

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLERİN DOLAYLI OLARAK GPS  
GÖZLEMLERİNDEN ELDE EDİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN  
İRDELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Harita Yük. Müh. Leyla ÇAKIR**

**HAZİRAN 2012**

**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLERİN DOLAYLI OLARAK GPS**  
**GÖZLEMLERİNDEN ELDE EDİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN**  
**İNCELENMESİ**

**Harita Yük. Müh. Leyla ÇAKIR**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"DOKTOR (HARİTA MÜHENDİSLİĞİ)"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.05.2012**  
**Tezin Savunma Tarihi : 15.06.2012**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kemal ŞEN**

**Trabzon 2012**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalında**

**Leyla ÇAKIR Tarafından Hazırlanan**

**ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLERİN DOLAYLI OLARAK GPS  
GÖZLEMLERİNDEN ELDE EDİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN  
İRDELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 22 / 05 / 2012 gün ve 1457 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**DOKTORA TEZİ**

**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Kemal ŞEN** .....

**Üye : Prof. Dr. Ertan GÖKALP** .....

**Üye : Prof. Dr. Cüneyt ŞEN** .....

**Üye : Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA** .....

**Üye : Prof. Dr. Şenol KUŞÇU** .....

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“Ortometrik Yüksekliklerin Dolaylı Olarak GPS Gözlemlerinden Elde Edilmesinde Kullanılan Yöntemlerin İrdelenmesi” adlı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışma süresince görüş ve önerilerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Kemal ŞEN’e tez danışmanlığımı üstlendiği ve çalışmamın her aşamasında yanımda olarak desteğini hiç esirgemediği için sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Doktora tez çalışmasının yürütülmesinde tez izleme komitesinde yer alan, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Ertan GÖKALP ve Prof. Dr. Cüneyt ŞEN’e teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışmanın veri elde edilmesi aşamasında bana yardımcı olan İller Bankası Genel Müdürlüğünde Harita Mühendisi Mehmet AYDIN’a sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışması süresince bana her konuda yardımcı olan, desteklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Nazan YILMAZ ve tüm KTÜ Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü akademik ve idari kadrolarına da teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm hayatım boyunca ellerinden gelen her türlü fedakarlığı esirgemeyen, sonsuz destekleriyle he zaman yanımda olan kıymetli anneme, babama ve kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Leyla ÇAKIR  
Trabzon 2012

## **TEZ BEYANNAMESİ**

Doktora Tezi olarak sunduğum “Ortometrik Yüksekliklerin Dolaylı Olarak GPS Gözlemlerinden Elde Edilmesinde Kullanılan Yöntemlerin İrdelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Kemal şEN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 21/05/2012

Leyla ÇAKIR

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Problemin Tanımı .....	2
1.3. Çalışmanın Amacı .....	2
1.4. Metodoloji .....	3
1.5. Yükseklik ve Yükseklik Sistemleri .....	3
1.6. GPS/Nivelman Ölçüleri ile Jeoit Belirlemede Kullanılan Yüzey Modelleri .....	7
1.6.1. Polinomlar ile Yüzey Modelleme .....	7
1.6.2. Radyal Tabanlı Fonksiyonlar ile Yüzey Modelleme.....	9
1.6.3. Yapay Zeka ile Yüzey Modelleme .....	16
1.6.3.1. Yapay Sinir Ağları .....	17
1.6.3.1.1. Biyolojik Sinir Hücresinin Yapısı .....	18
1.6.3.1.2. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı.....	19
1.6.3.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri .....	22
1.6.3.1.4. Yapay Sinir Ağının Yapısı .....	23
1.6.3.1.5. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması .....	25
1.6.3.1.5.1. YSA'ların Ağ Yapılarına göre Sınıflandırılması .....	26
1.6.3.1.5.2. YSA'ların Öğrenme Biçimlerine Göre Sınıflandırılması.....	26
1.6.3.1.6. YSA'da Temel Öğrenme Kuralları .....	27
1.6.3.1.7. YSA'da Öğrenme Algoritmaları .....	28

1.6.3.1.7.1.	Geri Yayılım Algoritması.....	28
1.6.3.1.7.2.	Levenberg - Marquardt (LM) Algoritması.....	33
1.6.3.1.8.	YSA Türleri.....	35
1.6.3.1.8.1.	Çok Katlı Algılayıcılar (ÇKA).....	35
1.6.3.1.8.2.	Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları (RTYSA) .....	36
1.6.3.1.8.3.	RTYSA ile Çok Katmanlı Algılayıcıların Karşılaştırılması .....	38
1.6.3.2.	Bulanık Mantık.....	39
1.6.3.2.1.	Bulanık Küme Yapısı .....	40
1.6.3.2.2.	Üyelik Fonksiyonları.....	41
1.6.3.2.3.	Bulanık Küme İşlemleri .....	43
1.6.3.2.4.	Bulanık Sistemler .....	45
1.6.3.2.4.1.	Bulanıklaştırma .....	45
1.6.3.2.4.2	Bilgi Tabanı.....	46
1.6.3.2.4.3.	Durulaştırma.....	47
1.6.3.2.5.	Bulanık Çıkarım Sistemleri.....	48
1.6.3.2.6.	Bulanık Mantık ve Sinir Ağı .....	50
1.6.3.2.6.1.	Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS) .....	51
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	55
2.1.	Çalışma Alanlarının Tanıtılması .....	56
2.2.	Lokal Jeoit Yüzeyinin Polinomlar ile Modellenmesi.....	59
2.3.	Lokal Jeoit Yüzeyinin Radyal Tabanlı Fonksiyonlar ile Modellenmesi.....	67
2.4	Lokal Jeoit Yüzeyinin Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Modellenmesi .....	70
2.5	Lokal Jeoit Yüzeyinin ANFIS ile Modellenmesi.....	73
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	75
3.1.	Rize Test Alanında GPS/Nivelman Jeoitlerinin Karşılaştırılması .....	74
3.2.	Karaman Test Alanı GPS/Nivelman Jeoitlerinin Karşılaştırılması.....	77
3.3.	Kayseri Test Alanı GPS/Nivelman Jeoitlerinin Karşılaştırılması .....	79
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	82
5.	KAYNAKLAR.....	85
6.	EKLER .....	92
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLERİN DOLAYLI OLARAK GPS GÖZLEMLERİNDEN  
ELDE EDİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN İRDELENMESİ

Leyla ÇAKIR

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Kemal ŞEN  
2012, 91 Sayfa, 33 Ek Sayfa

Günümüzde mühendislik uygulamalarında GPS kullanımının yaygınlaşması, GPS ile elde edilen elipsoid yüksekliklerin nivelmana kıyasla daha kolay, hızlı ve ekonomik olarak ölçülmesi, beraberinde elipsoid yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüşümü gerekliliğini gündeme getirmiştir. Bu dönüşüm işlemini gerçekleştirmek için Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğinde (BÖHHBÜY), uygulanacak ölçü ve hesaplama yöntemleriyle ilgili çeşitli öneriler sunulmaktadır. Yerel bir alanda ortometrik yüksekliği bilinen noktalarda GPS ölçülerinden yararlanarak jeoit modelinin hesaplanması ve sonrasında yükseklik dönüşüm problemi çözümünün sağlanması önerilen yaklaşımlardan biridir. Gerçekleştirilen çalışmada üç farklı test bölgesinde farklı nokta dağılımları için çeşitli hesaplama yöntemleri ile yerel GPS/Nivelman jeoitleri oluşturularak yöntemlerin performansları değerlendirilmiştir. Uygulamaya konu olan Rize, Kayseri ve Karaman çalışma alanlarında dayanak nokta yoğunluğunun yerel GPS/Nivelman jeoidinin belirlenmesinde ne derecede öneme sahip olduğu, yaklaşık 2.5 km<sup>2</sup>'de bir dayanak noktası, BÖHHBÜY'e göre minimum sayıda dayanak noktası ve 20 km<sup>2</sup>'de bir dayanak noktası olacak şekilde farklı sıklıkta nokta yoğunluğu seçimi ile irdelenmiştir. GPS/Nivelman jeoitlerinin hesaplanmasında polinomlar, radyal tabanlı fonksiyonlar, esnek hesaplama yöntemlerinden yapay sinir ağları ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) yöntemleri kullanılmıştır. Test noktalarının gerçek jeoit yüksekliklerinden değişik modellerden elde edilen jeoit yüksekliklerinin farkları istatistiksel değerlendirilerek, yöntemlerin harita yapımı ve mühendislik çalışmalarına sağladıkları katkılar değerlendirilmiştir. Sonuçta, elde edilen bulgulardan yola çıkarak esnek hesaplama yöntemlerinin yerel GPS/Niveman jeoidinin belirlenmesinde diğer yöntemlere oranla başarılı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** GPS/Nivelman, Yükseklikler, Polinom fonksiyonlar, Radyal tabanlı fonksiyonlar, Yapay sinir ağları, ANFIS



PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE METHODS USED TO DERIVE INDIRECTLY  
ORTHOMETRIC HEIGHT FROM GPS MEASUREMENTS

Leyla ÇAKIR

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Surveying Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Kemal ŞEN  
2012, 91 Pages, 33 Appendix

The widespread use of GPS in today's engineering applications and the ability to measure the ellipsoidal heights acquired via GPS easier, faster and more economically compared to levelling brought the necessity to transform the ellipsoidal heights to orthometric heights. The Large Scale Map and Map Information Production Regulation (LSMMIPR) offer various suggestions regarding the measurement and calculation methods to carry out this transformation. One of the suggested approaches is calculating the geoid model using the GPS measurements at the points in a local area of known orthometric heights and then providing the solution for the height transformation problem. In this study, local GPS/levelling geoids were formed in three different test areas for different point distributions using the polynomials, radial basis functions and flexible calculation methods and the performance of these methods were assessed. The importance level of reference point density in determining the local GPS/Nivelman geoid was examined in the studied areas (Rize, Kayseri and Karaman) by selecting different point densities: a) an reference point per each 2.5 km<sup>2</sup>, b) the minimum number of reference points according to LSMMIPR and c) an reference point per each 20 km<sup>2</sup>. Polynomials, radial basis functions, artificial neural networks and adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS) methods were used for calculating the GPS/levelling geoids. The differences between the actual geoid heights of the test points and the geoid heights acquired by different models were calculated and the contributions of these methods to map production and engineering studies were evaluated statistically. As a result it was concluded that the flexible calculation methods are better suited for determining the local GPS/Nivelman geoids compared to the other methods based on the attained findings.

