir (Lee, 2005). Şekil 4.6a’da dış bükey bulanık küme gösterilmiştir.

Dış bükey olmayan küme, eğer üyelik fonksiyonun üyelik değeri monoton bir şekilde artmıyorsa veya azalmıyorsa ya da üyelik değerleri evrendeki elemanların artış değerleri ile hem monoton artmıyorsa hem de azalmıyorsa “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesi dış bükey olmayan bulanık küme olarak tanımlanır. Şekil 4.6’da dış bükey olmayan bulanık küme gösterilmiştir.



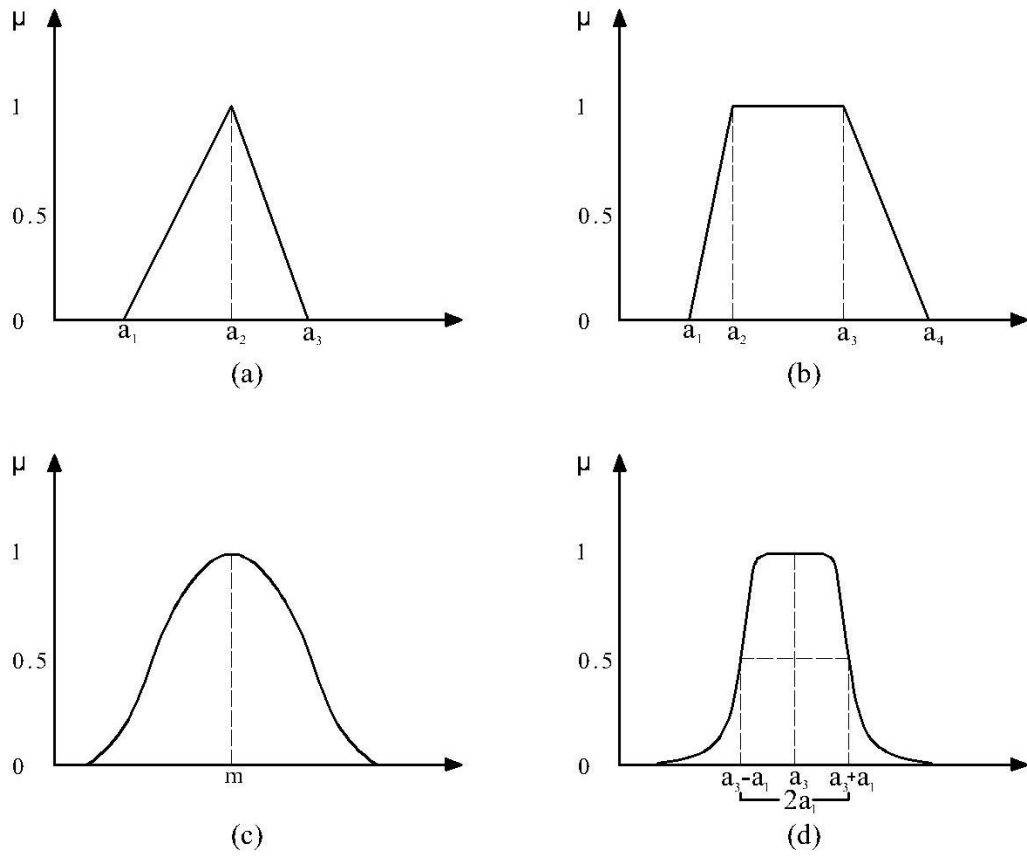


Şekil 4.6. Üyelik dereceleri a) dış bükey bulanık küme, b) iç bükey bulanık küme

Kesişen iki dışbükey bulanık küme oluşturulursa, kesişen kısım da dış bükey bulanık kümedir (Sivanandam et.al, 2007).

#### 4.5.3. Üyelik fonksiyonu türleri

Çok sayıda üyelik fonksiyonu olmasına karşın uygulamada yaygın olarak 4 tür fonksiyondan yararlanılmaktadır. Bunlar; üçgen (triangular), yamuk (trapezoid), Gauss dağılım (gaussian) ve çan eğrisi şekilli (bell-shaped) üyelik fonksiyonlarıdır. Şekil 4.7’de üyelik fonksiyonlarının tipleri gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Üyelik fonksiyonlarının tipleri a) üçgen, b) yamuk, c) gauss, d) çan eğrisi şekilli

Uygulamada üyelik fonksiyonu bir dereceye kadar keyfi olarak seçilir. Üyelik fonksiyonlarının tipi özel modelleme konusuna bağlıdır. Üyelik fonksiyonlarının seçimi hakkında genel bir kural yoktur. Hangi fonksiyonun daha uygun olup olmayacağı, çalışılan uygulama alanından elde edilen verilere bağlıdır.

#### 4.5.3.1. Üçgen üyelik fonksiyonu

Bir üçgen üyelik fonksiyonu  $\{a_1, a_2, a_3\}$  şeklinde ifade edilen 3 parametre ile tanımlanır (Baykal ve Beyan, 2004). Üçgen üyelik fonksiyonu eşitlik 4.27'de tanımlanmıştır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise } (a_3 - x)/(a_3 - a_2) \\ x > a_3 \text{ veya } x < a_1 & \text{ise } 0 \end{cases} \quad (4.27)$$

#### 4.5.3.2. Yamuk üyelik fonksiyonu

Bir yamuk üyelik fonksiyonu  $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$  şeklinde ifade edilen 4 parametre ile tanımlanır. Üçgen üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonunun özel bir durumudur. Üçgen üyelik fonksiyonu eşitlik 4.28’de tanımlanmıştır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise } 1 \\ a_3 \leq x \leq a_4 & \text{ise } (a_4 - x)/(a_4 - a_3) \\ x > a_4 \text{ veya } x < a_1 & \text{ise } 0 \end{cases} \quad (4.28)$$

Formüllerin basit oluşu ve işlemlerin etkinlikleri açısından hem üçgen hem de yamuk üyelik fonksiyonları çeşitli bulanık mantık uygulamalarında oldukça sık kullanılan fonksiyonlardır.

#### 4.5.3.3. Gauss üyelik fonksiyonu

Bir Gauss üyelik fonksiyonu  $\{m, \sigma\}$  şeklinde ifade edilen 2 parametrele ile tanımlanır. Gauss üyelik fonksiyonu eşitlik 4.29’da tanımlanmıştır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x; m, \sigma) = e^{-\left(\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (4.29)$$

Bu fonksiyon “m” fonksiyon merkezini ve “σ” da genişliğini ifade eder. “m” ve “σ” değerini değiştirerek, fonksiyonun şekli değiştirilebilir. Eğer “σ” küçük olursa üyelik fonksiyonu daha dar olurken, bu değer büyüdükçe üyelik fonksiyonu gittikçe genişleyecektir.

#### 4.5.3.4. Çan eğrisi şekilli üyelik fonksiyonu

Bir çan eğrisi şekilli üyelik fonksiyonu  $\{a_1, a_2, a_3\}$  şeklinde ifade edilen 3 parametre ile tanımlanır. Çan eğrisi şekilli üyelik fonksiyonu eşitlik 4.30'da tanımlanmıştır

$$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \left\{ \frac{1}{1 + \left| \frac{x - a_3}{a_1} \right|^{a_2}} \right\} \quad (4.30)$$

#### 4.6. Bulanık Sistem

Bulanık sistem, belirli bir reel sayı aralığında belirtilen bazı evrensel kümelerdeki her bir değişkenin bulanık kümeler ile tanımlandığı herhangi bir sistemi belirtir (Demicco and Klir, 2004)

Bulanık sistemler, bulanık kümeler, bulanık mantık veya yaklaşık muhakeme kavramlarının kullanılması ile bir problemdeki karmaşık girdinin-çıktının tanımlanmasını sağlar. Bulanık kümeler, bir sistemin davranışını tanımlamakta kullanılan enformasyonun genelleştirilmesinde kullanılır. Birçok maden ve jeoloji mühendisliği probleminin kesin olmaması akla uygundur. Belirli süreçleri tanımlamak için maden ve jeoloji mühendisleri tarafından kullanılan birçok sınıfın belirsiz olması ve ölçülmesinin zor olması bunun temel nedenidir. Bulanık sistemler, genel fonksiyonu tahmin olan bir işlemcidir. Bunun anlamı, bulanık modeller istenilen kesinlik dereceleri ile yaklaşık olarak herhangi bir fonksiyon veya ilişki için kullanılabilir. Dahası, bulanık modeller lineer olmayan ve dinamik sistemlerin daha kesin olarak çözümünde uygulanabilir (Grima, 2000).

Bulanık sistemler, anlaşılabilir ve yorumlanabilir olarak tanımlanır. Fakat gerçekte, kara-kutu modelleri (black-box tool) olarak da ifade edilen bulanık modeller birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılır. Bulanık modeller, ölçülen veriler

tarafından oluşturularak, özellikle bulanık kurallardan anlamlı ilişkiler ortaya koyar (Grima, 2000).

Bulanık sistemlerin kullanılmasının iki genel faydası vardır:

Bulanık sistemlerin birinci faydası, analitik fonksiyonların veya sayısal ilişkilerin olmadığı durumlarda sistemin çözümü kesin olmamaktadır. Bundan dolayı, bulanık sistemler analitik hesaplama olmadan yoksun karmaşık sistemleri anlamak için yüksek potansiyele sahiptir. Karmaşık sistemler, kontrol edilmemiş yeni sistemler olabilir. Gerçek hayatta karmaşık sistemlerin, herhangi bir geleneksel mantık ile kontrol edilmesi veya analitik olarak incelenmesi zordur. Girdi ve çıktıları çok fazla olan sistemlerin sebepleri ve sonuçları arasında bir ilişki kurulamaz. Karmaşık sistemlerde gözlem yapılabilir ve çözümler bir dereceye kadar yaklaşıktır (Ross, 2004). Örneğin, çok sayıda doğrusal olmayan denklemlerin eş zamanlı olarak çözülmesi kaotik (buhranlı) çözümlere neden olabilir (Şen, 2004).

Bulanık sistemler kuramının ikinci faydası, daha az karmaşık sistemlerin değerlendirilmesinde kullanılabilirliğidir. Örneğin, bazı problemlerin tam çözümleri her zaman gerekli değildir. Yaklaşık, ancak hızlı çözüm ilk hazırlanan tasarım kararlarında faydalı olabilir. Hesaplama maliyetlerinden kazanmak için daha kesin sayısal tekniklerin başlangıç tahminleri veya bir problemin girdilerinin müphem, belirsiz veya tam bilinmemesi durumlarının çok sayıda olması durumunda kullanılabilir (Ross, 2004). Birçok gerçek sistem doğrusal olmamasına rağmen bunların klasik yöntemlerle incelenmesinde doğrusallık kabulünü işin içine koymak için her türlü çaba sarf edilir. Bir malzemenin gerilim altında kalması sonucu doğrusal şekil değiştirmelerin meydana geleceği, Hooke kanunu ile tanımlanmıştır. Fakat, malzemelerde küçük de olsa bazı doğrusal şekil sapmaları meydana gelebilir. Malzemelerde bu küçük sapmalardan meydana gelen belirsizlikleri göz önüne alan emniyet katsayısı hesaplamalara katılır. Fakat, gerçek olayların davranışlarının incelenmesinde emniyet katsayısı kullanılmadan sistemin çözümlenmesi durumunda belirsizlik ilkelerine gerek duyulabilir (Şen, 2004).

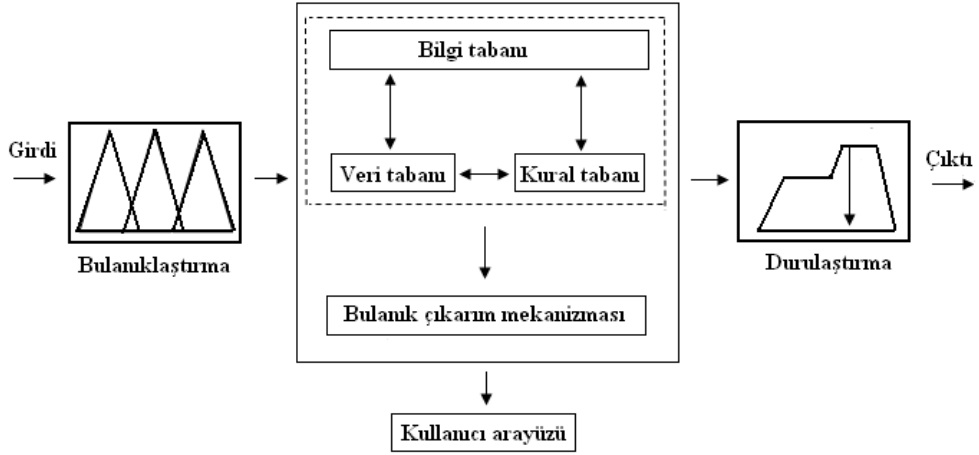
Genel olarak değişkenler sayısal değerler alırlar. Eğer bir değişkene sözel terim atanırsa dilsel değişken adını alır. Bulanık sözel değişkenler bulanık yüklem ve bulanık sıfat olarak iki parçadan oluşurlar. Örnek olarak “z pahalıdır” veya “w gençtir”

önergelerinde “pahalı” ve “genç” öncül terimleri bulanık yüklemidir. Bulanık sıfatlar da, öncül terimleri niteleyen çok az, az, orta, büyük gibi kelimelerdir. Örnek olarak “z çok gençtir” veya “w çok pahalıdır” önergelerinde öncül terimleri niteleyen “çok” değişkeni bulanık bir sıfattır (Baykal ve Beyan, 2004). Bulanık sistemler, dilsel değişkenlerle ifade edilirler. Her bir dilsel değişken, reel sayıların belirli bir aralığı içerisinde reel sayı farz edilen bir temel değişkene dayanarak tanımlanır (Demicco and Klir, 2004).

Bir bulanık model içerisindeki ana modüller aşağıda belirtilmiştir.

- Bulanıklaştırma,
- Veri tabanı, kural tabanı ve çıkarım motoru içeren dönüştürücü bilgi tabanı,
- Durulaştırma.

Bulanıklaştırıcı, dilsel değerler içerisinde bulunan sayısal değerlerin dönüştürme işlemini gerçekleştirir. Bilgi tabanı, depolanan veri tabanı ve kural tabanında bulunan dilsel bulanık “*eğer-o zaman*” (if-then) kurallarının sistem bilgisini içerir. Bulanık çıkarım mekanizması, bulanık modelin temelini oluşturur. Bulanık modelin ana fonksiyonu insan düşüncesine ve muhakemesine yaklaşık bir sistem oluşturmaktır. Durulaştırma, tanımlanan ve kuralları oluşturulan bulanık kümelerin sayısal değerlere (crisp value) dönüşmesini sağlar (Grima, 2000). Genel bulanık sistem Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Genel bulanık sistem

#### 4.6.1. Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, bulanık mantık kuramında en önemli kavramlardan biridir. Bulanıklaştırma kesin niceliklerin bulanık değerlere dönüştürülmesi işlemidir. Bulanık değerlerin dönüşümü üyelik fonksiyonları ile tanımlanır. Herhangi bir uygulamada ihmal edilebilir hatalar olabilir. Bu durumda veriler belirsizdir. Bu belirsizlik üyelik fonksiyonları ile tanımlanabilir.

Bulanıklaştırma işlemi verilen kesin nicelikler için üyelik fonksiyonlarının atanmasını içermektedir (Sivanandam et al., 2007).

#### 4.6.2. Kural tabanı

“Eğer-o zaman” şeklindeki kurallar “eğer” ile “o zaman” kelimeleri arasında kalan kısımlara öncül kısım ve “o zaman” kelimesinden sonra olan kısma da soncul kısım veya kural çıkarımı adı verilir. Genel olarak, öncül kısımda olayla ilgili koşulları içeren ifadeler vardır. Soncul kısmı ise daha ziyade kontrol ile ilgilidir. Eğer- o zaman kuralları aşağıdaki şekilde gösterilir:

Eğer “x” “A” ise o zaman “y” “B”dir. Burada “x” ve “y” bulanık değişkenler, “A” ve “B” bulanık değerlerdir. Öncül kısım içerisinde “VE” ve “VEYA” gibi bulanık mantık bağlaçları kullanılabilir.

#### 4.6.3. Durulaştırma

Durulaştırma, bulanık değerlerden kesin niceliklere dönüşümü ifade eder. Üretilen bulanık sonuçlar uygulamalarda olduğu gibi kullanılamaz. Bundan dolayı, ileri işlemler için bulanık değerlerin kesin değerlere dönüşürülmesi gereklidir (Sivanandam et al., 2007). Genel olarak, “Z” evrensel kümesindeki bir “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesinin değerlerinden kesin nicelikler elde etmek için farklı durulaştırma yöntemleri kullanılabilir. İdeal bir durulaştırma yöntemleri aşağıdaki ltleri sağlamalıdır (Hellendorn and Thomas, 1993):

- Durulaştırma yöntemlerinde bir bulanık modelin girdilerindeki kk değişimler çıktılarında büyük değişimlere sebep olmamalıdır.
- Durulaştırma yöntemi her zaman tek çıktı değeri ile sonuçlanmalıdır
- Durulaştırma işleminde seçilen yöntemin çözümü hızlı olmalıdır.
- ıktı, bulanık kümenin dayanak bölgesinin ortasından yaklaşık olarak geçmelidir.
- Eğer toplam çıktı bulanık kümesinde üst üste binen (overlapping parts) kısımlarını toplarlarsa durulaştırma yönteminde ağırlıklar göz önünde bulundurulmalıdır.

Yaygın olarak kullanılan durulaştırma yöntemlerinden hiçbiri ölçütlerin hepsini sağlamamaktadır (Grima, 2000).

Her bulanık çıkarım sisteminin sonucu açık bir Şekilde bulanık kümedir. Bir bulanık küme tek gerçek bir sayıya durulaştırma yöntemleriyle dnşrlebilir. Literatürde tanımlanan farklı durulaştırma yöntemleri arasında en sık kullanılan yöntem ağırlık merkezidir (Demicco and Klir, 2004).



#### 4.6.3.1. Bulanık kümelerin lambda ( $\lambda$ ) kesimleri

“ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesi “ $\lambda$ ” kesim kümesi “ $A_\lambda$ ” ile gösterilir. Burada; “ $\lambda$ ”değeri ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ) ile tanımlanan değerler arasında değişir. “ $A_\lambda$ ” kümesi, “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesinin “ $\lambda$ ” kesim kümesi ( veya alfa ( $\alpha$ ) kesim kümesi ) olarak adlandırılan klasik kümesidir. “ $A_\lambda$ ” kesim kümesi eşitlik 4.31’de gösterilmiştir.

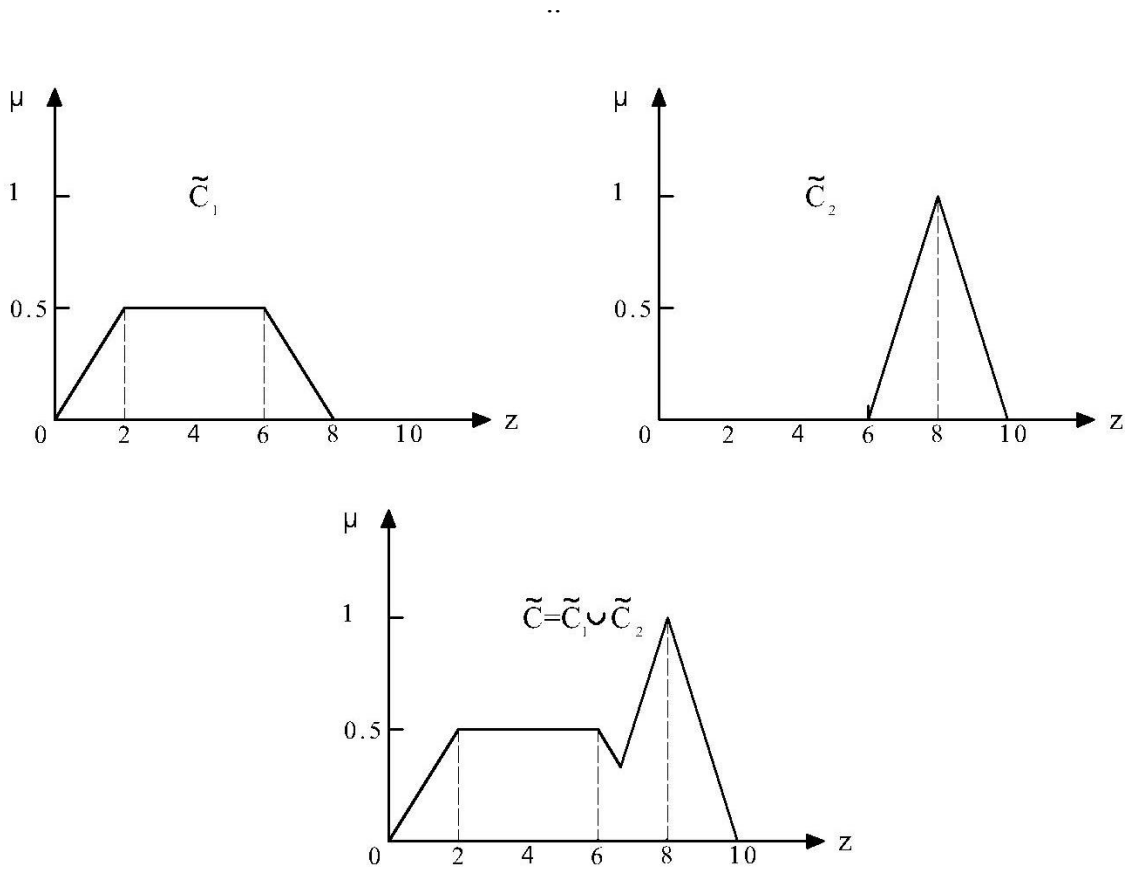
$$A_\lambda = \{x / \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \lambda\} \quad (4.31)$$

“ $\lambda$ ” kesim kümesi “ $A_\lambda$ ” gösterimi üzerinde “ $\sim$ ” işaretine sahip değildir. Bunun anlamı, klasik küme (crisp set) bulanık “ $\tilde{A}$ ” kümesinden türetilmiştir. Herhangi bir bulanık “ $\tilde{A}$ ” kümesi “ $\lambda$ ” kesim kümelerinden sonsuz sayıda dönüşüm yapılabilir. Çünkü;  $[0,1]$  aralığında “ $\lambda$ ” değerlerinden sonsuz sayıda vardır. “ $A_\lambda$ ” kümesine ait herhangi bir “ $x$ ” elamanının üyelik derecesi “ $\lambda$ ” değerinden büyük veya eşitse “ $\tilde{A}$ ” bulanık kümesine aittir.

#### 4.6.3.2. Durulaştırma yöntemleri

“ $\lambda$ ” kesim kümeleri ve bağıntılardan başka, bulanık kümeler veya bağıntılar klasik kümeler veya bağıntılara dönüşebilir. Bulanık değerleri klasik niceliklere dönüştürmekte kullanılan farklı durulaştırma yöntemleri vardır. Tam bir bulanık işlem çıktısı iki veya daha fazla bulanık üyelik fonksiyonunun birleşimi olabilir. Bulanık çıktı gösterimi Şekil 4.9’da verilmiştir (Sivanandam et.al, 2007). Bulanık çıktı fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilir. Genel bulanık çıktı fonksiyonu eşitlik 4.32’de gösterilmiştir.

$$\tilde{C}_k = \sum_{i=1}^k \tilde{C}_i = \tilde{C} \quad (4.32)$$



Şekil 4.9. Bulanık çıktı

Bulanık çıktı fonksiyonlarının durulaştırılması için son yıllarda literatürde önerilen birçok yöntemden sadece yedi tanesi tanımlanmıştır (Hellendorn and Thomas, 1993).

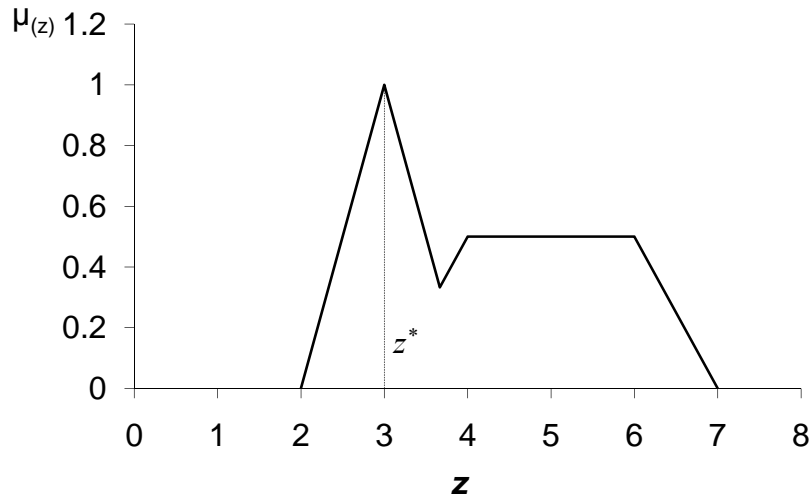
- Maksimum üyelik ilkesi yöntemi (Max-membership principle),
- Ağırlık merkezi yöntemi (Centroid method),
- Ağırlıklı ortalama yöntemi (Weighted average method),
- Ortalama maksimum üyelik yöntemi (Mean-max membership),
- Toplamların merkezi yöntemi (Centre of sums),
- En geniş alanın merkezi yöntemi (Centre of largest area),
- Maksimumların ilki veya sonuncusu yöntemi (First or last of maxima).

Bu yöntemlerin tanımlanmasında kullanılan “Z” çıkarım bulanık kümesini, “z” bulanık kümenin elemanlarını ve “z\*” ise durulaştırma değerlerini ifade eder.

### Maksimum üyelik ilkesi yöntemi

Yükseklik yöntemi olarakda ifade edilir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için çıkarım bulanık kümelerinin tepe noktası olmalıdır. Şekil 4.10’da grafik olarak gösterilen maksimum üyelik ilkesi yöntemi matematiksel olarak aşağıda tanımlanmıştır.

$$\mu_{\tilde{C}}(z^*) \geq \mu_{\tilde{C}}(z), \text{ tüm } z \in Z \quad (4.33)$$



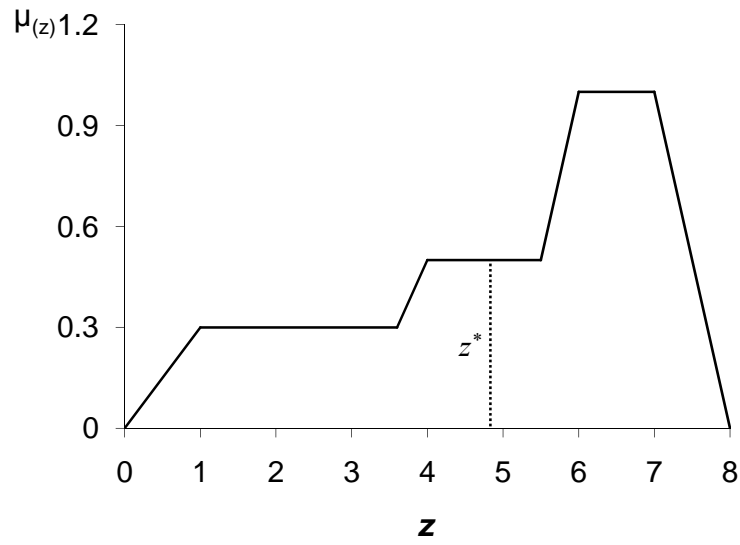
Şekil 4.10. Maksimum üyelik ilkesi yöntemi kullanılarak z\*'nin bulunması

### Ağırlık merkezi yöntemi

Durulaştırma yöntemlerinden bir tanesi olan ağırlık merkezi veya diğer adıyla alanın merkezi yöntemi, literatürde bulunan durulaştırma yöntemlerinin en yaygın olarak kullanılanıdır (Sugeno, M., 1985; Lee, C., 1990). Şekil 4.11’de grafik olarak gösterilen ağırlık merkezi yönteminin matematiksel olarak aşağıda tanımlanmıştır.

$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{C}}(z) z dz}{\int \mu_{\tilde{C}}(z) dz} \quad (4.34)$$

Burada; “∫” işareti cebirsel integrasyonu, “ $\mu_{\tilde{C}}(z)$ ” ise toplanarak elde edilmiş olan çıktının üyelik fonksiyonunu ifade etmektedir.



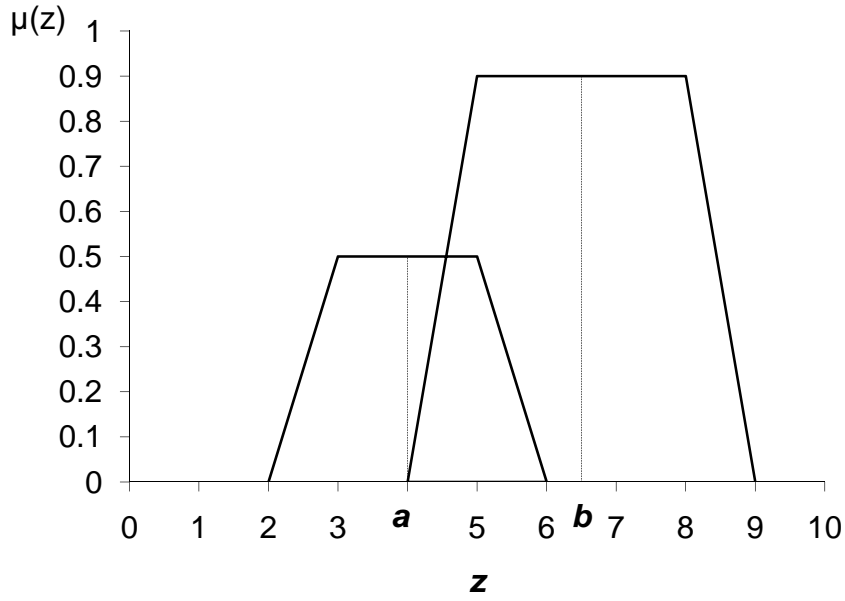
Şekil 4.11. Ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak  $z^*$ 'nin bulunması

### Ağırlıklı ortalama yöntemi

Ağırlıklı ortalama, hesaplamaların daha etkin bir şekilde yapıldığı yöntemlerden biri olduğu için bulanık uygulamalarda sık kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem sadece simetrik çıktısı olan üyelik fonksiyonlarında kullanılabilir. Şekil 4.12’de grafik olarak gösterilen ağırlıklı ortalama yöntemi matematiksel olarak aşağıda tanımlanmıştır:

$$z^* = \frac{\sum \mu_{\tilde{C}}(\bar{z}) \bar{z}}{\mu_{\tilde{C}}(\bar{z})} \quad (4.35)$$

Burada; “ $\sum$ ” cebirsel toplamı ve “ $\bar{z}$ ” her bir simetrik üyelik fonksiyonun merkezidir.

