

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betül ALKAN

**JEOİSTATİSTİK VE BULANIK YAKLAŞIMLAR İLE ADANA ÇİMENTO
HAMMADDE SAHASININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2007

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**JEOİSTATİSTİK VE BULANIK YAKLAŞIMLAR İLE ADANA ÇİMENTO
HAMMADDE SAHASININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Betül ALKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 01/10/2007 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

İmza:.....
Yrd.Doç.Dr. Ahmet DAĞ
DANIŞMAN

İmza:.....
Prof.Dr. Adem ERSOY
ÜYE

İmza:.....
Doç.Dr. Suphi URAL
ÜYE

İmza:.....
Doç.Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
ÜYE

İmza:.....
Yrd.Doç.Dr. Mustafa AKYILDIZ
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No :

Prof.Dr.Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: MMF2007YL12

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**JEOİSTATİSTİK VE BULANIK YAKLAŞIMLAR İLE ADANA ÇİMENTO
HAMMADDE SAHASININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Betül ALKAN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Yrd.Doç.Dr.Ahmet DAĞ

Yıl: 2007, Sayfa: 75

Jüri: Prof.Dr. Adem ERSOY

Doç.Dr. Suphi URAL

Doç.Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ

Yrd.Doç.Dr. Ahmet DAĞ

Yrd.Doç.Dr. Mustafa AKYILDIZ

Çimento üretiminde hammadde homojenliğinin sağlanabilmesi ve üretim planlaması için hammadde sahalarının, sınır, rezerv ve kalite dağılımlarının belirlenmesi gerekir. Bu amaç doğrultusunda sahada genellikle karotlu sondaj çalışmaları yapılır. İstenilen her noktada sondaj yapmak ekonomik olmayacağından önce sahada yeterli sayıda sondaj yapılır. Sonra da bu veriler ve tahmin teknikleri kullanılarak istenilen noktaların bilgileri tahmin edilebilir. Yatağın özellikleri ve kullanılan modelleme tekniğine bağlı olarak kestirim tekniklerinin performansları değişir.

Bu çalışmada, Adana Çimento hammadde sahasına ait 74 adet sondaj logları değerlendirilerek uygun veri dosyaları oluşturulmuştur. Bunlardan marn kalınlık bilgileri ile poligon, kriging ve Bulanık yaklaşımı ile kestirimlerin performansları belirlenmiştir. Bulanık yaklaşımı ile yapılan tahminin daha hassas olduğu görülmüştür. Saha ile ilgili bütün veriler kullanılarak modellemeler yapılmış ve istenilen bölgelerin rezervi için kalınlık kestirimleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Adana Çimento, Bulanık Yaklaşım, Kriging, Kestirim, Rezerv Belirleme.

ABSTRACT

MSc. Thesis

EVALUATION OF ADANA CEMENT RAW MATERIAL FIELD BY GEOSTATISTICS AND FUZZY APPROACHES

Betül ALKAN

DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor: Assist.Prof.Dr. Ahmet DAĞ

Year: 2007, Page: 75

Jury: Prof.Dr. Adem ERSOY

Assoc.Prof.Dr. Suphi Ural

Assoc.Prof.Dr. Ahmet Mahmut Kılıç

Assist.Prof.Dr. Ahmet Dağ

Assist.Prof.Dr. Mustafa Akyıldız

Limits, reserve and quality distribution of raw material field should be determined for production planning and providing of raw material homogeneity in cement production. For this aim, borehole studies are generally carried out in the field. Firstly, enough number of boreholes is done in the field in view of the fact that performing drill per desired location will not be economic. Afterwards, information of desired point is estimated using borehole data and estimating techniques. Prediction performances of estimating techniques change depend on field properties and used modeling technique.

In this study, acceptable data files were obtained by evaluating of 74 boreholes belong to raw material field of Adana cement. Estimating performance of polygon, kriging and fuzzy approach were computed by only the marl thickness data file. Obtained results showed that fuzzy approach performance is the best one. Geostatistics and fuzzy modeling were done and thicknesses were estimated for reserve calculating of choosed field by using modeling parameters and entire data files.

Key words: Adana Cement, Fuzzy Approach, Kriging, Thickness Estimating, Reserve Calculation

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yapmış olduğum yüksek lisans çalışmamın sonuca ulaştırılmasında danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Ahmet DAĞ'a, Jeostatistik konusunda tecrübelerini benimle paylaşan Arş.Gör.Bayram Ali MERT'e ve Maden Mühendisliği Bölüm Öğretim Üyelerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bulanık yaklaşım ile ilgili araştırmalarımda tecrübelerini benimle paylaşan Malatya Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Elemanı Sayın Arş.Gör.Dr. Bülent TÜTMEZ'e, tekrar ve tekrar teşekkür ediyorum.

Hertürlü veriyi sağlamada desteklerini esirgemeyen Adana Çimento A.Ş. Genel Müdürü Sayın İsmail ERKOVAN'a Teknik Gen.Müd.Yrd. Sayın Ünal ÖNER'e, Üretim Müd. Sayın İbrahim KERETLİ'ye ve Hammadde Şefi Orhan ÖZER'e ve gıyabında tüm AÇS çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında her türlü desteğini esirgemeyen sevgili eşim Ceyhan ALKAN'a canım kızlarım Ekin ve Nil'e sonsuz sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Genel Jeoloji ile İlgili Çalışmalar	3
2.2. Rezerv Hesaplamalarına Yönelik Çalışmalar	4
3. MATERYAL ve METOD	5
3.1. Materyal	5
3.1.1. Hammadde Ocağı Hakkında Genel Bilgiler	5
3.1.2. Sahanın Jeolojisi	7
3.1.3. Sondaj Bilgileri	9
3.2. Metot	12
3.2.1. Poligon Yöntemi	12
3.2.2. Jeostatistiksel Yöntem	13
3.2.2.1. Yarıvariogram Analizi	14
3.2.2.1.(1). Teorik Yarıvariogram Modelleri	19
3.2.2.1.(2). Yarıvariogram Fonksiyonunun Özellikleri	23
3.2.2.2. Çapraz Doğrulama Tekniği ile Model Testi	25
3.2.2.3. Kriging Tahmini	26
3.2.3. Bulanık Küme Teorisi	28
3.2.3.1. Klasik Küme Kuramı	28
3.2.3.2. Bulanık Kümeler	28
3.2.3.3. Üyelik Fonksiyonu	30
3.2.3.4. Bulanık Kümelerde Temel İşlemler	33
3.2.3.5. Bulanık Modelleme ve Aşamaları	35

3.2.3.5.(1). Bulanıklaştırma	36
3.2.3.5.(2). Kural Tabanı ve Operatörler	37
3.2.3.5.(3). Durulaştırma.....	37
3.2.3.6. Mamdani Bulanık Modelleme Tekniği.....	40
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	43
4.1. Verilerin Değerlendirilmesi	43
4.2. Performans Değerlendirmesi	45
4.3. Sahanın Modellenmesi	51
4.3.1. Jeostatistiksel Modelleme.....	54
4.3.2. Bulanık Linguistik (Mamdani) Modelleme	56
4.4. Rezerv Hesaplamaları	65
4.4.1. Kriging.....	66
4.4.2. Bulanık Yöntem.....	66
4.4.3. Rezervlerin Karşılaştırılması	67
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Bu çalışmada kullanılan 1992 yılı sondajları.....	9
Çizelge 3.2. Bu çalışmada kullanılan 2004 yılı sondajları.....	10
Çizelge 3.3. Bu çalışmada kullanılan 2006 yılı sondajları.....	11
Çizelge 3.4. Çimento hammaddelerinin sınıflandırılması (Öney, 1999)	11
Çizelge 3.5. Yaygın kullanımı olan mantıksal operatörler	37
Çizelge 4.1. Marn model verilerine göre oluşturulan kurallar	49
Çizelge 4.2. Modellere ait performans ölçümleri.....	50
Çizelge 4.3. Kalınlık variogram parametreleri.....	55
Çizelge 4.4. Kalker verilerine göre elde edilen kurallar	58
Çizelge 4.5. Kalkerli marn verilerine göre elde edilen kurallar	60
Çizelge 4.6. Marn verilerine göre elde edilen kurallar.....	62
Çizelge 4.7. Killi marn verilerine göre elde edilen kurallar.....	64
Çizelge 4.8. Kriging için oluşturulan grid parametreleri	66
Çizelge 4.9. Kriging ile belirlenen rezervler	66
Çizelge 4.10. Bulanık modelleme tekniği ile belirlenen rezervler.....	67
Çizelge 4.11. ZEMKA (2006) tarafından belirlenen rezervler	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. Çalışma alanının yer buluduru haritası	6
Şekil 3.2. AÇS hammadde sahasının genel jeoloji haritası ve kesiti (ZEMKA, 2006) 8	
Şekil 3.3. Sondajların lokasyonları	12
Şekil 3.4. Üç boyutlu uzayda çiftler arası uzaklık ve yön hesabı (Mert, 2004)	15
Şekil 3.5. Deneysel yarıvariogram grafiği	16
Şekil 3.6. Uzaklığa ve yöne göre uzaklık ve açı toleransları (Pannatie, 1998).....	17
Şekil 3.7. Küresel tip teorik yarıvariogram modeli ve parametreleri (Mert, 2004) ...	18
Şekil 3.8. Küresel tip yarıvariogram modeli	19
Şekil 3.9. Gaussian tip yarıvariogram modeli	20
Şekil 3.10. Doğrusal tip yarıvariogram modeli	20
Şekil 3.11. Exponensiyel tip yarıvariogram modeli	21
Şekil 3.12. Genelleştirilmiş doğrusal tip yarıvariogram modeli	21
Şekil 3.13. Hole effect tip yarıvariogram modeli	22
Şekil 3.14. Paddington karışık tip yarıvariogram modeli	23
Şekil 3.15. (a) Geometrik anizotropi, (b) Zonal anizotropi	24
Şekil 3.16. Tenör için klasik küme gösterimi	28
Şekil 3.17. Tenör için bulanık küme gösterimi	29
Şekil 3.18. Üyelik fonksiyonunun bileşenleri	30
Şekil 3.19. Çeşitli tipte üyelik fonksiyonları	32
Şekil 3.20. Bulanık küme operasyonları	34
Şekil 3.21. Tipik bir bulanık modelin aşamaları	36
Şekil 3.22. Maksimum üyelik yöntemi	38
Şekil 3.23 Ağırlık merkezi yöntemi	39
Şekil 3.24. Ağırlıklı ortalama yöntemi	39
Şekil 3.25. Ortalama-maksimum üyelik yöntemi	40
Şekil 3.26. Mamdani modelin şematik gösterimi (Tütmez, 2005)	42
Şekil 4.1. Kalker kalınlık dağılımı ve istatistiksel bilgiler	43
Şekil 4.2. Kalkerli marn kalınlık dağılımı ve istatistiksel bilgiler	43
Şekil 4.3. Marn kalınlık dağılımı ve istatistiksel bilgiler	44
Şekil 4.4. Killi marn kalınlık dağılımı ve istatistiksel bilgiler	44

Şekil 4.5. Model ve test olarak belirlenen lokasyonlar	45
Şekil 4.6. Kalınlık kestirimi için elde edilen poligonlar	46
Şekil 4.7. Marn model verileri ile elde edilen variogram ve parametreleri	46
Şekil 4.8. Marn model verilerine göre girdi-doğu koordinatı üyelik fonksiyonu	47
Şekil 4.9. Marn model verilerine göre girdi-kuzey koordinatı üyelik fonksiyonu.....	48
Şekil 4.10. Marn model verilerine göre çıktı-kalınlık üyelik fonksiyonu.....	48
Şekil 4.11. Kestirimlerin performansları.....	50
Şekil 4.12. Hammade sahasının uydu görüntüsü ve sondaj lokasyonları	51
Şekil 4.13. Kalker kesen sondajlar	52
Şekil 4.14. Kalkerli Marn kesen sondajlar	52
Şekil 4.15. Marn kesen sondajlar	53
Şekil 4.16. Killi Marn kesen sondajlar	53
Şekil 4.17. Kalker kalınlık variogram modeli	54
Şekil 4.18. Kalkerli marn kalınlık variogram modeli	54
Şekil 4.19. Marn kalınlık variogram modeli	55
Şekil 4.20. Killi marn kalınlık variogram modeli	55
Şekil 4.21. Oluşturulan bulanık model	56
Şekil 4.22. Kalker verilerine göre girdi-(a) doğu (b) kuzey koordinatı üyelik fonksiyonları	57
Şekil 4.23. Kalker verilerine göre çıktı-kalınlık üyelik fonksiyonu.....	58
Şekil 4.24. Kalkerli marn verilerine göre girdi-(a) doğu (b) kuzey koordinatı üyelik fonksiyonları	59
Şekil 4.25. Kalkerli marn verilerine göre çıktı-kalınlık üyelik fonksiyonu	60
Şekil 4.26. Marn verilerine göre girdi-(a) doğu (b) kuzey koordinatı üyelik fonksiyonları	61
Şekil 4.27. Marn verilerine göre çıktı-kalınlık üyelik fonksiyonu.....	62
Şekil 4.28. Killi marn verilerine göre girdi-(a) doğu (b) kuzey koordinatı üyelik fonksiyonları	63
Şekil 4.29. Killi marn verilerine göre çıktı-kalınlık üyelik fonksiyonu.....	64
Şekil 4.30. Hammade sahasının uydu görüntüsü ve etüd edilen sektörler.....	65

1. GİRİŞ

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

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

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

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

Yatak veya hammadde sahalarının modellenmesinde geleneksel yöntemler olarak belirtilebilecek geometrik hesaplama tekniklerine ek olarak jeostatistiksel modelleme yöntemleri de yaygın olarak kullanılmaktadır (Goovaerts, 1997). Kriging gibi jeostatistiksel kestirim yöntemlerinin başarılı kestirim yapmalarına karşın bazı sakıncalar içerdiği tespit edilmiştir (Diehl, 1997; Bardossy ve Fodor, 2001). Bu sakınca veya eksikliklerden en önemlileri veri sayısı az olduğunda anlamlı variogram modellerinin oluşturulamaması ve kestirim tekniğinin esnek olmamasıdır.

Son yıllarda esnek hesaplama ve yapay zeka tekniklerindeki hızlı gelişmeler olmuş ve çeşitli hesaplama teknikleri (bulanık mantık, sinir ağları gibi) rezerv

kestirimi problemine uygulanmıştır (Pahm, 1997; Bardossy ve Fodor, 2004; Tütmez ve Tercan, 2006; Tutmez ve Dağ; 2007).

Bu çalışmanın amacı, bulanık yaklaşım tekniğinin Adana Çimento hammadde ocağına uygulanabilirliğinin araştırılması ve bu teknik ile beraber jeostatistiksel yöntemlerle de hammadde sahasının modellenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, önce bu sahaya ait mevcut sondajlar değerlendirilerek her bir formasyona ait veri dosyaları oluşturulmuştur. Bu veri dosyalarından birisi ile önce, poligon, kriging ve Mamdani tipi bulanık modellemelere ait kestirim performansları belirlenmiştir. Daha sonra her bir formasyona ait veri dosyaları kullanılarak hem jeostatistik hem de bulanık modellemeler yapılmış ve belirlenen iki sektöre ait kalınlık değerleri kestirilip rezerv hesapları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar sahada daha önce yapılan etüt çalışması sonuçları ile karşılaştırılmıştır

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Genel Jeoloji İle İlgili Çalışmalar

Bölgenin jeolojisi Ternek (1957), Schmidt (1961), Özgül ve diğ. (1973). Özer ve diğ. (1974), İlker (1975), Yalçın ve Görür (1984), Gürbüz ve diğ. (1985), Tanar (1985), Kerey ve diğ. (1985), Yetiş ve Demirkol (1986), Yetiş ve diğ. (1986) Ünlügenç ve diğ. (1990), Şafak ve diğ. (1996) tarafından incelenmiştir. Bunlardan bazıları kısaca açıklanmıştır.

Schmidt (1961), Adana bölgesinin genel stratigrafisini çalışarak 47 kaya birimini isimlendirmiştir.

İlker (1975), Adana havzasının bütün formasyonlarını incelemiştir.

Yalçın ve Görür (1984), Adana basenindeki Tersiyer ve Kuvaterner istifinin Burdigaliyen-Güncel zaman aralığında değişik fasiyeslerde çökeldiğini, transgresif olarak gelen Tersiyer istifinin Langhiyen-Serravaliyen aralığına kadar derin deniz, daha sonra sığ deniz ve karasal aralanmalar şeklinde görüldüğünü, Tortoniyen sonu Messiniyen de evaporatik çökellerin basende geliştiğini bildirmişlerdir.

Gürbüz ve diğ. (1985), Kuzey Adana bölgesinde yüzeyleyen Üst Miyosen-Pliyosen tortul istifi sedimanterleri jeolojik açıdan inceleyerek bölge tortullaşma modelini saptamıştır.

Yetiş ve diğ. (1986), Batıdan doğuya doğru Güvenç formasyonunu izleyen Kuzgun Formasyonundan ölçtükleri kesitlerle Kuzgun formasyonunun doğuda karasal nitelikte olduğunu, batıya doğru ise sığ deniz ortamına geçtiğini belirtmişlerdir.

Şafak ve diğ. (1996), İncirlik çevresinde yer alan Geç Miyosen resifinin stratigrafisi ve mikro paleontolojisi çalışmaları ile bölgenin mikrofauna ile resifal serinin Tortoniyen yaş aralığında gelişmiş olduğunu gözlemlemişlerdir.

Adana bölgesinin tektoniği Arap ve Anadolu levhalarının Şengür (1979), Şengür ve Yılmaz (1981), Görür (1985), Dewey ve diğ. (1986)'ne göre Orta Miyosende, Hempton (1985) ve Yılmaz (1993)'e göre ise Eosen-Miyosendeki çarpışması ile başlayan tektonik olaylar tarafından kontrol edilmiştir.

2.2. Rezerv Hesaplamalarına Yönelik Çalışmalar

GEOSAN-Doğal Kaynaklar ve Hammaddeler Sanayi ve Ticaret A.Ş. (1992), Adana Çimento Sanayi (AÇS) Hammadde ocağının jeolojik ve işletme etüdü raporlarını hazırlamıştır. Yapılan bu çalışmada 1987-1988 yıllarında gerçekleştirilmiş 16 adet karot sondajı ve 1992 yılında 15 lokasyonda 355 m. karotlu sondajlar değerlendirilmiştir. Klasik yöntemlerden kesit metodu ile ocaktaki +50 kotunun üzerindeki genel ve çok basit, hata oranı çok yüksek (yaklaşık %40-60) bir rezerv hesabı yapılmış olup, rezerv hesabıyla ilgili hiçbir detaya yer verilmemiştir. Hazırlanan jeolojik kesitlerde tahmini hammadde birimleri gösterilmiştir (GÜRGEN, 2004).

GÜRGEN-Mühendislik ve Müşavirlik Jeoteknik Hizmetleri (2004), Adana Çimento Sanayi A.Ş. nin talebi üzerine hammadde ocağında 1992 yılında yapılan birkaç sondaj ile 2004 yılında yapılan 40 adet karotlu sondaj (810 m) verileri ile sahanın detaylı jeostatistiksel analizleri yapılmıştır. Özellikle variogram analizleri belirlenirken verilere dönüşümler de yapılarak detaylı doğrulama testleri ile en uygun model ve parametreler belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, hammadde yataklanmasında belirli bir yönde ve mesafede farklılık (anizotropi) ve eğilim göstermediği belirtilmiştir. Yine kriging yöntemi kullanılarak iki farklı etüd alanı için her bir litolojiye ait rezerv hesaplamaları yapılmış ve kalite dağılımları belirlenmiştir. Bu sektörlerden birisinin etüdü yapılırken kullanılan program tarafından belirlenen poligon sınırlarına göre yapılmıştır. Bu çalışmadaki bütün analiz ve kestirimler ISATIS paket programı kullanılmıştır.

ZEMKA-Proje Danışmanlık Müşavirlik ve Mühendislik Hiz.İnş. Taah. Tic.Ltd. Ş. (2006), Yine AÇS'nin talebi üzerine 2006 yılında hammadde sahasında yapılan 26 karotlu sondaj verileri kullanılarak iki bölge için jeolojik ve işletme etüdü yapılmaya çalışılmıştır.

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Hammadde Ocağı Hakkında Genel Bilgiler

Adana Çimento Sanayi'ne ait hammadde ocak sahası Adana-Ceyhan Karayolu 12. km İncirlik mevkiinde olup, klinker üretim ünitesiyle aynı saha içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.1). Hammadde sahasının klinker üretim ünitesiyle yan yana olması, nakliye maliyetleri açısından, aynı zamanda hammaddenin ağırlıklı marn olması doğal bir karışım oluşturduğu için fabrikaya büyük bir ekonomik girdi sağlamaktadır.

Çimento üretiminde ana bileşen klinkerdir. Çimento klinkeri ortalama % 70 kalker ve % 30 kil içeren hammadde karışımının veya marnın gerektiğinde silisli kum, demir cevheri gibi hammaddelerin klinker mineralojik bileşimini oluşturacak oranda karıştırılıp öğütülmesi ve en az sinterleşmeye kadar pişirilmesi ile elde edilen bir üründür.

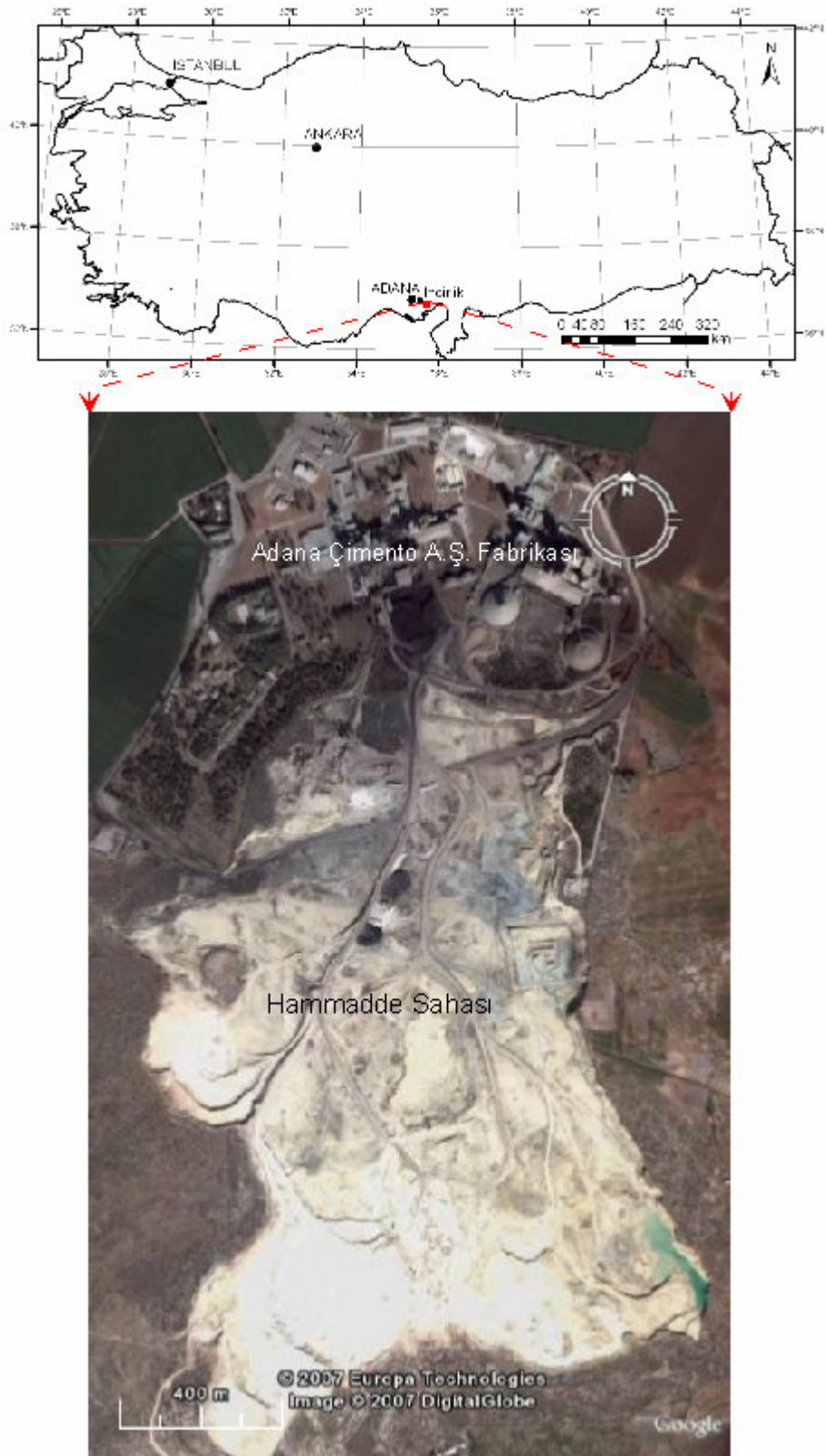
Çimento üretim tesisinin en ekonomik şartlarda çalışmasını sağlamak ve iyi kalitede çimento üretiminin gerçekleştirilmesi için hammadde karışım (farin) hazırlamada aşağıdaki kimyasal parametreler etkilidir.

$$\text{Kireç Standardı (KST)} = \frac{\text{CaO} \times 100}{2.8 \text{SiO}_2 + 1.18 \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.65 \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (1)$$

$$\text{Alüminyum Modülü (AIM)} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2)$$

$$\text{Silikat Modülü (SiM)} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (3)$$

Silikat modülü, farinin fırın içindeki durumunu ve klinker kalitesini etkilemesi açısından en önemli parametrelerden biridir. Silikat modülünün genellikle 2.3- 2.7 arasında bulunması uygun görülür. Silikat modülünün yüksek olması, pişme güçlüğüne, daha fazla yakıt kullanımına, aynı zamanda fırın astarının aşınmasına yol açtığı gibi donma başlangıcını geciktirmesi ve çimentonun dayanım kazanmasını



Şekil 3.1. Çalışma alanının yer buluduru haritası

yavaşlatması gibi istenmeyen etkiler yapar. Buna karşılık silikat modülü çok düşük olan hammadde karışımları ile çalışıldığında zaman zaman üretimi kesintiye uğratabilecek kadar kemer oluşturmaları nedeniyle fırının bloke olması tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı en uygun silikat modülünü her fabrika hammadde karakteristiklerine göre optimum pişme koşullarına ve klinker özelliklerine göre saptamalıdır.

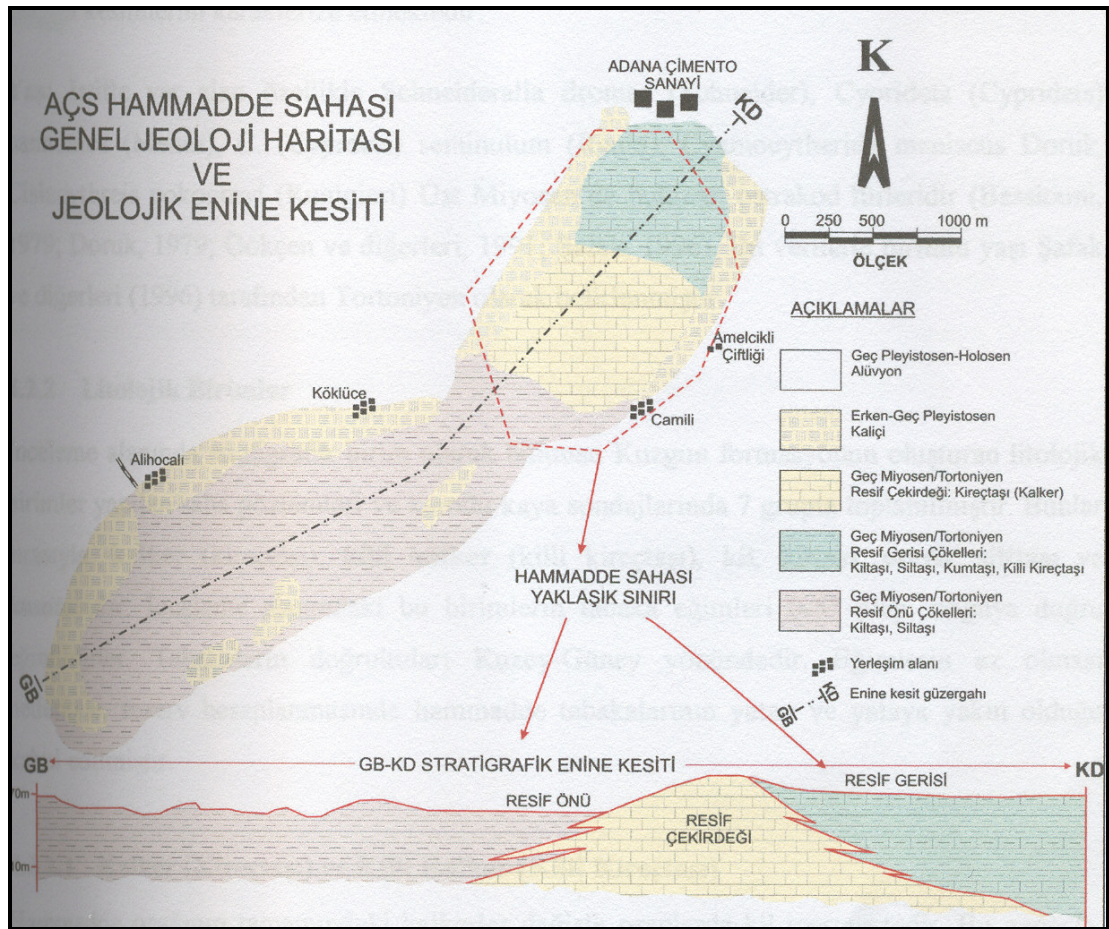
Genellikle iyi kalitede bir klinker elde etmek ve en ekonomik sinterleşmeyi sağlamak için, alüminyum modülünün 1.3-1.6 arasında olması istenir. Alüminyum modülünün düşük olması, çimento bileşenlerinin düşük ısılarda oluşumunu, dolayısı ile daha az yakıt kullanılmasını sağlar. Fakat demir oranı yüksek olduğu için yoğunluğu fazla sert bir klinker oluşturur, bu nedenle öğütmede zorluklara neden olarak üretim maliyetini artırır. Alüminyum modülünün yüksek olması halinde, pişme güçleşir ve yakıt sarfıyatı fazla olur. Yüksek alüminyum modülü içeren bir hammadde karışımı çimentonun çabuk donmasına ve ilk dayanımlarının yüksek olmasına yol açar.