**Key Words:** GPS/Levelling, Heights, Polynomial fncctions, Radial basis functions, Artificial Neural Networks, ANFIS

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.	Elipsoidal yükseklik ile ortometrik yükseklik arasındaki ilişki.....	6
Şekil 2.	Farklı $\delta$ değerleri için sırasıyla Multikuadrik ve Gauss fonksiyonlardaki değişim .....	14
Şekil 3.	Biyolojik bir sinir hücresinin yapısı .....	18
Şekil 4.	Yapay sinir hücresi modeli .....	19
Şekil 5.	Yapay sinir ağlarının genel yapısı .....	24
Şekil 6.	Ağ yapılarına göre YSA modelleri: (a) İleri beslemeli ağ, (b) Geri beslemeli ağ .....	26
Şekil 7.	Geri yayılım algoritmasının akış şeması .....	29
Şekil 8.	Yerel minimum noktası .....	32
Şekil 9.	Çok katlı algılayıcıların genel yapısı .....	36
Şekil 10.	Radyal tabanlı yapay sinir ağının mimari yapısı .....	37
Şekil 11.	Klasik ve bulanık kümenin grafik gösterimi ..	41
Şekil 12.	Hız değişkenine ait üyelik fonksiyonları .....	43
Şekil 13.	Bulanık kümelerde işlemler .....	44
Şekil 14.	Bulanık sistemin genel yapısı .....	45
Şekil 15.	Durulaştırma yöntemlerinin grafiksel gösterimi.....	48
Şekil 16.	Tsukamoto, Mamdani ve Sugeno bulanık çıkarım sistemleri .....	50
Şekil 17.	ANFIS yapısı .....	52
Şekil 18.	Çalışma alanlarının yeri.....	56
Şekil 19.	Rize çalışma alanının topoğrafik yapısı ve bölgedeki GPS/Nivelman noktalarının dağılımı .....	57
Şekil 20.	Kayseri çalışma alanının topoğrafik yapısı ve bölgedeki GPS/Nivelman noktalarının dağılımı .....	57
Şekil 21.	Karaman çalışma alanının topoğrafik yapısı ve bölgedeki GPS/Nivelman noktalarının dağılımı .....	58
Şekil 22.	Rize(31) test alanında GPS/Nivelman jeoidinin farklı derecede polinomlarla belirlenmesinde a)Model ve test noktaları için elde edilen KOH değerlerinin karşılaştırılması b)Test noktalarına ait belirlilik ve düzeltilmiş belirlilik katsayılarının değerlerin karşılaştırılması .....	62

Şekil 23.	Karaman(66) test bölgesinde GPS/Nivelman jeoidinin farklı derecede polinomlarla belirlenmesinde a)Model ve test noktaları için elde edilen KOH değerlerinin karşılaştırılması b)Test noktalarına ait belirlilik ve düzeltilmiş belirlilik katsayılarının değerlerin karşılaştırılması .....	63
Şekil 24.	Kayseri(291) test bölgesinde GPS/Nivelman jeoidinin farklı derecede polinomlarla belirlenmesinde a) Model ve test noktaları için elde edilen KOH değerlerinin karşılaştırılması b) Test noktalarına ait belirlilik ve düzeltilmiş belirlilik katsayılarının değerlerin karşılaştırılması .....	65
Şekil 25.	Tüm test alanlarında GPS/Nivelman jeoidinin farklı $\delta$ geometrik parametrelili multikuadrik fonksiyon ile modellenmesiyle test noktalarında elde edilen sonuçların karşılaştırılması .....	69
Şekil 26.	Rize test alanı GPS/Nivelman jeoit modellerinin test noktalarında KOH'a göre karşılaştırılması.....	76
Şekil 27.	Rize test alanında gerçek jeoit yüksekliği bilinen 46 noktadan yararlanarak oluşturulan jeoit profili .....	77
Şekil 28.	Karaman test alanı GPS/Nivelman jeoit modellerinin test noktalarında KOH'a göre karşılaştırılması.....	78
Şekil 29.	Karaman test alanında gerçek jeoit yüksekliği bilinen 106 noktadan yararlanarak oluşturulan jeoit profili .....	79
Şekil 30.	Kayseri test alanı GPS/Nivelman jeoit modellerinin test noktalarında KOH'a göre karşılaştırılması.....	80
Şekil 31.	Kayseri test alanında gerçek jeoit yüksekliği bilinen 391 noktadan yararlanarak oluşturulan jeoit profili .....	81

## TABLÖLAR DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. RTF türleri .....	10
Tablo 2. $\delta$ parametresi için öneriler .....	15
Tablo 3. İstatistik ve YSA'daki benzer kavramlar.....	20
Tablo 4. Yapay sinir hücrelerinde kullanılan bazı aktivasyon fonksiyonları .....	21
Tablo 5. Bulanık mantıkta kullanılan bazı üyelik fonksiyonları.....	42
Tablo 6. Test alanlarıyla ilgili genel bilgiler.....	58
Tablo 7. Rize(31) test alanında GPS/Nivelman jeoidinin polinomlar ile modellenmesinden hesaplanan sonuçlar.....	61
Tablo 8. Rize(31) test alanını en iyi temsil eden ikinci derece polinomun anlamli polinom katsayıları ve doğruluk değerleri (m) .....	62
Tablo 9. Karaman(66) test alanında GPS/Nivelman jeoidinin polinomlar ile modellenmesinden hesaplanan sonuçlar.....	63
Tablo 10. Karaman(66) test bölgesini en iyi temsil eden ikinci derece polinomun anlamli polinom katsayıları ve doğruluk değerleri (m) .....	64
Tablo 11. Kayseri(291) test alanında GPS/Nivelman jeoidinin polinomlar ile modellenmesinden hesaplanan sonuçlar.....	65
Tablo 12. Kayseri(291) test alanını en iyi temsil eden yedinci derece polinomun anlamli polinom katsayıları ve doğruluk değerleri(m) .....	66
Tablo 13. Tüm test alanlarında GPS/Nivelman jeoidinin polinomlar ile modellenmesinden hesaplanan sonuçlar.....	67
Tablo 14. Çalışma alanlarında farklı derecedeki trend yüzeye sahip multikvadrik ve ince tabakalı splayn fonksiyonları ile elde edilen sonuçlar .....	68
Tablo 15. Tüm test alanlarında GPS/Nivelman jeoidinin farklı $\delta$ geometrik parametrelili multikvadrik fonksiyon ile modellenmesiyle test noktalarında elde edilen sonuçlar .....	69
Tablo 16. Tüm test alanlarında İBYSA ile GPS/Nivelman jeoidin modellenmesinden elde edilen istatistiksel sonuçlar .....	71
Tablo 17. Tüm test alanlarında GPS/Nivelman jeoidin RTYSA ile modellenmesinden hesaplanan istatistiksel sonuçlar.....	72
Tablo 18. Tüm test alanlarında GPS/Nivelman jeoidin ANFIS ile modellenmesinden hesaplanan istatistiksel sonuçlar.....	73
Tablo 19. Rize test alanı GPS/Nivelman jeoit modellerine ait istatistiksel sonuçlar .....	75

Tablo 20. Karaman test alanı GPS/Nivelman jeoit modellerine ait istatistiksel sonuçlar.....	77
Tablo 21. Kayseri test alanı GPS/Nivelman jeoit modellerine ait istatistiksel sonuçlar.....	79

## KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ

ANFIS	: Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemleri
BÖHHBÜY	: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
BM	: Bulanık Mantık
ÇKA	: Çok Katlı Algılayıcılar
ED-50	: Avrupa Datumu-1950
EKK	: En Küçük Kareler
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GRS80	: Geodetic Reference System 1980 (Jeodezik Referans Sistemi 1980)
ITRF96	: Uluslararası Yersel Referans. Koordinat Sistemi-1996
İBYSA	: İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı
KOH	: Karesel Ortalama Hata
OMH	: Ortalama Mutlak Hata
RTF	: Radyal Tabanlı Fonksiyonlar
RTYSA	: Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı
TG-99A	: Güncellenmiş Türkiye Jeoidi-1999
TUDKA-99	: Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999
WGS84	: World Geodetic System 1984
YSA	: Yapay Sinir Ağı
YZ	: Yapay Zeka
$b$	: Bias değeri
$C_A$	: A noktasının jeopotansiyel yüksekliği (Jeopotansiyel sayı)
$e(x)$	: Ağın hata vektörü
$E(x)$	: Performans fonksiyonunu
$g$	: Gerçek gravite
$h$	: Elipsoidal yükseklik
$H^{\text{din}}$	: Dinamik yükseklik
$H$	: Ortometrik yükseklik
$H^*$	: Normal yükseklik
$N$	: Jeoit Yüksekliği

$H(\underline{x})$	: Hessian matrisini
$I$	: Birim matris
$J(\underline{x})$	: Jakobi matrisi
$\eta$	: Öğrenme oranı
$N$	: Jeoid ondülasyonu (yüksekliği)
$R^2$	: Belirlilik katsayısı
$\overline{R^2}$	: Düzeltilmiş çoklu belirlilik katsayısı
$Q$	: RTF yüzey
$w$	: Ağırlık değeri
$W$	: Gerçek gravite potansiyeli
$W_0$	: Jeoidin potansiyeli
$x,y$	: 2 boyutlu kartezyen koordinatlar
$\delta$	: Geometrik parametre
$\alpha$	: Momentum katsayısı
$\nabla E(\underline{x})$	: Ağın gradyan vektörü
$\phi_i$	: Aktivasyon fonksiyonu
$\theta$	: Marquardt parametresi
$\sigma_i$	: Gauss fonksiyonu dağılım parametresi
$\mu(x)$	: Üyelik derecesi

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Günümüzde hızla gelişen uydu teknolojilerine paralel olarak, haritacılıkta kullanılan klasik yersel konum belirleme sistemlerinin de güncelleştirilmesi gündemdedir. Uydusal konum belirleme tekniklerinden GPS, hava şartlarından bağımsız sürekli ölçüm yapabilmesi, noktalar arası görüş zorunluluğunun olmaması, üç boyutlu yüksek duyarlılıkta konum elde etme özelliklerine sahip olması sebebiyle kullanım alanlarını genişleterek, mesleğimizde günden güne çok önemli bir yer edinmiştir.

GPS, uzayda konumlandırılmış GPS uyduları ve bu uyduları kontrol eden yer istasyonları olmak üzere temelde iki bölümden oluşur. Bu bölümlerin eş zamanlı çalışmasıyla üretilen bilgiler radyo sinyalleri aracılığıyla yeryüzündeki GPS alıcılarına gönderilmekte, sinyaller toplanarak üç boyutlu konum, yön, zaman, hız bilgileri halinde kullanıcıya sunulmaktadır. Ülkemizde klasik yersel ölçmeleri ile elde edilen nokta konumları yatayda European Datum-1950 (ED-50), düşeyde Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99) datumunda; GPS ile ölçülen konum değerleri WGS-84/ITRF (World Geodetic Sistem-84/International Terrestrial Reference Frame) sisteminde tanımlanmaktadır. Datum farklılıkları nedeniyle GPS ile elde edilen enlem ve boylam bilgileri olduğu gibi veya dönüştürülerek uygulamalarda kullanılmakta, ancak elipsoidal yüksekliklerin pratik ölçme, mühendislik ve jeofizik uygulamalarında doğrudan kullanılabilmesi için herhangi bir noktanın çekül eğrisi boyunca jeoide olan uzaklığı olarak tanımlanan ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekmektedir. Çünkü, elipsoidal yükseklikler geometrik büyüklükler olup fiziksel bir anlamları yoktur. Örneğin, suyun akış yönü ve arazinin deniz yüzeyine göre eğimi gibi fiziksel olgular elipsoid yükseklikler ile değil, ortometrik yükseklikler kullanılarak belirlenebilir (Yıldız, 2012; Featherstone vd., 1998).



## 1.2. Problemin Tanımı

Pratik uygulamalarda kullanılan ortometrik yükseklikler TUDKA-99'a bağılı olarak nivelman yöntemleriyle (geometrik, trigonometrik, vb.) belirlenmektedir. Ortometrik yükseklik sıfır yükseltili jeoit yüzeyinden itibaren çekül doğrultusu boyunca olan uzaklıktır. Nivelman ölçmeleri ile duyarlılığı iyi ortometrik yükseklikler elde edilirken, nivelmanın zaman alıcı ve işgücü gerektiren maliyeti yüksek bir yöntem olması, kullanıcıları modern yöntemlerle daha hızlı ve ekonomik şekilde hassas duyarlılıkta ortometrik yükseklik belirlemeye yönlendirmiştir.