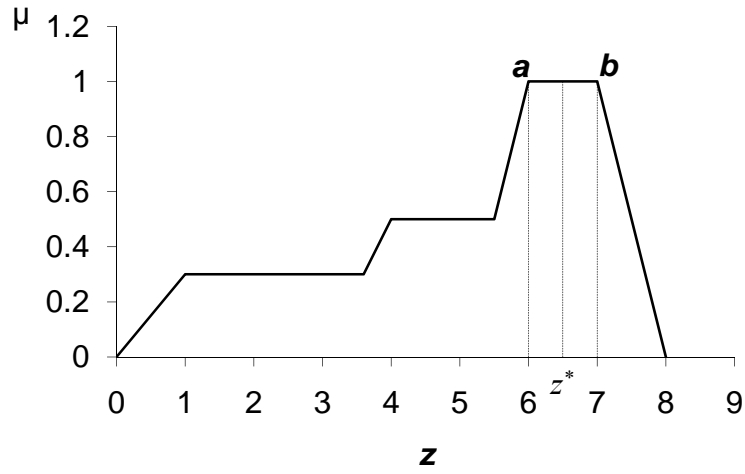


Şekil 4.12. Ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılarak  $z^*$ 'nin bulunması

#### Ortalama maksimum üyelik yöntemi

Ortalama maksimum üyelik yöntemi aynı zamanda büyüklerin ortası olarak da bilinmektedir. Bu yöntem maksimum üyelik ilkesi yöntemiyle ilişkilidir. Maksimum üyeliğin bulunduğu bölge tek bir nokta değil, noktalardan oluşmuş düz bir doğru olmalıdır. Şekil 4.13'de grafik olarak gösterilen ortalama maksimum üyelik yöntemi matematiksel olarak aşağıda tanımlanmıştır:

$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (4.36)$$

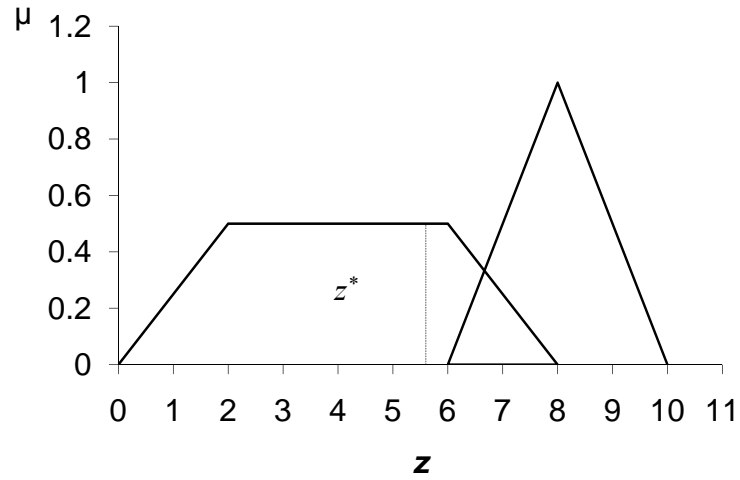


Şekil 4.13. Ortalama en büyük üyelik yöntemi kullanılarak  $z^*$ 'nin bulunması

### Toplamların merkezi yöntemi

Kullanılan durulaştırma yöntemlerinden en hızlı uygulanabilen yöntem toplamların merkezi yöntemidir. Bu yöntemde, simetrik üyelik fonksiyonları ile sınırlı değildir. Bu yöntemde iki bulanık kümenin birleşimi yerine kümelerin cebirsel toplamı kullanılır. Bu yöntemin iki sakıncası vardır. Bunlardan birincisi, bulanık kümelerin kesişmesi durumunda örtüşen alanların iki defa toplama girmesidir. İkincisi, tek bir üyelik fonksiyonun merkezini bulmayı içerir. Şekil 4.14'de grafik olarak gösterilen toplamların merkezi yöntemi matematiksel olarak aşağıda tanımlanmıştır:

$$z^* = \frac{\int_Z z \sum_{k=1}^n \mu_{\tilde{C}_k}(z) dz}{\int_Z \sum_{k=1}^n \mu_{\tilde{C}_k}(z) dz} \quad (4.37)$$



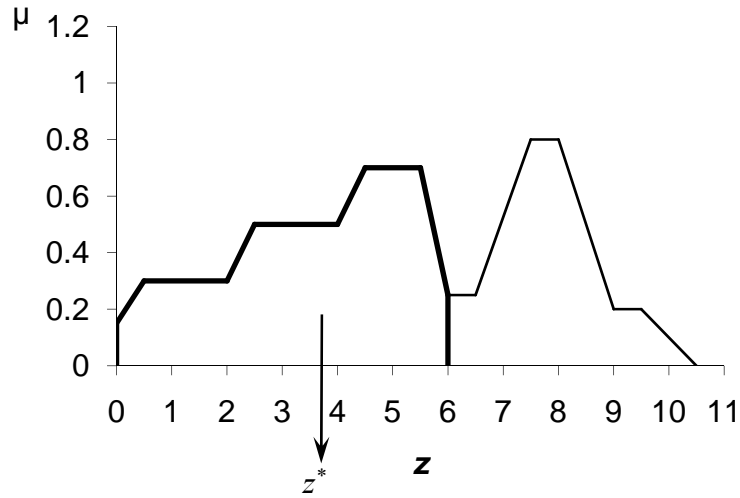
Şekil 4.14. Toplamların merkezi yöntemi kullanılarak  $z^*$ 'nin bulunması

#### En büyük alanın merkezi yöntemi

Bulanık sistemlerini çıktısını oluşturan bulanık kümeler en azından iki tane dış bükey bulanık küme içeriyorsa, en büyük alana sahip olan dış bükey bulanık kümenin ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır. Şekil 4.15’de grafik olarak gösterilen en büyük alan merkezi yönteminin matematiksel olarak aşağıda tanımlanmıştır.

$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{C}_m}(z) z dz}{\int \mu_{\tilde{C}_m}(z) dz} \quad (4.38)$$

Burada; “ $\tilde{C}_m$ ” en büyük alana sahip dış bükey bulanık kümenin hakim olduğu alt bölgeyi göstermektedir.



Şekil 4.15. En büyük alanın merkezi yöntemi kullanılarak  $z^*$ 'nin bulunması

#### Maksimumların ilki veya sonu yöntemi

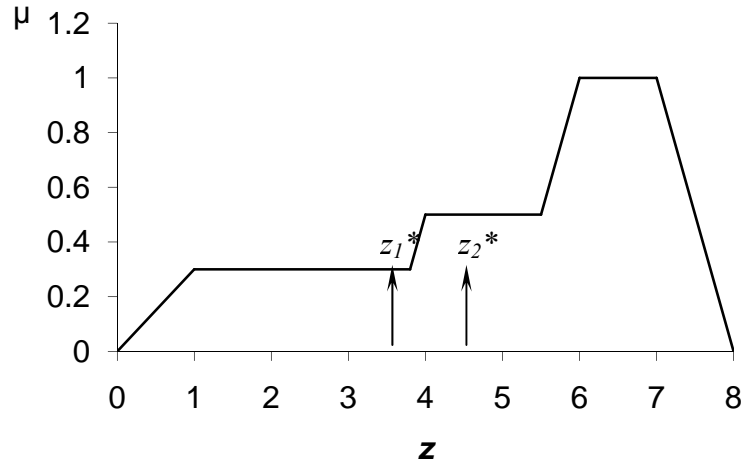
En büyüklerin ilki veya sonu yöntemi, tüm çıktılarının birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede, üyelik derecesinin maksimum değere ulaştığı noktalardaki en küçük ve en büyük bulanık küme değerini seçme esasına dayanır. Durulaştırılmış “ $z^*$ ” değerini hesaplayabilmek için öncelikle tüm çıktılarının birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede, “ $hgt(\tilde{C}_k)$ ” ile gösterilen en yüksek değere sahip üyelik derecesi bulunur. En büyüklerin ilki  $z_1^*$  ve en büyüklerin sonu  $z_2^*$  aşağıda tanımlanmıştır.

$$z_1^* = \inf_{z \in Z} \left\{ z \in Z \mid \mu_{\tilde{C}_k}(z) = hgt(\tilde{C}_k) \right\} \quad (4.39)$$

$$z_2^* = \sup_{z \in Z} \left\{ z \in Z \mid \mu_{\tilde{C}_k}(z) = hgt(\tilde{C}_k) \right\} \quad (4.40)$$

Burada; “inf” en büyük üyelik derecesine sahip değerlerin alt sınırını, “sup” ise üst sınırını ifade etmektedir. Bu yöntem grafiksel olarak Şekil 4.16’da gösterilmiştir.





Şekil 4.16. Maksimumların ilki veya sonu yöntemi yöntemi kullanılarak  $z^*$ 'nin bulunması

#### 4.7. Bulanık Çıkarım Sistemi

Bulanık çıkarım, bulanık mantığı kullanarak verilen girdiler ile çıktıların eşleştirilmesi işlemini gerçekleştirir. Bulanık çıkarım işlemleri üyelik fonksiyonunu, bulanık mantık operatörlerini ve “eğer o zaman” kurallarını kapsar. Bulanık çıkarım sisteminin, bulanık mantık arayüzünde en çok kullanılan iki çeşidi vardır. Bunlar;

- Mamdani çıkarım sistemi,
- Sugeno çıkarım sistemi.

##### 4.7.1. Mamdani çıkarım sistemi

Mamdani bulanık çıkarım yöntemi, bulanık küme kuramı kullanılarak yapılmış olan ilk yöntemdir ve ayrıca bulanık mantık literatüründe yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Mamdani, 1974). Bu yöntem buhar makinesi ve kazandan oluşan bir tesisin kontrol edilmesi amacıyla kullanılmıştır (Mamdani and Assilian, 1975). Dilsel ifadelerin modellenmesinde kullanılan yöntem, uzman görüşünden yararlanarak mühendislik sistemlerinde sezgisel hesaplamalarda etkin bir şekilde kullanım alanı bulmuştur. Mamdani yönteminde bulanık kümelerden oluşan çıktının üyelik

fonksiyonlarından oluşması beklenir. Kümeleme işleminden sonra, her bir çıktı değişkeni için bir bulanık kümenin durulaştırılması işlemine ihtiyaç vardır.

Mamdani bulanık modelinde, bir sistemin özelliklerini oluşturmak için kullanılan genel eşitliklerin yerini bulanık kurallar almıştır. Mamdani yönteminde bulanık kurallar aşağıda tanımlanmıştır:

$R_i$ : Eğer  $x_1 = \tilde{A}_{i1}$  ise ve  $x_2 = \tilde{A}_{i2}$  ise ve...  $x_r = \tilde{A}_{ir}$  ise o zaman  $y = \tilde{B}_i$  ( $i=1,2,\dots,k$ )

Kural sistemini tanımlayan eşitlikte bulunan değişkenler aşağıda özetlenmiştir:

$R_i$  : incelenen kural,

$k$  : kural sayısı,

$x_i$  : girdi değişkenleri,

$y$  : çıktı değişkeni,

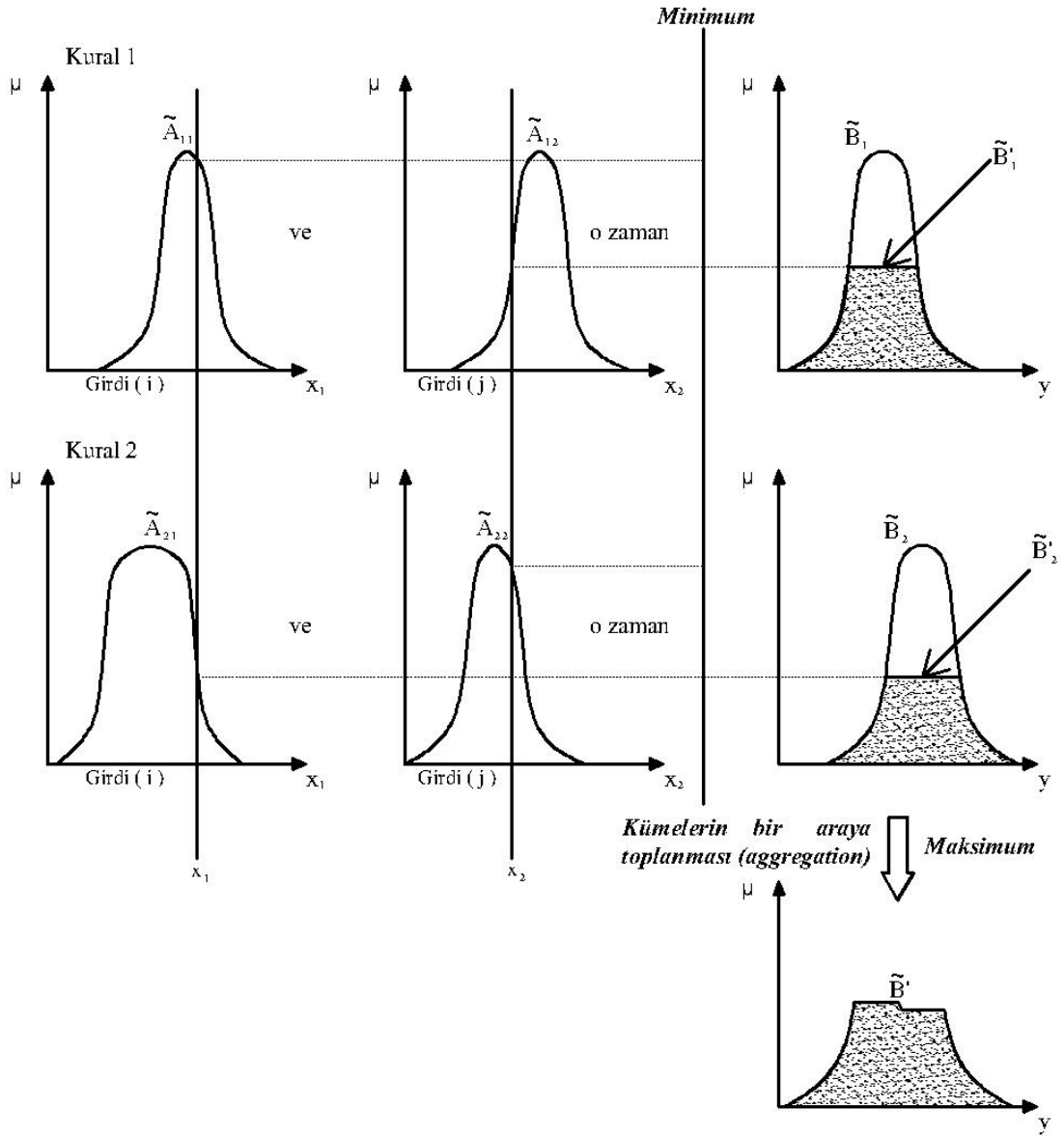
$\tilde{A}_{ij}$  ve  $\tilde{B}_i$  : dilsel terimler,

Bulanık modeldeki her bir kural bir bulanık bağıntıdır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$\mu_{\tilde{R}_i}(x, y) = I(\mu_{\tilde{A}_i}(x), \mu_{\tilde{B}_i}(y)) \quad (4.41)$$

Bu eşitlikteki “ $\mu_{\tilde{R}_i}(x, y)$ ”; “i.” kuralın “x” ve “y” girdisine göre  $\tilde{R}$  ilişkisinin üyelik derecesini, “ $\mu_{\tilde{A}_i}(x)$ ” ve “ $\mu_{\tilde{B}_i}(x)$ ”; “i.” kuralın “x” ve “y” bulanık girdilerinin üyelik derecelerini, “I” ise “ve” yada “veya” operatörlerini uygulanabileceğini göstermektedir

Mamdani modelde, her kuralın katkısı bir bulanık kümedir. Minimum ve maksimum operatörlerinin kullanıldığı Mamdani bulanık anlam çıkarım sistemi Şekil 4.17’de gösterimiştir.



Şekil 4.17. Mamdani çıkarım sistemi

Şekil 4.17’de,  $\{\tilde{A}_{11}, \tilde{A}_{12}, \tilde{A}_{21}, \tilde{A}_{22}\}$  girdi değişkenlerinin birinci alt indisleri kural sayısını ve ikinci alt indisler girdi parametrelerini göstermektedir. Bu durumda “ $\tilde{A}_{11}$ ” birinci kuralın birinci girdi parametresi anlamına gelmektedir. Girdi parametleri ve kural sayısına göre sırasıyla oluşturulan “ $\tilde{B}_1$ ” ve “ $\tilde{B}_2$ ” çıktı parametrelerini ifade eder. Birinci girdi parametresinin değeri “ $x_1$ ”, ikinci girdi parametresinin değeri ise “ $x_2$ ” olduğunda, bu değerler her bir kuraldaki dilsel ifadelerle karşılık gelen ilgili bulanık

kümelerle kesiştirilir. Daha sonra birinci kuralda bulunan “ve” ifadesinden dolayı minimum operatörü uygulanır. Uygulanan minimum operatörü sonucunda elde edilen üyelik derecesi ile birinci kuralın çıktı parametresinin üyelik fonksiyonu kesiştirilir. Bu işlemler her bir kural için uygulandıktan sonra, elde edilen çıktı parameteleri “ $B'_1$ ” ve “ $B'_2$ ” üyelik fonksiyonlarının maksimum operatörü kullanılarak toplanması sonucunda “ $B'$ ” bulanık kümesi elde edilir. Mamdani anlam çıkarma sisteminin sonucu olarak elde edilen bulanık kümelere durulaştırma işlemi uygulanmalıdır. Durulaştırma işlemi sonrasında çıktı parametresi “ $B'$ ” kesin bir değere dönüştürülür (Jang, et.al;1997).

#### 4.7.2. Takagi-Sugeno çıkarım sistemi

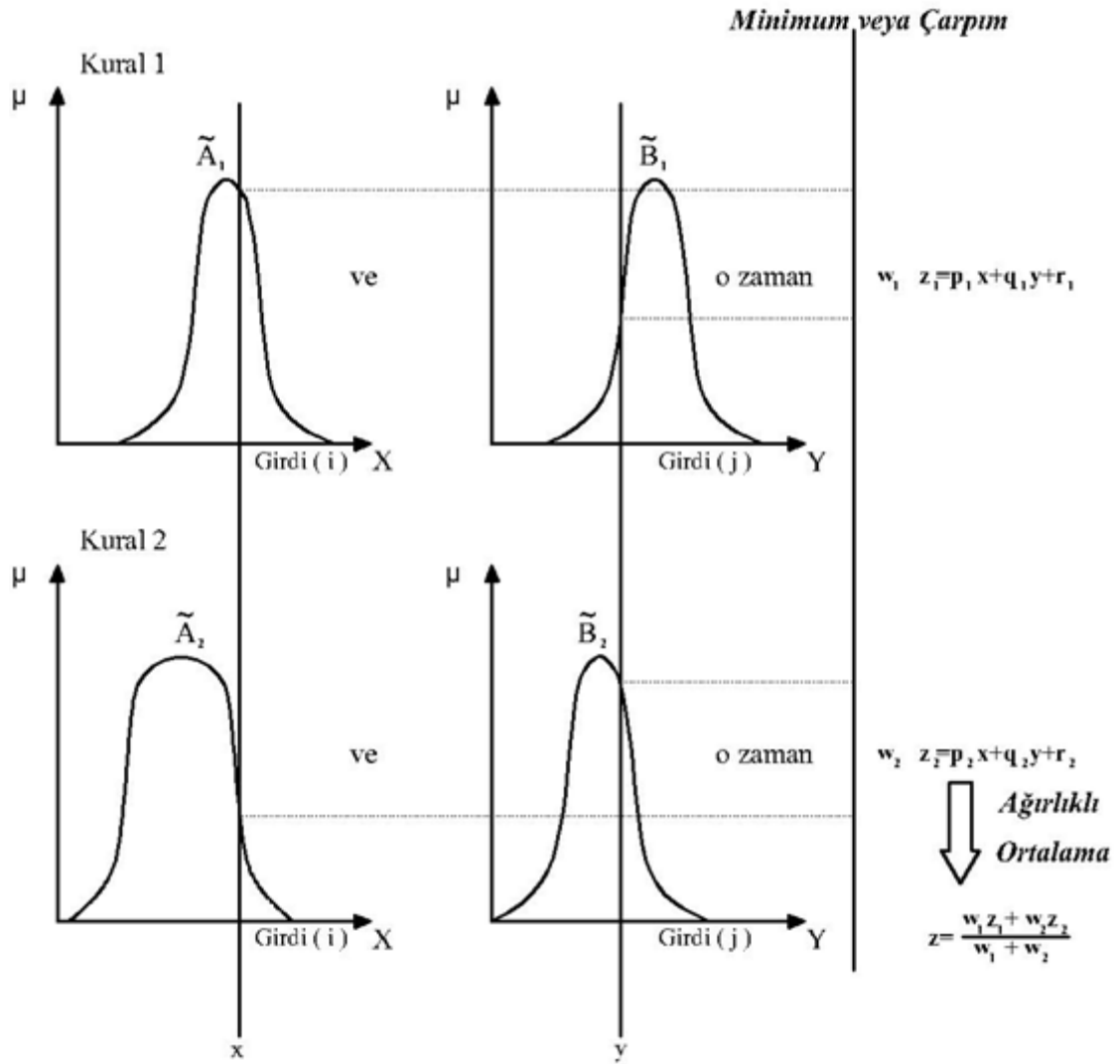
Takagi-Sugeno (TS) bulanık çıkarım sistemi, bazı kaynaklarda Takagi-Sugeno-Kang (TSK) bulanık modeli olarak da adlandırılmaktadır. Dilsel modellemenin regresyon analiziyle birleşmesinden oluşan yöntem, veriye bağlı modellemelerin yapıldığı sistemlere uygunluk göstermektedir. Takagi-Sugeno modelinde Mamdani modeline göre az sayıda kuralla çözüme gitme olanağı vardır. Modelin temelinde, girdi-çıkı ilişkisinin fonksiyonel olarak ifade edilmesi ve model parametrelerinin optimizasyonu vardır (Takagi and Sugeno, 1985; Sugeno and Kang, 1988).

$$R_i: \text{Eğer } x=\tilde{A}_i \text{ ise ve } y=\tilde{B}_j \text{ ise ve } z = f(x, y)$$

Burada; “ $\tilde{A}_i$ ” ve “ $\tilde{B}_j$ ” girdi parametlerinin bulanık kümelerini, “ $z = f(x, y)$ ”; bulanık olmayan kesin bir fonksiyonunu ifade eder. “ $f(x, y)$ ”; “ $x$ ” ve “ $y$ ”den oluşan bir polinomdur. Bu polinom tekil sayısal değer olabileceği gibi (sıfırncı dereceden TS model) , doğrusal denklem (birinci dereceden TS model) veya polinom (2. Dereceden TS model) olabilir.

Takagi-Sugeno modelinde tanımlanan kurallar kesin bir çıktıya ( $z_1 = p_1x + q_1y + r_1$ ) sahip olduğundan dolayı çıktı değeri ağırlıklı ortalama ile hesaplanır. Ağırlıklı ortalama ( $z = (w_1.z_1 + w_2.z_2) / (w_1 + w_2)$ ) eşitliği ile bulunur. Kurallara verilen ağırlıklar

sırasıyla “ $w_1$ ” ve “ $w_2$ ”, kurallardan elde edilen kesin değerler ise “ $z_1$ ” ve “ $z_2$ ”’dir. Mamdani yönteminde uygulanan durulaştırma yöntemine Takagi-Sugeno modelinde uygulanmaz. Birinci dereceden Takagi-Sugeno modelinin şematik gösterimi Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Takagi-Sugeno çıkarım sistemi

## BÖLÜM 5

### 5. BULANIK MANTIK YAKLAŞIMIYLA REZERV TAHMİNİ UYGULAMALARI

Bulanık mantık ve yapay sinir ağlarıyla rezerv tahmini son yıllarda madencilik problemlerine yaygın bir şekilde uygulanmaktadır.

Bardossy, et al., (1990 a; 1990b ), ölçüle verilerin yetersiz olduğu durumlarda belirsiz olan variogram parametrelerini bulanık küme teorisi ile modellemişlerdir. Yazarlar, belirsiz variogram parametreleriyle kriging yöntemi geliştirmişlerdir. Hem kriging değerleri hem de tahmin varyansını üyelik fonksiyonlarıyla ifade etmişlerdir.

Piotrowski, et al., (1996), bulanık kriging temeline bağlı Almanya'nın kuzeybatısında bulunan buzul akiferlerin kalınlık değişimini jeostatistiksel yaklaşımla açıklamışlardır. Çalışmada, sondaj çalışmasından elde edilen 329 lokasyondaki gerçek akifer kalınlıklarından elde edilen variogram modeline bağlı olarak 3456 adet 1000x1000 m boyutlarında blok, kriging yöntemiyle tahmin edilmiştir. Tahmin edilen akifer kalınlığı ile en yüksek kriging varyansı olan alanlara 172 ek lokasyon noktası eklenmiştir. Her bir ek lokasyonun kalınlık değerleri en düşükten en yükseğe kadar üçgen bulanık sayılarla uzman görüşü alınarak seçilmiştir. 172 ek lokasyon değerleri kullanılarak yeni bir variogram modeline bağlı olarak kriging tahminleri gerçekleştirilmiştir. Bulanık veriler ve gerçek verilerin birleştirilmesi sonucu hesaplanan kriging varyansı değerlerinin daha düşük olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Pham (1997), bir maden yatağı içerisinde bilinmeyen cevher tenörlerini tahmin etmek için bulanık c ortalamalar kümesi (fuzzy c means clustering) ve bulanık çıkarım sistemini önermiştir. Çalışmada, bulanık c ortalamalardan elde edilen küme merkezlerine dayanarak, bir bulanık kural tabanı ve bulanık araştırma alanı kullanarak küme merkezlerindeki tenörleri hesaplamıştır.

Ahn, et al., (1999), bir tarım alanının uydu verilerinden elde edilen hyperspectral verilere bağlı olarak blok kriging tahmin yöntemiyle toprak haritaları oluşturmuşlardır. Elde edilen haritalardan bulanık kümeler ortalamasını (fuzzy clustering means) kullanarak tarım alanındaki toprakların özelliklerini üyelik derecesi ile ayırt etmişlerdir.

Tütmez ve Dağ (2007), Afşin-Elbistan linyit sahasında girdi değişkeni olarak kartezyen koordinat ve linyit kalınlıklarının tahmini arasında ilişkinin tanımlanması için bulanık kümeleme ve bir bulanık kural tabanlı bir sistem tanımlanmıştır. Bulanık modelleme ile tahmin edilen kalınlık değerleri kriging tahmin yönteminin sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.

Tütmez ve Tercan (2007), kayaçların mekanik özelliklerini uzamsal interpolasyonun performanslarını, bulanık modelleme yaklaşımlarından Mamdani ve Takagi-Sugeno modellerini kullanarak karşılaştırmıştır.

Tütmez, et al., (2007), bulanık modelleme algoritmalarını kullanarak bir rezerv tahmin yöntemi önermişlerdir. Çalışmada, bulanık modelleme ile rezerv tahmini üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, bulanık modelleme için optimum küme sayısı kümelerin tenörlerinin standart sapmalarına verilerin standart sapmasına en yakın olan değere göre belirlenmektedir. İkinci aşamada, etkin tahmin mesafesinin uzaklığa bağlı ilişki kullanılarak bulunması için nokta variogram fonksiyonu kullanılmıştır. Kümelerin etkilediği zonlar için nokta variogramların etki mesafesi kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının merkezi olabilirliğe dayalı olarak elde edilen küme merkezlerinin koordinatlarıdır. Üyelik fonksiyonuna uzaklığa bağlı ilişkinin dahil edilmesi amacıyla 0.5 üyelik derecesine karşılık gelen etki mesafesinin yarısı etki zonu olarak tanımlanmıştır. Üyelik fonksiyonunun şekli, etki mesafesi ve etki zonuna bağlı olarak oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada Takagi-Sugeno modeli için girdi ve fonksiyonel çıktı tanımlanmıştır. Her küme için kurallar oluşturulmuş ve küme merkezleriyle örnekler arasındaki uzaklık ilişkisi dilsel olarak ifade edilen kural tabanı esas alınarak tahmin işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Tütmez (2009); bulanık modele dayalı olarak yapay sinir ağları yöntemiyle benzetilmiş 16 lokasyonda Ankara andezitlerinin elastisite modüllerini tahmin etmiştir. Elastisite modüllerinden oluşan 2,3,4 ve 5 bulanık kümelemeden oluşan küme merkezlerini eğitim verisi olarak tanımlamıştır. 16 veriyle variogram modeli oluşturulamadığı için uzaklığın karesinin tersi yöntemiyle sinir bulanık sistemin sonuçlarını karşılaştırmıştır. Aynı yöntemi kullanarak Kalburçayırı linyit sahasında bulunan 65 lokasyondaki kalınlık değerlerinin tahminini gerçekleştirmiştir. Kalburçayırı linyit sahası kalınlık değerlerini kriging yöntemiyle karşılaştırmıştır. Yöntemin veri sayısının az olduğu durumlarda hızlı ve esnek çözümler verebileceği öne sürülmüştür

## BÖLÜM 6

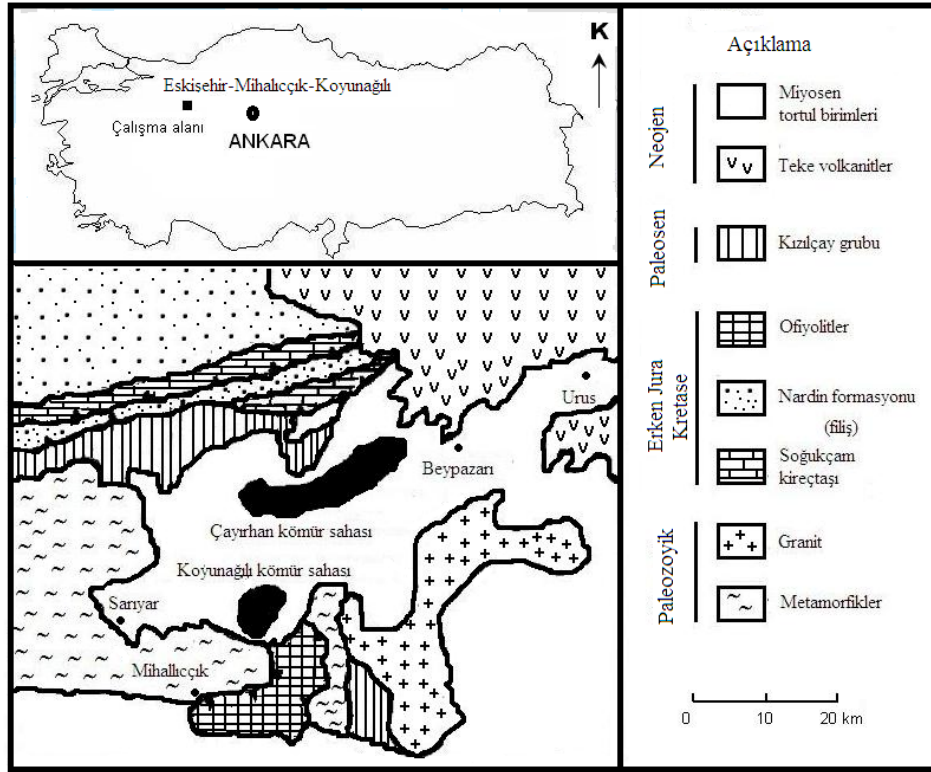
### 6. JEOİSTATİSTİK VE BULANIK MANTIK YAKLAŞIMLARININ KAYNAK/REZERV SINIFLANDIRMASINA UYGULANMASI

Bu çalışmada; bulanık mantık yaklaşımının kaynak/rezerv sınıflandırma sisteminde kullanılan güvenilirlik ölçütlerine uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağılı-linyit sahasında belirsizliğin ölçümünde kullanılan ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatası değerlerine bağlı olarak maden yatağının görünür rezerv, muhtemel rezerv, belirtilen kaynak ve yorumlanan kaynak sınıflandırılması üzerinde çalışılmıştır.

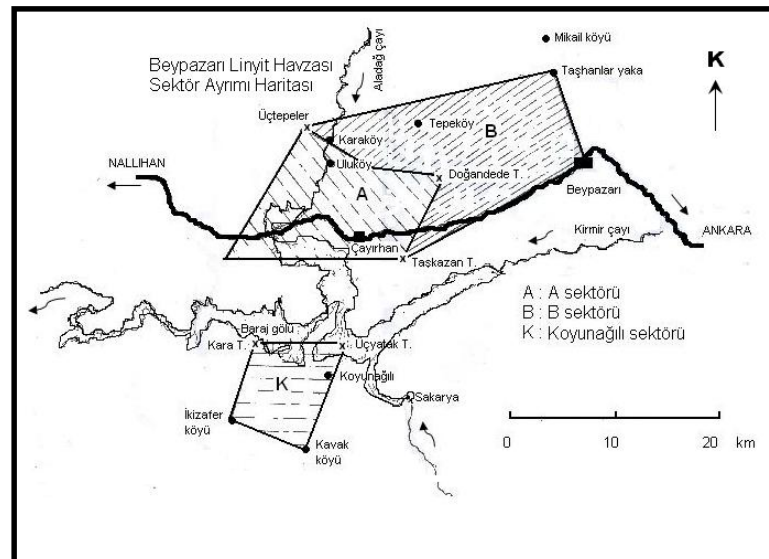
#### 6.1. Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağılı Linyit Sahası

Beypazarı neojen havzası içerisinde yer alan linyit yatakları havzanın kuzey bölümünde bulunan Çayırhan sahasından ve güneyde Koyunağılı sahasından oluşmuştur. Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağılı linyit sahası Beypazarı kömür havzası içerisinde 29 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yayılım göstermektedir (Siyako, 1986). Çayırhan sahası alt ve üst linyit düzeyi olmak üzere iki farklı kömür seviyesinin bulunmasına karşın Koyunağılı bölgesinde yalnızca üst linyit düzeyi yer alır. Şekil 6.1'de Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağılı linyit sahası genel jeolojisi gösterilmiştir. Koyunağılı linyit sahasında kömür kalınlığı en fazla 6 m'dir ve bu alandaki linyit düzeyi iki veya üç katmandan yapıldır. Kömür kalınlığı sahanın kenar bölümlerinden orta kesimlerine doğru dereceli olarak artar. Linyit katmanları çamurtaşı, silttaşı ve kiltası ile birbirinden ayrılır. Koyunağılı linyit sahası güneyde bir büyüme fayıyla sınırlıdır. Bu büyüme fayına bağlı olarak kömür kalınlığı kuzeyden güneye doğru yersel ani artışlar gösterir (Yağmurlu vd.,1988; Eyyüboğlu, 1982). Linyit sahasının yataklanma şekli otokton ve limniktir (Baysal, 1981). Şekil 6.2'de Beypazarı linyit sahası sektör ayırım haritası gösterilmiştir.



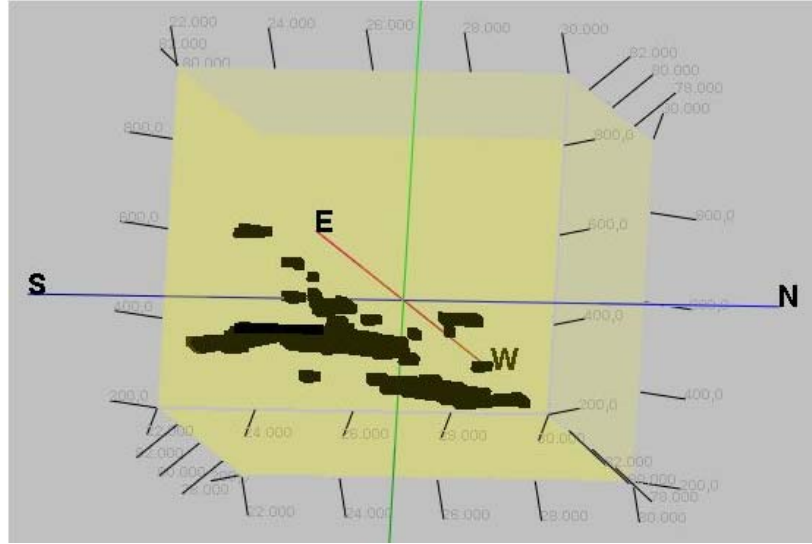


Şekil 6.1. Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağlı linyit sahası genel jeolojisi



Şekil 6.2. Beypazarı linyit sahası sektör ayırımı haritası

Jeolojik sürekliliğin araştırılması amacıyla oluşturulan Koyunağılı linyit yatağının üç boyutlu modeli Şekil 6.3’de verilmiştir.



