



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FARKLI ENTERPOLASYON TEKNİKLERİ
KULLANILARAK YEREL JEOİT
BELİRLEME

Kenan TETİK

YÜKSEK LİSANSTEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalını

Temmuz-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Kenan TETİK tarafından hazırlanan “Farklı Enterpolasyon Teknikleri Kullanılarak Yerel Jeoit Belirleme” adlı tez çalışması 18/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

Danışman

Doç. Dr. Serkan DOĞANALP

Üye

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

İmza

.....
.....
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet KARALI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

İmza

Kenan TETİK

Tarih:

24.07.2018



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI ENTERPOLASYON TEKNİKLERİ KULLANILARAK YEREL JEOİT BELİRLEME

Kenan TETİK

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Serkan DOĞANALP

2018, 89 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Serkan DOĞANALP
Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT**

GPS son asırda dünya tarihine kazandırılmış en önemli buluşlardan birisidir. GPS sivil ve askeri amaçlara uygun olarak her türlü koşulda kesintisiz ve hızlı ölçümü amaçlamaktadır. Klasik ölçme yöntemlerine göre GPS her türlü hava şartında kolay uygulanabilir olması ve zamandan tasarruf sağlaması sebebiyle öne çıkmaktadır. Bu avantajlarına rağmen tam olarak matematiksel bir modele oturtulamayan Dünya'nın şekli nedeniyle yatay koordinatlar mühendislik amaçlı uygulamalarda doğrudan kullanılırken düşey koordinatlar doğrudan kullanılamamaktadır. Çünkü GPS ile elde edilen yükseklikler, elipsoide göre belirlenmiş elipsoidal yüksekliklerdir. Bu yüksekliklerin uygulamada kullanılan ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşümü sağlamak amacıyla ortometrik yükseklikler ile elipsoidal yükseklikler arasındaki farkın yani jeoit yüksekliklerinin bilinmesi/modellenmesi gerekmektedir. Jeoit yüksekliklerinin modellenmesi genellikle polinomlar, radyal bazlı fonksiyonlar ve kriging enterpolasyonu gibi enterpolasyon yöntemleri yardımıyla gerçekleştirilir. Bu tez çalışması kapsamında polinomal yöntemler, radyal bazlı fonksiyonlar ve kriging yöntemlerini içeren toplam on iki adet farklı enterpolasyon yöntemi ele alınmıştır. Uygulama kapsamında Trakya Bölgesine dağılmış, ortometrik ve elipsoit yükseklikleri bilinen 175 adet nokta kullanılmıştır. Bu noktalardan 143 tanesi modelin oluşturulmasında dayanak noktası olarak geriye kalan 32 nokta ise test noktaları olarak sınıflandırılmıştır. Yapılan modellemeler sonucunda test noktalarına ait karesel ortalama hata değerleri hesaplanmış ve gerekli grafikler elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, yüksek dereceli polinomlar ile multiküadratik, thin plate spline, natural kübik spline ve kriging yöntemlerinin yaklaşık 10 cm civarında doğruluk sağladığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dönüşüm, Enterpolasyon, GNSS/Nivelmanı, Jeoit

ABSTRACT

MS THESIS

LOCAL GEOID DETERMINATION BY USING DIFFERENT INTERPOLATION TECHNIQUES

Kenan TETİK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN SURVEY ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Serkan DOĞANALP

2018, 89 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Serkan DOĞANALP
Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT**

GPS is one of the most important inventions of the world in the last century. GPS is intended for continuous and rapid measurement in all conditions in accordance with civil and military purposes. According to classical measurement methods, GPS stands out because of being easily applicable in all kinds of weather conditions and saving time. Despite these advantages, the horizontal coordinates are used directly in engineering applications, the vertical coordinates can not be directly used due to the shape of the Earth which can not be fully mathematically modeled. Because the heights obtained by GPS are the ellipsoidal heights determined by the ellipsoid. These heights should be transformed into orthometric heights used in practice. In order to achieve this transformation, the difference between the orthometric heights and the ellipsoidal heights, ie the geoid heights, must be known / modeled. The modeling of geoid heights is usually performed by interpolation methods such as polynomials, radial basis functions and kriging interpolation. In this study, twelve different interpolation methods including polynomial methods, radial basis functions and kriging methods are discussed. In the scope of application, 175 points which known orthometric and ellipsoid heights were used in Trakya region. Of these points, 143 as reference points and the remaining 32 as test points were classified. The root mean square error values of the test points were calculated and the necessary graphs were obtained. When the results are examined, it is observed that high-order polynomials and multiquadratic, thin plate splines, natural cubic splines and kriging methods provide accuracy of about 10 cm.

Keywords: Transformation, Interpolation, GNSS/levelling, Geoid

ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca yardım eden, yol gösteren başta değerli danışmanım Doç. Dr. Serkan DOĞANALP olmak üzere tüm hocalarıma, her türlü desteği esirgemeyen anne ve babama, manevi destekçilerim ablalarım Nermin, Nevin, Aysu ve Ayten'e, nişanlım Gülşen'e teşekkür ederim.

Kenan TETİK

KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
KISALTMALAR.....	vii
1 GİRİŞ.....	1
2 LİTERATÜR TARAMASI.....	2
3 YÜKSEKLİK SİSTEMLERİ	6
3.1 JEOPOTANSİYEL YÜKSEKLİK	6
3.2 DİNAMİK YÜKSEKLİKLER	7
3.3 NORMAL YÜKSEKLİKLER	7
3.4 ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLER	8
3.5 ELİPSOİDAL YÜKSEKLİKLER.....	9
4 JEOİT BELİRLEME	10
4.1 JEOİT BELİRLEME YÖNTEMLERİ	10
4.2 POLİNOMLARLA ENTERPOLASYON	12
4.3 AĞIRLIKLI ORTALAMA YÖNTEMİ İLE JEOİT BELİRLEME.....	13
4.4 RADYAL BAZLI FONKSİYONLAR.....	15
4.4.1 <i>Radyal Bazlı Fonksiyon Türleri</i>	16
4.4.1.1 Gauss merkezci RBF.....	16
4.4.1.2 Thin plate spline (TPS) RBF.....	17
4.4.1.3 Lojistik tabanlı fonksiyon	18
4.4.1.4 Multikvadrik RBF.....	18
4.4.1.5 Ters Multikvadrik RBF.....	20
4.5 RBF KULLANARAK YEREL JEOİT BELİRLEME	21
4.6 δ2 ŞEKİL PARAMETRESİNİN BELİRLENMESİ	24
5 JEOİSTATİKSEL MODELLE JEOİT BELİRLEME	27
5.1 JEOİSTATİSTİK	27
5.2 YARIVARİOGRAM	27
5.3 DENEYSEL VE TEORİK VARİOGRAM	29
5.4 KRİGING KESTİRİMİ.....	31

6	YAPAY ZEKA.....	34
6.1	YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ.....	35
6.2	YAPAY ZEKA VE İNSAN ZEKASININ KARŞILAŞTIRILMASI	36
6.3	YAPAY SİNİR AĞLARI.....	36
6.3.1	<i>Biyolojik sinir hücresi</i>	37
6.3.2	<i>Yapay sinir hücresi</i>	37
6.3.3	<i>YSA'nın avantaj ve dezavantajları</i>	40
6.3.4	<i>YSA'nın sınıflandırılması</i>	40
6.3.4.1	Mimari yapılarına göre YSA.....	41
6.3.4.2	Öğrenme algoritmalarına göre YSA.....	41
6.3.5	<i>YSA türleri</i>	42
6.3.5.1	Tek katmanlı algılayıcılar	42
6.3.5.1.1	Basit Algılayıcılar (Perceptron).....	42
6.3.5.1.2	Adaptif doğrusal element ağı (ADALİNE).....	42
6.3.5.1.3	Çoklu adaptif doğrusal element ağı (MADALİNE).....	43
6.3.5.2	Çok katmanlı algılayıcılar	43
6.3.5.3	Radyal tabanlı yapay sinir ağları	44
6.4	BULANIK MANTIK	44
6.4.1	<i>Bulanık küme ve üyelik fonksiyonları</i>	45
	<i>Şekil 6.8 Üyelik Fonksiyonları</i>	46
6.4.2	<i>Bulanık küme işlemleri</i>	46
6.4.3	<i>Bulanık sistemler</i>	47
6.4.3.1	Bulanıklaştırıcı.....	48
6.4.3.2	Kural işleme birimi	48
6.4.3.3	Durulaştırma	48
6.4.3.3.1	Durulaştırma yöntemleri.....	49
	ŞEKİL 6.10 DURULAŞTIRMA YÖNTEMLERİ	49
6.5	MAMDANI MODELİ.....	49
6.6	TAKAGİ-SUGENO BULANIK MODELİ	50
6.7	ANFİS MİMARİSİ	51
7	SAYISAL UYGULAMA.....	54
7.1	SURFACE SURFER 13 PROGRAMININ MODELLEME İÇİN KULLANILMASI	54
7.2	MODELİN OLUŞTURULMASI.....	57
8	SONUÇLAR.....	68
	KAYNAKLAR.....	70
	ÖZGEÇMİŞ.....	76

Tablo Listesi

Tablo 4.1 Polinomlarla Enterpolasyon (Yiğit, 2003).....	13
Tablo 4.2 Radyal Bazlı Fonksiyon Türleri.....	20
Tablo 4.3 Radyal Bazlı Fonksiyon Grafikler	21
Tablo 4.4 δ^2 Parametresinin Belirlenmesi.....	25
Tablo 5.1 Teorik Yarıvariogram	29
Tablo 6.1 İnsan Uzmanlığı ve Yapay Uzmanlık.....	36
Tablo 6.2 Toplam Fonksiyonları.....	38
Tablo 6.3 Aktivasyon Fonksiyonları.....	39
Tablo 7.1 Dayanak Noktaları (birimler:metre)	57
Tablo 7.2 Test Noktalarına Ait Sonuçlar-1(birimler:metre)	59
Tablo 7.3 Test Noktalarına Ait Sonuçlar-2(birimler:metre)	60
Tablo 7.4 Test Noktalarına Ait Sonuçlar-3(birimler:metre)	61
Tablo 7.5 Test noktalarına ait karesel ortalama hatalar (birim: metre).....	67

Şekil Listesi

Şekil 4.1 Radyal Bazlı Fonksiyon Türleri (Du Toit, 2008)	26
Şekil 5.1 Teorik Yarıvariogram	30
Şekil 5.2 Sill ve Nugget Effect.....	30
Şekil 6.1 Biyolojik Sinir Hücresi	37
Şekil 6.2 Yapay Sinir Hücresi	39
Şekil 6.3 Mimari Yapılarına Göre YSA.....	41
Şekil 6.4 Tek Katmanlı Algılayıcı	42
Şekil 6.5 Perceptron	42
Şekil 6.6 Madaline	43
Şekil 6.7 Çok Katmanlı Algılayıcı	44
Şekil 6.8 Üyelik Fonksiyonları	46
Şekil 6.9 Bulanık Sistemler.....	48
Şekil 6.10 Durulaştırma Yöntemleri	49
Şekil 6.11 Mamdani ve Takagi Sugene Bulanık Modeli	51
Şekil 6.12 ANFIS Mimarisi	51
Şekil 7.1 Dayanak Noktalarının Dağılımı	54
Şekil 7.2 Surface Surfer Ekran Görüntüsü-1.....	55
Şekil 7.3 Surface Surfer Ekran Görüntüsü-2.....	55
Şekil 7.4 Surface Surfer Ekran Görüntüsü-3.....	56

Şekil 7.5 Surface Surfer Ekran Görüntüsü-4.....	56
Şekil 7.6 Kontur Haritaları-1.....	62
Şekil 7.7 Kontur Haritaları-2.....	63
Şekil 7.8 Üç Boyutlu Yüzeyler-1	64
Şekil 7.9 Üç Boyutlu Yüzeyler-2	65
Şekil 7.10. Türkiye’deki mevcut durum ve Türkiye Hibrid Jeoit Modeli – 2009 (THG-09) (Direnç ve ark., 2012)	67



Kısaltmalar

GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemi
BÖHHBÜY	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
WGS84	World Geodetic System 1984
RBF	Radyal Bazlı Fonksiyon
RTF	Radyal Tabanlı Fonksiyon
MK, MQ	Multikvadrik
TPS	Thin Plate Spline
TUDKA-99	Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999
GRBF	Gauss Radyal Bazlı Fonksiyonu
KOH	Karesel Ortalama Hata
GNSS	Global Navigation Satellite System
YSA	Yapay Sinir Ağları
RBFS	Radyal Bazlı Fonksiyon Sinir Ağı
LS- SVM	En Küçük Kareler-Destek Vektör Makinaları

Simgeler

φ	Enlem
λ	Boylam
h	Elipsoidal Yükseklik
W_A	A noktasının Potansiyeli
W_0	Jeoidin Potansiyeli
H_A^{din}	Dinamik Yükseklik
g	Gravite
W	Gerçek Gravite Potansiyeli
U	Normal Gravite Potansiyeli
T	Bozucu Potansiyel
H^N	Normal Yükseklik
C	Jeopotansiyel Sayı
N	Jeoit Yüksekliği
Φ, Λ	Astronomik Enlem ve Boylam
ζ	Çekül Sapması Bileşenleri
$\varphi(r)$	Temel Fonksiyonu
δ^2	Geometrik Parametre
$\tilde{A}$	Bulanık Küme

1 GİRİŞ

GPS teknolojisi uzay yarışının hüküm sürdüğü soğuk savaş yıllarında dünya tarihine kazandırılmış en önemli buluşlardan birisidir. TRANSIT sistemine alternatif olarak geliştirilen GPS, 1980'li yıllarda sivil kullanıma açılana kadar askeri amaçlar için kullanılmıştır. 1 Mayıs 2000 yılında güvenlik amaçlı uydu sinyallerinin bozulmasını amaçlayan seçimli doğruluk erişimi (Selective Availability)'nin kaldırılmasıyla GPS sivil kullanıcılar içinde yüksek doğruluk sağlar hale gelmiştir. Kontrol bölümü, kullanıcı bölümü ve uzay bölümü olmak üzere üç ana bölümden oluşan GPS'in en önemli avantajları tüm hava koşullarında, sürekli olarak zaman ve mekandan bağımsız yüksek doğrulukta ve kısa sürede üç boyutlu koordinat elde edilmesi olarak sıralanabilir.

GPS'e benzer şekilde bazı ülkeler farklı zamanlarda ve yörüngelerde konum belirlemek amacıyla kendi sistemlerini geliştirmişlerdir. Bu sistemler genel olarak, GLONASS, Galileo ve BeiDou/Compass olarak sıralanabilir. Bu sistemlerin oluşturduğu global sisteme GNSS (Global Navigation Satellite System) adı verilmektedir. Bu sistemlerden başka Amerika'nın geniş alan büyütmeli sistemi (WAAS), Japonya'nın navigasyon sistemi (MSAS), Hindistan'ın yer büyütmeli navigasyon sistemi (IRNSS/GAGAN), Avrupa Birliği'nin Avrupa yersabit navigasyon kapsama servisi (EGNOS) ve Japonya'nın kuazi zenit uydu sistemi (QZSS) gibi çok sayıda uydu bazlı alan büyütmeli sistemleri (SBAS) bulunmaktadır.

GNSS'te ölçmeler referans alınan elipsoit üzerinde yapılmaktadır. Elipsoit elipsin küçük yarı eksenini etrafında döndürülmesiyle oluşan matematiksel bir şekildir. Mühendislik uygulamalarında GNSS ile elde edilen yatay koordinatlar doğrudan kullanılabilirken, düşey koordinatlar kullanılamamaktadır. Elde edilen düşey koordinatların uygulamada kullanılan, jeoitte göre belirlenmiş ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekmektedir. Hassas olarak belirlenmiş jeoit, elipsoid ve ortometrik yüksekliklerin dönüşümünde kullanılan ara bir yüzeydir.

Jeoit matematiksel olarak tanımlı zor bir şekildir. Literatürde jeoit modelinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. BÖHMBÜY'de de jeoidin belirlenmesi için çeşitli ölçü ve hesap yöntemleri önerilmiştir.

2 LİTERATÜR TARAMASI

Radyal bazlı fonksiyonlarla ilgili olarak yapılan ilk çalışma 1968 yılında Roland Hardy tarafından Multikvadrik yüzey adını verdiği çalışmasında yayınlanmıştır. Daha sonraları bu yöntem Franke, Michelli ve Kansa tarafından diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmış ve yöntem ilave koşullarla geliştirilerek radyal bazlı fonksiyonlar adını almıştır ve yöntem matematik ve jeodezinin yanı sıra tıp, elektrik-elektronik, makine, inşaat gibi bir çok bilim dalında başarıyla uygulanmıştır.

Mustafa Yanalak 1997 yılında “Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterpolasyon Yönteminin Araştırılması” adlı çalışmasında multikvadrik enterpolasyon, polinomlarla ve ağırlıklı ortalama ile enterpolasyona değinmiştir. Bu çalışmada multikvadrik enterpolasyonla hacim hesabı; kayan yüzeyler ve ağırlıklı ortalama ile hacim hesabı ile kıyaslanmış ve orantısal hatalar karşılaştırıldığında multikvadrik enterpolasyon tüm araziler için iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Abdülkerim Pekin 1999 yılında yaptığı “Açık İşletme Asamak Tenörlerinin Kriging Tahminlerinde İstatiksel Dağılım Modellerinin Etkileri” adlı çalışmada Kriging yöntemine yer vermiştir. Cengizhan İpbüker tarafından 1999 yılında yapılan çalışmada radyal bazlı fonksiyonlar “Uydu Görüntülerinin Dönüşümü” amacıyla kullanılmıştır. Hardy tarafından bulunun multikvadrik enterpolasyon yönteminin uydu görüntülerinin dönüşümü problemine uyarlanmış şekliyle büyük distorsiyonlara sahip olsalarda diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil parametresi için Fogel’in, Schul’min ve Mitel’man önerilerine yer verilmiştir.

Hakan Akçin 2002 yılında yayınladığı makalede Kriging enterpolasyonu üzerine deneysel bir uygulama yapmıştır. Ercan Öztemel 2003 yılında yapay zeka ve yapay sinir ağlarını açıkladığı bir kitap yayınlamıştır.

2004 yılında Esentürk “Bir Dizel Motorunun Performans Testi İçin İki Aşamalı İstatistiksel Motor Haritalama Modellerinin Geliştirilmesi” adlı tezinde radyal bazlı

fonksiyonları kullanmıştır. Şekil parametresinin doğru seçildiğinde sonuçların iyi olduğunu savunmuştur.

2005 yılında Mehmet Yılmaz tarafından yayınlanan çalışmada İstanbul Metropolitani için jeoit araştırması yapılmıştır. Hakan Uyar 2005 yılında yaptığı çalışmada jeoistatistik hakkında bilgi vermiştir.

2007 yılında Servet Yaprak tarafından yapılan “Kriging Yönteminin Geoit Yüzeyi Modellemesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Varolan Yöntemlerle Karşılaştırılması” adlı çalışmada Kriging yöntemi ve diğer enterpolasyon yöntemlerine yer verilmiştir.

Wilna Du Toit tarafından 2008 yılında yayınlanan tezde radyal bazlı fonksiyonlarla enterpolasyon anlatılmıştır. Tezde şekil parametresinin sonuçlara etkisi grafiklerle gösterilmiştir. Marshall Üniversitesinde 2009 yılında Maggie E. Chenoweth tarafından yapılan çalışmada şekil parametresi için çalışmalar yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

Nazan Yılmaz tarafın 2011 yılında ”Türkiye İçin Farklı Yöntem Ve Verilerle Belirlenen Jeoidlerin Karşılaştırılması” adlı çalışmada çeşitli enterpolasyon teknikleri ele alınmıştır. Bu çalışmada çeşitli yöntemlerle oluşturulan jeoitler istatikselsel olarak karşılaştırılmış Türkiye için en uygun global modelin EGM08 olduğu kanaatine varılmıştır. Ayrıca çeşitli jeoit modellerinde dağlık bölgelerde ve denize yakın yerlerde sapmaların daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Günümüze yaklaştıkça ilerleyen teknoloji ile birlikte jeoit modellerinin daha uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Sevim Bilge Keçeci 2011 yılında yaptığı “Sayısal Yükseklik Modellerinin Oluşturulmasında Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması” adlı çalışmada enterpolasyon yöntemlerini sayısal yükseklik modellerini oluşturulması için kullanmış ve sonuçları birbiriyle karşılaştırmıştır.

Leyla Çakır 2012 yılında yaptığı ”Ortometrik Yüksekliklerin Dolaylı Olarak GPS Gözlemlerinden Elde Edilmesinde Kullanılan Yöntemlerin İrdelenmesi” adlı çalışmasında radyal bazlı fonksiyonlara yer vermiştir. Bu çalışmada radyal bazlı fonksiyonlar hem kendi içinde hem de diğer yöntemlerle istatikselsel olarak mukayese edilmiştir. Radyal bazlı fonksiyonlarda en iyi sonuçların multikuadrik fonksiyonla

alındığı gözlemlenmiştir. Çalışmada şekil parametresinin sonuçlara önemli etkisi olduğu bildirilmiştir. Radyal bazlı fonksiyonlar ile polinomlarla enterpolasyon kendi arasında kıyaslandığında radyal bazlı fonksiyonların daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Burcu Doğanalp 2012 yılında yaptığı “İnsan Kaynakları Seçme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı: Görgül Bir Araştırma” adlı çalışmada Bulanık Mantık hakkında detaylı bilgi vermiştir.

Cemal Özer Yiğit 2013 yılında yaptığı “Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliğe Dönüşümünde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması” adlı çalışmada çeşitli enterpolasyon yöntemlerini karşılaştırmış ve sayısal uygulama ile kullanılabilirliklerini irdelemiştir. Selahattin Bolat 2013 yılında yaptığı Lokal Jeoid Belirleme Yöntemleri: Samsun İli Örneği adlı çalışmada Samsun ili için jeoit araştırması yapmıştır.

Şentürk ve İnce tarafından 2014 yılında yayınlanan çalışmada jeoit belirlemede kullanılan çeşitli yöntemler istatistiksel olarak kıyaslanmış ve multikvadrik yöntemin iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 2014 yılında Szu ve arkadaşları tarafından Tayvan’da yapılan çalışmada lokal jeoit belirlemenin gravimetrik yöntemlere göre avantajları incelenmiştir. 2014 yılında Selma Zengin Kazancı tarafından yapılan çalışmada Kriging yöntemi araştırılmıştır. 2014 yılında Olgı Aydın tarafından yayınlanan çalışmada Türkiye’de yıllık ortalama toplam yağışın kriging yöntemiyle belirlenmesi hedeflenmiştir. Berna Bulğurcu 2014 yılında yaptığı “Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Öngörü Modellemesi: İşsizlik Oranı İçin Türkiye Örneği” adlı çalışmada Yapay sinir ağlarına yer vermiştir.

2015 yılında Ahmet Kayabaşı “Kompakt Mikroşerit Antenlerin Rezonans Frekansının Yapay Sinir Ağları Ve Bulanık Mantık Sistemine Dayalı Uyarlanırlı Ağ Kullanarak Hesaplanması” adlı çalışmada yapay sinir ağları ve bulanık mantık hakkında bilgi vermiştir.

2016 yılında Murat Çakar yayınladığı çalışmada Kriging, polinomlarla enterpolasyon, ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon ve multikvadrik enterpolasyon yöntemlerine yer vermiş ve bunları C# programı üzerinden programlamayı amaçlamıştır. 2016 yılında Güllü ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada farklı

yöntemlerle elde edilen yerel jeoit modelleri karşılaştırılmıştır. Karesel ortalama hatalar dikkate alınarak yapılan çalışmada RBF ile enterpolasyonun sonuçlar açısından uygun olduğu görülmüştür. Sarra, Michelli ve Kansa tarafından diferansiyel denklemlerde kullanılmak amacıyla δ^2 parametresinin belirlenmesi amacıyla değişik yıllarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Bülent Haznedar 2017 yılında yaptığı “Benzetilmiş Tavlama Algoritması ile Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sisteminin (Anfis) Eğitilmesi” adlı çalışmada bulanık mantık hakkında bilgi vermiştir. Enver Çakın 2017 yılında yaptığı “Ülkelerin İnovasyon Performansının Ölçülmesinde Yapay Sinir Ağları, Bulanık Dematel Tabanlı Analitik Ağ Süreci Ve Ağırlık Kısıtlı Veri Zarflama Analizi” adlı çalışmada yapay sinir ağları ve bulanık mantık hakkında bilgi vermiştir.