Portland çimentosu üretiminde iyi kalitede bir klinker elde etmek için kireç standardının genellikle 92–96 arasında olması istenir. Kireç standardı yüksek hammadde karışımlarında malzeme zor pişer, pişmenin sağlanabilmesi için yüksek yakıt miktarı gerekir, klinkerde serbest kireç fazla olur ve ilk günlerdeki dayanımlar yüksektir, ancak fazla serbest kireç hacim genişlemesini artırır. Kireç standardı düşük hammadde karışımlarında ise pişme kolaydır, ancak C_3S fazının az, C_2S fazının çok fazla olmasından dolayı dayanımlar düşük olur.

3.1.2. Sahanın Jeolojisi

AÇS hammadde ocak sahasının Jeolojik formasyonu, stratigrafik olarak Tortoniyen’de oluşup gelişmiş bir resif olan Kuzgun formasyonudur. Bu birim, açık renkli, iyi boyplanmalı kumtaşı, bol fosilli–yeşilimsi kiltası-marn, silttaşı ve kireçtaşı (kalker) litolojisinden oluşmaktadır. AÇS ve yakın civarında Kuzgun formasyonu tamamen litoral ve sığ deniz koşullarının egemen olduğu bir ortamda, Tortoniyen’de oluşup, gelişmiş resifal düzeylerine sahiptir.

İnceleme alanında formasyon resif ilerisi (resif önü) kesimde silttaşı ve kıltaşları, resif çatısında (resif çekirdeği) genellikle kireçtaşları, lagün (resif gerisi) kesiminde iyi boylanmış kumtaşı, yeşilimsi mavi renkli kıltaşı–marn, killi kireçtaşlarından oluşan litolojiler sunmaktadır. İnceleme alanında Kuzgun formasyonu resifal özellikte gelişmiştir. Genç resif oluşumunun resifal ortamının resif gerisi–lagün, resif çatısı ve resif önü fasiyeslerde geçişler girik yapıdadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. AÇS hammadde sahasının genel jeoloji haritası ve kesiti (ZEMKA, 2006)

İnceleme alanında stratigrafik birim olarak bulunan Kuzgun formasyonunu oluşturan litolojik birimler kalker, killi kalker, kil, kıltaşı, marn, silttaşı ve kumtaşıdır. Bu birimlerin tabaka eğimleri 0-5° olup doğuya doğru eğimlidirler. Tabakaların doğrultuları Kuzey-Güney yönündedir.

3.1.3. Sondaj Bilgileri

AÇS ye ait hammadde sahasında 1992 yılında Geosan-Doğal Kaynaklar ve Hammaddeler Sanayi ve Ticaret A.Ş şirketi tarafından 1987–1988 yıllarında gerçekleştirilmiş 16 adet karotlu sondaj ve 1992 yılında 15 lokasyonda 355 m karotlu sondajlar değerlendirilerek, ocağın jeolojik ve işletme etüt raporları hazırlanmıştır.

2004 yılında Gürgen Mühendislik ve Müşavirlik Jeoteknik Hizmetleri Şirketi tarafından AÇS hammadde sahasında 40 adet karotlu sondaj yapılarak değerlendirilmiş, ocağın yer altı jeolojisi belirlenerek, rezerv–tenör hesabında içeren bir rapor hazırlanmıştır.

2006 yılında AÇS hammadde sahasında Zemka Proje Danışmanlık Müşavirlik ve Mühendislik Hiz. İnş. Taah. Tic.Ltd. Şirketi tarafından 27 adet karotlu sondaj yapılarak değerlendirilmiş ve hammadde ocağının üretim planlamasına yönelik Jeolojik ve işletme etüd raporu hazırlanmıştır. Tüm sondaj kuyularından alınan karot örneklerinin kimyasal analizleri AÇS Labratuvarlarında yapılmıştır

Bu çalışmada, AÇS den temin edilen 1992 yılına ait 9 (Çizelge 3.1), 2004 yılına ait 40 (Çizelge 3.2), 2006 yılına ait 25 adet (Çizelge 3.3) sondaj olmak üzere toplam 74 adet sondajlara ait kimyasal analizler ve Köhl tarafından CaCO₃ oranına göre yapılan sınıflandırılma (Çizelge 3.4) ile her bir litoloji için veri setleri oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1. Bu çalışmada kullanılan 1992 yılı sondajları

Sondaj No	Doğu (m)	Kuzey (m)	Kot (m)	Derinlik (m)
S22	718034,7	4093007,3	63,00	23,0
S24	717930,6	4092991,8	62,00	22,0
S27	717778,6	4092990,1	58,00	18,0
S29	717968,8	4092765,6	63,00	23,0
S30	718001,3	4092835,6	68,00	25,0
SK3	718206,4	4092946,3	65,00	26,0
SK6	718464,3	4093122,0	62,00	18,5
SK7	718550,1	4092752,0	55,00	15,0
SK8	717812,7	4092640,3	63,00	25,5
Toplam				196,0

Çizelge 3.2. Bu çalışmada kullanılan 2004 yılı sondajları

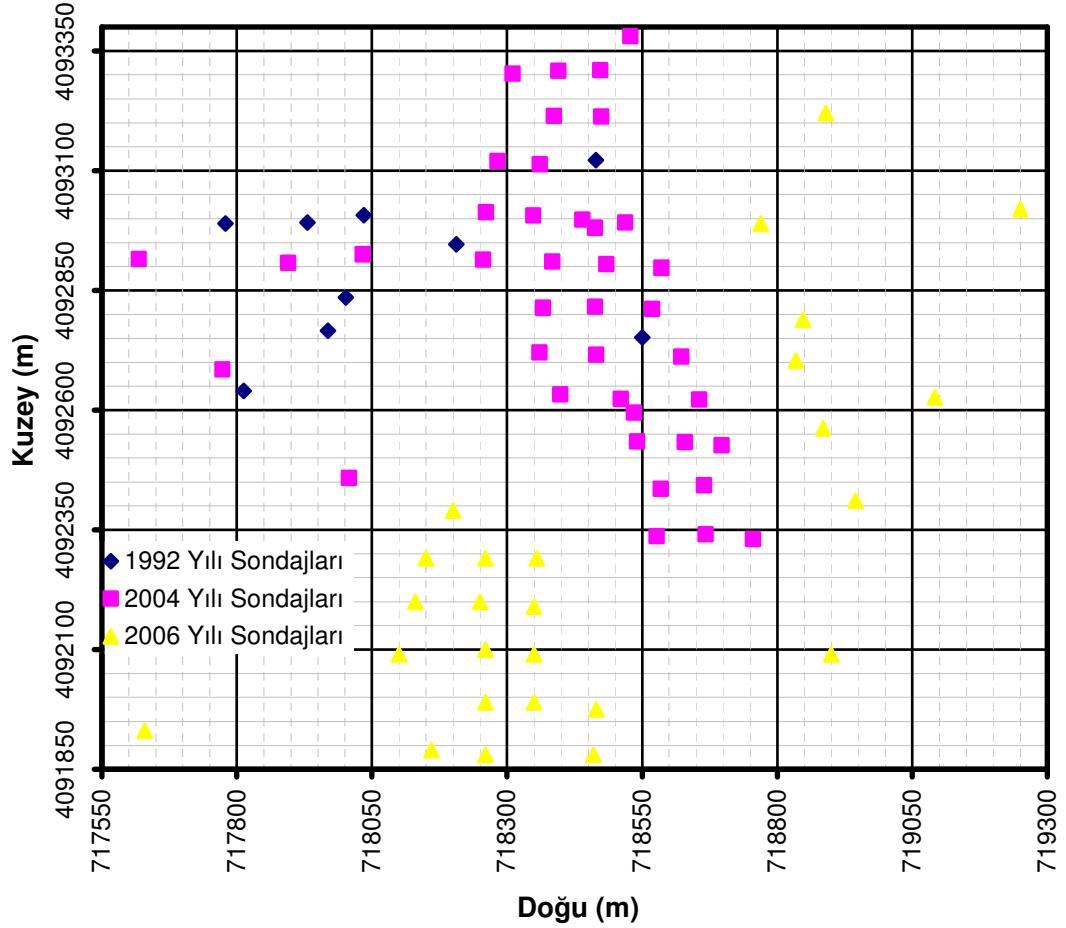
Sondaj No	Doğu (m)	Kuzey (m)	Kot (m)	Derinlik (m)
SA-1	718310,5	4093302,3	68,64	28,5
SA-2	718394,9	4093308,6	69,00	28,0
SA-3	718472,9	4093309,9	67,41	38,0
SB-1	718386,9	4093214,8	66,33	22,0
SB-2	718474,8	4093213,4	64,59	24,5
SC-1	718282,5	4093120,0	65,03	25,0
SC-2	718360,9	4093113,7	60,46	20,5
SD-1	718261,2	4093012,8	63,96	24,0
SD-2	718348,8	4093006,8	59,05	19,0
SD-3	718439,6	4092997,3	57,88	18,0
SD-4	718518,5	4092992,0	60,18	20,0
SE-1	718255,7	4092914,0	63,38	23,0
SE-2	718383,8	4092910,5	58,12	18,0
SE-3	718484,1	4092904,7	57,33	17,0
SE-4	718586,2	4092897,0	57,41	17,0
SF-1	718366,3	4092813,7	60,14	20,0
SF-2	718462,8	4092816,0	57,07	17,0
SF-3	718568,6	4092811,1	55,47	16,0
SG-1	718465,1	4092715,6	60,40	22,5
SG-3	718622,8	4092711,7	53,35	14,0
SG-4	718360,5	4092720,2	61,46	21,5
SH-1	718510,8	4092623,3	59,57	21,5
SH-3	718655,8	4092622,0	52,69	12,5
SH-4	718398,7	4092632,8	61,89	22,0
SI-1	718541,2	4092534,9	58,85	19,0
SI-2	718629,4	4092533,4	55,83	16,0
SI-3	718697,5	4092526,6	51,95	12,0
SJ-1	718585,1	4092435,8	57,35	17,5
SJ-2	718664,5	4092442,6	54,57	16,5
SK-1	718576,8	4092337,0	59,56	19,5
SKE-2	718668,0	4092341,2	54,24	15,0
SK-3	718755,4	4092330,1	50,41	25,0
SKE-4	718534,8	4092594,4	59,05	17,5
SKE-5	718463,2	4092981,0	59,05	18,0
SL-1	718528,8	4093380,7	67,73	28,0
SM-2	717773,2	4092685,1	63,94	24,0
SM-3	717618,9	4092915,6	65,00	21,5
SM-4	717895,2	4092907,6	62,89	23,0
SM-5	718032,8	4092925,1	63,00	22,0
SN-1	718008,0	4092458,0	72,50	22,0
			Toplam	826,0

Çizelge 3.3. Bu çalışmada kullanılan 2006 yılı sondajları

Sondaj No	Doğu (m)	Kuzey (m)	Kot (m)	Derinlik (m)
SK-2	718460,0	4091880,0	55,79	35,0
SK-4	718260,0	4091880,0	64,87	55,0
SK-5	718160,0	4091890,0	72,69	50,0
SK-6	718465,0	4091975,0	55,17	40,0
SK-7	718350,0	4091990,0	63,47	45,0
SK-8	718260,0	4091990,0	63,50	43,0
SK-10	718350,0	4092090,0	60,00	40,0
SK-11	718260,0	4092100,0	62,70	42,0
SK-12	718100,0	4092090,0	75,69	49,0
SK-13	718350,0	4092190,0	56,69	40,0
SK-14	718250,0	4092200,0	62,37	43,5
SK-15	718130,0	4092200,0	64,90	39,0
SK-16	718355,0	4092290,0	56,69	35,0
SK-17	718260,0	4092290,0	62,90	45,0
SK-18	718150,0	4092290,0	66,32	45,0
SK-19	718200,0	4092390,0	64,94	43,5
SK-20	718945,0	4092411,0	48,00	35,0
SK-21	718885,0	4092562,0	54,00	40,0
SK-22	718848,0	4092788,0	60,00	45,0
SK-23	718770,0	4092990,0	60,00	45,0
SK-24	718890,0	4093220,0	59,50	45,0
SK-25	718900,0	4092090,0	31,00	35,0
SK-26	718835,0	4092703,0	60,00	45,0
SK-27	719092,0	4092627,0	52,00	24,0
SK-28	719250,0	4093020,0	48,00	35,0
			Toplam	1039,0

Çizelge 3.4. Çimento hammadde sınıflandırılması (Öney, 1999)

% CaCO ₃ Oranı	Hammadde Adı
0-2	Kil
3-10	Marnlı Kil
11-40	Killi Marn
41-75	Marn
76-90	Kalkerli Marn
91-98	Kalker
99-100	Mermer



Şekil 3.3. Sondajların lokasyonları

3.2. Metot

Maden yataklarının modellenmesi ve rezerv hesaplamaları için kullanılan yöntemlerin başlıcaları, geometrik yöntemler, mesafeyle ters ağırlıklı yöntemler, jeostatistik yöntemler ve bulanık modelleme yöntemleridir.

3.2.1. Poligon Yöntemi

Geometrik interpolasyon yönteminden en yaygın olanı poligon metodudur. Bu metotta önce birbirine en yakın üç sondaj lokasyonu ile üçgenler oluşturulur. Daha sonra her bir sondaj lokasyonunun temsil edeceği alanı temsil eden poligonlar oluşturulur. Poligonların sınırladığı alanlar içerisindeki sondaj bilgileri ile temsil edilirler. Bu yöntem daha çok veri sayısı az olduğunda veya yeni modelleme yöntemleriyle bir ilişki sunmayan verilere uygulanır.

3.2.2. Jeostatistiksel Yöntem

Klasik istatistik yöntemlerinden farklı olarak örnekler arası ilişkiyi örneklerin alındıkları koordinatları da hesaba katarak ele alan bu yöntem maden yataklarının rezervlerinin tespitinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Ancak bu tahmin tekniğini sadece rezerv hesabında değil geçirgenlik, gözeneklilik, yoğunluk, yükselti, populasyon yoğunluğu, yağış, sıcaklık, kırık uzunluğu vb. konularda veya genel olarak bir örneğin değerinin bulunduğu pozisyondan ve komşularıyla olan ilişkisinden etkilenmiş olduğunu varsaydığımız yerlerde, sürekli bir ölçüm yapmamız gerekiyorsa da kullanabiliriz (Clark, 1979).

Jeostatistikte, yöresel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri durağan tesadüfi fonksiyonların olasılıksal çatısı altında modellenir. Önce yatağın her x noktasında bir $Z(x)$ tesadüfi değişkeni tanımlanır ve bu noktadaki değerin, $Z(x)$ tesadüfi değişkenin bir değeri olduğu kabul edilir. Maden yatağı içinde tanımlanan tesadüfi değişkenlerin tümü durağan bir tesadüfi fonksiyonu oluşturur ve yöresel değişkende tesadüfi fonksiyonun aldığı bir değer şeklinde ortaya çıkar.

Maden yatağının bir noktasından yalnızca bir defa örnekleme yapılabilir ve bu nedenle yalnızca bir gözlem vardır. Tek bir gözlemle ortalama, varyans gibi istatistikler belirlenemeyeceğinden durağan tesadüfi fonksiyonlar altında bu istatistiklerin, yatağın bir noktasından diğer bir noktasına değişmediği ve ayrıca $Z(x)$ ve bundan h kadar uzaklıkta tanımlanan $Z(x+h)$ tesadüfi değişkeni arasındaki ilişkinin x ve $x+h$ noktalarına değil de, bunlar arasındaki h uzaklığına bağlı olduğu varsayılır (Tercan, 1998).

Tesadüfi fonksiyonların çatısı altında yöresel değişkenin lokal ölçekteki gelişigüzel davranışı tesadüfi değişken ile, global ölçekteki yapı gösteren davranışı ise tesadüfi değişkenler arasındaki uzaklığa bağlı korelasyon derecesi ile modellenir. Bir maden yatağının x noktasındaki tenör değerini $z(x)$, bundan h kadar uzaklıktaki tenör değerini $z(x+h)$ ile göstererek, tenör değerleri arasındaki farkı h uzaklığının bir fonksiyonu olarak $f(h)=z(x)-z(x+h)$ şeklinde gösterebiliriz, buradaki h fonksiyonunun modellenmesi jeostatistiğin temelini oluşturmaktadır. $f(h)$ bilindiğinde örneklenmemiş bir lokasyondaki değeri, bilinen değerler yardımıyla hesaplamak mümkündür. Dolayısıyla h fonksiyonunun rezerv hesaplama

yöntemlerinde büyük bir önem taşıdığı şüphesizdir. Poligon, üçgen ve kesit gibi geometrik rezerv hesaplama yöntemleri, ilgili kestirim alanı içinde tenör değerlerin değişmediği, dolayısıyla tenör değerleri arasındaki farkın, h uzaklığı ne olursa olsun, sıfıra eşit olduğunu varsayar. Ancak bu gerçekçi bir yaklaşım değildir ve tenör değerleri arasındaki farkın gözlemler arasındaki uzaklık arttıkça artması, azaldıkça azalması beklenir.

Jeoistatistik yöntemlerle yapılan bir analizi dört ana gruba ayırabiliriz;

- i. Yöresel değişkenin değerleri arasındaki farkların, uzaklığa bağlı değişimlerini belirlemeye yarayan yarıvariogram modellerinin tespit edilmesi,
- ii. Yarıvariogram modellerinin test edilmesi,
- iii. Kriging tahmin tekniği ile noktasal, alansal veya bir hacmi temsil eden tahminlerin yapılması,
- iv. Yapılan tahmin hatalarının belirlenmesi,

Jeoistatistiksel bir çalışmada bu unsurların hepsinin sistematik olarak yapılması gerekir (Çetin, 1996).

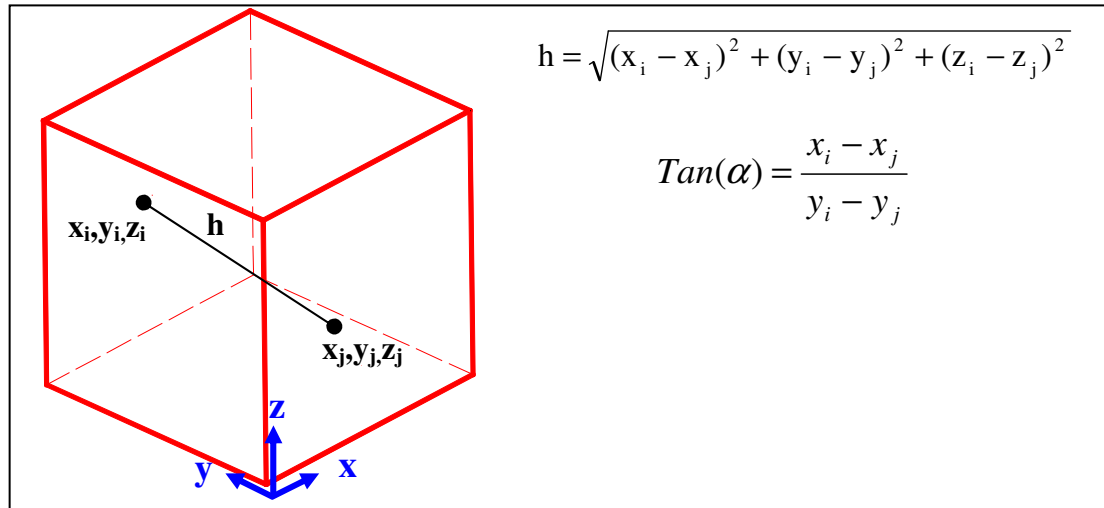
3.2.2.1. Yarıvariogram Analizi

Yöresel değişkenlerin tanımladığı noktalar arasındaki uzaklık ile bu noktalardaki gözlenen değerler arasındaki olası bir ilişki, normal olarak uzaklık azaldıkça değerlerin birbirine benzemesi, arttıkça benzerliğin azalması şeklinde beklenir. Başka bir deyişle yöresel değişkenlerin değerleri arasındaki fark, bu değerler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonu şeklinde tanımlanabilir.

Jeoistatistikte, yöresel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ortaya konur. Variogram fonksiyonu tesadüfi değişkenin değerleri arasındaki farkın varyansı şeklinde ifade edilir ve $2\gamma(h)$ ile gösterilir. Literatürde yarıvariogram olarak adlandırılan yarıvariogram fonksiyonu ise variogram fonksiyonunun yarısını ifade etmektedir ve $\gamma(h)$ ile gösterilir (Çetin, 1996).

$$\gamma(h) = \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)] / 2 \quad (4)$$

Yarıvariogram fonksiyonları, maden yatağının ilgili bölgesel değişkeninin ne gibi özellikler gösterdiğini belirlemede kullanılır. Örneğin, bu fonksiyon bilindiğinde değişkenin homojenlik ve izotropluk dereceleri, düzenliliği ve bir örneğin etkili olduğu uzaklık belirlenebilir. Yarıvariogram değerlerinin gözlemler arasındaki h uzaklığına bağlı olarak hesaplanabilmesi için N sayıdaki gözlemin $N(N-1)/2$ tane olan ikili kombinezonları oluşturulur. Oluşturulan gözlem çiftleri arasındaki h uzaklığı ve yön Şekil 3.4’de gösterildiği gibi koordinatlardan gidilerek pisagor bağıntısı ile hesaplanır.

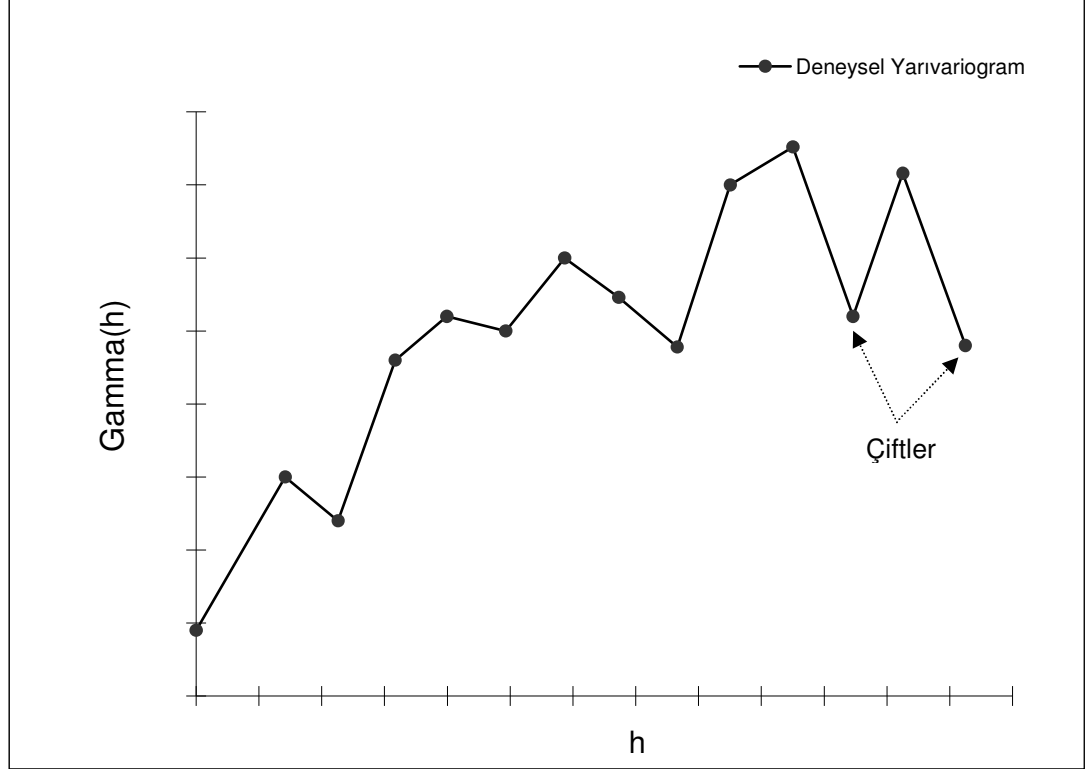


Şekil 3.4. Üç boyutlu uzayda çiftler arası uzaklık ve yön hesabı (Mert, 2004)

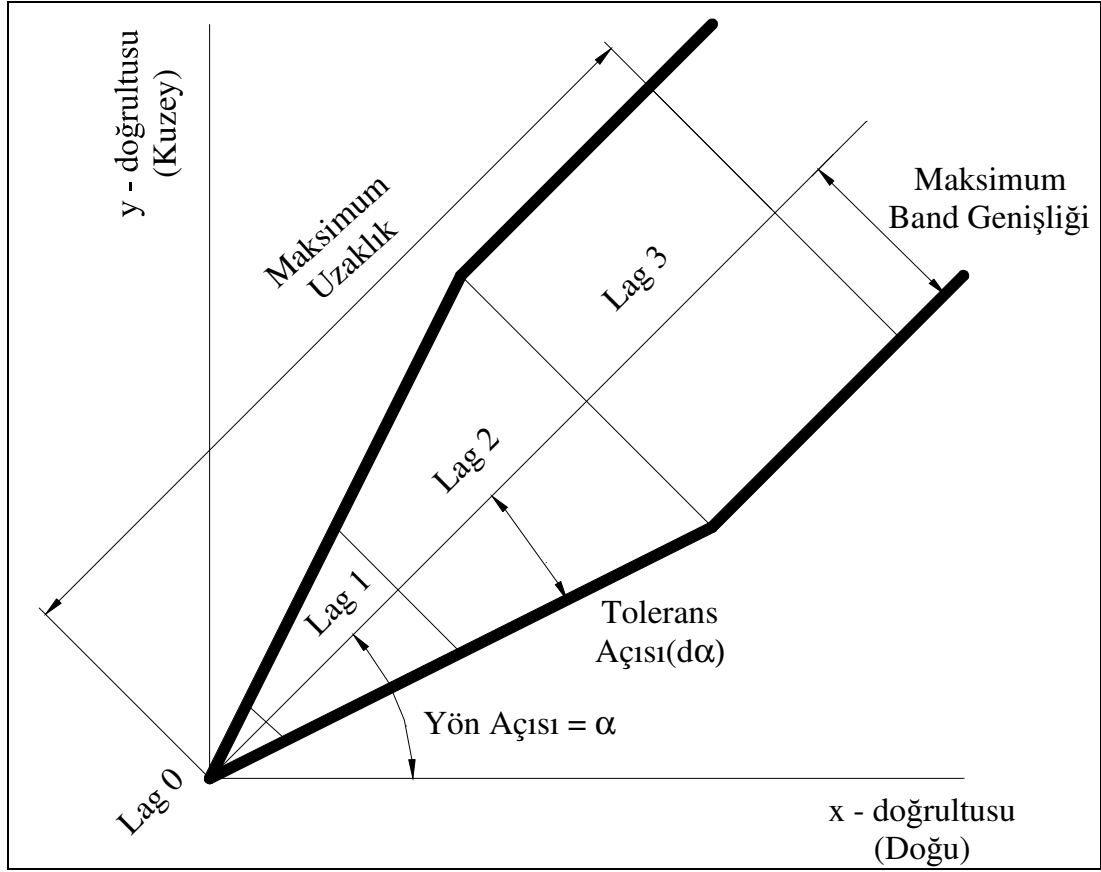
Eğer gözlem çiftleri yön ve uzaklık gözetilmeksizin oluşturulmuşsa mümkün bütün çiftlerin arasındaki yarıvaryans 5 nolu denklemlerle hesaplanır. Daha sonra her bir h uzaklığına karşılık elde edilen deneysel yarıvaryans değerleri karşılıklı olarak grafiklenerek yarıvariogram fonksiyonu elde edilir (Şekil 3.5). Bu şekilde yön ve mesafe gözetilmeksizin oluşturulan yarıvariogramlar yönsüz (omnidirectional) yarıvariogram ismini almaktadır (Çetin, 1996).