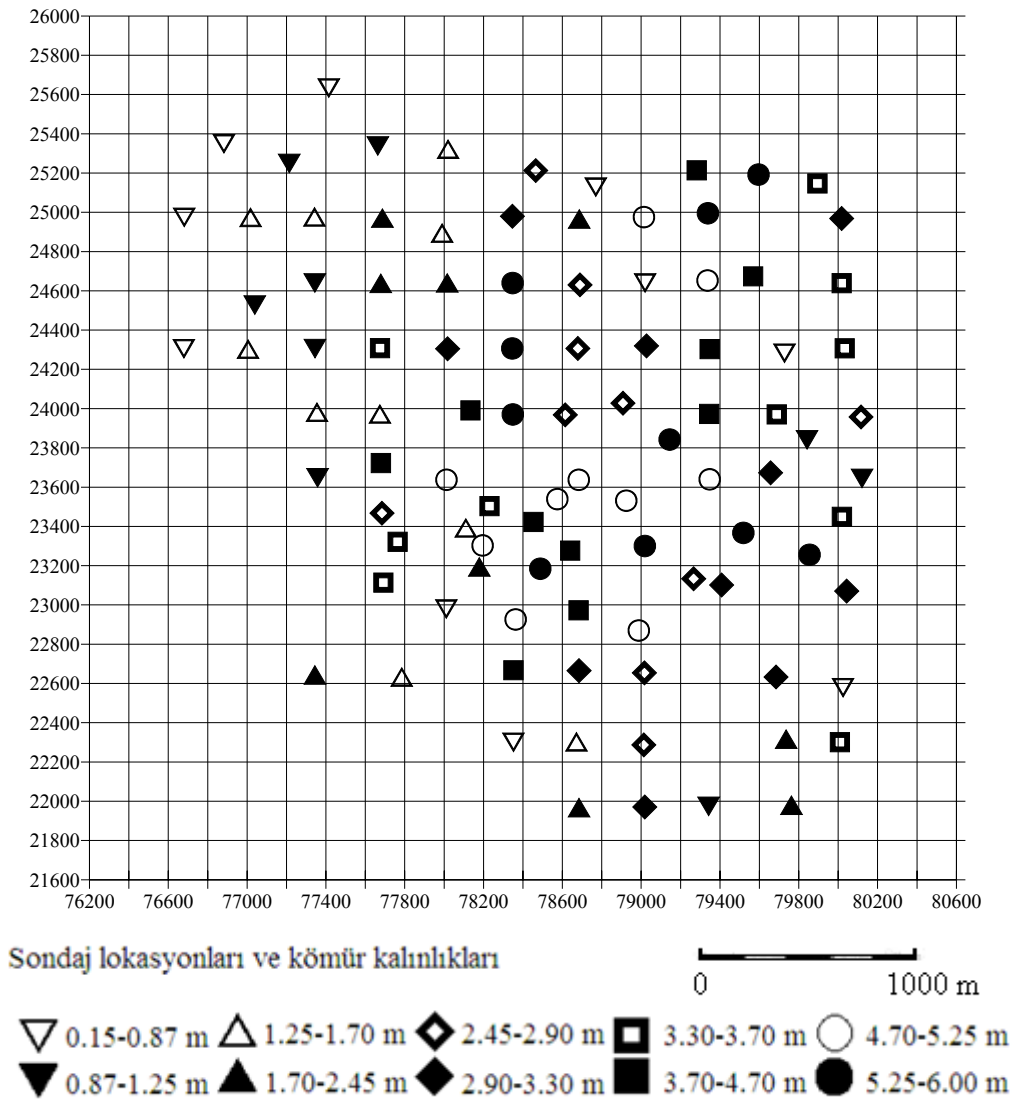
Şekil 6.3. Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağılı Kömür linyit sahası üç boyutlu modeli

## 6.2. Jeostatistiksel Yaklaşımla Kaynak/Rezerv Sınıflandırması Uygulaması

Bu bölümde, Eskişehir ili Mihalıççık ilçesindeki Koyunağılı köyündeki kömür yatağında yapılan sondajların kalınlık değerleri ile jeostatistiksel bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda, tahmin sonuçları ve kriging sisteminden elde edilen değerler kullanılarak kestirilen blokların ordinary kriging standart sapmaları ve interpolasyon standart sapmaları hesaplanmıştır. Bu standart sapma değerleri, blokların tahmin değerleri ve tahmin değişkenlerine bağlı olarak ordinary kriging hataları ve interpolasyon hataları değerleri kaynak/rezerv sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Sondajlardan elde edilen kalınlık değerleri ve tahmini değişkenlerin incelenmesi için tanımsal istatistik ve normal dağılım testi kullanılmıştır.

### 6.2.1. Linyit sahası kalınlık verileri

MTA ve özel sektör tarafından yapılan arama çalışmalarında 98 sondajdan elde edilen linyit kalınlık değerleri kullanılarak jeostatistiksel hesaplamalar yapılmıştır. Linyit yatağında kömür kalınlıkları 0.15-6 m arasında değişmektedir. Sondajların yerleri ve kalınlık aralıkları Şekil 6.4’de verilmiştir.



Şekil 6.4. Koyunağılı kömür yatağındaki sondaj yerleri ve kömür kalınlığı aralıkları

Tahminde kullanılan veriler ve tahmin sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla normal dağılım testi uygulanmıştır. Normal dağılım testi için yapılan araştırmalarda,

Shapiro Wilk ve Anderson Darling normal dağılım testlerinin örnek sayısı 25'den büyük olduğunda en güçlü testler olarak belirlenmiştir. Anderson Darling testi, heterojen verilerden ve sapan değerlerden çok etkilenmesi nedeniyle veriler normal dağılsa bile normal dağılıma uygun olmadığını göstermektedir (Özdamar, 2004). Shapiro Wilk testi ise veri seti içerisinde bazı değerler aynıysa doğru bir şekilde çalışmaz ve matematikçi olmayanların anlaması zordur. Shapiro-Wilk ve Lilliefors düzeltilmeli Kolmogorov-Smirnow uygulama amaçlarına göre normal dağılımın test edilmesi için kullanılabilir (Öztuna, et.al, 2006). Fakat uygulamada kullanılan kömür kalınlığı verileri içerisinde aynı değerler olduğu için Shapiro-Wilk normal dağılım testi kullanılmamıştır. Bu nedenle Lilliefors düzeltilmeli Kolmogorov-Smirnow normal dağılım testinin 0.05 önem derecesi için aşağıdaki hipotez testi kurulmuştur.

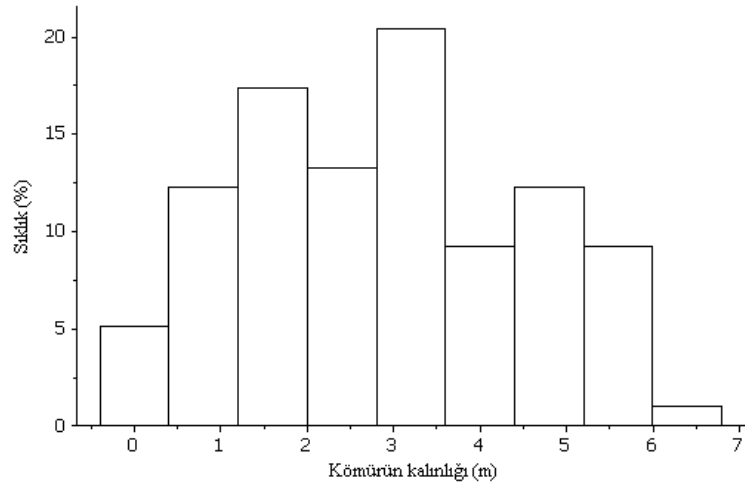
- $H_0$ :Değişkenin dağılımı normaldir.
- $H_1$ :Değişkenin dağılımı normal değildir.

Önem derecesi 0.05'ten büyükse  $H_0$  hipotezi kabul edilir.

Koyunağılı kömür yatağı için kömür kalınlığı ortalaması 2.89 m ve standart sapması 1.61 m'dir. Kömür yatağı kalınlık değerleri Lilliefors düzeltilmeli Kolmogorov-Smirnow normal dağılım testine göre normal olarak dağılmaktadır. Kalınlık değerleri sağa çarpık ve basık bir dağılıma sahiptir. Koyunağılı kömür yatağı için kömür kalınlığı değerlerinin tanımlayıcı istatistiği Çizelge 6.1'de ve histogramı Şekil 6.5'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kalınlık değerlerinin tanımlayıcı istatistiği

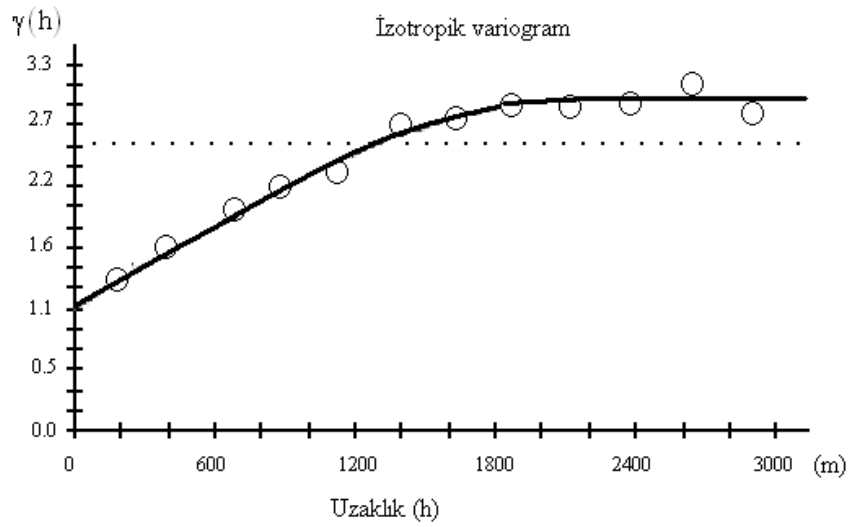
Lilliefors düzeltilmeli Kolmogorov-Smirnow önem derecesi	0.063
Ortalama	2.89
Standart sapma	1.61
Değişim katsayısı	55.57
Çarpıklık	0.16
Basıklık	-0.14
Örnek sayısı	98
Minimum	0.15
Birinci çeyrek	1.37
Medyan	2.9
Üçüncü çeyrek	4.16
Maksimum	6



Şekil 6.5. Kalınlık değerleri için histogram

### 6.2.2. Linyit sahası variogram modeli

Koyunağılı kömür yatağında 98 sondajdan elde edilen kömür kalınlığı değerlerinden elde edilen izotropik küresel variogram modeli Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Küresel modele ait parametreler etki mesafesi: 2200 m, sill değeri  $3 \text{ m}^2$  ve nugget değeri  $1.1 \text{ m}^2$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.6. Koyunağılı kömür yatağına ait küresel model

### 6.2.3. Linyit sahasının ordinary kriging ile tahmini

Koyunağılı linyit yatağındaki sondaj verilerinden 200x200 metre boyutlarında 398 bloğun ordinary kriging yöntemiyle tahmini yapılmıştır. Blokların tahmininde kullanılan değişkenler Çizelge 6.2’de verilmiştir. Bu çalışmada, ordinary kriging tahminleri GSLIB programı kullanılarak yapılmıştır (Deutsch and Journel, 1998).

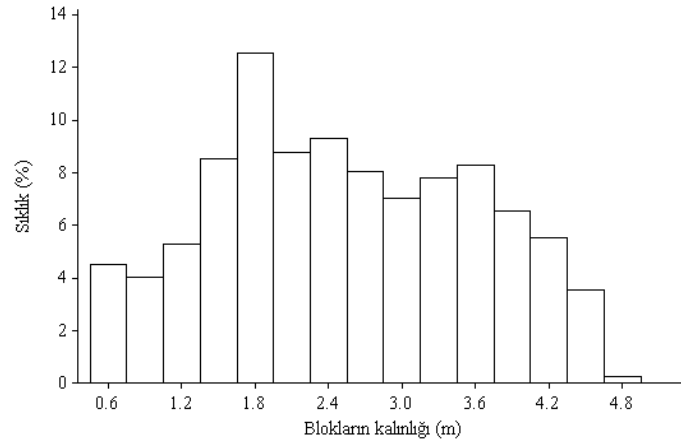
Çizelge 6.2. Blokların tahmininde kullanılan ordinary kriging parametreleri

Kullanılan yöntem	Ordinary kriging
Örnek sayısı	98
Tahmin edilen blok sayısı	398
Blokların boyutu	200x200 m
Blok ayırım sayısı	16
Tahmin için kullanılan örnek sayısı	16
Nugget	1.1 m <sup>2</sup>
Yapısal sill	3 m <sup>2</sup>
Range	2200 m

Koyunağılı linyit yatağında ordinary kriging yöntemiyle tahmin edilen blokların ortalaması 2.52 m ve standart sapması 1.06 m’dir. Blokların tahmini kalınlık değerleri Lilliefors düzeltilmeli Kolmogorov-Smirnow normal dağılım testine göre normal olarak dağılmamaktadır. Kalınlık değerleri sağa çarpık ve basık bir dağılıma sahiptir. Koyunağılı kömür yatağı için tahmin edilen blokların kalınlık değerlerinin tanımlayıcı istatistiği Çizelge 6.3’de ve histogramı Şekil 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.3 Blokların tahmini kalınlık değerlerinin tanımlayıcı istatistiği

Lilliefors düzeltilmeli Kolmogorov-Smirnow önem derecesi	0.001
Ortalama	2.52
Standart sapma	1.06
Değişim katsayısı	42.23
Çarpıklık	0.08
Basıklık	-0.93
Örnek sayısı	398
Minimum	0.48
Birinci çeyrek	1.67
Medyan	2.43
Üçüncü çeyrek	3.37
Maksimum	4.72



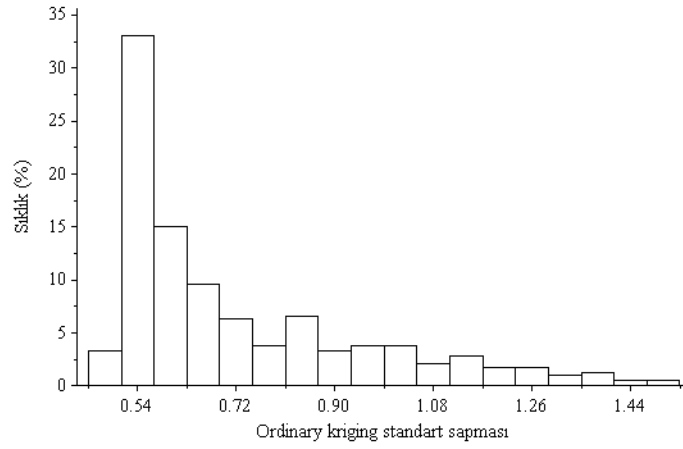
Şekil 6.7. Blokların tahmini kalınlığının histogramı

#### 6.2.3.1. Ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması

Koyunağılı linyit yatağında tahmin elden blokların ordinary kriging standart sapmasının ortalaması 0.72 m ve standart sapması 0.23 m'dir. Blokların kriging standart sapması Lilliefors düzeltmeli Kolmogorov-Smirnow normal dağılım testine göre normal olarak dağılmamaktadır. Kalınlık değerlerinin ordinary kriging standart sapması sağa çarpık ve basık bir dağılıma sahiptir. Tahmin edilen blokların kalınlık değerlerinin ordinary kriging standart sapmasının tanımlayıcı istatistiği Çizelge 6.4'de ve histogramı Şekil 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Ordinary kriging standart sapmasının tanımlayıcı istatistiği

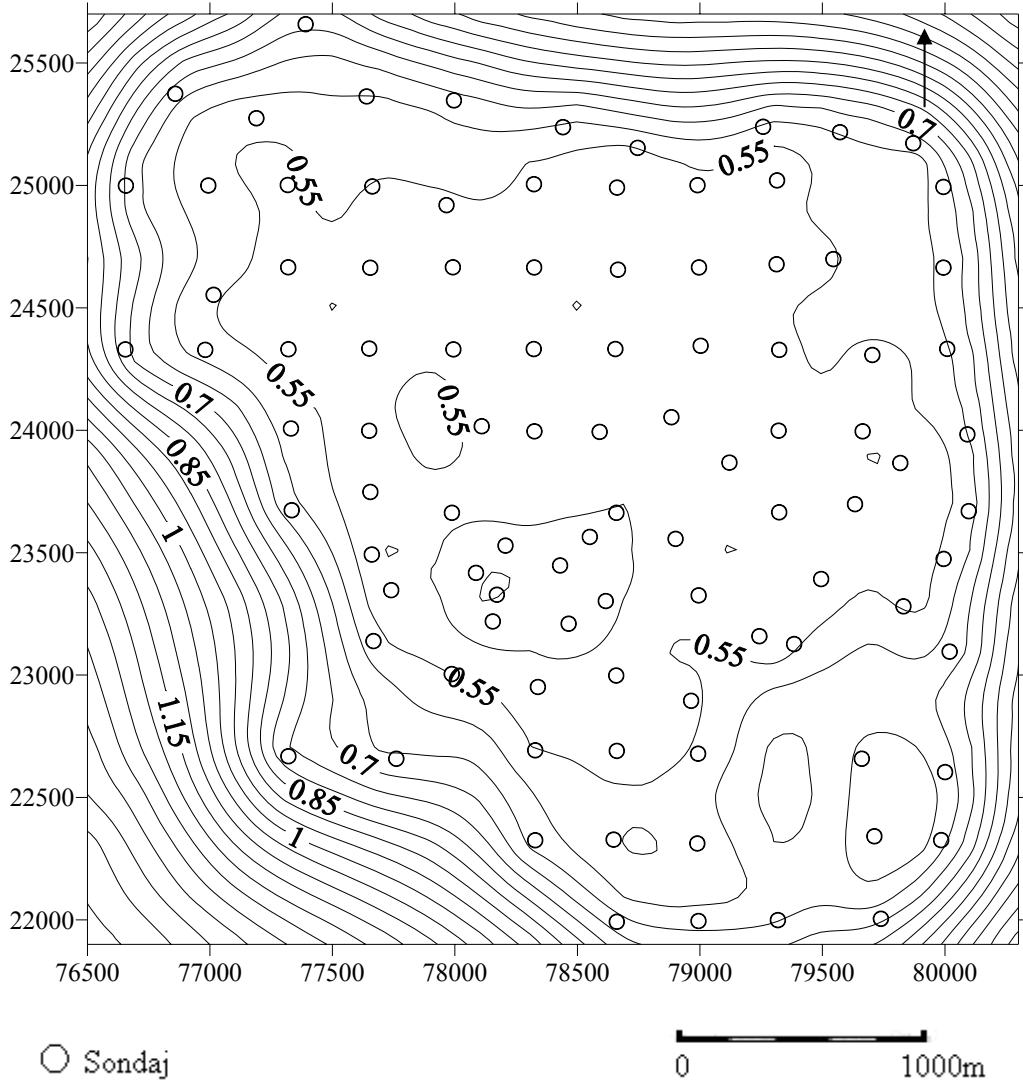
Lilliefors düzeltmeli Kolmogorov-Smirnow önem derecesi	0.00
Ortalama	0.72
Standart sapma	0.23
Değişim katsayısı	32.39
Çarpıklık	1.30
Basıklık	0.84
Örnek sayısı	398
Minimum	0.45
Birinci çeyrek	0.54
Medyan	0.62
Üçüncü çeyrek	0.85
Maksimum	1.49



Şekil 6.8. Ordinary kriging standart sapmasının histogramı

Ordinary kriging standart sapmasının değerleri kömür yatağı verilerinin düzenine göre merkeze doğru azalmaktadır. Ordinary kriging standart sapması 0.45 m ile 1.49 m arasında değişmektedir. Blokların tahmini değerlerinin ordinary kriging standart sapmalarının kontur haritası Şekil 6.9’da gösterilmiştir.

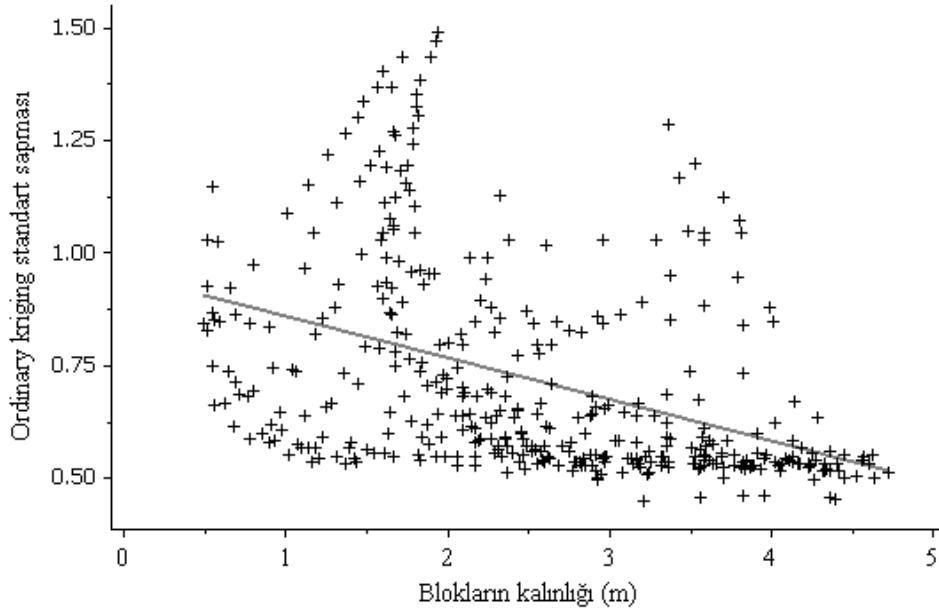




Şekil 6.9. Blokların ordinary kriging standart sapmalarının kontur haritası

Serpilme diyagramlarının analizinde korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Serpilme diyagramlarında bir ilişki söz edebilmek için korelasyon katsayısının mutlak değeri 0.7'den büyük olmalıdır (Serper, 2004b). Blokların tahmin kalınlığı ve ordinary kriging standart sapması arasındaki korelasyon katsayısı  $r = -0.42$ 'dir. Korelasyon katsayısına göre blokların tahmin kalınlığı ve ordinary kriging standart sapması arasında bir ilişki söz konusu değildir. Ordinary kriging standart sapması değerleri ile blokların tahmin değerleri arasında kaynak/rezerv sınıflandırmasında önemli olan oransal etkiyi ve dolayısıyla tam anlamıyla belirsizliği ölçmemektedir. Bunun en önemli nedeni ordinary kriging standart sapmasının sadece variogram modeline bağlı olarak verilerin düzenine göre tahmin işlemlerini gerçekleştirmesidir. Blokların tahmini kalınlığı ve

ordinary kriging standart sapması arasındaki serpilme diyagramı Şekil 6.12’da gösterilmiştir.

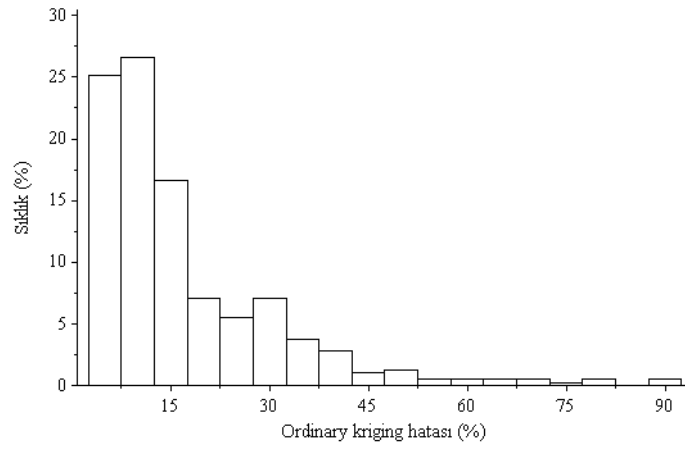


Şekil 6.10. Ordinary kriging standart sapması ile blokların tahmini kalınlığı serpilme diyagramı

Koyunağılı linyit yatağı için tahmin edilen blokların ordinary kriging hatası ortalaması % 17.21 ve standart sapması % 14.32’dir. Blokların ordinary kriging hatası Lilliefors düzeltilmeli Kolmogorov-Smirnow normal dağılım testine göre normal olarak dağılmamaktadır. Ordinary kriging hatası sağa çarpık ve sivri bir dağılıma sahiptir. Koyunağılı kömür yatağı için kestirilen blokların kestirilen kalınlık değerlerinin tanımlayıcı istatistiği Çizelge 6.5’de ve histogramı Şekil 6.11’de verilmiştir.

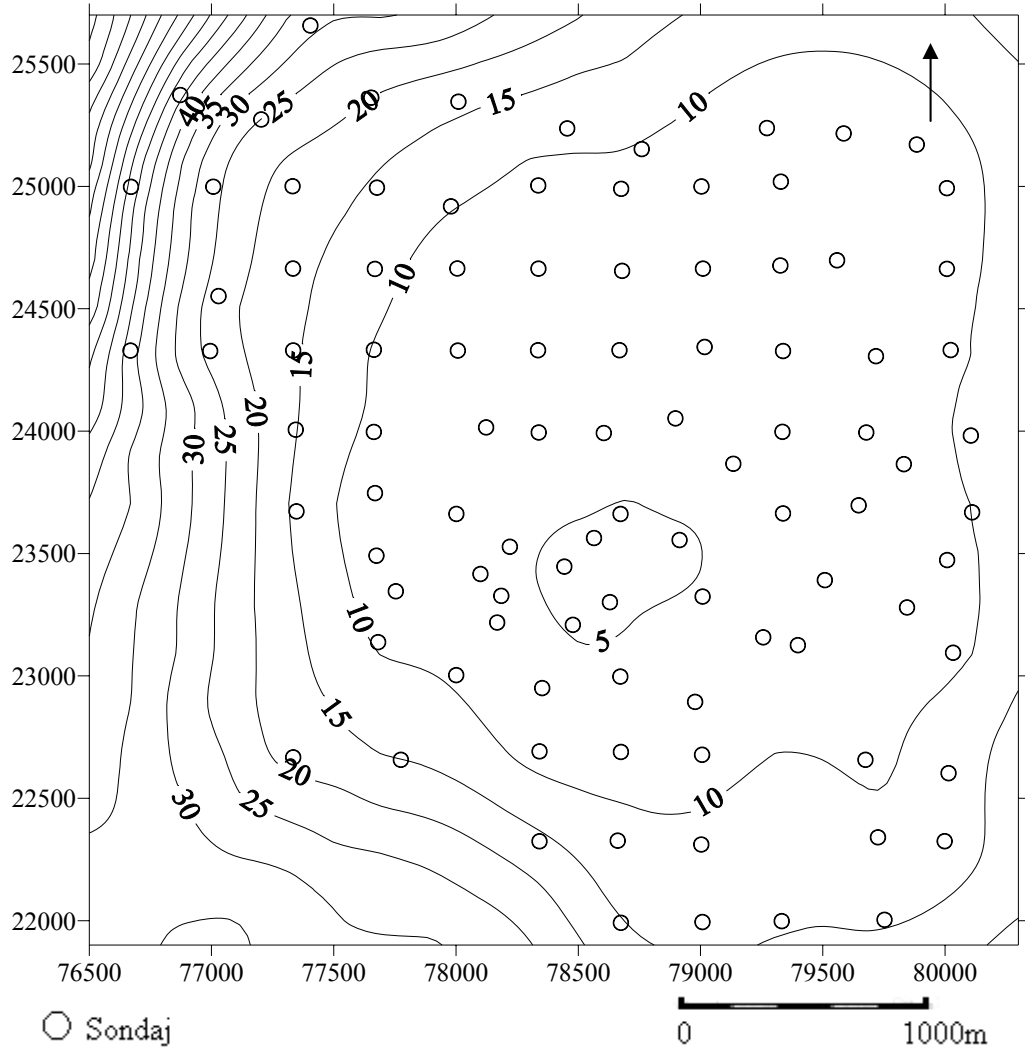
Çizelge 6.5. Ordinary kriging hatası tanımlayıcı istatistiği

Lilliefors düzeltilmeli Kolmogorov-Smirnow önem derecesi	0.00
Ortalama (%)	17.21
Standart sapma (%)	14.32
Değişim katsayısı	83.21
Çarpıklık	2.22
Basıklık	6.15
Örnek sayısı	398
Minimum (%)	4.52
Birinci çeyrek (%)	7.49
Medyan (%)	12.27
Üçüncü çeyrek (%)	22.13
Maksimum (%)	92.01



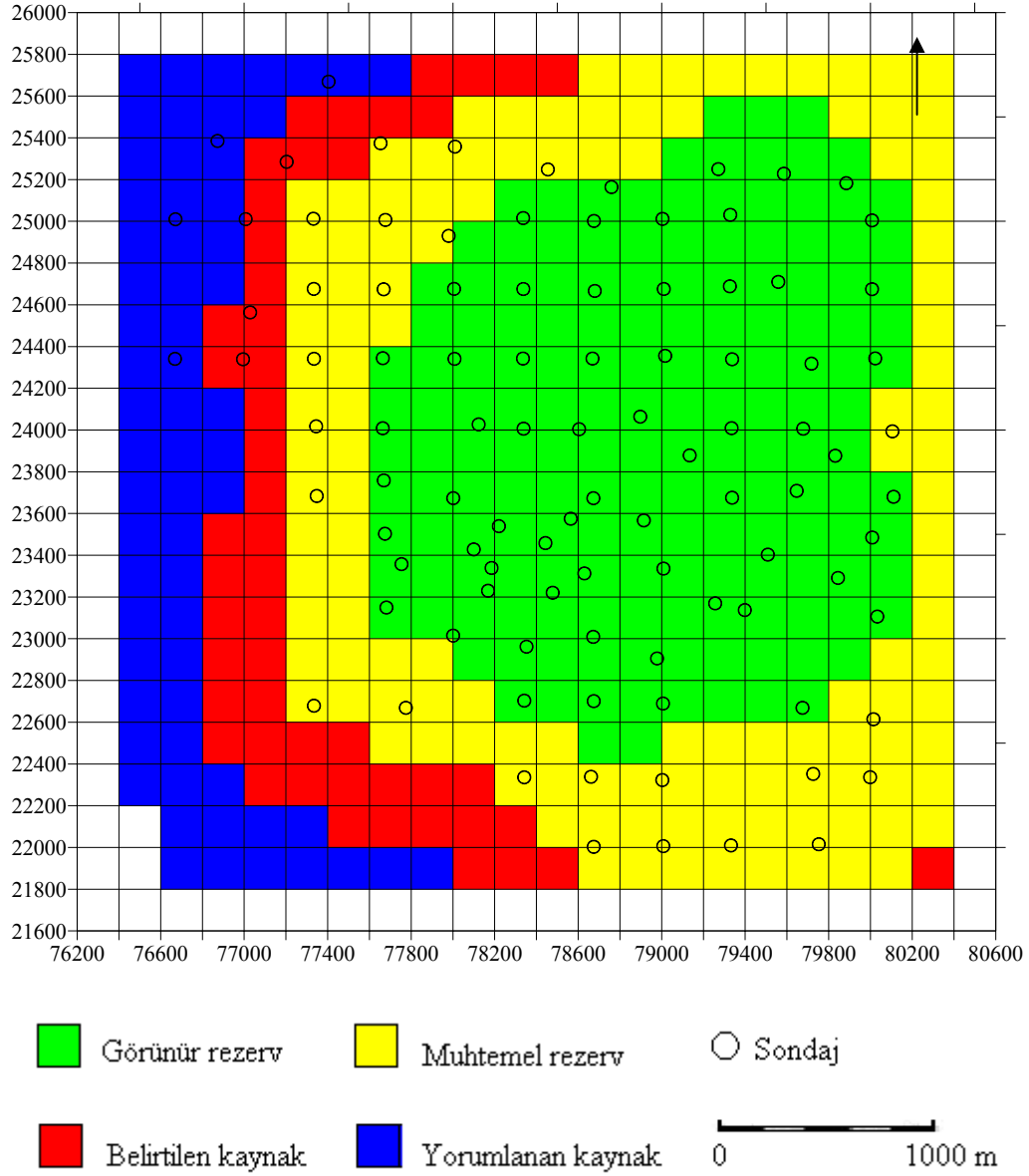
Şekil 6.11. Ordinary kriging hatası histogramı

Ordinary kriging hatası değerleri Koyunağılı linyit yatağının merkezine doğru azalmaktadır. Ordinary kriging standart hatası % 4.52 ile % 92 değerleri arasında değişmektedir. Blokların ordinary kriging hatalarının kontur haritası Şekil 6.12’de gösterilmiştir.