3 YÜKSEKLİK SİSTEMLERİ

Günümüzde üç boyutlu konum bilgisine savunmada, planlamada, çeşitli yapıların konumlandırılmasında ve inşaatında ihtiyaç duyulur. Üç boyutlu konum yatay koordinatların yanında elde edilen düşey koordinatlarla sağlanır. Yani yükseklik bilgisi üçüncü boyutu kazandırır.

Homojen bir küre kendisinden eşit mesafedeki tüm noktalarda eşit çekim potansiyeli oluşturur. Eşit potansiyelli noktaları birleştirdiğimizde eş potansiyelli yüzey meydana gelir. Yükseklik denilince akla bir eş potansiyelli yüzeyden başlangıç alınan başka bir yüzeye olan mesafe anlaşılır.

Jeoit başlangıç olmak üzere, farklı yollardan gidilerek bir noktanın yüksekliği nivelmanla belirlense, sonuçların eşit olmadığı görülür. Nivo yüzeyleri birbirlerine paralel olmadıkları için nivelman sonuçları yola bağlıdır. Yüksekliklerin açık ve kesin biçimde tanımlanması için yalnızca yükseklik farklarının ölçülmesi yeterli olmaz; nivelman yolları boyunca ağırlık (yerçekimi ivmesi) değerlerinin de ölçülmesi gerekir. Problemin çözümü için yükseklikler, ya potansiyel değerlerden dönüştürülür ya da ölçülen yükseklik farklarına bir düzeltme getirilerek elde edilir (Demirel, 1983).

Yükseklik tanımlanmış bir referans yüzeyinden, referans yüzeyi normal boyunda olan uzaklıktır. Bu uzaklık seçilen referans yüzeyi ile nokta arasındaki en kısa mesafedir. Yükseklik fiziksel ya da geometrik anlamı olarak tanımlanabilir. Jeodezide buna göre oluşturulan çeşitli yükseklik sistemleri mevcuttur.

3.1 Jeopotansiyel Yükseklik

Yeryüzünde bir A noktasının W_A potansiyelinin jeoidin W_0 potansiyelinden olan farkına o noktanın jeopotansiyel sayısı denir. $Kgal \cdot metre$ cinsinden ifade edilir ve fiziksel bir büyüklüktür. Geometrik bir anlamı olmasa da yoldan bağımsızdır ve yükseklikler için doğal bir ölçüttür. Jeoidin jeopotansiyel sayısı sıfıra eşittir.

$$C_A = W_A - W_0 = - \int_0^A dW = \int_0^A g dn \quad (3.1)$$

C_A = A noktasındaki jeopotansiyel yükseklik

W_A = A noktasının gravite potansiyeli

W_0 = Jeoidin gravite potansiyeli

dW = Diferansiyel anlamda potansiyel farkı

dn = Diferansiyel anlamda yükseklik farkı

g = Diferansiyel anlamda yükseklik farkının oluşturduğu gravite

3.2 Dinamik Yükseklikler

Bir A noktasının jeopotansiyel sayısının sabit bir γ_0^{45} normal gravite değerine bölünmesiyle uzunluk birimine geçilir. Böylece dinamik yükseklik elde edilmiş olur. Jeoidin dinamik yüksekliği sıfıra eşittir. Her bir nivo yüzeyine karşılık bir dinamik yükseklik karşılık gelir. Geometrik olarak anlamsızdır.

A ve B noktalarındaki dinamik yükseklik

$$H_A^{din} = \frac{C_A}{\gamma_0^{45}} \quad ; \quad H_B^{din} = \frac{C_B}{\gamma_0^{45}} \quad (3.2)$$

olur. Bunlar arasındaki fark için ise,

$$H_B^{din} - H_A^{din} = \Delta H_{A,B}^{din} = (C_B - C_A) / \gamma_0^{45} = \Delta C_{A,B} / \gamma_0^{45} \quad (3.3)$$

yazılabilir. Burada C_A ve C_B , A ve B noktalarındaki jeopotansiyel yüksekliklerdir.

3.3 Normal Yükseklikler

Yeryüzünün gerçek gravite alanının normal gravite alanı olduğu, yani $W=U$, $g=\gamma$, $T=0$ olduğu kabul edilsin. İşte bu varsayıma karşılık gelen ortometrik yüksekliklere normal yükseklik adı verilir ve $H^N = C/\gamma$ eşitliği ile ifade edilir.

W= Gerçek gravite potansiyeli

U= Normal gravite potansiyeli

T= Bozucu potansiyel

H^N = Normal Yükseklik

C= Jeopotansiyel Sayı

$\bar{\gamma}$ = Çekül eğrisi boyunca olan ortalama normal gravitedir ve iteratif olarak aşağıdaki eşitlikten çözülür.

$$\bar{\gamma} = \gamma_0 \left[1 - \left(1 + f + \frac{\omega^2 ab}{kM} - 2f \sin^2 \varphi \right) \frac{H^N}{a} + \left(\frac{H^N}{a} \right)^2 \right] \quad (3.4)$$

Burada γ_0 , aynı φ enleminde elipsoit üzerindeki normal gravite, φ jeodezik enlem, f basıklık, ω yerin açısal dönme hızı, a ve b elipsoidin büyük ve küçük yarı eksenleri, kM Newton çekim sabiti ile yerin kitlesinin çarpımıdır (Demir ve Cingöz, 2002).

3.4 Ortometrik Yükseklikler

Yeryüzünde bir noktanın çekül eğrisi boyunca jeoide uzaklığına ortometrik yükseklik denir. Ortometrik yükseklik, noktanın bulunduğu yerdeki gravite değerine bağlıdır. Ortometrik yükseklik kavramı geometrik bir anlamdan daha çok fiziksel bir anlam taşır.

$$H = \frac{C}{\bar{g}} \quad (3.5)$$

H= Ortometrik yükseklik

C= Ortometrik yüksekliği bulunmak istenen noktanın jeopotansiyel sayısı

$\bar{g}$ = Jeoit ile nokta arasında çekül eğrisi boyunca gravitenin ortalama değeridir.

$\bar{g}$ değerini hesaplamak için yerin içindeki g gravite değeri ölçülemediğinden, yüzeyde ölçülen gravite değerleri Poincare ve Prey yöntemiyle indirgenir. $\bar{g}$ değeri

$$\bar{g} = g + 0.0424H$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Burada g , gal; H , km cinsindendir (Berber, 2005).

3.5 Elipsoidal Yükseklikler

Yeryüzünde bir noktanın elipsoit normali boyunca elipsoide olan uzaklığına elipsoidal yükseklik denir. Yerin gerçek gravite değeri ile ilişkili olmadığından fiziksel bir anlam taşımaz yani geometrik anlamlıdır. Elipsoidin boyutları ve datumu ile ilişkilidir. Elipsoidal yükseklikler (h) ve ortometrik yükseklikler (H) arasında N jeoit yüksekliği olmak üzere,

$$N = h - H \tag{3.6}$$

eşitliği vardır.

4 JEOİT BELİRLEME

Listing'e göre jeoit kısmen durgun okyanus yüzeyleri ile de gösterilebilen, karaların altından devam ettiği varsayılan eş potansiyel yüzeydir. Jeoidi belirleyen en önemli unsur yeryuvarının içindeki kitlelerin yoğunluğudur. Kitle yoğunluğunun değiştiği yerlerde yüzeyin eğriliği süreksizleşir. Bu nedenle jeoit karmaşık ve matematiksel tanımı çok zor olan bir yüzeydir (Yılmaz, 2005). Jeoit belirleme jeodezinin önemini yitirmeyen konularındandır. Çünkü uydularla elde edilen elipsoidale yükseklikler ile nivelman sonucunda elde edilen ortometrik yükseklikler arasında (3.6) formülü gereği doğal bir bağ vardır.

Elipsoit ise elipsin küçük yarı eksenini etrafında döndürülmesiyle elde edilen matematik şeklidir. Elipsoit ile jeoit normal olarak çakışmamaktadır. Bunun nedeni, elipsoidin matematiksel olarak tanımlanmasına karşılık jeoidin fiziksel bir yüzey olmasıdır. Jeoit ile elipsoit arasındaki farklılıklar, yeryuvarının gravite alanındaki değişimlerini yansıtmaktadır.

Genel olarak jeoidin belirlenmesi denilince anlaşılması gereken; yeterli sayıda noktada, jeoide ait W (gerçek gravite potansiyeli), H (ortometrik yükseklik), g (gerçek gravite), Φ , Λ (astronomik enlem ve boylam) büyüklükleri ile seçilen referans elipsoidine ait U (normal ya da standart gravite potansiyeli), h (elipsoit yüksekliği), γ (normal ya da standart gravite), φ, λ (jeodezik enlem ve boylam) büyüklüklerinin karşılıklı farkından oluşan T (bozucu potansiyel), N (jeoit yüksekliği), Δg (gravite anomalisi), n, ζ (çekül sapması bileşenleri) yaklaşım miktarlarının belirlenmesidir. Bu yaklaşım miktarları, elipsoit ve jeoit arasındaki farklılaşmanın şeklini ve büyüklüğünü gösterir. Pratikte jeoidin belirlenmesi genellikle N jeoit yükseklikleri yardımıyla yapılır.

4.1 Jeoit Belirleme Yöntemleri

Jeoidin belirlenmesi yatay konumu bilinen bir noktada jeoit yüksekliğinin sayısal ve analog olarak elde edilmesini sağlayacak biçimde modellenmesidir (Yılmaz, 2005; Yaprak, 2007).

Jeoit modelleri bölgesel ve global olarak belirlenebilir. Jeoit belirleme yöntemleri tarihsel olarak kullanılan verilere ve geliştirilen alet ve bilgisayar imkânlarına göre bir gelişim göstermiştir. İlk jeoit belirleme, bir noktadaki astronomik enlem ve boylam ile aynı noktadaki jeodezik enlem ve boylam arasındaki farkları (çekül sapmalarını) kullanarak jeoit belirlemeye dayanan astro-jeodezik yöntemle yapılmıştır. 1970’li yılların başlarında bilgisayarın hesaplarda kullanılmaya başlamasıyla birlikte düşük dereceli jeopotansiyel modeller geliştirilmiş ve jeoit belirlenmiştir. 1980’li yıllarda gravite verilerinin elde edilmesi ve bilgisayarlar sayesinde hızlı Fourier transformasyonu kullanılarak jeoit belirlenmiştir. 1990’lı yıllara gelindiğinde konum belirlemede uydu tekniklerinin kullanılmasıyla GPS/Nivelman yöntemi jeoit belirlemede yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Yılmaz ve Arslan, 2005).

Jeoit belirleme yöntemleri, eldeki mevcut verilere ve kullanılan modellere göre sınıflandırılabilir. Jeoit belirleme yöntemleri, kullanılan veriler ve modeller dikkate alınarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılır (Sjöberg, 1994).

- 1) Astro-jeodezik yöntemle jeoit belirleme
- 2) Gravite değerlerine göre jeoit belirleme
 - a) Stokes fonksiyonu ile
 - b) Hızlı Fourier transformasyonu ile
 - i) Bir boyutlu hızlı Fourier transformasyonu ile (1d-fft)
 - ii) İki boyutlu hızlı Fourier transformasyonu ile (2d-fft)
- 3) Sayısal yoğunluk yöntemine göre jeoit belirleme
- 4) Jeopotansiyel yaklaşımı ile jeoit belirleme
- 5) Kombine yöntemle jeoit belirleme (remove - restore)
- 6) GPS/Nivelman yöntemine göre jeoit belirleme
 - a) Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon
 - b) Polinomlarla enterpolasyon
 - c) Multikvadrik enterpolasyon
 - d) Üçgenler ağında lineer enterpolasyon
 - e) Sibson enterpolasyonu
 - f) Non - Sibson enterpolasyonu
 - g) Jeostatistik enterpolasyon yöntemleri ile jeoit belirleme

- h) Kollokasyon modelleme ile jeoit belirleme
- i) Sonlu elemanlar yardımı ile jeoit belirleme
- j) Bulanık mantık ile jeoit belirleme

Global jeoit modelleri uzun dalga boyunda jeoit değişimlerini göstermekte mutlak doğrulukları düşük olup yerel etkileri içermemektedir. Bu sebeple GPS/Nivelman yöntemi küçük (lokal) alanlarda jeoit belirlemek amacıyla kullanılır. Yüksekliklerin belirlenmesinde nivelman işlemi hem zaman alan hem de yorucu bir işlemdir. Bu sorunun GPS ile çözülmesi için jeoit ondülasyonunun hassas bir biçimde belirlenmesi gerekir. GPS/Nivelman ölçüleri ile elipsoidal ve ortometrik yükseklikleri hassas bir şekilde belirlenmiş noktaları kapsayan bir çalışma alanında, çeşitli yöntemler ile jeoidi en iyi temsil eden analitik bir jeoit yüzey geçirilmesi ara noktalarda jeoit ondülasyonlarının kolaylıkla hesaplanmasını sağlar.

4.2 Polinomlarla Enterpolasyon

Polinomlarla enterpolasyon enterpolasyon yöntemleri içerisinde en sık kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Bu enterpolasyon tekniğinin amacı araziye tek bir fonksiyonla ifade etmektir (Ayar, 2009).

Tek değişkenli bir fonksiyonun matematiksel ifadesi;

$$P(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad (n \in \mathbb{N}; a_0 \dots a_n \in \mathbb{R}) \quad (4.1)$$

şeklinde. Bu polinomda en yüksek dereceli terimin derecesi n , polinomun derecesidir. n . dereceden bir polinom, $(n-1)$ tane kırılmaya uğrar. a_0 bu polinomda sabit sayıdır (Yiğit, 2003).

Bir yüzey genellikle iki değişkenli yüksek dereceden polinomlarla ifade edilir. Yüzeyin oluşturulmasında ortogonal ve ortogonal olmayan polinomlar kullanılabilir. Yüzeyin belirlenmesi için yüksek katsayılı polinom seçilmesi oluşturulan yüzeyin daha doğru olacağı anlamına gelmez. Yani yüksek dereceli polinom seçilmesi hesap yükünü artıracaktır ve araziye temsil niteliğini kayıp ettirecek şekilde gereksiz salınımlara neden olacaktır.

Tablo 4.1 Polinomlarla Enterpolasyon (Yiğit, 2003)

ORTOGONAL		ORTOGONAL OLMAYAN	
Genel Formül	$\sum_{k=0}^n \sum_{j=k-i}^k a_{ij} x^i y^j$	Genel Formül	$\sum_{k=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j$
n=1 için Lineer	$N(x,y)=a_0 + a_1 y + a_2 x$	n=1 için bilineer	$N(x,y)=a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 xy$
n=2 için kuadratik	$N(x,y)=a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2$	n=2 için biquadratik	$N(x,y)=a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + a_6 x^2 y + a_7 xy^2 + a_8 x^2 y^2$
n=3 için kübik	$N(x,y)=a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + a_6 x^3 + a_7 x^2 y + a_8 xy^2 + a_9 y^3$	n=3 için bikübik	$N(x,y)=a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + a_6 x^2 y + a_7 xy^2 + a_8 x^2 y^2 + a_9 y^3 + a_{10} xy^3 + a_{11} x^2 y^3 + a_{12} x^3 + a_{13} x^3 y + a_{14} x^3 y^2 + a_{15} x^3 y^3$
Eşitliklerde; n polinomun derecesi, a_{ij} polinomun bilinmeyen katsayıları, (x,y) düzlem koordinatları			

Yüzeyin oluşturulmasında kuadratik yüzey seçilmesi durumunda genel formülde yer alan k değeri 0,1 ve 2 değerlerini alacaktır. Bu durumda yüzey tabloda gösterilen denklem ile ifade edilir. Denklemin çözümü için en az 6 tane dayanak noktasına ihtiyaç vardır. Dayanak nokta sayısı 6'dan fazla ise çözüm için En Küçük Kareler metodu kullanılır. İfadenin matris gösterimi

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_s \end{bmatrix} \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & x_1 & x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 \\ 1 & y_2 & x_2 & x_2^2 & x_2 y_2 & y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & y_s & x_s & x_s^2 & x_s y_s & y_s^2 \end{bmatrix} \mathbf{L} = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_s \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$\mathbf{X}$ bilinmeyen katsayılar vektörü, $\mathbf{A}$ katsayılar matrisi, $\mathbf{L}$ ölçü vektörü olmak üzere

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{A}, \mathbf{n} = \mathbf{A}^T \mathbf{L}, \mathbf{x} = \mathbf{N}^{-1} \mathbf{n} \quad (4.3)$$

eşitlikleri yazılabilir. Polinomun bilinmeyen katsayıları hesap edildikten sonra istenen noktalardaki jeoit ondülasyon değerleri eşitliği ile bulunabilir.

4.3 Ağırlıklı Ortalama Yöntemi İle Jeoit Belirleme

Uygulama kolaylığı nedeniyle en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Enterpolasyon noktasının yüksekliği, çevresinde bulunan dayanak noktalarının

ağırlıklı ortalaması olarak hesaplanır. Her bir dayanak noktasının yüksekliğine verilecek olan ağırlık değeri o noktanın interpolasyon noktasına olan uzaklığın bir fonksiyonudur (Yanalak, 1997). Ağırlık değerleri P_i ;

$$P_i = \frac{1}{d_i^k} \quad i = 1,2,3 \dots mk = 1,2,3,4 \quad (4.4)$$

eşitliği ile veya

$$P_i = \frac{1}{e_i^{\left(\frac{d_i^2}{k^2}\right)}} \quad i = 1,2,3 \dots mk = 1,2,3,4 \quad (4.5)$$

olarak verilir. Burada,

m : Dayanak nokta sayısı,

d_i : Dayanak noktası ile interpolasyon noktası arasındaki yatay uzaklık değerini $(\sqrt{(x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2})$

(x_i, y_i) : Dayanak noktasının koordinatlarını

(x_e, y_e) : Interpolasyon noktasının koordinatlarını gösterir.

Ağırlıklı ortalama yöntemine göre bir noktanın jeoit yüksekliği

$$(N)_E = \frac{\sum_{i=1}^m N_i P_i}{\sum_{i=1}^m P_i} \quad (4.6)$$

şeklindedir. Formülde:

N_e : Interpolasyonla bulunacak jeoit ondülasyonu

N_i : Interpolasyon noktası çevresindeki dayanak noktalarının jeoit ondülasyonu

P_i : Dayanak noktalarına atanacak ağırlık değerleri

m : Interpolasyonda kullanılacak dayanak nokta sayısını ifade eder.

Uzaktaki dayanak noktaları sonucu olumsuz etkileyeceği için uygun dayanak noktalarının seçimi için kritik daire çizilir. Kritik daire dışında kalan noktalar işleme dahil edilmez. Daire yerine kare ve dikdörtgende kullanılabilir (Yılmaz, 2011).

4.4 Radyal Bazlı Fonksiyonlar

Radyal bazlı fonksiyonlarla (RBF) enterpolasyon, 1968’de Hardy tarafından kartoğrafya alanında topoğrafik harita oluşturmak amacıyla geliştirilen Multikvadrik metodun genelleştirilmiş halidir (Çakır, 2012). Hardy’e göre matematiksel olarak tanımlanmamış bir yüzey, matematik olarak tanımlanmış yüzeylerin toplamı ile istenilen bir doğruluk derecesinde tanımlanabilir. Hardy tanımladığı bu yüzeye “Multikvadrik yüzey” adını vermiştir (Hardy, 1971; İpbüker, 1999).

1979 yılında Franke çeşitli enterpolasyon yöntemlerini karşılaştırdığı bir çalışma yayınlamıştır. Bu çalışmaya göre Hardy’nin Multikvadrik yöntemi en istikrarlı, en iyi ya da en iyiye yakın sonuçlar veriyordu. 1986’da IBM matematikçisi Michelli’nin Multikvadrik yöntemin arkasındaki teoriyi geliştirmesinden 4 yıl sonra, fizikçi Edward Kansa ilk kez diferansiyel denklemlerin çözümü için kullanmıştır. 1992’de Madych ve Nelson’un sonuçları multikvadrik enterpolasyonunun spektral yakınsama oranını gösterdi. Kansa’nın keşfinden sonra RBF için araştırmalar hızla artmıştır (Chenowet, 2009). RBF ile enterpolasyon tekniğinde yüzey modeli, çalışma bölgesindeki noktaların dağılımından anlamlı bir şekilde etkilenmez, hatta dayanak noktaları bölge içerisinde iyi bir şekilde dağılmamış bile olsa sonuçlar tatmin edicidir. Eğer dayanak noktası ile enterpolasyonu yapılacak noktalar arasındaki mesafe artarsa yüzey modeline dayanak noktasının katkısı azalır. Multikvadrik enterpolasyon tekniğinde yüzey modeli dayanak noktalarından geçer (Uluğtekin 1994).

Radyal bazlı fonksiyonlar teorisi çok değişkenli fonksiyonların enterpolasyonuna dayanmaktadır. Burada amaç $(x^s, y^s)_{s=1}^N$ ifadelerinin enterpolasyonunu yapmaktır. Bu durumda $x_s \in R^d$ olmalıdır. Bu denklemde f lineer uzayda bir fonksiyon olduğundan yani doğrusal bir fonksiyon olduğundan radyal bazlı fonksiyonlar yaklaşımında f enterpolasyon fonksiyonu temel bazı fonksiyonların lineer bir kombinasyonudur (Topaloğlu, 2007). Radyal bazlı

fonksiyonlar çok boyutlu uzayda eğri uydurma yaklaşımıdır. Eğri uydurma teorisi, herhangi birçok değişkenli ve sürekli $f(x)$ fonksiyonunu yaklaştırma ya da entepole etme problemi ile ilgilidir. Radyal bazlı fonksiyonlarla entepolasyon fonksiyonu,

$$f(x, y) = P(x, y) + \sum_{i=1}^N w_i \varphi(|(x, y) - (x_i, y_i)|) \quad (4.7)$$

olarak verilir. Burada ,

$P(x, y)$ = Polinomu

w_i = Gerçek ağırlıkları

$|(x, y) - (x_i, y_i)|$ = Noktalar arasındaki Öklid uzunluğunu

$\varphi(r)$ = Temel fonksiyonu

gösterir. Entepolasyon işlemi $P(x, y)$ polinomunu kullanarak polinomal regresyon ile başlar. Sonrasında bilinmeyen ağırlıkların belirlenmesi için (4.8) lineer denklem sistemi çözülür.

$$Z_j - p(x, y) = \sum_{i=1}^N w_i \varphi(|(x, y) - (x_i, y_i)|) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.8)$$

Ağırlıklar belirlendiğinde ise yüzeyi tanımlayan z değerleri (4.7) formülü yardımı ile bütün noktalar için bulunur (Dressler, 2009). Uzunluk temelli fonksiyonlar, veri grupları için çeşitli entepolasyon fonksiyonları kullanarak (Ters multikvadrik, multilog, multikvadrik, natural cubic spline ve thin plate spline) en uygun yüzeyi belirlemeye çalışırlar.

4.4.1 Radyal Bazlı Fonksiyon Türleri

4.4.1.1 Gauss merkezci RBF

Sinir ağlarında kullanılan en genel RBF, Gauss Merkezci Radyal Tabanlı (GRBF) fonksiyonudur. Profil fonksiyonu;

$$\varphi(r) = e^{(-r^2/\sigma^2)} \quad (4.9)$$

Bu profil fonksiyonu şu şekilde bir radyal bazlı fonksiyon ortaya çıkarır :

$$Z(x) = \exp \left[-\frac{\|x - \mu\|^2}{\sigma^2} \right] \quad (4.10)$$

Bu ifadede genişlik parametresi Gauss fonksiyonunun standart sapması ile aynıdır. Genişlik arttıkça eğri daha da genişlemekte ve fonksiyonun sayısal olarak duyarlı olduğu bölge genişlemektedir.