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (5)$$

Eğer gözlem çiftleri oluşturulurken yön ve uzaklık gözetilmişse deneysel yarıvariogramın hesaplanması özel teknikler gerektirir. Bunun için veriler uzaklığa ve yöne göre uzaklık ve açı toleransları içerisinde gruplandırılır. Açı ve tolerans açısı ($\alpha \pm d\alpha$) Şekil 3.6'da gösterildiği gibi bir koni tanımlar. Seçilen uzaklık parametresi ise lag ya da gecikme uzaklığı olarak isimlendirilir ve bu koni üzerinde sektörler oluşturur. Bu şekilde, yön ve uzaklık sınıflamaları ile oluşturulmuş sektörler içinde kalan veri çiftleri yönlü deneysel yarıvariogramların hesaplanmasında kullanılır. Bu durumda tolerans açısı ve lag mesafesi büyük olduğunda veri çifti sayısı da artacaktır. Açı toleransı ± 90 derece olduğunda olanaklı bütün veri çiftleri deneysel yarıvariogram hesabında kullanılacak ve yine yönsüz yarıvariogram şeklini alacaklardır.



Şekil 3.5. Deneysel yarıvariogram grafiği



Şekil 3.6. Uzaklığa ve yöne göre uzaklık ve açı toleransları (Pannatie, 1998)

Açı ve uzaklık parametrelerinin belirlenmesinde en iyi izlenecek yol birkaç tolerans açısı ve uzaklığı denemek ve en iyi sonuçları veren değerleri kullanmaktır. Bu yolla belirlenen yön doğrultusunda ve belirlenen uzaklık kapsamındaki oluşabilecek çiftler arasındaki yarıvariogramlar yine aynı şekilde 5 nolu denklem yardımıyla hesaplanır ve her bir “h” uzaklığına karşılık elde edilen deneysel yarıvaryans değeri grafiğe çizilir (Şekil 3.5).

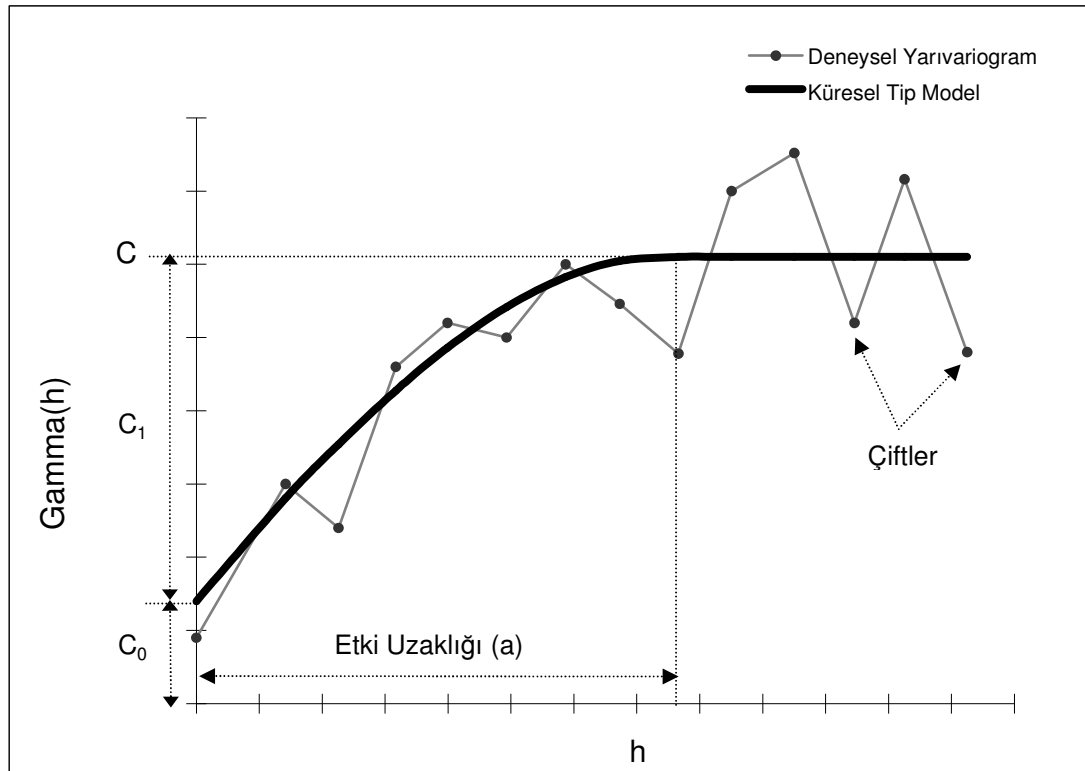
Teorik olarak, elde edilen deneysel yarıvariogram yapısını temsil eden yarıvariogram modelinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle teorik yarıvariogram modelleri ve parametreleri iyi bilinmeli, en uygun model ve parametreler seçilerek ortalama yarıvariogram modeli fonksiyonel olarak belirlenmelidir (Şekil 3.7). Elde edilen bu eğriden yararlanılarak, incelenen yöresel değişkenin uzaysal değişimi hakkında önemli bilgi elde edinilebilir (Çetin ve Kırdar,

2003). Şekil 3.7’da gösterilen yarıvariogram modeline ait parametreler şu şekilde tanımlanmaktadır.

Külçe (Nugget) Değeri (C_0): Bu değere kontrolsüz etki varyansı denir (Çetin,1996). Ancak madencilikte külçe (nugget) etkisi olarak adlandırılır (Clark, 1979). $h=0$ m uzaklıkta yarıvariogramın aldığı değerdir. Cevher yatağının homojenliğini ifade eder. Yüksek değerdeki nugget değeri mineralleşmenin çok zayıf bir şekilde geniş bir sahaya yayıldığını (cevherin, cepler veya adeseler halinde yoğunlaştığını) veya kötü numune değerlendirilmesi yapıldığını belirtir. Teorik olarak sıfır olması gerekir (David, 1988).

Eşik Değer (Sill, C): (C_1+C_0) , Yarıvariogram fonksiyonunun belirli bir “ h ” uzaklığında ulaştığı yarıvaryans değeridir. Pratikte sill, yarıvariogramı hesaplamak için kullanılan tüm örneklerin varyansına denktir.

Etki Uzaklığı (Range, a): Bu alan içinde kalan ve belirtilen bir sondaj noktasından belirli bir uzaklıkta bulunan diğer sondaj noktalarının değerleri, o sondaj noktasının değerini etkilemektedir. Bu uzaklığın dışındaki noktaların etkisi yoktur. Diğer bir deyişle gözlemler arası uzaklık $h > a$ olduğu durumda korelasyon sıfırdır.



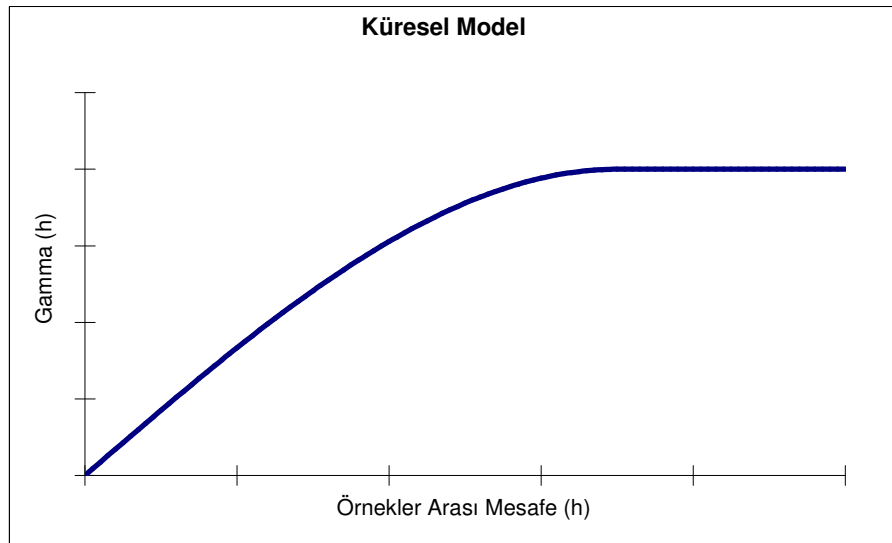
Şekil 3.7. Küresel tip teorik yarıvariogram modeli ve parametreleri (Mert, 2004)

3.2.2.1.(1). Teorik Yarıvariogram Modelleri

Yaygın olarak kullanılan teorik yarıvariogram modelleri (Clark ve Harper, 2000);

1) Küresel Model: Bu tip modellerde yarıvariogram artan h uzaklığı ile düzenli olarak artar ve etki uzaklığına gelindiğinde belirli bir sill değerinde sabit kalır (Şekil 3.8).

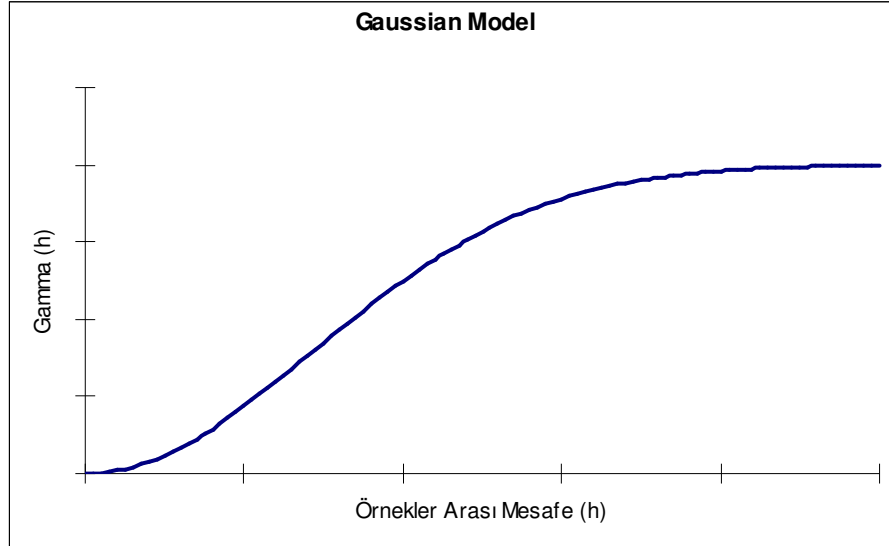
$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases} \quad (6)$$



Şekil 3.8. Küresel tip yarıvariogram modeli

2) Gaussian Tip Model: Yarıvariogram kısa uzaklıklar için parabolik davranış gösterirken, uzaklık arttıkça eşik değere (Sill) asimtotik olarak yaklaşır (Şekil 3.9).

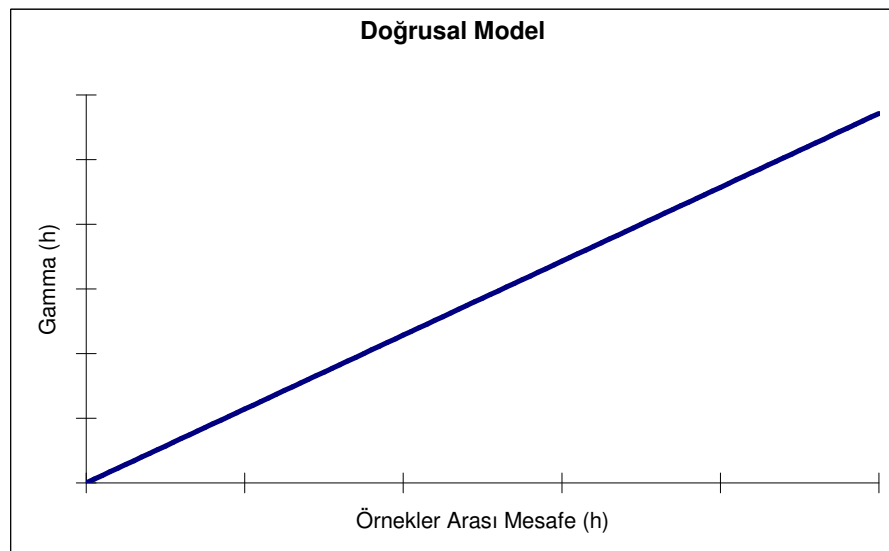
$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{(-3h^2/a^2)} \right] \quad (7)$$



Şekil 3.9. Gaussian tip yarıvariogram modeli

3) Doğrusal Tip Model: Yarıvariogram artan h uzaklıklığı ile doğru orantılı bir şekilde artış gösterir, matematiksel fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Şekil 3.10)

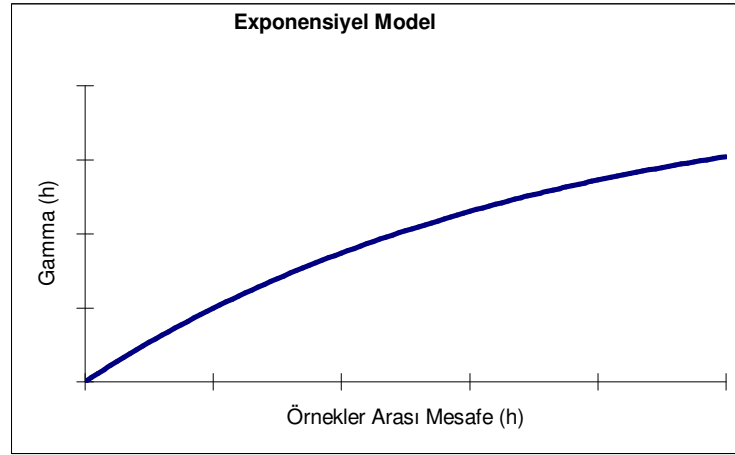
$$\gamma(h) = C_0 + C_1(h/a) \quad (8)$$



Şekil 3.10. Doğrusal tip yarıvariogram modeli

4) Ekspansiyel Tip Model: Bu model için çizilen yarıvariogram bir etki uzaklığına sahip değildir, fakat eğri asimtotik olarak sill değerine ulaşır (Şekil 3.11).

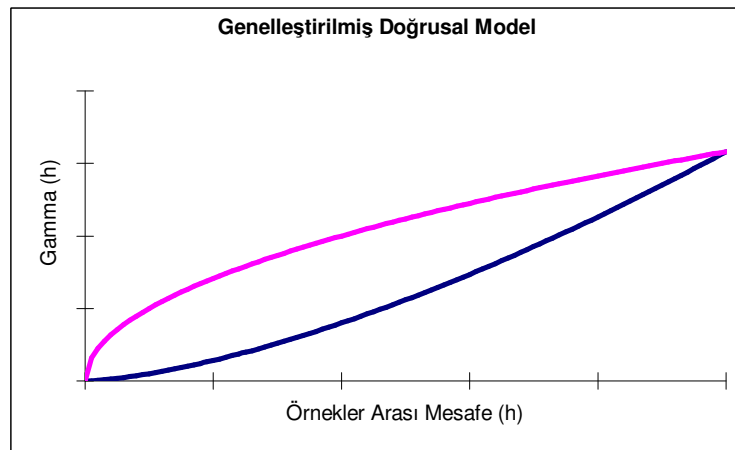
$$\gamma(h) = C_0 + C_1[1 - \exp(-h/a)] \quad (9)$$



Şekil 3.11. Exponensiyel tip yarıvariogram modeli

5) Genelleştirilmiş Doğrusal Model: Bu modelin grafiği doğrusal bir eğilim gösterir ve örnek değerlerinde süreklilik hakimdir (Şekil 3.12).

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + ph^\alpha & h > 0 \text{ ve } 0 < \alpha < 2 \\ 0 & h = 0 \end{cases} \quad (10)$$

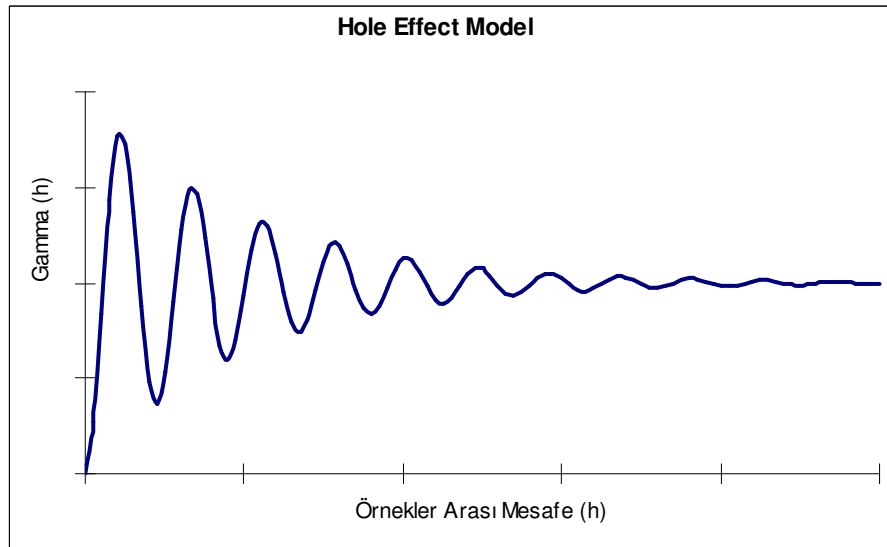


Şekil 3.12. Genelleştirilmiş doğrusal tip yarıvariogram modeli

6) Hole Effect Model: Mineralleşmede periyodikliğin bir göstergesi ya da örnek aralıklarını yansıtan bir modeldir (Şekil 3.13).

$$\gamma(h) = C_0 + C (1 - e^{\eta} \cos \theta) \quad h > 0 \quad (11)$$

Burada; $\eta = -\frac{h}{\zeta}$ ve $\theta = h \frac{2\pi}{\xi}$, dir.

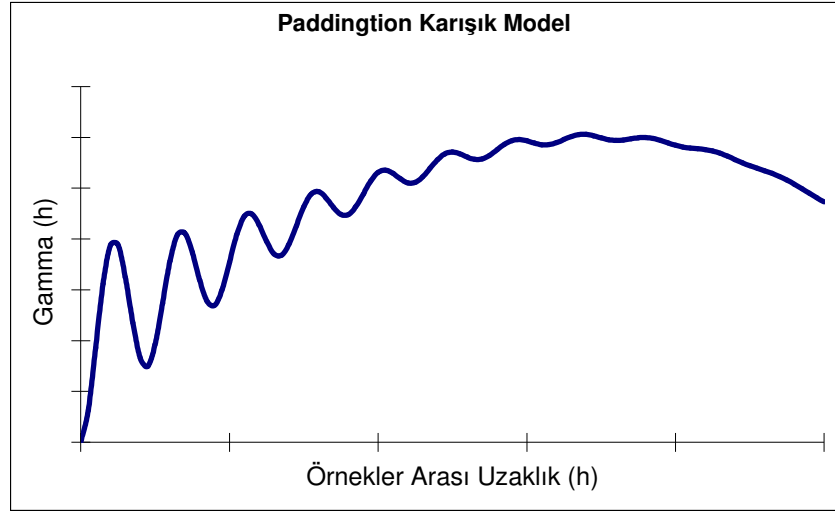


Şekil 3.13. Hole effect tip yarıvariogram modeli

7) Paddington Karışık Modeli: Bu model yöresel değişkenin farklı yapısal veya jeolojik özellik göstermekte olduğunu vurgulamaktadır. Örneğin; denizel yataklarda oluşmuş elmasların modellenmesinde kullanım alanı bulmuştur (Clark ve Harper, 2000) (Şekil 3.14).

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] + C_{hef} (1 - e^{\eta} \cos \theta) & 0 < h < a \\ C_0 + C + C_{hef} (1 - e^{\eta} \cos \theta) & h > a \end{cases} \quad (12)$$

Burada; $\eta = -\frac{h}{\zeta}$ ve $\theta = h \frac{2\pi}{\xi}$, dir.



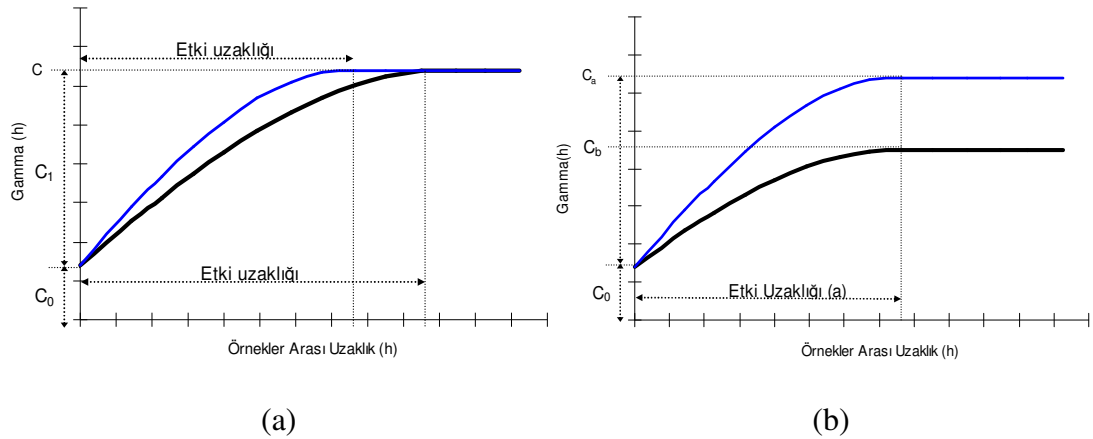
Şekil 3.14. Paddington karışık tip yarıvariogram modeli

3.2.2.1.(2). Yarıvariogram Fonksiyonunun Özellikleri

Örnekler arası mesafe sıfır olduğunda teorik olarak yarıvariogram fonksiyonu sıfıra eşit olur. Bununla birlikte, uzaklığa bağlı değişimin verilerden belirlenebileceği sınır bir uzaklık vardır. Bu sınır uzaklık, bütün mevcut örnekler içinde, birbirine en yakın iki örnek arasındaki uzaklıktır. Pratik olarak, bu uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda, değerler arasındaki farkın değişimi, veri olmadığından belirlenemez ve bu durum yarıvariogramın orijininde bir süreksizliğe (sıfırdan farklı pozitif bir değer almasına) yol açar. Orijindeki süreksizliğin diğer bir nedeni de örnekleme ve analiz hatalarıdır. Eğer aynı bir noktadan iki örnek almak mümkün olsaydı, bu örneklerin değerleri arasında, örnekleme ve analiz hatalarından dolayı bir fark olurdu. Süreksizliğin bu iki kaynağını birbirinden ayırt etmek mümkün değildir ve yarıvariogram fonksiyonunda bu durum kontrolsüz etki “ C_0 ” şeklinde ortaya çıkar (Saraç ve Tercan, 1998). Yarıvariogram grafiklerinin kısa uzaklıklardaki (orijine yakın) davranışı, yöresel değişkenin homojenlik derecesi hakkında bir bilgi verir. Eğer yöresel değişken kısa uzaklıklarda ani değişiklik gösteriyorsa, yarıvariogram orijine yakın yüksek değerler alır. Benzer şekilde, yarıvariogramın büyük h uzaklıklarındaki davranışı, yöresel değişkenin düzenlilik derecesini karakterize eder. Eğer uzak mesafelerde yöresel değişken düzenli (sürekli bir şekilde artan ya da azalan) bir değişim gösteriyorsa, yarıvariogram artan h uzaklığı ile sürekli bir şekilde

artar. Eğer yöresel değişken bir geçişli yapı gösteriyorsa yarıvariogram belirli bir “a” uzaklığından sonra artışını durdurur ve belirli bir değer (bu değer teorik olarak örnek değerlerinin varyansına eşittir) çevresinde değerler alır. Yapısal uzaklık olarak adlandırılan bu “a” uzaklığından daha büyük uzaklık değerleri için örnekler arasındaki ilişkinin önemsiz olduğu varsayılır. Yapısal uzaklık, bir örneğin etki uzaklığına karşılık gelir (Dowd, 1992; Çetin ve Kırd, 2003).

Yarıvariogram grafikleri yönere göre farklı eşik değer ve etki uzaklığı değerlerine sahip olabilir. Bu şekilde yarıvariogramların yapısal uzaklıkları yöne göre değişiklik gösteriyorsa, yatağın ilgili değişken için anizotrop olduğu söylenir. Anizotropi durumuna bakmak için öncelikle seçilen açı ve lag uzaklığına göre bir teorik yarıvariogram modeli uyarlanır. İlk seçilen açığa 90 derecelik bir ilave yapılarak ikinci bir yarıvariogram modeli daha elde edilir. Sonuç olarak, eğer elde edilen modeller arasında etki uzaklığı (a) arasında farklılık var; fakat eşik değerleri aynı kalıyorsa geometrik anizotropiye, eşik değerlerinin farklılık göstermesi ise zonal anizotropiye işaret eder (Şekil 3.15). Yarıvariogramların bu özelliği, basitçe mineralleşmenin sürekliliğinin değişik doğrultulardaki değişimini gösterir. Her doğrultuda tayin edilen anizotropi faktörleri, daha sonra bloklara değer atanırken her numunenin bulunduğu yer ve doğrultuya göre etki ağırlığını tespit etmede kullanılır (Armstrong, 1997; Journel, 1978).



Şekil 3.15. (a) Geometrik anizotropi, (b) Zonal anizotropi

3.2.2.2. Çapraz Doğrulama Tekniği ile Model Testi

Yarıvariogram model parametrelerinin belirlenmesine yönelik sık kullanılan yöntemlerden biri çapraz doğrulama tekniğidir. Bu yöntemde ilk olarak gerçek yarıvariogram fonksiyonuna ilişkin bir model ve bu modele ilişkin parametreler seçilir. Daha sonra veri setinden gerçek değeri bilinen bir örnek uzaklaştırılır ve bu lokasyondaki değer sanki gerçek değeri bilinmiyormuş gibi, seçilen yarıvariogram model parametreleri ve geriye kalan veriler kullanılarak noktasal kriging tahmin tekniği ile tahmin edilir. Tahmin yapılan lokasyonun gerçek değeriyle tahmini değeri arasındaki fark (tahmin hatası) hesaplanır. Bu işlem diğer veriler içinde tekrarlanır. Daha sonra elde edilen tahmin hataları her bir tahmine ait kriging standart sapma değerine bölünür ve indirgenmiş hatalar elde edilir. İndirgenmiş hataların ortalamasına ve karelerinin ortalamasına (varyansına) bakılır. Bu istatistiki parametrelere ilişkin arzu edilen kriterleri sağlayan yarıvariogram model ve parametreleri gerekli model ve parametrelerdir. Bu kriterlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır (Dowd, 1988).

$$\left. \begin{aligned} \text{Tahmin Hataları, } \varepsilon_i &= [Z_i^* - Z_i] \\ \text{İndirgenmiş Hatalar, } x_i &= \left[\frac{Z_i^* - Z_i}{\sigma_{\varepsilon,i}} \right] \\ \text{İndirgenmiş Hat. Ortalaması, } \bar{x} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \\ \text{İndirgenmiş Hat. Varyansı, } S_x^2 &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

i. İndirgenmiş hataların beklenen değerlerinin 0'a ve varyansları da 1'e yakın olup olmadığına veya $1 \pm 2\sqrt{2/N}$ sınırları arasında kalıp kalmadığına bakılmalıdır.

ii. Diğer bir karar verme tekniği ise, gerçek değerlerin, kestirilen değerler üzerindeki doğrusal regresyonu orijinden geçen 45 derece eğimli bir doğru olmasıdır. Bu koşullu yansızlık olarak bilinir.

iii. Kestirim hatalarının kareler ortalaması, kriging varyanslarının ortalamasına eşit ya da küçük olmalıdır, $\bar{\sigma}_E^2 < \bar{\sigma}_k^2$.

3.2.2.3. Kriging Tahmini

Yarıvariogram fonksiyonu, yöresel değişkenin çeşitli özelliklerinin sayısal olarak belirlenmesinin yanında, örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerlerin tahmininde de kullanılabilir. Maden yataklarından alınan örnekler bize sadece alınan noktalarla ilgili bilgiler verebilir. Bize düşen bu noktalardan alınan örnekler arasındaki uzaklığa bağlı ilişkiyi ortaya koyup bilinmeyen noktalardaki veya bloklardaki değerleri de tahmin etmek olacaktır. Bu amaca hizmet eden kriging, yöresel değişkenlerin örneklenmemiş noktalarının tahminlerinde iyi bir tahmin edici olarak kullanılır. Kriging blok veya bir noktanın tahminini minimum varyansla tahmin edebilen bir yöntemdir.

Kriging ile yaptığımız tahminin doğruluğu veya geçerliliği aşağıdaki 4 faktöre bağlıdır ve kriging hesaplamalarında bütün bunlar hesaba katılır (Deutsch ve Journel, 1992).