Şekil 6.12. Blokların ordinary kriging hatalarının kontur haritası

Ordinary kriging hatasına bağlı olarak kaynak/rezerv sınıflandırması yapıldığında 162 bloğun görünür rezerv, 124 bloğun muhtemel rezerv, 50 bloğun belirtilen kaynak ve 62 bloğun yorumlanan kaynak olduğu belirlenmiştir. Ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırma haritası Şekil 6.13'de gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Blokların ordinary kriging hatasına göre kaynak ve rezerv sınıflandırılması

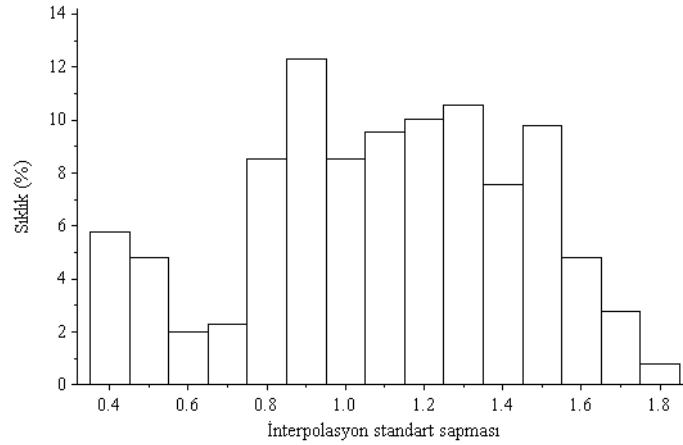
### 6.2.3.2. İnterpolasyon hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması

Koyunağılı linyit yatağı için tahmin edilen blokların interpolasyon standart sapmasının ortalaması 1.09 m ve standart sapması 0.35 m'dir. Blokların kalınlık değerleri Lilliefors düzeltmeli Kolmogorov-Smirnow normal dağılım testine göre normal olarak dağılmaktadır. Kalınlık değerleri sola çarpık ve sivri bir dağılıma sahiptir. Koyunağılı kömür yatağı için kestirilen blokların kestirilen kalınlık

değerlerinin tanımlayıcı istatistiği Çizelge 6.6'da ve histogramı Şekil 6.14'de verilmiştir.

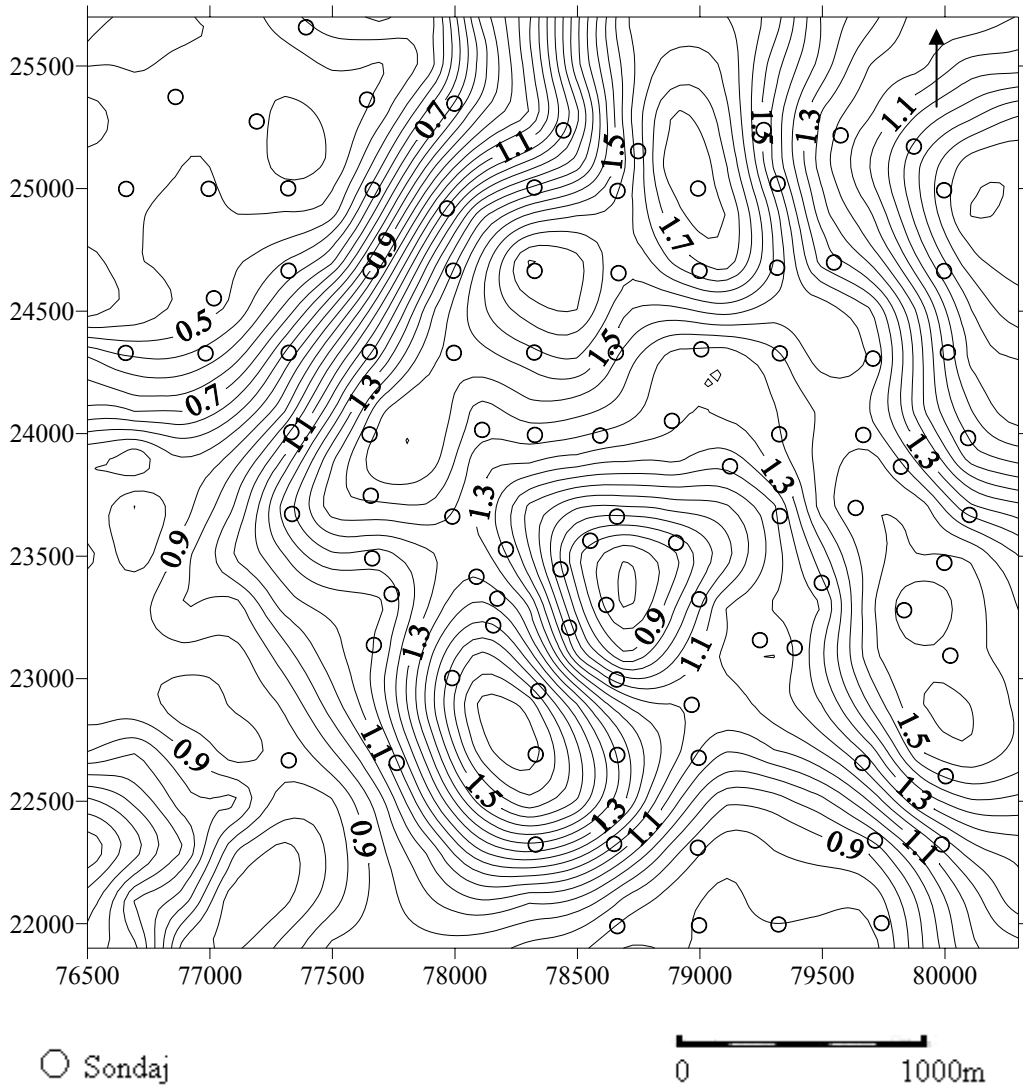
Çizelge 6.6. İnterpolasyon standart sapmasının tanımlayıcı istatistiği ve normal dağılım testi

Lilliefors düzeltilmeli Kolmogorov-Smirnow (P değeri)	0.06
Ortalama	1.09
Standart sapma	0.35
Değişim katsayısı	31.96
Çarpıklık	-0.25
Basıklık	-0.93
Örnek sayısı	398
Minimum	0.37
Birinci çeyrek	0.86
Medyan	1.09
Üçüncü çeyrek	1.37
Maksimum	1.80



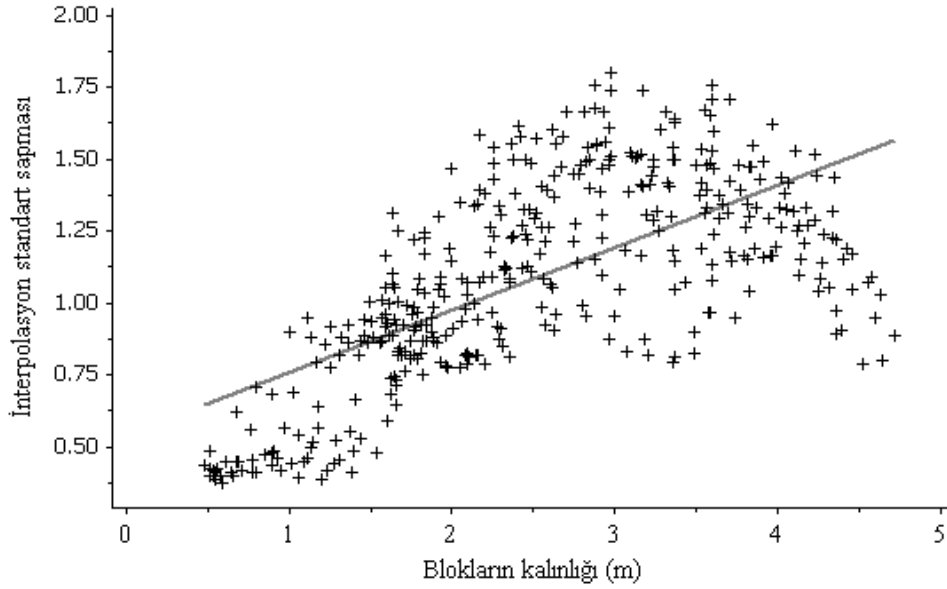
Şekil 6.14. İnterpolasyon standart sapmasının histogramı

İnterpolasyon standart sapmasının değerleri koyunağılı kömür yatağında verilerin düzenine ve verilerin değerlerine göre belirli bölgelerde kümelenme göstermektedir. İnterpolasyon standart sapması 0.37 m ile 1.80 m değerleri arasında değişmektedir. Blokların ordinary interpolasyon standart sapmalarının kontur haritası Şekil 6.15'de gösterilmiştir.



Şekil 6.15. Blokların interpolasyon standart sapmalarının kontur haritası

Blokların tahmin kalınlığı ve interpolasyon standart sapması arasındaki korelasyon katsayısı  $r = 0.663$ 'dür. Korelasyon katayısına göre blokların tahmin kalınlığı ve interpolasyon standart sapması arasında, blokların tahmini ve ordinary kriging standart sapmasına göre daha güçlü bir ilişki vardır. İnterpolasyon standart sapması değerleri ile blokların tahmin değerleri arasında kaynak/rezerv sınıflandırmasında önemli olan oransal etki, ordinary kriging standart sapmasına göre belirlenenden daha güçlüdür. Bunun en önemli nedeni interpolasyon standart sapmasının veri değerlerine bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Blokların tahmini ve interpolasyon standart sapması arasındaki serpilme diyagramı Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



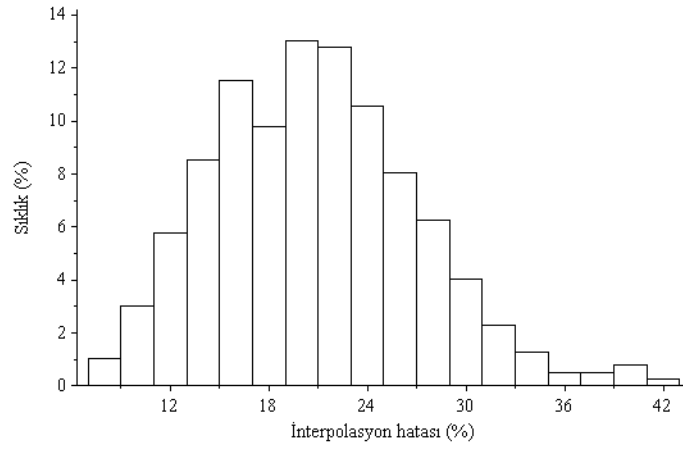
Şekil 6.16. İnterpolasyon standart sapması ile blokların tahmininin serpilme diyagramı

Koyunağılı kömür yatağı için tahmin edilen blokların interpolasyon hatası ortalaması % 20.78 ve standart sapması % 6.22'dir. Blokların interpolasyon hatası Lilliefors düzeltilmeli Kolmogorov-Smirnow normal dağılım testine göre normal olarak dağılmaktadır. Kalınlık değerleri sağa çarpık ve basık bir dağılıma sahiptir. Koyunağılı kömür yatağı için kestirilen blokların kestirilen kalınlık değerlerinin tanımlayıcı istatistiği Çizelge 6.7'de ve histogramı Şekil 6.17'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. İnterpolasyon hatasının tanımlayıcı istatistiği ve normal dağılım testi

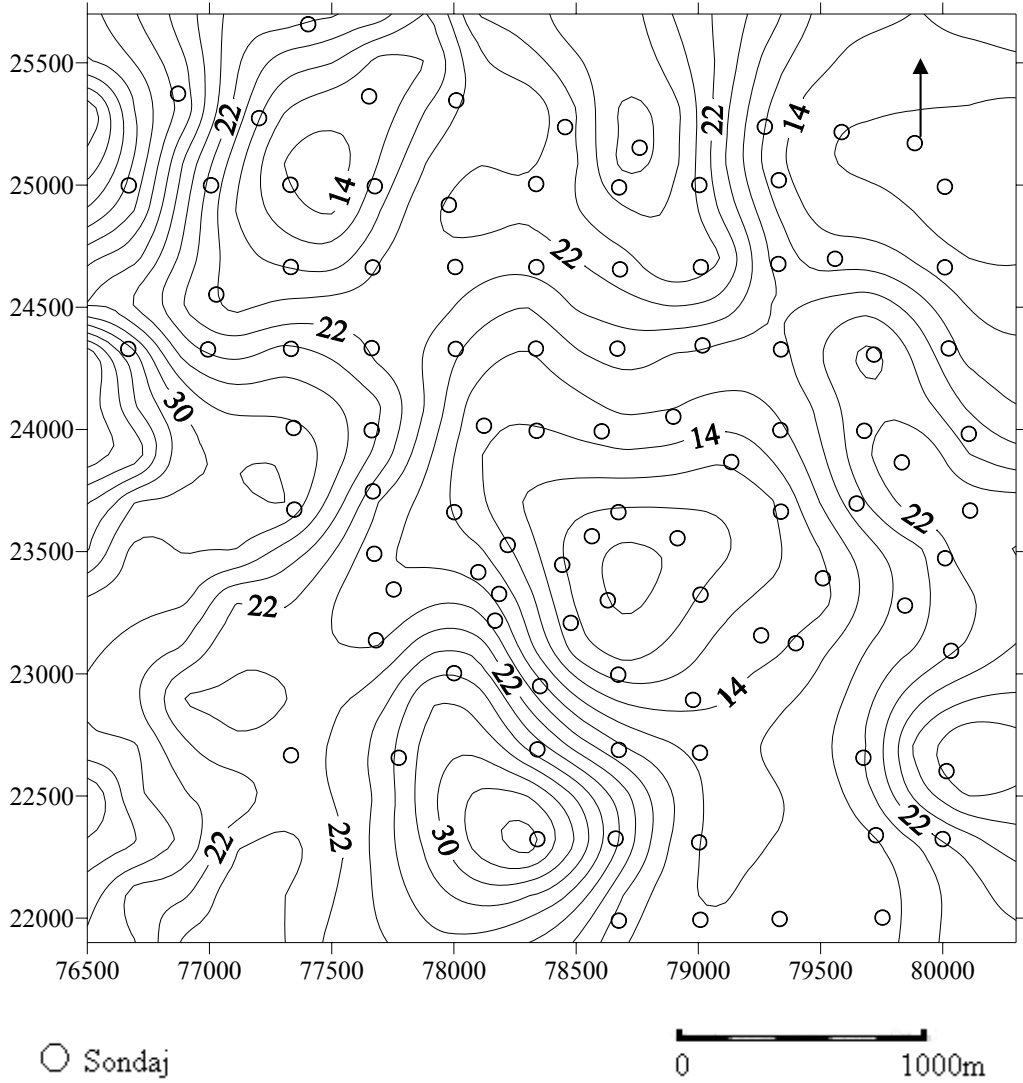
Lilliefors düzeltilmeli Kolmogorov-Smirnow önem derecesi	0.197
Ortalama (%)	20.78
Standart sapma (%)	6.22
Değişim katsayısı	29.93
Çarpıklık	0.45
Basıklık	0.17
Örnek sayısı	398
Minimum (%)	7.56
Birinci çeyrek (%)	16.19
Medyan (%)	20.14
Üçüncü çeyrek (%)	24.82
Maksimum (%)	41.89





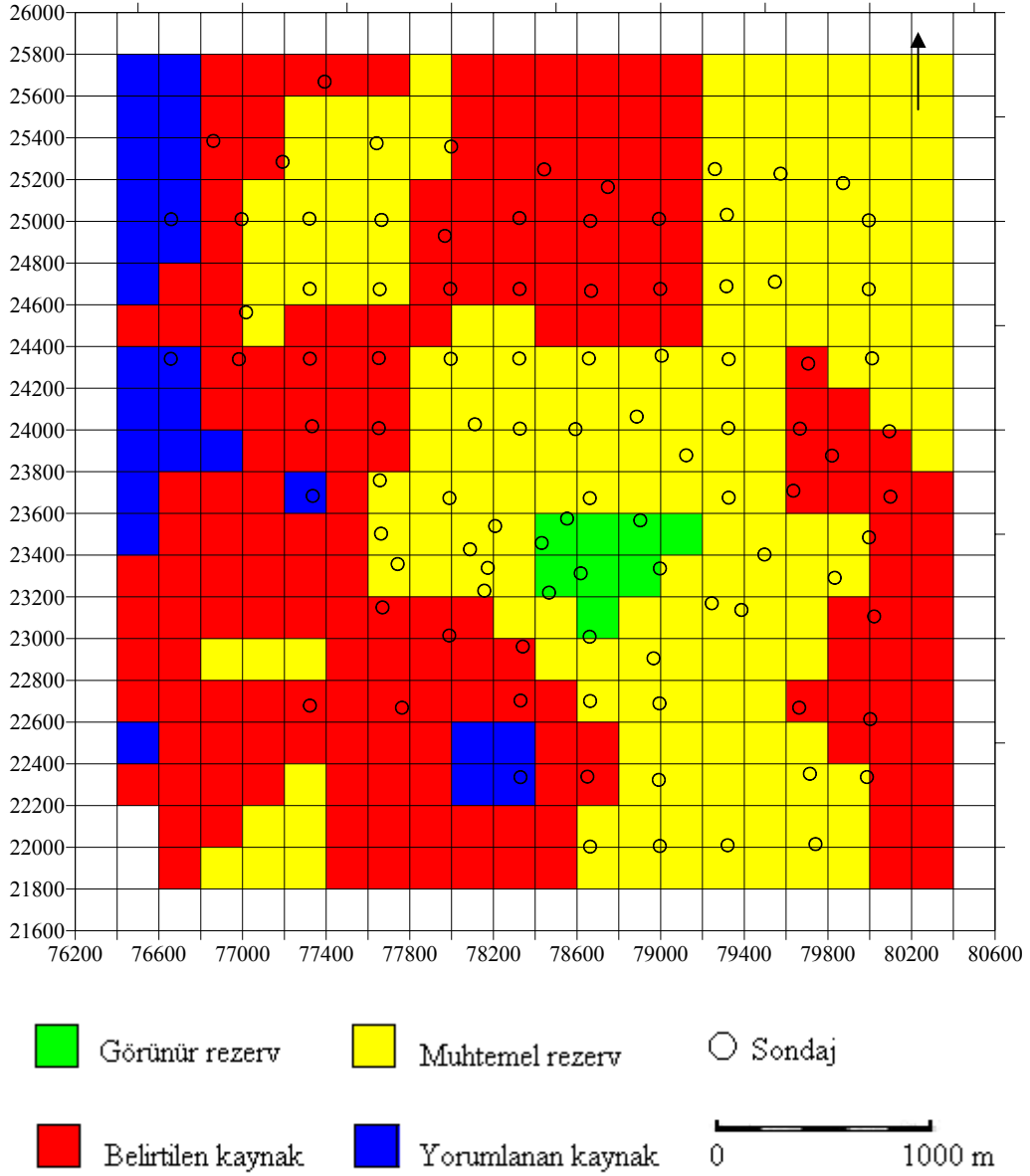
Şekil 6.17. İnterpolasyon hatası histogramı

İnterpolasyon hatası değerleri koyunağılı kömür yatağı verilerin düzenine ve verilerin değerlerine göre belirli bölgelerde kümelenme göstermektedir. İnterpolasyon hatası % 7.56 ile % 41.89 değerleri arasında değişmektedir. Blokların interpolasyon hatası kontur haritası Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



Şekil 6.18. Blokların interpolasyon hatalarının kontur haritası

İnterpolasyon hatasına bağlı olarak kaynak/rezerv sınıflandırması yapıldığında 8 tane bloğun görünür rezerv, 179 tane bloğun muhtemel rezerv, 185 tane bloğun belirtilen kaynak ve 26 tane bloğun yorumlanan kaynak olduğu belirlenmiştir. İnterpolasyon hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması Şekil 6.19'da gösterilmiştir.



Şekil 6.19. Blokların interpolasyon hatasına göre kaynak ve rezerv sınıflandırması

### 6.3. Bulanık Mantık Yaklaşımının Kaynak/Rezerv Sınıflandırmasına Uygulanması

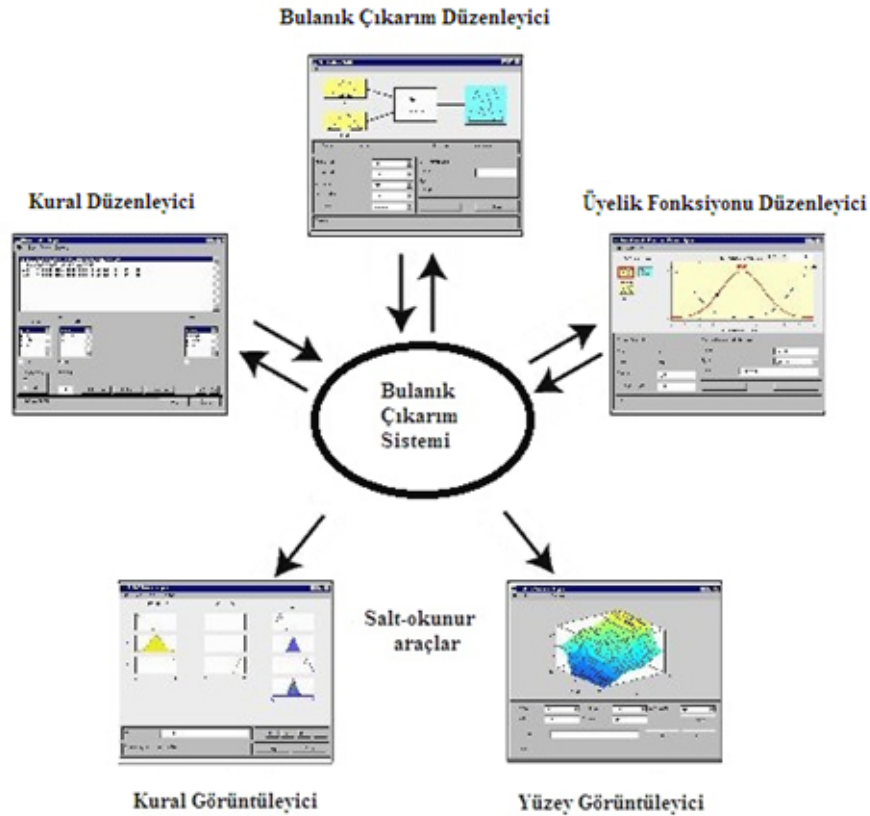
Kaynak/rezerv sınıflandırmasında kullanılan hataların bulanık sistem olarak modellenebilmesi amacıyla sistemi oluşturan girdi değişkenlerinin sayısı ve çıktı değişkeni tanımlanmıştır.

Bulanık sistemin girdi değişkenleri ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatası olarak belirlenmiştir. Oluşturulması istenilen bulanık sistemin çıktı değişkeni kaynak/rezerv sınıflaması için elde edilen bulanık hata şeklinde tanımlanmıştır. İki adet

girdi değişkeni ve bir adet çıktı değişkeni olan bulanık sistem Mamdani anlam çıkarma sistemi kullanılarak oluşturulmuştur.

### 6.3.1. Matlab yazılımının bulanık mantık alt programı

Bulanık sistemlerin çözümünde, Matlab yazılımında bulunan bulanık mantık araçları (fuzzy logic toolbox) tarafından sağlanan grafik arayüzleri kullanılmaktadır. Bulanık mantık araçları komut satırından çalıştırılabilmekle birlikte bir grafik arayüzüyle de çalıştırılabilmektedir. Bulanık mantık araçları içerisinde bulunan bulanık çıkarım sistemlerinin yapılandırılması, düzenlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla beş temel grafik arayüzü kullanılmaktadır. Bu arayüzler; bulanık anlam çıkarma düzenleyici (editör), üyelik fonksiyonu düzenleyici, kural düzenleyici, kural görüntüleyici ve yüzey görüntüleyiciden oluşmaktadır. Bu arayüzler dinamik olarak birbirine bağlıdır. Şekil 6.20’de bulanık mantıkta kullanılan grafik arayüzlerinin birbirleriyle olan etkileşimi gösterilmiştir ( Mathworks, 1995-2010).



Şekil 6.20. Bulanık mantık araçlarında bulunan grafik ara yüzler

Bulanık çıkarım düzenleyici, sistemin tanımlanmasını sağlayan girdi ve çıktı değişkenlerinin sayısının ve isimlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bulanık mantık araçları girdi değişkenlerinin sayısında sınırlama yoktur. Fakat girdi değişkenlerinin veya üyelik fonksiyonlarının sayısı fazla ise kural sayısında üssel olarak artmaktadır. Bu durumda, problemin çözümünde gereken zaman ve hafızanın artmasından dolayı komut satırından işlemler yapılabilir.

Üyelik fonksiyonu düzenleyici, her bir değişkenle ilişkili tüm üyelik fonksiyonlarının şekillerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır.

Kural düzenleyici, bulanık sistemin davranışını tanımlayan kuralların düzenlenmesinde kullanılmaktadır.

Kural ve yüzey görüntüleyici grafik arayüzleri kullanılarak bulanık anlam çıkarma sisteminde herhangi bir düzenleme yapılamamaktadır. Bu arayüzler kullanılarak sadece sistemin sonuçları yorumlanabilmektedir. Bu nedenle, görüntüleyiciler doğrudan salt okunur araçlar olarak tanımlanmaktadır. Kural görüntüleyici yardımıyla, girdi değişkenlerine verilen değerlerden bir sonuç elde edilebilirken, aynı zamanda, görsel olarak sistemde bulunan hangi üyelik fonksiyonu şeklinin bulanık sistemin sonuçlarını daha fazla etkilediği gözlenebilmektedir. Yüzey görüntüleyicisiyle, bir veya iki girdi değişkenine göre sistemin çıktısının nasıl değiştiği grafiksel olarak gözlenebilmektedir. Yani, sistemin sonucunda elde edilebilecek tüm çıktı değerlerinin grafiği, istenilen girdi değişkenlerine göre çizilebilmektedir.

### 6.3.2. Matlab yazılımının kaynak/rezerv sınıflandırmasına uygulanması

Ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatasından oluşan girdi değişkenleri ve bulanık hatadan oluşan çıktı değişkeni için bulanık kümeler oluşturulmuştur. Değişkenler için oluşturulan bulanık kümeler için üçgen ve trapez üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonları “ $a_1$ ”, “ $a_2$ ” ve “ $a_3$ ” gibi üç parametre ile tanımlanmaktadır. Üçgen üyelik fonksiyonunun kenar noktaları “ $a_1$ ” ve “ $a_3$ ” parametreleri, tepe noktası “ $b$ ” parametresidir. Trapez üyelik fonksiyonları “ $a_1$ ”, “ $a_2$ ”, “ $a_3$ ” ve “ $a_4$ ” gibi dört parametre ile tanımlanmaktadır. Trapez üyelik fonksiyonunun kenar noktaları “ $a_1$ ” ve “ $a_4$ ” parametreleri, tepe noktaları “ $a_2$ ”, “ $a_3$ ” parametreleridir. Ordinary kriging hatası ve interpolasyon hataları değerlendirilerek her bir parametre için

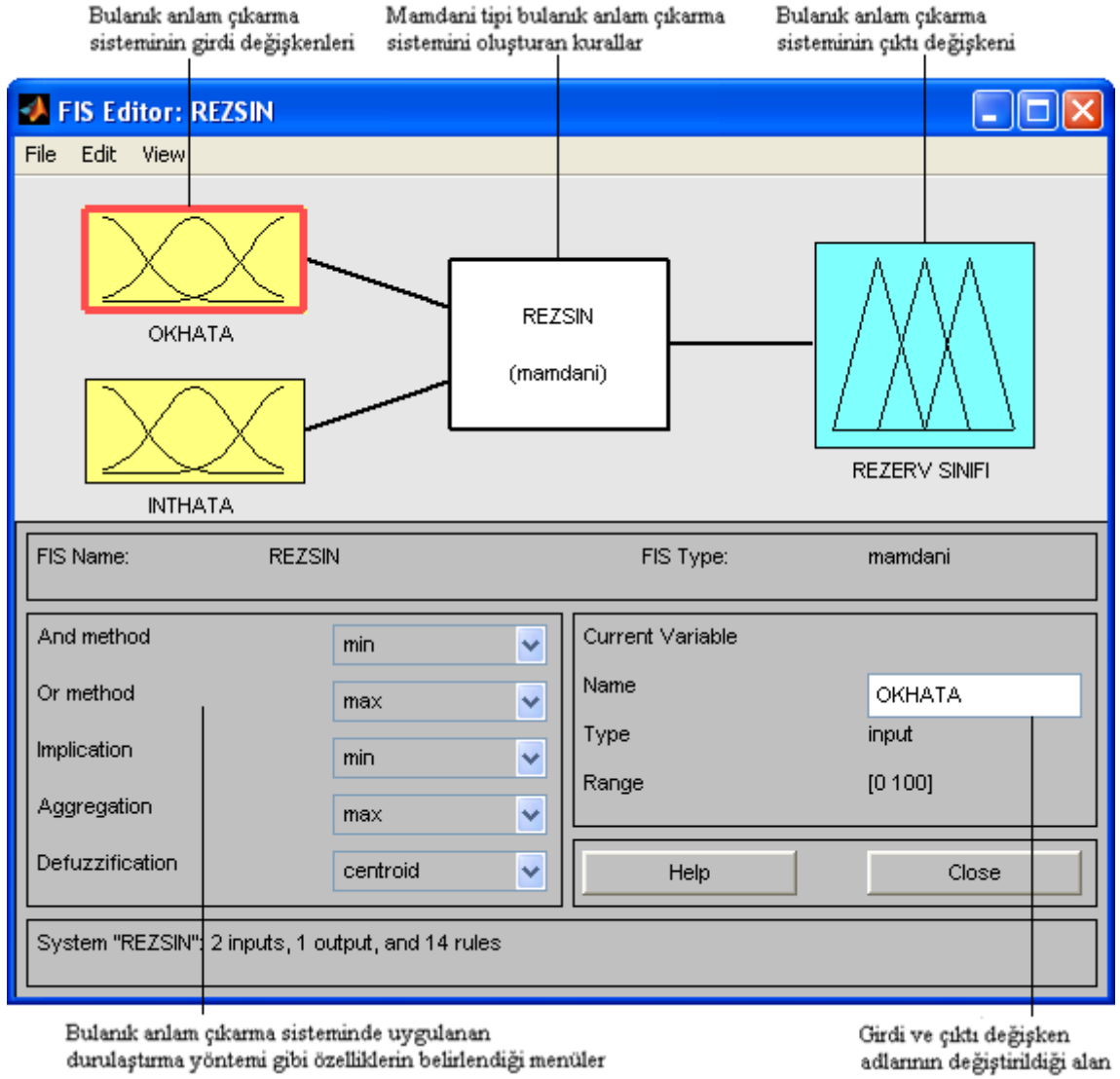
eşit aralıklarla üçgen ve trapez üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Bulanık küme çıktı değişkenleri de benzer şekilde tanımlanmıştır. Bulanık sistemin girdi değişkenlerinin temsil edilmesinde kullanılan üçgen ve trapez üyelik fonksiyonları parametreleri Çizelge 6.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8. Girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları tipi ve parametreleri

Dilsel ifade	Ordinary kriging hatası üyelik fonksiyonları parametreleri ve tipi	İnterpolasyon hatası üyelik fonksiyonları parametreleri ve tipi
Çok Düşük	(0, 0, 18.4, 36.8); (Trapez)	(0,0, 8.4, 16.8); (Trapez)
Düşük	(18.4, 36.8, 55.2); (Üçgen)	(8.4, 16.8, 25.2); (Üçgen)
Orta	(36.8, 55.2, 73.6); (Üçgen)	(16.8, 25.2, 33.6); (Üçgen)
Yüksek	(55.2, 73.6, 92); (Üçgen)	(25.2, 33.6, 42); (Üçgen)
Çok Yüksek	(73.6, 92, 100, 100); (Trapez)	(33.6, 42, 50,50); (Trapez)

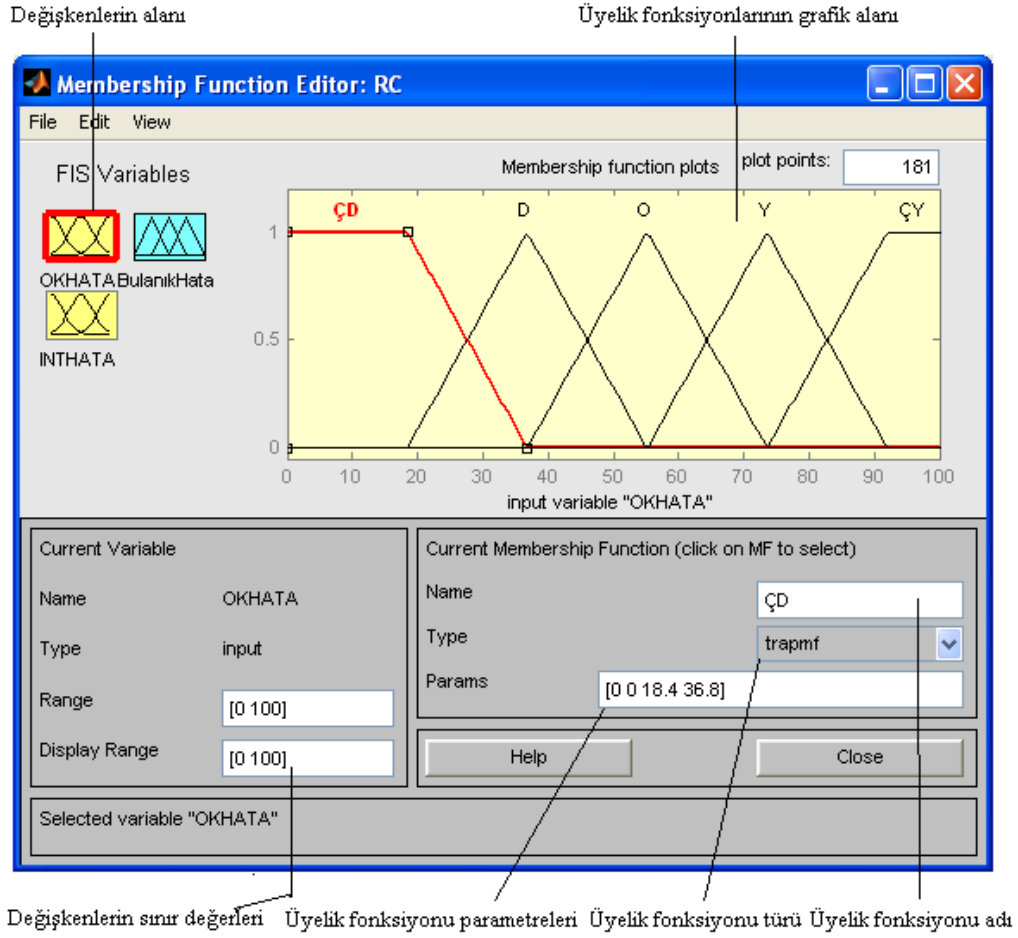
Çizelge 6.9’da verilmiş olan üyelik fonksiyonu parametreleri 398 adet bloğa ait ordinary kriging hatalarının değerlendirilmesi sonucu oluşturulmuştur. Ordinary kriging hatasının en büyük hata değeri (% 92) eşit aralıklara bölünerek üçgen üyelik fonksiyonlarının “ $a_2$ ” parametreleri hesaplanmıştır. Tepe noktası hesaplanan ordinary kriging hatasının “ $a_1$ ” ve “ $a_3$ ” parametreleri “ $a_2$ ” parametresine bağlı olarak oluşturulmuştur. İnterpolasyon hatasının en büyük hata değeri (% 42) eşit aralıklara bölünerek ordinary kriging hatası ile benzer şekilde üyelik fonksiyonlarının parametreleri belirlenmiştir.