4.4.1.2 Thin plate spline (TPS) RBF

RBF türlerinden bir diğeri ise Grace Wahba tarafından ortaya atılan TPS radyal bazlı fonksiyonudur. TPS'nin önemli bir özelliği de dayanak noktalarından geçmesi tasarlanan yüzeyin oluşturulmasında harcanan (4.11) eşitliğindeki eğme (bending) enerji fonksiyonunu minimize etmesidir. Enerjiyi minimize eden bir yüzey olmasının anlamı, yüzeyin multikvadrik ve ters multikvadrik yüzeylere göre daha yumuşak bir yüzey olması ile ilişkilidir.

$$I(f) = \iint_{R^2} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right)^2 dx dy \quad (4.11)$$

Fonksiyonu;

$$\varphi(r) = (r/\sigma)^2 \log r/\sigma \quad (4.12)$$

şeklindedir.

RBF'nin kendisi birçok farklı işlev türüne sahip olmakla birlikte, çoklu harmonik levha (spline) ailesi enterpolasyon için sıklıkla kullanılır, özellikle de yukarıda tanımlanan TPS fonksiyonu birçok uygulamada tercih edilir.

Farklı ağırlıklarda bulunan farklı merkezler üzerinden bir toplam alınabilir ve isteğe bağlı olarak, ağırlıklı doğrusal bir polinom terimi eklenebilir. Bu durumda şu fonksiyon elde edilmektedir,

$$z(x, y) = \sum_{i=1}^N \omega_i \varphi(r_i) + a_0 + a_1 x + a_2 y \quad (4.13)$$

Yeterli merkez bulunması durumunda, bu RBF toplamı çok karmaşık tek değerli fonksiyonları temsil etmek için kullanılabilir. TPS kullanırken, bu işlevin her yerde pürüzsüz olduğu ve sonsuz difarensiyellenebileceği ek bir avantaj

sağladığı bilinmektedir (Sastry, 2015). Bu RBF yöntemiyle düz bir yüzeyin nasıl enterpolasyon uygulanacağına bakılacak olursa; $C(x_c, y_c)$ nokta koordinatları olmak üzere, merkez nokta konumları kümesi C_1, C_2, C_N verildiğinde ve bunlara karşılık gelen yükseklik değerleri Z_1, Z_2, Z_N , radyal bazlı fonksiyonun ağırlıkları $w_1 \dots w_N$, polinomal terimlerin ağırlıkları a_0, a_1, a_2 ise denklem aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır.

$$\begin{bmatrix} \phi_{1,1} & \dots & \phi_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{N,1} & \dots & \phi_{N,N} \\ x_{c,1} & \dots & x_{c,N} \\ \vdots & & \vdots \\ y_{c,1} & & y_{c,N} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_N \\ a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_N \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (4.14)$$

Çapraz olmayan terimlerin neredeyse tamamı, ince plaka eğrisini kullanırken sıfır olmayacaktır, bu nedenle bu sistem matrisi oldukça yoğundur. Doğrusal sistem tüm ağırlıklar için çözülebilir ve sonra ağırlıklı RBF'lerin toplamını xy düzlemindeki diğer herhangi bir noktada değerlendirebilir, böylece düz bir enterpolasyon fonksiyonu elde edilir (Frei, 2016).

4.4.1.3 Lojistik tabanlı fonksiyon

Bu radyal tabanlı fonksiyon Hassoun tarafından ortaya atılmıştır. Fonksiyonu;

$$\varphi(r) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r}{\sigma^2}\right)} \quad (4.15)$$

olarak verilmiştir.

4.4.1.4 Multikuadrik RBF

Jeodezik amaçlı birçok problemin çözümünde kullanılan bu analitik yöntem ilk olarak 1971 yılında Rolland L. Hardy tarafından önerilmiştir. Bu enterpolasyon tekniğinin amacı, çalışma alanında bilinen tüm dayanak noktalarının kullanılması ile tek bir fonksiyon kullanarak yüzeyi tanımlamaktır. Veri grubunu iyi temsil etmesi ve yumuşak yüzeyler oluşturması bakımından Multikuadrik yöntem genellikle iyi sonuç vermektedir (Doğruluk, 2013).

Tekniğin uygulanabilmesi için ilk olarak dayanak noktaları kullanılarak bir trend yüzey geçirilmektedir. Trend yüzey olarak birinci ya da ikinci dereceden polinom kullanılmaktadır (Leberl, 1973). Bu aşamadan sonra, dayanak noktalarındaki artık jeoit yüksekliği değerleri (ΔN_i) hesaplanır. Bu artık jeoit yüksekliği değerleri, multiküadratik yöntem için ℓ matrisi olarak kullanılmaktadır. ΔN_i artık jeoit yüksekliği değerleri;

$$\Delta N_i = N_i - N(x_i - y_i) = N_i - N_{Trend} = 1, 2, \dots, m \quad (4.16)$$

eşitliğiyle hesaplanır. (x_e, y_e) enterpolasyon noktasındaki ΔN_e artık jeoit yüksekliği değeri ise,

$$\Delta N_e = N_e - N(x_e - y_e) = N_e - N_{Trend} \quad (4.17)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu eşitlikteki ΔN_e ve N_e değerleri bilinmeyen değerlerdir. Bu değerlerden birisinin bulunması halinde diğeri hesaplanabilir. Burada artık jeoit yüksekliği değerleri Multiküadratik yüzey diye bilinen, katsayıları tanımlanmış ikinci dereceden yüzey denklemlerinin toplamı olarak hesaplanabilmektedir. En genel gösterimiyle multiküadratik yüzey,

$$\Delta N = \sum_{i=1}^N C_i Q[x_i, y_i; x, y] \quad (4.18)$$

şeklindedir (Hardy, 1971).

Burada, C_i dayanak noktalarının bilinen ΔN_i artık yükseklik değerlerinden hesaplanan bilinmeyen katsayıları, $Q(x, y, x_i, y_i)$ ise Kernel fonksiyonudur. (4.18) eşitliğinden başka multiküadratik yüzey çeşitleri de mevcuttur. Örneğin,

$$\Delta N = \sum_{i=1}^N c_i [(x - x_i)^2 + (y - y_{0i})^2 + \delta^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4.19)$$

iki yapraklı dairesel hiperboloit serilerinin toplamı veya,

$$\Delta N = \sum_{i=1}^N c_i [(x - x_i)^2 + (y - y_{0i})^2 + \delta^2] \quad (4.20)$$

şeklinde dairesel parabolit serilerinin toplamı şeklinde ifade edilebilir. Bağıntılardaki δ isteğe bağlı bir katsayıdır.

(6.16) eşitliğinde $\delta=0$ alınırsa multikvadratik yüzey,

$$\Delta N = \sum_{i=1}^N c_i [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4.21)$$

biçiminde olur.

4.4.1.5 Ters Multikvadratik RBF

Genelleştirilmiş ters multikvadratik 1982 yılında Franke tarafından tanımlanmıştır.

Fonksiyonu

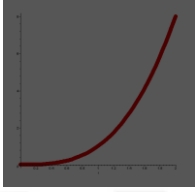
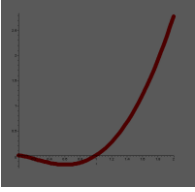
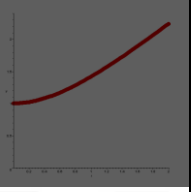
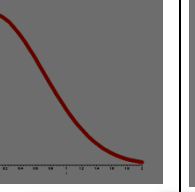
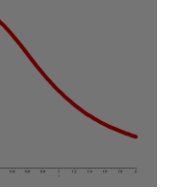
$$\varphi(r) = \frac{1}{\sqrt{r^2 + \sigma^2}} \sigma \neq 0 \quad (4.22)$$

şeklindedir.

Tablo 4.2 Radyal Bazlı Fonksiyon Türleri

RBF türü	Formül
Multikvadratik	$Q(d) = \sqrt{d^2 + \delta^2}$
Ters Multikvadratik	$Q(d) = 1/\sqrt{d^2 + \delta^2}$
İnce Tabakalı Spline	$Q(d) = d^2 \log d$
Multilog	$Q(d) = \log d^2$
Gauss	$Q(d) = e^{-\delta^2 d^2}$
Kübik spline	$Q(d) = d^3$
Kuintik	$Q(d) = d^5$
Doğal Kübik Spline	$Q(d) = (d^2 + \delta^2)^{3/2}$

Tablo 4.3 Radyal Bazlı Fonksiyon Grafikler

Piecewise Smooth		Infinitely Smooth		
Kübik	TP Spline	Multikvadrik	Gauss	Ters Kuadrik
				

4.5 RBF Kullanarak Yerel Jeoit Belirleme

Bu enterpolasyon yönteminin amacı dayanak noktalarının tümünü aynı anda kullanarak araziye tek bir fonksiyonla ifade etmektir. Yöntemin uygulamasında öncelikle, m sayıdaki dayanak noktası kullanılarak bir trend yüzeyi geçirilir. Bu yüzey için polinom, harmonik seri veya trigonometrik fonksiyonlar kullanılabilir. Şimdiye kadar yapılan uygulamalar 1. veya 2. derece bir polinomun yeterli olduğunu göstermiştir (Leberl, 1973; Yanalak, 1997). n . dereceden bir polinomun bilinmeyen katsayıları dayanak noktalarının N_i ondülasyon değerlerine bağlı olarak en küçük karelere göre çözümlendikten sonra, dayanak noktalarındaki ΔN_i artık ondülasyon değerleri hesaplanır.

$$\Delta N_i = N_i - N(x_i - y_i) = N_i - N_{Trend=1,2,\dots,m} \quad (4.23)$$

Burada $N(x_i, y_i)$ trend fonksiyonundan elde edilen her hangi bir i noktasına ait ondülasyon değeridir. (x_0, y_0) enterpolasyon noktasındaki ΔN_0 artık ondülasyon değeri ise,

$$\Delta N_0 = N_0 - N(x_0 - y_0) = N_0 - N_{Trend} \quad (4.24)$$

c: n elemanlı bilinmeyenler vektörü,

$\Delta \mathbf{N}$: n sayıdaki dayanak noktalarına ait ΔN artık yükseklik değerleri için n elemanlı vektör olmak üzere,

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{c} = \Delta \mathbf{N} \quad (4.29)$$

biçiminde ifade edilebilir. Buradan c_i katsayıları,

$$\mathbf{c} = \mathbf{A}^{-1} \Delta \mathbf{N} \quad (4.30)$$

matris eşitliğinden hesaplanır. Son olarak (x_0, y_0) koordinatlarıyla bilinen herhangi bir enterpolasyon noktasının N_0 değeri,

$$N_0 = P(x_0, y_0) + \Delta N_0 = P(x_0, y_0) + \sum_{i=1}^N C_i q_{i0} \quad (4.31)$$

eşitliği ile hesaplanır (Hardy, 1971; Amidror, 2002; Yanalak, 2002; Çakır, 2012). RBF'den ince tabakalı spline fonksiyonu için (4.28) eşitliğindeki $\mathbf{A}$ matrisi singüler özellik gösterebilir (Çakır, 2012). Bu durumda çözüm sağlanamaz. Bundan dolayı (4.7) bağıntısına Micchelli'nin önerdiği (4.34) koşulları ilave edilerek çözüme devam edilir. (4.7) numaralı eşitlikte örneğin lineer fonksiyon kullanılması durumunda matematiksel ifade

$$N = \sum_{i=1}^N C_i q_{ij} + b_0 + b_1 x + b_2 y \quad (4.32)$$

şeklinde yazılabilir. $\mathbf{B}$ polinom bilinmeyenlerine ait katsayılar matrisi ve $\mathbf{b}$ polinomun bilinmeyen katsayıları vektörü olup (4.32) eşitliğinin matris gösterimi,

$$\mathbf{N} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{c} + \mathbf{B} \mathbf{b} \quad (4.33)$$

biçimindedir. Lineer polinom kullanılması durumunda (6.23) eşitliğine aşağıdaki koşullar ilave edilerek (Franke, 1979, 1982; Michelli, 1984; Fogel ve Tinney 1996; Buhmann, 2000; Çakır, 2012).

$$\mathbf{B} \mathbf{c} = 0, \sum_{i=1}^n c_i = \sum_{i=1}^n c_i x_i = \sum_{i=1}^n c_i y_i = 0 \quad (4.34)$$

c_i ve b_i değerleri,

$$\mathbf{c} = \mathbf{A}^{-1}(\mathbf{N} - \mathbf{B}\mathbf{b}) \quad (4.35)$$

$$\mathbf{b} = (\mathbf{B}^T \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{A}^{-1} \mathbf{N} \quad (4.36)$$

matris eşitliklerinden ayrı ayrı hesaplanabilir (Çakır, 2012). Ya da

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{c}_i \\ \mathbf{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{N} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (4.37)$$

denkleminin hesaplanması gerekir. Eşitliğin sol tarafındaki blok matris tam ranka sahip olduğundan istenen katsayılar için tek çözüm vardır (Çakır, 2012)

(4.37) eşitliğini daha açık bir şekilde ifade edersek,

$$\underbrace{\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} & 1 & x_1 & y_1 \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} & 1 & x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \cdots & q_{nn} & 1 & x_n & y_n \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & x_2 & \cdots & x_n & 0 & 0 & 0 \\ y_1 & y_2 & \cdots & y_n & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{G}} \underbrace{\begin{bmatrix} c_1 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_n \\ b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}}_{\mathbf{X}} = \underbrace{\begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_n \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{L}} \quad (4.38)$$

biçiminde gösterilir. Buradan, radyal bazlı fonksiyonun katsayıları c_i ve polinom fonksiyonun katsayıları b_i ,

$$\mathbf{X} = \mathbf{G}^{-1} \mathbf{L} \quad (4.39)$$

matris eşitliğinden hesaplanabilir. Son olarak enterpolasyon noktasının yükseklik değeri (4.32) eşitliğinden elde edilir.

4.6 δ^2 Şekil Parametresinin Belirlenmesi

Radyal bazlı fonksiyonlardan Gauss, multikvadrik ve ters multikvadrik fonksiyon eşitliklerinde geçen δ^2 geometrik parametresi kullanıcı tarafından belirlenen sabit bir sayıdır. Yüzeyin düzgünlüğünü veya keskinliğini gösteren δ parametresinin üretilen sonuçlar üzerindeki etkisi de büyüktür. Multikvadrik

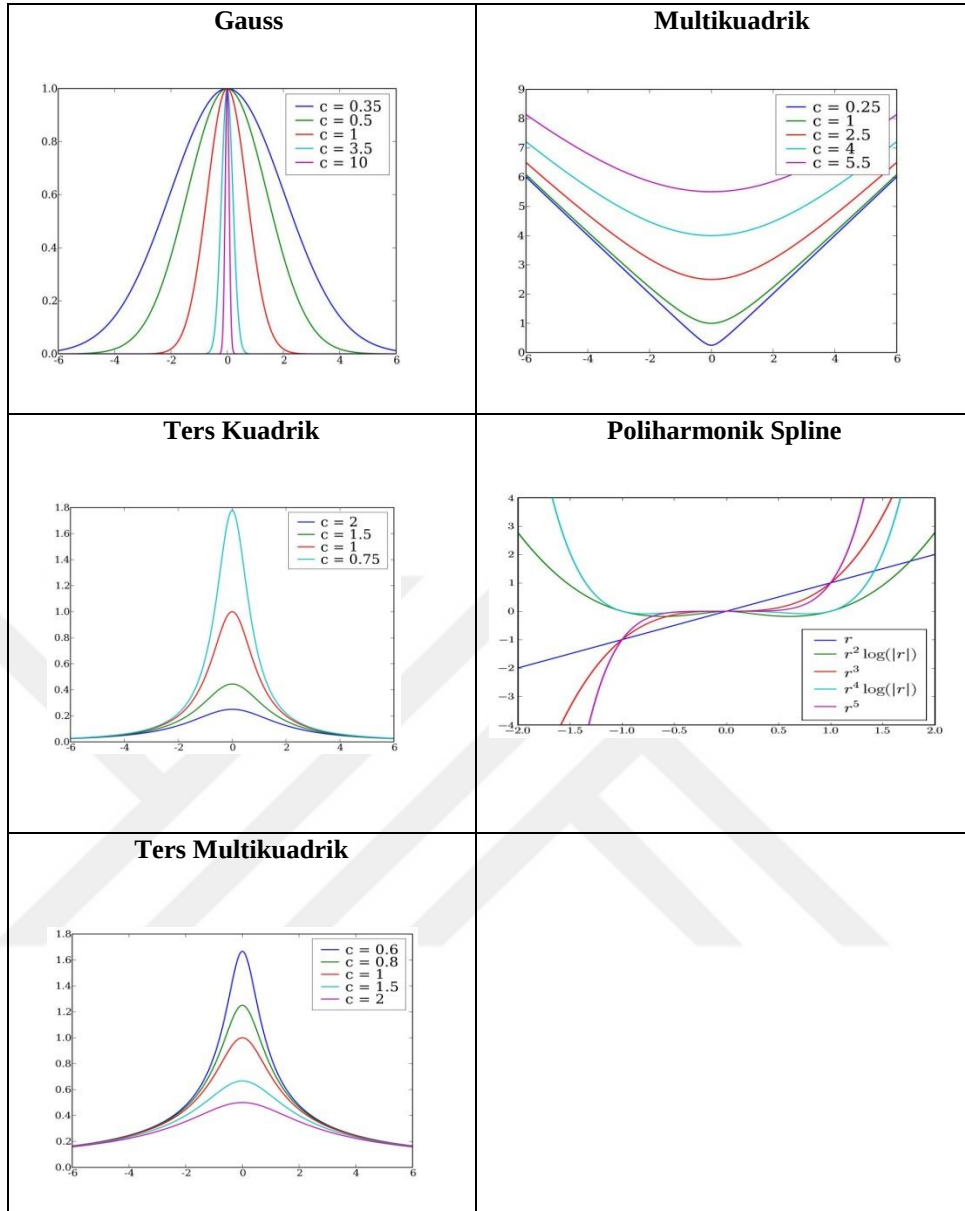
fonksiyonlarda δ için verilen küçük değerler bir zirve görünümü verirken, büyük değerler geniş yüzey özelliği gösteren düz yüzey görünümü vermektedir. Gauss fonksiyonu için tersi durum söz konusudur (Çakır, 2012).

δ^2 parametresinin belirlenmesi için problemin ölçeğine, verilerin yoğunluğuna ve dağılımına göre çeşitli öneriler mevcuttur (Hardy, 1971; Schul'min ve Mitel'man, 1974; Franke, 1979; Kansa, 1990; Çakır, 2012). Ayrıca Rippa, δ^2 parametresini belirlemek için çapraz doğrulama tekniğini önermiştir (Çakır, 2012).

Tablo 4.4 δ^2 Parametresinin Belirlenmesi

Önerenler	Matematiksel ifade
Hardy	$\delta=0.815s$
Franke	$\delta = 1.25D/\sqrt{n}$
Fasshaurer	$\delta = 2/\sqrt{n}$
Kansa	$\delta^2 = \delta^2 \min(\delta_{\max}^2/\delta_{\min}^2)^{(j-1)(n-1)} \quad j = 1,2,3 \dots n$
Schul'min ve Mitel'man	$\delta^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]}{n(n-1)}$

Tablo 4.4'de, çalışma alanındaki tüm dayanak noktalarının en yakın komşuluğundaki nokta ile arasındaki mesafelerin ortalaması olup, D tüm dayanak noktalarını içine alan en küçük çemberin çapını, n ise dayanak nokta sayısını göstermektedir (Çakır, 2012).



Şekil 4.1 Radyal Bazlı Fonksiyon Türleri (Du Toit, 2008)

5 JEOİSTATİKSEL MODELLE JEOİT BELİRLEME

5.1 Jeoistatistik

Jeoistatistik istatistiğin uygulamalı bir dalıdır. Jeoistatistik ilk olarak Güney Afrikalı maden mühendisi, D.G. Krige tarafından 1950’li yıllarda cevher rezervi alanlarının daha doğru tahmini için kullanılmış olan bir enterpolasyon yöntemidir. Daha sonraları bu yöntemden esinlenen Fransız maden mühendisi Matheron Bölgesel değişkenler teorisini ortaya atmıştır. Bölgesel değişkenler bir noktadan başka bir noktaya sürekli olarak değişen fakat matematiksel fonksiyonla ifade edilemeyen mekansal değişkenlerdir (Matheron, 1963, 1971; Aydın, 2014). Jeoistatistiği diğer yöntemlerden ayıran en önemli fark örneklerin alınırken koordinatlarında hesaba katılmasıdır. Jeoistatikte hata oranında güven aralığı içinde hesaplanabilir (Güzel, 2017).

5.2 Yarıvariogram

İstatistiksel yöntemler, incelenen değişkenler arasında bir bağlantı olmadığını varsayarlar. Jeoistatistiksel yöntemlerde ise değişkenler birbirleriyle ilişkilidir. Jeoistatikte değişken değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimi yarıvariogram ile ortaya konulur. Bölgesel değişkenlerin tanımlandığı örnek noktaları ile bu noktaların değerleri arasındaki farkın noktalar arası uzaklığın fonksiyonu olarak uzaysal korelasyonu veren ve bunu miktar olarak belirten fonksiyona variogram denir (David, 1977; Pekin, 1999). Variogram fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$2\gamma(h) = \frac{1}{n} \sum [Z(x) - Z(x + h)]^2 \quad (5.1)$$

n: Örnek çifti sayısı

Z(x): Herhangi bir x noktasındaki değişken değeri

Z(x+h): x noktasından h mesafedeki diğer değişken değeri

Yarıvariogram için eşitlik tek boyutta

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{h_{ij}}^{N(h)} [Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (5.2)$$

İki boyutta

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{h_{ij}}^{N(h)} [Z(x_i, y_i) - Z(x_j, y_j)]^2 \quad (5.3)$$

şeklindedir.

$h_{ij} = \sqrt{[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]}$ olmak üzere, i ve j noktaları arasındaki yatay uzaklık değeridir.

$Z(x_i, y_i)$, $Z(x_j, y_j)$; i ve j konumundaki değişken değerlerini (Yeryüzü yükseklikleri gibi) gösterir.

$N(h)$; h vektörü uzunluğundaki nokta çiftleri sayısıdır.

Yarıvariogram bölgesel değişken değerlerinin uzaklığa bağlı olarak aralarındaki farkın varyansı olarak da ifade edilebilir. Eşitliği

$$2\gamma(h) = Var[Z(x) - Z(x+h)] \quad (5.4)$$

şeklindedir. Yarıvariogramın üç temel özelliği vardır:

- $h=0$ uzaklığındaki değeri sıfıra eşittir. ($2\gamma(0) = 0$)
- Yarıvariogram negatif değer alamaz. ($2\gamma(0) \geq 0 \forall h$ için)
- Yarıvariogram simetriktir. ($2\gamma(h) = 2\gamma(-h) \forall h$ için)

5.3 Deneyisel ve Teorik Variogram

Yarıvariogram/kovaryans bulutunun yarıvaryans değerlerinin belirli adım mesafelerine ayrılıp, o mesafeye düşen yarıvaryans değerlerinin ortalamasının alınmasıyla deneyisel yarıvariogram elde edilir (Aydın, 2014).

$$\check{\gamma}(\check{h}_j) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{h_{ij}}^{N(h)} [Z(x_i, y_i) - Z(x_j, y_j)]^2 \quad (5.5)$$

$N(h)$ = uzunluk vektörü h için verilen aralık

$\check{h}_j$: $N(h)$ daki şartları sağlayan vektörlerin modül değerlerinin ortalaması;

$$\check{h}_j = \frac{\sum_{i=1}^{N(h)} h_{ij}}{n} \quad (5.6)$$

şeklindedir.