- i. Verilerimizin sayısı ve alınan örneklerin kalitesi,
- ii. Örneklem noktalarının yatak içerisindeki konumları; düzenli aralıklarla örneklenmiş veriler daha temsili olacak ve maden yatağı hakkında daha fazla bilgi verebileceklerdir,
- iii. Tahmini yapılacak noktalarla örnekler arasındaki uzaklık; tahmini yapılacak nokta veya blokların, örneklenmiş noktalara yakın olması veya etraflica çevrilmiş olması beklenir,
- iv. Uzaysal bağımlılığın devamlılığı; bu tür bir devamlılığa kömür yataklarındaki kalınlık değişkeni örnek olarak gösterilebilir. Fakat altın cevherindeki altın tenörünün uzaysal bağımlılığının kömür kalınlığı kadar devamlılık göstermesi daha az olacaktır.

Kriging tahmini için; $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_N)$ N adet veri olsun, $Z(x_i)$ değişkeninin lineer bir fonksiyonunu belirlemek ve x_0 noktasındaki değer veya x_0 merkezli bir alan içerisindeki ortalama alansal değer tahmin edilmek istensin. Çok sayıda eşitliğe kaçmadan nicelik tahminin eşitliği genel olarak şu şekilde verilebilir (Amstrong, 1997).

$$Z_V = \frac{1}{V} \int_V Z(x) dx \quad (14)$$

Burada V hacmi nokta tahminlerinde bir noktayı temsil etmektedir. Bu tahminleri yapabilmek için verilerimizin bir ağırlıklı ortalamasını ele almamız gerekir. Genel olarak tahmin işlemi, bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak yapılır.

$$Z_V^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (15)$$

Burada;

Z_V^* : x_0 noktasında tahmin edilen değeri,

$Z(x_i)$: x_0 noktasının tahmininde kullanılacak gözlemlerin değerini,

λ_i : Değişkenin değerlerine verilecek ağırlıkları ifade etmektedir.

Genel problemimiz ise ağırlık faktörü olan λ_i 'yi en iyi yolla belirlemek olacaktır. Burada ağırlık faktörü iki amaç doğrultusunda seçilmelidir,

i. Yansızlık için $E[Z_V^* - Z_V] = 0$, bu şartı sağlayabilmemiz için Denklem (15)'deki ifadede $\sum \lambda_i = 1$ olmalıdır (Burada, Z_V^* tahmin edilen değeri, Z_V ise gerçek fakat bilinmeyen değeri ifade etmektedir),

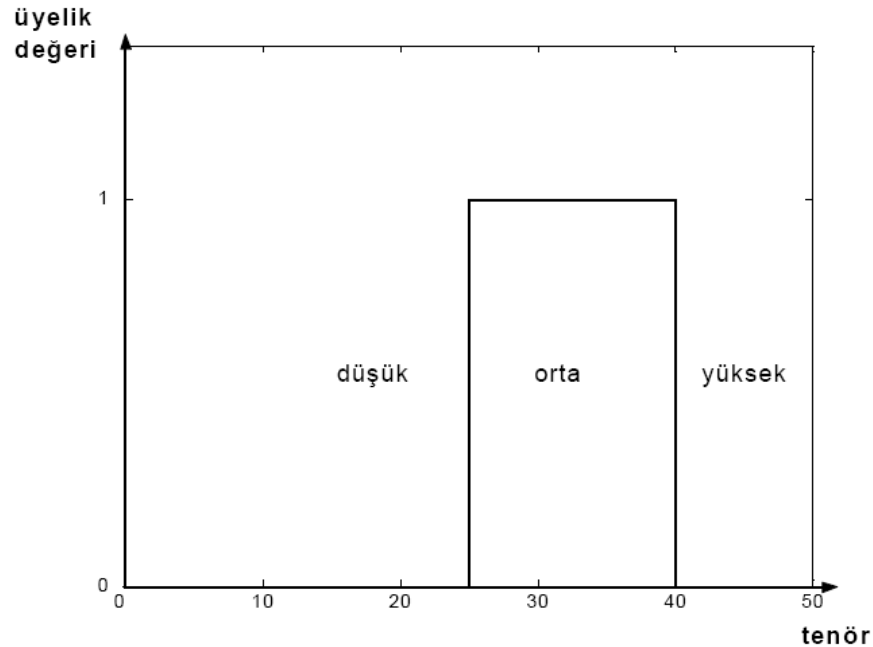
ii. Minimum varyans için $\text{Var}[Z_V^* - Z_V] = \text{minimum}$ olmalıdır (Burada belirtilen varyans kriging varyansı olarak bilinir).

Genel olarak kriging tahmin edicilerine göre kriging yöntemleri; ortalama (m) tahmin edicisi bilinmeden yapılan kriging “ordinary kriging (OK)” ve kriging tahmin edicisi ortalama (m)’nin bilinmesiyle yapılan kriging “simple kriging, (SK)” olarak tanımlanırlar (Amstrong, 1997).

3.2.3. Bulanık Küme Teorisi

3.2.3.1. Klasik Küme Kuramı

Küme, nesnelerin iyi tanımlanmış bir listesidir. Kümeyi oluşturan nesnelere kümenin elemanları denir. Klasik küme kuramı ait olma prensibi ile açıklanır. Bir eleman o kümenin ya elemanıdır veya değildir. Üyelik kesin (crisp) sınırlarla ayrılmıştır ve kısmi üyelikten söz edilemez. Klasik kümelerde esneklik yoktur. Örneğin, yüzde olarak tenör değişkeni ele alınsın ve %25'in altındaki değerler “düşük (low) tenör”, %25 ile %40 arasındaki tenörler “orta (medium) düzey” ve %40'dan büyük tenörler ise “yüksek (high) tenör” sınıfında değerlendirilsin. Bu kesin sınıflamaya göre %24.9 “düşük” sınıfına dahil olurken %25 “orta düzeye” karşılık gelir. Pratikte bu kesin ayrım, önemli kayıplara neden olabilmektedir. Şekil 3.16.'da tenör değişkeni için bir klasik küme gösterimi verilmiştir. “Orta” aralığına düşen tenör, düşük ve yüksek tenörden kesin sınırlarla ayrılmaktadır.



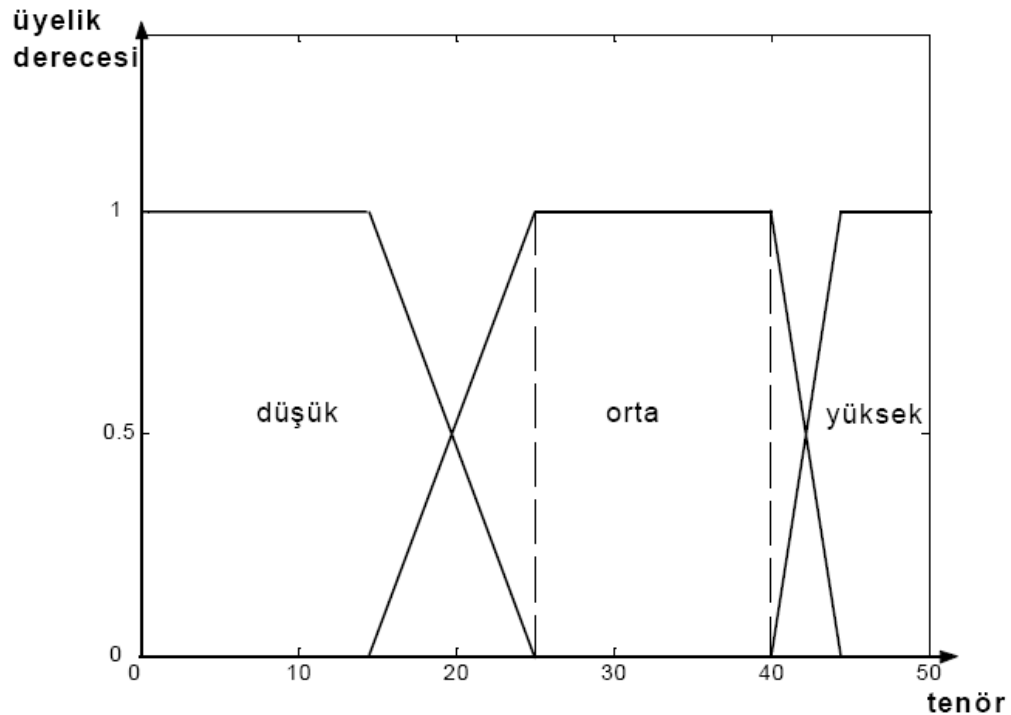
Şekil 3.16. Tenör için klasik küme gösterimi

3.2.3.2. Bulanık Kümeler

Tenör değişkenini tanımlarken kullanılan “düşük”, “orta” ve “yüksek” gibi tanımlamalar birer dilsel ifadedir. Günlük yaşamda ve mühendislik uygulamalarında;

“ılık” hava, “güçlü” adam, “sert” kaya, “büyük” proje gibi dilsel ifadeler yaygın olarak kullanılır. Bu tür kavramlar, belirsizlik içeren tanımlamalardır. Bulanık kümeler kuramının özünde; belirsizlik ifade eden tanımlanması güç veya anlamı zor kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik getirmek vardır. Belirlilik getirme yaklaşımı, iki değerli kümeler kuramının, çok değerli kümeler kuramına dönüşümünden doğar (Turksen, 1991).

Bulanık küme, değişik üyelik derecesinde nesneleri olan bir topluluktur. Klasik küme kuramında kümeye ait olma durumunda 1, ait olmama durumunda ise 0 üyelik değeri atanır. Oysa bulanık kümelerde eleman, bir bölümüyle (örneğin: 0.4) kümeye ait iken bir bölümüyle (örneğin: 0.6) de kümenin dışındadır. Bulanık kümelerde, klasik kümelerdeki üyeliği tanımlayan karakteristik fonksiyon; $\mu_A:E \rightarrow \{0,1\}$, yerini üyelik fonksiyonuna; $\mu_A:E \rightarrow [0,1]$ bırakır. Şekil 3.17.’de tenör için örnek bulanık küme gösterimi verilmektedir. Orta-düşük ve orta-yüksek geçişlerinde paylaşım bölgesi söz konusu olup kesin (crisp) bir ayırım geçerli değildir.



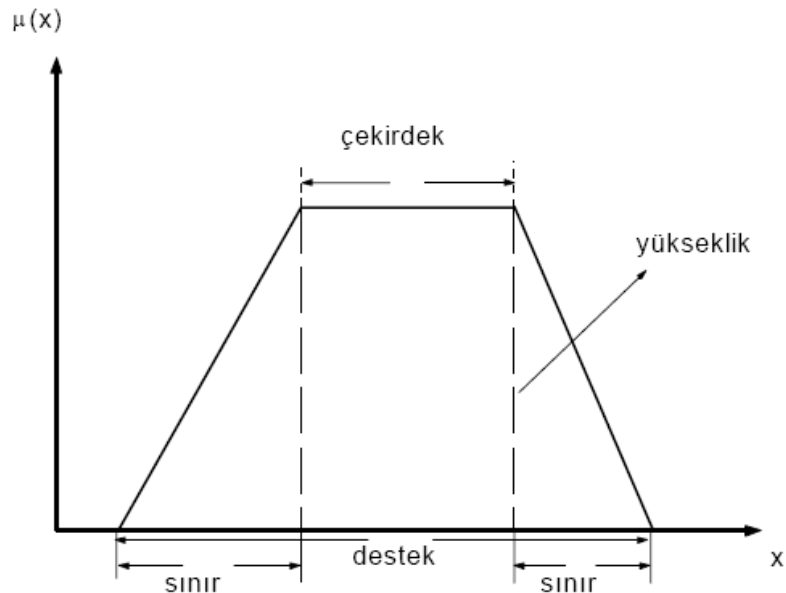
Şekil 3.17. Tenör için bulanık küme gösterimi

3.2.3.3. Üyelik Fonksiyonu

Üyelik fonksiyonu, verilerin kümeye aitlik derecesini tanımlayan bir eğridir. Fonksiyonun genel yapısında; yatay eksen veri değerlerini gösterirken, düşey eksen üyelikler yer alır. Ele alınan x verisinin üyelik değeri $\mu_A(x) \in [0,1]$, olup $A = \{(\mu_A(x), x)\}$ biçiminde gösterilir.

Bulanık küme ifadesi, veri kümesindeki her x_i değeri için $A = \{\mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \dots + \mu_A(x_n)/x_n\}$ yazılarak $A = \{\sum \mu_A(x_i)/x_i\}$ biçiminde genişletilebilir. Bulanık kümenin sürekli olması durumunda üyelik, $A = \{\int \mu_A(x_i)/x_i\}$ biçimini alır. “/”, $\sum$ ve $\int$ sembolleri, matematikte kullanılan toplam ve integral işlemleri olmayıp toplulukları ifade etmek için kullanılmaktadır.

Bulanık kümeyi tanımlayan bilginin üyelik fonksiyonu üzerinde gösterilecek olması, fonksiyonunun önemini artırmaktadır. Bulanık küme işlemlerinde, problem yapısına uygun, bilgiyi temsil edecek fonksiyonun seçilmesi gerekmektedir. Ross (1995), üyelik fonksiyonu seçiminde ‘basitlik’ kriterinin en önemli parametre olduğunu belirtmekte ve sürekli ve kesikli fonksiyonlarda değişmeyen yapısal parçaları; çekirdek (core), destek (support), yükseklik (height) ve sınır (boundary) olarak belirtmektedir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Üyelik fonksiyonunun bileşenleri

Çekirdek, üyelik fonksiyonun 1'e eşit olduğu bölgeyi ($\mu_A(x)=1$) tanımlar. Bu bölgede fonksiyon tam üyeliğe sahiptir. Destek, fonksiyonun 0'dan büyük olan ($\mu_A(x) > 0$) bölümüdür. Fonksiyonun iki yanında yer alan sınırlar ise, 0 ile 1 arasında üyelik değeri alan ($0 < \mu_A(x) < 1$) tam üyeliğe ulaşamamış kısımları tanımlar.

Çok sayıda üyelik fonksiyonu bulunmasına rağmen uygulamada yaygın olarak 4 tip fonksiyondan yararlanılmaktadır. Bunlar; üçgen (triangular), yamuk (trapezoid), normal dağılım (Gaussian) ve çan şekilli (bell-shaped) fonksiyonlarıdır (Şekil 3.19). Ayrıca, sigmoidal ve S-tipi üyelik fonksiyonları da kullanım amacına bağlı olarak sınırlı oranda kullanılabilir.

Üçgensel üyelik fonksiyonları, sadece bir maksimumu olan problem yapılarında basitliği nedeniyle tercih edilmektedir (Baglio ve diğ., 1994). Tipik bir üçgensel üyelik; a, b, c olarak gösterilen üç parametre ile tanımlanır. (16) eşitliği fonksiyonun aldığı değerleri göstermektedir.

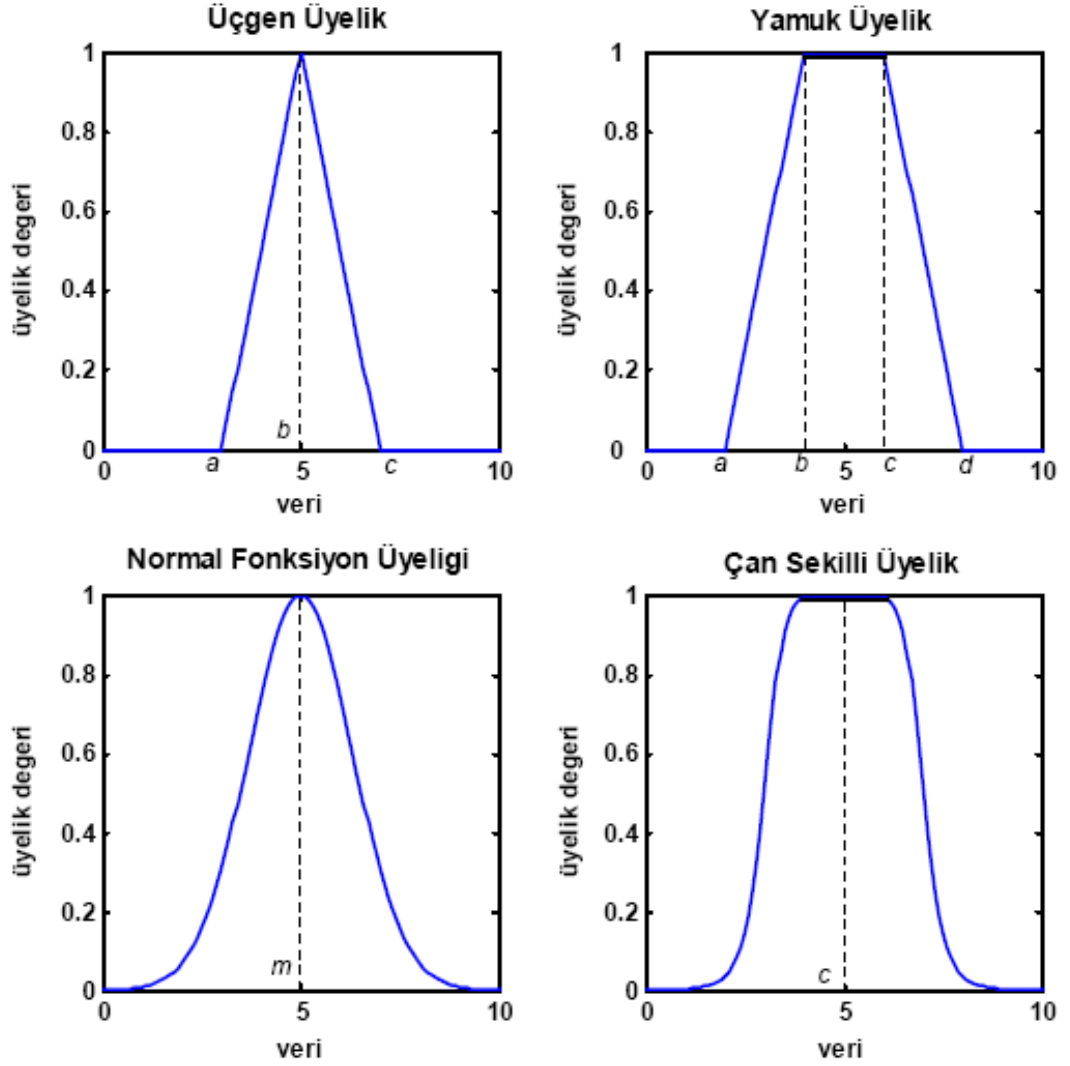
$$\mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} (x-a)/(b-a), & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b), & b \leq x \leq c \\ 0, & x < a \text{ yada } x > c \end{cases} \quad (16)$$

Üçgensel üyelik fonksiyonlarının özel bir biçimi olarak tanımlanabilecek olan yamuk üyelik fonksiyonlarında, maksimum üyelik belirli bir nokta yerine bir aralıkla tanımlanır. Bu fonksiyonların matematiksel gösterimi aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\mu_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} (x-a)/(b-a), & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c), & c \leq x \leq d \\ 0, & x < a \text{ yada } x > d \end{cases} \quad (17)$$

Normal dağılım tipindeki üyelik fonksiyonlarının belirli etki genişliğinde, eğrisel olarak değişim gösteren ifadelerde kullanılabileceğini belirtmektedir (Yager ve Filev, 1994). Bu fonksiyonlarda kullanılan iki temel parametre m (fonksiyonun merkezi) ve σ (fonksiyonun genişliği)'dir. σ değiştirilerek fonksiyonun biçimi

ayarlanabilmektedir. (18) eşitliği bu tip fonksiyonların en genel ifadesini vermektedir.



Şekil 3.19. Çeşitli tipte üyelik fonksiyonları

$$\mu_A(x; m, \sigma) = \exp \left\{ -0.5 \left(\frac{x - m}{\sigma} \right)^2 \right\} \quad (18)$$

Pratikte, normal dağılım fonksiyonlarının özel bir biçimi olan çan eğrisi (bellshaped) biçimindeki üyelik fonksiyonlarından da yararlanılmaktadır. (19) eşitliği

bu fonksiyonlara ilişkin genel ifadeyi vermektedir. İfadede de; a ve b fonksiyonun şeklini belirlerken, c ise fonksiyonun merkezini tanımlamaktadır.

$$\mu_A(x; a, b, c) = \frac{1}{\left(1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|\right)^{2b}} \quad (19)$$

3.2.3.4. Bulanık Kümelerde Temel İşlemler

Klasik kümelerdeki matematiksel işlemlere benzer ilişkiler bulanık kümeler için de geçerlidir. Bu ilişkiler, bulanık modellemenin çeşitli aşamalarında kullanılmakta ve kestirim problemini doğrudan etkilemektedir.

Bulanık küme operasyonlarında yaygın olarak kullanılan üç temel operasyon; kesişim, birleşim ve tümlemedir. Bu operasyonlar özellikle kural tabanlı bulanık modelleme süreçlerinde önem kazanmaktadır. Şekil 3.20, işlemleri geometrik olarak tanımlamaktadır.

Bulanık kümelerde *kesişim* işlemi, X evrensel kümesi içindeki x değeri için (20)'de ifade edilmiştir.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \wedge(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (20)$$

(20) eşitliğinde “ $\wedge$ ” işlemcisi minimum anlamına gelmektedir. $A \cap B = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$ olup, (21) ile tanımlı ifadelerde, olası çözümler gösterilmiştir.

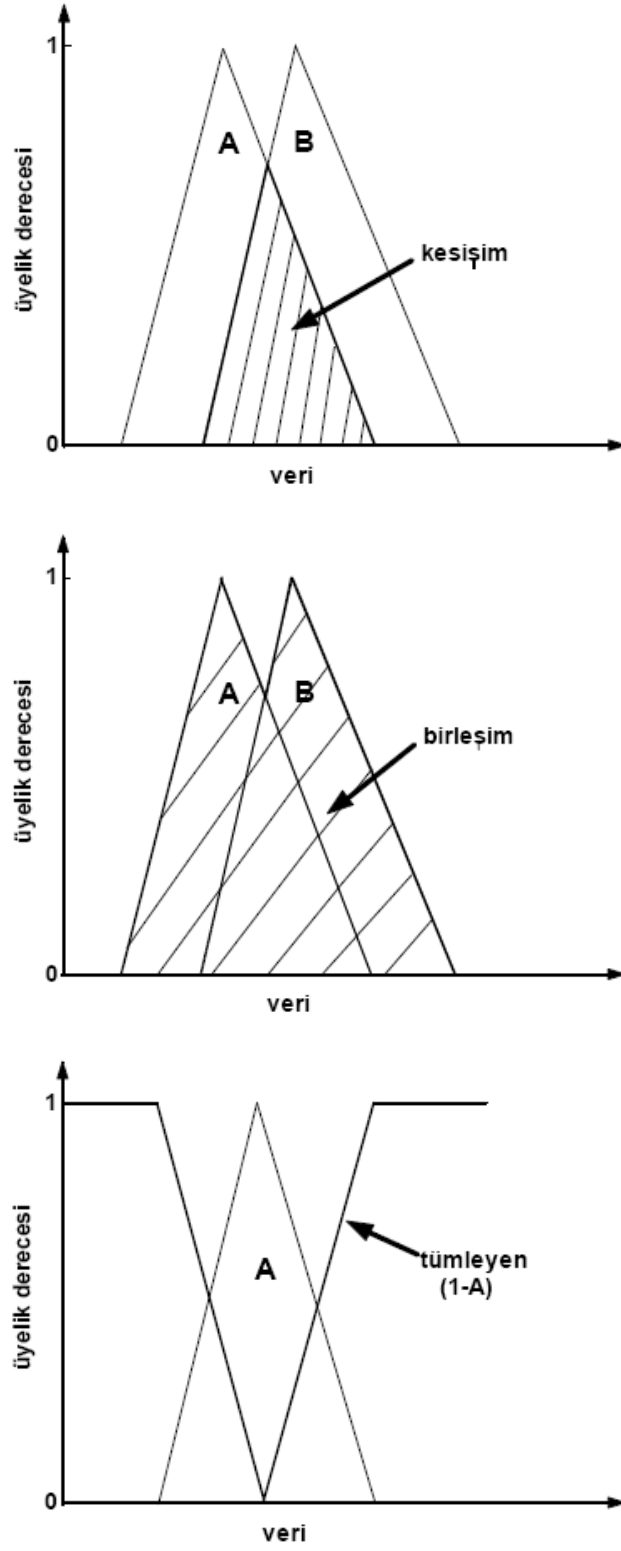
$$\begin{aligned} \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad & \text{ise} \quad \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \\ \mu_B(x) < \mu_A(x) \quad & \text{ise} \quad \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_B(x) \end{aligned} \quad (21)$$

Birleşim (union) işlemi ise, (22)'deki gibi bir maksimum işlemi biçimindedir.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \vee(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (22)$$

“ $\vee$ ” işlemi maksimum olarak yazılıp, $A \cup B$ işlemi için 23 ile tanımlı çözümlere ulaşılır.

$$\begin{aligned} \mu_A(x) \geq \mu_B(x) \quad & \text{ise} \quad \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \\ \mu_B(x) > \mu_A(x) \quad & \text{ise} \quad \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_B(x) \end{aligned} \quad (23)$$



Şekil 3.20. Bulanık küme operasyonları

3.2.3.5. Bulanık Modelleme ve Aşamaları

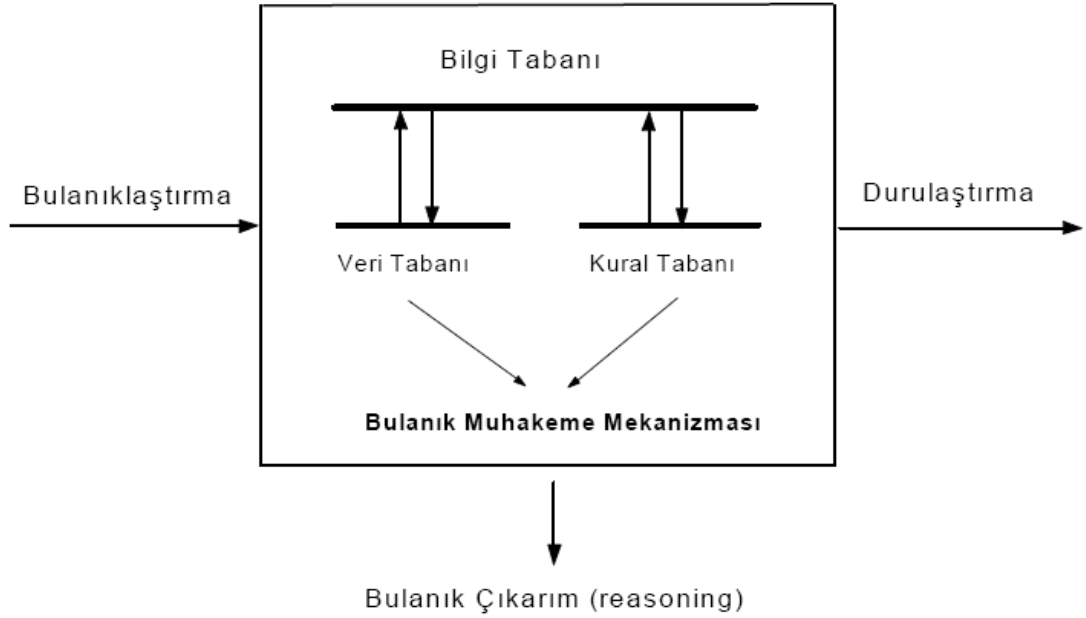
Formüller ve denklemler sistemleri tanımlamada, yaygın olarak kullanılan araçlardır. Sistemlerin matematiksel formüller yardımıyla ifadesi matematik modellemeyi gerekli kılar. Ancak bazı sistemlerin özellikleri matematik modellemeye elverişli değildir. Karmaşık yapı, doğrusal olmama ve belirsizlik gibi özellikler yaklaşık sonuç almayı gerekli kılmaktadır. Üyelik fonksiyonları ve kural sistemi kullanılarak karmaşık sistemlerin yaklaşık olarak tanımlanmasında “bulanık sistem modelleme” en etkin araçlardan biridir (Babuska, 1998).

Bulanık modeller, değişkenler arasındaki ilişkileri kurallar yardımıyla tanımlamaya yarar. Bulanık modellerin kapalı kutu modellerden (örneğin sinir ağları, genetik algoritmalar) en önemli farkı; sistem tanımlamayı basitleştirmesi ve saydam analizler yapılmasına olanak tanımasıdır (Setnes ve diğ., 1998a). Geleneksel bulanık modellemede uzman görüşü kullanılarak, dilsel ifadeler yardımıyla çözüm aranırken, son yıllarda veriye bağlı modellerde artış gözlenmektedir. En genel bulanık modelleme teknikleri şunlardır (Piegat, 2001):

- Mamdani (linguistik) model (Zadeh,1973; Mamdani,1977)
- Takagi-Sugeno Model (Takagi ve Sugeno, 1985)

Genel bir bulanık model; bulanıklaştırma aşaması, kural temelli sonuç çıkarım mekanizması (reasoning mechanism) ve durulaştırma aşamalarından oluşmaktadır. Babuska (1996), tarafından ifade edilen sistem akış süreci Şekil 3.21’de verilmektedir.