Girdileri ve çıktı değişkenleri bulanık çıkarım düzenleyicide tanımlanan bulanık sistem Şekil 6.21’de gösterilmiştir.



Şekil 6.21. Girdi ve çıktı değişkenlerinin tanımlandığı bulanık çıkarım düzenleyici

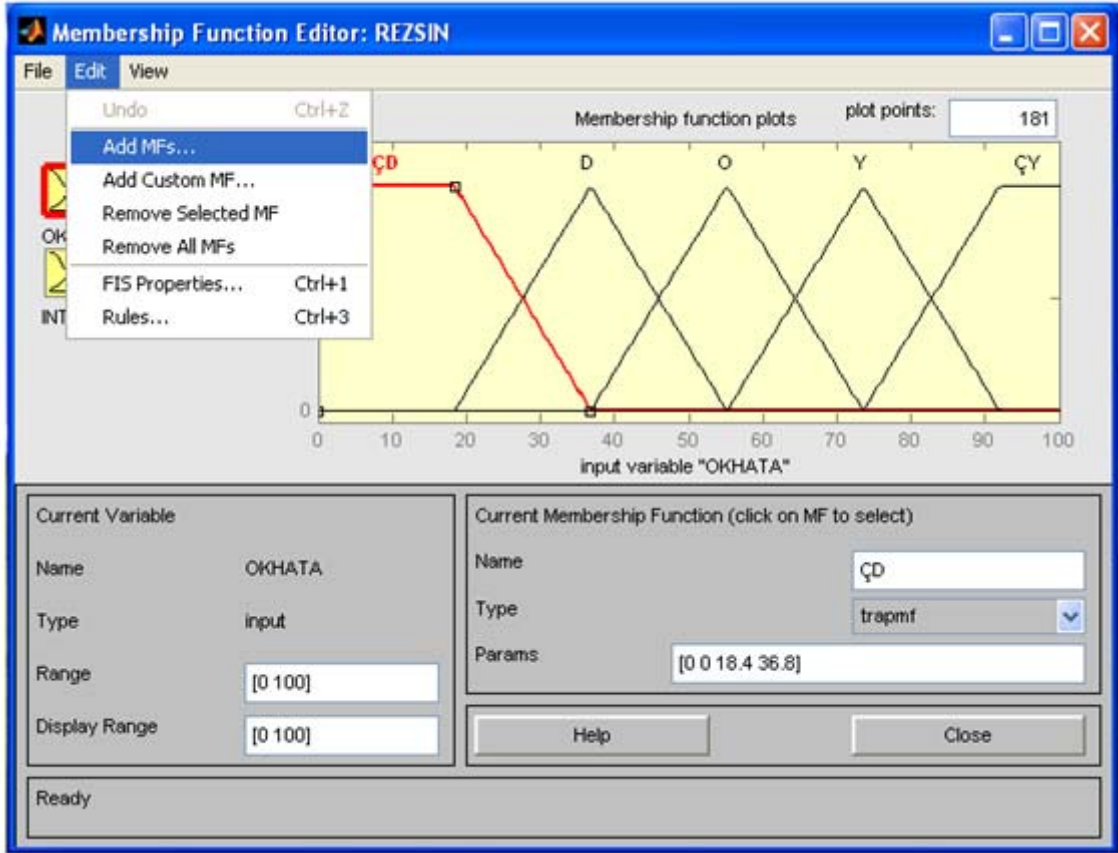
Bulanık sistemin üyelik fonksiyonu parametreleri ve tipleri bulanık mantık araçları içerisinde bulunan üyelik fonksiyonu düzenleyicisi ile tanımlanmıştır. Şekil 6.22'de üyelik fonksiyonu düzenleyicisi gösterilmiştir.



Şekil 6.22. Üyelik fonksiyonu düzenleyicisi

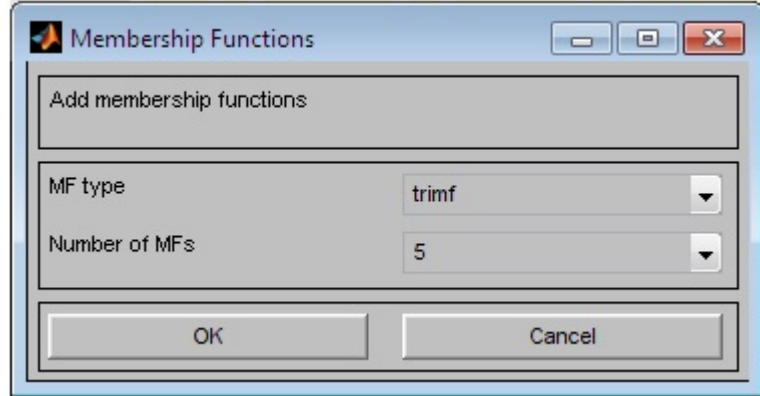
Ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatası girdi değişkenleri bulanık sistemin özelliklerine uygun olarak tanımlanmıştır. Şekil 6.23'de üyelik fonksiyonlarının eklenmesi gösterilmiştir.





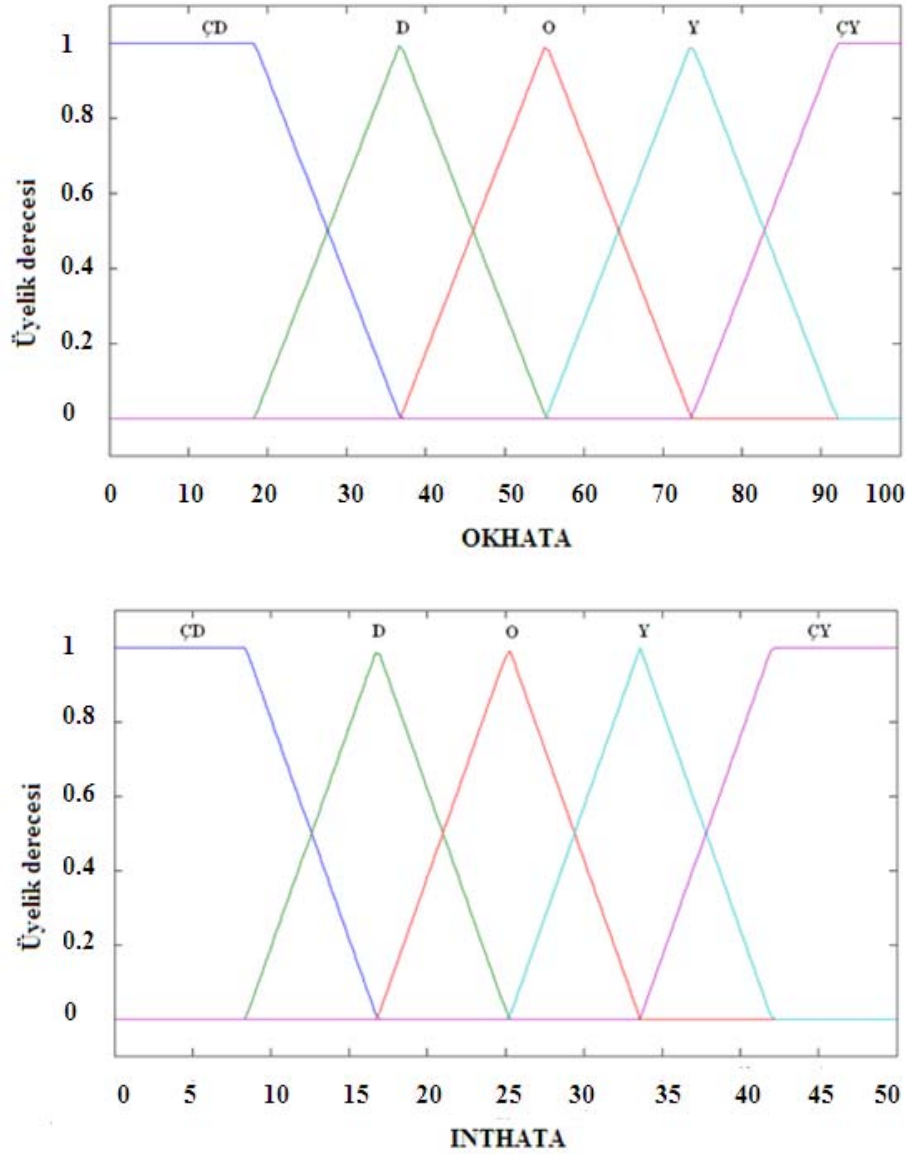
Şekil 6.23. Üyelik fonksiyonu düzenleyicisi aracıyla üyelik fonksiyonlarının eklenmesi

Ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatası için üyelik fonksiyonu sayısı 5 olacak şekilde tanımlanmıştır. Üyelik fonksiyonu tipi olarak 3 tane üçgen ve 2 tane trapez üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonu sayısı ve tipi üyelik fonksiyonu düzenleyicisi içerisinde yer alan üyelik fonksiyonları aracı Şekil 6.24'de gösterilmiştir.



Şekil 6.24. Bulanık küme sayısının ve tipinin belirlenmesi

Ordinary kriging hatasını temsil eden dilsel değişken “OKHATA” kısaltması ile gösterilmiştir. İnterpolasyon hatasını temsil eden dilsel değişken “INTHATA” kısaltması ile belirtilmiştir. OKHATA ve INTHATA’dan oluşan dilsel girdi değişkenlerini temsil eden bulanık kümeler Şekil 6.25’de gösterilmiştir. Şekil 6.25’de “ÇD, D, O, Y ve ÇY” sırasıyla *çok düşük*, *düşük*, *orta*, *yüksek* ve *çok yüksek* hataları temsil eden bulanık kümelere verilmiş olan kısaltmalardır.



Şekil 6.25. Bulanık sistemin girdi değişkenlerini oluşturan parametrelerin üyelik fonksiyonları

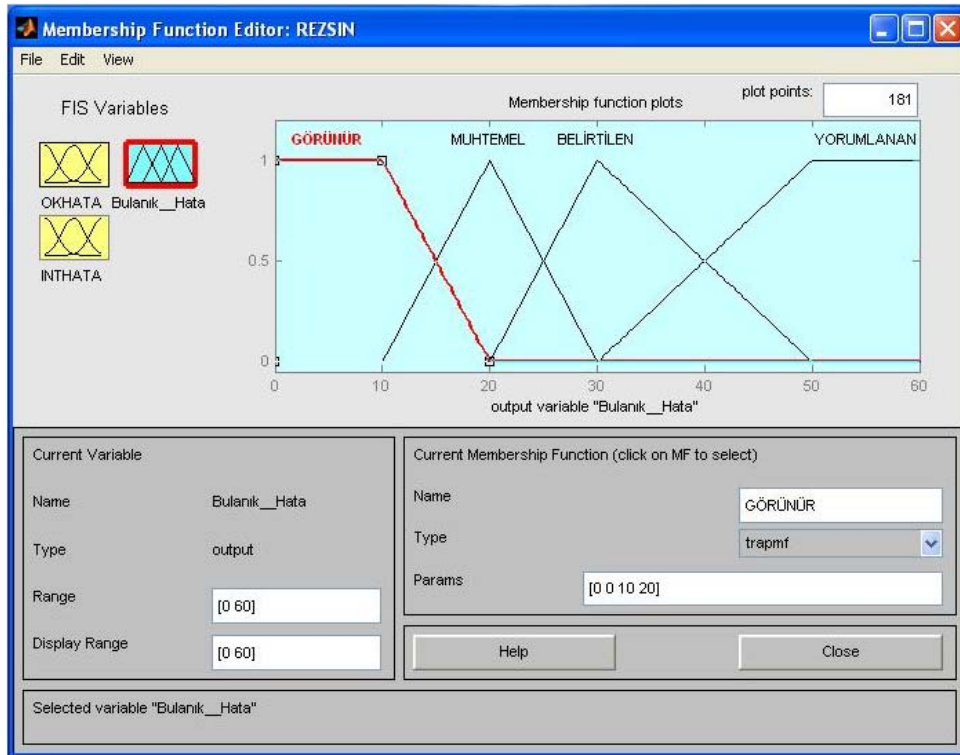
Bulanık sistemde, ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatası girdi değişkenleri bulanık kümelerle tanımlandıktan sonra sistemin çıktı değişkeni (bulanık hata) bulanık kümelerle tanımlanmıştır. Bulanık sistemin çıktısını oluşturan bulanık hata parametresi için bulanık kümeler “görünür, muhtemel, belirtilen ve yorumlanan” şeklinde kaynak/rezerv sınıflarını temsil edecek şekilde oluşturulmuştur. Bulanık kümelerin oluşturulmasında sınıflandırma sisteminde tanımlanan aralıklar esas alınmıştır. Görünür rezerv sınıfı tanımının alt sınırı için sınıflama sisteminden elde edilebilecek en düşük bulanık hata değeri kullanılmıştır. Yorumlanan kaynak sınıfı tanımının üst sınırı için

sınıflama sisteminden elde edilebilecek en yüksek bulanık hata değeri kullanılmıştır. Her bir kaynak/rezerv sınıfı için Çizelge 6.9’da verilen üyelik fonksiyonu parametreleri kullanılmıştır.

Çizelge 6.9. Bulanık sistemin çıktı değişkeninin üyelik fonksiyonu parametreleri ve tipi

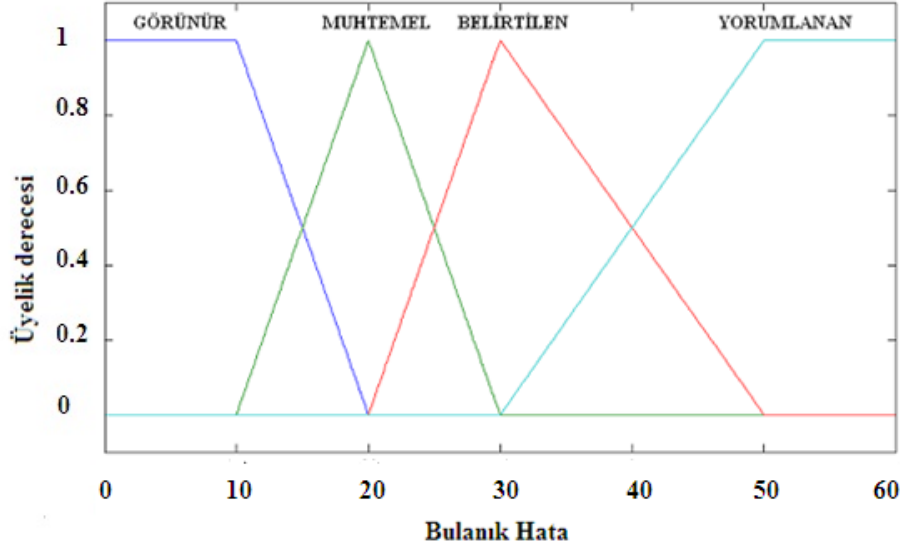
Kaynak/rezerv sınıfı	Bulanık hata üyelik fonksiyonları parametreleri ve tipi
Görünür	(0, 0, 10, 20); (Trapez)
Muhtemel	(10, 20, 30); (Üçgen)
Belirtilen	(20, 30, 50); (Üçgen)
Yorumlanan	(30, 50, 60, 60); (Trapez)

Bulanık sistemin çıktısı olan bulanık hatanın, üyelik fonksiyonu düzenleyicisi aracılığıyla tanımlanması Şekil’de gösterilmiştir.



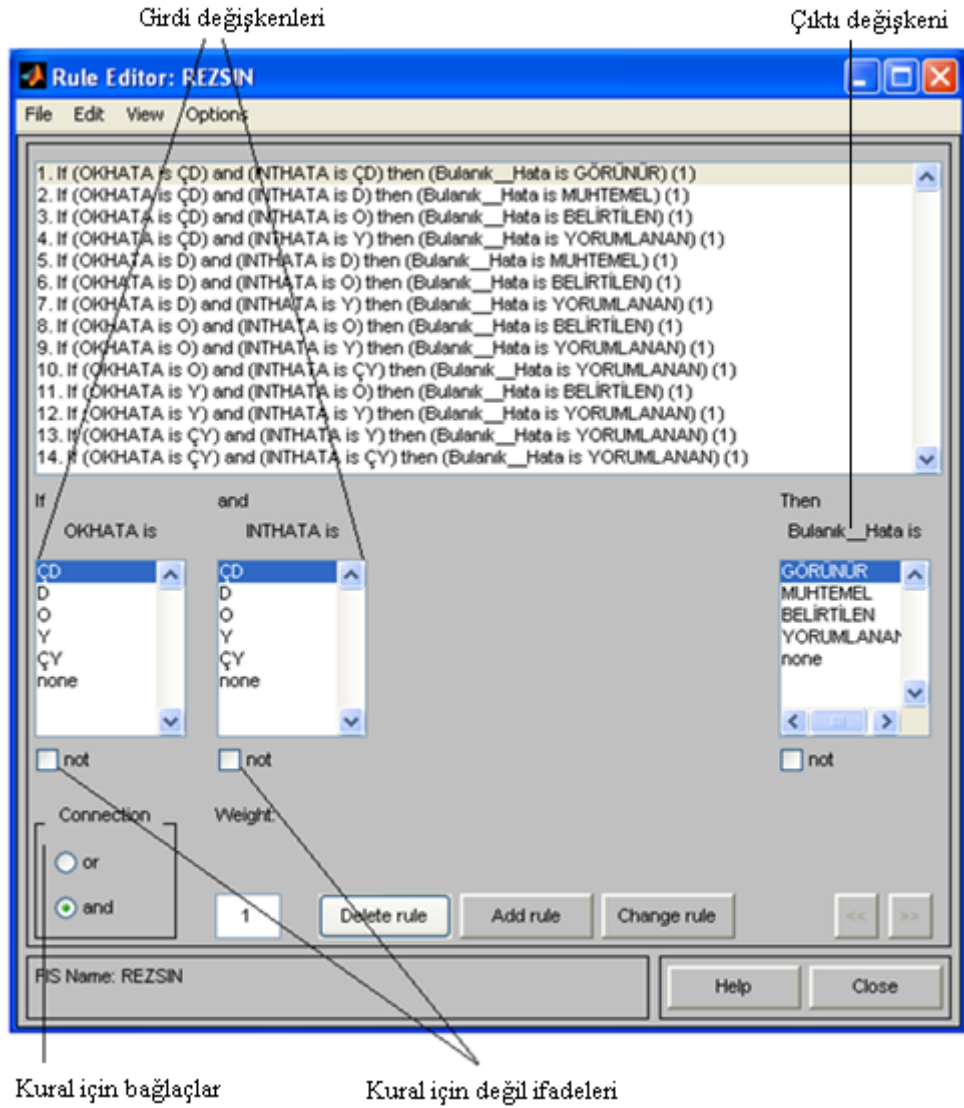
Şekil 6.26. Üyelik fonksiyonu düzenleyicisiyle çıktı değişkeni bulanık kümelerin oluşturulması

Bulanık sistemi oluşturan bulanık hata değişkenini temsil eden bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları Şekil 6.27’de gösterilmiştir.



Şekil 6.27. Bulanık sistemin çıktı değişkenine ait üyelik fonksiyonları

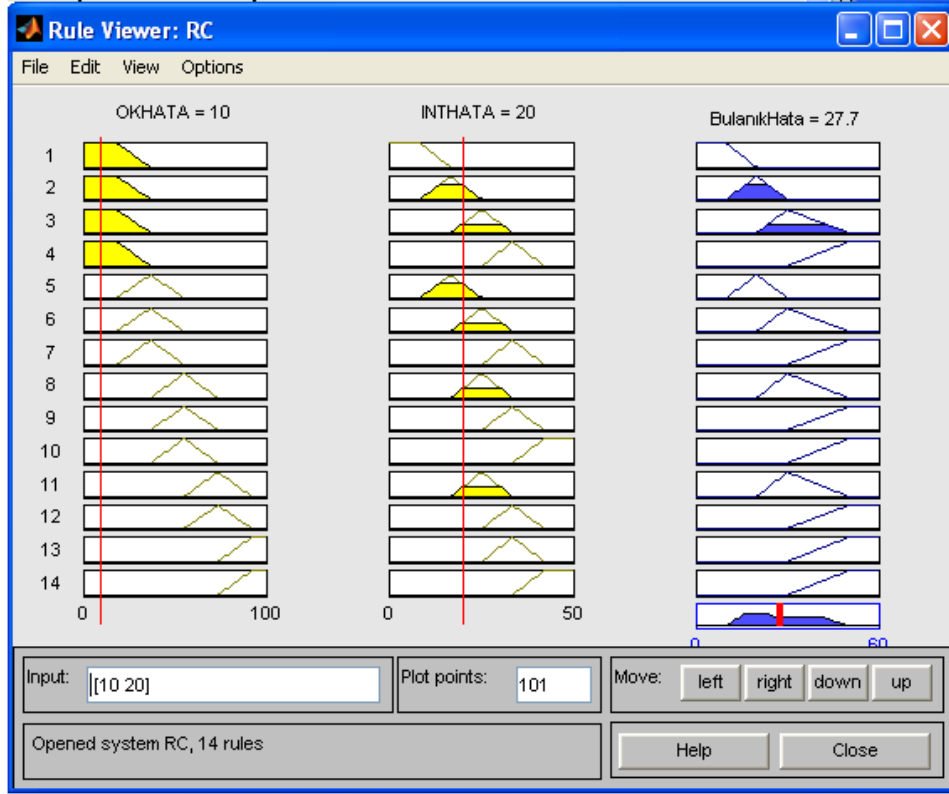
Bulanık sistemlerin tanımlanmasında ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatası girdilerinin bulanık hata çıktısı ile bağıntısının oluşturulabilmesi için kurallar belirlenmiştir. Şekil 6.28'de kural düzenleyicisi yardımıyla oluşturulan kurallar gösterilmiştir.



Şekil 6.28. Bulanık sistemin kural tabanının oluşturulması

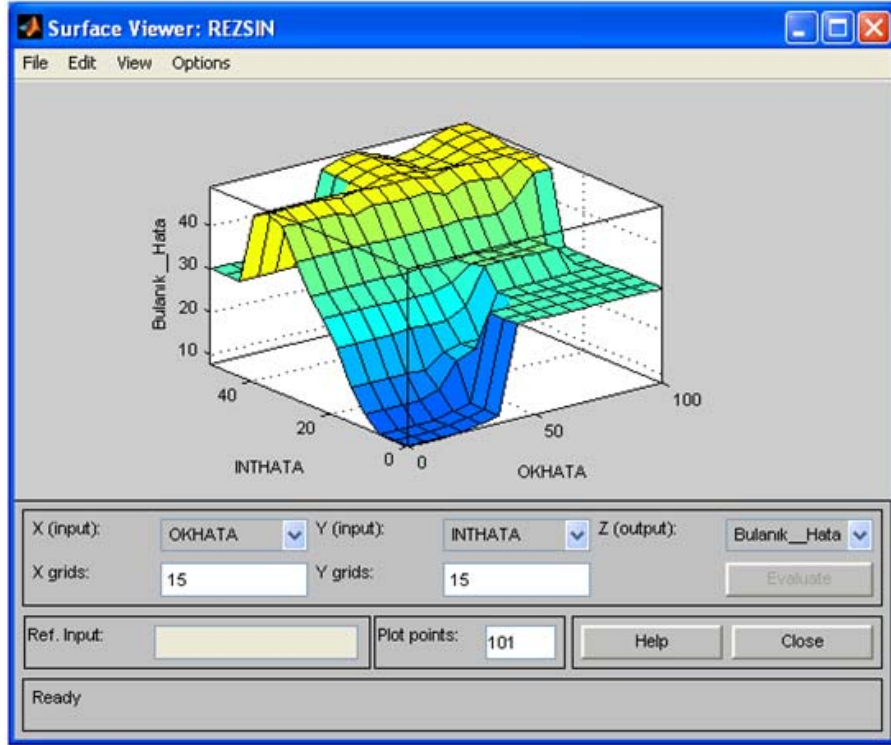
Birinci kuralda belirtilen: “*If* (OKHATA) is ÇD and (INTHATA) is ÇD *then* (Bulanık\_Hata) is GÖRÜNÜR” tanımlaması, “*Eğer*; ordinary kriging hatası çok düşük ve interpolasyon hatası çok düşük ise, *o zaman* bulanık hataya göre rezerv sınıfı görünür rezervdir” açıklamasıyla ifade edilebilir. Kuralın önerme kısmında bulunan koşulların gerçekleşmesi durumunda kaynak/rezerv sınıfı tanımlanabilmektedir.

Bulanık sistemden girdi değişkenlerine bağlı olarak çıktı değişkeninin nasıl değiştiği kural görüntüleyici tarafından belirlenmektedir. Şekil 6.29’da kural görüntüleyici gösterilmiştir.



Şekil 6.29. Bulanık sistemin sonuçlarının alınması

Girdi değişkenlerine bağlı olarak bulanık sistemdeki değişkenlerin değerlendirilmesi için yüzey görüntüleyici kullanılabilir. Yüzey görüntüleyici Şekil 6.30'da gösterilmiştir.



Şekil 6.30. Bulanık sistemin sonuçlarının değerlendirildiği yüzey görüntüleyici

Matlab yazılımında bulanık mantık aracı içerisinde bulunan düzenleyicilerden ve görüntüleyicilerden başka Matlab komut satırından girilen yazılım kodlarıyla veya komutların yazıldığı “.fis” uzantılı dosyadan çağrılarak çalıştırılması sonucunda bulanık sistemin modellenmesi gerçekleştirilebilmektedir.

Bu çalışmada, uygulanan matlab yazılımında oluşturulan bulanık mantık modeline ait yazılımın kodlar: sistem (system), birinci girdi (input 1), ikinci girdi (input 2), çıktı (output) ve kurallardan (rules) oluşmaktadır.

Bulanık modelin oluşturulması için kullanılan komutlar:

```
[System]
Name='REZSIN'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
```



```
NumRules=14
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
```

```
Name='OKHATA'
Range=[0 100]
NumMFs=5
MF1='ÇD': 'trapmf',[0 0 18.4 36.8]
MF2='D': 'trimf',[18.4 36.8 55.2]
MF3='O': 'trimf',[36.8 55.2 73.6]
MF4='Y': 'trimf',[55.2 73.6 92]
MF5='ÇY': 'trapmf',[73.6 92 100 100]
```

```
[Input2]
```

```
Name='INTHATA'
Range=[0 50]
NumMFs=5
MF1='ÇD': 'trapmf',[0 0 8.4 16.8]
MF2='D': 'trimf',[8.4 16.8 25.2]
MF3='O': 'trimf',[16.8 25.2 33.6]
MF4='Y': 'trimf',[25.2 33.6 42]
MF5='ÇY': 'trapmf',[33.6 42 50 50]
```

```
[Output1]
```

```
Name='REZERV SINIFI'
Range=[0 60]
NumMFs=4
MF1='GÖRÜNÜR': 'trapmf',[0 0 10 20]
```

```
MF2='MUHTEMEL':'trimf',[10 20 30]
MF3='BELİRTİLEN':'trimf',[20 30 50]
MF4='YORUMLANAN':'trapmf',[30 50 60 60]
```

```
[Rules]
```

```
1 1, 1 (1) : 1
1 2, 2 (1) : 1
1 3, 3 (1) : 1
1 4, 4 (1) : 1
2 2, 2 (1) : 1
2 3, 3 (1) : 1
2 4, 4 (1) : 1
3 3, 3 (1) : 1
3 4, 4 (1) : 1
3 5, 4 (1) : 1
4 3, 3 (1) : 1
4 4, 4 (1) : 1
5 4, 4 (1) : 1
5 5, 4 (1) : 1
```

Girdi değişkenlerinin bulanık çıkarım sistemi ile değerlendirilmesi sonucu çıktıların belirlenen bir dosyaya kaydını sağlayan matlab yazılım kodları:

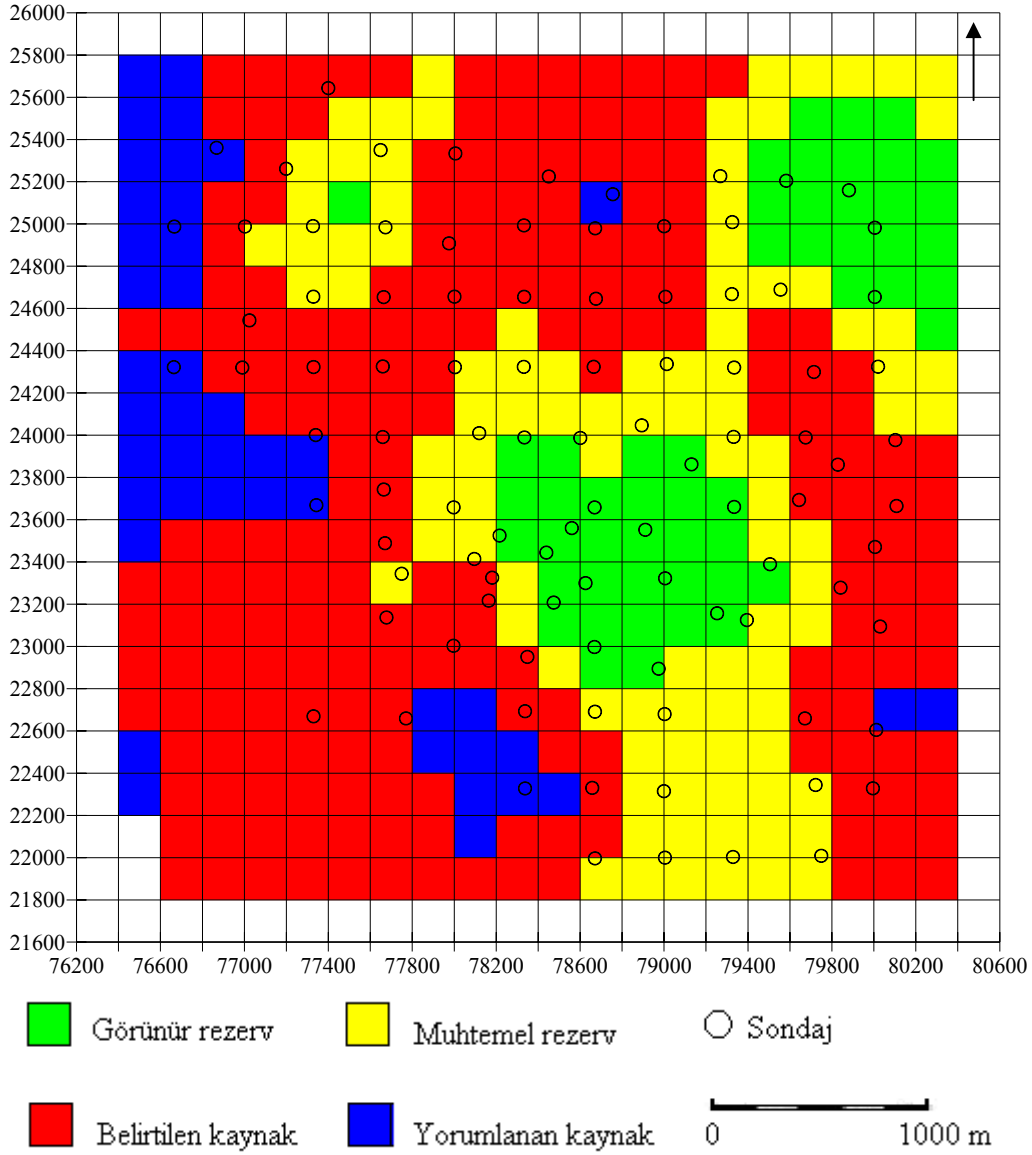
```
clear all;
load rezerv_sınıflandırma. dat;
[s1,s2]=size(rezerv_sınıflandırma);
A = [rezerv_sınıflandırma]
a = readfis('REZSIN.fis');
b = []
for i = 1:s1
    b(i) = evalfis([A(i,1) A(i,2)],a)
end
```

```
diary Bulanık_Hata.out  
for j = 1:s1  
b(j)  
end  
diary off
```

Koyunağlı kömür yatağındaki sondaj değerlerinin jeostatistiksel değerlendirilmesi sonucu hesaplanan ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatası kaynak/rezerv sınıflandırmasında girdi değişkenleri kesin (crisp) sayısal değerlerdir. Kural tabanında belirlenen kurallara göre çıktı değişkeni bulanık sayısal değerlerdir. Bulanık hata çıktı değişkeninden elde edilen bulanık sayısal değerler durulaştırma yöntemiyle kesin sayısal değerlere dönüştürülür.