Bölgesel değişkenin verilerinin mesafeye bağlı değişimleri deneyisel variogram ile grafiksel olarak gösterilmektedir. Grafik ile gösterilen verilerin değişim özelliklerinin daha sonraki aşamada kriging işlemlerinde kullanılabilmesi için matematiksel bir fonksiyonlar ifade edilmesi gerekir. Bu kuramsal fonksiyona matematiksel variogram modelleri denir (Pekin, 1999).

Tablo 5.1 Teorik Yarıvariogram

Küresel	$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[\left(\frac{3h}{2a} \right) - \left(\frac{h}{2a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases}$
Üssel	$\gamma(h) = C_0 + C[1 - \exp(-\frac{h}{a})]$
Gaussian	$\gamma(h) = C_0 + C[1 - \exp(-\frac{h}{a})^2]$
Lineer	$\gamma(h) = C_0 + Ch$
Logaritmik	$\gamma(h) = C_0 + C \log h \quad h > 0$

Tabloda C_0 : teorik eğrinin $h=0$ noktasında düşey eksenini kestiği nokta (Nugget effect)

C : variogramının yapısal bileşenleri için ölçek değeri

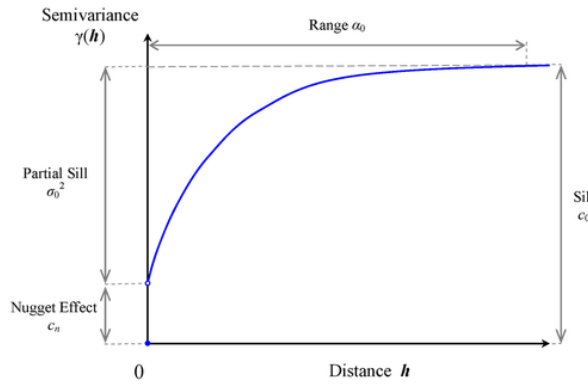
a : variogramın yatay menzili (bu uzunluktan sonra veriler artık birbirine korelasyonsuzdur)

h : örnekler arası yatay uzunluk

$C_0 + C_1$: variogramın toplam düşey ölçek değerini (sill) ifade eder.



Şekil 5.1 Teorik Yarivariogram



Şekil 5.2 Sill ve Nugget Effect

5.4 Kriging Kestirimi

Kriging başta maden olmak üzere, jeoloji, diş hekimliği, inşaat, çevre, meteoroloji gibi birçok dalda uygulaması ve makalesi bulunan popüler bir tekniktir. Kriging sözcüğü, maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel tahmin yöntemini ilk olarak uygulayan D.G. Krige'nin onuruna G. Matheron tarafından bu tahmin yöntemine verilen ad olmuştur (Journel and Huijbregts, 1978; Pekin, 1999).

Kriging yöntemi bilinmeyen değişkenlerin örnek değişkenlerle tahmin edilmesini amaçlayan yöntemdir (Krige, 1951, 1976). Tahmin işlemi bilinen noktaların ağırlıklı ortalaması ile yapılmaktadır. Ağırlık katsayılarının hesabında varyansların minimum olması ve kriging hatalarının ortalamasının sıfır olması şeklinde iki koşulun sağlanması gerekir. Kriging varyansı verilerin gerçek değerlerine bağlı olmayıp uzaklığın bir fonksiyonudur. Bu şekilde yakındaki örneklerle büyük ağırlık değerleri atanırken uzaktaki verilere zayıf ağırlık değerleri atanır. Kriging enterpolasyonu için genel denklem

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N W_i Z(x_i) \quad (5.7)$$

şeklinde dir. Formülde $Z^*(x_0)$ bilinmeyen fakat tahmin edilen değeri, N nokta sayısını, $Z(x_i)$ örneğe ait x_i noktasındaki değeri, W_i her bir $Z(x_i)$ değerine karşılık gelen ağırlık değerini ifade etmektedir. Yansızlık koşuluna göre;

$$E[Z(x_0) - Z^*(x_0)] = 0 \quad (5.8)$$

olur. Buradan

$$\sum_{i=1}^N W_i = 1 \quad (5.9)$$

elde edilir. Kriging hatalarının sıfır olması koşuluna göre;

$$var[Z(x_0) - Z^*(x_0)] = E[Z(x_0) - Z^*(x_0)]^2 \quad (5.10)$$

eşitliği oluşacaktır. Buradan da;

$$\gamma = \frac{1}{2E[Z(x) + Z(x+h)]} \quad (5.11)$$

eşitliği göz önüne alınarak;

$$E[Z(x_0) - \sum_{i=1}^N W_i Z(x_i)]^2 = -\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_i W_j \gamma(x_i - x_j) + 2 \sum_{j=1}^N W_j \gamma(x_0 - x_j) \quad (5.12)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitliğin minimum olması $\sum_{i=1}^N W_i = 1$ yansızlık koşulu altında optimizasyon problemi olarak düşünülebilir ve bu problem Lagrange çarpanlarının kullanılmasıyla çözülür. Bu durumda (N+1) bilinmeyenden oluşan (N+1) bilinmeyenli aşağıdaki denklem sistemi elde edilir.

$$\sum_{j=1}^N W_j \gamma(x_i - x_j) + \lambda = \gamma(x_0 - x_j), \quad j = 1, \dots, n \quad (5.13)$$

$$\sum_{i=1}^N W_i = 1 \quad (5.14)$$

Burada, λ Langrange çarpanı; $\gamma(x_i - x_j)$ ise x_i ve x_j noktaları arasındaki yarıvariogram değeridir. Eşitlikler daha açık bir şekilde ifade edilecek olursa;

$$\begin{aligned} W_1 \gamma_{11} + W_2 \gamma_{12} + \dots + W_n \gamma_{1n} + \lambda &= \gamma_{10} \\ W_1 \gamma_{21} + W_2 \gamma_{22} + \dots + W_n \gamma_{2n} + \lambda &= \gamma_{20} \end{aligned} \quad (5.15)$$

.....

$$W_1 \gamma_{1n} + W_2 \gamma_{n2} + \dots + W_n \gamma_{nn} + \lambda = \gamma_{n0}$$

$$W_1 + W_2 + \dots + W_n = 1$$

eşitliğindeki ifadelerin matris yapıları aşağıdaki gibidir.

$$\boldsymbol{\gamma} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdots & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{W} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \\ \lambda \end{bmatrix} \boldsymbol{\gamma}_0 = \begin{bmatrix} \gamma_{10} \\ \gamma_{20} \\ \vdots \\ \gamma_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

olmak üzere; matris gösterimi

$$\boldsymbol{\gamma}_0 = \mathbf{W}\boldsymbol{\gamma} \quad (5.17)$$

şeklindedir. Buradan bilinmeyen ağırlıklar

$$\mathbf{W} = \boldsymbol{\gamma}^{-1}\boldsymbol{\gamma}_0 \quad (5.18)$$

denklem sistemine göre çözülür. Kriging ile yapılan kestirimin doğruluğu veya geçerliliği aşağıdaki faktörlere bağlıdır. Bunlar;

- Dayanak noktalarının sayısı ve ölçü kalitesi,
- Dayanak noktalarının alan içerisindeki konumları; dayanak noktalarının topografyayı temsil edebilme yeteneği,
- Tahmin yapılacak noktalarla, dayanak noktaları arasındaki uzaklık; tahmini yapılacak nokta veya blokların, dayanak noktalarına yakın olması daha iyi sonuç verecektir.

6 YAPAY ZEKA

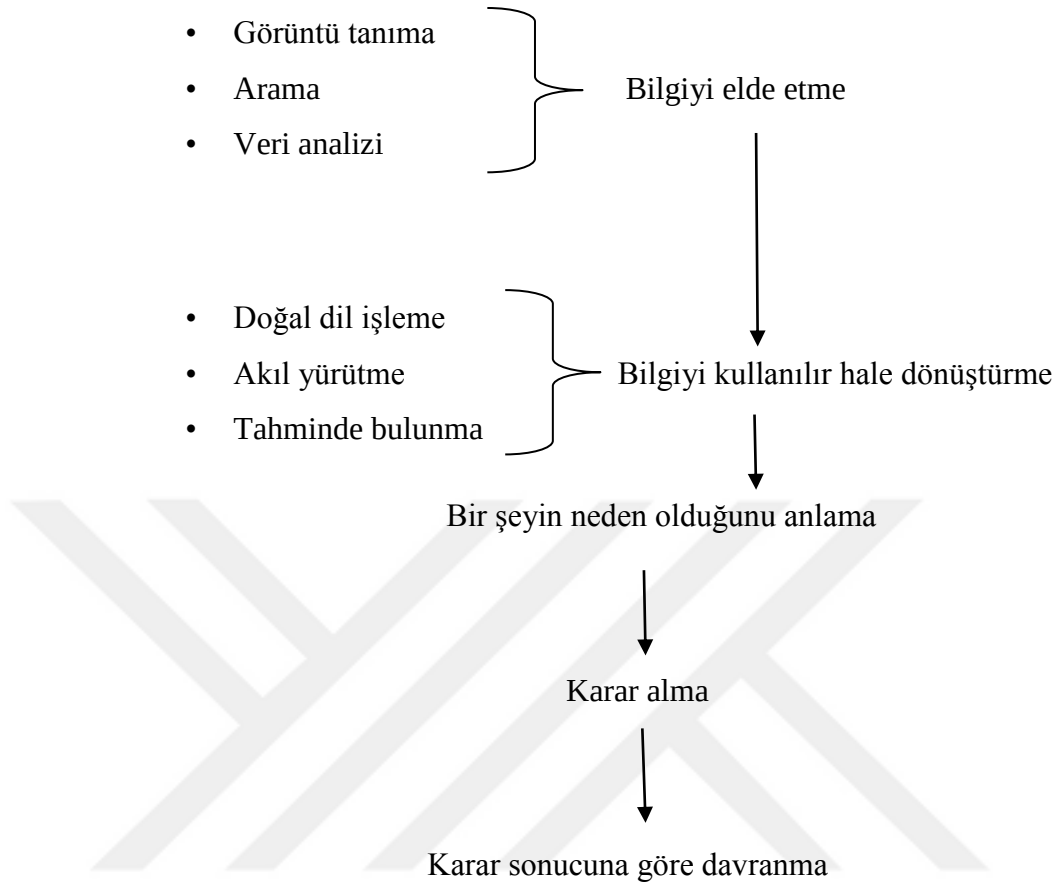
Yapay zeka kavramının oluşmasında insan zekası temel alınmaktadır. Öğrenme, algılama, analiz etme, karar verme insan zekasına örnek davranışlardır. Önceleri verilerin depolamasında ve transferinde kullanılan bilgisayarlar daha sonraları karmaşık hesaplamalarda başarıyla kullanılmıştır. Zamanla bilgisayarlardan zeka gerektiren davranışlarda bulunması istenmiş ve yapay zeka kavramı oluşmuştur. Yapay zeka, zeka gerektiren yeteneklerle donatılmış bilgisayar sistemleri olarak düşünülebilir (Emir, 2013).

İnsan zekası karmaşık bir özellik gösterir. Bu yönüyle bilgisayarlar, hesap yükünün bulunduğu karışık sayısal işlemleri insanlara göre daha hızlı yapabilmelerine rağmen düşünme, karar verme ve analiz etme gibi zeka gerektiren konularda insan zekasının gerisinde kalmaktadır. Yapay zeka ile ilgili ilk çalışmalar nörofizyolog Warren McCulloch ve matematikçi Walter Pitts'in sadece girdi ve çıktıları olan basit bir sinir ağını modellemesiyle başlamıştır (Çakır, 2012).

Terim olarak yapay zeka olarak adlandırılması McCarthy tarafından 1956 yılında yapılmıştır. İlk temeller bilgisayar bilimlerinin kurucusu sayılan Turing tarafından atılmıştır. Turing, 1950'lerde yayınladığı makalesinde Turing Testi adı verilen bir test önermiş ve “makinelere düşünebilir mi?” sorusuna yanıt aramıştır (Çakır, 2017). Yapay zeka konusunda yapılabilecek her tanım aşağıda belirtilen dört temel kategoriden birine uyar (Emir, 2013; Çakır, 2017).

- İnsan gibi düşünen sistemler
- İnsan gibi davranan sistemler
- Rasyonel düşünen sistemler
- Rasyonel davranan sistemler

Bir yapay zekanın çalışma şablonu ise aşağıdaki gibi basitçe gösterilebilir.



6.1 Yapay Zeka Teknikleri

Yapay zeka teknikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Pirim, 2006):

- a) Bilgi tabanlı uzman sistem yaklaşımı
- b) Yapay sinir ağları yaklaşımı
- c) Bulanık mantık yaklaşımı
- d) Geleneksel olmayan optimizasyon teknikleri
 - i) Genetik algoritma
 - ii) Tavlama benzetimi (Simulated annealing)
 - iii) Tabu arama
 - iv) Hybrid algoritmalar
- e) Nesne tabanlı (Object-oriented) programlama
- f) Coğrafi bilgi sistemleri (GIS)
- g) Karar destek sistemlerinin gelişimi

h) Yumuşak programlama (Soft computing)

6.2 Yapay Zeka ve İnsan Zekasının Karşılaştırılması

Gelişmekte olan bir teknik olarak yapay zeka ile insan zekasının birbirine göre avantajlı olduğu noktalar mevcuttur. Tam gelişmiş bir yapay zeka sistemi, maliyeti azaltmasının yanında güvenilirlik, doğruluk ve hız artışı sağlar. Pozitif ve negatif yönde değerlendirilebilecek bir konu olarak yapay zeka çok sayıda çalışanın yerine geçebilecektir. Yapay zekaya bir eleştiri olarak ünlü fizikçi Stephan Hawking insan zekasının sınırlı evrim kabiliyeti karşısında, yapay zekanın sürekli olarak kendini geliştireceğini varsaymış ve tam olarak gelişmiş bir yapay zekanın insanoğlunun sonu olabileceğini öne sürmüştür. Bir çok araştırmacıya göre ise yapay zeka hiçbir zaman bu aşamaya gelemeden insan bağımlı olarak gelişmeyi sürdürecektir.

Tablo 6.1 İnsan Uzmanlığı ve Yapay Uzmanlık

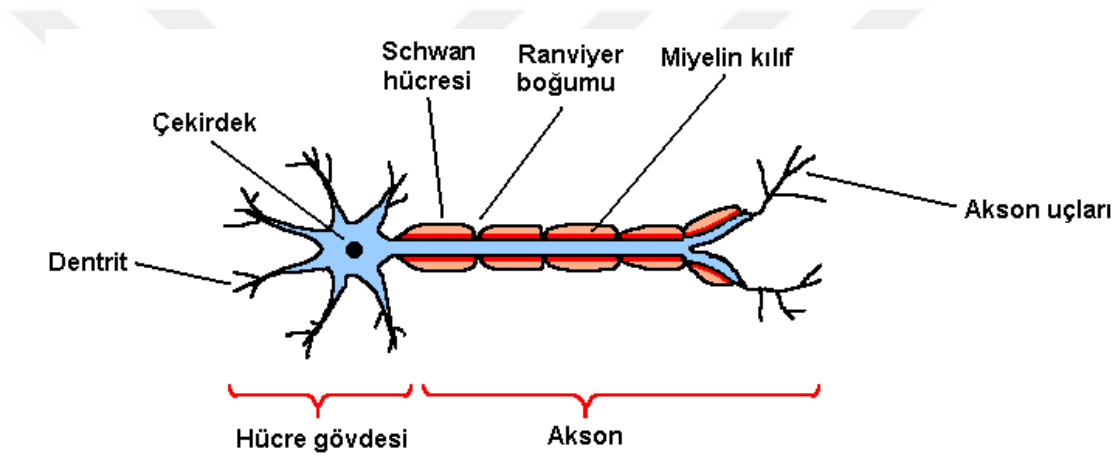
İnsan Uzmanlığı	Yapay Uzmanlık
Çabuk Etkilenebilir	Kalıcı
Aktarılması güç	Kolay aktarılabilir
Dokümantasyonu güç	Kolay dokümante edilebilir
Tahmini zor	Tutarlı
Pahalı	Satın alınabilir
Uyumludur	Uyum dışarıdan sağlanmalıdır
Hassas gözlem yapabilir	Sembolik verilerle çalışır
Geniş görüş açısına sahiptir	Dar açıdan bakış
Sosyal duyuma sahiptir	Teknik duyuma sahiptir
Yeni fikirler üretebilir	Esinlenemez

6.3 Yapay Sinir Ağları

Bilim dünyasında birçok buluş doğadaki canlıların temel özellikleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Yapay sinir ağlarının da esin kaynağı insan beynidir. Yapay sinir ağları insan beyninin bilgisayar ve elektronik devrelerle sınırlı şekilde taklitedilmesiyle meydana gelen sistemlerdir (Kayabaşı, 2015). Bu sebeple yapay sinir ağlarını incelemekten önce biyolojik sinir hücrelerini incelemekte fayda vardır.

6.3.1 Biyolojik sinir hücresi

İnsan beyni çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Beyin, nöron adı verilen sinir hücrelerinden meydana gelmektedir. Yapı olarak nöron soma, akson ve dentritlerden olmak üzere üç bölümden oluşur. İnsan beyninde yaklaşık 10^{11} tane nöron mevcuttur. Sinirsel bir impuls dentritler sayesinde başka bir sinir hücresinden alınır ve somaya iletilir. Somada işlenen ve depolanan veri somadan uzanan ve uzunca bir yapı olan aksonlar sayesinde başka bir sinir hücresinin dentritine iletilir. Soma hücrede enerji üretiminden sorumludur. Aksonların çevresinde miyelin kılıf adı verilen bir yapı bulunur. Aksonlar ile dentritler arasında veri iletimi sinaptik boşluklar ile kimyasal olarak gerçekleştirilir.



Şekil 6.1 Biyolojik Sinir Hücresi

6.3.2 Yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları insan beynindeki nöronlara benzer şekilde yapay sinir hücrelerinin bir araya gelmesiyle oluşturulur. Yapay sinir hücresinin beş temel elemanı vardır (Öztemel, 2003).

1. **Girdiler:** Dış dünyadan, başka bir process elemanından yada process elemanının kendisinden gelen bilgilerdir.
2. **Ağırlıklar:** YSA'da bilginin gösterimi ağırlıklarla yapılır. Girdi elemanından gelen her bilgi önem derecesine göre değer alır. Bu sayede bilginin ağ üzerindeki etkisi ayarlanabilir. Ağırlığı sıfır olan bir bilginin ağ üzerinde etkisi yoktur.

- 3. Birleştirme(Toplama) Fonksiyonu:** Hücreye gelen net girdiyi hesaplayan fonksiyonlardır. Net girdi hesaplamada birçok fonksiyon önerilse de genel bir kural yoktur. En uygun fonksiyon deneme yanılma yoluyla bulunur. En çok kullanılan fonksiyon ağırlıklı toplamdır. Burada her girdi kendi ağırlığıyla çarpılarak toplanır.

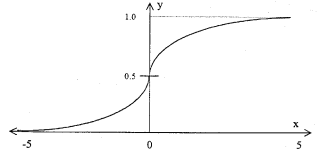
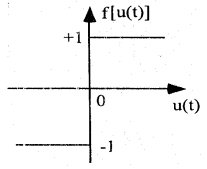
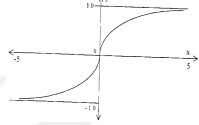
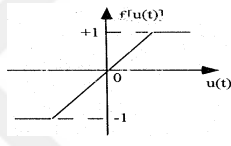
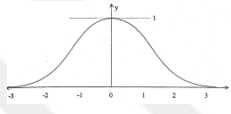
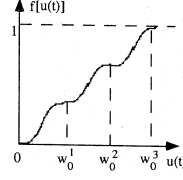
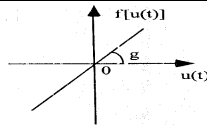
Tablo 6.2 Toplam Fonksiyonları

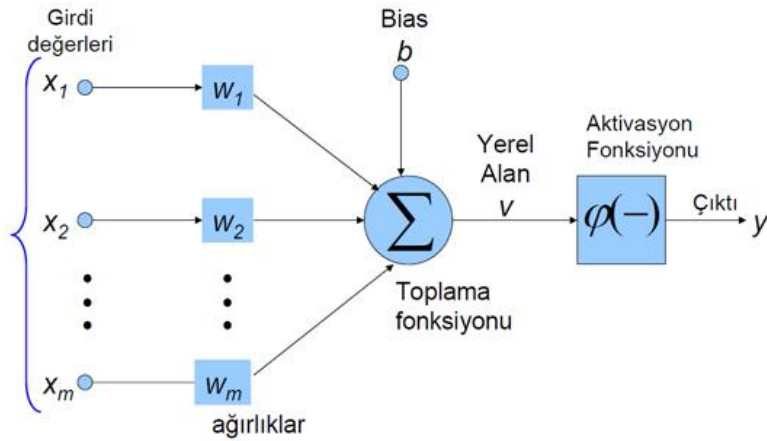
Birleştirme Fonksiyonu	Net Girdi
Ağırlıklı Toplam	Net Girdi = $\sum_i x_i w_i$
Çarpım	Net Girdi = $\prod_i x_i w_i$
Maksimum	Net Girdi = $\max(x_i w_i)$
Minumum	Net Girdi = $\min(x_i w_i)$
Çoğunluk	Net Girdi = $\sum_i \text{sgn}(x_i w_i)$
Kümülatif Toplam	Net Girdi = $\text{net}(\text{eski}) + \sum_i x_i w_i$

- 4. Aktivasyon Fonksiyonu:** Net girdi olarak gelen veriyi işleyerek çıkışa yönlendirir. Aktivasyon fonksiyonu olarak lineer olmayan fonksiyonlar seçilir. YSA'nın doğrusal olmama özelliği aktivasyon fonksiyonu sayesinde kazandırılır. Literatürde birçok aktivasyon fonksiyonu vardır bunlardan en çok kullanılanı sigmoid fonksiyonudur.
- 5. Çıktılar:** Aktivasyon fonksiyonu sonrasında elde edilen değer çıktı olarak yansıtılır. Sadece bir tane çıktı olmasına karşılık bir çıktı birden fazla nörona hatta kendisine bile girdi olarak kullanılabilir.

Yapay sinir hücresi ile biyolojik sinir hücresi karşılaştırıldığında; ağırlıklar sinapslara, dentritler girdilere, aksonlar çıktılara, toplam fonksiyonu hücre gövdesine karşılık gelir.

Tablo 6.3 Aktivasyon Fonksiyonları

Sigmoid Fonksiyonu	$y(x) = f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	
Basamak Fonksiyonu	$f(u(t)) = \text{sign}(u(t)) = \begin{cases} +1, & u(t) > 0 \\ -1 & u(t) < 0 \end{cases}$	
Hiperbolik Tanjant	$y(x) = f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$	
Parçalı Doğrusal Fonksiyon	$f(u(t)) = \begin{cases} +1 & \text{if } gu > 1 \\ gu & \text{if } gu < 1 \\ -1 & \text{if } gu < -1 \end{cases}$	
Gauss Fonksiyonu	$y(x) = f(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$	
Unipolar Multimodal Fonksiyon	$f(u(t)) = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \tanh(g^m(u(t) - w_0^m)) \right]$	
Lineer Fonksiyon	$f(u(t)) = gu(t)$	



Şekil 6.2 Yapay Sinir Hücresi

6.3.3 YSA'nın avantaj ve dezavantajları

Avantajları

- *Öğrenme:* İnsan beyninin en önemli özelliği olan öğrenme YSA'da uyarlanmıştır. YSA'da çıkış ve giriş verileri arasında bağlantı kurulabilir. Bu şekilde öğrenme sağlanmış olur.
- *Lineer Olmama:* Günlük hayatta karşılaşılan birçok problem lineer özellik göstermez. Bu sebeple YSA karmaşık problemlerin çözümünde doğrusallık gerektiren istatistiksel yöntemlere göre daha avantajlıdır. YSA'da lineer olmama aktivasyon fonksiyonu ile sağlanır.
- *Genelleme:* YSA değişkenlere dayalı olarak ilişkiler kurarak kendi ağırlıklarını oluşturabilir. YSA'da eksik parametrelerle dahi genelleme sayesinde işlem yapılabilir. Yani YSA problemin çözümü için tüm parametrelere ihtiyaç duymaz.
- *Uyarlanabilirlik:* YSA çevredeki küçük değişikliklere göre tekrar tekrar eğitilebilir.
- *Paralel İşleme Yeteneği:* Paralel yapı sayesinde aynı katmandaki birimler birbirinden bağımsız olduklarından aynı anda işlem yapabilme yeteneğine sahiptirler. Bu yapı hesaplamaların daha kolay ve hızlı yapılabilmelerini sağlamaktadır.