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



Şekil 3.21. Tipik bir bulanık modelin aşamaları

3.2.3.5.(1). Bulanıklaştırma

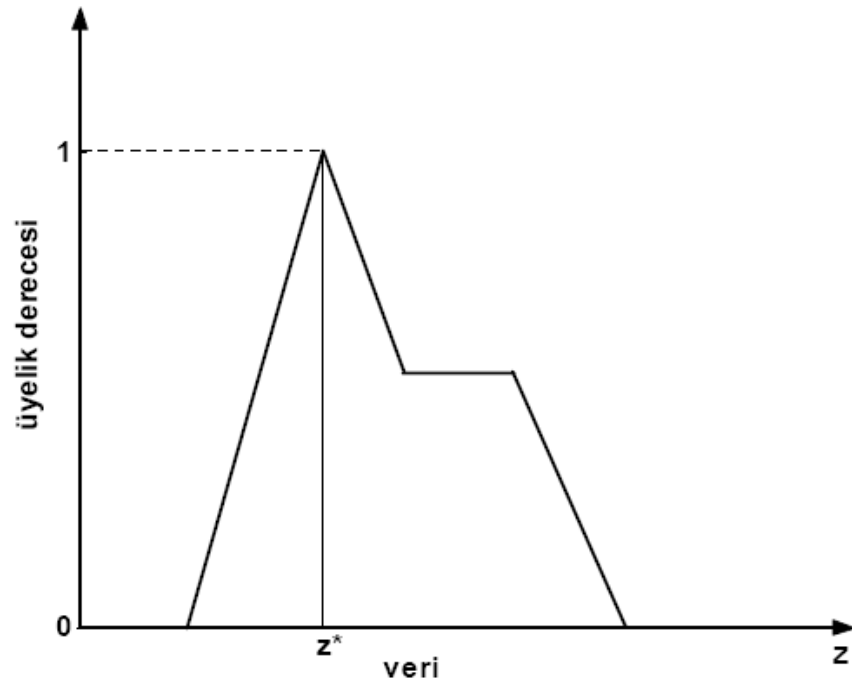
Bulanıklaştırma işlemi, sayısal verilerin üyelik fonksiyonları yardımıyla belirli bir üyelik derecesi ile ifade edilmesidir. Burada amaç, çözümü bulanık ortamda gerçekleştirmektir. Uygun üyelik fonksiyonunun seçimi ve bulanıklaştırmanın nasıl yapılacağı, bu aşamada önem taşır. En yaygın olarak kullanılan yöntem, uzman görüşünden yararlanılarak fonksiyon seçimi yapılması ve seçilen fonksiyonun istatistiksel yöntemlerle düzenlenmesidir (Kruse ve diğ., 1994).

Bulanıklaştırma için kullanılan yöntemlerden bir diğeri olan bulanık kümeleme ise, veriye bağımlı analizlerde kullanılmaktadır (Sugeno ve Yasukawa, 1993). Kümelemede kullanılan üyelik matrisi, her verinin kümelere ait olma derecelerini birer üyelik değeriyle ifade etmeye yarar. Üyelik matrisi, verileri sınıflandırmaya ek olarak bulanıklaştırma işlemini doğrudan yapan bir araçtır (Bezdek, 1981).

Bu yöntemlere ek olarak, sinir ağları ve genetik yordamlar yardımıyla da fonksiyon seçimi yapılmakta ve bulanıklaştırma gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler temel olarak, girdi ve çıktılar arasındaki ilişkilerin optimizasyonuna dayanır.

Maksimum Üyelik Yöntemi: Yöntem, yükseklik metodu olarak da isimlendirilmektedir. (25) ifadesinde tanımlandığı üzere, kurallar sonucunda oluşan alanın en üst noktası (peak), verinin durulaştırılmış değeri olarak alınır (Şekil 3.22).

$$\mu_C(z^*) \geq \mu_C(z) \quad (25)$$



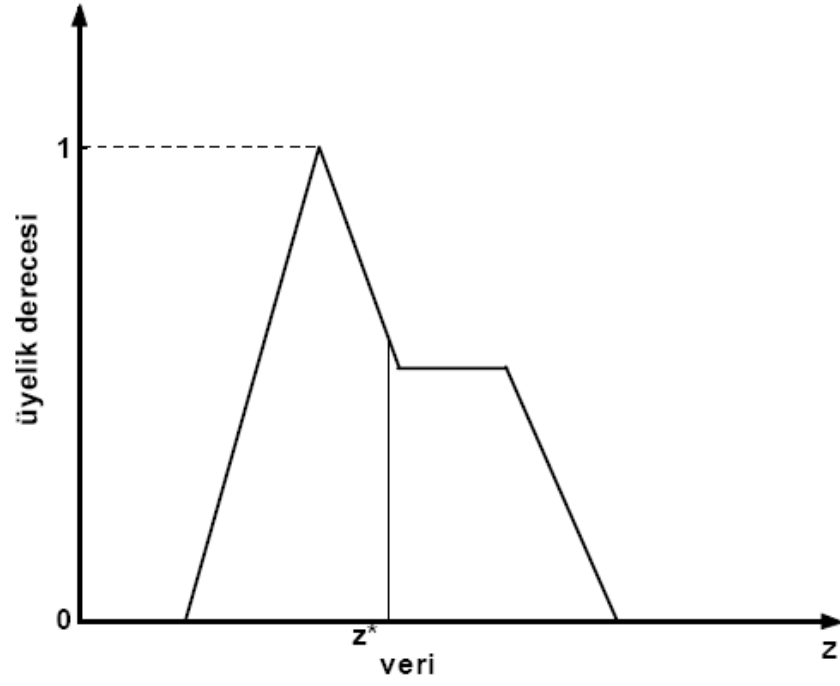
Şekil 3.22. Maksimum üyelik yöntemi

Ağırlık Merkezi Yöntemi: Alan merkezi olarak da tanımlanır (Şekil 3.23). Yöntemin cebirsel ifadesi (26) eşitliği ile verilmiştir.

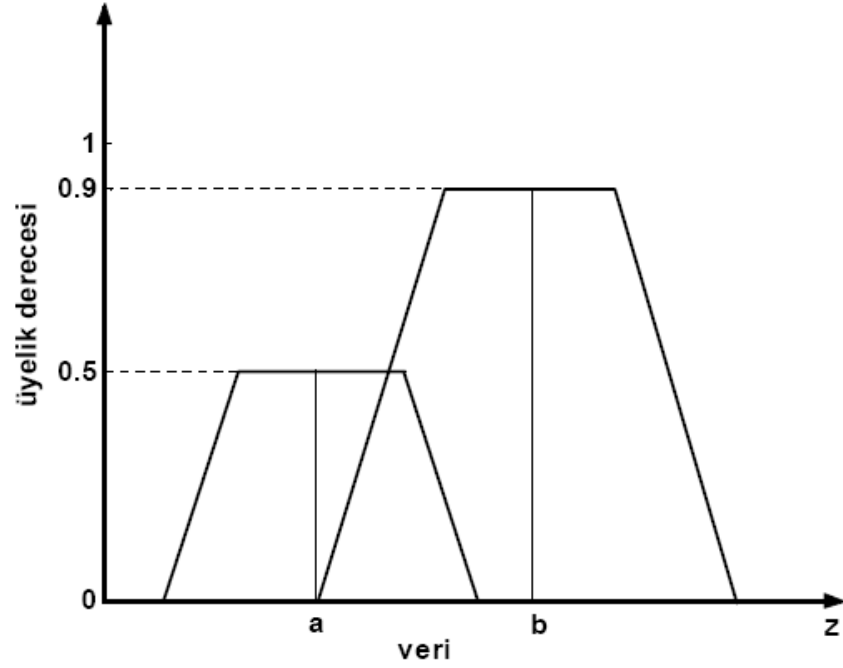
$$z^* = \frac{\int \mu_C(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu_C(z) \cdot dz} \quad (26)$$

Ağırlıklı Ortalama Yöntemi: Yalnızca simetrik çıktılar söz konusu olduğunda geçerli bir yöntemdir (Şekil 3.24).

$$z^* = \frac{\sum \mu_C(z) \cdot \bar{z} \cdot dz}{\sum \mu_C(z)} \quad (27)$$



Şekil 3.23 Ağırılık merkezi yöntemi

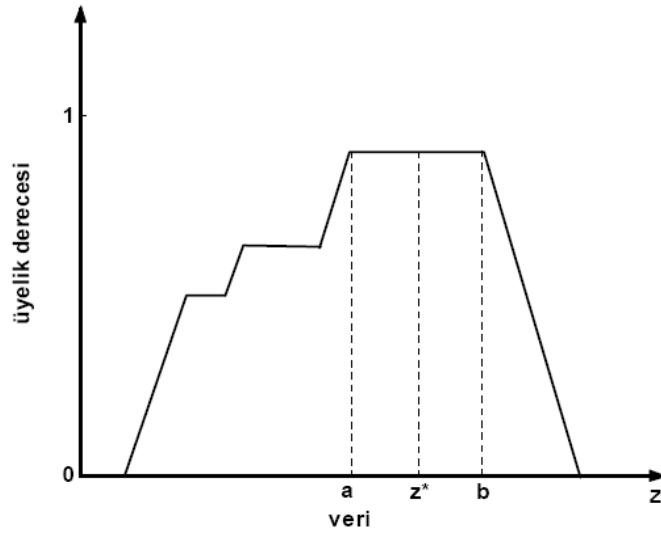


Şekil 3.24. Ağırıklı ortalama yöntemi

Ortalama-Maksimum Üyelik Yöntemi: Bu yöntem bazı kaynaklarda “maksimumların ortalaması” olarak da tanımlanmaktadır (Şekil 3.25). Maksimum

üyelik yaklaşımından çözümü ayıran temel fark birden fazla maksimum noktanın (bir düzgün yüzeyin) söz konusu olmasıdır. (28) eşitliğinde verildiği gibi, bu maksimumların ortalaması alınır.

$$z^* = \frac{a + b}{2} \quad (28)$$



Şekil 3.25. Ortalama-maksimum üyelik yöntemi

3.2.3.6. Mamdani Bulanık Modelleme Tekniği

Modelleme tekniğinin ilk yapısı makinelerin kontrol sistemlerinde kullanılmıştır (Mamdani, 1974; Mamdani ve Assilian, 1975). Özellikle dilsel ifadelerin modellenmesinde kullanılan yöntem, uzman görüşü temel alınarak sezgisel hesaplamaya da elverişli olması nedeniyle farklı mühendislik sistemlerinde kullanım alanı bulmuştur (Grima, 2000). Mamdani modellemede, sistem tanımlamada kullanılan matematiksel denklemlerin yerini eğer-ise (if-then) biçiminde kurallar almaktadır. Mamdani modelin yapısı (29) eşitliği ile ifade edilmektedir (Mamdani, 1977).

$$R_i: \text{EĞER } x_i = A_{i1} \text{ ve } \dots \text{ ve } x_r = A_{ir} \text{ İSE } y = B_i \quad (i=1,2,\dots,k) \quad (29)$$

Burada; k kural sayısını, r girdi değişken sayısını, x_i girdi değişkenlerini, y çıktı değişkenini A_{ij} ve B_i ise dilsel terimleri (bulanık kümeleri) ifade etmektedir.

Mamdani modelde, her kuralın katkısı birer bulanık kümedir. Modele girdi olarak beslenen x 'in üyelik değeri A' ve çıktının üyelik değeri ise B' olsun. Girdi-çıkı ilişkisi (30) eşitliği ile tanımlıdır.

$$B' = A' \circ R' \quad (30)$$

Bu eşitlikteki “ $\circ$ ” sembolü, sup-t bileşimi olarak adlandırılır (Klir ve Yuan, 1995). Sup-t, matematiksel olarak bir maksimum alma işlemidir. Kuralların etkinliğinin belirlenmesinde kullanılan bulanık ilişki terimi R (31) deki eşitlikle hesaplanır.

$$\mu_{R_i}(x, y) = I(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y)) \quad (31)$$

Burada, I sembolü, içleme (implication) veya birleştirme (conjunction) operatörü (örneğin, min.) olarak kullanılır. Örnek olarak; minimum işleminin kullanıldığı bir model yapısında, $(\mu_{A_i}$ ve $\mu_{B_i})$ ifadeleri içinden küçük olan değer seçilir. Birden fazla kuralın kullanıldığı bir sistemde de, her girdinin kurallardaki etkinliklerinin minimumu alındıktan sonra, her kuralın çıktısı da minimum alınarak tespit edilir. Elde edilen minimumların maksimumunun alınması işlemine maksimum-minimum çıkarım (max-min inference) veya “Mamdani Çıkarım Yordamı” adı verilir. Yordam matematiksel olarak 3 aşamadan oluşmaktadır (Babuska, 1998).

1. Aşama: Öncül (girdi) kısımların kurallar tarafından ifade edilme dereceleri (fulfillment) α_i , (32) eşitliği ile belirlenir.

$$\alpha_i = \mu_{A_{i1}}(x_1) \wedge \mu_{A_{i2}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{A_{in}}(x_n), \quad 1 \leq i \leq k \quad i: \text{kural} \quad (32)$$

2. Aşama: Her kural için çıktı kısımlar B_i' içinden t-norm yardımıyla minimum olan üyeliğin seçimi (33) eşitliğindeki işlemle yapılır.

$$\mu_{B_i'}(y) = \alpha_i \wedge \mu_{B_i}(y) \quad (33)$$

3. Aşama: Son aşamada, çıktı bulanık kümelerin toplamı (aggregation), maksimum (union) operatörü kullanılarak bulunur. İşlem (34)'deki matematiksel eşitliğe uygun olarak yapılır.

$$\mu_{B'}(y) = \max(\mu_{B_i}(y)), \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (34)$$

Çıkarım sonucunda elde edilen sonuç bulanık olduğundan bu değerın durulaştırılması gereklidir. Bu aşamada, uygun bir durulaştırma yordamı kullanılarak sayısal çıktı elde edilir.

İki girdi ve bir çıktıdan oluşan Mamdani modele ilişkin bir örnek, Şekil 3.26'da verilmiştir. Parametreler şunlardır:

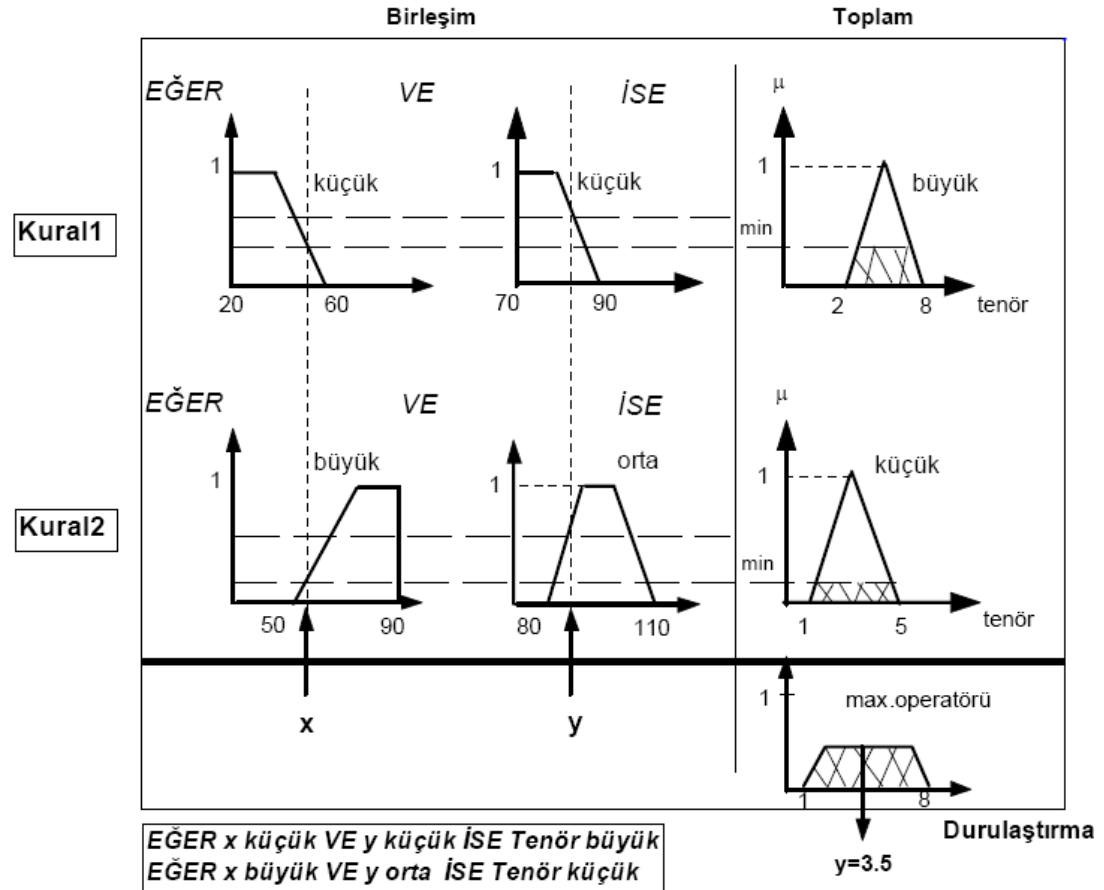
Girdiler: Veriye ait x ve y koordinatları.

Çıktı: Koordinatlara karşılık gelen tenör değerleri.

Kural Sayısı: 2

Seçilen operatör türü: max(min).

Durulaştırma Yöntemi: Ağırlıklı ortalama

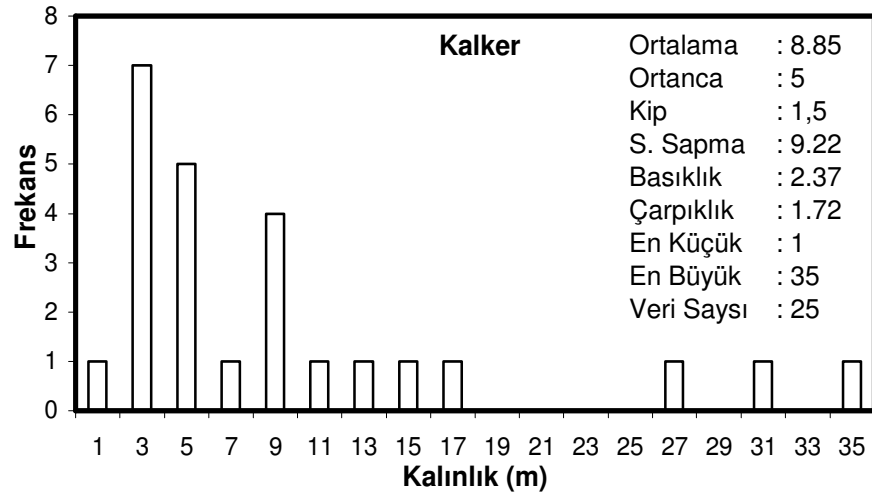


Şekil 3.26. Mamdani modelin şematik gösterimi (Tütmez, 2005)

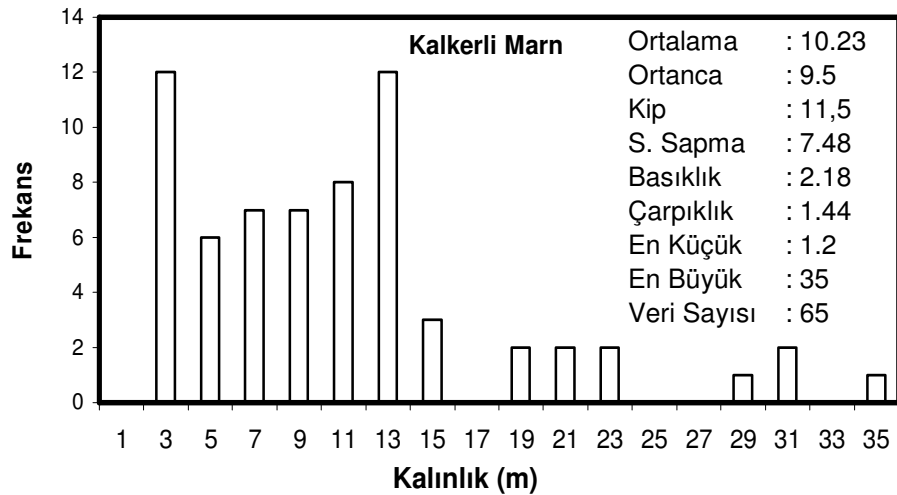
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Verilerin Değerlendirilmesi

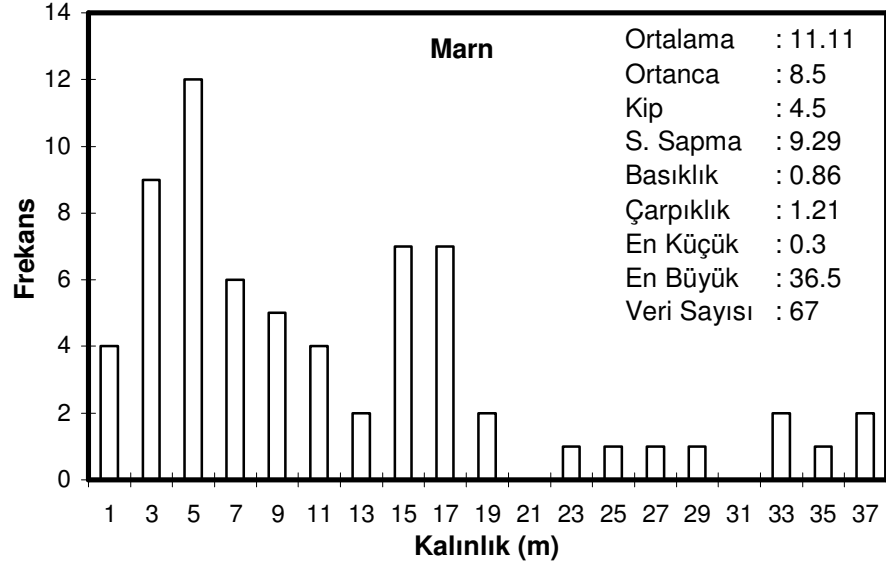
Modelleme için gerekli olan veri seti hammadde sahasında 1992, 2004 ve 2006 yıllarında yapılmış olan toplam 74 adet sondaj'a ait bilgilerinden elde edilmiştir. Her bir karotlu sondaj logundaki kimyasal analizlere bakılarak (CaCO_3) formasyonlar sınıflandırılmış ve her bir sondaj lokasyonu için kesilen toplam kalınlık ve ağırlıklı ortalama kimyasal analiz değerleri atanmıştır. Belirlenen her bir formasyona ait kalınlık değerlerinin dağılımları ve tanımlayıcı istatistiksel bilgileri Şekil 4.1-4'de belirtilmiştir.



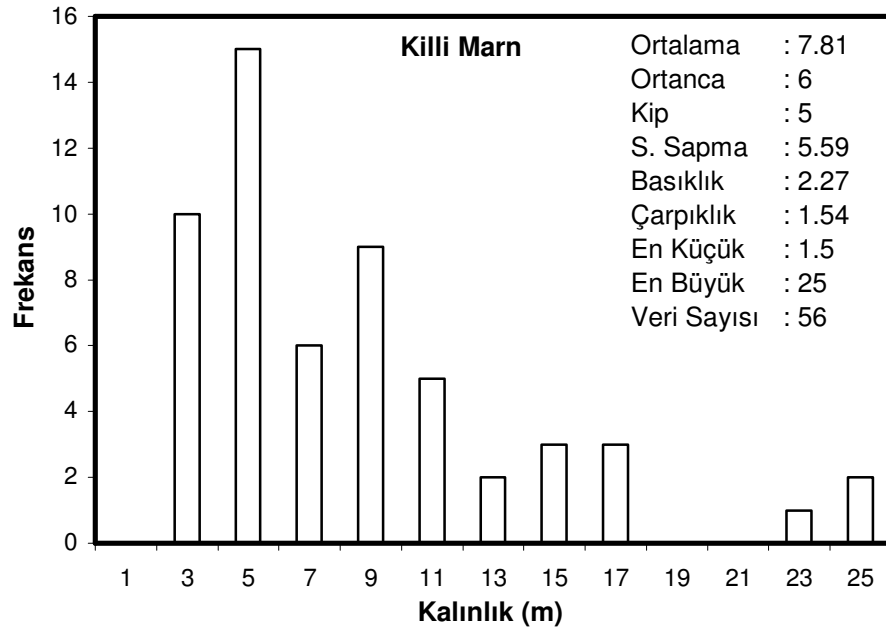
Şekil 4.1. Kalker kalınlık dağılımı ve istatistiksel bilgiler



Şekil 4.2. Kalkerli marn kalınlık dağılımı ve istatistiksel bilgiler



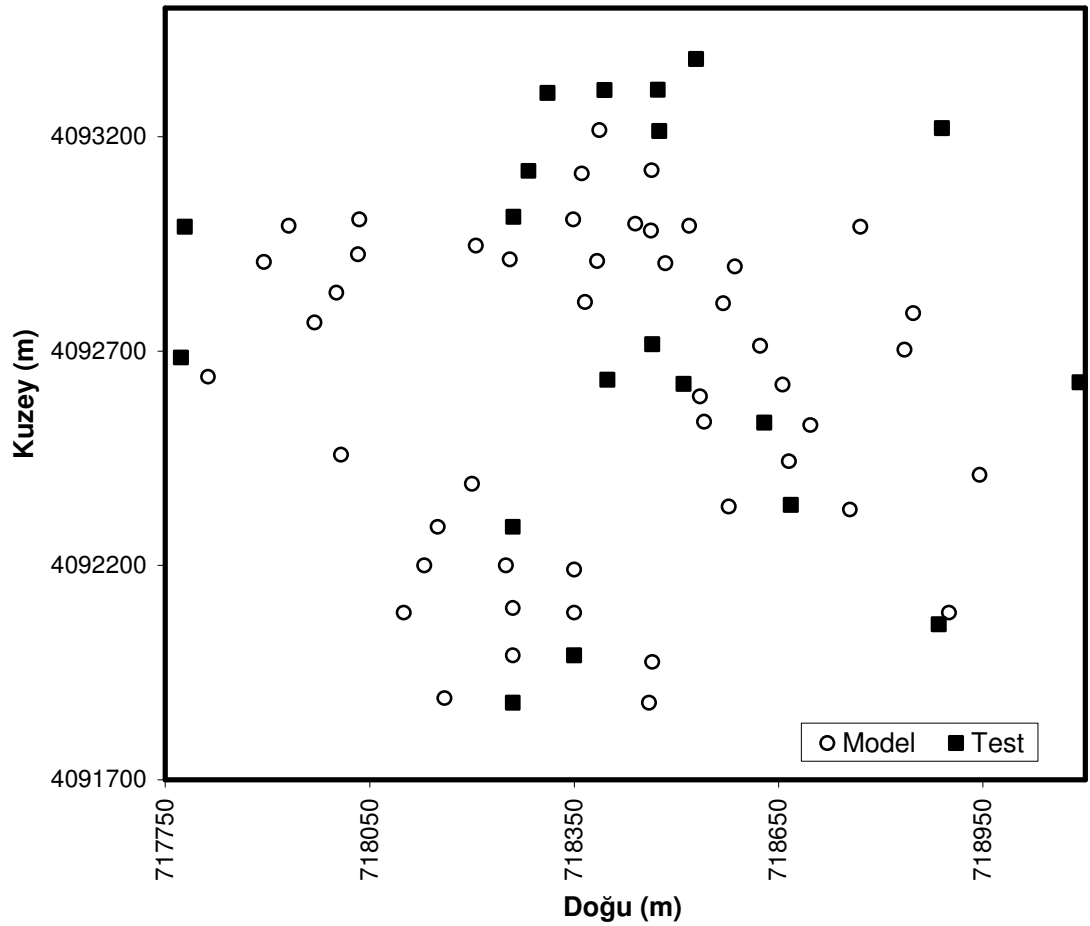
Şekil 4.3. Marn kalınlık dağılımı ve istatistiksel bilgiler



Şekil 4.4. Killi marn kalınlık dağılımı ve istatistiksel bilgiler

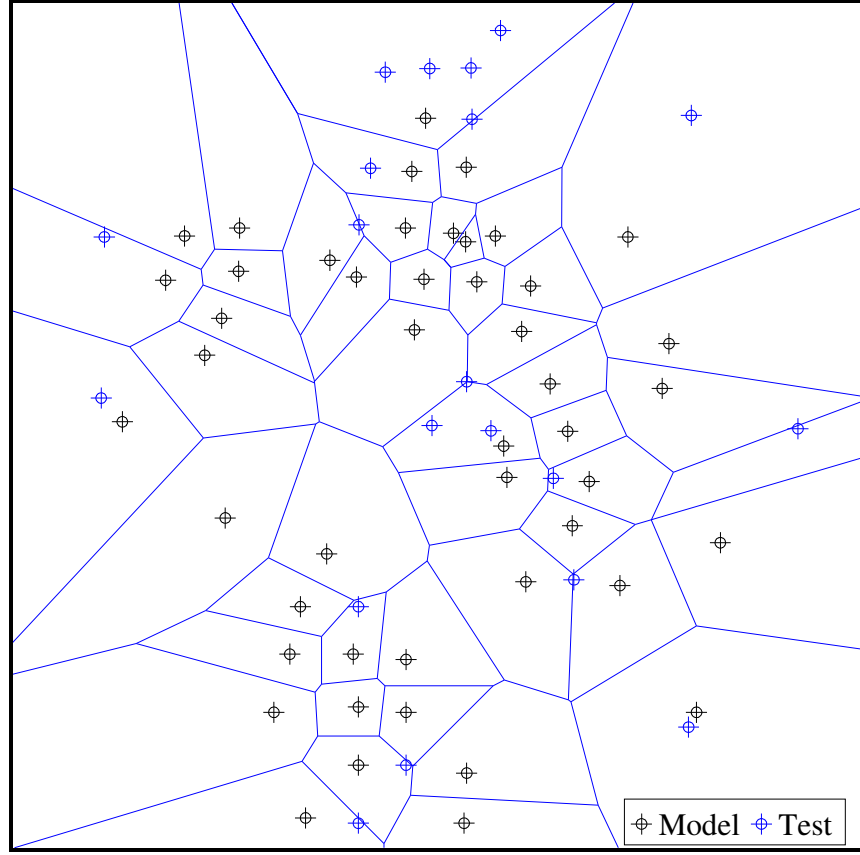
4.2. Performans Değerlendirmesi

Poligon, kriging ve bulanık yaklaşımlarının tahmin performanslarının karşılaştırılması için en çok sayıda (67 adet) kalınlık değeri bilinen marn formasyonuna ait veriler kullanılmıştır. Bu verilerin yaklaşık olarak %70'lik bölümü (47 lokasyon) model, %30'luk bölümü ise (20 lokasyon) test için rastgele ayrılmıştır (Şekil 4.5).