Bulanık sistemden elde edilen kesin sayısal değerler çıktıda tanımlanan üyelik fonksiyonlarıyla kesiştirilerek kaynak/rezerv sınıfları ve bu sınıflara ait üyelik dereceleri çıktı olarak elde edilir. Girdi değişkenleri, kaynak/rezerv sınıflandırması ve üyelik dereceleri Ek A'da verilen Çizelge A.1'de gösterilmiştir.

Bulanık hataya bağlı olarak kaynak/rezerv sınıflandırması sonucunda 52 blok görünür rezerv, 97 blok muhtemel rezerv, 206 blok belirtilen kaynak ve 43 blok yorumlanan kaynak olarak belirlenmiştir. Bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması Şekil 6.31'de gösterilmiştir.



Şekil 6.31. Blokların bulanık hatasına göre kaynak ve rezerv sınıflandırması

#### 6.4. Kaynak/Rezerv Sınıflandırma Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Koyunağılı linyit yatağındaki ordinary kriging hatası, interpolasyon hatası ve bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırma sonuçları farklı çıkmıştır. Her bir yöntemin kullandığı bileşenlerin farklı olmasından dolayı bazı bloklar farklı kaynak/rezerv sınıfı içerisinde yer almıştır. Kullanılan yöntemlere bağlı olarak görünür rezerv, muhtemel rezerv, belirtilen kaynak ve yorumlanan kaynak Çizelge 6.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.10. Linyit sahasının farklı yöntemlere göre kaynak/rezerv sınıflandırması

Kaynak/rezerv sınıfı	Ordinary kriging hatası	İnterpolasyon hatası	Bulanık hata
Görünür rezerv	162	8	52
Muhtemel rezerv	124	179	97
Belirtilen kaynak	50	185	206
Yorumlanan kaynak	62	26	43
Toplam blok sayısı	398	398	398

Kaynak/rezerv sınıflandırma yöntemlerinde hataların hesaplanmasında ordinary kriging yöntemiyle yapılan blok tahmin değerleri kullanılmıştır. Ordinary kriging hatası variogram modeline ve verilerin yerleşim düzenine bağlı olduğundan lokal doğruluğu tam olarak ölçemez. İnterpolasyon varyansı verilerin değerlerine bağlı olduğu için hataların hesaplanmasında örnek sayısı önemlidir. Örnek sayısı arttıkça ordinary kriging hatası ile bir bloğun tahminindeki hatalar azalmaktadır. Bununla birlikte, interpolasyon varyansı örnek değerlerine bağlı bir yaklaşım olmasından dolayı blokların tahminindeki hatalar artmaktadır. Bu nedenle iki yöntemin kaynak/ rezerv sınıflandırma sonuçları farklı çıkmaktadır. Bulanık mantık, bir maden yatağı içerisindeki blokların değerlendirilmesinde ordinary kriging hatasının mı, yoksa interpolasyon hatasının mı sınıflandırmada etkili olduğunun değerlendirilmesi için uygulanmıştır. Bu amaçla kaynak/rezerv sınıflandırma için kullanılan jeostatistiksel yöntemlerle bu yöntemleri birleştiren bulanık yöntemlerin uyumlarının karşılaştırılması için istatistiksel yöntemler kullanılması gereklidir. Bu amaçla yöntemlerin sonuçlarının değerlendirilmesi için her bir yöntem için kaynak/rezerv sınıfları sıralı ikilileri ve blok sayılarından oluşan çizelgeler oluşturulmuştur. Yöntemlerin birbiriyle uyumluluk değerlendirilmesi amacıyla Kappa katsayısı ve Kendall Tau C (Özdamar, 2004) önem derecesi 0.05'e bağlı olarak aşağıdaki hipotez testi oluşturulmuştur.

- $H_0$ :Yöntemler arasında bir uyumluluk yoktur.
- $H_1$ :Yöntemler arasında bir uyumluluk vardır.

Eğer Kendall Tau C ve Kappa katsayısı için önem katsayısı 0.05'ten büyük çıkarsa  $H_0$  hipotezi kabul edilir,  $H_1$  hipotezi red edilir.

Görünür rezerv, muhtemel rezerv, belirtilen kaynak ve yorumlanan kaynak için sırasıyla “1,2,3 ve 4” numaraları verilmiştir. Ordinary kriging hatası, interpolasyon hatası ve bulanık hata sırasıyla “OKH, INH ve BUH” ile gösterilmiştir. Kaynak/rezerv sınıflandırma sonuçlarına göre yöntemlerinin karşılaştırılması Çizelge 6.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.11. Kaynak/rezerv sınıflarının oluşturulan sıralı ikililere göre karşılaştırılması

Kaynak/rezerv sınıfları sıralı ikilileri	OKH-INH	OKH-BUH	INH-BUH
1;1	8	43	8
1;2	105	54	0
1;3	49	64	0
1;4	0	1	0
2,1	0	9	44
2,2	55	36	97
2;3	65	68	38
2;4	4	11	0
3;1	0	0	0
3;2	14	7	0
3;3	35	39	168
3,4	1	4	17
4;1	0	0	0
4;2	5	0	0
4;3	36	35	0
4;4	21	27	26
Toplam	398	398	398
Kendall Tau C katsayısı	0.278	0.252	0.762
Önem seviyesi	0.213	0.213	0.000
Kappa	0.111	0.093	0.447
Önem seviyesi	0.493	0.538	0.021
Kabul edilen hipotez	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>

İnterpolasyon hatası ile bulanık hataya göre sınıflandırma sonuçları arasında Kendall Tau C katsayısı ve kappa katsayılarına göre anlamlı bir uyumluluk ortaya çıkmıştır.

İnterpolasyon hatası ve bulanık hataya göre 8 blok görünür rezerv sınıfında değerlendirilmiştir. Çizelge Ek .A.1’de; 1, 2, 3, 4 ,5 ,7 , 12 ,ve 14 numaralı bloklar ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatasına göre görünür rezerv sınıfı içerisinde yer aldığı için bulanık sistem bu blokları tam üyelik derecesi ile görünür rezerv sınıfı içerisinde değerlendirmiştir. Her iki sınıflandırma parametresine göre belirtilen 8 blok için belirsizlik yoktur.

Bulanık sistem sonuçlarına göre 44 blok belirli üyelik derecelerine bağlı olarak görünür rezerv sınıfı içerisinde yer almıştır. 6 numaralı blok % 4.91 ordinary kriging hatasına göre görünür rezerv sınıfı içerisinde yer alırken, % 10.32 interpolasyon hatasına göre muhtemel rezerv sınıfında yer almaktadır. Fakat bulanık sistem sonuçlarına göre 6 numaralı blok 0.95 üyelik derecesiyle görünür rezerv sınıfında değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, 20 numaralı blok 0.53 üyelik derecesi ile görünür rezerv sınıfında yer almasına rağmen bu blok jeolojik belirsizlik olan alanlara yakındır. Yani bulanık sistem sonuçlarından elde edilen üyelik dereceleri görünür rezerv sınıfına yakınlık derecesini ölçebilmektedir.

Ordinary kriging hatası ve interpolasyon hatasına göre muhtemel rezerv sınıfı içerisinde 55 blok vardır. Fakat bulanık sistem sonuçlarına göre 97 blok muhtemel rezerv sınıfı içerisinde yer almaktadır. Toplamda 42 blok ordinary kriging hatasına göre görünür rezerv olmasına rağmen interpolasyon hatasına göre muhtemel rezerv sınıfındadır. 29 numaralı blok % 5.62 ordinary kriging hatasına göre görünür rezerv sınıfında yer alırken, % 16.37 interpolasyon hatasına göre muhtemel rezerv sınıfı içerisinde yer alır. Fakat bulanık sistem sonuçlarına göre 19 numaralı blok 0.92 üyelik derecesiyle muhtemel rezerv sınıfında değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, 81 numaralı blok 0.53 üyelik derecesi ile muhtemel rezerv sınıfında yer almaktadır. 81 numaralı blok hem jeolojik belirsizliği olan alanlara yakındır hem de bu blok alanı içerisinde ek bir sondaj yapılabilir.

Bulanık sistem sonuçlarına göre 206 blok belirtilen kaynak sınıfında değerlendirilmiştir. 174 no'lu blok % 10.74 ordinary kriging hatasına göre muhtemel rezerv sınıfı içerisinde yer almasına rağmen, % 22.20 interpolasyon hatasına göre belirtilen kaynak içerisinde değerlendirilmiştir. Bu blok bulanık sistem sonuçlarına göre tam üyelik derecesiyle belirtilen kaynak olarak tanımlanmıştır.

Bulanık sistem sonuçlarına göre 43 blok yorumlanan kaynak içerisinde yer almıştır. 389 no'lu blok bulanık sistem sonucuna göre 0.94 üyelik derecesiyle yorumlanan kaynak olarak değerlendirilmiştir.

## BÖLÜM 7

### 7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Maden kaynak/rezerv sınıflandırmaları madencilikte yatırım kararları ve üretim planlaması açısından oldukça önemlidir. Bir maden yatağının kaynak/rezerv sınıflandırılmasının jeostatistiksel tahminlere bağlı olarak yapılması sınıflandırma sistemine olan güveni artırır. Kaynak/rezerv sınıflandırmalarında jeostatistiksel yöntem olarak kriging varyansı ve interpolasyon varyansı kullanılmaktadır. Kriging varyansı tahmin hatalarını minimize etmekte, interpolasyon varyansı ise lokal olarak değişkenliği ölçmektedir. Bu nedenle bir maden yatağında yapılan tahminlerin sınıflandırmasında kriging varyansının mı yoksa interpolasyon varyansının mı etkili olduğunun belirlenmesi önemlidir. İnterpolasyon varyansı örnek değerlerine bağlı olduğu için bir maden yatağının tümünün sınıflandırmasında etkili olmayabilir. Bu durumda variogram fonksiyonuna bağlı olarak tahmin hatasını hesaplayan kriging varyansı, sınıflandırmada etkili olabilir. Bir maden sahası boyunca bu etkilerin deterministik yöntemlerle belirlenmesi mümkün değildir. Bu nedenle lokal olarak tahmin edilen bir bloğun hangi sınıf içerisinde yer alacağı tartışma konusu olmuştur. Sınıflandırmada kullanılan yöntemler kriging tahmin yöntemine dayalı olmasına rağmen uygulamada bir takım sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunlar aşağıda tanımlanmıştır:

- Tahmin hatalarının belirli bir sınıfın altında veya üstünde olması durumunda tahmin edilen bloğun kaynak/rezerv sınıfının değişmesi
- Tahmin hatalarının sınıflamada kullanılan sınır değerlere yakın olması durumunda tahmin edilen bloğun sınıfının belirlenmesinde karşılaşılan zorluklar

Bu çalışmada, bir bloğun tahmininde oluşan hatanın hangi sınıfa girdiğinin bulunabilmesi için bulanık mantık kavramından yararlanılmıştır. Bulanık mantık kavramı kaynak/rezerv sınıflandırmalarında daha önce literatürde uygulanmış olan kriging varyansı ve interpolasyon varyansına dayanan sınıflama parametreleri esas



alınarak uygulanmıştır. Belirli bir güven aralığında hesaplanan kriging ve interpolasyon hatası parametreleri ve sınıflamada kullanılan hata sınırlarına bağlı olarak bulanık kümeler tanımlanmıştır.

Bulanık kümelerle tanımlanmış olan kaynak/rezerv sınıflama aralıkları için bulanık kurallardan oluşan bulanık bir sistem oluşturulmuştur. Bulanık sistem içerisinde tanımlanan sınıflama parametrelerine ait sayısal değerler sınıflama sistemi içerisinde belirtilen değişim aralıklarının sınırlarının altındaki ve üstündeki değerlerin yakınlığına göre sınıflandırmayı değerlendirebilmektedir.

Bulanık sistemden elde edilen sonuçlardan hesaplanan üyelik derecelerinin bilinmesi geleneksel sınıflama sistemlerine göre önemli bir avantajı da beraberinde getirmektedir. Bulanık sistemden elde edilen üyelik derecelerine bağlı olarak bir bloğun sınıflama sisteminin önerdiği sınıfın diğerlerinden olan uzaklığını ölçebilmektedir. Bulanık sistemden elde edilen bulanık hatanın sınıflama sınırlarına yakın olması jeostatistiksel tahmin hataları ile ölçülemezken bulanık kümeler aracılığıyla sınır değerlere yakınlık derecesi değerlendirilebilmektedir.

İnterpolasyon varyansının örnek değerlerinden etkilenmesinden dolayı bulanık mantık kavramı ve yapay sinir ağları tekniklerinin birleştirilmesiyle ortaya çıkan diğer bir teknik olan sinirsel bulanık modelleme yaklaşımı hem tahminin güvenilirliği hem de kaynak/rezerv sınıflamalarında uygulanabilirliği başka bir araştırma konusu olabilir.

Maden kaynak/rezerv sınıflarının belirlenmesi tek başına yeterli değildir. Sınıflandırmayı etkileyen teknik, ekonomik, sosyal, yasal ve çevresel koşullara bağlı olarak gözden geçirilmesi yatırım kararlarının değerlendirilmesi ayrıca önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ahn, C.W., Baumgardner, M.F. and Biehl, L.L., 1999, Delineation of soil variability using geostatistics and fuzzy clustering analyses of hyperspectral data, Soil Science Society of America Journal, 63, 142-150
- Alavala, R.C., 2008, Fuzzy logic and neural networks basic concepts & applications, New Age Publications,.276 p.
- Arik, A., 1999, An alternative approach to resource classification, Proceedings of the 28th international symposium on computer applications in the mineral industries, K. Dağdelen (Ed.), 45-53.
- Arik, A., 2002, Comparison of resource classification methodologies with a new approach, Application of computers and operations reserarch in the mineral industry proceedings of the 30th international symposium, S. Bandopadhyay (Ed.), 57-65.
- Bardossy, A., Bogardi, I. and Kelly, W, E., 1990a, Kriging with imprecise (fuzzy) variograms I: Theory, Mathematical Geology, 22, 1, 63-79
- Bardossy, A., Bogardi, I. and Kelly, W, E., 1990b, Kriging with imprecise (fuzzy) variograms II: Application, Mathematical Geology, 22, 1, 81-94
- Bardossy, G. and Fodor, J., 2001, Traditional and new ways to handle uncetainty in geology, Natural Resources Research, 10, 3, 179-187
- Bayazıt, M. ve Oğuz, Y. B., 2005, Mühendisler için istatistik, Birsen Yayınevi,197 s.
- Baykal, N. ve Beyan, T., 2004, Bulanık mantık ilke ve temelleri, Bıçaklar Kitabevi, 413 s.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Baysal, H., 1981, Eskişehir-Mihalıcçık-Koyunağılı linyit yatağının incelenmesi, MTA, 6943, 30 s.
- Black, M., 1990, Vagueness: An exercise in logical analysis, International Journal of General Systems, 17, 2-3,107-128.
- Blackwell, G. H., 1998, Relative kriging errors; a basis for mineral resource classification, Exploration and Mining Geology, 7, 1-2, 99-105.
- Blondel, F. and Lasky, S.G., 1956, Mineral reserves and resources, Economic Geology, 51, 7, 686-697.
- Blumenfeld, D., 2001, Operations research calculations handbook, CRC Press, 216 p.
- Bumin, M., Emre, E., Kutluay, N. ve Özkan, Y. Z., 2007, MTA rezerv/kaynak sınıflama sisteminin birleşmiş milletler sistemine uyarlaması, MTA, 10, 12 s.
- Brewis, T., 1994, Mineral Reserves, Mining Magazine, 170, 2, 86-89.
- Camisani-Calzolari, F.A., 2004, National and international codes for reporting mineral resources and reserves: their relevance future and comparison , Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 104, 5, 297-305.
- Caner, G., 1976, Rezerv tenör ve işletilebilirlik kavramları, MTA, 158, 7 s.
- Caner, G., 1983, Mineral (maden) kaynak ve rezervlerinin sınıflandırılması (kavram, terim ve ilkeleri), MTA, 188, 10 s.
- Clark, I, 1979, Practical geostatistics, Applied Science Publisher, 119 p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Davis, J.C., 2002, Statistics data analysis geology, John Wiley&Sons, 656 p.
- Demicco, R.V. and Klir G. J., 2004, Fuzzy logic in geology, Academic Press, , 347 p.
- Deutsch, C.V. and Journel, A.G., 1998, GSLIB (Geostatistical software library and user's Guide), Oxford University Press, 368 p.
- Diehl. P. and David, M., 1982, Classification of ore reserves/resources based on geostatistical methods, CIM (Canadian Institute of Mining and Metallurgy) Bulletin, 75, 838, 127-136.
- Ersoy, A. ve Yünsel, T.Y., 2008, Maden rezerv hesapları klasik ve jeostatistiksel yöntemler, Nobel Kitapevi, 255 s.
- Eyyüboğlu, T., 1982, Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağlı linyit sahası fizibilite araştırması, MTA, 7210, 29 s.
- Froidevaux, R., 1982, Geostatistics and ore reserve classification, CIM Bulletin,75, 843, 77-83.
- Froidevaux, R., 1993, Constrained kriging as estimator of local distribution functions, in V. Capasco,, G. Girone and D Posa (Eds), Proceedings of international workshop on statistics of spatial processes: Theory and Applications, Bari, Italy, 106-118 p.
- Goovaerts, P., 1997, Geostatistics for natural resources evaluation, Oxford University Press, Oxford, 496 p
- Grima, M.A., 2000, Neuro-Fuzzy modelling in engineering geology, Taylor & Francis, 252 p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Gümüş, A., 1995, Maden jeolojisi prospeksiyon ve rezerv hesapları, Bilim Ofset, 400 s.
- Hanss, M., 2005, Applied fuzzy arithmetic: an introduction with engineering applications, Springer, 256 p.
- Hellendorn, H. and Thomas, C., 1993, Defuzzification in fuzzy controllers, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 1, 2, 109-123.
- Isaaks E.H. and Srivasta, R.M., 1989, An introduction to applied geostatistics, Oxford University Press, New York, 592 p.
- Jang, R.J.S., Sun, C.T and Mizutani, E., 1997, Neuro-fuzzy and soft computing, Prentice Hall, 614 p.
- Journel, A.G. and Huijbregts, Ch. J., 1978, Mining geostatistics, Academic Press, 600 p.
- Journel, A.G., 1986, Geostatistics: models and tools for the earth sciences, Mathematical Geology, 18, 1, 119-140
- Journel, A.G. and Rossi, M. E., 1989, When do we need a trend model kriging ?, Mathematical Geology, 21, 7, 715-739
- Journel, A.G, 1989, Fundamentals of geostatistics in five lessons, American Geophysical Union, 41 p.
- Klir, G., and Yuan, B.,1995, Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 591 p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Koch, G.S. and Link, R.F., 2002, Statistical analysis of geological data, Dover Publications, 832 p.
- Krige, D. G., 1951, A statistical approach to some mine valuations and allied problems at the Witwatersrand, M.S thesis, University of Witwatersrand, 190 p. (unpublished).
- Lee, C., 1990, Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, Part I and II, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 20, 2, 404-435.
- Lee, K.H., 2005, First course on fuzzy theory and applications, Springer, 335 p.
- Luenberger, D. G., 1969, Optimization by vector space methods, John Wiley & Sons, 326 p.
- Mamdani, E.H., 1974, Applications of fuzzy algorithms for control simple dynamic plant, Proceedings IEEE, 121, 12,1585-1588.
- Mamdani, E.H. and Assilian, S., 1975, An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, International Journal of Man-Machine Studies, 7, 1, 1-13.
- Matheron, G., 1963, Principles of geostatistics, Economic Geology, 58, 1246-1266.
- Mathworks, Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide, COPYRIGHT 1995-2010, The Math Works, Inc, 345 p.
- McDivitt, .J.F, and Manners G., 1974, Minerals and men: an exploration of the world of minerals and metals, including some of the major problems that are posed, RFF Press, 190 p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Mc Kelvey, V. E., 1972, Mineral resource estimates and public policy, American Scientist, 60, 11, 32-40.

Miskelly N., 2003, Progress on international standards for reporting of mineral resources and reserves, Combined Reserves International Reporting Standards Committee, 22 p.

MTA., 1963, MTA Enstitüsünce tatbik edilen maden yatakları rezerv sınıflandırması, 3 s.

Mwasinga, P.P., 2001, Approaching resource classification: General practises and the integration of geostatistics, Proceedings 29 th international symposium computer applications in the mineral industries, H. Xie, Y. Wang, Y. Jiang (Eds.), Beijing, China, 97-104.

Olea, R. A., 1999, Geostatistics for engineers and earth scientists, Kluwer Academic press, 324 p.

O'Donnell N. D. and Ostrowski T. P., 1986, Ore reserve estimation at Syncrude Canada Ltd, Applied mining geology: ore reserve estimation, Society of Mining Engineers, D.A Ranta (Ed.), Littleton, Colorado, 121-137.

Oygür, V., Eyyüpoğlu, T., Bektimuroğlu O., Cengiz, E., Emre, E. ve Bumin, M., 1992, Kaynak ve rezerv sınıflandırmaları ile hesaplamalarının temel ilkeleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 39 s.

Özdamar, K., 2004, Paket programlar ile istatistiksel veri analizi 1, Kaan Kitabevi, 649 s.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Öztuna, D., Elhan, A.H. and Tüccar, E., 2006, Investigation of four different normality tests in terms of type 1 error rate and power under distributions, Turk J M Science, 36, 3, 171-176.
- Pham, T.D., 1997, Grade estimation using fuzzy set algorithms, Mathematical Geology, 29, 2, 291-305.
- Piotrowski, J.A., Bartels, F., Salski, A. and Schmidt G., 1996, Geostatistical regionalization of glacial aquitard thickness in Northwestern Germany, based on fuzzy kriging, Mathematical Geology, 28, 4, 437-452.
- Riddler, G.P., 1998, Mineral reserve and mineral resource definitions : The 'Denver Accord' signals progress towards an international reporting standard, International Mining and Minerals, 1, 4, 90-93.
- Ross, T. J., 2004, Fuzzy logic with engineering applications, Wiley, 650 p.
- Royle, A.G., 1977, How to use geostatistics for ore reserve classification, World Mining, 30, 2, 52-56.
- Royle, A.G., 1979, Estimating small blocks ore how to do it with confidence, World Mining, 32, 55-57
- Sabourin, R., 1983, Geostatistics as a tool to define various categories of resources, Mathematical Geology, 15, 1, 131-143.



**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Sarma, D. D., 2009, Geostatistics with applications earth sciences, springer, 205 p.
- Schurr, S.H. And Netschert B.C., 1960, Energy in the American economy, 1850-1975 an economic study of its history and prospects, The Johns Hopkins Press, 774 p.
- Serper, Ö., 2004a, Uygulamalı istatistik 1, Ezgi Kitapevi, 437 s.
- Serper, Ö., 2004b, Uygulamalı istatistik 2, Ezgi Kitapevi, 483 s.
- Sinclair, A.J. and Blackwell, G.H., 2002, Applied mineral inventory estimation, Cambridge University Press, 381 p.
- Sinclair, A.J. and Valée, M., 1994, Reviewing continuity: an essential element of quality control for deposits and reserve estimation, Exploration and Mining Geology, 3, 2, 95-108.
- Sivanandam, S.N., Sumathi, S. and Deepa, S.N., 2007, Introduction to fuzzy logic using MATLAB, Springer, 407 p.
- Siyako, F., 1986, Beypazarı kömür havzası Koyunağlı sektörü sondaj stampları raporu, M.T.A., 100 s.
- Souza, L.E, Costa. J.F.L.C, and Koppe, J.C., 2005, Measures of uncertainty for resource classification, Geostatistics Banff 2004, O. Leuangthong and C.V. Deutsch (Eds), Dordrecht, Netherlands, 1, 529-536.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Subelj, A., 2002, Why 'World Code' has to cover all mineral resources, not only reserves, Application of computers and operations reserarch in the mineral industry proceedings of the 30 th international symposium, S. Bandopadhyay (Ed.), Colorado, USA, 3-10.
- Sugeno, M., 1985, An introductory survey of fuzzy control, Information Science, 36, 59-83.
- Sugeno, M. and Kang, T., 1988, Structure identification of fuzzy model, Fuzzy Sets and Systems, 28, 1, 15-33.
- Şen, Z., 2004, Mühendislikte bulanık (fuzzy) mantık ile modelleme prensipleri, Bilge Kültür Sanat, 196 s.
- Takagi, T. and Sugeno, M., 1985, Fuzzy identification of sytems and its application to modeling and control, IEEE Transactions. System. Man &Cybernetics, 15, 116-132.
- Taylor, H. K., 1994, Ore reerves, mining and profit, CIM Bull, 85, 957, 50-61
- Tercan, A.E, 1996, Maden yatakları sınır belirsizliğinin indikatör kriging ile değerlendirmesi ve Sivas-Kangal-Kalburçayırı kömür yatağında bir uygulama, Madencilik Dergisi, 35, 4, 3-11.
- Tercan, A. E. and Karayiğit, A, I, 2001, Estimation of lignite in the Kalburçayiri, Kangal basin, Sivas, Turkey, International Journal of Coal Geology, 47, 2, 91-100.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Tercan, A. E. ve Saraç, C.,1998, Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 48, 137 s.
- TS 3517, 1982, Maden yataklarının rezervlerinin hesaplanmasına ilişkin genel kurallar, TSE, 20 s.
- TS 5959, 1988, Maden yataklarının rezerv miktarı ve tenör değerlerini hesaplama metotları, TSE, 37 s.
- Tütmez, B., and Dağ, A, 2007, Use of fuzzy logic in lignite inventory estimation, Eney sources, part B, 2 , 93-103.
- Tütmez, B. and Tercan, A.E., 2007, Spatial estimation of mechanical properties of rocks fuzzy modelig, Computers and Geotechnics, 34, 10-18
- Tütmez, B., Tercan, A.E. and Kaymak, U., 2007, Fuzzy modeling for reserve estimation based on spatial variability, Mathematical Geology, 39, 1,87-111.
- Tütmez, B, 2009, Use of hybrid intelligent computing in mineral resources evaluation, Applied Soft Computing, 9, 1023-1028
- Tüysüz, N. ve Yaylalı, G., 2005, Jeostatistik kavramlar ve bilgisayarlı uygulamalar, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 220, 61, Trabzon, 382 s.
- United Nations., 1979, The international classification of mineral resources: UN Economic and Social Council, Comittee on Natural Resources, E/c.7/104, 14 p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- UNECE., 2000, Report of the Task Force on practical implementation of The United Nations framework classification for reserves/resources and joint meeting of the UNECE Task Force and CMMI International Mineral Reserves Committee (November 1999), ENERGY/2000/11, UNECE Committee on Sustainable Energy, 9 th Session, Geneva, 19 p.
- UNECE., 2001, Guidelines to The United Nations International framework classification for reserves/resources, ENERGY/2001/11, UNECE Committee on Sustainable Energy, 11 th Session, 37 p.
- UNECE., 2004, United Nations framework classification for fossil energy and mineral resources, UN-ECE Publication, 25 p.
- UNECE., 2008, Report of the Task Force on Mapping of The United Nations framework classification for fossil energy and mineral resources, UNECE Ad Hoc Group of Experts on Harmonization of Fossil Energy and Mineral Resources Terminology, UN-ECE Publication, 110p.
- US Bureau of Mines and US Geological Survey., 1980, Principles of a resource/reserve classification for minerals, Geological Survey Circular 831, A revision of the classification system published as US Geological Survey Bulletin 1450-A, 5 p.
- Valee, M., 1998, Resource/reserve estimation and inventory: Can reporting definitions substitute for standards?, Exploration and Mining Geology, 7, 1-2, 15-24.
- Vaughan, W.S. and Felderhof S., 2002, International mineral resource and mineral reserve classification and reporting system, The 48th Annual Rocky Mountains Mineral Law Institute, 31p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Wellmer, F.W., 1983, Classification of ore reserves by geostatistical methods, *Erzmetall* 36, 7/8, 315-321.
- Wober, H.H. and Morgan, P.J., 1993, Classification of ore reserves based on geostatistical and economic parameters, *CIM Bulletin*, 86, 966, 73-76.
- Yağmurlu, F., Helvacı, C. ve İnci, U., 1988, Beypazarı linyit yataklarının jeolojik konumu ve geometrik özellikleri, *Türkiye 6. Kömür Kongresi*, 529-535.
- Yalçın, E., 1993, Kömür rezerv tahmininde variogram etki mesafesinin önemi, *Madencilik Dergisi*, 32, 3-4, 15-21.
- Yamamoto, K.J., 1999, Quantification of uncertainty in ore reserve estimation: applications to Chapada copper deposit State of Goiás Brazil, *Natural Resource Research*, 8, 2, 153-163.
- Yamamoto, K.J., 2000, An alternatives measure of the reliability of ordinary kriging estimates, *Mathematical Geology*, 32, 4, 489-509.
- Yüksek, S. ve Eevli, B., 1998, Kaynak/rezerv sınıflandırmalarının karşılaştırılması ve standardizasyon için yaklaşımlar (I), *Yerbilimleri Geosound*, 33, 163-174
- Yüksek, S., Eevli, B. ve Demirci, A., 2001, Hammadde, kaynak, cevher ve rezerv gibi bazı terimlerin tanımlarına bir yaklaşım: Hasaelebi Demir Yatağı Örneği, *Jeoloji Mühendisliği*, 25, 2, 47-54
- Yüksek, S., Eevli, B. ve Demirci, A., 2004, An objective approach to definition of some mining terms: Application to the Hasaelebi iron ore deposit, *Natural Resources Research*, 13, 2, 87-95

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Zadeh, L., 1965, Fuzzy sets, Information and Control, 8, 338-353.

Zadeh, L., 1995, 'Discussion: probability theory and fuzzy logic are complementary rather than competitive, Technometrics, 37, 271-276.

Zadeh, L., 2002, Forward to Fuzzy logic and probability applications bridging the gap, Society for Industrial and Applied Mathematics, 409 p.

### Ek Açıklamalar-A

#### KOYUNAĞILI LİNYİT SAHASI KAYNAK/REZERV SINIFLANDIRMA SONUÇLARI

Çizelge A.1. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD).