Dezavantajları

- Ağın davranışının nasıl olacağı bilinmemektedir.
- Ağ mimarisinde en uygun parametrelerin seçimi deneme yanılma yoluyla mümkündür.
- Ağ aşırı öğrenmeye düşerek genelleme yapmayabilir.
- Ağın eğitilmesi uzun zaman alabilir.
- Gelişmekte olan bir yöntem olduğu için güvenilirliği düşüktür. İstatistiksel yöntemlerde mevcut güven aralığı ve hipotez testi mevcut değildir.

6.3.4 YSA'nın sınıflandırılması

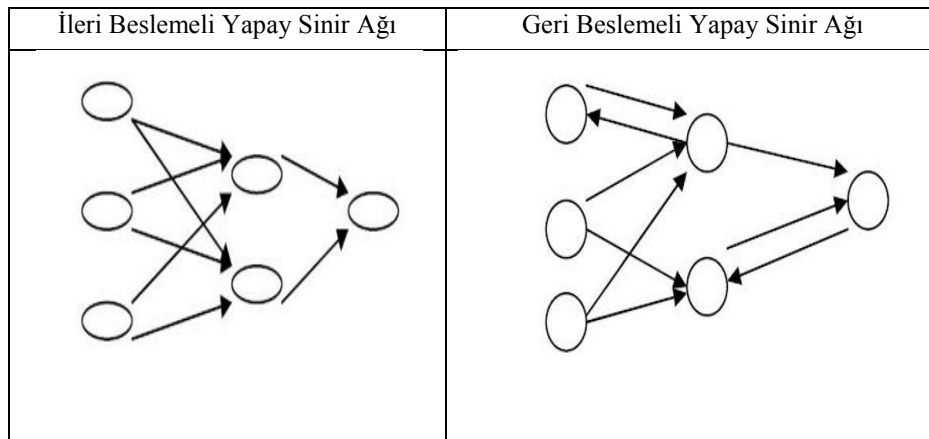
YSA mimari yapılarına, öğrenme şekillerine ve öğrenme zamanlarına göre sınıflandırılabilir.

6.3.4.1 Mimari yapılarına göre YSA

1. *İleri Beslemeli YSA*: İleri beslemeli YSA'da bir nöronun çıktısı kendinden sonraki nöronun girdisi olarak kullanılır. Bilgi akışı giriş katmanından çıkış katmanına doğrudur. Geri dönüş göstermediğinden döngüsel özellik göstermez.
2. *Geri Beslemeli YSA*: Bu tip sinir ağlarında ileri beslemeli YSA'nın aksine bir nöronun çıktısı kendi katmanındaki bir nörona ya da kendinden önceki bir nörona girdi olarak verilir. Geri beslemeli YSA döngüsel özellik gösterir ve bu döngüsellik yakınsama sağlanana kadar devam eder. Geri beslemeli YSA'da eğitim süreci uzundur ve analizi zordur.

6.3.4.2 Öğrenme algoritmalarına göre YSA

1. *Danışmanlı Öğrenme*: Giriş değerleri için çıkış değerleride bulunur. Ağa verilen girdiler için istenen çıktıları elde edebilmek için ağ eğitilir. YSA'a örnek bir çıktı verilir. Örnek çıktı ile ağın ürettiği çıktı karşılaştırılır aradaki fark hata olarak alınır. Ağa başlangıçta rassal olarak verilen ağırlıklar hata minimize edilene kadar döngüler halinde güncellenir.
2. *Danışmansız Öğrenme*: Sistemin doğru çıkış hakkında bir bilgisi yoktur. Ağa herhangi bir çıktı bilgisi verilmez. Ağ girdilere göre her bir örneği sınıflandıracak şekilde kendi kuralını oluşturur.
3. *Destekleyici Öğrenme*: Üretilen her bir sonuca göre ağa sonucu doğru olup olmadığı hakkında verilir.

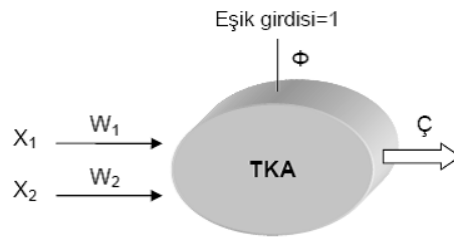


Şekil 6.3 Mimari Yapılarına Göre YSA

6.3.5 YSA türleri

6.3.5.1 Tek katmanlı algılayıcılar

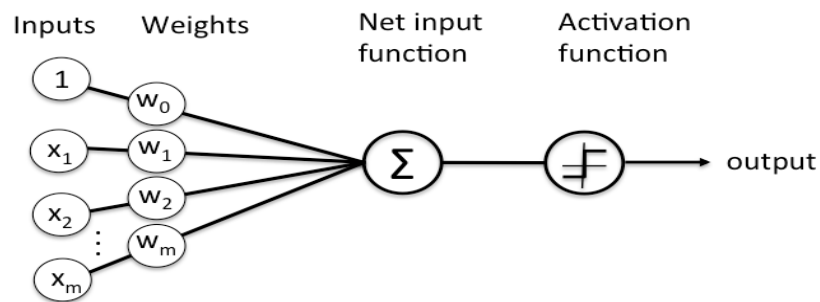
Tek katmanlı YSA sadece girdi ve çıktı katmanından oluşan ağlardır (Öztemel, 2003). Girdiler ve çıktılar birbirine tam olarak bağlanmış durumdadır. Girdi ve çıktılarından başka ağın çıktısının 0 olmasını engelleyen eşik değeri vardır. Ağ doğrusal yapıda olduğundan dolayı aktivasyon fonksiyonunda doğrusal yapıdadır.



Şekil 6.4 Tek Katmanlı Algılayıcı

6.3.5.1.1 Basit Algılayıcılar (Perceptron)

1958 yılında Rosenblatt tarafından ortaya atılmıştır. Basit algılayıcı birden fazla girdiyi alarak tek bir çıktı üretme prensibine dayanır. Basit algılayıcılarda öğrenme mevcuttur. Öğrenme ağırlıklarının değiştirilmesi ile olur.



Şekil 6.5 Perceptron

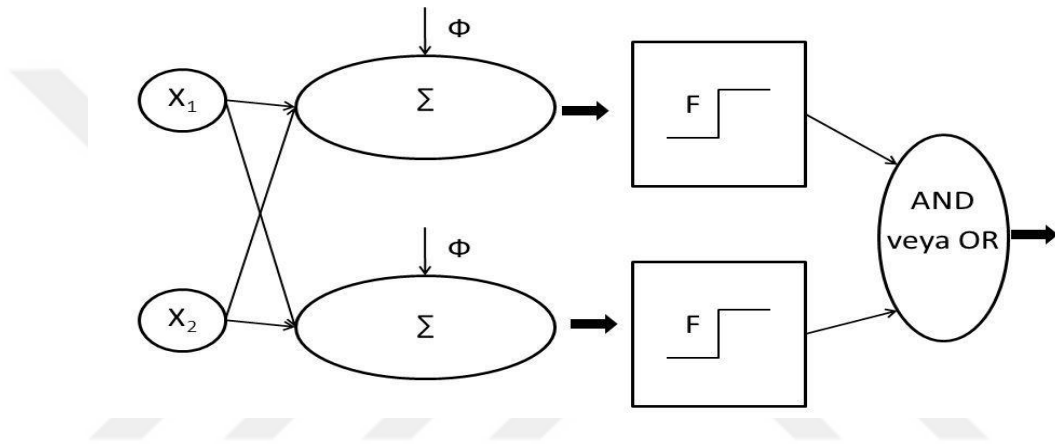
6.3.5.1.2 Adaptif doğrusal element ağı (ADALİNE)

Widrow ve Hoff tarafından 1959 yılında geliştirilmiştir. Adaptif doğrusal element ağının kısaltılmış şeklidir. Bir tane process elemanından oluşur (Öztemel, 2003). Adaline ve Perceptron'a benzer şekilde doğrusal özellik gösterir. Farklı olarak

Adaline, En Küçük Kareler Kestirimi (EKK) kullanarak öğrenme gerçekleştirir. Buna Delta Kuralı yada Widrow Hoff öğrenme kuralı da denir.

6.3.5.1.3 Çoklu adaptif doğrusal element ağı (MADALİNE)

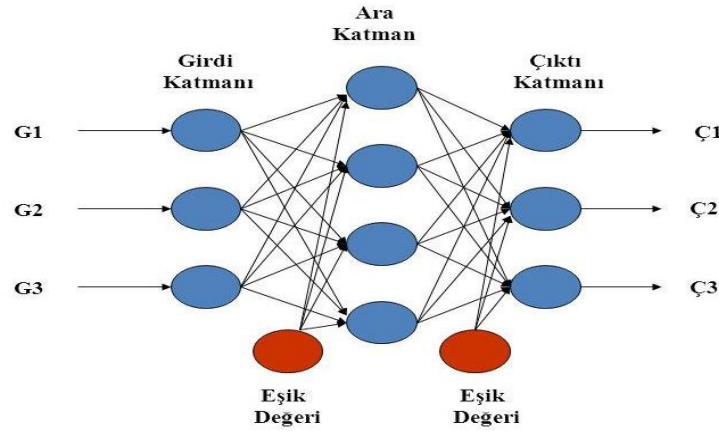
Many Adaline şeklinde adlandırılan ağ, birden çok Adaline ağının bir araya gelmesiyle oluşan ağlardır. Öğrenme algoritması Adaline ile aynıdır. Doğrusal özellikte olmasına rağmen çok katmanlı algılayıcılara temel olması nedeniyle önemlidir.



Şekil 6.6 Madaline

6.3.5.2 Çok katmanlı algılayıcılar

YSA ile çalışmalar 1970'li yıllarda durma noktasına gelmiştir. Bunun nedeni gündelik hayatta karşılaşılan birçok problemin doğrusal özellik göstermemesidir. Tek katmanlı algılayıcılar doğrusal özellik taşıdığı için problemlerin çözümünde yetersiz kalmıştır. Rumelhart ve arkadaşları tarafından geliştirilen çok katmanlı algılayıcılar sayesinde YSA'a ilgi yeniden artmıştır. Çok katmanlı algılayıcılarda bir ya da daha fazla ara katman bulunur. Çok katmanlı algılayıcılarda danışmanlı öğrenme metodu kullanılır. Ağa örnekler ve örneklerden elde edilmesi gereke çıktılar birlikte sunulur.



Şekil 6.7 Çok Katmanlı Algılayıcı

6.3.5.3 Radyal tabanlı yapay sinir ağları

Radyal bazlı fonksiyonlar sayısal analizde çok değişkenli problemlerin çözümünde sıkça kullanılır. Radyal bazlı fonksiyon teorisi çok boyutlu uzayda eğri uydurma ve yaklaştırma problemidir. Radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTSYA) 1988 yılında geliştirilmiş ve filtreleme problemine uygulanarak YSA tarihine geçmiştir (Okkan ve Dalkılıç, 2012).

RTSYA, çok katmanlı algılayıcılara benzer şekilde, girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. Fakat RTSYA’da gizli katman sayısı birden fazla olamaz. RTSYA’ı çok katmanlı algılayıcılardan ayıran en önemli özellik aktivasyon fonksiyonu olarak radyal tabanlı fonksiyonların kullanılmasıdır. Dolayısıyla ağın eğitilmesi, çok boyutlu uzayda eğitim verilerine en uygun yüzeyin bulunması problemine dönüşür (Şenol, 2010).

RTSYA’da aktivasyon fonksiyonu olarak Gauss, multikvadrik ve ters multikvadrik gibi birçok radyal bazlı fonksiyon kullanılabilir.

6.4 Bulanık Mantık

Mantık bilinenden bilinmeyenlerin elde edilmesine vasıta olan bilimdir (Öner, 1986). Klasik mantık biliminin kurucusu Aristo olarak kabul edilir. Aristo mantığına göre “olmak” ya da ”olmamak” gibi kesin sınırlar vardır. Aristo mantığına göre bir şey ya siyahtır ya da beyaz. Klasik mantık yaklaşımında gri yoktur. Aristo mantığı

sade ve kesin sınırlarla çizili olsada bilimsel bilimsel araştırmaların çözümünde ve matematiksel modellenmesinde başarıyla uygulanmıştır (Doğanalp, 2012). Bulanık mantık kavramı ise Azeri bilim adamı Loutfi Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atılmıştır. Bulanık mantık matematiğin gerçek dünyaya uyarlanması olarak düşünülebilir. Bulanık mantık kesinlikler yerine insan hayatında yer alan sözel değişkenlerle modellemeye imkan tanır. Klasik mantık matematiksel olarak 0 ve 1 den oluşurken, bulanık mantık ise 0 ve 1 arasında yer alan sonsuz tane ara değeri de içerir.

6.4.1 Bulanık küme ve üyelik fonksiyonları

Klasik küme mantığına göre bir eleman ya o kümenin elemanıdır ya da değildir. Kümeye ait olma değeri 1 ile ifade edilirken, 0 o kümeye kesin olarak ait olmamayı ifade eder. Bulanık küme kavramında ise bir elemanın kısmi üyeliğine izin verilir hatta bir eleman başka kümelerinde elemanı olabilir (Özat, 2011). 0 kesin olarak ait olmamayı, 1 kesin aitliği gösterirken (0,1) aralığı ise üyelik derecesini (μ) ifade eder. ($\mu_A(x)$) üyelik derecesi; X, x elemanlarının oluşturduğu uzay olmak üzere bulanık A kümesi

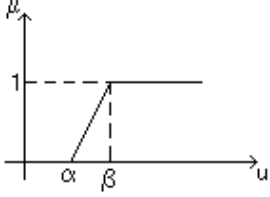
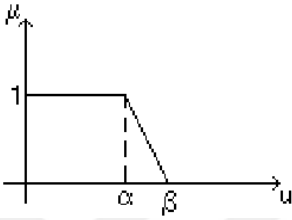
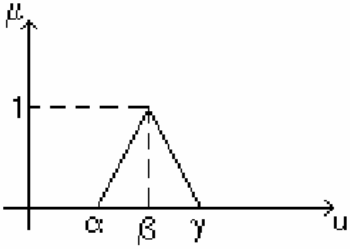
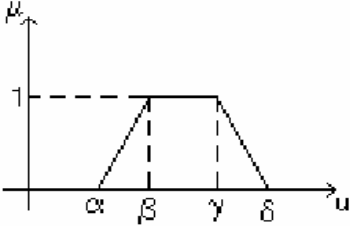
$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (6.1)$$

şeklinde tanımlanır (Şenol, 2010).

Üyelik fonksiyonlarının üç temel özelliği vardır (Şen, 2009).

1. Normallik (en az bir tane üyelik fonksiyonunun 1 olması ile sağlanır).
2. Dışbükeylik (üyelik fonksiyonunun sürekli artan ya da azalan olmasıdır).
3. Simetriklik

Genel olarak kullanılan üyelik fonksiyonları şekil 6.8’de verilmiştir.

Fonksiyonun Adı	Fonksiyonun Grafiği	Matematiksel Gösterimi
Çizgisel olarak artan üyelik fonksiyonu Γ		$\Gamma(u; \alpha, \beta) = \begin{cases} 0 & ; u < \alpha \\ \frac{u - \alpha}{\beta - \alpha} & ; \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & ; \beta < u \end{cases}$
Çizgisel olarak azalan üyelik fonksiyonu L		$L(u; \alpha, \beta) = \begin{cases} 1 & ; u < \alpha \\ \frac{\beta - u}{\beta - \alpha} & ; \alpha \leq u \leq \beta \\ 0 & ; \beta < u \end{cases}$
Üçgen üyelik fonksiyonu Λ		$\Lambda[u; \alpha, \beta, \gamma] = \begin{cases} 0 & ; u < \alpha \\ \frac{u - \alpha}{\beta - \alpha} & ; \alpha \leq u \leq \beta \\ \frac{\beta - u}{\beta - \gamma} & ; \beta \leq u \leq \gamma \\ 0 & ; \gamma < u \end{cases}$
Yamuk üyelik fonksiyonu Π		$\Pi[u; \alpha, \beta, \delta, \gamma] = \begin{cases} 0 & ; u < \alpha \\ \frac{u - \alpha}{\beta - \alpha} & ; \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & ; \beta \leq u \leq \gamma \\ \frac{\delta - u}{\delta - \gamma} & ; \gamma \leq u \leq \delta \\ 0 & ; u > \delta \end{cases}$

Şekil 6.8 Üyelik Fonksiyonları

6.4.2 Bulanık küme işlemleri

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$, X evrensel kümesinde tanımlanan iki bulanık küme olsun. Bunları $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ üyelik fonksiyonlarıyla gösterelim. Burada $x \in X$ durumu söz konusudur.

Bulanık kümelere göre temel işlemler aşağıdaki gibidir:

- İki ayrı bulanık kümenin birbirine eşit olabilmesi için ($A=B$) aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$\forall X \in S: \mu_A(x) = \mu_B(x)$$

- $\tilde{A}$ kümesinin $\tilde{B}$ kümesinin alt kümesi olabilmesi için aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$\forall x \in X: \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$$

- Her $x \in X$ için $\tilde{A} \cup \tilde{B}$ birleşiminin $\mu_{A \cup B}(x)$ üyelik fonksiyonu:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$$

olarak yazılabilir (Kosko, 1992).

- Her $x \in X$ için $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ kesişiminin $\mu_{A \cap B}(x)$ üyelik fonksiyonu:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$$

olarak yazılabilir (Fuller, 1995).

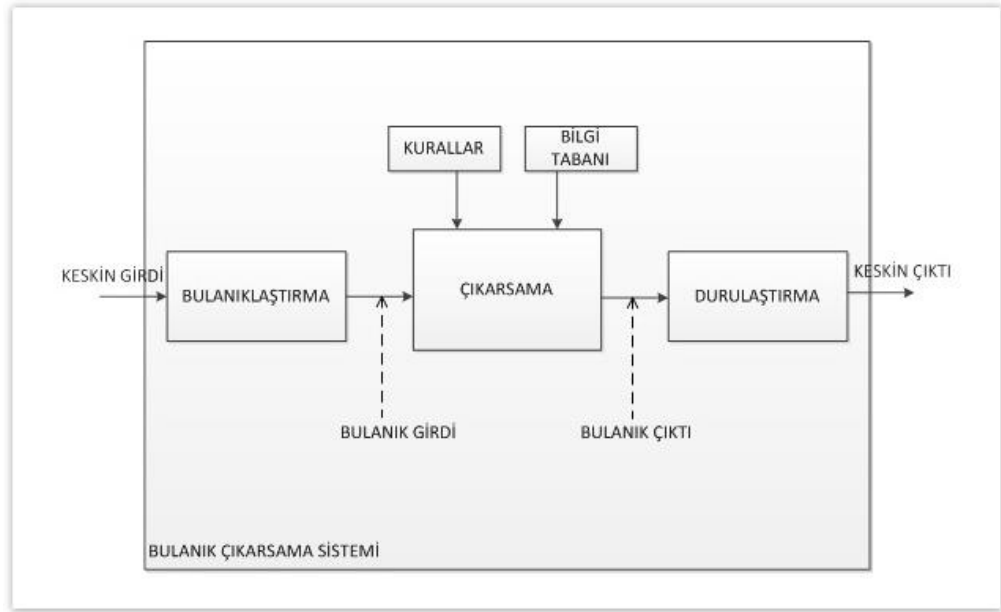
- Her $x \in X$ için $\tilde{A}$ bulanık kümesinin tümleyeni olan $\mu_{A^c}(x)$ üyelik fonksiyonu:

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

olarak yazılabilir (Kosko, 1992; Sinecen, 2011).

6.4.3 Bulanık sistemler

Bulanık sistemler genel olarak mevcut verilerden seçilen giriş değerlerinin elde edilebilmesi için bulanık küme ilkelerini kullanan sistemlerdir (Haznedar, 2017). Bulanık sistemler 4 temel bileşenden oluşur. Bunlar; bulanıklaştırıcı, kural tabanı, çıkarım mekanizması ve durulaştırıcı birimdir. Bulanık sistemlerde girdi ve çıktı verileri kesindir yani gerçek sayılardır. Girişte nomalizasyona çıkışta, denormalizasyona uğrayarak sözel veriler kesin sayılara dönüştürülür.



Şekil 6.9 Bulanık Sistemler

6.4.3.1 Bulanıklaştırıcı

Bulanıklaştırma biriminde kesin olan değerlerden bulanık değerlerin elde edilmesi amaçlanır. Bulanıklaştırıcı; sözel olarak nitelendirilen değerlerin, bulanık kümelerdeki üyelik derecelerine göre üyelik fonksiyonlarıyla atanmasına yarayan işlemcidir. Her bilgiye üyelik dereceleri atanarak dilsel veriye dönüştürülerek kural birimine yönlendirilir.

6.4.3.2 Kural işleme birimi

Sistem operatörünün deneyimlerinin yer aldığı birimdir. Denetim kuralları “eğer...o halde...(if...then...) şeklindedir. Kural işleme biriminde sözel veriler denetim kurallarıyla birleştirilir. Bu katman bilinen gerçeklerden sonuçların çıkarıldığı birimdir.

6.4.3.3 Durulaştırma

Kural biriminde çıkarılan sonuçlar sözel ifadeler şeklindedir. Durulaştırma birimi bulanık ifadelerin kesin değerlere dönüştürüldüğü yani denormalizasyon işleminin yapıldığı birimdir.

6.4.3.3.1 Durulaştırma yöntemleri

Bulanık sistemlerde kullanılan bazı durulaştırma yöntemleri aşağıdaki tabloda gösterildiği gibidir (Şenol, 2010).

Yöntemin Adı	Fonksiyonu	Grafiği
Ağırlık Merkezi Yöntemi	$u^* = \frac{\int \mu(u)u \, du}{\int \mu(u) \, du}$	
Üyelik Fonksiyonlarının En Yüksek Noktalarının Ortalaması Yöntemi	$u^* = \frac{a+b}{2}$	
En Büyük Maksimum Yöntemi	$\mu A(u^*) \geq \mu A(u)$	
u=bulanık değer, u* =durulaştırılmış değer		

Şekil 6.10 Durulaştırma Yöntemleri

6.5 Mamdani Modeli

İlk uygulaması 1974 yılında, Londra Üniversitesinden Prof. Mamdani tarafından buhar türbininin denetlenmesi şeklinde yapılmıştır. Bu model insan konuşma ve anlaşma yapısına uygun olduğundan oluşturulması basittir ve bu nedenle sıklıkla kullanılmaktadır. Bu modelde hem girdi değişkenleri hem de çıktı değişkeni üyelik fonksiyonları ile ifade edilir.

Mamdani bulanık modeli, mevcut mevcut nitel bilgiyi EĞER- O HALDE kuralları biçiminde ifade etmek için öne sürülmüştür.

$$K_i: EĞER x A_i ise O HALDE y B_i'dir, \quad i = 1,2,3, \dots, r \quad (6.2)$$

x: dilsel giriş değişkeni

A_i : Öncül dilsel terim

y: dilsel çıkış değeri

B_i : Sonuç dilsel terim

Dilsel terimler kendilerine ait üyelik fonksiyonları ile tanımlanır.

Öncül ve sonuç bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları

$$\mu(x) = X \rightarrow [0,1] \text{ ve } \mu(y) = Y \rightarrow [0,1] \quad (6.3)$$

şeklindedir.