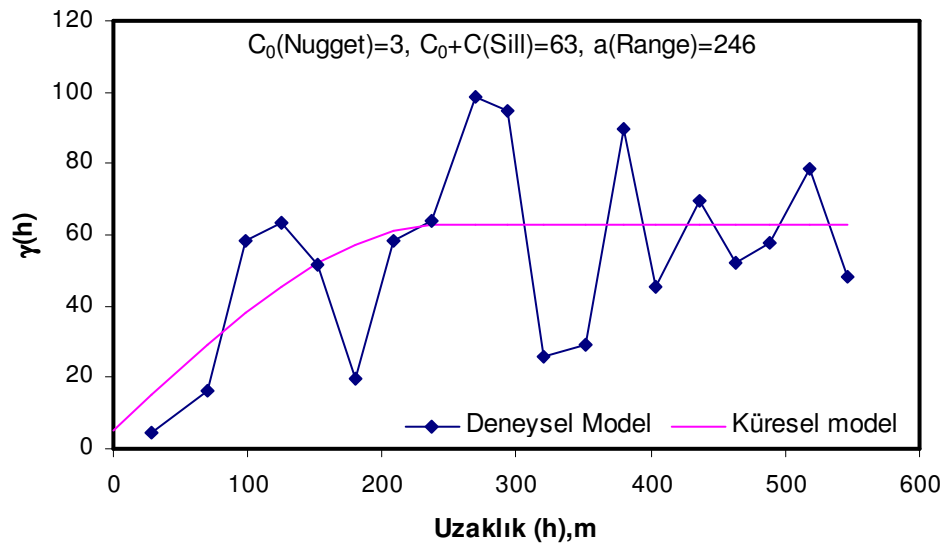
Şekil 4.5. Model ve test olarak belirlenen lokasyonlar

Poligon yönteminin performansının testi için önce model verileri ile poligonlar oluşturulmuş (Şekil 4.6) ve sonra test lokasyonların düştüğü poligon alanına bakılarak kalınlık değerleri kestirilmiştir.



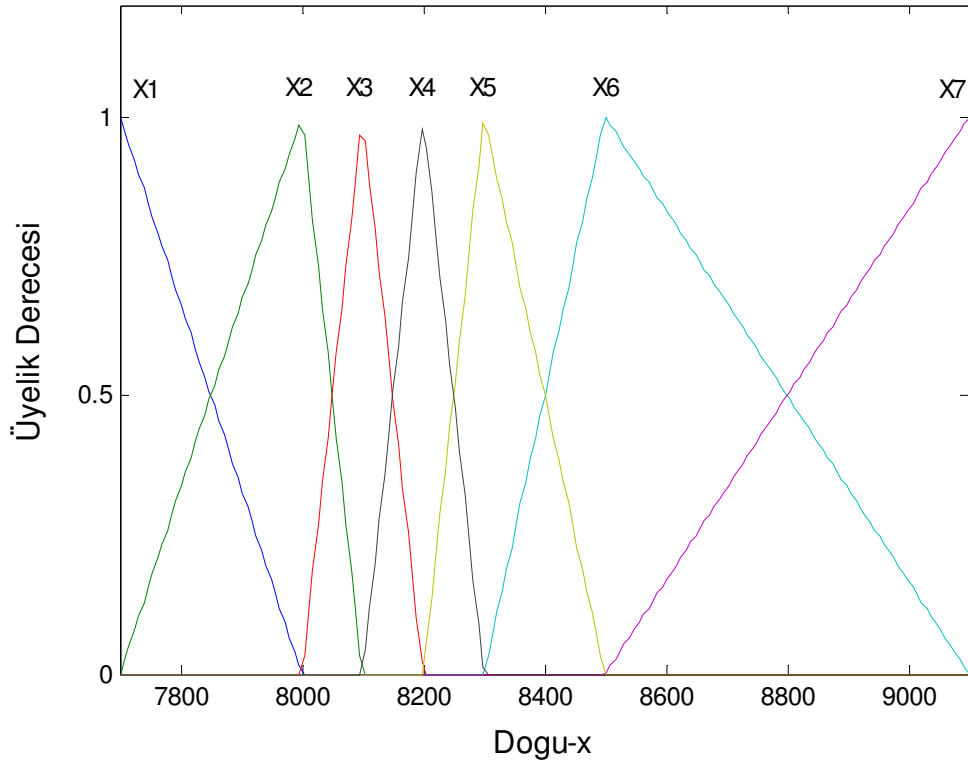
Şekil 4.6. Kalınlık kestirimi için elde edilen poligonlar

Kriging ile kestirimin performansı için yine model verileri yapılan analizler ile Şekil 4.7 deki variogram ve parametreleri belirlenmiş buna göre de test lokasyonlarına ait kalınlıklar tahmin edilmiştir.

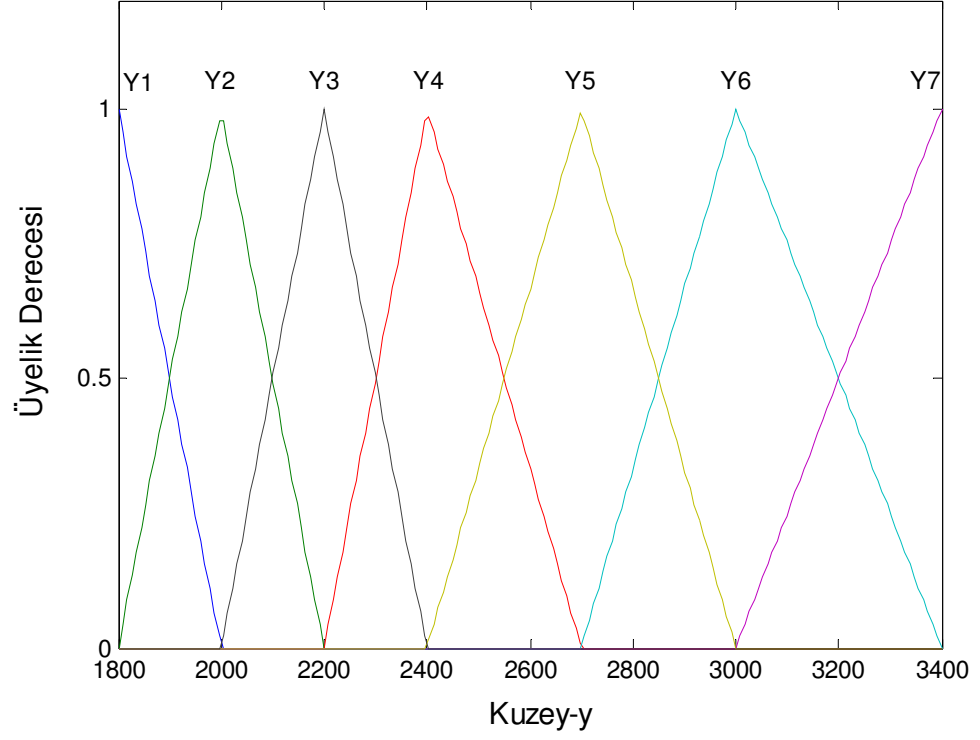


Şekil 4.7. Marn model verileri ile elde edilen variogram ve parametreleri

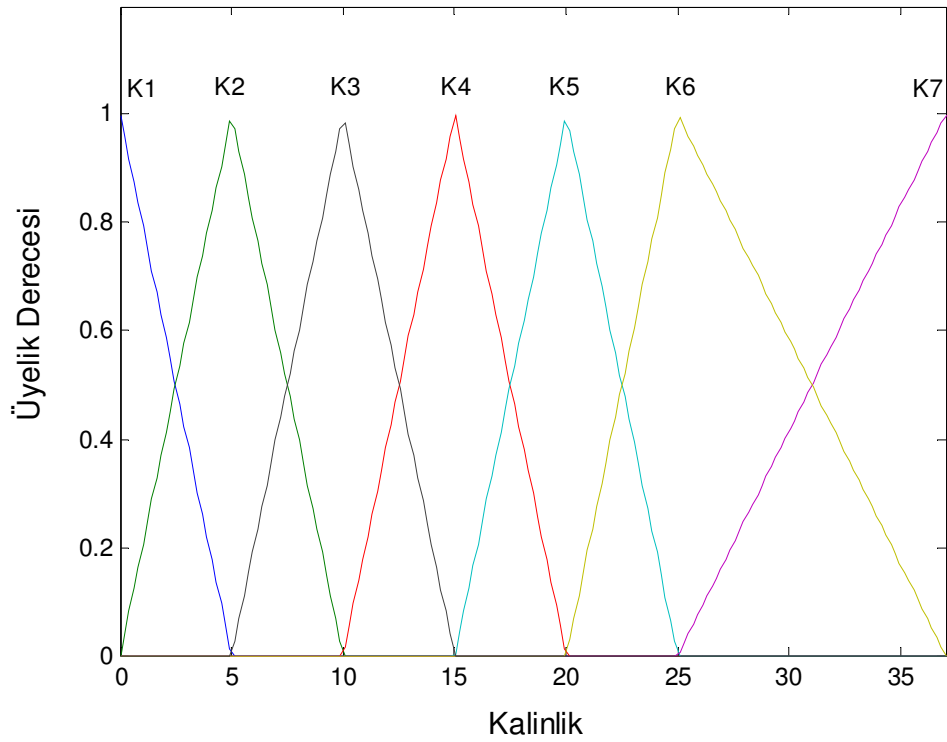
Bulanık yaklaşımla tahmin performansı için de aynı veriler (model data) kullanılmıştır. Bu verilere ait üyelik fonksiyonları oluşturulurken doğu koordinatı için “X”, kuzey koordinatı için “Y” ve kalınlık için “K” simgeleri kullanılmıştır. Hem girdi hem de çıktı için belirlenen 7 adet bulanık küme (dilsel ifade) üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterilmiştir. İndislerle gösterilen (örneğin X1, X2, ... X7 gibi) bu 7 adet dilsel ifadede 1-çok düşük, 2-düşük, 3-ortak düşük, 4-orta, 5-orta yüksek, 6-yüksek ve 7-çok yüksek anlamındır. Girdi olarak kullanılan koordinat değerleri standartlaştırılarak (Doğu-x'den 71000, Kuzey-y'den 4090000 değeri çıkartılarak) en düşük ve en yüksek koordinat değerlerine göre Şekil 4.8-9'da görüldüğü gibi uygun aralık değerlerinde üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Çıktı olarak kalınlık için de en düşük ve en yüksek kalınlık değerlerine göre Şekil 4.10'da görüldüğü aralık değerlerinde üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Bu kümeler ile model verilerine ait girdi ve çıktılar arasındaki mantıksal ilişkileri gösteren Çizelge 4.1 deki 14 adet kurallar sistemleri ile de test lokasyonlarına ait kalınlıklar kestirilmiştir.



Şekil 4.8. Marn model verilerine göre girdi-doğu koordinatı üyelik fonksiyonu



Şekil 4.9. Marn model verilerine göre girdi-kuzey koordinatı üyelik fonksiyonu



Şekil 4.10. Marn model verilerine göre çıktı-kalınlık üyelik fonksiyonu

Çizelge 4.1. Marn model verilerine göre oluşturulan kurallar

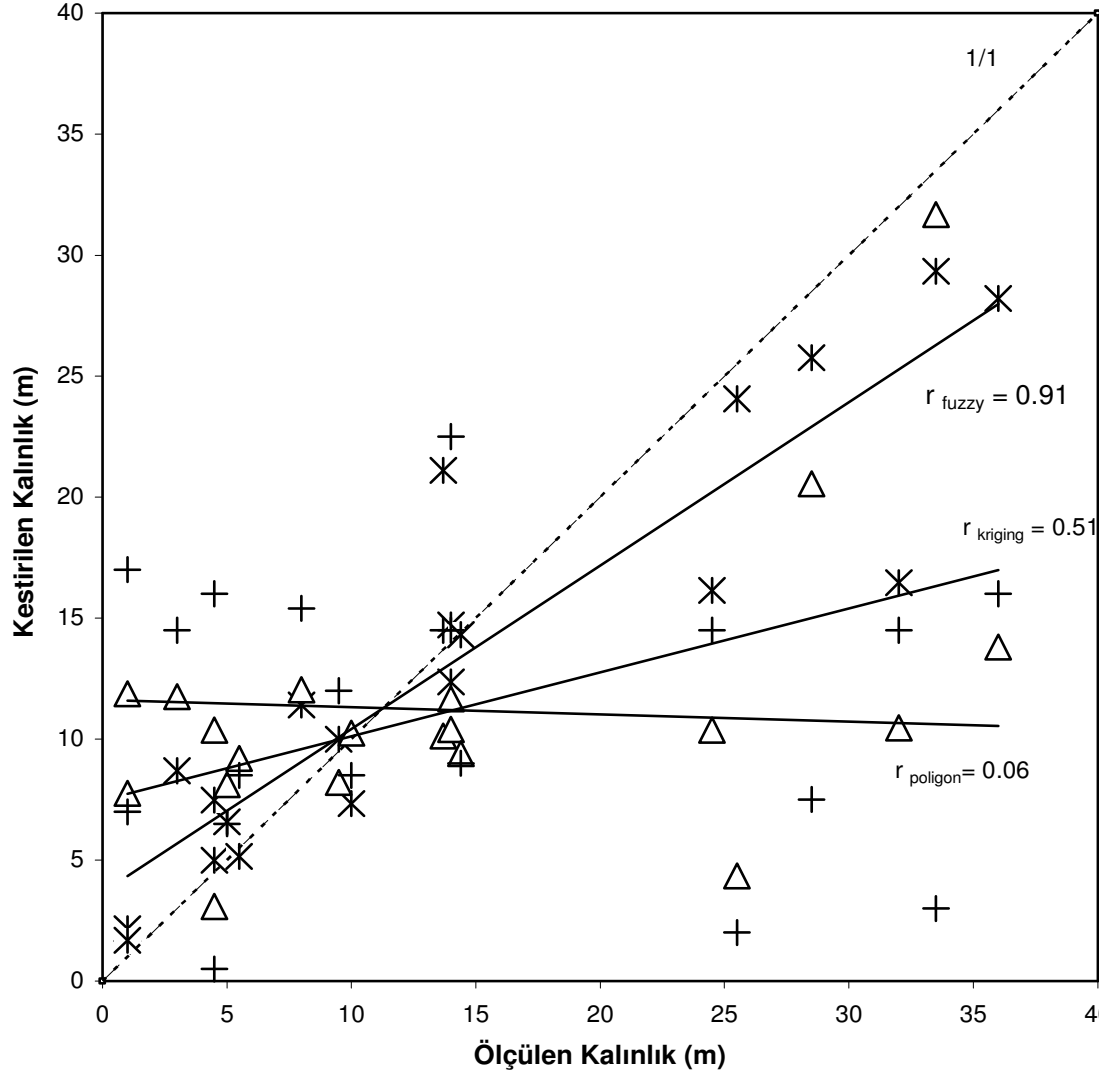
1.	Eğer	(Doğu-x is X7)	and	(Kuzey-y is Y7)	Then	(Kalınlık is K6)
2.	Eğer	(Doğu-x is X1)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K1)
3.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K6)
4.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K1)
5.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y7)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

Marn kalınlık model verileri ile yapılan modellemeler sonucu elde edilen bilgilerle poligon, kriging ve bulanık yaklaşımlar ile test verileri tahmin edilmiş ve yapılan tahminlerin performansları için korelasyon katsayılarının (Şekil 4.11) yanı sıra modellere ait VAF (Variance Account For) ve RMSE (Karekök Ortalama Hata Payı) değerlerine de bakılmıştır. Çizelge 4.2’de topluca verilen performanslara bakıldığında, daha yüksek korelasyon katsayısı (r) ve RMSE, daha düşük VAF değerleri ile bu saha ve sahaya ait verilere bağlı olarak bulanık yaklaşımın daha güçlü bir kestirim olduğu görülmüştür.

$$VAF = \left[1 - \frac{\text{var}(t - t^*)}{\text{var}(t)} \right] \times 100 \quad (35)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t - t^*)^2} \quad (36)$$

Burada, t gözlem, t^* ise kestirilen değerlerdir.

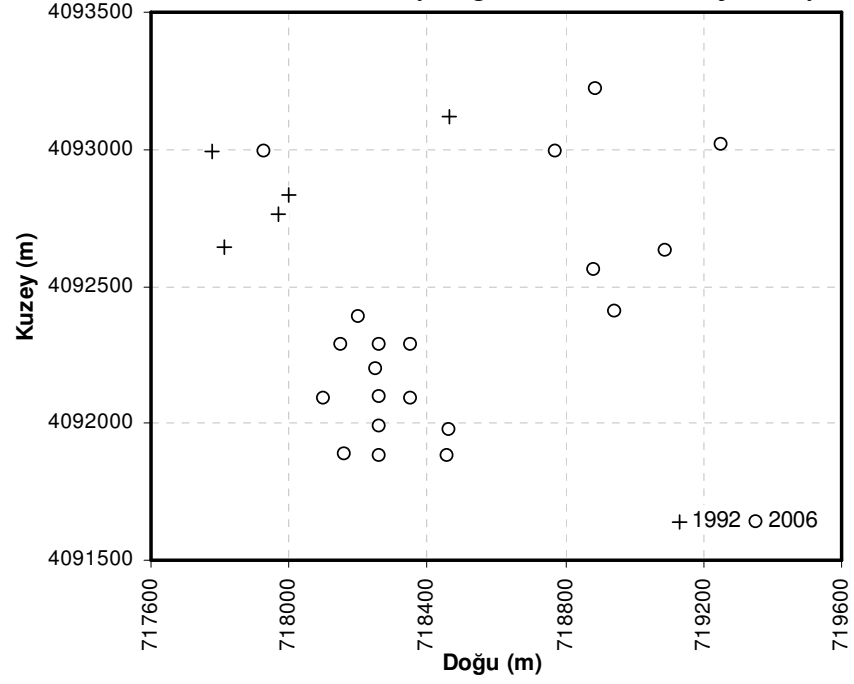


Şekil 4.11. Kestirimlerin performansları

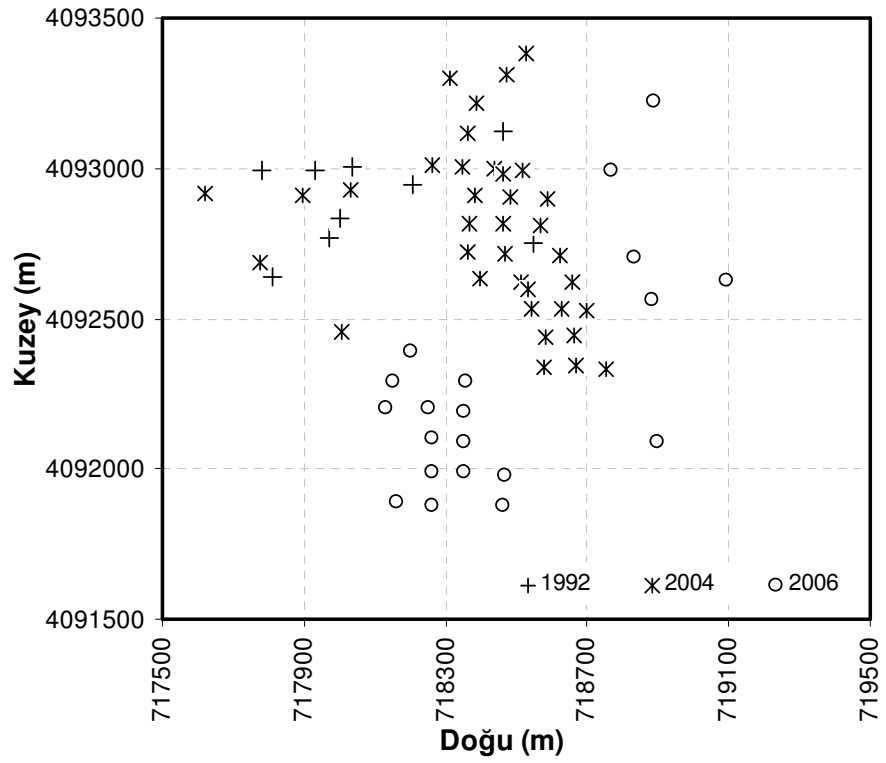
Çizelge 4.2. Modellere ait performans ölçümleri

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

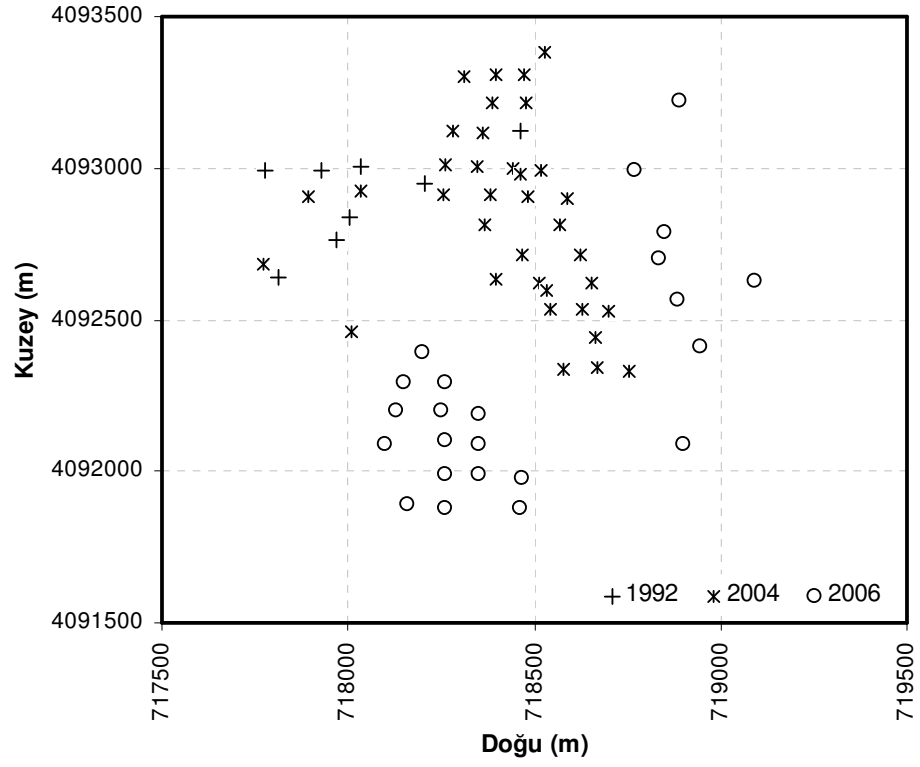
Şekil 4.12. Hammadde sahasının uydu görüntüsü ve sondaj lokasyonları



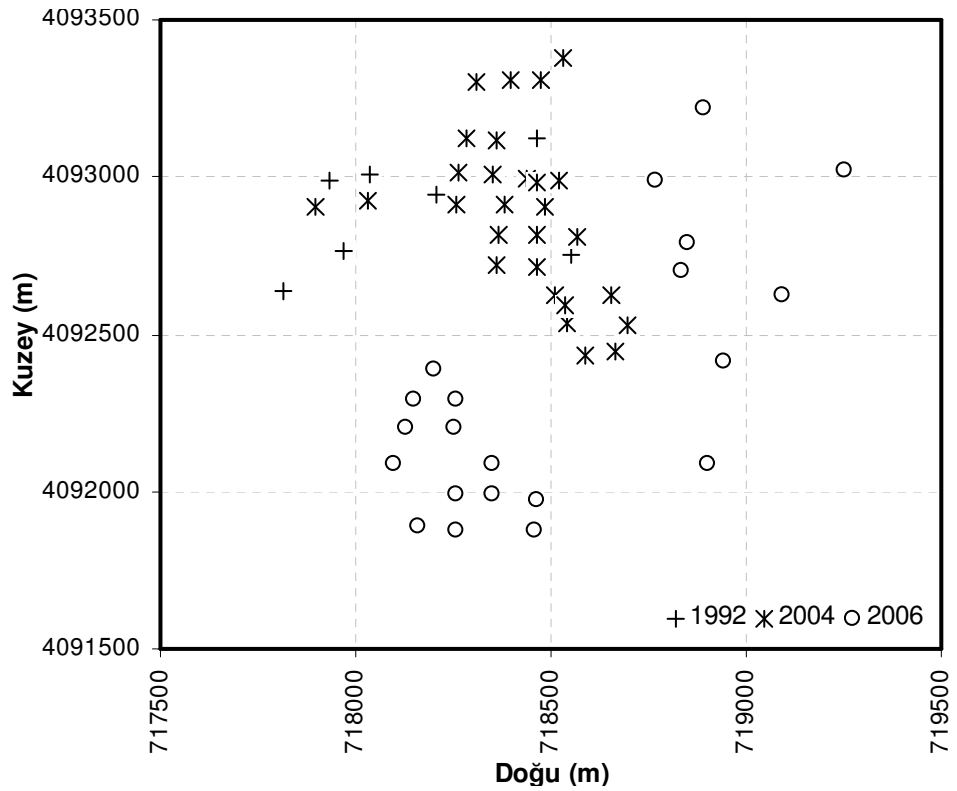
Şekil 4.13. Kalker kesen sondajlar



Şekil 4.14. Kalkerli marn kesen sondajlar



Şekil 4.15. Marn kesen sondajlar



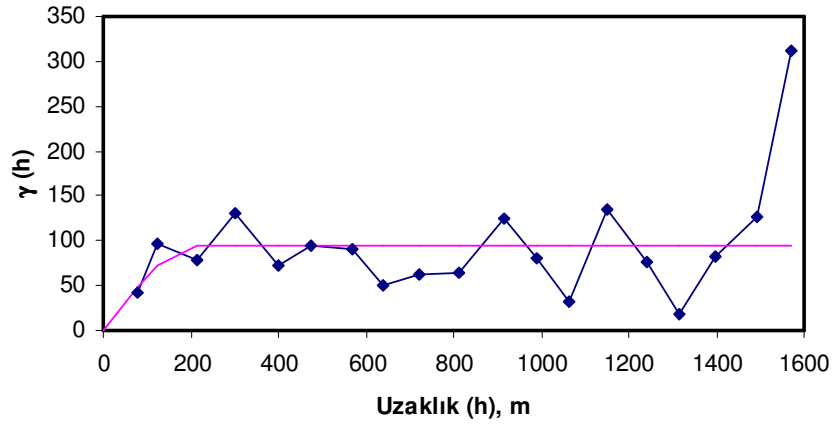
Şekil 4.16. Killi marn kesen sondajlar

4.3.1. Jeostatistiksel Modelleme

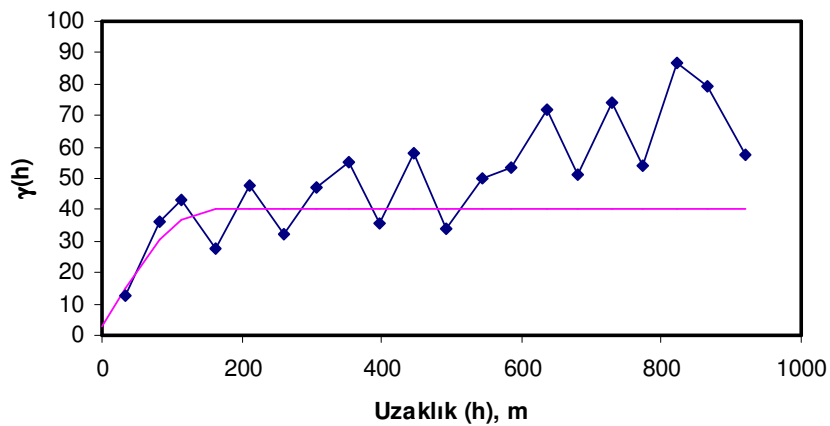
Jeostatistiksel analizler Mert (2004) tarafından geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır.