Herhangi bir noktada GPS ile WGS-84 datumunda elde edilen elipsoidal yüksekliğin ortometrik yüksekliğe dönüştürülmesi için yeterli duyarlılıkta jeoit yüksekliğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu durumda yükseklik dönüşümünü sağlayacak jeoit modelinin belirlenmesine ihtiyaç duyulur. Jeoit modelleri gravite ölçüleriyle belirlenebileceği gibi, belli bir alanda aynı noktalara ait GPS ve nivelman ölçülerinin gerçekleştirilmesiyle de belirlenebilir. Bu konuya yönelik pek çok araştırma literatürde mevcuttur (Akyılmaz, 2005; Fotopoulos vd., 2003; Kotsakis ve Sideris, 1999; Kuhar vd., 2012; Kavzoğlu ve Saka, 2005; Erol, 2007; Yanalak ve Baykal, 2001; Zhan ve Yong, 1999). Yapılan bu çalışmalar ile uygulama alanlarını temsil eden en iyi jeoit modelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çünkü GPS ile bulunan elipsoidal yüksekliklerden elde edilen ortometrik yüksekliklerin hassasiyeti, elipsoidal yüksekliğin ve jeoit modelinin hassasiyeti ile ilişkilidir.

## 1.3. Çalışmanın Amacı

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nde (BÖHHBÜY), elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliğe dönüşüm için Güncellenmiş Türkiye Jeoidinin (TG-99A) veya yerel GPS nivelman jeoidinin kullanılması önerilmiştir. Bu çalışmada ise Rize, Karaman ve Kayseri test alanlarında, farklı nokta dağılımları için klasik ve esnek hesaplama yöntemleri ile yerel GPS/Nivelman jeoitleri oluşturularak yöntemlerin performansları değerlendirilmiş, nokta yoğunluğunun yerel GPS/Nivelman jeoidinin belirlenmesinde ne derecede öneme sahip olduğu incelenmiştir. Böylece, çalışma alanlarında yüksek doğruluğa sahip en iyi jeoit modeli belirlenerek, pratikte GPS ölçüsü yapılmış herhangi bir noktada kullanıcı, ortometrik yüksekliği hassas duyarlılıkta elde edebilecektir.

#### 1.4. Metodoloji

BÖHHBÜY'e göre, nokta yoğunluğu ilk 20 km<sup>2</sup>'ye kadar 6 nokta, sonrasındaki her 15 km<sup>2</sup> için bir nokta olmalıdır. GPS/Nivelman jeoidinin polinomlar, radyal tabanlı fonksiyonlar, yapay sinir ağları ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemleri ile modellenmesinde, farklı sıklıkta dayanak nokta seçiminin lokal GPS/Nivelman jeoidin duyarlılığına nasıl etki ettiğini irdelemek amacıyla her üç çalışma alanına ait veri sayısına göre ortak olabilecek dayanak nokta sıklığı belirlenmiştir. Bu çalışmaya konu olan Rize, Kayseri ve Karaman test alanlarında yaklaşık 2.5 km<sup>2</sup>'ye bir dayanak noktası, BÖHHBÜY'e göre minimum sayıda dayanak noktası ve bunlara ilaveten Kayseri test alanında 20 km<sup>2</sup>'ye bir dayanak noktası olacak şekilde farklı sıklıkta dayanak noktaları belirlenmiştir. Bu verilere dayalı olarak MATLAB programlama dilinde yazılan polinomlar, radyal tabanlı fonksiyonlar, yapay sinir ağları ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemlerine ait programlar ile yerel jeoit modelleri hesaplanarak her bir model için dayanak ve test noktalarına ait jeoit yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Tüm noktalarda değişik modellerden bulunan jeoit yüksekliklerinin gerçek değerlerinden farkları hesaplanıp istatistiksel değerlendirilmelere tabi tutularak, sonuçlara göre yöntemlerin harita yapımı ve mühendislik çalışmalarına ne kadar katkı sağladığı değerlendirilmiştir.

#### 1.5. Yükseklik ve Yükseklik Sistemleri

Yeryüzündeki noktaların (x,y) yatay konumu yanında düşey konum olarak kabul edilen yükseklik, bir noktanın tanımlanmış referans yüzeyinden, referans yüzeyi normal boyunca olan mesafesi olarak tanımlanmaktadır. Düşey konum belirlemeye geçmeden, öncesinde referans yüzeyinin tanımlanması gerekmektedir. Yeryüzünün gerçek şekli olarak görülen eşpotansiyelli yüzey jeoit, normal gravite alanında jeoide karşılık gelen kuasijeoit, jeoide geometrik anlamda en çok yaklaşan dönele elipsoit, jeodezide kullanılan başlıca referans yüzeyleridir. Ayrıca herhangi bir noktada jeoit ya da kuasijeoit ile çakıştığı varsayılan ortalama deniz yüzeyi de uygulamada yükseklikler için bir başlangıç yüzeyi olarak kullanılmaktadır (Üstün, 2002).

Çeşitli yükseklik türleri mevcuttur. Bunlar aşağıdaki gibi gruplandırılır:

a) Jeopotansiyel Yükseklikler: Yeryüzünde herhangi bir A noktasının  $W_A$  potansiyelinin, jeoidin  $W_0$  potansiyelinden olan farkına o noktanın jeopotansiyel sayısı

denir. Yeryüzü ile jeoidin kesişme noktası O ve bu nokta ile aralarında bir nivelman bağlantısı olan A noktasının jeopotansiyel sayısı  $C_A$

$$C_A = W_0 - W_A = - \int_0^A dW = \int_0^A g \, dn \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte geçen  $dW$ ,  $g$  ve  $dn$  sırasıyla diferansiyel anlamda potansiyel farkı, iki noktadaki gravite değerleri ortalaması ve diferansiyel anlamda yükseklik farkıdır.  $C_A$ 'nın birimi kilogalmetre (geo-potential units, g.p.u.) cinsindedir. Jeopotansiyel sayı her ne kadar uzunluk boyutuna sahip değilse de nivelman yolundan bağımsız ve yükseklikler için doğal bir ölçüttür (Heiskanen ve Moritz, 1966).

b) Dinamik Yükseklikler: Yeryüzündeki A noktasına ait jeopotansiyel sayının  $\gamma_0$  gibi sabit bir normal gravite değerine bölünmesiyle,

$$H_A^{Din} = \frac{C_A}{\gamma_0^{45}} = \frac{W_0 - W_A}{\gamma_0^{45}} \quad (2)$$

şeklinde jeopotansiyel sayı bir uzunluğa dönüştürülür ve dinamik yükseklik elde edilir.  $\gamma_0$  genellikle  $45^0$  olarak alınan keyfi bir standart enlemdeki normal gravitedir. Bu değer Uluslararası elipsoid (1909-Hayford) için  $\gamma_{45^0} = 980.6294$  gal dir. Dinamik yüksekliklerin geometrik anlamı yoktur. Ancak, aynı seviye yüzeylerindeki noktaların tümünün dinamik yükseklikleri de aynıdır (Heiskanen ve Moritz, 1967; Torge, 1980).

c) Ortometrik Yükseklikler: Yeryüzündeki bir noktanın, çekül eğrisi boyunca, referans yüzeyi olarak alınan jeoide uzaklığına o noktanın ortometrik yüksekliği denir. Ortometrik yükseklik,  $\bar{g}$  jeoit ile yeryüzü noktaları arasında çekül eğrisi boyunca gravitenin ortalama değeri olmak üzere,

$$H = C / \bar{g} \quad (3)$$

eşitliği ile ifade edilir. Ortometrik yükseklikler geometrik anlamlı olduklarından pratik uygulamalarda oldukça önemlidirler. Aynı seviye yüzeyindeki farklı noktaların ortometrik yükseklikleri de farklıdır.

d) Normal Yükseklikler: Yeryuvarının gerçek gravite alanının, elipsoidin gravite alanı olan normal gravite alanı ile aynı olduğu varsayımından hareketle ortometrik yüksekliklere normal yükseklik adı verilir ve  $H^*$  ile gösterilir.  $\bar{\gamma}$  çekül eğrisi boyunca ortalama gravite olmak üzere,

$$H^* = \frac{C}{\bar{\gamma}} \quad (4)$$

eşitliği ile ifade edilir (Heiskanen ve Moritz, 1967).

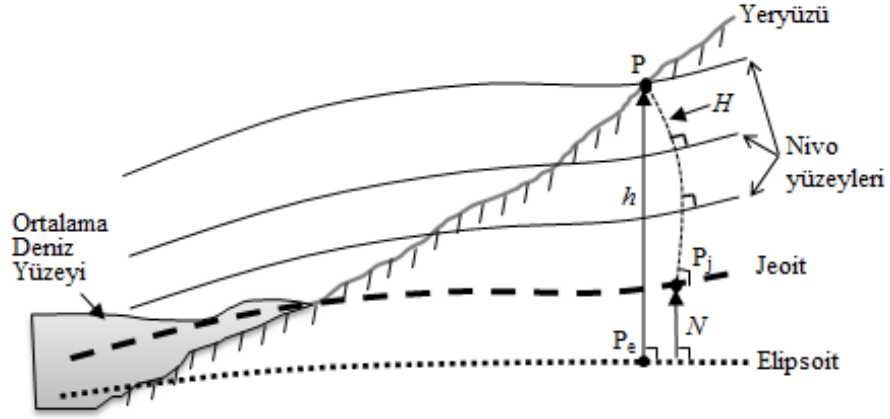
e) Elipsoidal Yükseklikler: GPS ölçüleri ile jeosantrik bir koordinat sisteminde, seçilen bir referans elipsoidine göre elde edilen elipsoidal yükseklik, fiziksel yeryüzündeki bir P noktasının elipsoid normali boyunca elipsoid üzerindeki izdüşümü  $P_e$  ile arasındaki uzunluktur. Elipsoidal yükseklik geometrik anlamlıdır ve yerin gerçek gravite alanı ile ilgili olmadığından fiziksel bir özellik taşımaz.

Yükseklikler arasında bazı geometrik ilişkiler vardır. Elipsoidal yükseklik ( $h$ ) ile ortometrik yükseklik ( $H$ ) arasındaki ilişki,

$$h - H - N = 0 \quad (5)$$

şeklindedir (Heiskanen ve Moritz, 1967). Formüldeki  $N$  elipsoid ile jeoit arasındaki mesafeyi gösteren jeoit ondülasyonu (yüksekliği) değeridir. Bu değer, jeoidin elipsoidin altında veya üstünde olmasına bağlı olarak negatif veya pozitif çıkabilir (Şekil 1).

(5) eşitliği GPS/Nivelman ölçülerinden lokal jeoidin belirlenmesinde kullanılan temel bağıntıdır. Ayrıca, arazide herhangi bir noktada jeoit yüksekliği ve elipsoidal yükseklik biliniyorsa, noktanın ortometrik yükseklik değeri  $H = h - N$  eşitliği ile kolaylıkla hesaplanabilir (Lin, 2007).