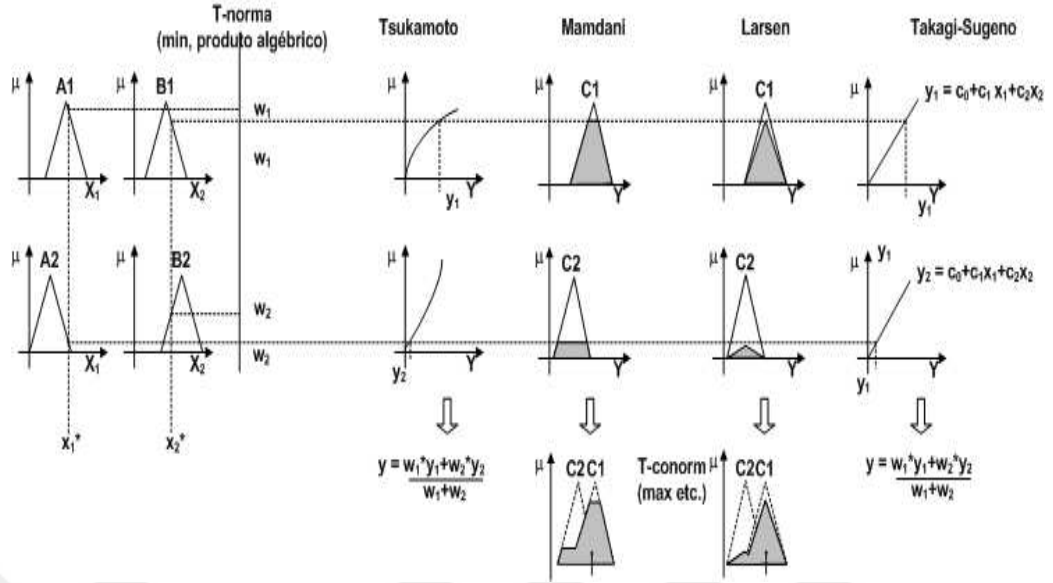
6.6 Takagi-Sugeno Bulanık Modeli

Takagi, Sugeno ve Kang tarafından 1985 yılında kullanılmıştır. Mamdani tipi modelin bir uyarlamasıdır. Giriş değerlerinin bulanıklaştırılması ve bulanık işlemler Mamdani tipi ile tamamen aynıdır. Aradaki temel fark çıkış üyelik fonksiyonları T-S modelinde $F(x,y)$ gibi lineer yada sabittir.

Modelde çıkış üyelik fonksiyonu sabit ise sıfırıncı derece, eğer lineer ise birinci derece T-S bulanık modeli tanımlanır.

‘Eğer $x = A$ ve $y = B$ ise $z = k$ ’ (Sıfırıncı derece)

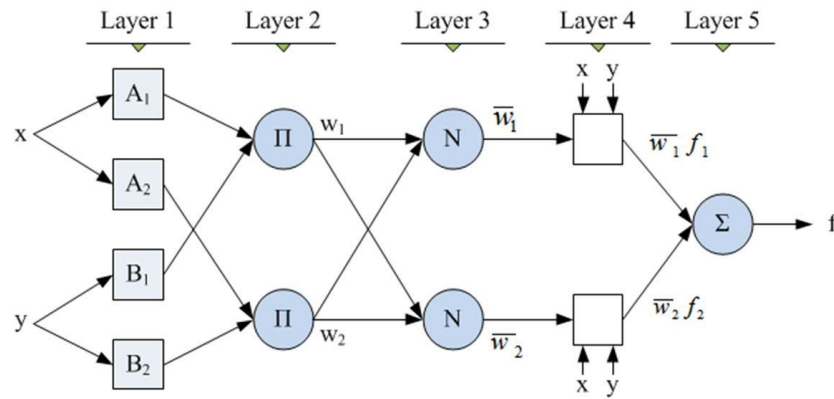
‘Eğer $x = A$ ve $y = B$ ise $z = f(x,y) = px+qy+r$ (c)’ (Birinci Derece)



Şekil 6.11 Mamdani ve Takagi Sugeno Bulanık Modeli

6.7 ANFİS Mimarisi

ANFİS bulanık sistemlerinin ve yapay sinir ağlarının avantajlarının birleştirildiği hibrid sistemlerdir. Bu şekilde oluşturulan yapıya bulanık sinir ağı denir. Bulanık sistemlerin öğrenme kabiliyeti yoktur ve kendilerini yeni çevreye adapte edemezler. Diğer yandan yapay sinir ağları öğrenme kabiliyetine sahiptir; fakat kullanıcı tarafından anlaşılmazlar (Özkan ve diğerleri, 2007). Adaptif ağı tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFİS), Sugeno tipi bulanık sisteminin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağı yapısı olarak temsilinden ibarettir (Yumuk, 2011).



Şekil 6.12 ANFİS Mimarisi

Şekilde de belirtildiği gibi ANFIS 5 katmandan oluşmaktadır. ANFIS modelinin katmanlarını genel olarak özetlersek, 1. katmanda giriş verilerine üyelik fonksiyonları uygulanarak bulanıklaştırma işlemi yapılır. 2. katmanda bulanık mantık çıkarım sistemine göre kurallar oluşturulur. 3. katmanda kural katmanından gelen her bir düğüme, ağırlıklı ortalama ile normalizasyon işlemi uygulanır. 4. katmanda ise bulanık sonuçlar sayısal değerlere dönüştürülür ve son olarak 5. katmanda tüm düğümlerin çıkış değerleri toplanarak sistemin tek çıkış değeri üretilir.

5 katmanı detaylı bir şekilde incelersek (Özkan ve diğerleri, 2007);

1.Katman:

Bulanıklaştırma katmanı olarak adlandırılır. Giriş değerlerini bulanık kümelere ayırmada Jang'ın ANFIS modeli, üyelik fonksiyonu şekli olarak genelleştirilmiş Bell aktivasyon fonksiyonunu kullanmaktadır. Burada, her bir düğümün çıkışı, girişdeğerlerine ve kullanılan üyelik fonksiyonuna bağlı olan üyelik derecelerinden oluşmaktadır ve 1. katmandan elde edilen üyelik dereceleri $\mu_{A_j}(x)$ ve $\mu_{B_j}(y)$ şeklinde gösterilir.

2.Katman:

Kural katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemine göre oluşturulan kuralları ve sayısını ifade etmektedir. Her bir kural düğümünün çıkışı μ_i , 2. katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımı olmaktadır. μ_i değerlerinin elde edilişi ise, ($j=1,2$) ve ($i=1,\dots,n$) olmak üzere

$$y_i^3 = \prod_i = \mu_{A_j}(x) \times \mu_{B_j}(y) = \mu_{B_j} = \mu_i \quad (6.4)$$

şeklindedir. Burada, y_i^3 , 2. katmanın çıkış değerlerini; n ise, bu katmandaki düğüm sayısını ifade etmektedir.

3.Katman:

Normalizasyon katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, kural katmanından gelen tüm düğümleri giriş değeri olarak kabul etmekte ve her bir kuralın normalleştirilmiş ateşleme seviyesini hesaplamaktadır.

Normalleştirilmiş ateşleme seviyesi $\bar{\mu}_i$ 'nin hesaplanması ise,

$$y_i^4 = N_i = \frac{\mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} = \bar{\mu}_i (i = 1, n) \quad (6.5)$$

formülüne göre gerçekleştirilir..

4.Katman:

Arındırma katmanıdır. Arındırma katmanındaki her bir düğümde verilen bir kuralın ağırlıklandırılmış sonuç değerleri hesaplanmaktadır. 4 katmandaki i. düğümün çıkış değeri ise,

$$y_i^5 = \bar{\mu}_i [p_i x_1 + q_i x_2 + r_i] \quad (6.6)$$

şeklinde olmaktadır. Buradaki (p_i , q_i , r_i) değişkenleri, i. kuralın sonuç parametreleri kümesidir.

5.Katman:

Toplam katmanıdır. Bu katmanda sadece bir düğüm vardır ve Σ ile etiketlenmiştir. Burada, 5. katmandaki her bir düğümün çıkış değeri toplanarak sonuçta, ANFIS sisteminin gerçek değeri elde edilir.

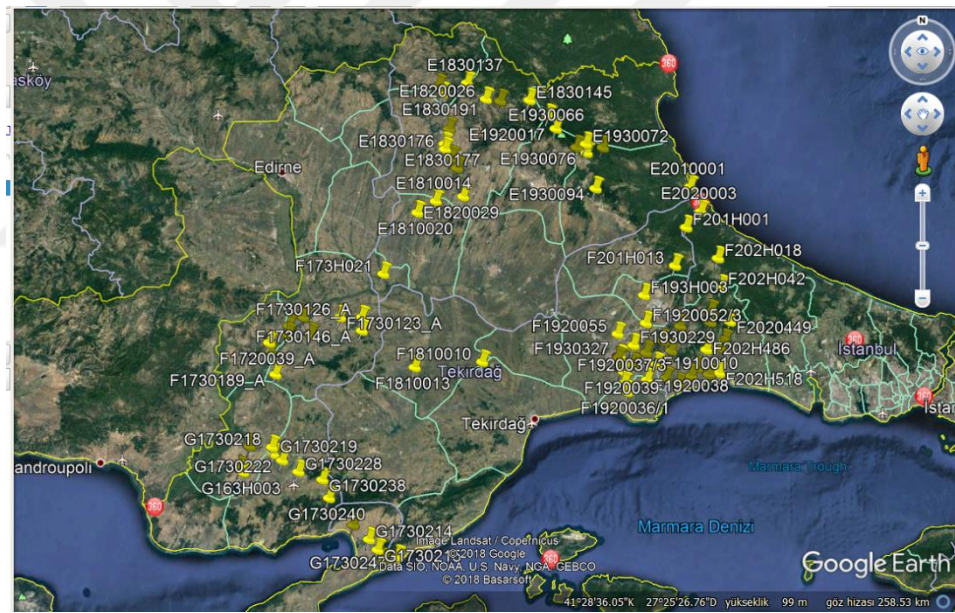
Sistemin çıkış değeri olan y'nin hesaplanması ise,

$$y_i^5 = \sum_{i=1}^n \bar{\mu}_i [p_i x_1 + q_i x_2 + r_i] \quad (6.7)$$

denkleminde olduğu olmaktadır (Özkan ve diğerleri, 2007).

7 SAYISAL UYGULAMA

Bu çalışmada Trakya Bölgesine dağılmış, ortometrik ve elipsoit yükseklikleri bilinen 175 adet nokta kullanılmıştır. Bu noktalardan 143 tanesi modelin oluşturulmasında dayanak noktası olarak kullanılmış geriye kalan 32 nokta ise test noktası olarak kullanılmıştır. Dayanak noktaları için uyşumsuz ölçüler testi yapılmış ve bunlar noktalardan uyşumsuz olanlar modelin oluşturulmasında kullanılmamıştır. Hesaplamalar için Surface Surfer 13 adlı paket programı kullanılmıştır. Modelin oluşturulmasında polinomlarla enterpolasyon, radyal bazlı fonksiyonlar, Kriging ve mesafenin tersi metotları kullanılmıştır. Sonuçlar test noktalarına ait karesel ortalama hatalar hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Dayanak noktalarının dağılımı aşağıda gösterilmiştir.

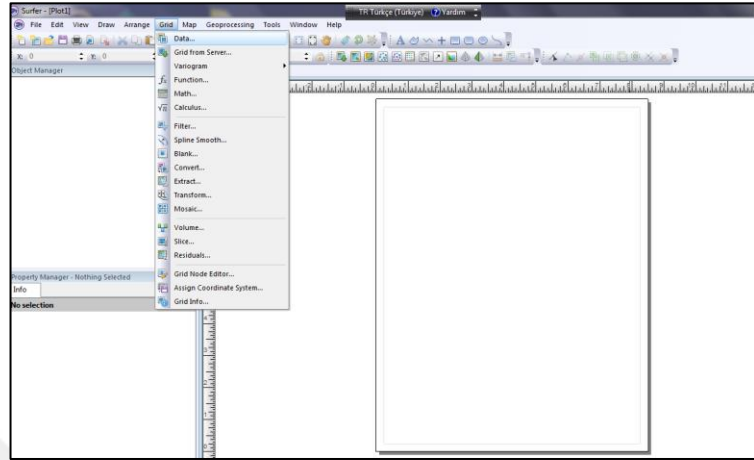


Şekil 7.1 Dayanak Noktalarının Dağılımı

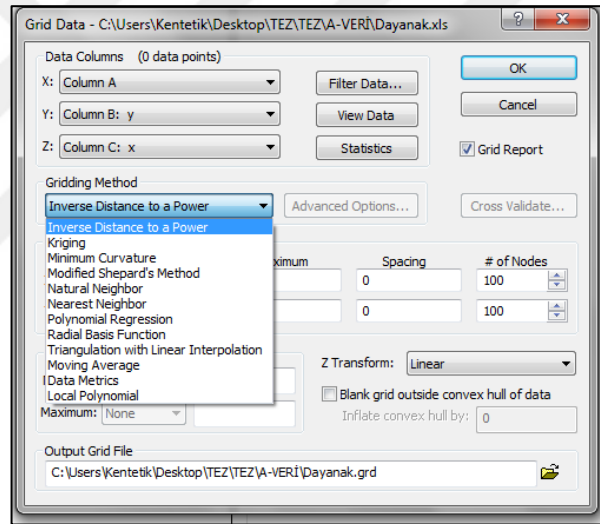
7.1 Surface Surfer 13 Programının Modelleme İçin Kullanılması

Dayanak noktalarına ait koordinatlar “excel” formatında kaydedilir. Kaydedilen dosyadaki sütunlarda nokta adı, X ve Y koordinat değerleri, elipsoit yüksekliği ve ortometrik yükseklik, jeoit yüksekliği değerleri yer alır. Kaydedilen “excel” dosyasının açılması için Surface Surfer 13 programında ekranın

yukarısında bulunan menüden sırasıyla grid ve data tıklanır. Buradan dayanak noktalarının bulunduğu excel dosyası çağırılır.



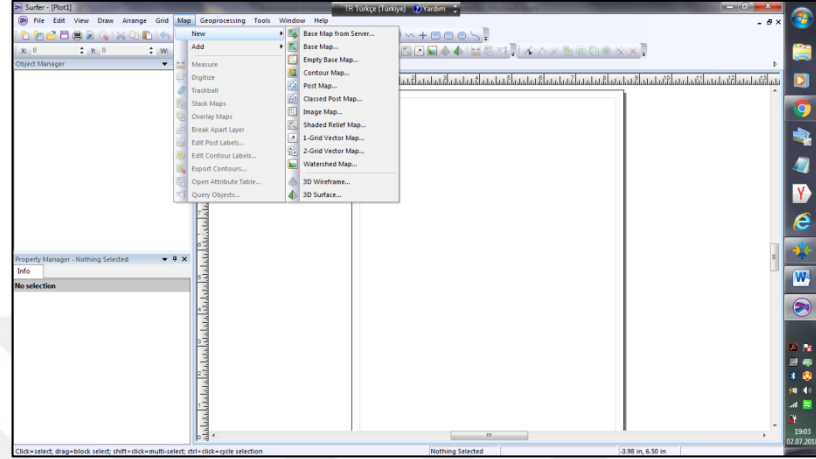
Şekil 7.2 Surface Surfer Ekran Görüntüsü-1



Şekil 7.3 Surface Surfer Ekran Görüntüsü-2

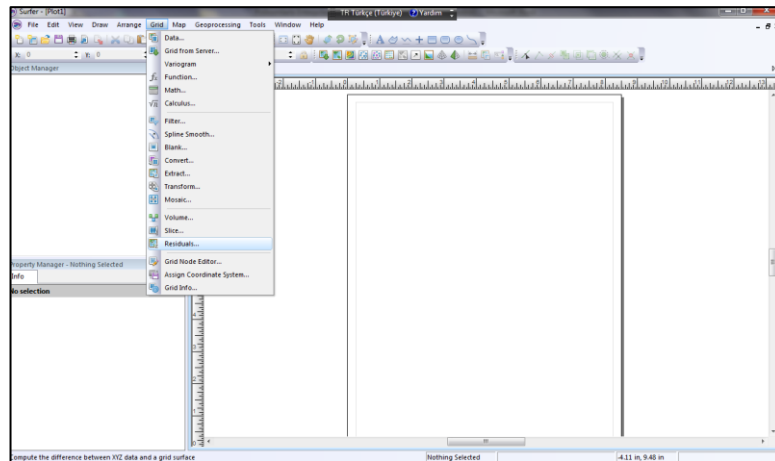
Bu menüde excel dosyasındaki sütunlar modelin oluşturulması için programa tanıtılır. X koordinatı için X kolonu, Y koordinatı Y kolonu ve jeoit yüksekliği için de Z kolonu seçilir . Modelin oluşturulmasında kullanılacak enterpolasyon yöntemi de bu menüden seçilir. Bu menüden dataların filtrelenmesi işlemi de yapılabilir. Kullanılacak modellerden hangisinin daha doğru olacağına karar vermek için “Cross Validation” seçeneği ile kullanılacak yöntemle ait istatistiksel sonuçlara ulaşılabilir. Bu aşamadan sonra oluşturulan “grd” uzantılı datanın çıktı yolu belirlenir. “OK” butonuna basıldığında grd uzantılı dosya kaydedilir ve istatistiksel sonuçlar kullanıcıya

buradan verilir. Gridlenen data üstte bulunan menüden “MAP” butonuna basılarak okutulabilir. Oluşturulan data menüde bulunan vektör haritaları, kontur haritaları, 3D yüzey haritaları ve diğer seçeneklerden istenenler seçilerek yüzey görünümünün ekrana gelmesi sağlanır.



Şekil 7.4 Surface Surfer Ekran Görüntüsü-3

Ara noktalara ait interpolasyon değerlerini hesaplamak için, hesaplamak istediğimiz nokta koordinatlarını excel dosyası olarak kayıt etmemiz gerekmektedir. Daha sonra yukarıda bulunan “GRID” menüsünden “RESIDUALS” seçilir. Bu menüde önce grd uzantılı dayanak noktalarına ait data seçilir daha sonra hesaplamak istediğimiz “excel” uzantılı dosya programa okutulur. Sonuçlar ekrana excel formatında yazdırılacaktır.



Şekil 7.5 Surface Surfer Ekran Görüntüsü-4

7.2 Modelin Oluşturulması

Modelin oluşturulmasında kullanılan dayanak noktalarına ait sayısal değerler Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1 Dayanak Noktaları (birimler:metre)

NOKTA ADI	SAĞA	YUKARI	h	H	N
3H038-AN13	484684.307	4501399.052	40.096	0.593	39.503
E1810014	510762.663	4603363.617	194.056	155.355	38.701
E1810020	504968.427	4599780.062	185.614	146.821	38.793
E1820026	526557.644	4635370.859	524.696	485.458	39.238
E1820029	519407.387	4604839.658	198.433	159.782	38.651
E1830137	520680.410	4640347.837	719.404	679.977	39.427
E1830144	531106.037	4634762.428	471.425	432.218	39.207
E1830145	540326.351	4634995.748	515.741	476.581	39.160
E1830169	517460.892	4613776.628	200.699	161.915	38.784
E1830172	515827.712	4617014.592	202.548	163.662	38.886
E1830176	513673.209	4619733.742	249.808	210.793	39.015
E1830177	513571.777	4621346.691	258.942	219.871	39.071
E1830182	514928.559	4625975.855	282.818	243.672	39.146
E1830191	512765.652	4637180.088	443.838	404.529	39.309
E1830193	511655.707	4639544.703	486.504	447.176	39.328
E1920009	555147.385	4620198.219	424.575	385.783	38.792
E1920017	548554.806	4626009.889	557.737	518.774	38.963
E1930066	546222.199	4629959.905	756.296	717.259	39.037
E1930072	558081.670	4621206.100	550.508	511.756	38.752
E1930073	563437.892	4620159.527	441.714	403.124	38.590
E1930076	558321.217	4618483.140	422.588	383.862	38.726
E1930094	561148.431	4607382.100	243.875	205.331	38.544
E2010001	591034.838	4607961.547	273.355	235.318	38.037
E2020003	594360.301	4600173.471	356.852	318.859	37.993
F1720039_AN92	458039.445	4558877.952	138.573	99.165	39.408
F1730118_AN46	468863.691	4566914.099	55.401	16.258	39.143
F1730123_AN34	480507.720	4566876.664	81.621	42.702	38.919
F1730126_AN30	487362.528	4566872.752	154.653	115.715	38.938
F1730129_AN75	464318.895	4564198.498	49.376	10.073	39.303
F1730146_AN58	487380.691	4562679.595	122.824	83.860	38.964
F1730150_AN70	463984.275	4561382.603	51.246	11.955	39.291
F1730153_AN67	471196.087	4561349.366	74.129	34.970	39.159
F1730163_AN109	458419.690	4555870.343	47.398	8.016	39.382
F1730189_AN144	460013.445	4548861.346	69.153	29.723	39.430
F173H021	494189.980	4580533.566	109.892	71.082	38.810
F1810010	525447.335	4552880.982	184.087	145.848	38.239
F1810013	504168.903	4551170.647	165.120	126.448	38.672
F1910010	580444.458	4552184.252	184.300	146.743	37.557
F1920036/114	571257.371	4543478.751	186.487	148.851	37.636
F1920037/376	570186.132	4546261.247	210.533	172.877	37.656
F1920038	577521.770	4547311.632	146.704	109.131	37.573
F1920039	570126.172	4549818.682	179.423	141.673	37.750
F1920046/331	577190.167	4555818.483	213.764	176.069	37.695
F1920048/328	582678.752	4559525.558	195.467	157.733	37.734
F1920052/327	577054.935	4565100.972	236.832	199.003	37.829

F1920055	568181.232	4561718.764	199.998	162.133	37.865
F192H005	583469.199	4547739.910	94.513	57.062	37.451
F1930229	573170.681	4558191.912	237.503	199.739	37.764
F1930255	572520.810	4557349.381	197.692	159.897	37.795
F1930327	568909.242	4554579.029	154.255	116.404	37.851
F1930348	568121.275	4553684.750	158.800	120.948	37.852
F1930383	572963.876	4551913.018	167.214	129.465	37.749
F1930395	569310.933	4550537.637	112.273	74.493	37.780
F193H003	576463.319	4573873.849	224.285	186.485	37.800
F201H001	589627.106	4595144.250	523.153	485.078	38.075
F201H013	586220.109	4583153.988	274.559	236.626	37.933
F2020449	603634.406	4565655.454	204.527	166.812	37.715
F202H018	599829.657	4585515.701	173.422	135.504	37.918
F202H042	600873.637	4576540.680	272.474	234.677	37.797
F202H419	587918.213	4564163.245	189.794	152.045	37.749
F202H437	585087.317	4556484.170	149.383	111.748	37.635
F202H446	597504.167	4568714.425	271.242	233.467	37.775
F202H455	597455.769	4565384.792	271.482	233.726	37.756
F202H478	601904.688	4559495.395	127.164	89.554	37.610
F202H482	600958.521	4557175.423	102.134	64.551	37.583
F202H486	596206.291	4556811.710	146.601	109.066	37.535
F202H518	600268.670	4549422.812	74.408	37.011	37.397
F202H521	597127.474	4548964.340	45.374	8.008	37.366
F202H535	593383.273	4550986.249	74.296	36.829	37.467
F202H544	591489.769	4548460.580	91.717	54.330	37.387
F202H552	587389.234	4545707.704	56.666	19.324	37.342
G163H003	449738.789	4517928.039	73.251	33.417	39.834
G163H004	448630.720	4519162.289	48.735	8.896	39.839
G163H010	451880.071	4526209.362	90.289	50.533	39.756
G1730214	489655.210	4496932.714	44.171	4.615	39.556
G1730215	492403.521	4493612.372	74.516	34.949	39.567
G1730218	458921.269	4525951.733	134.532	94.898	39.634
G1730219	459401.539	4523671.490	91.154	51.519	39.635
G1730222	462133.137	4521726.973	75.422	35.800	39.622
G1730228	467308.697	4518179.269	95.358	55.777	39.581
G1730238	474917.527	4515716.574	80.530	40.947	39.583
G1730240	477039.977	4509984.493	200.075	160.458	39.617
G1730244	494400.955	4490350.892	44.837	5.311	39.526
G1730247	498666.738	4491424.403	47.099	7.586	39.513
H162H001	454518.347	4434676.250	219.430	179.474	39.956

Dayanak noktalarından yararlanarak polinomal, radyal ve kriging yöntemlerine ait model katsayıları elde edilmiş olup bu modellerden yararlanarak test noktalarının yükseklikleri ilgili modeller ile enterpole edilmiştir. Bu enterpolasyon işleminde sonra elde edilen ortometrik yükseklikler Tablo 7.2, 7.3 ve 7.4'de verilmiştir.