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
1	78500	23500	4.39	4.52	Görünür	9.02	Görünür	8.58	<b>Görünür</b>	<b>1.00</b>	Görünür	0.00
2	78500	23300	4.36	4.59	Görünür	9.76	Görünür	9.67	<b>Görünür</b>	<b>1.00</b>	Görünür	0.00
3	78700	23500	4.64	4.71	Görünür	7.56	Görünür	7.62	<b>Görünür</b>	<b>1.00</b>	Görünür	0.00
4	78900	23500	4.72	4.73	Görünür	8.24	Görünür	7.62	<b>Görünür</b>	<b>1.00</b>	Görünür	0.00
5	78700	23300	4.52	4.88	Görünür	7.64	Görünür	7.62	<b>Görünür</b>	<b>1.00</b>	Görünür	0.00
6	78700	23700	4.45	4.91	Görünür	10.32	Muhtemel	10.49	<b>Görünür</b>	<b>0.95</b>	Muhtemel	0.05
7	78900	23300	4.60	5.06	Görünür	9.04	Görünür	8.61	<b>Görünür</b>	<b>1.00</b>	Görünür	0.00
8	78500	23100	4.26	5.10	Görünür	11.15	Muhtemel	11.65	<b>Görünür</b>	<b>0.84</b>	Muhtemel	0.16
9	78300	23500	3.95	5.12	Görünür	12.93	Muhtemel	14.09	<b>Görünür</b>	<b>0.59</b>	Muhtemel	0.41
10	79300	23700	4.42	5.13	Görünür	11.79	Muhtemel	12.52	<b>Görünür</b>	<b>0.75</b>	Muhtemel	0.25
11	78900	23700	4.55	5.18	Görünür	10.31	Muhtemel	10.46	<b>Görünür</b>	<b>0.95</b>	Muhtemel	0.05
12	78700	23100	4.36	5.20	Görünür	8.99	Görünür	8.53	<b>Görünür</b>	<b>1.00</b>	Görünür	0.00
13	79100	23900	4.33	5.21	Görünür	12.42	Muhtemel	13.39	<b>Görünür</b>	<b>0.66</b>	Muhtemel	0.34
14	79100	23500	4.63	5.22	Görünür	9.71	Görünür	9.60	<b>Görünür</b>	<b>1.00</b>	Görünür	0.00
15	78500	23700	4.31	5.23	Görünür	10.70	Muhtemel	11.02	<b>Görünür</b>	<b>0.90</b>	Muhtemel	0.10

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.2. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
16	79100	23700	4.57	5.25	Görünür	10.45	Muhtemel	10.66	<b>Görünür</b>	<b>0.93</b>	Muhtemel	0.07
17	78300	24100	4.34	5.25	Görünür	14.48	Muhtemel	16.26	<b>Muhtemel</b>	<b>0.63</b>	Görünür	0.37
18	78300	23300	3.82	5.27	Görünür	14.92	Muhtemel	16.92	<b>Muhtemel</b>	<b>0.69</b>	Görünür	0.31
19	79100	23300	4.40	5.29	Görünür	11.45	Muhtemel	12.06	<b>Görünür</b>	<b>0.79</b>	Muhtemel	0.21
20	78300	23900	4.33	5.38	Görünür	13.38	Muhtemel	14.70	<b>Görünür</b>	<b>0.53</b>	Muhtemel	0.47
21	78300	24300	4.23	5.42	Görünür	15.71	Muhtemel	18.12	<b>Muhtemel</b>	<b>0.81</b>	Görünür	0.19
22	79300	23500	4.45	5.42	Görünür	11.52	Muhtemel	12.16	<b>Görünür</b>	<b>0.78</b>	Muhtemel	0.22
23	79300	25100	4.24	5.43	Görünür	14.90	Muhtemel	16.88	<b>Muhtemel</b>	<b>0.69</b>	Görünür	0.31
24	78500	23900	4.23	5.51	Görünür	13.37	Muhtemel	14.70	<b>Görünür</b>	<b>0.53</b>	Muhtemel	0.47
25	78300	23700	4.27	5.52	Görünür	11.70	Muhtemel	12.40	<b>Görünür</b>	<b>0.76</b>	Muhtemel	0.24
26	79500	23500	4.17	5.56	Görünür	13.97	Muhtemel	15.54	<b>Muhtemel</b>	<b>0.55</b>	Görünür	0.45
27	79300	23900	4.05	5.58	Görünür	14.32	Muhtemel	16.02	<b>Muhtemel</b>	<b>0.60</b>	Görünür	0.40
28	79300	23300	4.16	5.59	Görünür	12.69	Muhtemel	13.76	<b>Görünür</b>	<b>0.62</b>	Muhtemel	0.38
29	78100	23500	3.56	5.62	Görünür	16.37	Muhtemel	19.22	<b>Muhtemel</b>	<b>0.92</b>	Görünür	0.08
30	79500	25100	4.36	5.63	Görünür	12.26	Muhtemel	13.16	<b>Görünür</b>	<b>0.68</b>	Muhtemel	0.32

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri



Çizelge A.3. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
31	79500	23300	4.12	5.68	Görünür	13.28	Muhtemel	14.56	<b>Görünür</b>	<b>0.54</b>	Muhtemel	0.46
32	78500	24100	4.06	5.72	Görünür	15.31	Muhtemel	17.50	<b>Muhtemel</b>	<b>0.75</b>	Görünür	0.25
33	78900	23100	4.25	5.72	Görünür	10.72	Muhtemel	11.04	<b>Görünür</b>	<b>0.90</b>	Muhtemel	0.10
34	79300	24900	4.10	5.74	Görünür	16.35	Muhtemel	19.19	<b>Muhtemel</b>	<b>0.92</b>	Görünür	0.08
35	78100	24100	4.04	5.74	Görünür	14.95	Muhtemel	16.96	<b>Muhtemel</b>	<b>0.70</b>	Görünür	0.30
36	78900	23900	4.13	5.79	Görünür	13.45	Muhtemel	14.80	<b>Görünür</b>	<b>0.52</b>	Muhtemel	0.48
37	78100	23700	3.94	5.79	Görünür	14.41	Muhtemel	16.17	<b>Muhtemel</b>	<b>0.62</b>	Görünür	0.38
38	78100	23900	4.09	5.81	Görünür	14.14	Muhtemel	15.77	<b>Muhtemel</b>	<b>0.58</b>	Görünür	0.42
39	78700	23900	4.02	5.84	Görünür	13.78	Muhtemel	15.26	<b>Muhtemel</b>	<b>0.53</b>	Görünür	0.47
40	79500	23700	3.89	5.92	Görünür	16.08	Muhtemel	18.72	<b>Muhtemel</b>	<b>0.87</b>	Görünür	0.13
41	78700	22900	3.86	5.93	Görünür	13.49	Muhtemel	14.86	<b>Görünür</b>	<b>0.51</b>	Muhtemel	0.49
42	79500	24900	4.18	5.93	Görünür	13.28	Muhtemel	14.56	<b>Görünür</b>	<b>0.54</b>	Muhtemel	0.46
43	78300	23100	3.70	5.93	Görünür	16.83	Muhtemel	20.16	<b>Muhtemel</b>	<b>0.98</b>	Belirtilen	0.02
44	79300	24700	3.84	5.93	Görünür	17.69	Muhtemel	23.32	<b>Muhtemel</b>	<b>0.67</b>	Belirtilen	0.33
45	79500	24700	3.87	5.99	Görünür	15.03	Muhtemel	17.07	<b>Muhtemel</b>	<b>0.71</b>	Görünür	0.29

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.4. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
46	78300	24500	3.96	6.02	Görünür	17.93	Muhtemel	23.98	<b>Muhtemel</b>	<b>0.60</b>	Belirtilen	0.40
47	78900	22900	3.81	6.04	Görünür	13.25	Muhtemel	14.52	<b>Görünür</b>	<b>0.55</b>	Muhtemel	0.45
48	78500	22900	3.77	6.10	Görünür	16.19	Muhtemel	18.92	<b>Muhtemel</b>	<b>0.89</b>	Görünür	0.11
49	79100	23100	3.96	6.11	Görünür	12.85	Muhtemel	13.98	<b>Görünür</b>	<b>0.60</b>	Muhtemel	0.40
50	78100	23300	3.21	6.11	Görünür	19.27	Muhtemel	26.67	<b>Belirtilen</b>	<b>0.67</b>	Muhtemel	0.33
51	78100	24300	3.83	6.13	Görünür	16.85	Muhtemel	20.25	<b>Muhtemel</b>	<b>0.97</b>	Belirtilen	0.03
52	78500	24300	3.84	6.16	Görünür	17.67	Muhtemel	23.26	<b>Muhtemel</b>	<b>0.67</b>	Belirtilen	0.33
53	79300	23100	3.71	6.18	Görünür	13.53	Muhtemel	14.92	<b>Görünür</b>	<b>0.51</b>	Muhtemel	0.49
54	79700	25100	4.13	6.20	Görünür	11.63	Muhtemel	12.31	<b>Görünür</b>	<b>0.77</b>	Muhtemel	0.23
55	79700	23300	3.91	6.24	Görünür	16.74	Muhtemel	19.89	<b>Muhtemel</b>	<b>0.99</b>	Görünür	0.01
56	79300	24100	3.66	6.37	Görünür	16.12	Muhtemel	18.80	<b>Muhtemel</b>	<b>0.88</b>	Görünür	0.12
57	78700	24100	3.64	6.41	Görünür	16.57	Muhtemel	19.58	<b>Muhtemel</b>	<b>0.96</b>	Görünür	0.04
58	79700	23500	3.76	6.41	Görünür	17.24	Muhtemel	21.83	<b>Muhtemel</b>	<b>0.82</b>	Belirtilen	0.18
59	78900	24100	3.55	6.43	Görünür	16.20	Muhtemel	18.93	<b>Muhtemel</b>	<b>0.89</b>	Görünür	0.11
60	77900	23700	3.56	6.43	Görünür	17.12	Muhtemel	21.41	<b>Muhtemel</b>	<b>0.86</b>	Belirtilen	0.14

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.5. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
61	78300	24700	3.59	6.45	Görünür	20.86	Belirtilen	28.70	<b>Belirtilen</b>	<b>0.87</b>	Muhtemel	0.13
62	79100	24100	3.69	6.49	Görünür	15.58	Muhtemel	17.91	<b>Muhtemel</b>	<b>0.79</b>	Görünür	0.21
63	79500	25300	4.28	6.50	Görünür	12.69	Muhtemel	13.76	<b>Görünür</b>	<b>0.62</b>	Muhtemel	0.38
64	79900	23300	3.61	6.52	Görünür	19.40	Muhtemel	26.87	<b>Belirtilen</b>	<b>0.69</b>	Muhtemel	0.31
65	79100	25100	3.70	6.59	Görünür	20.27	Belirtilen	28.04	<b>Belirtilen</b>	<b>0.80</b>	Muhtemel	0.20
66	79300	24300	3.52	6.61	Görünür	17.12	Muhtemel	21.40	<b>Muhtemel</b>	<b>0.86</b>	Belirtilen	0.14
67	79100	24900	3.59	6.61	Görünür	21.46	Belirtilen	29.31	<b>Belirtilen</b>	<b>0.93</b>	Muhtemel	0.07
68	79500	23900	3.53	6.63	Görünür	17.65	Muhtemel	23.19	<b>Muhtemel</b>	<b>0.68</b>	Belirtilen	0.32
69	79300	24500	3.60	6.66	Görünür	17.90	Muhtemel	23.90	<b>Muhtemel</b>	<b>0.61</b>	Belirtilen	0.39
70	79700	24900	3.91	6.69	Görünür	12.95	Muhtemel	14.11	<b>Görünür</b>	<b>0.59</b>	Muhtemel	0.41
71	78500	24500	3.58	6.74	Görünür	20.18	Belirtilen	27.93	<b>Belirtilen</b>	<b>0.79</b>	Muhtemel	0.21
72	79300	25300	4.02	6.79	Görünür	15.67	Muhtemel	18.06	<b>Muhtemel</b>	<b>0.81</b>	Görünür	0.19
73	78300	22900	3.36	6.80	Görünür	21.22	Belirtilen	29.08	<b>Belirtilen</b>	<b>0.91</b>	Muhtemel	0.09
74	78100	24500	3.53	6.81	Görünür	19.04	Muhtemel	26.29	<b>Belirtilen</b>	<b>0.63</b>	Muhtemel	0.37
75	79900	25100	3.73	6.87	Görünür	11.15	Muhtemel	11.64	<b>Görünür</b>	<b>0.84</b>	Muhtemel	0.16

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.6. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
76	77900	23500	3.23	6.91	Görünür	17.51	Muhtemel	22.76	<b>Muhtemel</b>	<b>0.72</b>	Belirtilen	0.28
77	79700	23700	3.24	6.91	Görünür	20.28	Belirtilen	28.04	<b>Belirtilen</b>	<b>0.80</b>	Muhtemel	0.20
78	79500	23100	3.64	6.92	Görünür	15.61	Muhtemel	17.96	<b>Muhtemel</b>	<b>0.80</b>	Görünür	0.20
79	78700	24300	3.32	6.94	Görünür	18.71	Muhtemel	25.71	<b>Belirtilen</b>	<b>0.57</b>	Muhtemel	0.43
80	79100	22900	3.59	6.95	Görünür	13.83	Muhtemel	15.33	<b>Muhtemel</b>	<b>0.53</b>	Görünür	0.47
81	77900	23900	3.56	6.95	Görünür	18.22	Muhtemel	24.68	<b>Muhtemel</b>	<b>0.53</b>	Belirtilen	0.47
82	79900	23500	3.36	6.98	Görünür	19.53	Muhtemel	27.05	<b>Belirtilen</b>	<b>0.71</b>	Muhtemel	0.29
83	79100	24300	3.34	7.03	Görünür	17.03	Muhtemel	21.04	<b>Muhtemel</b>	<b>0.90</b>	Belirtilen	0.10
84	79700	24700	3.61	7.07	Görünür	15.06	Muhtemel	17.11	<b>Muhtemel</b>	<b>0.71</b>	Görünür	0.29
85	79500	24500	3.50	7.07	Görünür	18.54	Muhtemel	25.38	<b>Belirtilen</b>	<b>0.54</b>	Muhtemel	0.46
86	79700	25300	4.14	7.09	Görünür	12.19	Muhtemel	13.07	<b>Görünür</b>	<b>0.69</b>	Muhtemel	0.31
87	79500	24100	3.33	7.18	Görünür	18.49	Muhtemel	25.27	<b>Belirtilen</b>	<b>0.53</b>	Muhtemel	0.47
88	78700	22700	3.19	7.19	Görünür	17.97	Muhtemel	24.07	<b>Muhtemel</b>	<b>0.59</b>	Belirtilen	0.41
89	78900	24300	3.26	7.21	Görünür	17.73	Muhtemel	23.43	<b>Muhtemel</b>	<b>0.66</b>	Belirtilen	0.34
90	78500	24700	3.31	7.22	Görünür	22.03	Belirtilen	29.87	<b>Belirtilen</b>	<b>0.99</b>	Muhtemel	0.01

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.7. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
91	79900	24900	3.57	7.25	Görünür	11.84	Muhtemel	12.59	<b>Görünür</b>	<b>0.74</b>	Muhtemel	0.26
92	77700	23700	3.08	7.27	Görünür	19.70	Muhtemel	27.31	<b>Belirtilen</b>	<b>0.73</b>	Muhtemel	0.27
93	79100	24700	3.17	7.35	Görünür	24.00	Belirtilen	31.82	<b>Belirtilen</b>	<b>0.91</b>	Yorumlanan	0.09
94	78100	24700	3.14	7.44	Görünür	21.04	Belirtilen	28.88	<b>Belirtilen</b>	<b>0.89</b>	Muhtemel	0.11
95	77900	24300	3.22	7.44	Görünür	19.65	Muhtemel	27.23	<b>Belirtilen</b>	<b>0.72</b>	Muhtemel	0.28
96	77900	24100	3.35	7.45	Görünür	19.55	Muhtemel	27.09	<b>Belirtilen</b>	<b>0.71</b>	Muhtemel	0.29
97	79700	23900	2.92	7.45	Görünür	21.97	Belirtilen	29.81	<b>Belirtilen</b>	<b>0.98</b>	Muhtemel	0.02
98	78900	22700	3.16	7.46	Görünür	16.17	Muhtemel	18.88	<b>Muhtemel</b>	<b>0.89</b>	Görünür	0.11
99	79700	23100	3.58	7.48	Görünür	18.19	Muhtemel	24.63	<b>Muhtemel</b>	<b>0.54</b>	Belirtilen	0.46
100	77700	23500	2.92	7.49	Görünür	18.38	Muhtemel	25.05	<b>Belirtilen</b>	<b>0.51</b>	Muhtemel	0.49
101	79100	24500	3.16	7.53	Görünür	21.04	Belirtilen	28.88	<b>Belirtilen</b>	<b>0.89</b>	Muhtemel	0.11
102	79500	24300	3.24	7.56	Görünür	19.90	Muhtemel	27.57	<b>Belirtilen</b>	<b>0.76</b>	Muhtemel	0.24
103	78100	23100	2.94	7.56	Görünür	23.27	Belirtilen	31.07	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Yorumlanan	0.05
104	79900	24700	3.37	7.60	Görünür	13.58	Muhtemel	14.98	<b>Görünür</b>	<b>0.50</b>	Muhtemel	0.50
105	78700	24500	3.13	7.60	Görünür	21.04	Belirtilen	28.88	<b>Belirtilen</b>	<b>0.89</b>	Muhtemel	0.11

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.8. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
106	78500	22700	3.10	7.67	Görünür	21.30	Belirtilen	29.16	<b>Belirtilen</b>	<b>0.92</b>	Muhtemel	0.08
107	79900	23100	3.35	7.70	Görünür	20.16	Belirtilen	27.89	<b>Belirtilen</b>	<b>0.79</b>	Muhtemel	0.21
108	77900	23300	2.92	7.74	Görünür	19.61	Muhtemel	27.18	<b>Belirtilen</b>	<b>0.72</b>	Muhtemel	0.28
109	78900	24900	2.97	7.92	Görünür	25.62	Belirtilen	34.10	<b>Belirtilen</b>	<b>0.80</b>	Yorumlanan	0.20
110	78700	24700	2.89	7.97	Görünür	23.48	Belirtilen	31.27	<b>Belirtilen</b>	<b>0.94</b>	Yorumlanan	0.06
111	79700	24500	3.17	8.00	Görünür	19.47	Muhtemel	26.97	<b>Belirtilen</b>	<b>0.70</b>	Muhtemel	0.30
112	78300	24900	2.96	8.02	Görünür	22.18	Belirtilen	30.01	<b>Belirtilen</b>	<b>1.00</b>	Yorumlanan	0.00
113	78900	25100	2.97	8.07	Görünür	26.56	Belirtilen	35.85	<b>Belirtilen</b>	<b>0.71</b>	Yorumlanan	0.29
114	78900	24500	2.96	8.08	Görünür	21.91	Belirtilen	29.75	<b>Belirtilen</b>	<b>0.97</b>	Muhtemel	0.03
115	79700	24100	2.84	8.12	Görünür	21.55	Belirtilen	29.40	<b>Belirtilen</b>	<b>0.94</b>	Muhtemel	0.06
116	79300	22900	3.35	8.12	Görünür	15.44	Muhtemel	17.69	<b>Muhtemel</b>	<b>0.77</b>	Görünür	0.23
117	77700	23300	2.77	8.16	Görünür	18.02	Muhtemel	24.22	<b>Muhtemel</b>	<b>0.58</b>	Belirtilen	0.42
118	77700	23900	2.82	8.19	Görünür	23.23	Belirtilen	31.02	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Yorumlanan	0.05
119	77900	24500	2.91	8.28	Görünür	20.91	Belirtilen	28.75	<b>Belirtilen</b>	<b>0.87</b>	Muhtemel	0.13
120	79100	25300	3.55	8.28	Görünür	20.62	Belirtilen	28.44	<b>Belirtilen</b>	<b>0.84</b>	Muhtemel	0.16

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.9. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
121	78900	24700	2.81	8.34	Görünür	25.90	Belirtilen	34.60	<b>Belirtilen</b>	<b>0.77</b>	Yorumlanan	0.23
122	79900	24500	3.06	8.38	Görünür	16.93	Muhtemel	20.61	<b>Muhtemel</b>	<b>0.94</b>	Belirtilen	0.06
123	79100	22700	3.03	8.41	Görünür	15.15	Muhtemel	17.26	<b>Muhtemel</b>	<b>0.73</b>	Görünür	0.27
124	79900	25300	3.82	8.41	Görünür	11.95	Muhtemel	12.75	<b>Görünür</b>	<b>0.73</b>	Muhtemel	0.27
125	78300	22700	2.88	8.42	Görünür	25.57	Belirtilen	34.00	<b>Belirtilen</b>	<b>0.80</b>	Yorumlanan	0.20
126	79700	24300	2.78	8.42	Görünür	22.81	Belirtilen	30.61	<b>Belirtilen</b>	<b>0.97</b>	Yorumlanan	0.03
127	78500	24900	2.83	8.42	Görünür	23.87	Belirtilen	31.68	<b>Belirtilen</b>	<b>0.92</b>	Yorumlanan	0.08
128	79900	23700	2.79	8.44	Görünür	23.24	Belirtilen	31.03	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Yorumlanan	0.05
129	79500	22900	3.27	8.54	Görünür	16.79	Muhtemel	19.98	<b>Muhtemel</b>	<b>1.00</b>	Görünür	0.00
130	78700	24900	2.68	8.62	Görünür	25.85	Belirtilen	34.51	<b>Belirtilen</b>	<b>0.77</b>	Yorumlanan	0.23
131	79700	22900	3.16	8.82	Görünür	19.59	Muhtemel	27.14	<b>Belirtilen</b>	<b>0.71</b>	Muhtemel	0.29
132	79900	24300	2.74	8.91	Görünür	19.39	Muhtemel	26.85	<b>Belirtilen</b>	<b>0.69</b>	Muhtemel	0.31
133	80100	24900	3.35	8.98	Görünür	10.41	Muhtemel	10.61	<b>Görünür</b>	<b>0.94</b>	Muhtemel	0.06
134	77700	24300	2.59	9.07	Görünür	21.43	Belirtilen	29.29	<b>Belirtilen</b>	<b>0.93</b>	Muhtemel	0.07
135	77700	24100	2.62	9.09	Görünür	24.08	Belirtilen	31.91	<b>Belirtilen</b>	<b>0.90</b>	Yorumlanan	0.10

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.10. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
136	77900	24700	2.55	9.11	Görünür	21.70	Belirtilen	29.55	<b>Belirtilen</b>	<b>0.96</b>	Muhtemel	0.04
137	78100	24900	2.62	9.14	Görünür	22.91	Belirtilen	30.71	<b>Belirtilen</b>	<b>0.96</b>	Yorumlanan	0.04
138	77900	23100	2.58	9.15	Görünür	23.63	Belirtilen	31.43	<b>Belirtilen</b>	<b>0.93</b>	Yorumlanan	0.07
139	80100	23300	3.09	9.16	Görünür	21.62	Belirtilen	29.47	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Muhtemel	0.05
140	80100	24700	3.18	9.17	Görünür	12.03	Muhtemel	12.86	<b>Görünür</b>	<b>0.71</b>	Muhtemel	0.29
141	79900	23900	2.47	9.18	Görünür	23.50	Belirtilen	31.29	<b>Belirtilen</b>	<b>0.94</b>	Yorumlanan	0.06
142	79700	22700	2.76	9.20	Görünür	20.28	Belirtilen	28.04	<b>Belirtilen</b>	<b>0.80</b>	Muhtemel	0.20
143	80100	23500	2.84	9.21	Görünür	23.07	Belirtilen	30.86	<b>Belirtilen</b>	<b>0.96</b>	Yorumlanan	0.04
144	78100	22900	2.70	9.24	Görünür	26.98	Belirtilen	36.64	<b>Belirtilen</b>	<b>0.67</b>	Yorumlanan	0.33
145	80100	25100	3.49	9.26	Görünür	10.35	Muhtemel	10.53	<b>Görünür</b>	<b>0.95</b>	Muhtemel	0.05
146	79500	25500	4.01	9.28	Görünür	14.54	Muhtemel	16.34	<b>Muhtemel</b>	<b>0.63</b>	Görünür	0.37
147	78700	25100	2.36	9.52	Görünür	28.84	Belirtilen	40.27	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.51</b>	Belirtilen	0.49
148	79900	24100	2.57	9.54	Görünür	20.70	Belirtilen	28.53	<b>Belirtilen</b>	<b>0.85</b>	Muhtemel	0.15
149	78900	22500	2.60	9.61	Görünür	17.94	Muhtemel	24.01	<b>Muhtemel</b>	<b>0.60</b>	Belirtilen	0.40
150	78500	25100	2.44	9.62	Görünür	23.72	Belirtilen	31.53	<b>Belirtilen</b>	<b>0.92</b>	Yorumlanan	0.08

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri



Çizelge A.11. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası (INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
151	79300	25500	3.82	9.65	Görünür	16.91	Muhtemel	20.52	<b>Muhtemel</b>	<b>0.95</b>	Belirtilen	0.05
152	80100	23100	2.97	9.67	Görünür	22.27	Belirtilen	30.10	<b>Belirtilen</b>	<b>0.99</b>	Yorumlanan	0.01
153	79700	25500	3.99	9.67	Görünür	13.12	Muhtemel	14.35	<b>Görünür</b>	<b>0.57</b>	Muhtemel	0.43
154	80100	24500	2.99	9.69	Görünür	14.01	Muhtemel	15.59	<b>Muhtemel</b>	<b>0.56</b>	Görünür	0.44
155	77700	23100	2.54	9.69	Görünür	20.17	Belirtilen	27.90	<b>Belirtilen</b>	<b>0.79</b>	Muhtemel	0.21
156	79900	22900	2.89	9.70	Görünür	23.46	Belirtilen	31.25	<b>Belirtilen</b>	<b>0.94</b>	Yorumlanan	0.06
157	78700	22500	2.51	9.73	Görünür	22.61	Belirtilen	30.42	<b>Belirtilen</b>	<b>0.98</b>	Yorumlanan	0.02
158	79500	22700	2.88	9.74	Görünür	17.54	Muhtemel	22.85	<b>Muhtemel</b>	<b>0.72</b>	Belirtilen	0.28
159	78300	25100	2.46	9.79	Görünür	21.69	Belirtilen	29.54	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Muhtemel	0.05
160	79300	22700	2.92	9.90	Görünür	16.44	Muhtemel	19.35	<b>Muhtemel</b>	<b>0.93</b>	Görünür	0.07
161	80100	23700	2.52	9.91	Görünür	22.82	Belirtilen	30.62	<b>Belirtilen</b>	<b>0.97</b>	Yorumlanan	0.03
162	80100	24300	2.80	9.91	Görünür	15.49	Muhtemel	17.78	<b>Muhtemel</b>	<b>0.78</b>	Görünür	0.22
163	79700	22500	2.48	10.09	Muhtemel	19.54	Muhtemel	27.08	<b>Belirtilen</b>	<b>0.71</b>	Muhtemel	0.29
164	77500	23700	2.39	10.19	Muhtemel	25.29	Belirtilen	33.49	<b>Belirtilen</b>	<b>0.83</b>	Yorumlanan	0.17
165	79100	22500	2.63	10.19	Muhtemel	15.13	Muhtemel	17.22	<b>Muhtemel</b>	<b>0.72</b>	Görünür	0.28

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.12. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
166	77700	24500	2.33	10.29	Muhtemel	21.13	Belirtilen	28.98	<b>Belirtilen</b>	<b>0.90</b>	Muhtemel	0.10
167	80100	24100	2.61	10.34	Muhtemel	17.71	Muhtemel	23.38	<b>Muhtemel</b>	<b>0.66</b>	Belirtilen	0.34
168	78900	25300	2.88	10.38	Muhtemel	26.74	Belirtilen	36.18	<b>Belirtilen</b>	<b>0.69</b>	Yorumlanan	0.31
169	80100	23900	2.46	10.40	Muhtemel	20.06	Belirtilen	27.78	<b>Belirtilen</b>	<b>0.78</b>	Muhtemel	0.22
170	78500	22500	2.37	10.59	Muhtemel	27.74	Belirtilen	38.12	<b>Belirtilen</b>	<b>0.59</b>	Yorumlanan	0.41
171	78900	22300	2.28	10.65	Muhtemel	17.57	Muhtemel	22.94	<b>Muhtemel</b>	<b>0.71</b>	Belirtilen	0.29
172	77900	24900	2.17	10.67	Muhtemel	21.66	Belirtilen	29.51	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Muhtemel	0.05
173	79700	22300	2.30	10.73	Muhtemel	17.33	Muhtemel	22.18	<b>Muhtemel</b>	<b>0.78</b>	Belirtilen	0.22
174	77500	23500	2.45	10.74	Muhtemel	22.20	Belirtilen	30.03	<b>Belirtilen</b>	<b>1.00</b>	Yorumlanan	0.00
175	79900	22700	2.45	10.78	Muhtemel	26.84	Belirtilen	36.39	<b>Belirtilen</b>	<b>0.68</b>	Yorumlanan	0.32
176	80100	25300	3.58	10.79	Muhtemel	11.85	Muhtemel	12.61	<b>Görünür</b>	<b>0.74</b>	Muhtemel	0.26
177	79900	22500	2.30	10.84	Muhtemel	24.81	Belirtilen	32.80	<b>Belirtilen</b>	<b>0.86</b>	Yorumlanan	0.14
178	79900	22300	2.35	10.90	Muhtemel	19.97	Muhtemel	27.65	<b>Belirtilen</b>	<b>0.77</b>	Muhtemel	0.23
179	79900	25500	3.79	10.96	Muhtemel	13.48	Muhtemel	14.84	<b>Görünür</b>	<b>0.52</b>	Muhtemel	0.48
180	79100	22300	2.35	10.97	Muhtemel	15.11	Muhtemel	17.20	<b>Muhtemel</b>	<b>0.72</b>	Görünür	0.28

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.13. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
181	79500	22500	2.55	11.02	Muhtemel	16.91	Muhtemel	20.49	<b>Muhtemel</b>	<b>0.95</b>	Belirtilen	0.05
182	77500	23900	2.16	11.05	Muhtemel	27.15	Belirtilen	36.98	<b>Belirtilen</b>	<b>0.65</b>	Yorumlanan	0.35
183	79100	25500	3.37	11.08	Muhtemel	21.36	Belirtilen	29.22	<b>Belirtilen</b>	<b>0.92</b>	Muhtemel	0.08
184	77700	24700	2.06	11.23	Muhtemel	19.99	Muhtemel	27.68	<b>Belirtilen</b>	<b>0.77</b>	Muhtemel	0.23
185	79300	22500	2.57	11.37	Muhtemel	15.76	Muhtemel	18.20	<b>Muhtemel</b>	<b>0.82</b>	Görünür	0.18
186	77900	22900	2.26	11.40	Muhtemel	27.74	Belirtilen	38.12	<b>Belirtilen</b>	<b>0.59</b>	Yorumlanan	0.41
187	78100	22700	2.41	11.50	Muhtemel	29.41	Belirtilen	41.39	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.57</b>	Belirtilen	0.43
188	78700	22300	2.06	11.67	Muhtemel	23.12	Belirtilen	30.91	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Yorumlanan	0.05
189	78100	25100	2.19	11.71	Muhtemel	21.90	Belirtilen	29.74	<b>Belirtilen</b>	<b>0.97</b>	Muhtemel	0.03
190	78900	22100	2.16	11.71	Muhtemel	16.58	Muhtemel	19.60	<b>Muhtemel</b>	<b>0.96</b>	Görünür	0.04
191	77500	23300	2.43	11.73	Muhtemel	20.16	Belirtilen	27.90	<b>Belirtilen</b>	<b>0.79</b>	Muhtemel	0.21
192	79100	22100	2.20	11.74	Muhtemel	15.76	Muhtemel	18.20	<b>Muhtemel</b>	<b>0.82</b>	Görünür	0.18
193	80100	22900	2.64	11.81	Muhtemel	25.75	Belirtilen	34.33	<b>Belirtilen</b>	<b>0.78</b>	Yorumlanan	0.22
194	78700	25300	2.42	11.83	Muhtemel	28.55	Belirtilen	39.70	<b>Belirtilen</b>	<b>0.52</b>	Yorumlanan	0.48
195	79500	25700	3.81	12.00	Muhtemel	15.44	Muhtemel	17.70	<b>Muhtemel</b>	<b>0.77</b>	Görünür	0.23

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.14. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
196	78500	25300	2.26	12.04	Muhtemel	23.91	Belirtilen	31.73	<b>Belirtilen</b>	<b>0.91</b>	Yorumlanan	0.09
197	77500	24100	1.98	12.14	Muhtemel	26.34	Belirtilen	35.43	<b>Belirtilen</b>	<b>0.73</b>	Yorumlanan	0.27
198	79500	22300	2.29	12.16	Muhtemel	16.70	Muhtemel	19.81	<b>Muhtemel</b>	<b>0.98</b>	Görünür	0.02
199	80300	24900	3.20	12.23	Muhtemel	11.24	Muhtemel	11.77	<b>Görünür</b>	<b>0.82</b>	Muhtemel	0.18
200	79300	22300	2.31	12.30	Muhtemel	16.10	Muhtemel	18.77	<b>Muhtemel</b>	<b>0.88</b>	Görünür	0.12
201	78300	22500	2.17	12.34	Muhtemel	32.09	Yorumlanan	46.57	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.83</b>	Belirtilen	0.17
202	80300	24700	3.07	12.35	Muhtemel	11.87	Muhtemel	12.64	<b>Görünür</b>	<b>0.74</b>	Muhtemel	0.26
203	80300	25100	3.37	12.37	Muhtemel	10.52	Muhtemel	10.76	<b>Görünür</b>	<b>0.92</b>	Muhtemel	0.08
204	79700	25700	3.80	12.38	Muhtemel	14.60	Muhtemel	16.44	<b>Muhtemel</b>	<b>0.64</b>	Görünür	0.36
205	77500	24300	1.92	12.44	Muhtemel	23.81	Belirtilen	31.62	<b>Belirtilen</b>	<b>0.92</b>	Yorumlanan	0.08
206	77700	22900	2.23	12.46	Muhtemel	23.16	Belirtilen	30.96	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Yorumlanan	0.05
207	80300	24500	2.96	12.52	Muhtemel	12.95	Muhtemel	14.12	<b>Görünür</b>	<b>0.59</b>	Muhtemel	0.41
208	79300	25700	3.59	12.55	Muhtemel	18.71	Muhtemel	25.71	<b>Belirtilen</b>	<b>0.57</b>	Muhtemel	0.43
209	79700	22100	2.15	12.56	Muhtemel	16.69	Muhtemel	19.80	<b>Muhtemel</b>	<b>0.98</b>	Görünür	0.02
210	77500	23100	2.35	12.71	Muhtemel	20.18	Belirtilen	27.92	<b>Belirtilen</b>	<b>0.79</b>	Muhtemel	0.21