Şekil 1. Elipsoidal yükseklik ile ortometrik yükseklik arasındaki ilişki (URL-1, 2011)

Şekil 1’de görüldüğü gibi nivo yüzeyleri birbirini kesmeyen, birbirlerine paralel olmayan yüzeylerdir. Bu nedenle onları dik olarak kesen çekül doğrultuları gerçekte doğru değil uzay eğrileridir. Bunlara çekül eğrileri denir. Pratikte (5) eşitliğinin sağlanması beklenirken;

- $h$ ,  $H$  ve  $N$  yükseklik bilgilerinin içerdiği rasgele hatalar,

-Datum uyumsuzlukları ve her bir yükseklik veri grubundaki olası diğer sistematik bozulmalar,

-Çeşitli jeodinamik etkiler (ortalama deniz seviyesi değişimleri, heyelanlar, depremler,...vb.),

- $H$  ve  $N$  değerlerinin hesaplanmasındaki teorik yaklaşımlar (jeoit modelinin hesaplanmasında uygun olmayan arazi yoğunluk modelinin kullanılması ya da ihmal edilmesi, ortometrik yüksekliklerin değerlendirilmesinde gerçek yeryüzü gravite ölçüleri yerine normal gravite değerlerinin kullanılması, mareograf istasyonlarındaki ölçmelerde deniz yüzeyi topografyasının ve olası hata kaynaklarının ihmal edilmesi) gibi nedenlerden dolayı bu durum mümkün olmamaktadır (Kostakis ve Sideris, 1999). Ancak, bu hata en fazla 1-2 mm seviyesindedir ve GPS ile belirlenen elipsoidal yüksekliklerin doğrulukları yanında oldukça küçük bir değerdir ve ihmal edilebilir (Akyılmaz, 2005). Bu nedenle GPS/Nivelman jeoidi probleminin çözümünde eşitliğin sağlandığı varsayılmaktadır.

## 1.6. GPS/Nivelman Ölçüleri ile Jeoit Belirlemede Kullanılan Yüzey Modelleri

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. Bu tez kapsamında jeoit yüzey modelleme yöntemlerinden, polinomlar, radyal tabanlı fonksiyonlar, yapay sinir ağları ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemleri kullanılmıştır.

### 1.6.1. Polinomlar ile Yüzey Modelleme

Bu yöntem, en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde amaç, arazi yüzeyini tek bir fonksiyonla ifade etmektir.  $(x, y, N)$  koordinatları ile bilinen dayanak noktalarının oluşturduğu arazi yüzeyi  $n$ . dereceden ortogonal ya da ortogonal olmayan polinomlar kullanılarak ifade edilebilir.

- Ortogonal polinomlarla enterpolasyonda kullanılan matematiksel ifade,

$$N(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} a_{ij} x^i y^j \quad (6)$$

- Ortogonal olmayan polinomlarla enterpolasyonda kullanılan matematiksel ifade,

$$N(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j \quad (7)$$

şeklindedir (İnal vd., 2003; Micchelli, 1986; Yanalak, 2002). Burada

$a_{ij}$  : Polinomun bilinmeyen katsayılarını,

$n$  : Yüzeyin derecesini göstermektedir

$n$  değeri sırasıyla bir, iki ve üç seçildiğinde, ortogonal polinomlar üretilen yüzeyler lineer, kuadratik ve kübik; ortogonal olmayan polinomlarla üretilen yüzeyler ise bilineer, bikuadratik ve bikübik olarak adlandırılır.

- Örneğin, birinci derece ortogonal bir polinomun (lineer) eşitliği,

$$N(x, y) = a_{00} + a_{01}y + a_{10}x \quad (8)$$

şeklindedir. Görüldüğü gibi, ifadenin çözülebilmesi için 3 adet katsayının bilinmesi gerekmektedir. Bu da  $(x, y, N)$  koordinatları bilinen en az 3 tane dayanak noktası ile problemin çözümünü gerektirir. Üçten fazla dayanak noktası olması durumunda,  $m$  dayanak nokta sayısını göstermek üzere, 1. derece polinomun düzeltme denklemleri ,

$$\Delta N_i = N(x_i, y_i) - N_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (9)$$

$$\Delta N_i = a_{00} + a_{01}y + a_{10}x - N_i \quad (10)$$

biçiminde elde edilir.

$$\sum_{i=1}^m \Delta N_i^2 = \text{minimum} \quad (11)$$

koşulundan yararlanarak polinomun bilinmeyen katsayıları, en küçük kareler yöntemine göre dengelemeli olarak belirlenir. Burada,

$$\underline{N}(x, y) = \underline{A} \underline{X} \quad (12)$$

olmak üzere bilinmeyenleri içeren matris,

$$\underline{X} = (\underline{A}^T \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{L} \quad (13)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bağlıdaki matris yapıları,

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} a_{00} \\ a_{01} \\ a_{10} \end{bmatrix} \quad \underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & x_1 \\ 1 & y_2 & x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & y_m & y_m \end{bmatrix} \quad \underline{L} = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_m \end{bmatrix} \quad (14)$$

biçimindedir.

$\underline{X}$  : polinomun bilinmeyen katsayıları vektörü,

$\underline{A}$  : bilinmeyenlere ait katsayılar matrisi,

$\underline{L}$  : dayanak noktalarına ait yükseklik değerini içeren ölçü vektörüdür.

Polinomun bilinmeyen katsayıları bulunduktan sonra yüksekliği hesaplanacak bir noktanın  $x, y$  değerleri (8) eşitliğinde yerlerine yazılarak enterpolasyon noktasına ait  $N$  değeri belirlenir.

Polinomun derecesinin artması hesaplamalarda gereken minimum dayanak nokta sayısını da arttırır. Bu durum, modelden elde edilecek doğruluğun artacağı anlamına gelmez. Çünkü derecenin artmasıyla yüzeyde gereksiz salınımlar olup, yüzeyde oluşan ani iniş çıkışlar gerçek arazi yüzeyini yansıtmayan yükseklik değişimlerine sebep olur.

Bir uygulama bölgesi için polinomlarla enterpolasyon uygulamasında kaçınıcı dereceden bir polinom kullanılacağı, polinom derecesinin birinci dereceden başlatılıp sırasıyla arttırılarak dengeleme sonuçlarının analiz edilmesiyle belirlenir. Bu analiz aşamasında, model ve kestirilen parametreler için anlamlılık ve uyumsuz ölçü testlerinden yararlanılır (Aksoy, 1984; Konak, 1994; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997; Şimşek, 1992).

### 1.6.2. Radyal Tabanlı Fonksiyonlar ile Yüzey Modelleme

Radyal tabanlı fonksiyonlarla (RTF) enterpolasyon, 1968'de Hardy tarafından kartoğrafya alanında topoğrafik harita oluşturmak amacıyla geliştirilen Multikvadrik metodun genelleştirilmiş halidir. Bu yöntemle göre enterpolasyon fonksiyonu,

$$N = \sum_{i=1}^n c_i [ Q(x_i, y_i, x, y) ] + P(x, y) \quad (15)$$

biçiminde gösterilir. Dayanak noktalarının tümünü aynı anda kullanarak arazi yüzeyini tek bir fonksiyonla ifade etmeyi amaçlayan RTF ile enterpolasyon için iki çözüm yöntemi mevcuttur:

a) Öncelikle çalışma bölgesinde bilinen tüm dayanak noktaları kullanılarak bir trend yüzeyi geçirilir. Trend yüzeyi olarak  $n$ . dereceden bir  $P(x_i, y_i)$  polinom uygulanması durumunda polinomun bilinmeyen katsayıları dayanak noktalarının  $N_i$  değerlerine bağlı



olarak en küçük karelere göre çözümlendikten sonra dayanak noktalarındaki  $\Delta N_i$  artık ondülasyon değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta N_i = N_i - P(x_i, y_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (16)$$

Bu durumda (15) eşitliği

$$\Delta N = \sum_{i=1}^n c_i [ Q(x_i, y_i, x, y) ] \quad (17)$$

biçimine dönüşür. Burada  $\Delta N$ ,  $y$  ve  $x$ 'in fonksiyonları olan  $n$  sayıdaki aynı türden RTF yüzeylerin ( $Q$ ) toplamından oluşur. Bağlıdaki  $c_i$  katsayıları, her bir  $Q$  yüzeyinin işaretini ve eğimini belirler (Güler 1983, Hardy 1971).  $Q$  yüzeyi için 1968'de Hardy multikvadrik fonksiyonu, 1976'da Duchon ince tabakalı splayn fonksiyonu, 1979'da Shagen gauss fonksiyonunu geliştirmiştir. Bu fonksiyonlardan başka çeşitli RTF'ler de mevcuttur.  $d_i$  enterpolasyon noktası ile dayanak noktaları arasındaki yatay mesafe olmak üzere,

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (18)$$

literatürdeki radyal tabanlı fonksiyonlardan bazıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Radyal tabanlı fonksiyon türleri

RTF türü	Formül
Multikvadrik	$Q(d) = \sqrt{d^2 + \delta^2}$
Multikvadriğin tersi	$Q(d) = 1/\sqrt{d^2 + \delta^2}$
İnce Tabakalı Splayn	$Q(d) = d^2 \log d$
Multilog	$Q(d) = \log d^2$
Gauss	$Q(d) = e^{-\delta^2 d^2}$
Kübik splayn	$Q(d) = d^3$
Kuintik	$Q(d) = d^5$
Doğal kübik splayn	$Q(d) = (d^2 + \delta^2)^{3/2}$

Hardy'nin multikvadrik yüzeyleri de kendi içinde çeşitlilik göstermekte olup,

$$\Delta N = \sum_{i=1}^n c_i \left[ (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + \delta^2 \right]^{1/2} \quad (19)$$

iki yapraklı dairesel hiperboloid serilerinin toplamları, veya

$$\Delta N = \sum_{i=1}^n c_i \left[ (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + \delta^2 \right] \quad (20)$$

şeklinde dairesel paraboloid serilerinin toplamları şeklinde ifade edilir. Bağlantılardaki  $\delta$  isteğe bağlı bir katsayıdır. (19) eşitliğinde  $\delta = 0$  alınırsa multikvadrik yüzey,

$$\Delta N = \sum_{i=1}^n c_i \left[ (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 \right]^{1/2} \quad (21)$$

biçiminde dairesel dik konilerin toplamından oluşur (Hardy, 1971, 1990; Güler, 1983).

Tablo 1'e göre (17) bağıntısındaki  $Q$  fonksiyon türünün belirlenmesinden sonra,

$$\sum_{i=1}^n c_i q_{ij} = \Delta N_i \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (22)$$

eşitliğine göre,  $c_i$  katsayılarını belirlemek için  $n$  sayıda lineer denklem sistemi oluşturulur.

$$\begin{array}{cccccc} c_1 q_{11} & + & c_2 q_{12} & + & \cdots & + & c_n q_{1n} & = & \Delta N_1 \\ c_1 q_{21} & + & c_2 q_{22} & + & \cdots & + & c_n q_{2n} & = & \Delta N_2 \\ \vdots & & \vdots & & & & \vdots & & \vdots \\ c_1 q_{n1} & + & c_2 q_{n2} & + & \cdots & + & c_n q_{nn} & = & \Delta N_n \end{array} \quad (23)$$

(23) eşitliğindeki ifadelerin matris yapıları aşağıdaki gibidir.

$$A = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \cdots & q_{nn} \end{bmatrix} \quad c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} \quad \Delta N = \begin{bmatrix} \Delta N_1 \\ \Delta N_2 \\ \vdots \\ \Delta N_n \end{bmatrix} \quad (24)$$

$\underline{A}$  : (nxn) boyutlu katsayılar matrisi,

$\underline{c}$  : n elemanlı bilinmeyenler vektörü,

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

$$\underline{A} \cdot \underline{c} = \underline{\Delta N} \quad (25)$$

biçiminde ifade edilebilir. Buradan  $c_i$  katsayıları,

$$\underline{c} = \underline{A}^{-1} \underline{\Delta N} \quad (26)$$

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

$$N_0 = P(x_0, y_0) + \Delta N_0 = P(x_0, y_0) + \sum_{i=1}^n c_i q_{io} \quad (27)$$

eşitliği ile hesaplanır (Yanalak 2002, Güler 1983, Hardy1971, 1990, Amidror 2002).