Tablo 7.2 Test Noktalarına Ait Sonuçlar-1(birimler:metre)

NOKTA ADI	SAĞA	YUKARI	h	H(Lineer)	H (Bilineer)	H (Kuadratik)	H(Kübik)	H (Gerçek)
E1810015	515705.147	4619996.599	239.649	200.6094	200.7167	200.6275	200.7090	200.658
E1820036	513014.159	4633790.743	394.242	355.1155	355.2506	355.0714	354.9608	354.909
E1830159	518748.717	4601742.611	178.985	140.0524	140.1450	140.1379	140.3449	140.448
E1930083	558256.593	4612910.310	459.989	421.6273	421.3345	421.3773	421.4755	421.247
F1720034_AN77	466059.929	4562949.962	70.967	31.3519	31.5621	31.6602	31.7407	31.748
F1720036_AN166	461022.673	4560969.578	54.497	14.8109	15.0125	15.1232	15.2064	15.184
F1730136_AN53	480482.375	4564193.050	106.443	67.0456	67.2403	67.3148	67.3905	67.425
F1730177_AN125	473709.335	4551648.943	126.701	87.2408	87.3692	87.4648	87.4738	87.474
F1830165	509355.007	4544472.846	152.670	113.7818	113.9164	113.9344	113.9169	114.002
F1830198	515595.700	4587756.791	105.972	67.0370	67.1604	67.1853	67.4001	67.585
F1830206	512371.260	4566672.693	125.245	86.3300	86.4700	86.5125	86.6470	86.876
F192H001	583345.624	4551410.907	94.432	56.6590	56.8210	56.7966	56.8320	56.92
F1930236	578678.306	4551196.628	149.911	112.0669	112.2297	112.2046	112.2599	112.285
F1930323	570424.763	4555167.559	178.587	140.6028	140.7262	140.7216	140.8212	140.757
F1930389	573000.374	4549131.443	163.689	125.7643	125.9450	125.9106	125.9755	126.043
F1930391	570620.095	4550651.912	163.057	125.0907	125.2557	125.2299	125.3081	125.364
F193H039	563243.308	4582922.640	139.675	101.4889	101.3905	101.4595	101.6583	101.797
F193H486	581756.938	4544683.757	45.223	7.4477	7.6834	7.6201	7.6362	7.888
F193H586	577307.768	4565449.393	233.428	195.5158	195.5313	195.5702	195.6810	195.789
F2020004	591900.512	4584744.270	279.522	241.7706	241.5145	241.6307	241.6321	241.553
F202H412	587687.249	4566817.410	199.973	162.2159	162.1952	162.2466	162.2959	162.2
F202H451	599878.923	4566805.997	261.294	223.7245	223.6779	223.7407	223.6786	223.586
F202H473	596854.992	4559217.450	168.990	131.3990	131.4607	131.4825	131.4445	131.393
G162H001	451627.392	4522175.590	104.197	64.4943	64.3297	64.4733	64.4307	64.404
G1730203	483862.195	4510430.374	455.486	416.3179	416.2598	416.2351	415.9985	415.881
G1730220	461121.385	4525121.936	109.878	70.3117	70.2185	70.3301	70.2347	70.269
G173H025	465547.329	4527745.749	109.272	69.7651	69.7116	69.8119	69.7072	69.6
G173H029	468132.251	4523361.066	117.336	77.8833	77.8093	77.8910	77.7547	77.616
G173H063	492838.636	4523825.608	188.406	149.3318	149.3776	149.3752	149.1972	149.081
G173H099	472339.859	4524720.921	146.254	106.8615	106.8164	106.8862	106.7414	106.626
G1830061	502335.244	4518086.028	192.837	153.9278	154.0089	153.9513	153.7457	153.483
G1830075	505005.957	4534637.121	176.233	137.3103	137.4267	137.4269	137.3310	137.244

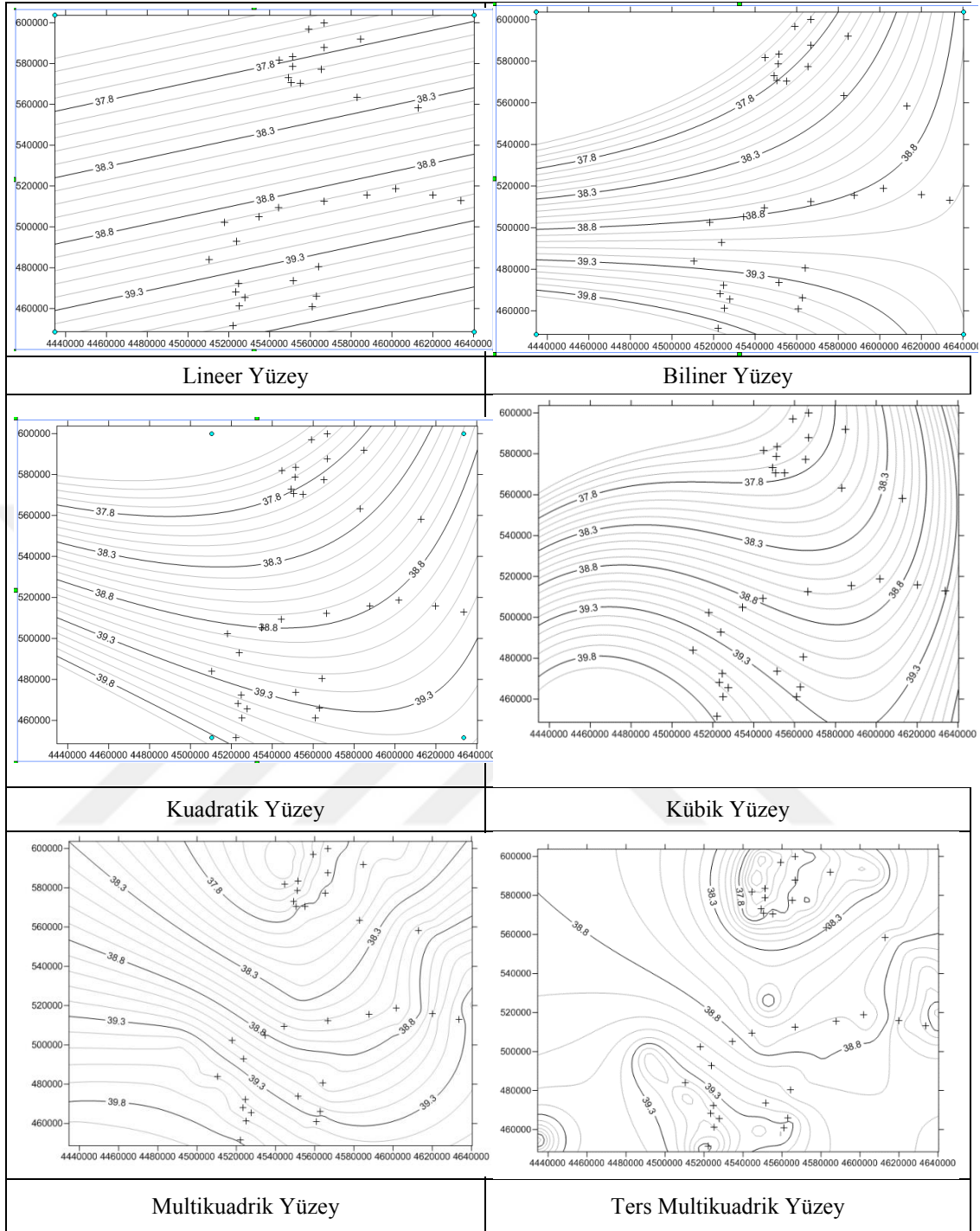
Tablo 7.3 Test Noktalarına Ait Sonuçlar-2(birimler:metre)

NOKTA ADI	SAĞA	YUKARI	h	H (MQ)	H (TersMQ)	H (Multilog)	H (TPS)	H (Gerçek)
E1810015	515705.147	4619996.599	239.649	200.6532	200.6471	200.6114	200.6565	200.658
E1820036	513014.159	4633790.743	394.242	354.9716	355.0097	355.1074	354.9739	354.909
E1830159	518748.717	4601742.611	178.985	140.3565	140.3291	140.0644	140.3630	140.448
E1930083	558256.593	4612910.310	459.989	421.3446	421.3403	421.6000	421.3283	421.247
F1720034_AN77	466059.929	4562949.962	70.967	31.7124	31.7054	31.3919	31.7121	31.748
F1720036_AN166	461022.673	4560969.578	54.497	15.1482	15.1457	14.8471	15.1433	15.184
F1730136_AN53	480482.375	4564193.050	106.443	67.4752	67.4880	67.0817	67.4841	67.425
F1730177_AN125	473709.335	4551648.943	126.701	87.5024	87.5476	87.2646	87.4964	87.474
F1830165	509355.007	4544472.846	152.670	114.0462	113.9676	113.7910	114.0596	114.002
F1830198	515595.700	4587756.791	105.972	67.4033	67.2624	67.0518	67.4207	67.585
F1830206	512371.260	4566672.693	125.245	86.7307	86.5764	86.3470	86.7478	86.876
F192H001	583345.624	4551410.907	94.432	56.9157	56.9265	56.6798	56.9183	56.92
F1930236	578678.306	4551196.628	149.911	112.3232	112.3317	112.0916	112.3260	112.285
F1930323	570424.763	4555167.559	178.587	140.7624	140.7457	140.6280	140.7529	140.757
F1930389	573000.374	4549131.443	163.689	126.0048	126.0109	125.7910	126.0020	126.043
F1930391	570620.095	4550651.912	163.057	125.2971	125.2971	125.1188	125.2939	125.364
F193H039	563243.308	4582922.640	139.675	101.5765	101.3785	101.4860	101.6097	101.797
F193H486	581756.938	4544683.757	45.223	7.7630	7.6798	7.4675	7.7796	7.888
F193H586	577307.768	4565449.393	233.428	195.6041	195.5972	195.5271	195.5999	195.789
F2020004	591900.512	4584744.270	279.522	241.5846	241.5771	241.7543	241.5708	241.553
F202H412	587687.249	4566817.410	199.973	162.1975	162.1846	162.2167	162.1948	162.2
F202H451	599878.923	4566805.997	261.294	223.5457	223.5536	223.7126	223.5407	223.586
F202H473	596854.992	4559217.450	168.990	131.3841	131.3964	131.3975	131.3892	131.393
G162H001	451627.392	4522175.590	104.197	64.4157	64.3837	64.4860	64.4187	64.404
G1730203	483862.195	4510430.374	455.486	415.9984	416.0420	416.2900	415.9768	415.881
G1730220	461121.385	4525121.936	109.878	70.2715	70.2772	70.3039	70.2710	70.269
G173H025	465547.329	4527745.749	109.272	69.7403	69.7918	69.7600	69.7370	69.6
G173H029	468132.251	4523361.066	117.336	77.7986	77.8239	77.8725	77.7982	77.616
G173H063	492838.636	4523825.608	188.406	149.2235	149.2958	149.3210	149.1754	149.081
G173H099	472339.859	4524720.921	146.254	106.7723	106.8343	106.8518	106.7647	106.626
G1830061	502335.244	4518086.028	192.837	153.7559	153.7981	153.9122	153.6938	153.483
G1830075	505005.957	4534637.121	176.233	137.4171	137.3717	137.3111	137.4036	137.244

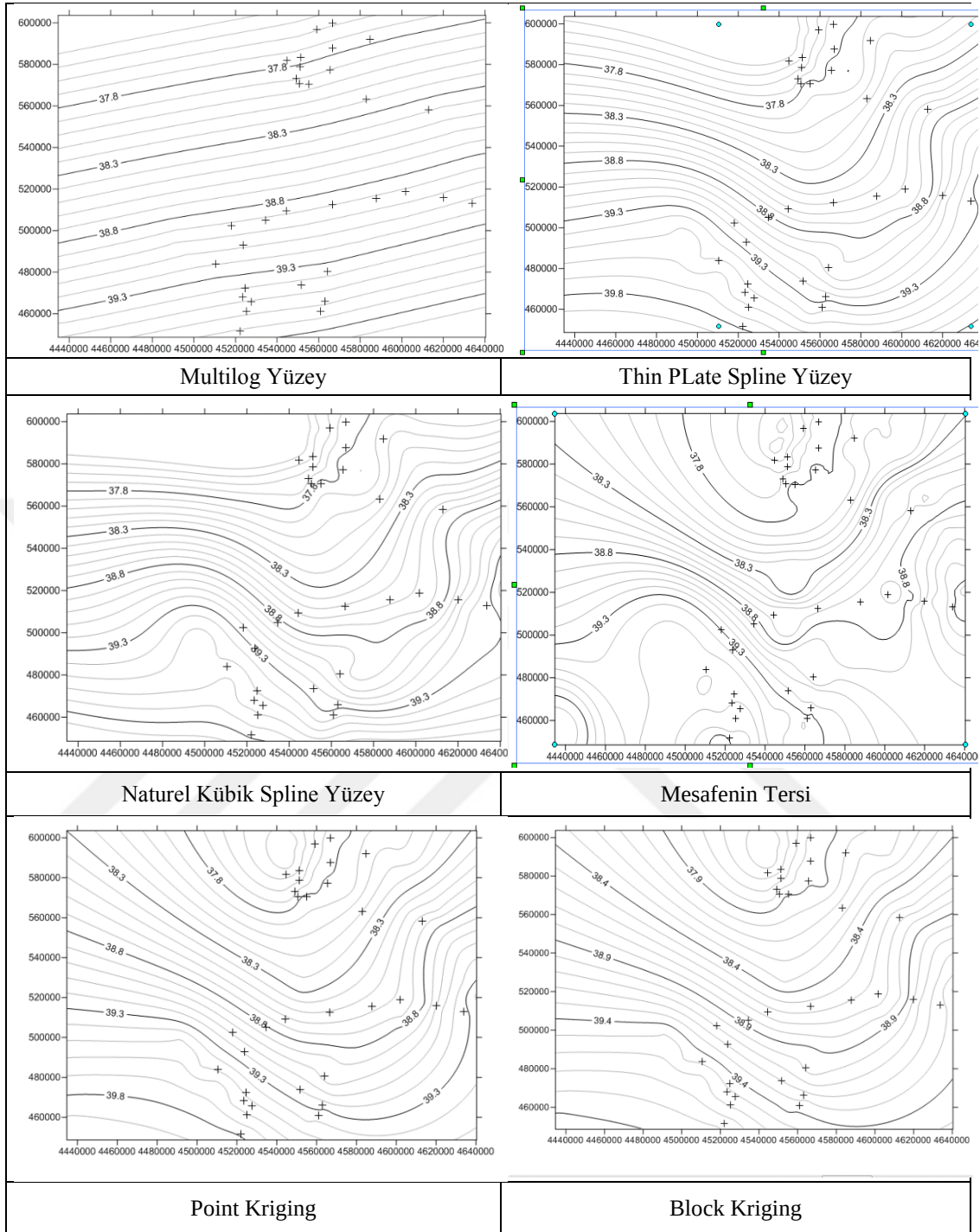
Tablo 7.4 Test Noktalarına Ait Sonuçlar-3(birimler:metre)

NOKTA ADI	SAĞA	YUKARI	h	H (Naturel Kübik)	H (Kriging Point)	H (Kriging Block)	H (Ters Mesafe)	H (Gerçek)
E1810015	515705.147	4619996.599	239.649	200.6613	200.6532	200.6414	200.6473	200.658
E1820036	513014.159	4633790.743	394.242	354.9741	354.9716	354.9729	354.9572	354.909
E1830159	518748.717	4601742.611	178.985	140.3591	140.3565	140.3265	140.3184	140.448
E1930083	558256.593	4612910.310	459.989	421.3218	421.3446	421.3158	421.3158	421.247
F1720034_AN77	466059.929	4562949.962	70.967	31.7136	31.7124	31.7133	31.6907	31.748
F1720036_AN166	461022.673	4560969.578	54.497	15.1416	15.1482	15.1532	15.1688	15.184
F1730136_AN53	480482.375	4564193.050	106.443	67.4820	67.4752	67.4612	67.5035	67.425
F1730177_AN125	473709.335	4551648.943	126.701	87.4742	87.5024	87.5001	87.4823	87.474
F1830165	509355.007	4544472.846	152.670	114.0690	114.0462	114.0161	113.9962	114.002
F1830198	515595.700	4587756.791	105.972	67.3992	67.4033	67.3706	67.2342	67.585
F1830206	512371.260	4566672.693	125.245	86.7280	86.7307	86.6954	86.5802	86.876
F192H001	583345.624	4551410.907	94.432	56.9201	56.9157	56.8318	56.8868	56.92
F1930236	578678.306	4551196.628	149.911	112.3279	112.3232	112.2427	112.3253	112.285
F1930323	570424.763	4555167.559	178.587	140.7490	140.7624	140.6946	140.7596	140.757
F1930389	573000.374	4549131.443	163.689	126.0022	126.0048	125.9296	125.9668	126.043
F1930391	570620.095	4550651.912	163.057	125.2930	125.2971	125.2260	125.2960	125.364
F193H039	563243.308	4582922.640	139.675	101.6474	101.5765	101.5212	101.7176	101.797
F193H486	581756.938	4544683.757	45.223	7.7745	7.7630	7.6765	7.7194	7.888
F193H586	577307.768	4565449.393	233.428	195.5969	195.6041	195.5371	195.6014	195.789
F2020004	591900.512	4584744.270	279.522	241.5655	241.5846	241.5216	241.6057	241.553
F202H412	587687.249	4566817.410	199.973	162.1935	162.1975	162.1267	162.2293	162.2
F202H451	599878.923	4566805.997	261.294	223.5396	223.5457	223.4739	223.5453	223.586
F202H473	596854.992	4559217.450	168.990	131.3971	131.3841	131.3048	131.4216	131.393
G162H001	451627.392	4522175.590	104.197	64.4224	64.4157	64.4418	64.4157	64.404
G1730203	483862.195	4510430.374	455.486	415.9505	415.9984	416.0101	415.9199	415.881
G1730220	461121.385	4525121.936	109.878	70.2683	70.2715	70.2887	70.2449	70.269
G173H025	465547.329	4527745.749	109.272	69.7247	69.7403	69.7541	69.6543	69.6
G173H029	468132.251	4523361.066	117.336	77.7919	77.7986	77.8126	77.7362	77.616
G173H063	492838.636	4523825.608	188.406	149.1160	149.2235	149.2205	149.0371	149.081
G173H099	472339.859	4524720.921	146.254	106.7526	106.7723	106.7837	106.6730	106.626
G1830061	502335.244	4518086.028	192.837	153.6090	153.7559	153.7480	153.5399	153.483
G1830075	505005.957	4534637.121	176.233	137.3827	137.4171	137.3964	137.3608	137.244

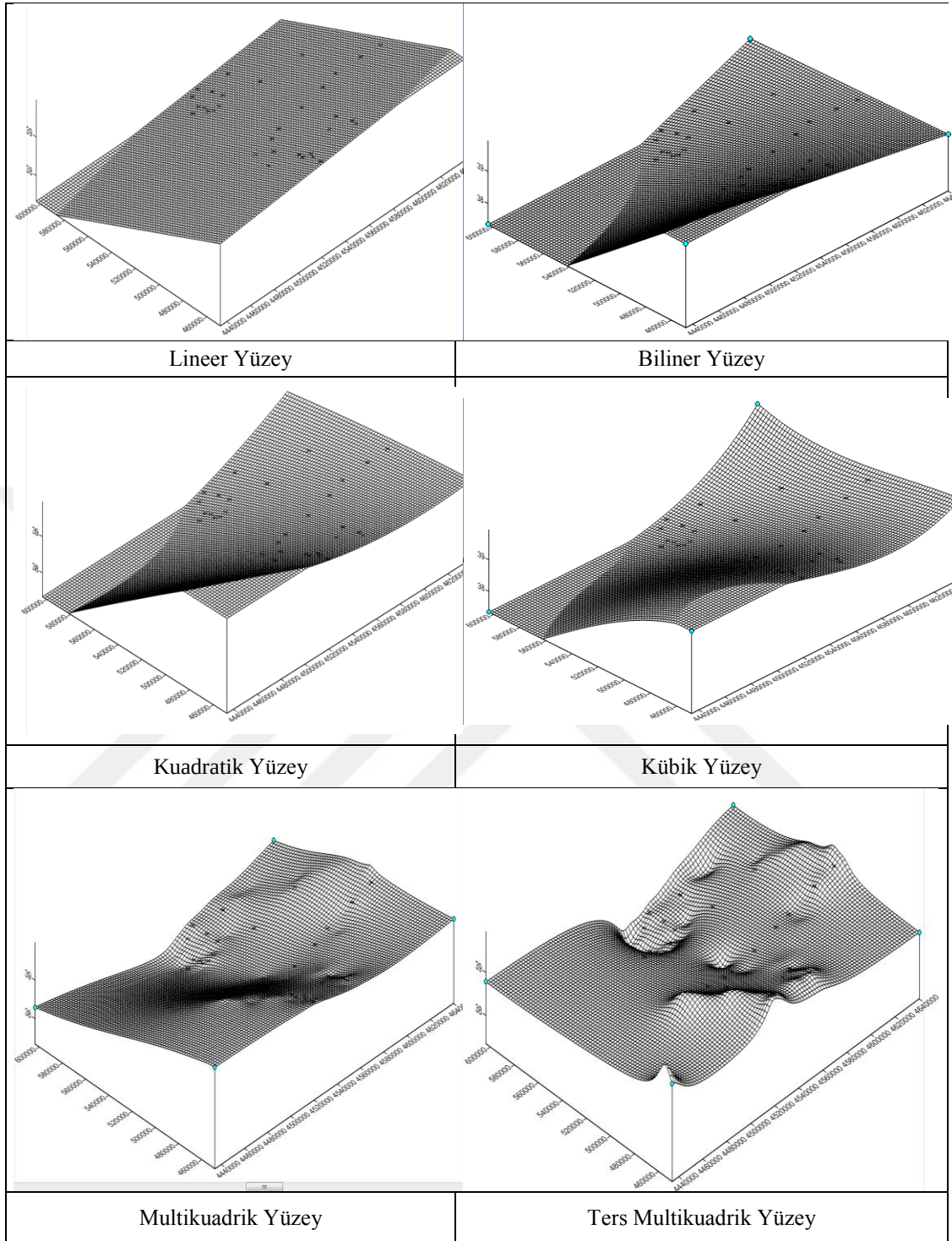
Tablolar incelendiğinde özellikle polinomal modellerden kübik, radyal bazlı modellerden MQ, NKS ve TPS ve Kriging yöntemlerinin ortometrik yükseklikleri belirlemede ki başarısı göze çarpmaktadır. Elde edilen tüm modellere ilişkin kontur haritaları Şekil 7.6 ve 7.7’de, benzer şekilde üç boyutlu yüzeylere ait grafikler de Şekil 7.8 ve 7.9’da gösterilmiştir.