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.15. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
211	79300	22100	2.09	12.77	Muhtemel	17.31	Muhtemel	22.11	<b>Muhtemel</b>	<b>0.79</b>	Belirtilen	0.21
212	80100	25500	3.59	12.79	Muhtemel	13.17	Muhtemel	14.41	<b>Görünür</b>	<b>0.56</b>	Muhtemel	0.44
213	80300	24300	2.82	12.79	Muhtemel	14.82	Muhtemel	16.76	<b>Muhtemel</b>	<b>0.68</b>	Görünür	0.32
214	78900	25500	2.93	12.87	Muhtemel	24.94	Belirtilen	32.97	<b>Belirtilen</b>	<b>0.85</b>	Yorumlanan	0.15
215	77700	24900	1.82	12.96	Muhtemel	18.02	Muhtemel	24.20	<b>Muhtemel</b>	<b>0.58</b>	Belirtilen	0.42
216	78300	25300	2.14	13.14	Muhtemel	20.46	Belirtilen	28.25	<b>Belirtilen</b>	<b>0.82</b>	Muhtemel	0.18
217	80300	23300	2.75	13.19	Muhtemel	23.08	Belirtilen	30.87	<b>Belirtilen</b>	<b>0.96</b>	Yorumlanan	0.04
218	80300	24100	2.64	13.21	Muhtemel	15.98	Muhtemel	18.57	<b>Muhtemel</b>	<b>0.86</b>	Görünür	0.14
219	80300	25300	3.48	13.22	Muhtemel	11.32	Muhtemel	11.88	<b>Görünür</b>	<b>0.81</b>	Muhtemel	0.19
220	78700	22100	1.96	13.25	Muhtemel	19.83	Muhtemel	27.48	<b>Belirtilen</b>	<b>0.75</b>	Muhtemel	0.25
221	77500	24500	1.82	13.29	Muhtemel	20.87	Belirtilen	28.71	<b>Belirtilen</b>	<b>0.87</b>	Muhtemel	0.13
222	79900	25700	3.70	13.29	Muhtemel	13.91	Muhtemel	15.45	<b>Muhtemel</b>	<b>0.55</b>	Görünür	0.45
223	80300	23900	2.56	13.30	Muhtemel	18.52	Muhtemel	25.34	<b>Belirtilen</b>	<b>0.53</b>	Muhtemel	0.47
224	79500	22100	2.08	13.40	Muhtemel	17.20	Muhtemel	21.71	<b>Muhtemel</b>	<b>0.83</b>	Belirtilen	0.17
225	80100	22700	2.26	13.41	Muhtemel	29.92	Belirtilen	42.40	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.62</b>	Belirtilen	0.38

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.16. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
226	77900	25100	1.88	13.46	Muhtemel	20.22	Belirtilen	27.97	<b>Belirtilen</b>	<b>0.80</b>	Muhtemel	0.20
227	80100	22300	2.36	13.49	Muhtemel	22.75	Belirtilen	30.56	<b>Belirtilen</b>	<b>0.97</b>	Yorumlanan	0.03
228	77900	22700	2.05	13.62	Muhtemel	28.85	Belirtilen	40.29	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.51</b>	Belirtilen	0.49
229	79900	22100	2.24	13.63	Muhtemel	18.91	Muhtemel	26.07	<b>Belirtilen</b>	<b>0.61</b>	Muhtemel	0.39
230	80100	22500	2.17	13.70	Muhtemel	28.09	Belirtilen	38.79	<b>Belirtilen</b>	<b>0.56</b>	Yorumlanan	0.44
231	80300	23500	2.55	13.71	Muhtemel	24.12	Belirtilen	31.95	<b>Belirtilen</b>	<b>0.90</b>	Yorumlanan	0.10
232	79100	25700	3.28	13.71	Muhtemel	21.41	Belirtilen	29.27	<b>Belirtilen</b>	<b>0.93</b>	Muhtemel	0.07
233	80300	23700	2.43	13.90	Muhtemel	22.83	Belirtilen	30.63	<b>Belirtilen</b>	<b>0.97</b>	Yorumlanan	0.03
234	80300	23100	2.67	13.94	Muhtemel	24.20	Belirtilen	32.05	<b>Belirtilen</b>	<b>0.90</b>	Yorumlanan	0.10
235	78500	22300	1.83	14.07	Muhtemel	29.75	Belirtilen	42.06	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.60</b>	Belirtilen	0.40
236	78900	21900	2.10	14.31	Muhtemel	16.85	Muhtemel	20.24	<b>Muhtemel</b>	<b>0.98</b>	Belirtilen	0.02
237	79100	21900	2.09	14.33	Muhtemel	16.60	Muhtemel	19.63	<b>Muhtemel</b>	<b>0.96</b>	Görünür	0.04
238	77500	24700	1.66	14.38	Muhtemel	16.98	Muhtemel	20.83	<b>Muhtemel</b>	<b>0.92</b>	Belirtilen	0.08
239	78100	25300	1.87	14.51	Muhtemel	21.08	Belirtilen	28.93	<b>Belirtilen</b>	<b>0.89</b>	Muhtemel	0.11
240	77700	22700	1.93	14.52	Muhtemel	24.74	Belirtilen	32.71	<b>Belirtilen</b>	<b>0.86</b>	Yorumlanan	0.14

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.17. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
241	78700	25500	2.52	14.68	Muhtemel	27.32	Belirtilen	37.31	<b>Belirtilen</b>	<b>0.63</b>	Yorumlanan	0.37
242	77500	22900	2.09	14.71	Muhtemel	21.59	Belirtilen	29.45	<b>Belirtilen</b>	<b>0.94</b>	Muhtemel	0.06
243	80100	25700	3.53	14.88	Muhtemel	14.73	Muhtemel	16.62	<b>Muhtemel</b>	<b>0.66</b>	Görünür	0.34
244	80300	25500	3.43	14.92	Muhtemel	13.72	Muhtemel	15.18	<b>Muhtemel</b>	<b>0.52</b>	Görünür	0.48
245	77700	25100	1.60	15.18	Muhtemel	16.15	Muhtemel	18.85	<b>Muhtemel</b>	<b>0.88</b>	Görünür	0.12
246	78900	25700	2.96	15.22	Muhtemel	23.82	Belirtilen	31.63	<b>Belirtilen</b>	<b>0.92</b>	Yorumlanan	0.08
247	78100	22500	1.99	15.35	Muhtemel	32.37	Yorumlanan	47.09	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.85</b>	Belirtilen	0.15
248	80300	22900	2.48	15.38	Muhtemel	26.26	Belirtilen	35.28	<b>Belirtilen</b>	<b>0.74</b>	Yorumlanan	0.26
249	79300	21900	1.96	15.46	Muhtemel	17.57	Muhtemel	22.95	<b>Muhtemel</b>	<b>0.70</b>	Belirtilen	0.30
250	77300	23700	1.77	15.46	Muhtemel	30.16	Yorumlanan	42.85	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.64</b>	Belirtilen	0.36
251	78500	25500	2.29	15.74	Muhtemel	25.61	Belirtilen	34.07	<b>Belirtilen</b>	<b>0.80</b>	Yorumlanan	0.20
252	77500	24900	1.54	15.83	Muhtemel	13.64	Muhtemel	15.07	<b>Muhtemel</b>	<b>0.51</b>	Görünür	0.49
253	77300	23500	1.99	15.92	Muhtemel	25.27	Belirtilen	33.46	<b>Belirtilen</b>	<b>0.83</b>	Yorumlanan	0.17
254	79700	21900	2.05	15.92	Muhtemel	16.58	Muhtemel	19.59	<b>Muhtemel</b>	<b>0.96</b>	Görünür	0.04
255	77300	23900	1.63	16.09	Muhtemel	29.73	Belirtilen	42.01	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.60</b>	Belirtilen	0.40

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.18. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
256	80100	22100	2.32	16.11	Muhtemel	21.07	Belirtilen	28.92	<b>Belirtilen</b>	<b>0.89</b>	Muhtemel	0.11
257	77900	25300	1.62	16.12	Muhtemel	18.44	Muhtemel	25.18	<b>Belirtilen</b>	<b>0.52</b>	Muhtemel	0.48
258	78700	21900	1.93	16.21	Muhtemel	18.08	Muhtemel	24.35	<b>Muhtemel</b>	<b>0.56</b>	Belirtilen	0.44
259	79500	21900	1.97	16.23	Muhtemel	17.27	Muhtemel	21.94	<b>Muhtemel</b>	<b>0.81</b>	Belirtilen	0.19
260	77300	24300	1.43	16.36	Muhtemel	25.10	Belirtilen	33.19	<b>Belirtilen</b>	<b>0.84</b>	Yorumlanan	0.16
261	77300	24100	1.50	16.48	Muhtemel	27.32	Belirtilen	37.30	<b>Belirtilen</b>	<b>0.64</b>	Yorumlanan	0.36
262	77500	22700	1.87	16.58	Muhtemel	22.20	Belirtilen	30.04	<b>Belirtilen</b>	<b>1.00</b>	Yorumlanan	0.00
263	77300	23300	2.09	16.68	Muhtemel	22.46	Belirtilen	30.28	<b>Belirtilen</b>	<b>0.99</b>	Yorumlanan	0.01
264	80300	25700	3.36	16.74	Muhtemel	14.96	Muhtemel	16.97	<b>Muhtemel</b>	<b>0.70</b>	Görünür	0.30
265	77300	24500	1.41	16.79	Muhtemel	20.55	Belirtilen	28.35	<b>Belirtilen</b>	<b>0.84</b>	Muhtemel	0.16
266	77300	24700	1.37	16.99	Muhtemel	17.63	Muhtemel	23.15	<b>Muhtemel</b>	<b>0.68</b>	Belirtilen	0.32
267	80300	22700	2.26	17.07	Muhtemel	28.76	Belirtilen	40.11	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.51</b>	Belirtilen	0.49
268	78700	25700	2.61	17.09	Muhtemel	26.98	Belirtilen	36.65	<b>Belirtilen</b>	<b>0.67</b>	Yorumlanan	0.33
269	79900	21900	2.16	17.14	Muhtemel	19.10	Muhtemel	26.40	<b>Belirtilen</b>	<b>0.64</b>	Muhtemel	0.36
270	78300	22300	1.64	17.28	Muhtemel	35.10	Yorumlanan	48.75	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.94</b>	Belirtilen	0.06

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri



Çizelge A.19. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
271	77300	23100	2.08	17.30	Muhtemel	20.65	Belirtilen	28.47	<b>Belirtilen</b>	<b>0.85</b>	Muhtemel	0.15
272	78500	22100	1.72	17.30	Muhtemel	25.27	Belirtilen	33.46	<b>Belirtilen</b>	<b>0.83</b>	Yorumlanan	0.17
273	77300	22900	2.00	17.50	Muhtemel	19.87	Muhtemel	27.53	<b>Belirtilen</b>	<b>0.75</b>	Muhtemel	0.25
274	77900	22500	1.83	17.66	Muhtemel	29.42	Belirtilen	41.41	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.57</b>	Belirtilen	0.43
275	80300	22500	2.20	17.79	Muhtemel	27.53	Belirtilen	37.71	<b>Belirtilen</b>	<b>0.61</b>	Yorumlanan	0.39
276	78300	25500	1.95	17.89	Muhtemel	23.05	Belirtilen	30.84	<b>Belirtilen</b>	<b>0.96</b>	Yorumlanan	0.04
277	77500	25100	1.38	17.96	Muhtemel	13.01	Muhtemel	14.19	<b>Görünür</b>	<b>0.58</b>	Muhtemel	0.42
278	77300	22700	1.84	18.03	Muhtemel	20.65	Belirtilen	28.47	<b>Belirtilen</b>	<b>0.85</b>	Muhtemel	0.15
279	77700	25300	1.40	18.10	Muhtemel	15.12	Muhtemel	17.21	<b>Muhtemel</b>	<b>0.72</b>	Görünür	0.28
280	77300	24900	1.31	18.21	Muhtemel	15.15	Muhtemel	17.26	<b>Muhtemel</b>	<b>0.73</b>	Görünür	0.27
281	80300	22300	2.23	18.49	Muhtemel	24.83	Belirtilen	32.83	<b>Belirtilen</b>	<b>0.86</b>	Yorumlanan	0.14
282	80300	22100	2.37	19.00	Muhtemel	22.80	Belirtilen	30.61	<b>Belirtilen</b>	<b>0.97</b>	Yorumlanan	0.03
283	77700	22500	1.76	19.04	Muhtemel	24.49	Belirtilen	32.39	<b>Belirtilen</b>	<b>0.88</b>	Yorumlanan	0.12
284	80100	21900	2.24	19.36	Muhtemel	21.31	Belirtilen	29.17	<b>Belirtilen</b>	<b>0.92</b>	Muhtemel	0.08
285	78100	25500	1.67	19.71	Muhtemel	21.52	Belirtilen	29.37	<b>Belirtilen</b>	<b>0.94</b>	Muhtemel	0.06

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.20. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
286	77300	25100	1.20	19.79	Muhtemel	14.05	Muhtemel	15.65	<b>Muhtemel</b>	<b>0.57</b>	Görünür	0.43
287	77100	24500	1.15	20.28	Belirtilen	19.51	Muhtemel	27.03	<b>Belirtilen</b>	<b>0.70</b>	Muhtemel	0.30
288	78500	25700	2.13	20.34	Belirtilen	27.50	Belirtilen	37.66	<b>Belirtilen</b>	<b>0.62</b>	Yorumlanan	0.38
289	78100	22300	1.67	20.37	Belirtilen	32.67	Yorumlanan	47.63	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.88</b>	Belirtilen	0.12
290	78500	21900	1.74	20.62	Belirtilen	21.79	Belirtilen	29.64	<b>Belirtilen</b>	<b>0.96</b>	Muhtemel	0.04
291	77100	24300	1.18	21.06	Belirtilen	23.69	Belirtilen	31.49	<b>Belirtilen</b>	<b>0.93</b>	Yorumlanan	0.07
292	77500	25300	1.23	21.10	Belirtilen	14.80	Muhtemel	16.73	<b>Muhtemel</b>	<b>0.67</b>	Görünür	0.33
293	80300	21900	2.32	21.37	Belirtilen	21.36	Belirtilen	29.22	<b>Belirtilen</b>	<b>0.92</b>	Muhtemel	0.08
294	77500	22500	1.68	21.39	Belirtilen	21.99	Belirtilen	29.83	<b>Belirtilen</b>	<b>0.98</b>	Muhtemel	0.02
295	77900	25500	1.44	21.56	Belirtilen	16.07	Muhtemel	18.68	<b>Muhtemel</b>	<b>0.87</b>	Görünür	0.13
296	77100	22900	1.91	21.90	Belirtilen	19.75	Muhtemel	27.36	<b>Belirtilen</b>	<b>0.74</b>	Muhtemel	0.26
297	77100	24700	1.13	21.93	Belirtilen	19.17	Muhtemel	26.51	<b>Belirtilen</b>	<b>0.65</b>	Muhtemel	0.35
298	78300	22100	1.57	22.01	Belirtilen	28.26	Belirtilen	39.14	<b>Belirtilen</b>	<b>0.54</b>	Yorumlanan	0.46
299	77100	23300	1.84	22.09	Belirtilen	22.00	Belirtilen	29.84	<b>Belirtilen</b>	<b>0.98</b>	Muhtemel	0.02
300	77100	23100	1.88	22.23	Belirtilen	20.52	Belirtilen	28.32	<b>Belirtilen</b>	<b>0.83</b>	Muhtemel	0.17

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.21. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
301	77100	24900	1.09	22.72	Belirtilen	18.07	Muhtemel	24.45	<b>Muhtemel</b>	<b>0.55</b>	Belirtilen	0.45
302	77300	22500	1.71	22.80	Belirtilen	21.29	Belirtilen	29.14	<b>Belirtilen</b>	<b>0.91</b>	Muhtemel	0.09
303	77700	25500	1.28	22.82	Belirtilen	15.21	Muhtemel	17.30	<b>Muhtemel</b>	<b>0.73</b>	Görünür	0.27
304	77100	23500	1.65	22.88	Belirtilen	27.99	Belirtilen	38.60	<b>Belirtilen</b>	<b>0.57</b>	Yorumlanan	0.43
305	78300	25700	1.83	23.05	Belirtilen	24.87	Belirtilen	33.01	<b>Belirtilen</b>	<b>0.85</b>	Yorumlanan	0.15
306	77100	24100	1.25	23.10	Belirtilen	27.32	Belirtilen	37.32	<b>Belirtilen</b>	<b>0.63</b>	Yorumlanan	0.37
307	77900	22300	1.63	23.19	Belirtilen	28.58	Belirtilen	39.76	<b>Belirtilen</b>	<b>0.51</b>	Yorumlanan	0.49
308	77100	23700	1.49	23.29	Belirtilen	29.48	Belirtilen	41.53	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.58</b>	Belirtilen	0.42
309	77100	23900	1.36	23.62	Belirtilen	29.81	Belirtilen	42.17	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.61</b>	Belirtilen	0.39
310	77300	25300	1.06	23.70	Belirtilen	16.09	Muhtemel	18.66	<b>Muhtemel</b>	<b>0.87</b>	Görünür	0.13
311	77100	22700	1.77	23.74	Belirtilen	20.36	Belirtilen	28.14	<b>Belirtilen</b>	<b>0.81</b>	Muhtemel	0.19
312	77100	25100	1.01	23.86	Belirtilen	19.20	Muhtemel	26.59	<b>Belirtilen</b>	<b>0.66</b>	Muhtemel	0.34
313	77700	22300	1.65	24.47	Belirtilen	24.95	Belirtilen	33.20	<b>Belirtilen</b>	<b>0.84</b>	Yorumlanan	0.16
314	78100	22100	1.59	24.75	Belirtilen	28.93	Belirtilen	40.44	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.52</b>	Belirtilen	0.48
315	77500	25500	1.11	25.08	Belirtilen	18.05	Muhtemel	24.68	<b>Muhtemel</b>	<b>0.53</b>	Belirtilen	0.47

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.22. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
316	78300	21900	1.61	25.34	Belirtilen	24.04	Belirtilen	31.93	<b>Belirtilen</b>	<b>0.90</b>	Yorumlanan	0.10
317	77500	22300	1.69	25.36	Belirtilen	21.12	Belirtilen	28.97	<b>Belirtilen</b>	<b>0.90</b>	Muhtemel	0.10
318	77100	22500	1.79	25.51	Belirtilen	23.67	Belirtilen	31.47	<b>Belirtilen</b>	<b>0.93</b>	Yorumlanan	0.07
319	78100	25700	1.56	25.93	Belirtilen	24.18	Belirtilen	32.12	<b>Belirtilen</b>	<b>0.89</b>	Yorumlanan	0.11
320	77900	22100	1.61	26.89	Belirtilen	27.08	Belirtilen	37.69	<b>Belirtilen</b>	<b>0.62</b>	Yorumlanan	0.38
321	76900	22900	1.79	27.00	Belirtilen	19.70	Muhtemel	27.81	<b>Belirtilen</b>	<b>0.78</b>	Muhtemel	0.22
322	76900	24300	0.97	27.27	Belirtilen	25.42	Belirtilen	34.36	<b>Belirtilen</b>	<b>0.78</b>	Yorumlanan	0.22
323	76900	24500	0.93	27.50	Belirtilen	21.83	Belirtilen	29.47	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Muhtemel	0.05
324	77300	22300	1.66	27.87	Belirtilen	19.34	Muhtemel	27.52	<b>Belirtilen</b>	<b>0.75</b>	Muhtemel	0.25
325	77700	22100	1.66	28.02	Belirtilen	24.46	Belirtilen	32.54	<b>Belirtilen</b>	<b>0.87</b>	Yorumlanan	0.13
326	76900	22700	1.76	28.30	Belirtilen	22.45	Belirtilen	30.08	<b>Belirtilen</b>	<b>1.00</b>	Yorumlanan	0.00
327	77100	25300	0.89	28.46	Belirtilen	21.51	Belirtilen	29.33	<b>Belirtilen</b>	<b>0.93</b>	Muhtemel	0.07
328	78100	21900	1.59	28.46	Belirtilen	25.38	Belirtilen	34.19	<b>Belirtilen</b>	<b>0.79</b>	Yorumlanan	0.21
329	76900	23300	1.59	28.76	Belirtilen	26.34	Belirtilen	36.16	<b>Belirtilen</b>	<b>0.69</b>	Yorumlanan	0.31
330	76900	23100	1.64	28.79	Belirtilen	23.78	Belirtilen	31.58	<b>Belirtilen</b>	<b>0.92</b>	Yorumlanan	0.08

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.23. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
331	77100	22300	1.74	29.13	Belirtilen	20.25	Belirtilen	28.04	<b>Belirtilen</b>	<b>0.80</b>	Muhtemel	0.20
332	77500	22100	1.67	29.56	Belirtilen	21.80	Belirtilen	29.65	<b>Belirtilen</b>	<b>0.96</b>	Muhtemel	0.04
333	77900	25700	1.29	29.72	Belirtilen	17.77	Muhtemel	23.97	<b>Muhtemel</b>	<b>0.60</b>	Belirtilen	0.40
334	77300	25500	0.95	29.75	Belirtilen	19.08	Muhtemel	26.71	<b>Belirtilen</b>	<b>0.67</b>	Muhtemel	0.33
335	76900	23500	1.46	29.84	Belirtilen	28.18	Belirtilen	39.08	<b>Belirtilen</b>	<b>0.55</b>	Yorumlanan	0.45
336	76900	22500	1.75	29.95	Belirtilen	24.11	Belirtilen	32.02	<b>Belirtilen</b>	<b>0.90</b>	Yorumlanan	0.10
337	76900	24700	0.90	30.10	Yorumlanan	23.21	Belirtilen	30.97	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Yorumlanan	0.05
338	77700	21900	1.70	30.40	Yorumlanan	23.74	Belirtilen	31.56	<b>Belirtilen</b>	<b>0.92</b>	Yorumlanan	0.08
339	77700	25700	1.18	30.43	Yorumlanan	20.99	Belirtilen	28.84	<b>Belirtilen</b>	<b>0.88</b>	Muhtemel	0.12
340	77900	21900	1.60	30.45	Yorumlanan	25.43	Belirtilen	34.08	<b>Belirtilen</b>	<b>0.80</b>	Yorumlanan	0.20
341	77500	21900	1.78	30.61	Yorumlanan	22.53	Belirtilen	30.33	<b>Belirtilen</b>	<b>0.98</b>	Yorumlanan	0.02
342	77500	25700	1.06	30.61	Yorumlanan	22.31	Belirtilen	30.13	<b>Belirtilen</b>	<b>0.99</b>	Yorumlanan	0.01
343	76900	23900	1.22	30.75	Yorumlanan	30.65	Yorumlanan	43.81	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.69</b>	Belirtilen	0.31
344	76900	23700	1.32	30.79	Yorumlanan	29.23	Belirtilen	41.04	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.55</b>	Belirtilen	0.45
345	76900	24900	0.85	30.97	Yorumlanan	24.29	Belirtilen	32.24	<b>Belirtilen</b>	<b>0.89</b>	Yorumlanan	0.11

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.24. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS), interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
346	76900	22300	1.79	31.36	Yorumlanan	25.70	Belirtilen	34.51	<b>Belirtilen</b>	<b>0.77</b>	Yorumlanan	0.23
347	76900	24100	1.03	31.47	Yorumlanan	29.39	Belirtilen	41.35	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.57</b>	Belirtilen	0.43
348	77300	21900	1.81	31.52	Yorumlanan	19.88	Muhtemel	27.54	<b>Belirtilen</b>	<b>0.75</b>	Muhtemel	0.25
349	77300	22100	1.62	32.25	Yorumlanan	19.93	Muhtemel	27.61	<b>Belirtilen</b>	<b>0.76</b>	Muhtemel	0.24
350	76700	22500	1.80	32.30	Yorumlanan	26.37	Belirtilen	35.65	<b>Belirtilen</b>	<b>0.72</b>	Yorumlanan	0.28
351	76900	22100	1.81	32.85	Yorumlanan	22.37	Belirtilen	30.20	<b>Belirtilen</b>	<b>0.99</b>	Yorumlanan	0.01
352	76700	22700	1.67	33.07	Yorumlanan	26.25	Belirtilen	35.37	<b>Belirtilen</b>	<b>0.73</b>	Yorumlanan	0.27
353	76700	22300	1.83	33.19	Yorumlanan	28.04	Belirtilen	38.70	<b>Belirtilen</b>	<b>0.56</b>	Yorumlanan	0.44
354	76700	22100	1.89	33.32	Yorumlanan	22.95	Belirtilen	30.75	<b>Belirtilen</b>	<b>0.96</b>	Yorumlanan	0.04
355	76900	25100	0.77	33.42	Yorumlanan	25.67	Belirtilen	34.29	<b>Belirtilen</b>	<b>0.79</b>	Yorumlanan	0.21
356	76500	22300	1.92	33.60	Yorumlanan	29.64	Belirtilen	41.83	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.59</b>	Belirtilen	0.41
357	77100	22100	1.66	33.60	Yorumlanan	18.80	Muhtemel	25.87	<b>Belirtilen</b>	<b>0.59</b>	Muhtemel	0.41
358	76700	21900	1.93	33.80	Yorumlanan	24.07	Belirtilen	31.91	<b>Belirtilen</b>	<b>0.90</b>	Yorumlanan	0.10
359	76700	22900	1.57	34.19	Yorumlanan	24.29	Belirtilen	32.17	<b>Belirtilen</b>	<b>0.89</b>	Yorumlanan	0.11
360	76700	23100	1.52	34.46	Yorumlanan	25.28	Belirtilen	33.52	<b>Belirtilen</b>	<b>0.82</b>	Yorumlanan	0.18

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.25. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
361	76700	23300	1.46	34.94	Yorumlanan	26.65	Belirtilen	36.02	<b>Belirtilen</b>	<b>0.70</b>	Yorumlanan	0.30
362	77300	25700	0.91	35.74	Yorumlanan	23.23	Belirtilen	31.03	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Yorumlanan	0.05
363	77100	21900	1.65	36.32	Yorumlanan	19.70	Muhtemel	27.30	<b>Belirtilen</b>	<b>0.73</b>	Muhtemel	0.27
364	76900	21900	1.71	36.70	Yorumlanan	19.57	Muhtemel	27.11	<b>Belirtilen</b>	<b>0.71</b>	Muhtemel	0.29
365	76700	23500	1.31	37.12	Yorumlanan	27.26	Belirtilen	37.18	<b>Belirtilen</b>	<b>0.64</b>	Yorumlanan	0.36
366	76700	23900	1.11	37.95	Yorumlanan	37.26	Yorumlanan	47.76	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.89</b>	Belirtilen	0.11
367	77100	25500	0.80	38.01	Yorumlanan	22.53	Belirtilen	30.34	<b>Belirtilen</b>	<b>0.98</b>	Yorumlanan	0.02
368	76500	22700	1.57	38.33	Yorumlanan	26.56	Belirtilen	35.85	<b>Belirtilen</b>	<b>0.71</b>	Yorumlanan	0.29
369	76500	22500	1.59	38.67	Yorumlanan	32.08	Yorumlanan	46.55	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.83</b>	Belirtilen	0.17
370	76700	23700	1.17	39.19	Yorumlanan	29.73	Belirtilen	42.01	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.60</b>	Belirtilen	0.40
371	76700	24300	0.76	39.44	Yorumlanan	32.52	Yorumlanan	47.30	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.86</b>	Belirtilen	0.14
372	76500	22900	1.48	39.59	Yorumlanan	25.44	Belirtilen	33.85	<b>Belirtilen</b>	<b>0.81</b>	Yorumlanan	0.19
373	76900	25300	0.68	39.76	Yorumlanan	29.09	Belirtilen	40.77	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.54</b>	Belirtilen	0.46
374	76500	23100	1.44	39.77	Yorumlanan	26.53	Belirtilen	35.80	<b>Belirtilen</b>	<b>0.71</b>	Yorumlanan	0.29
375	76500	23300	1.36	40.76	Yorumlanan	27.66	Belirtilen	37.96	<b>Belirtilen</b>	<b>0.60</b>	Yorumlanan	0.40

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

Çizelge A.26. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
376	76700	24100	0.89	41.25	Yorumlanan	33.84	Yorumlanan	48.52	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.93</b>	Belirtilen	0.07
377	76700	24500	0.71	42.50	Yorumlanan	25.76	Belirtilen	34.65	<b>Belirtilen</b>	<b>0.77</b>	Yorumlanan	0.23
378	76500	23500	1.25	42.50	Yorumlanan	32.14	Yorumlanan	45.96	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.80</b>	Belirtilen	0.20
379	76500	23700	1.13	44.64	Yorumlanan	34.07	Yorumlanan	47.80	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.89</b>	Belirtilen	0.11
380	76700	24700	0.69	45.43	Yorumlanan	28.50	Belirtilen	40.03	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.50</b>	Belirtilen	0.50
381	76700	24900	0.61	47.54	Yorumlanan	31.89	Yorumlanan	44.96	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.75</b>	Belirtilen	0.25
382	76500	23900	1.00	47.72	Yorumlanan	39.44	Yorumlanan	47.88	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.89</b>	Belirtilen	0.11
383	77100	25700	0.77	47.95	Yorumlanan	23.23	Belirtilen	30.97	<b>Belirtilen</b>	<b>0.95</b>	Yorumlanan	0.05
384	76900	25500	0.64	50.66	Yorumlanan	28.25	Belirtilen	39.12	<b>Belirtilen</b>	<b>0.54</b>	Yorumlanan	0.46
385	76700	25100	0.56	52.22	Yorumlanan	33.56	Yorumlanan	48.75	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.94</b>	Belirtilen	0.06
386	76500	24100	0.80	53.36	Yorumlanan	38.73	Yorumlanan	47.95	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.90</b>	Belirtilen	0.10
387	76500	24300	0.68	55.79	Yorumlanan	40.07	Yorumlanan	48.57	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.93</b>	Belirtilen	0.07
388	76700	25300	0.54	60.46	Yorumlanan	33.76	Yorumlanan	48.35	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.92</b>	Belirtilen	0.08
389	76900	25700	0.65	62.31	Yorumlanan	26.85	Belirtilen	36.93	<b>Belirtilen</b>	<b>0.65</b>	Yorumlanan	0.35
390	76500	24500	0.59	63.07	Yorumlanan	27.79	Belirtilen	38.73	<b>Belirtilen</b>	<b>0.56</b>	Yorumlanan	0.44

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri



Çizelge A.27. 398 bloğun koordinatları (Y;X), blokların tahmin sonuçları (BK), ordinary kriging hataları (OKH), ordinary kriging hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (OKHKRS) , interpolasyon hatası(INH), interpolasyona hatasına göre kaynak/rezerv sınıflandırması (INHKRS), bulanık hata (BUH), bulanık hataya göre kaynak/rezerv sınıflandırması (BUHKRS), üyelik dereceleri (ÜD). (devam)

No	Y	X	BK	OKH	OKHKRS	INH	INHKRS	BUH	BUHKRS*	ÜD*	BUHKRS	ÜD
391	76500	24700	0.55	67.31	Yorumlanan	30.51	Yorumlanan	43.53	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.68</b>	Belirtilen	0.32
392	76700	25500	0.54	69.80	Yorumlanan	31.86	Yorumlanan	46.13	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.81</b>	Belirtilen	0.19
393	76500	24900	0.51	70.74	Yorumlanan	35.86	Yorumlanan	48.42	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.92</b>	Belirtilen	0.08
394	76500	25100	0.48	76.44	Yorumlanan	39.39	Yorumlanan	46.65	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.83</b>	Belirtilen	0.17
395	76700	25700	0.58	77.81	Yorumlanan	30.04	Yorumlanan	42.63	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.63</b>	Belirtilen	0.37
396	76500	25300	0.51	80.00	Yorumlanan	41.89	Yorumlanan	46.82	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.84</b>	Belirtilen	0.16
397	76500	25500	0.51	88.64	Yorumlanan	34.22	Yorumlanan	48.73	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.94</b>	Belirtilen	0.06
398	76500	25700	0.55	92.01	Yorumlanan	32.76	Yorumlanan	49.02	<b>Yorumlanan</b>	<b>0.95</b>	Belirtilen	0.05

(\*)Bulanık sistem sonuçlarına göre kaynak/rezerv sınıfı ve üyelik dereceleri

## ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Afyon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Afyon'da tamamladı. 1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1999 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi İncehisar Meslek Yüksekokulu Mermer Teknolojisi Programında öğretim görevlisi olarak göreve başladı. 2000 yılında askerlik görevini tamamladı. 2003 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Yönetimi dalında yüksek lisans derecesi aldı. 2003-2005 yılları arasında İncehisar Meslek Yüksekokulunda müdür yardımcılığı görevi yaptı. Avrupa Birliği Meslek Eğitim Programı Leonardo da Vinci "Mermercilikte Meslek Geliştirme Eğitimi Mozaik Yapım ve Tasarım Teknikleri Programı" projesi ile Staatliche Berufsschule Eichstatt'da 08.12.2004-01.03.2005 yararlanıcı olarak Almanya'da mermercilik eğitimi konusunda eğitim aldı. 2005 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans derecesi aldı. Halen Afyon Kocatepe Üniversitesi İncehisar Meslek Yüksekokulu Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programında öğretim görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.