b) RTF'den ince tabakalı splayn fonksiyonu için (24) eşitliğindeki A matrisi singüler özellik gösterebilir. Bu durumda çözüm sağlanamaz. Bundan dolayı (15) bağıntısına Micchelli'nin önerdiği (31) koşulları ilave edilerek çözüme devam edilir. İnce tabakalı splayn'nin önemli bir özelliği de dayanak noktalarından geçmesi tasarlanan yüzeyin oluşturulmasında harcanan (28) eşitliğindeki eğme (bending) enerji fonksiyonunu minimize etmesidir.

$$I(f) = \iint_{\mathbb{R}^2} \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right)^2 dx dy \quad (28)$$

(15) numaralı eşitlikte örneğin lineer fonksiyon kullanılması durumunda matematiksel ifade

$$N = \sum_{i=1}^n c_i q_{ij} + b_0 + b_1 x + b_2 y \quad (29)$$

şeklinde yazılabilir.  $\underline{B}$  polinom bilinmeyenlerine ait katsayılar matrisi ve  $\underline{b}$  polinomun bilinmeyen katsayıları vektörü olup (29) eşitliğinin matris gösterimi,

$$\underline{N} = \underline{A} \cdot \underline{c} + \underline{B} \underline{b} \quad (30)$$

biçimindedir. Lineer polinom kullanılması durumunda (30) eşitliğine aşağıdaki koşullar ilave edilerek (Buhman, 2000; Franke vd, 1993; Franke, 1979, 1982; Micchelli, 1986; Fogel ve Tinney 1996),

$$\underline{B} \underline{c} = 0, \quad \sum_{i=1}^n c_i = \sum_{i=1}^n c_i x_i = \sum_{i=1}^n c_i y_i = 0 \quad (31)$$

$c_i$  ve  $b_i$  değerleri,

$$\underline{c} = \underline{A}^{-1}(\underline{N} - \underline{B} \underline{b}) \quad (32)$$

$$\underline{b} = (\underline{B}^T \underline{A}^{-1} \underline{B})^{-1} \underline{B}^T \underline{A}^{-1} \underline{N} \quad (33)$$

matris eşitliklerinden ayrı ayrı hesaplanabilir (Eberly, 2011). Ya da

$$\begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{B}^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{c}_i \\ \underline{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{N} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (34)$$

denkleminin hesaplanması gerekir. Eşitliğin sol tarafındaki blok matris tam ranka sahip olduğundan istenen katsayılar için tek çözüm vardır (Omay, 2007)

(34) eşitliğini daha açık bir şekilde ifade edersek,

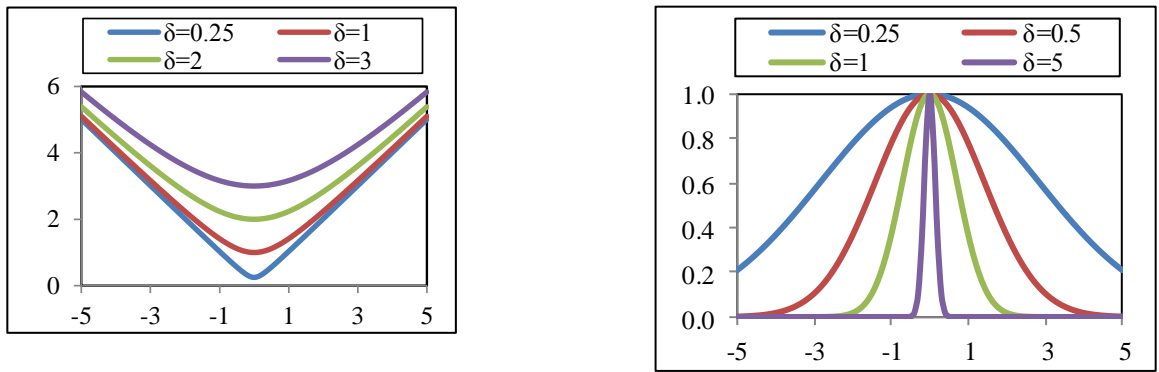
$$\underbrace{\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} & | & 1 & x_1 & y_1 \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} & | & 1 & x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & | & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \cdots & q_{nm} & | & 1 & x_n & y_n \\ \hline 1 & 1 & \cdots & 1 & | & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & x_2 & \cdots & x_n & | & 0 & 0 & 0 \\ y_1 & y_2 & \cdots & y_n & | & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{G}} = \underbrace{\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \\ b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}}_{\mathbf{X}} = \underbrace{\begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_n \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{L}} \quad (35)$$

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

$$\underline{\mathbf{X}} = \underline{\mathbf{G}}^{-1} \underline{\mathbf{L}} \quad (36)$$

matris eşitliğinden hesaplanabilir. Son olarak enterpolasyon noktasının yükseklik değeri (29) eşitliğinden elde edilir (URL-2, 2010).

Radyal tabanlı fonksiyonlardan gauss, multikvadrik ve multikvadriğin tersi fonksiyon eşitliklerinde geçen  $\delta^2$  geometrik parametresi kullanıcı tarafından belirlenen sabit bir sayıdır. Yüzeyin düzgünlüğünü veya keskinliğini gösteren  $\delta$  parametresinin üretilen sonuçlar üzerindeki etkisi de büyüktür. Multikvadrik fonksiyonlarda  $\delta$  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 (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı  $\delta$  değerleri için sırasıyla Multikvadrik ve Gauss fonksiyonlardaki değişim

Tablo 2’de  $\delta$  parametresinin formüsel hesaplanması ile ilgili multikvadrik fonksiyonlar için öneriler sunulmuştur (Hardy 1990, Fasshaurer 2002, Franke 1979, Kansa 1990; Schul’min ve Mitel’man, 1974).

Tablo 2.  $\delta$  parametresi için öneriler

Önerenler	Matematiksel ifade
Hardy	$\delta = 0.815 s$
Franke	$\delta = 1.25 D/\sqrt{n}$
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	$\delta^2 = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2) \right) / n(n-1)$

Tablo 2’deki kısaltmalardan  $s$  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.

Rippa (1999)’ya göre  $\delta$  parametresi, dayanak nokta sayısı, dayanak noktalarının dağılımı, RTF türü ve bilgisayarın hesaplama hassasiyeti gibi pek çok etkenlere bağlıdır. Buna ilaveten Rippa, multikvadrik, multikvadriğin tersi ve gauss fonksiyonlarında  $\delta$  parametre değerini elde edebilmek için,

$$E = (E_1, E_2, \dots, E_N)^T \quad (37)$$

hata vektörü normunun minimize edilerek bulunabileceğini önermektedir. Bağıntıda bulunan  $E$ , dayanak noktasının gerçek jeoit yükseklik değerinden enterpolasyon sonucunda bulunan jeoit yükseklik değeri farkının alınmasıyla,

$$E_i = N_i^{\text{gerçek}} - N_i(x_i, y_i) \quad (38)$$

biçiminde hesaplanır. Bu yaklaşımda birer nokta dışarıda bırakılarak çapraz doğrulama tekniği (leave one out cross validation) kullanılır. Buna göre,  $n$  adet dayanak noktasından bir tanesi çıkarılarak geriye kalan  $n-1$  dayanak noktası ile enterpolasyon bilinmeyenleri elde edilir. Ardından çıkarılan dayanak noktası test kümesi olarak kullanılıp jeoid yükseklik değeri hesaplanır. Bu işlem  $n$  kez tekrarlanmaktadır.

### **1.6.3. Yapay Zeka ile Yüzey Modelleme**

Teknolojik gelişmenin önemli boyutlara ulaştığı günümüzde bilgisayarlar ve bilgisayar sistemleri yaşamın vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, önceleri karmaşık hesaplamaları gerçekleştirmek üzere geliştirilen bilgisayarlar, son yıllarda mevcut bilgileri kullanarak yorum yapma, olaylar hakkında karar verme ve olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilme gibi nitelikler kazanmıştır. Matematiksel olarak formüle edilemeyen ve çözülmesi mümkün olmayan problemlerin sezgisel yöntemler ile bilgisayar tarafından çözülebilmesinde Yapay Zeka (YZ) çalışmaları etkin çözüm sağlamaktadır (Öztemel, 2003).

Yapay zeka kavramı, bir bilgisayarın ya da bilgisayar denetimli bir makinenin, genellikle insana özgü nitelikler olduğu varsayılan akıl yürütme, anlam çıkartma, genelleme ve geçmiş deneyimlerden öğrenme gibi yüksek zihinsel süreçlere ilişkin görevleri yerine getirme yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Nabiyev, 2005). Son yıllarda geniş bir uygulama ve araştırma alanına sahip olan Yapay Zeka, Uzman Sistemler, Bulanık Mantık (BM), Genetik Algoritma ve Yapay Sinir Ağları (YSA) gibi dallara ayrılmaktadır. Bu tez kapsamında YSA ve BM yöntemleri detaylı olarak incelenecektir.

#### **1.6.3.1. Yapay Sinir Ağları**

İnsanoğlu, doğadaki ve canlılardaki benzer işleyişe sahip sistemleri gözlemleyerek, sebep-sonuç ilişkilerini yorumlayarak, günlük hayatta karşılaştığı problemlere çözüm üretmeye çalışmıştır. Örneğin, uçağın kanatlarının yapımında akbaba kanatlarının yapısı model alınırken, yarasaların çok yüksek titreşimli ses dalgaları yayıp çevredeki engellere çarpıp yansması sonucu, yönünü ve hareket hızını belirlemesinden yola çıkarak da radarların çalışma ilkesi belirlenmiştir.

İnsanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar programlarını geliştirme fikriyle ortaya çıkan YSA, öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir (Öztemel 2003). Bununla ilgili diğer bir tanımı ise Haykin (1994) şu şekilde yapmıştır: YSA, deneysel bilginin depolanmasını ve kullanıma uygun hale getirilmesini sağlayan, basit birimlerden oluşan paralel olarak dağıtılmış bir işlemcidir. Bu bağlamda beyne iki şekilde benzerlik göstermektedir:

1. Bilgi, ağın eğitim aşamasında toplanır.

2. Sinaptik ağırlıklar olarak bilinen sınırlar arası bağlantılar bilginin depolanması için kullanılır.

YSA çalışmalarının tarihsel gelişimine bakıldığında ilk çalışmalar, nörofizyolog Warren McCulloch ve matematikçi Walter Pitts'in (1943) sadece girdi ve çıktıları olan basit bir sinir ağı modellemesiyle başlamaktadır. 1949 yılında Hebb, isminin verildiği Hebbian Kuralını ortaya koymuş ve Frank Rosenblatt'ın (1958) öğrenme yeteneğini kazandırdığı tekli doğrusal algılayıcı (perceptron) modelini geliştirmesinden sonra, YSA ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır.