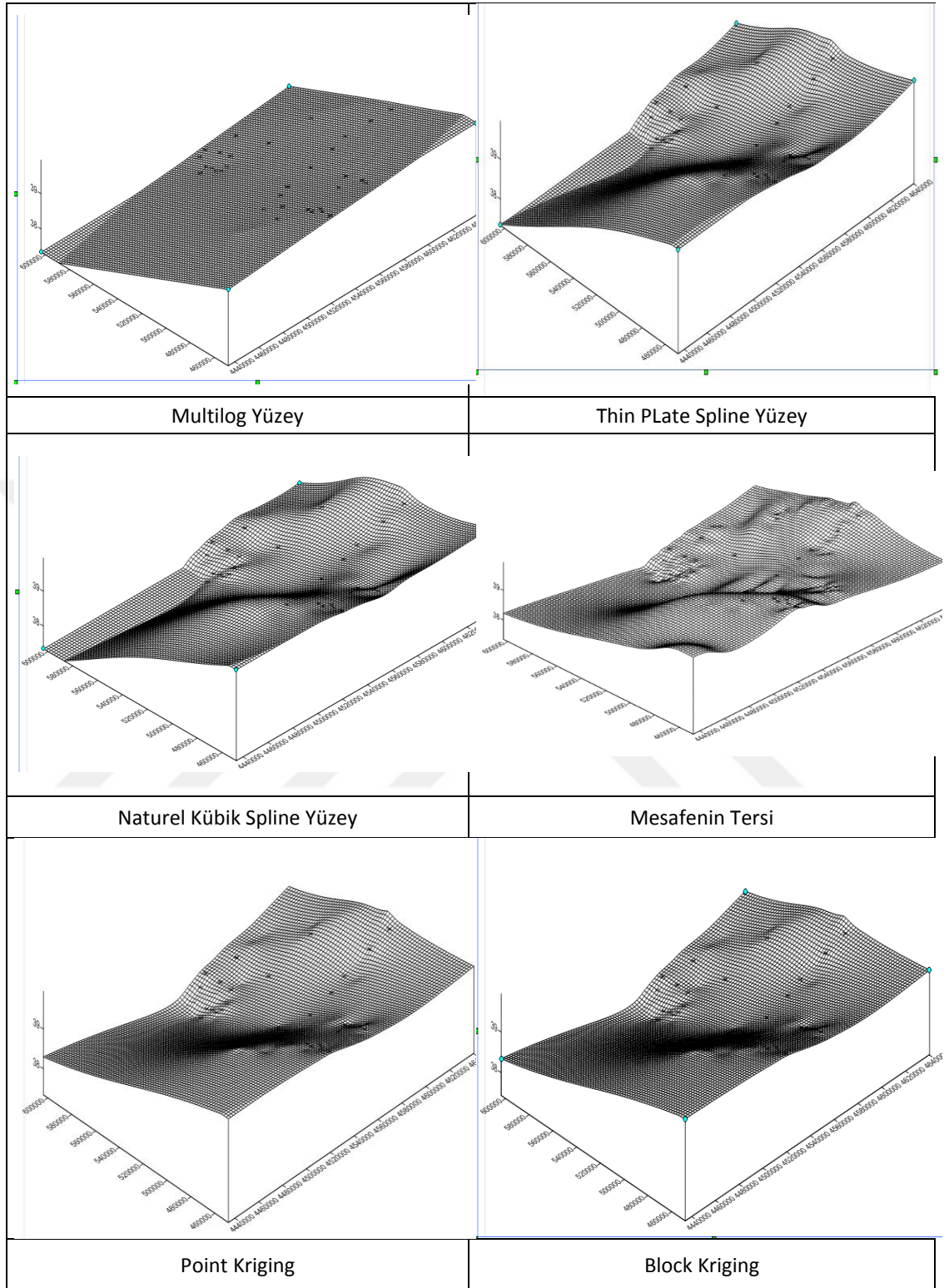
Şekil 7.6 Kontur Haritaları-1



Şekil 7.7 Kontur Haritaları-2



Şekil 7.8 Üç Boyutlu Yüzeyler-1



Şekil 7.9 Üç Boyutlu Yüzeyler-2

Kontur haritaları ve üç boyutlu yüzeyler incelendiğinde yine polinomal modellerden kübik, radyal bazlı modellerden MQ, NKS ve TPS ve Kriging

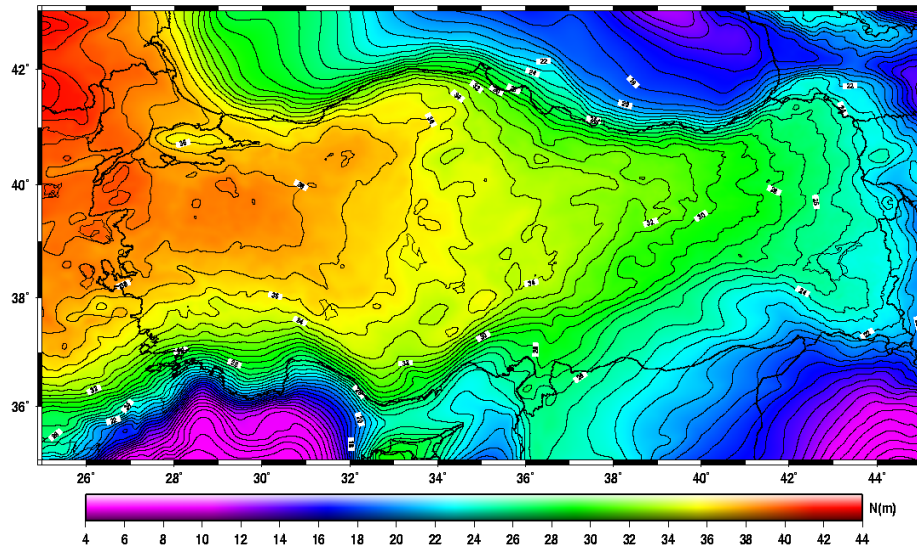
yöntemlerinin yüzeyleri daha yumuşak ve detaylı bir biçimde temsil ettiği söylenebilir. Bunun yanında sayısal olarak tüm modellerde test noktalarına ilişkin karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır (Tablo 7.5). Sayısal değerler incelendiğinde grafiksel olarak göze çarpan modellerin karesel ortalama hata değerlerinin yaklaşık 10 cm civarında bir doğruluk sağladığı görülmektedir. Bunun yanında çalışma alanı için, polinomal modellerin derecesi arttıkça daha iyi bir sonuç elde edildiği söylenebilir. Radyal bazlı fonksiyonlar incelendiğinde multilog yöntemi hariç diğer yöntemlerin benzer ve 10 cm civarında bir karesel ortalama hata değeri verdiği görülmektedir. Kriging metodunun iki farklı uygulamasında ve ters mesafe alınarak yapılan uygulamada da yine yaklaşık 10 cm karesel ortalama hata değeri elde edildiği görülmektedir.

Diğer yandan ülkemizdeki jeoit belirleme çalışmalarına bakıldığında ve mevcut durum göz önüne alındığında önceki modeller ve en son güncel jeoit modeli olan Türkiye Hibrid Jeoidinin 2009 (THG-09) doğruluk değerleri Şekil 7.10'da verilmiştir. Genel olarak, THG-09 jeoit modelinin ortalama doğruluğu ± 8 cm olup, gravite verisinin seyrek olduğu dağlık, sınır ve sulak alanlarda modelin doğruluğu düşmektedir (Kılıçoğlu ve ark., 2011). Sayısal uygulama sonucunda elde edilen değerler ile THG-09 jeoit modelinin ortalama doğruluğu karşılaştırıldığında bulunan değerlerin uyumlu olduğu söylenebilir. Aradaki uyumsuzluğun veya daha iyi karesel ortalama hata değerlerinin elde edilememesinde yatan en önemli unsurlar çalışma alanı içerisindeki verilerin kalitesi, kullanılan dayanak noktalarının dağılımı ve ölçümler esnasında yapılan hatalar olarak düşünülmektedir.

Tablo 7.5 Test noktalarına ait karesel ortalama hatalar (birim: metre)

	YönteminAdı	KareselOrtalama Hata
Polinomal Enterpolasyon	Liner	∓ 0.30 m
	Biliner	∓ 0.23 m
	Kuadratik	∓ 0.21 m
	Kübik	∓ 0.12 m
Radyal Bazlı Fonksiyonlar	Multikuadrik	∓ 0.11 m
	İnverse Multikuadrik	∓ 0.16 m
	Naturel Kübik Spline	∓ 0.09 m
	Multilog	∓ 0.28 m
	Thin Plate Spline	∓ 0.10 m
Kriging	Point Kriging	∓ 0.11 m
	Block Kriging	∓ 0.14 m
Mesafenin Tersi	Mesafenin Tersi	∓ 0.11 m

	TG-91 / TG-99A		TG-03	THG-09
Yöntem	Kaldır Yerine Koy (EKKK)		Kaldır Yerine Koy (EKKK)	Kaldır Yerine Koy (FFT)
Yer Potansiyel Modeli	GPM2-T1		EGM96	EGM08
Yersel Gravite Ölçüsü	62.250		61.597	262.212
Deniz Gravite Ölçüsü	-		Uydu Altimetresi	Uydu Altimetresi
Sayısal Arazi Modeli	450m x 450m		450m x 450m	90m x 90m
GPS/Nivelman Nok.	32	187	192	2464
Dış Doğruluğu	45 km için 1.5-2.1 ppm	± 14.5 cm	± 8.6 cm	± 8.4 cm

**Şekil 7.10.** Türkiye’deki mevcut durum ve Türkiye Hibrid Jeoit Modeli – 2009 (THG-09) (Direnc ve ark., 2012)

8 SONUÇLAR

En genel ifadeyle yükseklik kavramı yeryüzünde bulunan bir nokta ile başlangıç yüzeyi arasındaki mesafe olarak tanımlanabilir. Yükseklikler fiziksel ve geometrik anlamı olabilirler. Genel olarak yeryuvarının gravite ile ilişkisi olan yani fiziksel anlamı yüksekliklerin mühendislik projelerinde kullanılması daha uygundur. Bunun en önemli nedeni fiziksel yasalardır yani en basit ifadeyle suyun akış yönünün gravite alanı ile ilişkili olmasından kaynaklanmaktadır. Genel olarak ülkemizde iki çeşit yükseklik türü diğerlerine oranla daha yaygın kullanılmaktadır. Bunlardan ilki mühendislik projelerinde ve haritalama uygulamalarında, geometrik bir ifadeden çok fiziksel bir anlam taşıyan ve çekül eğrisi boyunca yeryüzündeki nokta ile jeoit arasındaki düşey uzaklık olarak tanımlanan ortometrik yüksekliklerdir. Diğer ise yine birçok uygulamada hızlı, ekonomik vb. olmasından dolayı GPS yardımıyla elde edilen, fiziksel bir anlam taşımayan ve geometrik esaslara dayanan elipsoidal yüksekliklerdir.

Diğer yandan, noktalardaki ortometrik yüksekliklerin belirlenebilmesi için yapılan nivelman ölçüleri oldukça zahmetli ve zaman alıcı bir işlemdir. Ayrıca, GPS'ten elde edilen elipsoidal yüksekliklerin mühendislik uygulamalarında kullanılabilmesi için bölgenin yükseklik datumunda tanımlanmış ortometrik yüksekliklere dönüşümü yapılmalıdır. Bu sebeplerden ötürü kolaylığı ve uygulanabilirliğinden dolayı kullanıcılar jeoit yüksekliklerinin belirlenmesinde GPS/Nivelman yöntemini tercih etmektedirler. Yöntem elipsoidal yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi esasına dayanır. Bu dönüşüm işlemi için genellikle polinomal, trigonometrik, radyal bazlı fonksiyonlar, kriging vb. modeller kullanılabilir.

Bu çalışmada toplam on iki farklı enterpolasyon yöntemi Trakya Bölgesine dağılmış, ortometrik ve elipsoit yükseklikleri bilinen 175 adet nokta için uygulanmıştır. Bu noktalardan 143 tanesi modelin oluşturulmasında referans noktası olarak alınırken, 32 nokta test noktası olarak kullanılmıştır. Dayanak noktaları için uyuşumsuz ölçüler testi yapılmış ve uyuşumsuz noktalar modelden çıkarılmıştır. Modelin oluşturulmasında polinomlarla enterpolasyon, radyal bazlı fonksiyonlar,

Kriging ve mesafenin tersi metotları kullanılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde çalışma alanında, radyal bazlı fonksiyonlardan olan natural kübik spline yönteminin (9 cm) diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçverdiği görülmüştür. Diğer yandan düşük dereceli polinomenterpilasyon yöntemlerin yüksek dereceli yöntemlere göre daha kaba sonuçlar verdiği ve araziye doğru bir biçimde yansıtmadığı tespit edilmiştir. Radyal bazlı fonksiyonlar incelendiğinde multilog yöntemi hariç diğer yöntemlerin benzer ve 10 cm civarında bir karesel ortalama hata değeri verdiği görülmektedir. Kriging metodunun iki farklı uygulamasında ve ters mesafe alınarak yapılan uygulamada da yine yaklaşık 10 cm karesel ortalama hata değeri elde edildiği görülmektedir.

Çalışma bölgesi için yapılan tüm bu uygulamalar sonucunda;

- polinom model derecesinin minimum 3. derece olmasının yüzeyi temsil etmede daha etkin olacağı
- radyal bazlı fonksiyonlardan multilog yöntemi hariç diğer yöntemlerin neredeyse benzer sonuçlar verdiği ve bunların herhangi birinin yükseklikleri belirlemede kullanılabileceği
- Kriging ve Mesafenin tersi ile ağırlıklandırma yöntemlerinin de RBF yöntemleri ile benzer sonuçlar verdiği

söylenbilir. Kısacası iyi olarak belirtilen yöntemler arasında çok büyük farklar olmamasına rağmen, test bölgesinde hesap edilen sonuçlara göre natural kübik spline yönteminin diğer yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği elde edilmiştir. Genel olarak sonuçlar incelendiğinde, beklenenin altında bir doğrulukta kaldığı görülmektedir. Bu durumun muhtemel sebeplerini, çalışma alanının engebeli bir yapıya sahip olması, kullanılan veri kalitesinin tam olarak bilinmemesi ve dayanak noktalarının dağılımındaki düzensizlikler olarak sıralamak mümkündür.

KAYNAKLAR

- Amidror, I., 2002, Scattered data interpolation methods for electronic imaging systems: a survey. *Journal of electronic imaging*, 11(2), 157-177.
- Ayar, A., 2009, Non Sibson Enterpolasyon Yöntemiyle Yerel Geoit Belirlenmesi, PhD Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ.
- Aydın, O., 2014, Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Kriging Yöntemiyle Belirlenmesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Berber N., 2005, Farklı jeodezik yüksekliklerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KTÜ.
- Buhmann, M. D., 2000, Radial basis functions. *Acta numerica*, 9, 1-38.
- Chenoweth, Maggie E., and Scott A. Sarra., 2009, "A numerical study of generalized multiquadric radial basis function interpolation." *SIAM Undergraduate Research Online* 2 : 58-70.
- Çakır, L., 2012, Ortometrik Yüksekliklerin Dolaylı Olarak GPS Gözlemlerinden Elde Edilmesinde Kullanılan Yöntemlerin İrdelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çakın, E., 2017, Ülkelerin İnovasyon Performansının Ölçülmesinde Yapay Sinir Ağları, Bulanık Dematel Tabanlı Analitik Ağ Süreci Ve Ağırlık Kısıtlı Veri Zarflama Analizi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- David, M., 1977, *Geostatistical ore reserve estimation*: Elsevier, Amsterdam, 364 p.
- Demir C., Cingöz A., 2002, Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı-1999 (TUDKA-99), TUJK 2002 yılı Bilimsel Toplantısı, Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 10-12 Ekim 2002, İznik.
- Demirel, H., 1983, Kollokasyon, *Harita Dergisi*, (45-46), 47.

- Direnç A., Simav S., Türkezer A., Kurt Aİ., Kurt M., 2012, Geoid assessment study in Turkey. Turkish National Geodetic Commission Scientific Meeting 2012, Modernization of Height System in Turkey Workshop, March 28-30, 2012, Zonguldak, Turkey
- Doğanalp, B., 2012, İnsan Kaynakları Seçme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı: Görgül Bir Araştırma, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
- Doğruluk, M., 2013, Sayısal arazi modellerinin karayolu projelerindeki hacim hesaplamalarına etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dressler, M., 2009, Art of surface interpolation, Technical University of Liberec Faculty of Mechatronics and Interdisciplinary Engineering Studies, Czech Republic
- Du Toit, W., 2008, Radial basis function interpolation, Diss. Stellenbosch: Stellenbosch University,
- Emir, Ş., 2013, Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Makineleri Yöntemlerinin Sınıflandırma Performanslarının Karşılaştırılması: Borsa Endeks Yönünün Tahmini Üzerine Bir Uygulama, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Fogel, D. N., & Tinney, L. R., 1996, Image Registration using Multiquadric Functions, the Finite Element Method, Bivariate Mapping Polynomials and Thin Plate Spline (96-1).
- Franke, R., 1979, A critical comparison of some methods for interpolation of scattered data, Monterey, California, Naval Postgraduate School.
- Franke, R., 1982, Scattered data interpolation: tests of some methods, Mathematics of computation, 38(157), 181-200.
- Fullér, R., 1995, Neural fuzzy systems, ABO Akademi.

- Güler, A., 1985, Sayısal arazi modellerinde iki enterpolasyon yöntemi ile denemeler, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi, (52-53), 98-118.
- Güzel G. Ş., 2017, Harran Ovası topraklarının bazı özelliklerinin jeostatistiksel (kriging-method) yöntemle belirlenerek haritalanması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Entitüsü, Harran Üniversitesi.
- Hardy, R.L.,1971, Multiquadratic Equation of Topography and Other Irregular Surfaces, Journal of Geophysical Research, Vol.76, No 8
- Haznedar, B., 2017, Benzetilmiş Tavlama Algoritması İle Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sisteminin (Anfis) Eğitilmesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.
- İpbüker, C., 1999, Topografik ve tematik haritaların yapımına veri kaynağı oluşturacak uydu görüntülerinin dönüşüm yöntemleri analizi Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Entitüsü.
- Journel, A. G., & Huijbregts, C. J., 1978, Mining geostatistics. Academic press.
- Kansa, E. J., 1990, Multiquadrics—A scattered data approximation scheme with applications to computational fluid-dynamics—II solutions to parabolic, hyperbolic and elliptic partial differential equations, Computers & mathematics with applications, 19(8-9), 147-161
- Kayabaşı, A., 2015, Kompakt Mikroşerit Antenlerin Rezonans Frekansının Yapay Sinir Ağları Ve Bulanık Mantık Sistemine Dayalı Uyarlanır Ağ Kullanarak Hesaplanması, Fen Bilimleri Entitüsü, Mersin.
- Kiliçoğlu, A., Direnç, A., Yıldız, H., Bölme, M., Aktuğ, B., Simav, M., & Lenk, O., 2011, Regional gravimetric quasi-geoid model and transformation surface to national height system for Turkey (THG-09). Studia Geophysica et Geodaetica, 55(4), 557.
- Kosko, B., 1992, Neural Networks and Fuzzy Systems, Printice-Hall Company, S. 185-220, USA.

- Krige, D. G., 1951, A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 52(6), 119-139.
- Krige, D. G., 1976, Some basic considerations in the application of geostatistics to the valuation of ore in South African gold mines. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 76(9), 383-391.
- Leberl F., 1973, Interpolation in Square Grid Digital Terrain Model, *The ITC Journal*, 5, 756-807
- Matheron, G., 1963, Principles of geostatistics. *Economic geology*, 58(8), 1246-1266.
- Matheron, G., 1971, The theory of regionalised variables and its applications. *Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique*, 5, 212.
- McCullagh, P., 1980, Regression models for ordinal data. *J. Roy. Statist. Soc. Ser. B* 42: 109-142.
- Micchelli, C. A., 1984, Interpolation of scattered data: distance matrices and conditionally positive definite functions, In *Approximation theory and spline functions* (pp. 143-145). Springer, Dordrecht.
- Okkan, U., & Dalkılıç, H. Y., 2012, Radyal tabanlı yapay sinir ağları ile Kemer Barajı aylık akımlarının modellenmesi, *Teknik Dergi*, 23(112).
- Öner, N., 1986, *Klasik mantık*. (5. Baskı). Ankara: Ankara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Yayınları
- Özat, P., 2011, *Diş rengi eşleştirmesinde bulanık mantık yönteminin kullanımı* (Doctoral dissertation, SDÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Özek, A., & Sinecen, M., 2011, Klima Sistem Kontrolünün Bulanık Mantık İle Modellemesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(3), 353-358.

- Öztemel, E., 2003, Yapay Sinir Ağları, PapatyaYayincılık, İstanbul.
- Pekin, A., 1999, Açık İşletme Asamak Tenörlerinin Kriging Tahminlerinde İstatiksel Dağılım Modellerinin Etkileri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.
- Pirim, A. G. H., 2006, Yapay zeka, Journal of Yaşar University, 1(1), 81-93.
- Sarıtaş İ., Özkan İ.A., ve Herdem S., 2007, Manyetik Filtrenin Bulanık Mantık Yöntemiyle Kontrolü, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi ve Fuarı, sayfa 609-612, Eskişehir, Türkiye.
- Shul'min, M. V., & Mitel'man, Y. Y., 1974, The multiquadric method of approximating a topographic surface. Geodesy, mapping and photogrammetry, 16, 13-17.
- Sjöberg, L.S., 1994, Geoid Determination Techniques, Geoid and its Geophysical Interpretations, P. Vanicek ve N.T. Christou (Eds), CRC Press, 33-56.
- S.P. Sastry, V. Zala, R.M. Kirby, 2015, Thin-plate-spline curvilinear meshing on a calculus-of-variations framework Procedia Eng., 124 , pp. 135-147
- Şen, Z., 2009, Bulanık mantık ilkeleri ve modelleme:(Mühendislik ve sosyal bilimler). Su Vakfı.
- Şenol, C., 2010, Yapay Sinir Ağı Ve Bulanık Mantık Hiprid Yapı ve Algoritmalarının Geliştirilmesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Topaloğlu, V., 2007, Yapay Sinir Ağları İle Dalga Yüksekliği Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 17
- Uluğtekin, N., 1994, Sayısallaştırılmış Kadastro Paftalarının Geometrik Niteliğinin Yükseltilmesi, İTÜ Dergisi, 52.

- Walter F. , 2016, Using Radial Basis Functions for Surface Interpolation.
<https://www.comsol.com/blogs/using-radial-basis-functions-for-surface-interpolation/>
- Wang Wen-An., 2005, A Study of determining regional geoid using different methods —A Case Study of Taichung City, Thesis , Department of Civil Engineering, National Chung Hsing University.
- Yanalak, M.,1997, Sayısal arazi modellerinden hacim hesaplarında en uygun enterpolasyon yönteminin araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yanalak, M., 2002, Sayısal arazi modellerinde yükseklik enterpolasyonu, Harita Dergisi, 128, 44-58.
- Yaprak, S., 2007, Kriging Yönteminin Geoit Yüzeyi Modellemesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Varolan Yöntemlerle Karşılaştırılması (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yılmaz, M., 2005, İstanbul metropolitan alanında geoit araştırması, PhD Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ
- Yılmaz M., Arslan E., 2005, Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ-İstanbul.
- Yılmaz, N., 2011, Türkiye için Farklı Yöntem Ve Verilerle Belirlenen Jeoidlerin Karşılaştırılması, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Yiğit, C. Ö., 2003, Elipsoidale Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliğe Dönüşümünde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
- Yumuk, H. A., 2011, Kıyı boyu katı madde taşınımının bulanık mantık yöntemi ile modellenmesi, Doctoral dissertation.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kenan TETİK
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA 22.10.1989
Telefon : 0554 131 45 75
Faks : -
e-mail : kentetik@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Bitirme Yılı
Lise : Batıkent Lisesi	2006
Üniversite : Selçuk Üniversitesi	2012
Yüksek Lisans : Necmettin Erbakan Üniversitesi	2014 -
Doktora : -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010	Alya Proje	Stajyer
2012	Alya Proje	H.Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Kadastral Harita Üretimi, Kamulaştırma İş ve İşlemleri, Halihazır Harita Üretimi, İmar Uygulaması ve İmar Haritalarının Üretimi

YAYINLAR

Doğanalp S., Tetik K., 2018, Local Geoid Determination By Using Different Interpolation Techniques, 2nd International Scientific and Vocational Studies Congress-2018, <http://www.bilmescongress.com/>, Ürgüp /Nevşehir / TURKEY, 05-08 July 2018.