Bütün formasyonlara ait kalınlık verileri ile yönlü variogram analizleri yapılmış ve hiç birisinde hem geometrik hem de zonal anizotropi gözlenmemiştir. Bu nedenle yönsüz variogram modelleri kullanılmıştır.

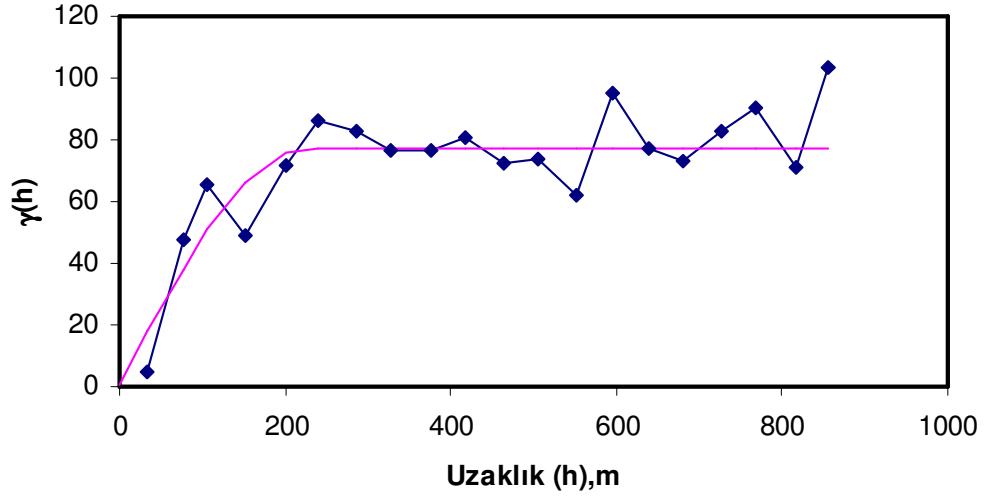
Kalkere ait 25 adet kalınlık verileri ile elde edilen variogram modeli Şekil 4.17’de, kalkerli marn’a ait 65 kalınlık verisi ile elde edilen variogram modeli Şekil 4.18’de, marn’a ait 67 kalınlık verisi ile elde edilen variogram modeli Şekil 4.19’da ve killi marn’a ait 56 kalınlık verisi ile elde edilen variogram modeli de Şekil 4.20’de verilmiştir. Bu modellere ait variogram parametreleri Çizelge 4.3’de topluca gösterilmiştir.



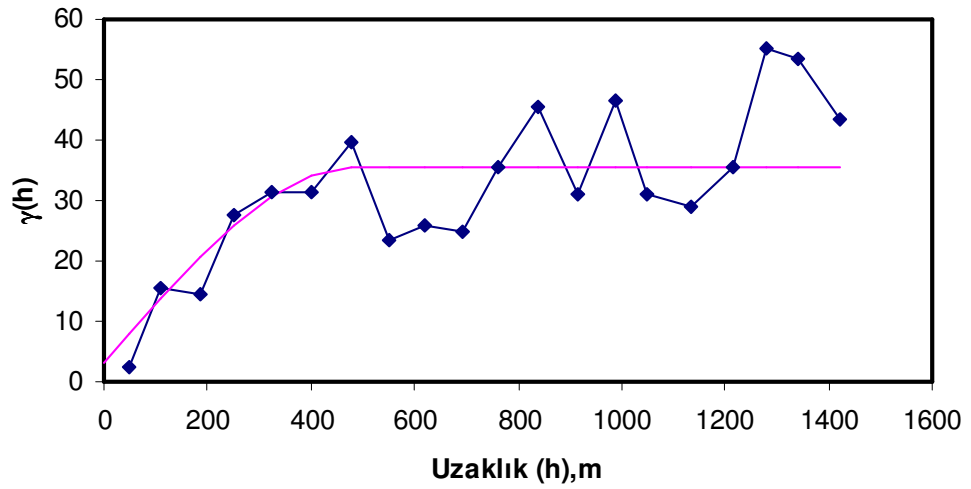
Şekil 4.17. Kalker kalınlık variogram modeli



Şekil 4.18. Kalkerli marn kalınlık variogram modeli



Şekil 4.19. Marn kalınlık variogram modeli



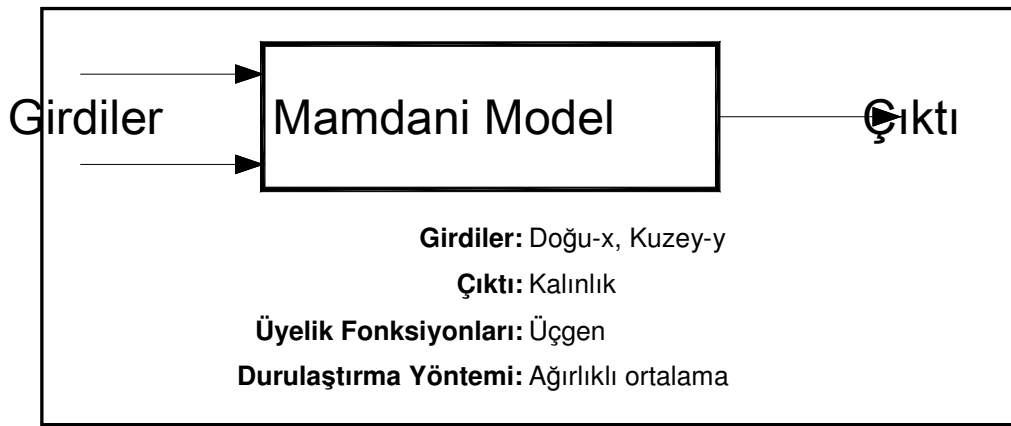
Şekil 4.20. Killi marn kalınlık variogram modeli

Çizelge 4.3. Kalınlık variogram parametreleri

Parametre	Kalker	Kalkerli Marn	Marn	Killi Marn
Model Tipi	Küresel	Küresel	Küresel	Küresel
C_0 (Külçe)	1	3	1	3
C_1	94	37	76	32.5
C (C_0+C_1 -Sill)	95	40	77	35.5
a (Etki mesafesi-Range)	220	151	225	487

4.3.2. Bulanık Linguistik (Mamdani) Modelleme

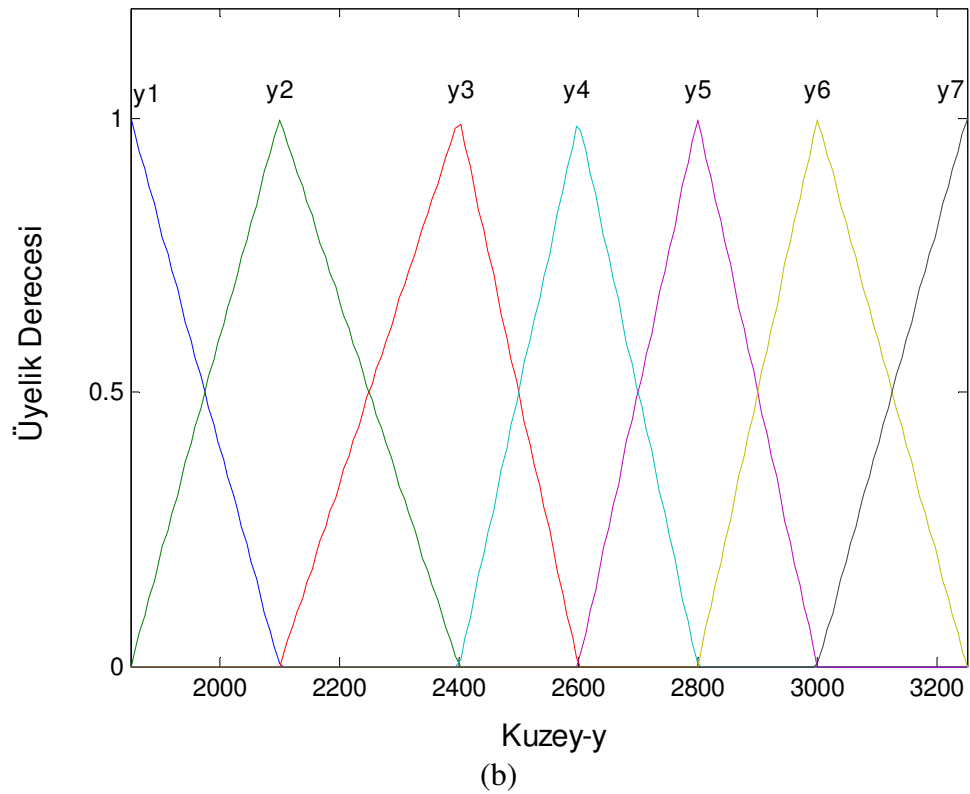
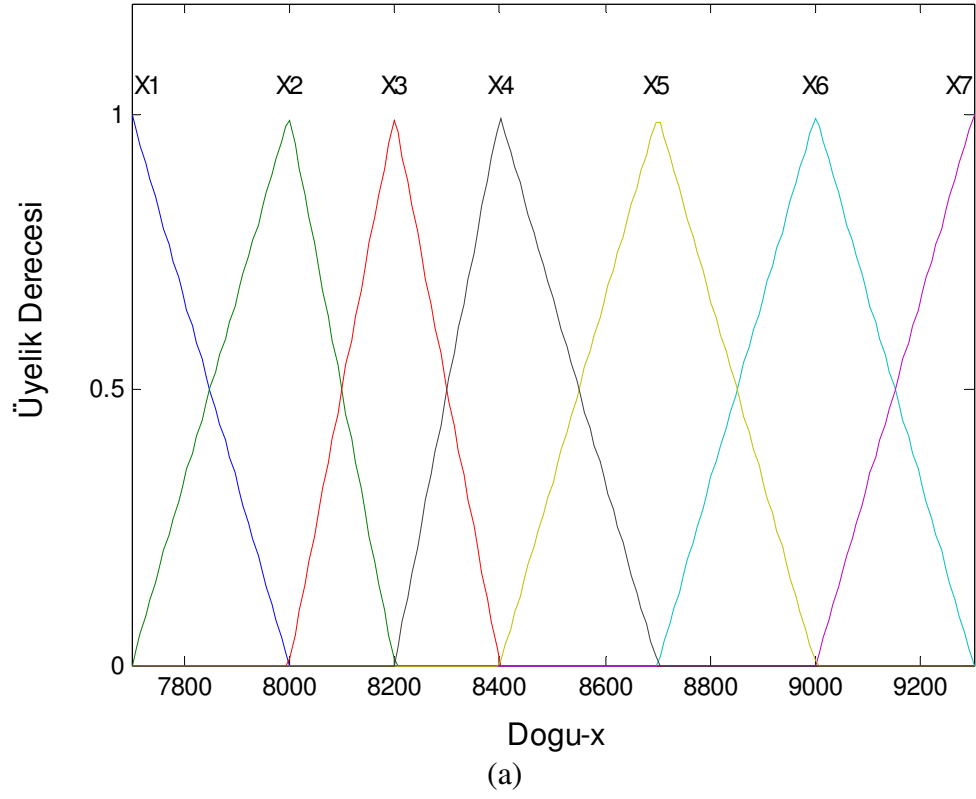
Mamdani modelleme MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'ları ile Şekil 4.21'de verilen modele göre yapılmıştır.



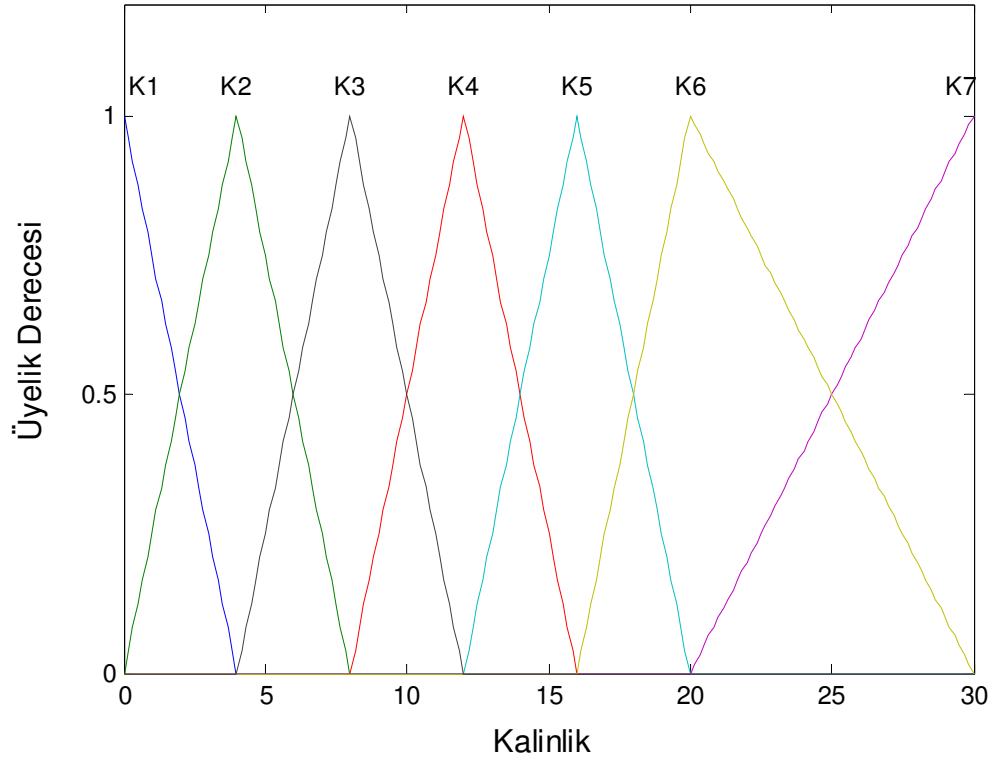
Şekil 4.21. Oluşturulan bulanık model

Saha bulanık yaklaşımla modellenirken her bir formasyonu kesen sondaj koordinatları ve kalınlık bilgileri gözlem verileri olarak alınmıştır. Performans kestirimi konusunda marn model verileri ile yapılan bulanık yaklaşım modellemesinde anlatıldığı gibi her bir formasyonu kesen sondaj lokasyonları (doğu ve kuzey) önce standartlaştırılmış sonra hem lokasyon hem de kalınlık için 7 adet bulanık küme ve her bir küme için de birer adet üçgen üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Her bir formasyona ait elde edilen bu üç fonksiyona bakılarak uygun kurallar sistemi oluşturulmuştur.

Kalker kesen 25 adet sondaj bilgilerine göre Şekil 4.22-23'de verilen üyelik fonksiyonları tanımlanmış ve bu üç fonksiyona göre oluşturulan 17 adet kural Çizelge 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.22. Kalker verilerine göre girdi-(a) doğu (b) kuzey koordinatı üyelik fonksiyonları

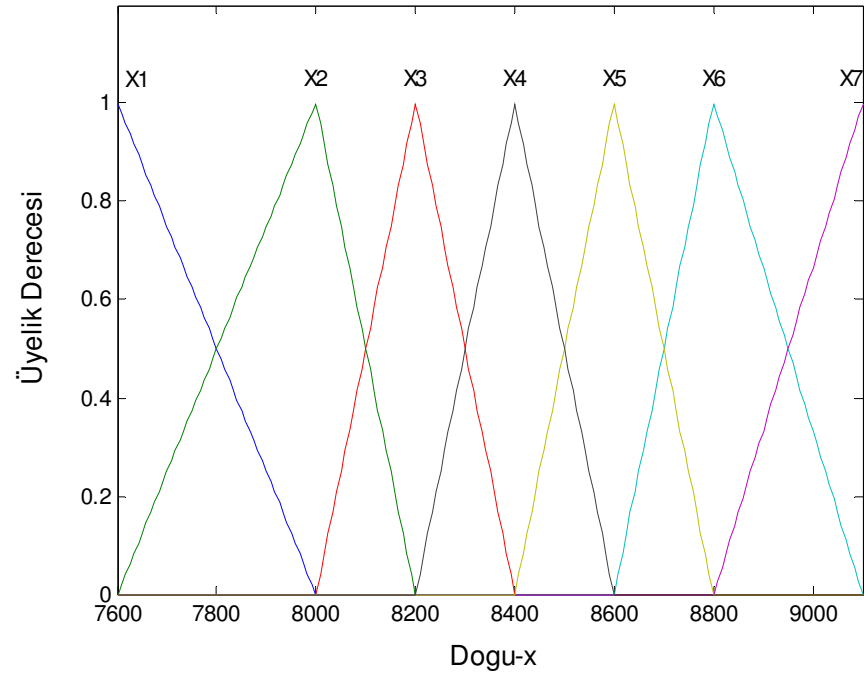


Şekil 4.23. Kalker verilerine göre çıktı-kalınlık üyelik fonksiyonu

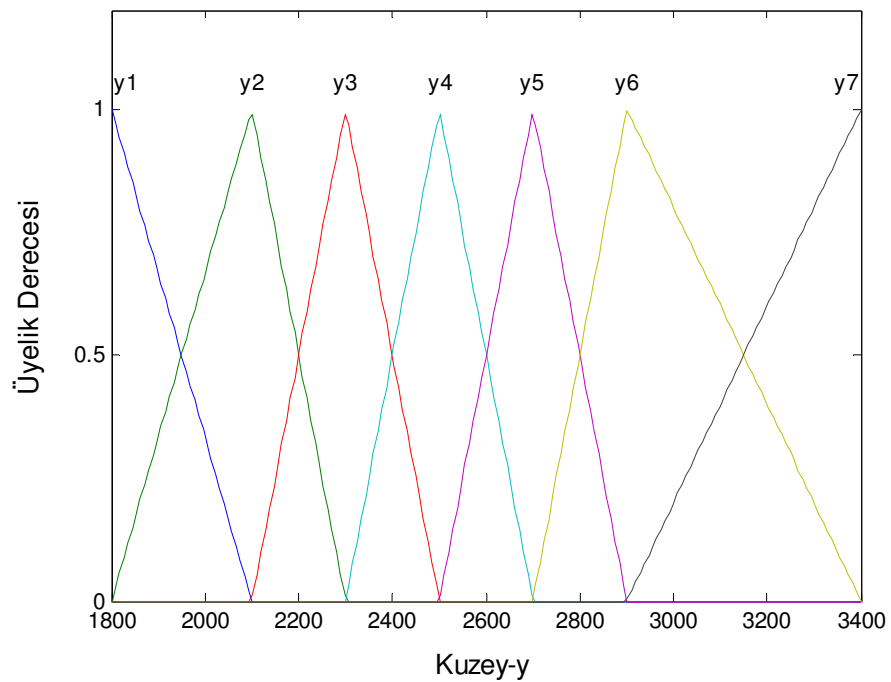
Çizelge 4.4. Kalker verilerine göre elde edilen kurallar

1.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K4)
2.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K3)
3.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K3)
4.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K2)
5.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K5)
6.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K4)
7.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y3)	Then	(Kalınlık is K4)
8.	Eğer	(Doğu-x is X7)	and	(Kuzey-y is Y3)	Then	(Kalınlık is K1)
9.	Eğer	(Doğu-x is X7)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K2)
10.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K2)
11.	Eğer	(Doğu-x is X7)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K3)
12.	Eğer	(Doğu-x is X2)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K2)
13.	Eğer	(Doğu-x is X1)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K1)
14.	Eğer	(Doğu-x is X2)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K2)
15.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K2)
16.	Eğer	(Doğu-x is X1)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K2)
17.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y3)	Then	(Kalınlık is K2)

Kalkerli marn kesen 65 adet sondaj bilgilerine göre Şekil 4.24-25’de verilen üyelik fonksiyonları tanımlanmış ve bu üç fonksiyona göre oluşturulan 22 adet kural Çizelge 4.5’de verilmiştir.

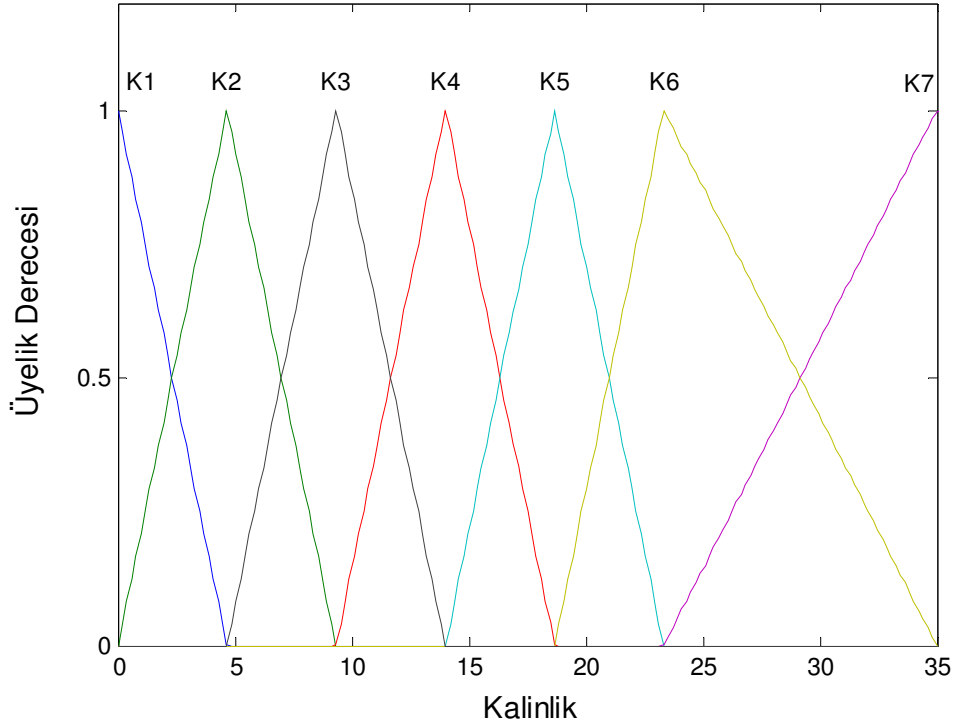


(a)



(b)

Şekil 4.24. Kalkerli marn verilerine göre girdi-(a) doğu (b) kuzey koordinatı üyelik fonksiyonları

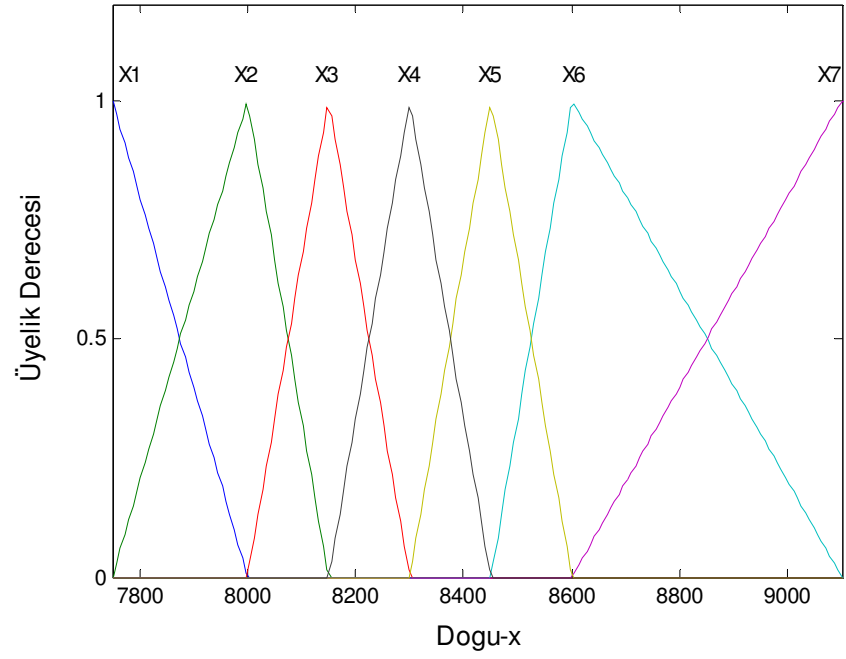


Şekil 4.25. Kalkerli marn verilerine göre çıktı-kalınlık üyelik fonksiyonu

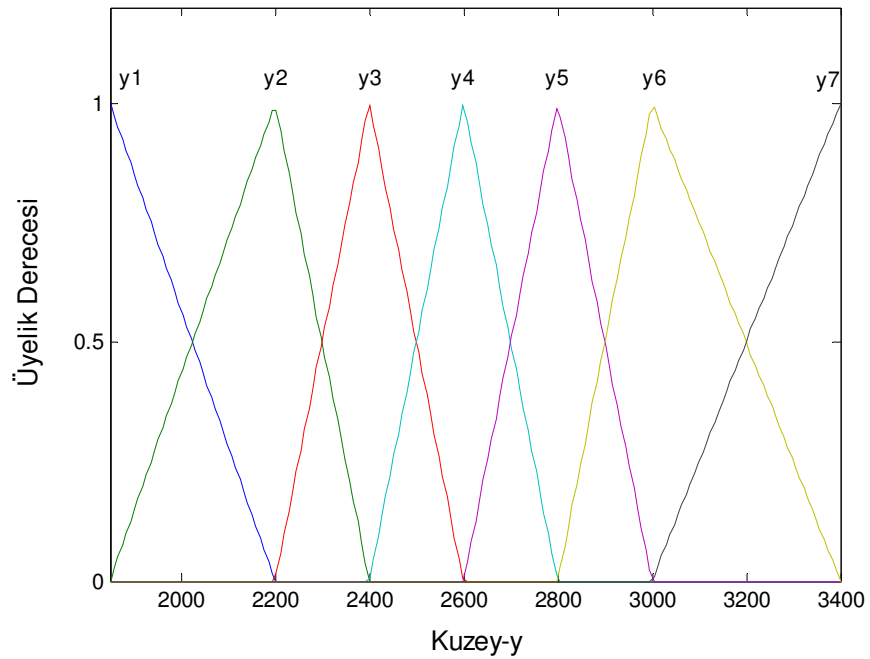
Çizelge 4.5. Kalkerli marn verilerine göre elde edilen kurallar

1.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K2)
2.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K3)
3.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K5)
4.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y7)	Then	(Kalınlık is K1)
5.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y7)	Then	(Kalınlık is K3)
6.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K4)
7.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K2)
8.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K4)
9.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K3)
10.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K4)
11.	Eğer	(Doğu-x is X1)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K5)
12.	Eğer	(Doğu-x is X2)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K2)
13.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K3)
14.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y3)	Then	(Kalınlık is K7)
15.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y3)	Then	(Kalınlık is K3)
16.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K1)
17.	Eğer	(Doğu-x is X2)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K5)
18.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K2)
19.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K3)
20.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y3)	Then	(Kalınlık is K3)
21.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K1)
22.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K2)

Marn kesen 67 adet sondaj bilgilerine göre Şekil 4.26-27’de verilen üyelik fonksiyonları tanımlanmış ve bu üç fonksiyona göre oluşturulan 22 adet kural Çizelge 4.6’da verilmiştir.