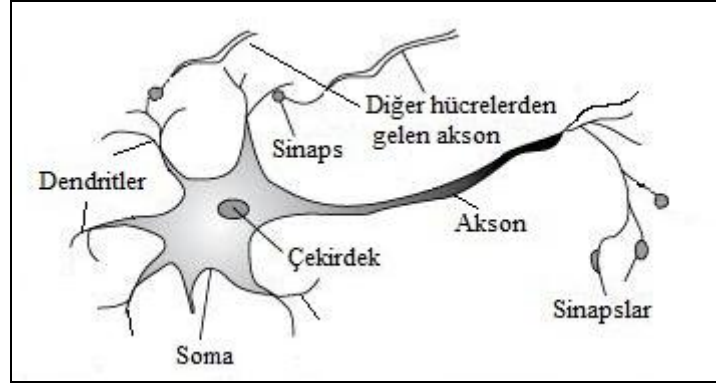
Widrow ve Hoff (1960), ADALINE (ADaptive LInear NEuron) ve MADALINE modelini ortaya atmışlardır. Bununla birlikte, ağın eğitimi boyunca toplam hatayı en aza indirmeyi hedefleyen Widrow-Hoff öğrenme kuralını geliştirdiler. MADALINE, telefon hatlarında oluşan yankıları yok etmede kullanılmış, gerçek dünya sorunlarına uygulanmış ilk sinir ağıdır ve hala kullanılmaktadır. 1969 yılında Minsky ve Pappert yazdıkları 'Algılayıcılar' (perceptrons) adlı kitapta YSA'nın doğrusal olmayan problemlere çözüm üretemediğini ve birçok mantıksal operasyonu (XOR problemi) çözemediğini iddia etmişlerdir. Bu durum 1980'lere kadar YSA çalışmalarında durgunluk yaratmıştır. Hopfield (1982) tarafından doğrusal olmayan ağların geliştirilmesi, Kohonen'in (1972) eğitimcisz öğrenen algoritmaları geliştirmesi ve Rumelhart ve arkadaşları (1986) tarafından çok katmanlı ağlar için geriye yayılmalı öğrenme algoritmalarının geliştirmesiyle de YSA üzerinde yapılan çalışmalar dünyada büyük bir hız kazanmıştır (Haykin, 1999; Elmas, 2003; Şen, 2004). Kullanıcının geleneksel yeteneklerini gerektirmeyen ve kendi kendine öğrenme düzenekleri olan YSA, beyin fizyolojik yapısından esinlenerek geliştirilmesine karşın, tüm özellikleri beyinle aynı değildir. Bazı özelliklerinin ise beyinde biyolojik



karşılığı yoktur. YSA'nın çalışma mantığını anlamak için insan beyninin yapısını ve çalışma şeklini yani biyolojik sinir sisteminin yapısını incelemekte yarar vardır.

### 1.6.3.1.1. Biyolojik Sinir Hücresinin Yapısı

Biyolojik sinir sisteminin temel işlem elemanı olan biyolojik sinir hücresinin yapısı Şekil 3'den de görüleceği üzere çekirdek, dendritler, soma (hücre gövdesi), akson ve sinapstan oluşur. Bir hücrede birden fazla sayıda bulunabilen dendritler, diğer hücrelerin sinapsları aracılığıyla gelen bilgileri alan, sinir hücresinin ucunda bulunan ağaç kökü görünümüne sahip kısa uzantılardır. Soma (hücre gövdesi), dendritlerden gelen bilgileri toplayarak zaman içinde işler ve işlenen bilgi potansiyel bir eşik değerine ulaşırsa akson aracılığıyla diğer hücrelere iletilir. Sinapslar, akson ve diğer sinir hücrelerinin dendritleri arasındaki bağlantıyı sağlar.



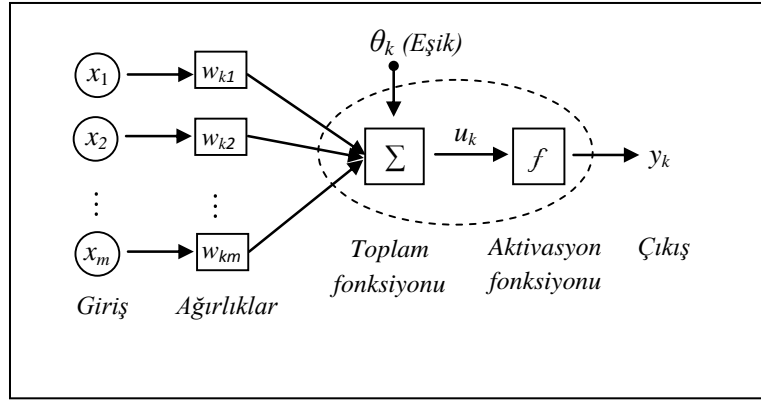
Şekil 3. Biyolojik bir sinir hücresinin yapısı

Beynimizde yaklaşık 10 milyar sinir hücresi ve 60 trilyondan fazla sayıda sinaptik bağlantılar vardır. Bu özelliğinden dolayı insan beyni, yapay sinir ağları ile karşılaştırıldığında son derece karmaşık bir yapıya sahiptir (Haykin, 1999). Diğer taraftan biyolojik sinir hücreleri bir işleme milisaniye mertebesinde cevap verirken, günümüz bilgisayar işlemcileri nanosaniye mertebesinde cevap vermektedir. Bu ifadeye göre bilgisayarların insan beynine göre hız bakımından daha avantajlı olduğu söylenebilir. Ancak matematiksel hesaplama gerektiren uygulamalarda YSA'lar insandan her zaman üstün ve hata olasılığı çok düşük olmasına rağmen, eksik bilgi ile görme, hata düzeltme, şekil tanıma gibi işlemlerde insan beyni çok daha hızlı ve etkin sonuçlar üretmektedir.

Bunun sebebi, bilgisayar işlemcilerinin seri olarak çalışmasına karşın, insan beyninin doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemine sahip olduğu için çok karmaşık olayları bile yüksek performansta işleyebilecek yeteneğe sahip olmasındadır. Yapay sinir ağları ile bu yeteneğin bilgisayarlara kazandırılması amaçlanmaktadır (Öztemel, 2003; Şen, 2004).

### 1.6.3.1.2. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı

Yapay sinir ağları birbirine hiyerarşik olarak bağlı ve paralel olarak çalışabilen çok sayıda işlemci elemanlardan yani yapay sinir hücrelerinden oluşmaktadır. Genel yapı olarak beynimizdeki biyolojik sinir hücrelerinin yapısı örnek alınarak oluşturulan yapay sinir hücreleri beynin yoğun bağlantılı ve kompleks yapısından uzakta, çok daha basit bir yapıya sahiptir. Şekil 4'de bir yapay sinir hücresinin yapısı ve temel elemanları gösterilmektedir.



Şekil 4. Yapay sinir hücresi modeli

Yapay sinir hücresi, girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve çıkış olmak üzere beş temel unsurdan oluşmaktadır. Girişler ( $x_1, x_2, \dots, x_m$ ) önceki sinirlerden veya dış dünyadan aldığı geliş güzel birçok bilgiyi sinire getirir. Ağırlıklar ( $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$ ), giriş değerlerin çıkış değeri üzerindeki önemini ve etkisini belirleyen uygun katsayılardır. Her bir giriş, kendine ait bir ağırlığa sahiptir. Ağırlık değeri büyükse, o giriş değeri sinir üzerinde fazlaca etkiye sahiptir. Tersisi durumda söz konusudur. Bu özelliklere göre biyolojik ve yapay sinir hücre modelleri arasındaki yapısal benzerlikleri sıralamak

gerekirse, nöron işlemci elemana, dentrit toplama fonksiyonuna hücre gövdesi aktivasyon fonksiyonuna, akson yapay sinir hücresi çıkışına sinapslar da ağırlıklara karşılık gelir. Ayrıca Tablo 3 incelendiğinde, istatistik ve yapay sinir ağlarındaki benzer kavramlardan yola çıkarak konu daha iyi kavranabilir (Sağiroğlu vd., 2003).

Tablo 3. İstatistik ve YSA'daki benzer kavramlar

İstatistik	YSA
Model	Ağ
Tahmin	Öğrenme
Regresyon	Danışmalı öğrenme
Enterpolasyon	Genelleme
Gözlem	Öğrenme algoritması
Parametre	Ağ parametreleri
Bağımsız değişken	Giriş verileri
Bağımlı değişken	Çıkış verileri

Bir yapay sinir hücresindeki işleyiş durumuna göre, nörona gelen her girdi verisi kendi ağırlığı ile çarpılıp çarpım sonuçları toplanmakta, buna  $\theta_k$  bias değeri de eklenerek elde edilen  $u_k$  çıkış değeri, aktivasyon fonksiyonuna gönderilmektedir. Böylelikle  $y_k$  çıktı değeri hesaplanır. Bazı durumlarda toplama fonksiyonu yerine, enaz (minimum), ençok (maksimum), çoğunluk veya birkaç normalleştirme algoritması gibi çok daha karmaşık yapılar kullanılabilir (Elmas, 2003). Bu anlatıma göre nöronun matematiksel modeli aşağıdaki gibi oluşturabilir:

$$u_k = w_{k1} x_1 + w_{k2} x_2 + \dots + w_{km} x_m + \theta_k = \sum_{i=1}^m w_{ki} x_i + \theta_k \quad (39)$$

Burada  $m$  giriş sayısı olmak üzere  $x_i$ ,  $i$ . işlem elemanının girişi,  $w_{ki}$ ,  $i$ . işlem elemanından  $k$ 'ncü işlem elemanına olan ağırlık değerini göstermektedir. Sonuç olarak  $y_k$  çıkış değeri,

$$y_k = f(u_k) = f\left(\sum_{i=1}^m w_{ki} x_i + \theta_k\right) \quad (40)$$

biçiminde ifade edilebilir. Formülde geçen  $f$ , aktivasyon fonksiyonudur. Hücrenin  $u$  girdi değerine karşılık üretilecek  $y$  çıktı değerinin hesaplanmasında kullanılır. Literatürde çeşitli aktivasyon fonksiyonları tanımlanmaktadır. Bunlardan uygulamada sıkça kullanılanları Tablo 4’de gösterilmektedir (Demuth ve Beale, 2000).

Tablo 4. Yapay sinir hücrelerinde kullanılan bazı aktivasyon fonksiyonları

Fonksiyonun adı	Fonksiyonun Şekli	Matematiksel İfade	Açıklama
Lineer fonksiyon		$f(u) = \alpha u$	$\alpha = 1$ ise işlemci elemanın girişini hücrenin çıkışı olarak verir.
Parçalı doğrusal fonksiyon		$f(u) = \begin{cases} 1 & u \geq 1 \\ u & 0 < u < 1 \\ 0 & u \leq 0 \end{cases}$	Hücrenin çıkış değeri 0 ile 1 arasında değişir
Basamak fonksiyonu		$f(u) = \begin{cases} 1 & u \geq 0 \\ 0 & u < 0 \end{cases}$	Hücrenin çıkış değeri 0 ya da 1’dir.
Gauss fonksiyonu		$f(u) = e^{-\frac{(x-c)^2}{\sigma^2}}$	$c$ : fonksiyonun merkez değeri $\sigma$ : genişlik parametresi
Logaritmik Sigmoid fonksiyonu		$f(u) = \frac{1}{1 + e^{-\beta u}}$	$\beta$ : fonksiyon eğriliğini belirleyen keyfi bir parametredir.
Hiperbolik Tanjant Sigmoid fonksiyonu		$f(u) = \frac{e^u - e^{-u}}{e^u + e^{-u}}$	-1 ile +1 arasında hücre çıkışı değeri verir.

Tablo 4'den aktivasyon fonksiyon grafikleri incelendiğinde lineer fonksiyon hariç diğer fonksiyonların, nöron çıkışlarını sınırlayarak  $[0,1]$  veya  $[-1,+1]$  gibi değerler arasında sınırladığı görülmektedir. Ayrıca doğrusal olmayan bu transfer fonksiyonları YSA'lara doğrusal olmama özelliği kazandırarak YSA'ların çok karmaşık problemlerde uygulanmasını ve iyi sonuçlar vermesini sağlamıştır. Fonksiyon çeşitliliğinin fazla olması, akla hangi tür aktivasyon fonksiyonu kullanılacağı sorusunu getirmektedir. Buna, deneme-yenilme yöntemleriyle performans kriterleri karşılaştırılarak karar verilir. Literatürdeki yayınlar incelendiğinde aktivasyon fonksiyonu olarak ileri beslemeli geri yayımlı ağlarda sigmoid, hiperbolik tanjant ve lineer fonksiyon, radyal tabanlı ağlarda ise gauss fonksiyonun sıklıkla kullanıldığı görülmektedir.

### 1.6.3.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Çoklu sayıda yapay sinir hücresinin bir araya gelmesiyle oluşan YSA, istatistiksel yaklaşımların çoğunda varsayılan herhangi bir ön şarta gerek duymaksızın lineer ve lineer olmayan modellere uygulanabilme yeteneğinden dolayı bir çok mühendislik probleminin çözümünde alternatif bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır (Luk vd., 1999). Örneğin, sinyal işleme kontrol mekanizmaları, görüntü işleme, zaman serilerinin analizi, havacılık, otomotiv sanayi ve robotik gibi birçok alanda YSA uygulamalarına artık rastlamaktayız.

Günümüzde yaygın bir kullanım alanına sahip YSA'ların özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Sağiroğlu vd., 2003).

1. Lineer olmama: Kullanılan aktivasyon fonksiyonuna bağlı olarak yapay bir sinir hücresi lineer olmadığı için bu elemanların bağlantılarıyla oluşan ağda lineer değildir. Bu özellik YSA'ya doğadaki hemen her probleme etkin çözümler sağlama kabiliyeti verir.

2. Öğrenme: YSA'ları klasik yöntemlerden ayıran öğrenme özelliği, sistem girişleri ve sistem çıkışı arasındaki ilişkilendirmeyi veya giriş verileri arasındaki ilişkilendirmeyi tanımlayan ağırlık verilerinin elde edilme süreci olarak tanımlanır.

3. Genelleme: YSA, öğrenme yani eğitim sürecinin ardından eğitim kümesi dışındaki test verileri için de çıkışlar üretebilir. Bunun için giriş verilerinin tüm parametrelerine ihtiyaç duymaz. Bu durum YSA'nın paralel yapısının sağladığı bir üstünlüktür. Test verisi eksik parametrelerle sisteme girdi olarak verilse bile, buna karşılık YSA en uygun sistem

çıkışını üretebilir. Örneğin, harf tanıma amacıyla eğitilmiş bir YSA, bozuk harf girişlerinde de doğru değeri verebilir.

4. Uyarlanabilirlik: YSA'lar, değişen probleme veya sisteme uygun çözümler bulmak için tekrar tekrar eğitilebilir. Örneğin, bir çalışma bölgesinde sayısal yükseklik modeli oluşturmak için eğitilen ağ, başka bir bölge için doğru sonuçlar vermeyebilir. Bu durum ağın ağırlıklarının hatta mimarisinin değişimini gerektirebilir.

5. Veri İşleme: Veri biyolojik sistemlerde dağınık yapıda saklanırken, YSA'larda ağırlıklar üzerine paralel olarak dağıtılmıştır. Paralel çalışma prensibinden dolayı herhangi bir birimde meydana gelen hata tüm sistemde belirgin bir hataya yol açmamaktadır. Sadece hücrenin ağırlıkları oranında bir etkilenme gerçekleşmektedir. Ayrıca, aynı tabakadaki bağlantılar arasında zaman bağımlılığı olmadığından tamamı ile eşzamanlı çalışabilmekte dolayısıyla da bilgi akış hızı artmaktadır (Şen, 2004).

Bu özelliklerin haricinde YSA'lar paralel işlem yapabilme yeteneklerinden dolayı donanım bağımlı olup, yalnızca nümerik bilgi girişi ile çalışmaktadırlar. Ağın eğitilmesi oldukça zaman alabilir. Ayrıca ağın davranışlarını açıklamada YSA yetersiz kalmaktadır. YSA dış dünyadan bilgileri alıp bazı hesaplamalar sonunda çıktıları vermektedir. Ancak çözümün nasıl olduğuna ilişkin bir ipucu vermez. Bu durum ağa olan güveni azaltıcı bir unsurdur. Bundan dolayı kara kutu olarak da adlandırılan YSA'lara olan güvenin sarsılmasına rağmen, başarılı uygulamaların olması YSA'ya olan ilgiyi arttırmaktadır.

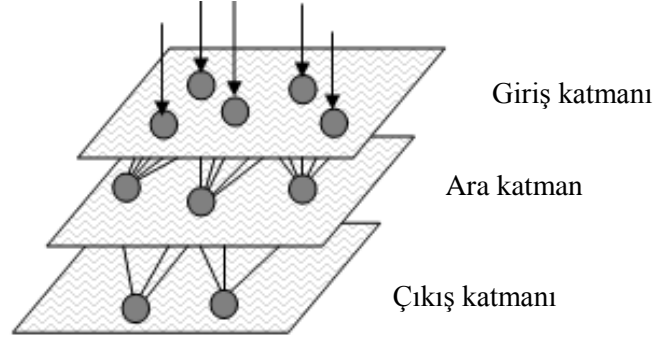
#### **1.6.3.1.4. Yapay Sinir Ağının Yapısı**

YSA birden fazla yapay sinir hücresinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Sinir hücreleri rastgele değil de katmanlar halinde gruplandırılarak sinir ağlarını oluştururlar (Şekil 5). Genel olarak bir ağda üç katman bulunmaktadır. Bunlar giriş, ara (gizli) ve çıkış katmanlarıdır.

Giriş katmanı, giriş verilerini dış dünyadan alan ve bu verileri ara katmana transfer etmekle yükümlü sinirlerin bulunduğu katmandır.

Ara katman, giriş katmanından gelen bilgileri işleyerek çıkış katmanına gönderir. Bazı ağlarda gizli katman hiç olmayacağı gibi, bazılarında da birden fazla sayıda olabilir.

Çıkış katmanı, bir önceki katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın sonuç değerini üreten katmanlardır. Giriş ve çıkış katmanlarındaki nöron sayısı, çözülecek problemin yapısına göre değişmektedir.



Şekil 5. Yapay sinir ağlarının genel yapısı

YSA uygulamalarının başarısında uygun metodolojiyi belirlemek çok önemlidir. Çünkü başarılı bir tasarımla ağın performansı artırılabilceği gibi tersi durumda söz konusu olabilir. Yapay sinir ağının geliştirilmesi sürecinde aşağıdaki özelliklerine göre karar verilmesi gerekir.

a) Ağ mimarisinin seçilmesi ve yapısal özelliklerin belirlenmesi: Bu özelliklerden kastedilen, ağın hangi yapıda olacağı, ağdaki katman ve katmandaki nöron sayısının belirlenmesi gibi bilgilerdir. YSA'nın ağ yapısının seçilmesi, uygulama problemine bağlı olarak gerçekleştirilmelidir. Örneğin; tahmin problemlerinde çok katlı algılayıcılar kullanılırken, sınıflandırma problemlerinde ART (Adaptive Resonance Theory), LVQ (Learning Vector Quantization) ve olasılıklı sinir ağ yapıları kullanılmaktadır. Problem tipine göre hangi ağın daha uygun olduğunun bilinmesi önemlidir.

Gizli katmanların sayısı ile bu katmanlardaki gizli hücrelerin sayısını doğru bir şekilde belirlemek sistemin performansı açısından son derece önemlidir. Kullanıcı tarafından keyfi şekilde belirlenen bu değerlerin sayısı arttıkça ağdaki sinaptik bağlantı sayısı da fazlalaşacağından işlem karmaşıklığı ve eğitim süresi de artmaktadır. Bu nedenle bir katmanda kullanılacak nöron sayısı olabildiğince az olmalıdır. Nöron sayısının az olması yapay sinir ağının "genelleme" yeteneğini artırırken, gereğinden fazla olması ağın verileri ezberlemesine neden olur. Ancak gereğinden az sayıda nöron kullanılmasının girdi-çıkış arasındaki yapının ağ tarafından yeterince öğrenilememesi gibi bir sorun oluşturabilir.

Ağdaki ara katman sayısı olarak, genellikle yeterli sayıda nöronu ihtiva eden tek ara katmanlı ağların istenen duyarlılıkta çözüme ulaştırdığı görülmektedir (Hornik vd., 1989; De Villars ve Barnard, 1993). Ayrıca karmaşık hesaplamaları çözmede de ağın en az bir tane ara katmanı olma zorunluluğu vardır. Buna ilaveten gizli katmandaki nöron sayılarını

belirlemede kullanılan en yaygın çözüm, deneme-yayıma yöntemidir. Bunun için istenilen performansın altına düşene kadar farklı sayıda nöronlarla sistem tekrarlı olarak çözülür.

b)Nörondaki fonksiyonların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi: YSA'lara doğrusal olmayan problemleri çözüme yeteneğini kazandıran, nöronların doğrusal yapıda olmayan aktivasyon fonksiyonlarına sahip olma özelliğidir. Çeşitli aktivasyon fonksiyonları vardır. Problemin davranışına uygun olarak fonksiyon tipinin belirlenmesi, ağın başarısını artırır.

c)Öğrenme algoritmasının seçilmesi ve parametrelerinin belirlenmesi: Ağın yapısının belirlenmesinden sonra ağın başarısını etkileyen en önemli unsurdur. Ağ yapısına göre öğrenme algoritmasının türü belirlenir. Örneğin; çok katmanlı algılayıcılarda geri yayılım algoritması kullanılmaktadır.

d)Eğitim ve test verisinin oluşturulması: YSA'ların olayları öğrenebilmesi için o olayla ilgili örneklerin belirlenmesi gerekir. Ayrıca seçilen örneklerin olayı tam olarak gösterebilmesi de çok önemlidir. Aksi takdirde iyi sonuçlar elde edilemez. YSA'da işlem elemanlarının ağırlıklarının belirlenmesi işlemine "ağın eğitilmesi" denir. Başlangıçta ağırlık değerleri rastgele olarak atanır. YSA her örnek gösterilişinde ağın ağırlık değerlerini değiştirir. Ağın doğru ağırlık değerlerine ulaşması için örnekler YSA'ya defalarca gösterilir. Ağın eğitimi esnasında örnekler iki ayrı sete bölünürler. Birincisi ağı eğitmek için, ikinci ise ağın performansını bulmak için kullanılır. Genellikle mevcut örneklerin yüzde sekseni ağa verilip ağ eğitilir, daha sonra geri kalan yüzde yirmilik kısımla da ağ test edilir.

Bir YSA'nın uygun parametrelerle tasarlanması durumunda YSA sürekli olarak kararlı ve istikrarlı sonuçlar üretecektir (Elmas, 2003; Öztemel, 2003).

#### **1.6.3.1.5. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması**

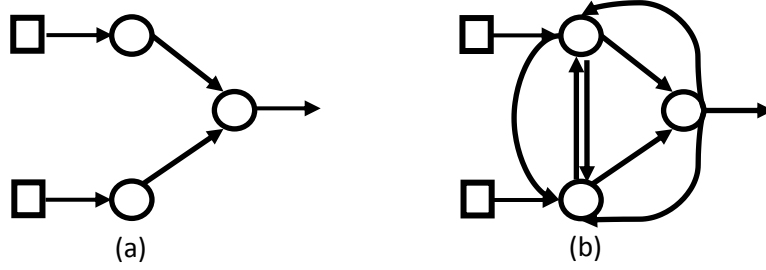
YSA'lar mimari, öğrenme yöntemi, bağlantı yapısı vb. özelliklerden dolayı çok çeşitlilik göstermektedirler. Genel olarak, YSA'lar iki ana kritere göre sınıflandırılmaktadırlar.