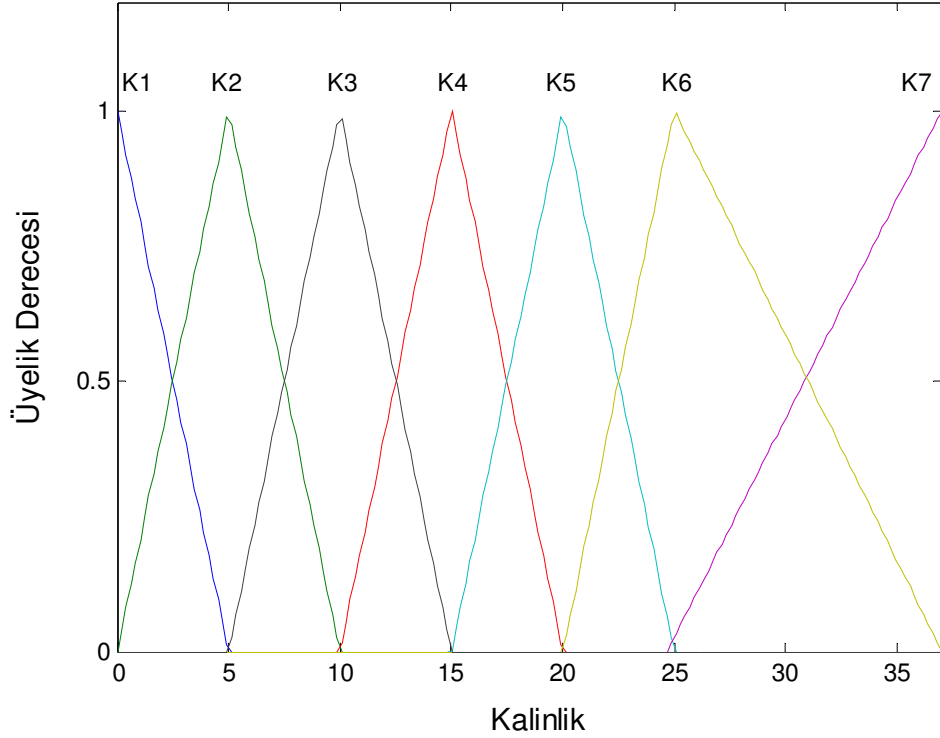


(a)



(b)

Şekil 4.26. Marn verilerine göre girdi-(a) doğu (b) kuzey koordinatı üyelik fonksiyonları

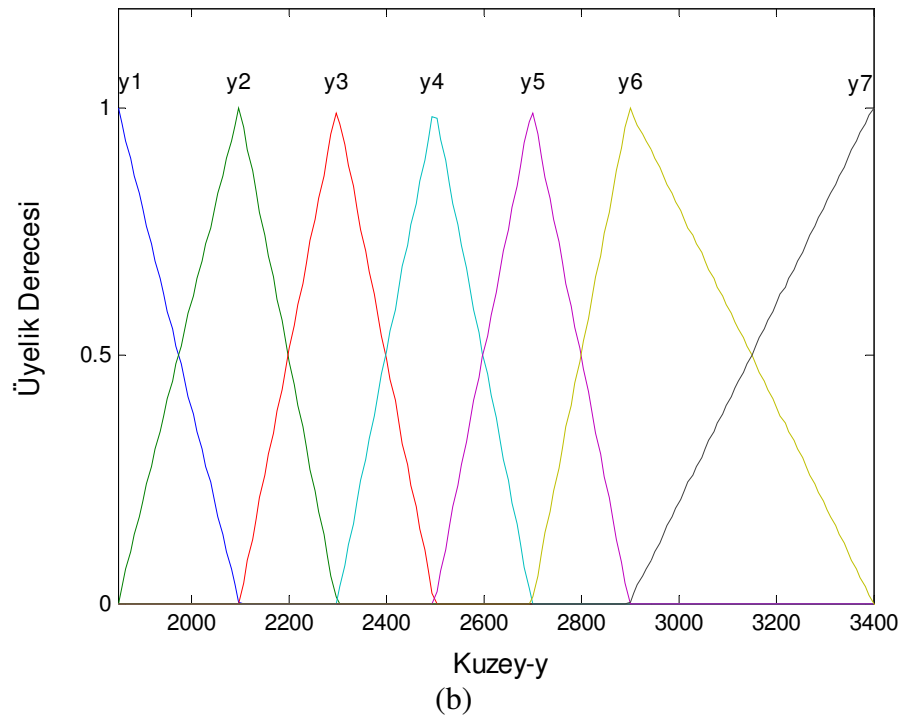
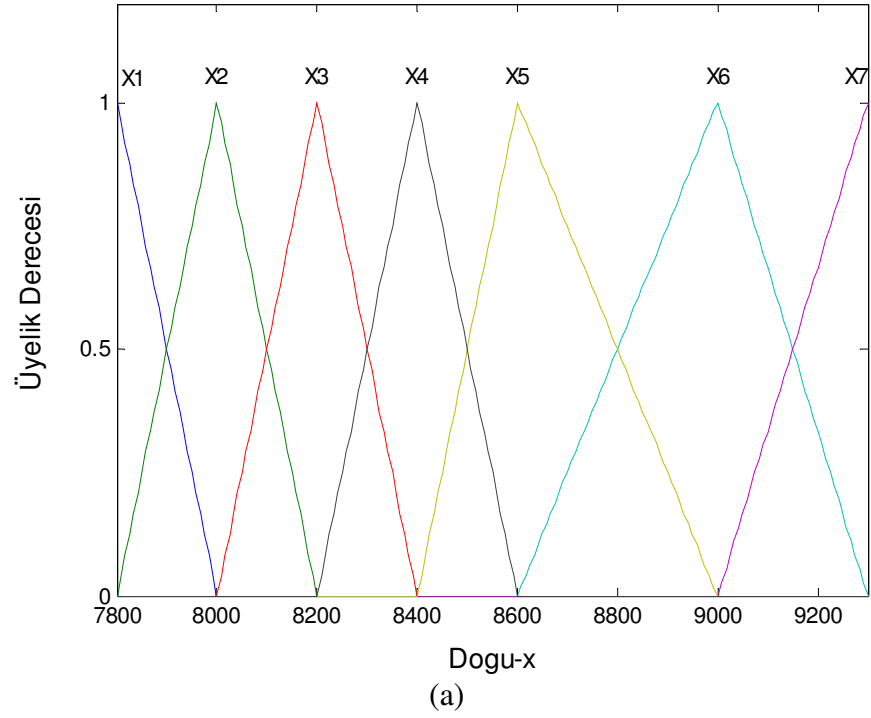


Şekil 4.27. Marn verilerine göre çıktı-kalınlık üyelik fonksiyonu

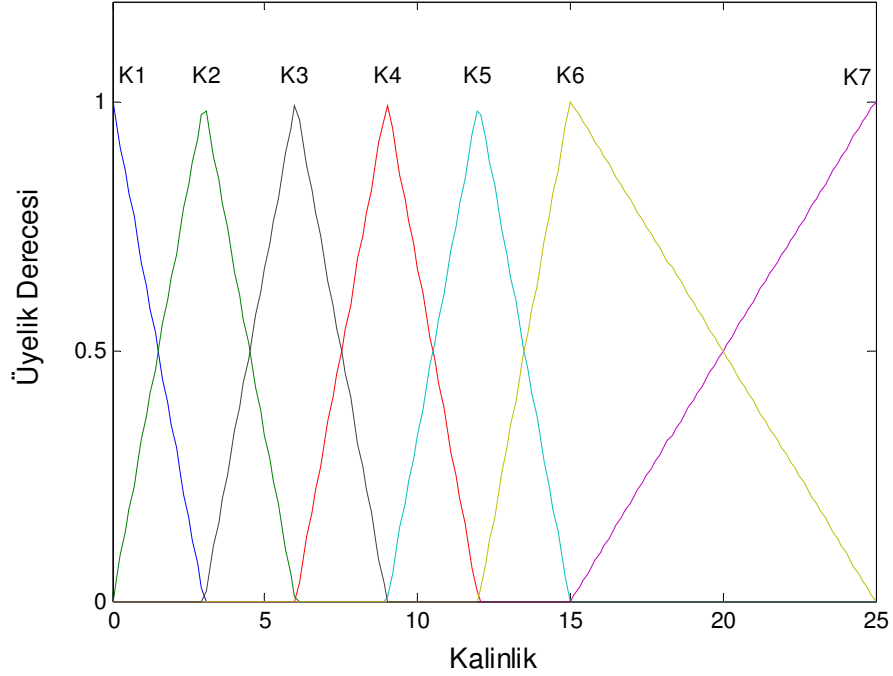
Çizelge 4.6. Marn verilerine göre elde edilen kurallar

1.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K3)
2.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K4)
3.	Eğer	(Doğu-x is X7)	and	(Kuzey-y is Y3)	Then	(Kalınlık is K6)
4.	Eğer	(Doğu-x is X7)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K4)
5.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y7)	Then	(Kalınlık is K3)
6.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K3)
7.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K2)
8.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K4)
9.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K3)
10.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y3)	Then	(Kalınlık is K2)
11.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y7)	Then	(Kalınlık is K6)
12.	Eğer	(Doğu-x is X1)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K3)
13.	Eğer	(Doğu-x is X2)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K1)
14.	Eğer	(Doğu-x is X2)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K4)
15.	Eğer	(Doğu-x is X2)	and	(Kuzey-y is Y3)	Then	(Kalınlık is K2)
16.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K6)
17.	Eğer	(Doğu-x is X7)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K6)
18.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K2)
19.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K3)
20.	Eğer	(Doğu-x is X1)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K1)
21.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K1)
22.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K1)

Killi marn kesen 56 adet sondaj bilgilerine göre Şekil 4.28-29'da verilen üyelik fonksiyonları tanımlanmış ve bu üç fonksiyona göre oluşturulan 22 adet kural Çizelge 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.28. Killi marn verilerine göre girdi-(a) doğu (b) kuzey koordinatı üyelik fonksiyonları



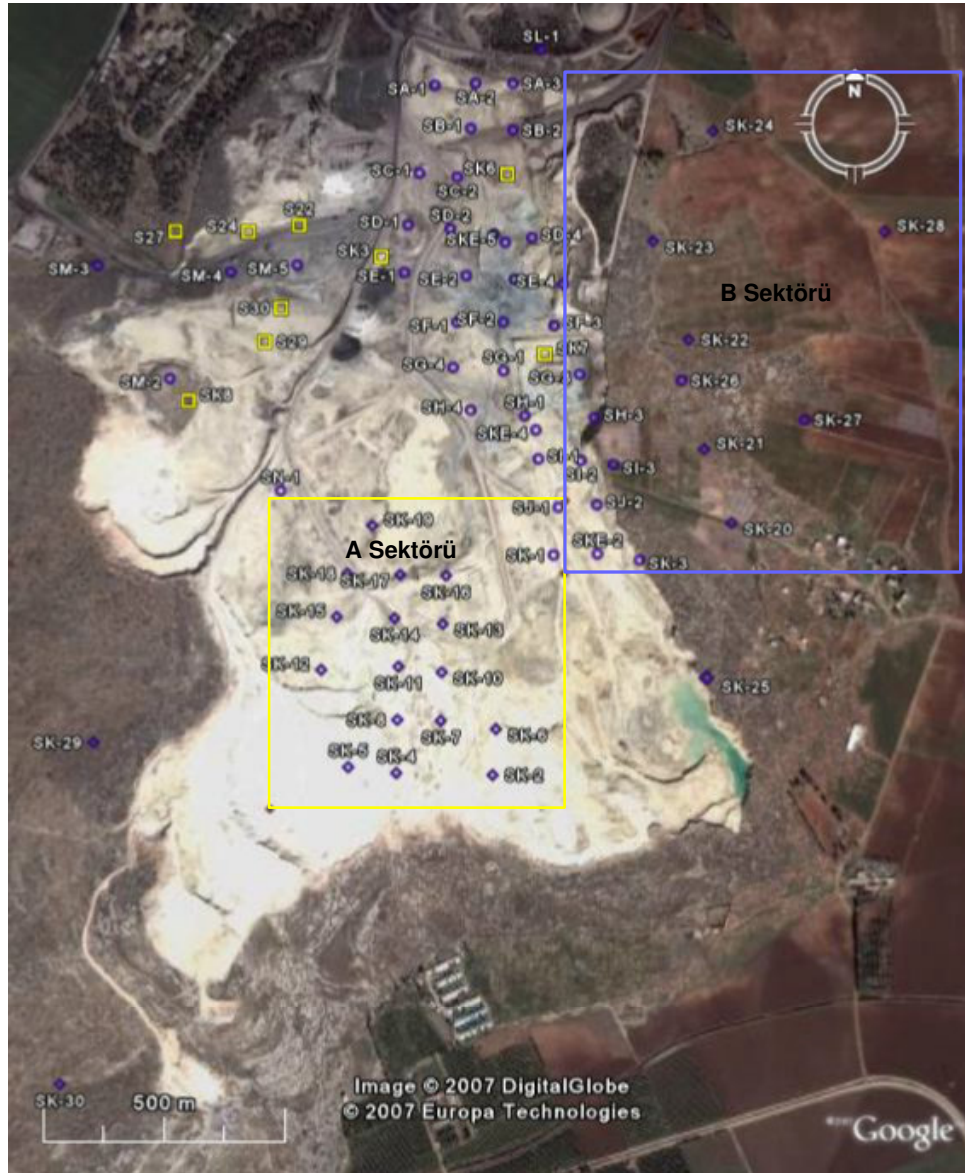
Şekil 4.29. Killi marn verilerine göre çıktı-kalınlık üyelik fonksiyonu

Çizelge 4.7. Killi marn verilerine göre elde edilen kurallar

1.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K4)
2.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y1)	Then	(Kalınlık is K4)
3.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K5)
4.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y3)	Then	(Kalınlık is K4)
5.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K4)
6.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K5)
7.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K3)
8.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K3)
9.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K4)
10.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K2)
11.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K2)
12.	Eğer	(Doğu-x is X2)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K4)
13.	Eğer	(Doğu-x is X2)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K2)
14.	Eğer	(Doğu-x is X1)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K2)
15.	Eğer	(Doğu-x is X7)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K7)
16.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y7)	Then	(Kalınlık is K6)
17.	Eğer	(Doğu-x is X5)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K5)
18.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y4)	Then	(Kalınlık is K4)
19.	Eğer	(Doğu-x is X4)	and	(Kuzey-y is Y7)	Then	(Kalınlık is K2)
20.	Eğer	(Doğu-x is X6)	and	(Kuzey-y is Y5)	Then	(Kalınlık is K7)
21.	Eğer	(Doğu-x is X1)	and	(Kuzey-y is Y6)	Then	(Kalınlık is K1)
22.	Eğer	(Doğu-x is X3)	and	(Kuzey-y is Y2)	Then	(Kalınlık is K3)

4.4. Rezerv Hesaplamaları

Hammadde sahasında ZEMKA (2006) tarafından etüt edilen A ve B diye isimlendirilen sektörler (Şekil 4.30) için rezerv hesaplamaları yapılmıştır. A Sektörünün koordinatları Doğu (718000;718600) ve Kuzey (4091800;4092450), B Sektörünün koordinatları ise Doğu (718600;719400) ve Kuzey (4092300;4093350) koordinatları ile tanımlanmıştır.



□ 1992 Son.Lok. ○ 2004 Son. Lok. ◆ 2006 Son. Lok.

Şekil 4.30. Hammadde sahasının uydu görüntüsü ve etüt edilen sektörler

4.4.1. Kriging

Her bir formasyon için bilinen variogram ve parametrelerine göre A ve B Sektörleri için Çizelge 4.8 de belirtilen değerlere göre iki boyutlu blok kriging yöntemi ile kalınlıklar tahmin edilmiş ve elde edilen rezerv bilgileri Çizelge 4.9’de topluca verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kriging için oluşturulan grid parametreleri

		Doğu (m)	Kuzey (m)
A Sektörü	Orijin	718000	4091800
	Hücre Boyu	25	25
	Hücre Sayısı	24	26
B Sektörü	Orijin	718600	4092300
	Hücre Boyu	25	25
	Hücre Sayısı	32	42

Çizelge 4.9. Kriging ile belirlenen rezervler

		A Sektörü	B Sektörü
Rezervler (m³)	Kalker	4.519.790,4	488.515,8
	Kalkerli Marn	4.271.611,8	1.057.534,5
	Marn	4.619.610,5	7.319.122,0
	Killi Marn	3.316.660,9	10.761.895,8
	Toplam	16.727.673,7	19.627.068,2

4.4.2. Bulanık Yöntem

Daha önce belirlenmiş olan modeller kullanılarak bu sektörlerdeki 25 m x 25 m aralıklı gridlerle elde edilen iki boyutlu lokasyonların kalınlık değerleri Mamdani bulanık modelleme tekniği ile tahmin edilmiş ve elde edilen rezerv bilgileri Çizelge 4.10’da topluca verilmiştir.

Çizelge 4.10. Bulanık modelleme tekniği ile belirlenen rezervler

		A Sektörü	B Sektörü
Rezervler (m ³)	Kalker	4.519.793,5	6.650.525,6
	Kalkerli Marn	3.502.432,0	11.045.557,3
	Marn	4.831.225,8	15.242.103,8
	Killi Marn	5.463.342,4	9.452.184,9
	Toplam	18.316.793,8	42.390.371,6

4.4.3. Rezervlerin Karşılaştırılması

AÇS hammadde sahası içerisindeki bu iki sektörde daha önce ZEMKA (2006) tarafından yapılan etüt çalışması sonucu belirlenen rezerv bilgileri Çizelge 4.11 de verilmiştir. Bu çalışma sonucu bulunan veriler ile karşılaştırıldığında A Sektörü için belirlenen rezervlerin yaklaşık değerlerde olduğu fakat B Sektörü için çok farklı oldukları gözlenmiştir.

Çizelge 4.11. ZEMKA (2006) tarafından belirlenen rezervler

		A Sektörü	B Sektörü
Rezervler (m ³)	Kalker	2.722.000,0	744.000,0
	Kil	714.600,0	0,0
	Killi Kalker	7.684.000,0	3.596.000,0
	Kiltaşı	190.800,0	15.354.800,0
	Kumtaşı	0,0	524.200,0
	Marn	3.834.600,0	9.503.700,0
	Silttaşı	573.600,0	152.400,0
	Toplam	15.719.600,0	29.875.100,0

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma ile jeoistatistiksel ve bulanık mantık yaklaşımları ile Adana Çimento Hammadde sahası değerlendirilmiştir. Jeostatistiksel modelleme yaygın bir şekilde kullanılırken son yıllarda kullanılmaya başlayan bulanık mantık bu sahaya da uygulanmıştır.

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

Yeterli sayıda veriye rağmen, kriging ile yapılan tahminin daha düşük korelasyon katsayısıyla (0.51) gerçekleştirilmiş olmasının sebebi üretim amacıyla yapılan kazılar sonucu topografyası değişmiş yüzeylerde sondajların yapılmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bulanık mantık modellemesi uygulanabilir bir metot olarak belirlenmesine karşın modelleme aşamalarında (özellikle kuralların oluşturulmasında) daha dikkatli olunması ve tecrübeli kişilerce oluşturulması gerektiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada kriging ve bulanık yaklaşımla elde edilen rezerv değerleri, ZEMKA (2006) tarafından A ve B sektörleri için belirlenen değerlerle karşılaştırıldığında; A sektörü için yaklaşık aynı değerlerde, fakat B sektörü için ZEMKA (2006) rezervinden ($29.875.100 \text{ m}^3$) kriging ile daha düşük ($19.627.068,2 \text{ m}^3$), bulanık yaklaşım ile de daha yüksek ($42.390.371,6 \text{ m}^3$) değerlerde elde edilmiştir.

Kriging ile daha düşük değerlerde elde edilmesinin sebebi, B Sektörünün daha geniş bir alana sahip olması ve bu sektör içerisine düşen sondaj veri sayısının azlığından kaynaklanmaktadır. Bilinmektedir ki, kriging ile blok değerleri kestirirken etki mesafesi içerisine düşen yeterli veri olmaması sebebiyle her blok için kalınlık değeri tahmini yapılamamaktadır.

Bulanık yaklaşım ile daha yüksek değerlerde elde edilmesinin sebebi ise bütün veriler ile elde edilen kurallardan bu sektörü temsil eden kuralların sayısının

azlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dilsel bulanık modellemenin başarısı kullanılan kural sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Kural sayısı artışı kestirimin başarısını artırır. Sınırlı sayıda kural ile modelleme yapıldığından aykırı değerler elde edilebilir.

Kestirilen noktalarda ölçülen değerler mevcut olmadığından bulanık yöntemle hata varyansı hesaplanamamaktadır.

Bu sahaya ait bilgilere göre daha güçlü olduğu görülen bulanık yaklaşımlar kullanılarak sahanın Kireç Standardı (KST), Alüminyum (AIM) ve Silikat Modül (SİM)'lerinin formasyon bazında dağılımlarının belirlenmesinin çimento üretiminde önemli olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Armstrong, 1997. Geostatistique Lineaire Application au Domaine Minier, 1997, ISBN : 2-911762-07-X, Paris, s.113.
- Babuska, R., 1996, Fuzzy Modeling and Identification, Ph.D. Dissertation, Delft University of Technology, 294p.
- Babuska, R., 1998, Fuzzy Modeling for Control, Kluwer Academic, 260p.
- Bardossy, G., Fodor, J., 2001. Traditional and New Ways to Handle Uncertainty in Geology. Natural Resources Research, 10, 3, 169-187.
- Bardossy, G., Fodor, J., 2004. Evaluation of Uncertainties and Risks in Geology. Springer, 221.
- Bezdek, J.C., 1981, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, 256p.
- Clark, I., 1979. Practical Geostatistics, Department of Mineral Resources Engineering, Royal School of Mines, Imperial College of Science and Technology, London U.K.
- Clark, I., Harper, W.V., 2000. Practical Geostatistics, Geostokos (Ecosse) Limited, London, U.K.
- Çetin, M. 1996. Jeostatistiksel Yöntem İle Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi, Örnek Havza Uygulamaları, Çukurova Üniv., Fen Bil. Ens., Doktora Tezi, Adana, Turkey.
- David, M., 1988. Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier Science Publishing Company Inc., Amsterdam.
- Deutsch, C.V., Journé, A.G., 1992. Geostatistical Software Library And User's Guide, Oxford University Press, Inc., NEW YORK, USA.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kid, W.S.F., Saroğlu, F., Sengör, A.M.C., 1986, Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia young collision zone. In Coward, M.P., Ries, A.C. (Editors), Collision Tectonics, Geol. Soc. Lond. Spec. Pub., 19: 3-36.
- Diehl, P., 1997. Quantification of the Term –Geological Assurance- in Coal Classification Using Geostatistical Methods. Schriftenreihe der GDMB, H.79, 187-203.

- Dowd, P.A., 1992. Basic Geostatistics for the Mining Industry, The University of Leeds, ss.226.
- GEOSAN, 1992. AÇS Adana Çimento Sanayi T.A.Ş. Hammadde Ocağının İşletme Etüdü. 55s (Yayınlanmamış).
- Goovaerts, P., 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Pres, New York, 483.
- Görür, N., 1985, Depositional history of Miocene sediments on the NW flank of the Adana basin. Proc. 6th Colloquium on Geology of the Aegean region, İzmir, pp. 185-208.
- Grima, M.A., 2000, Neuro-Fuzzy Modeling in Engineering Geology, A.A.Balkema, Rotterdam, 244p.
- Gürbüz, K., Gökçen, S. L., Gökçen, N., 1985. Some stratigraphical remarks on the Upper Neogene Sequence of the Northern Adana Basin-Southern Turkey. VIII.Congress of the Regional Committee on the Mediterranean Neogene Stratigraphy, Budapest, 238p.
- GÜRGEN, 2004. Adana İli Yüreğir İlçesi, İncirlik Beldesi, Çaldağı Mevki Adana Çimento Sanayi T.A.Ş. Hammadde Ocağının Üretim Planlamasına Yönelik Jeolojik ve İşletme Etüd Raporu, 251s (yayınlanmamış).
- Hellendoorn, H., Thomas, C., 1993, Defuzzification in fuzzy controllers, J.Intell. Fuzzy Systems 1, 109-123.
- İlker, S., 1975, Adana baseni kuzey batısının jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Arama Arşiv No: 973, Ankara, 63 s. (yayınlanmamış).
- Journel, A.G., 1984. New Ways of Assessing Spatial Distributions of Pollutants. In: Environmental Sampling for Hazardous Wastes, Schweitzer, G.E. and Santolucito, J.H. (Eds.), American Chemical Society Symposium Series 267, Washington, pp. 109-118.
- Kerey, I.E., Yetiş, C., Demirkol, C., 1985. Meandering plain deposits and marginal sea processes in the Upper Miocene Kuzgun Formation of the Adana Basin in Turkey, 6. European Regional Meeting of Sedimentology, Abstracts, Spain, 217-218.

- Klir, G.J., Yuan, B., 1995, Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications, Prentice-Hall, 574p.
- Kruse, R., Gebhardt, J., Klawonn, F., 1994, Foundations of Fuzzy Systems, John Wiley&Sons, 265p.
- Mamdani, E.H., 1974, Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant, Proceedings IEEE, 121(12), 1585-1588.
- Mamdani, E.H., Assilian, S., 1975, An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, Int. J. Man-Machine Studies 7, 1-13.
- Mamdani, E.H., 1977, Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis, IEEE Trans. on Computers, 26(12), 1182-1191.
- Mert, B.A., 2004, Jeoistatistiksel Analiz İçin Bir Bilgisayar Programının Geliştirilmesi Ve Antalya-Akseki-Kızıldaş Boksit Yatağına Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniv. Fenbilimleri Enstitüsü, Adana, 111s.
- Öney, N., 1999, Çimento İşletmeciliği El Kitabı, Bolu Çimento Sanayi A.Ş., Bolu, 143s.
- Özer, B., Buval, B., Courrier, P., Letouzey, J., 1974. Antalya-Mut-Adana Neojen Havzaları Jeolojisi, Türkiye II. Petrol Kongresi, Ankara, 57-84.
- Özgül, N., Metin, S., Göger, E., Bingöl, İ., Baydar, O., Erdoğan, B., 1973, Tufanbeyli dolayının (Doğu Toroslar Adana) Kambriyen-Tersiyer kayalar., Türkiye Jeoloji Kur. Bült., 16/1, 82-100.
- Pahm, T.D., 1997. Grade Estimation Using Fuzzy-Set Algorithms. Mathematical Geology, 29, 291-304.
- Pannatie, Y., 1998, Variowin Software For Spatial Data Analysis in 2d.
- Piegate, A., 2001, Fuzzy Modeling and Control, Physica-Verlag, 728p.
- Saraç, C., Tercan, A.E., 1998. Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeoistatistiksel Yöntemler, Ankara.
- Schmidh, G.C., 1961, Stratigraphic nomenclature for the Adana region petroleum district. VII Petroleum Administration Bull., 6, 47-63, Ankara.
- Sengor, A.M.C., 1979, The North Anatolian fault: its age, offset, and tectonic significance. J. Geol. Soc. London, 136: 269-282.

- Sengor, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75: 181-241.
- Setnes, M., Babuska, R., Verbruggen, H.B., 1998a, Transparent fuzzymodelling, *Int. J. Human-Computer Studies*, 159-179.
- Sugeno M., Yasukawa, T., 1993, A fuzzy logic-based approach to qualitative modeling, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1(1), 7-31.
- Takagi, T., Sugeno, M., 1985, Fuzzy identification of systems and its applications to modelling and control, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 15, 116-132.
- Tanar, Ü., 1985. Körlü (Tarsus-Mersin) Bölgesi “Karaisalı, Kuzgun, Memişli” Formasyonlarının Moluska Faunası, *Jeoloji Müh. Dergisi*, Ankara, 24, 17-31.
- Ternek, Z., 1957. The Lower Miocene (Burdigalian) formations on the Adana basin their relations with other formations oil possibilities. *M.T.A. Bull.*, 49:60-80.
- Turksen, I.B., 1991. Measurement of membership functions and their acquisition, *Fuzzy Sets and Systems* 40, 5-38.
- Tütmez, B., 2005. Bulanık Küme Yaklaşımı ile Rezerv Kestirimi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniv. Fenbilimleri Enstitüsü, Ankara
- Tütmez, B., Dag, A., 2007 Use of fuzzy logic in lignite inventory estimation, *Energy Sources Part B*, 2, 93-103.
- Tütmez, B., Tercan, A.E., 2006. Bulanık Modelleme Yaklaşımının Tenör Kestiriminde Kullanılması. *Madencilik*, 45, 2, 39-47.
- Ünlügenç, U. C., Kelling, G., Williams, G.D., Demirkol, C., 1990. Aspects of Basin Evalution in the Reogene Adana Basin, SE Turkey. *International Earth Sciences Congress on Aegean Regions (IESCA)*, İzmir, 353-369.
- ZEMKA, 2006. Adana Çimento Sanayi T.A.Ş. Hammadde Ocağının Üretim Planlamasına Yönelik Jeolojik ve İşletme Etüd Raporu, Adana.
- Yalçın, N.M., Görür, N., 1984, Sedimentological evolution of the Adana Basin. *International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, Ankara, 165-172.
- Yager, R., Filev, D.P., 1994, *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*, John Wiley&Sons, New York, 388p.

- Yetiş, C., Demirkol, C., 1986, Adana baseni batı kesiminin detay jeoloji etüdü. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdler Dairesi, Ankara, 187 s.
- Yetiş, C., Demirkol, C., Kerey, E., 1986. Adana Kuzgun Formasyonunun (Üst Miyosen) Fasiyes ve Ortamsal Nitelikleri. TJK Bülteni, Ankara, 20, 81-96.
- Yılmaz, Y., 1993, New evidence and model on the evolution of southeastern Turkey. Geol. Soc. Am. Bull., 105: 251-271.
- Zadeh, L.A., 1973, Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC-3, 28-44.

ÖZGEÇMİŞ

06.03.1966 yılında Erzurum'da doğdu. İlköğretim ve liseyi İzmir de tamamladı. Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünden 1989 da mezun oldu.

Aynı yıl Güven Etiman Ltd Şti. Fethiye maden mühendisliği, 1990-1995 yılları arasında Kömür Ofisi A.Ş. İzmir satış ve emniyet mühendisliği, 1995-2001 Batı Söke Çimento San.Tic.A.Ş. Söke/Aydın fenni nezaretçilik, aynı zamanda 1996-2002 yıllarında kendi kurduğu Ekin Kömür Ofisinde yöneticilik yaptı. 2002'de işlerini fesederek eşinin işinden dolayı Adana'ya geldi. 2003 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.15 yıllık evli, 13 ve 3 yaşlarında iki kız annesidir.