### 1.6.3.1.5.1. YSA'ların Ağ Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları, nöronlar arasındaki bağlantıların yapısına yani veri akış yönüne göre ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlar olmak üzere iki farklı sınıfa ayrılmaktadır.

a)İleri beslemeli ağlar: veri akışının giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla gerçekleştiği ağdır (Şekil 6). Bağlantılar kapalı çevrimler oluşturmaz, diğer bir ifade ile herhangi bir nöronun çıkışı, sadece ve sadece bir sonraki katmanda bulunan nöronlar için giriş olarak kullanılır. Aynı katmanda bulunan nöronlar arasında bağlantı kurulamaz. Çok katmanlı perseptronlar bu yapıya örnek verilebilir.



Şekil 6. Ağ yapılarına göre YSA modelleri: (a) İleri beslemeli ağ, (b) Geri beslemeli ağ

b)Geri beslemeli ağlar: Bu ağ modelinde herhangi bir nöronun çıkış değeri kendinden önceki katmana veya kendi katmanında bulunan herhangi bir nörona girdi olarak bağlanabilir (Şekil 6). Geri beslemeli ağlarda bağlantılar kapalı çevrimler oluşturur. Eğitim süreleri daha uzundur. Bu tip sinir ağları, dinamik yapıya sahiptir, diğer bir ifade ile herhangi bir andaki çıkış, hem o andaki hem de önceki giriş değeri olarak işlem görür. Bu özelliğinden dolayı, bu tip ağlar, özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygun olmaktadır (Haykin, 1999). Bu ağlar çeşitli tipteki zaman serilerinin tahmininde oldukça başarıyla kullanılmaktadır. Bu ağlara örnek olarak Hopfield ağı, SOM (Self Organizing Map) ağları verilebilir (Hopfield, 1982; Kohonen, 1990).

### 1.6.3.1.5.2. YSA'ların Öğrenme Biçimlerine Göre Sınıflandırılması

YSA'da öğrenme, insanlar tarafından gerçekleştirilmiş örneklerin sisteme tanıtılmasıyla verilen farklı olaylara karşı ağın nasıl tepkiler üreteceğinin belirlenmesidir.

Bir olayın girdi ve çıktılarını temsil eden örneklerin oluşturulmasında, her zaman giriş ve çıkış değerlerinin birlikte kullanılması gerekmez. Örneklerin nasıl oluşturulduğuna bağlı olarak, yapay sinir ağları kontrollü, kontrolsüz ve takviyeli öğrenme olarak üçe ayrılmaktadır.

a)Kontrollü Öğrenme: Bu öğrenme algoritmasında sisteme öğretilmesi istenen olayla ilgili örnekler, girdi ve çıktı kümesi olarak verilir ve yapay sinir ağının giriş çıkış arasındaki ilişkileri öğrenmesi istenir. Nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıkları, ağın çıktıları ile gerçek çıktıları arasındaki fark hesaplanarak bu hata payına göre güncellenir. Delta kuralı bu algoritmaya örnek verilebilir.

b)Kontrolsüz Öğrenme: Bu tür öğrenmede ağa sadece giriş değerleri verilir. Örneklerdeki parametreler arasındaki ilişkileri, ağın kendi kendisine öğrenmesi istenir. Bununla birlikte sistemin öğrenme süreci bittikten sonra çıktıların ne anlama geldiğini gösteren etiketlemenin kullanıcı tarafından yapılması gerekmektedir. Daha çok sınıflandırma problemlerinde kullanılan bu yapıya ART algoritması örnek olarak gösterilebilir.

c)Takviyeli Öğrenme: Kontrolsüz öğrenme algoritmasındaki gibi sisteme örnekler sadece giriş değerleri ile verilerek, yapay sinir ağının bir çıkış üretmesi beklenir. Üretilen bu çıkışın doğru ya da yanlış olmasına göre yapay sinir ağına, onaylayıcı ya da reddedici bir sinyal gönderilir. Sistem, bu sinyali dikkate alarak öğrenme sürecini devam ettirir. Genetik algoritma bu öğrenme biçimine örnek verilebilir (Öztemel, 2003).

#### **1.6.3.1.6. YSA'da Temel Öğrenme Kuralları**

Literatürde kullanılan çok sayıda öğrenme algoritması bulunmaktadır. Bunlar ağıdaki sinaptik bağlantıların güncelleştirilmesi için kullanılırlar. Bu algoritmaların birçoğu aşağıda açıklanan kurallardan esinlenilerek geliştirilmiştir.

a)Hebb Kuralı: 1949 yılında Hebb tarafından geliştirilmiş olan Hebb algoritması en eski ve en ünlü öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritmaya göre, bir nöron (A) başka bir nöron (B) girdi alıyorsa ve her ikisi de aktifse, (A) ve (B) arasındaki ağırlık artar.

b)Delta Kuralı: Widrow ve Hoff tarafından geliştirilmiş, Hebb kuralına benzer en çok kullanılan bir algoritmadır. Bu kural, nöronun gerçek çıkışı ile istenilen çıkış değerleri arasındaki farkı azaltan, giriş bağlantılarını güçlendiren ve hatayı çıkış katmanından girdi

katmanına doğru yayararak azaltan yani ağırlıkları sürekli olarak değiştiren bir düşünceye dayanmaktadır.

c)Kohonen Kuralı: Biyolojik sistemlerdeki öğrenmeden esinlenerek geliştirilen bu yönleme göre nöronlar öğrenmek için yarışır. En büyük çıkışa sahip işlemci nöron kazanır ve yarışı kazanan nöronun ağırlıkları güncellenir. Bu nöron, komşularını uyarma ve yasaklama kapasitesine sahiptir. Kohonen kuralı, delta ve hebb kuralının aksine hedef çıkışa gereksinim duymaz. Bu nedenle kontrolsüz bir öğrenme metodudur.

d)Hopfield Kuralı: Hebb Kuralına benzeyen bu kurala göre istenilen çıkış ve girişin her ikisi aktif veya her ikisi de aktif değilse öğrenme oranı tarafından bağlantı ağırlığı artırılır. Diğer durumlarda ise azaltılır. Birçok öğrenme algoritmasında öğrenme katsayısı oranı veya sabiti vardır. Genellikle bu terim 0 ile 1 arasında değerler almaktadır.

### 1.6.3.1.7. YSA'da Öğrenme Algoritmaları

#### 1.6.3.1.7.1. Geri Yayılım Algoritması

Rumelhart ve arkadaşları (1986) tarafından ortaya atılan geri yayılım algoritması uygulamada en çok kullanılan öğrenme algoritmasıdır. Hataların çıkış katmanından giriş katmanına doğru azaltılması amaçlandığından dolayı geri yayılım ismini almıştır. Bu algoritmanın akış şeması Şekil 7'de verilmektedir.

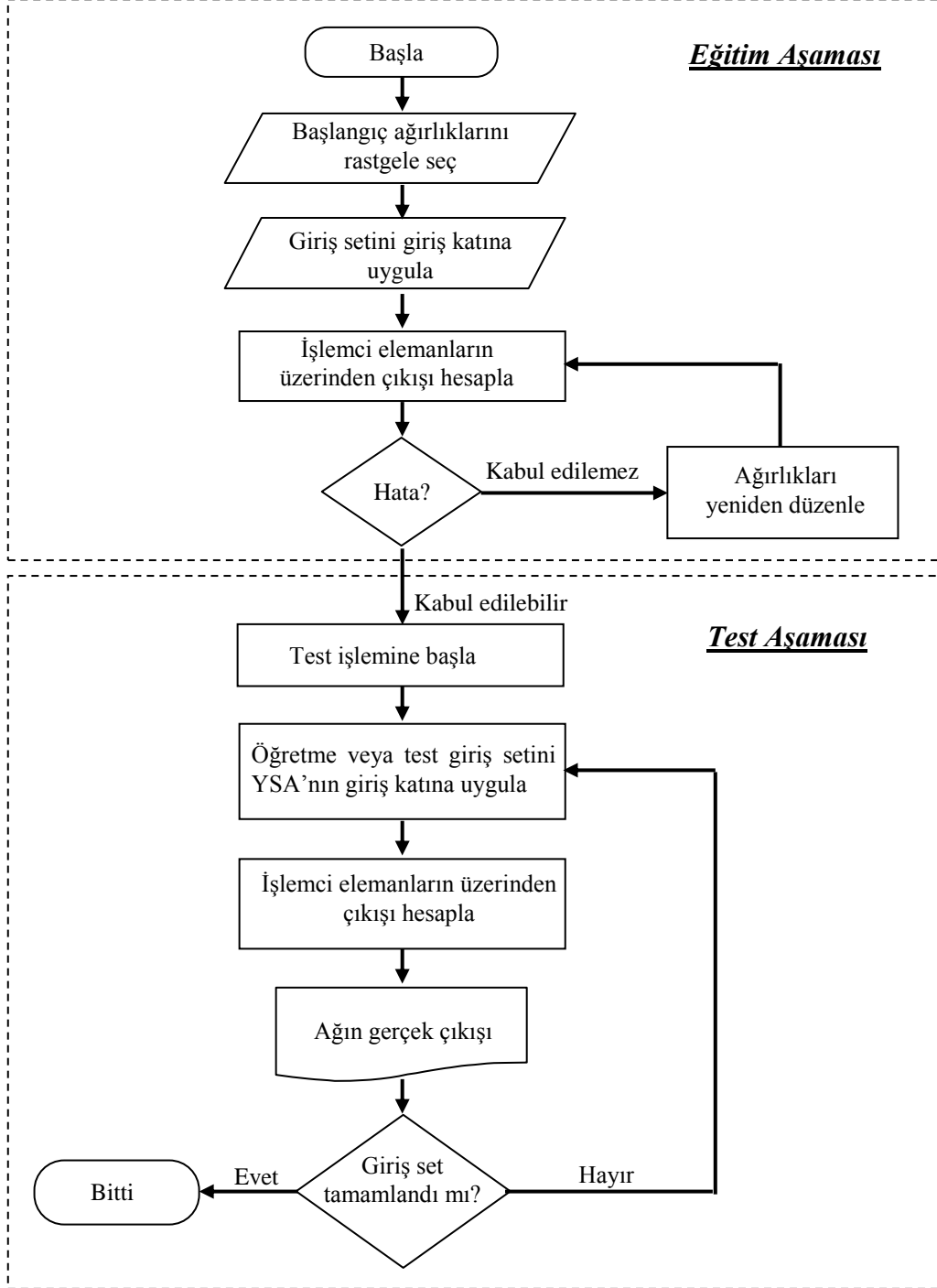
Geri yayılım algoritmasında da amaçlanan girdi ve çıktı verileri  $\{(g_1, t_1), (g_2, t_2), \dots, (g_q, t_q)\}$  arasındaki en uygun tasviri sağlayacak olan bağlantı ağırlıklarının elde edilmesidir. Ağa sunulan girdi için ağın ürettiği çıktı değerleri  $(\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_q)$  beklenen değerleri  $(t)$  ile karşılaştırılarak  $q$ . işlem elemanı için oluşan hata,

$$\varepsilon_q = t_q - \zeta_q \quad (41)$$

ile hesaplanır. Bu bir işlem elemanı için oluşan hatadır. Çıktı katmanı için oluşan toplam hatayı bulmak için bütün hataları toplamamız gerekir. Ancak bazı hata değerleri negatif olacağından ağdaki toplam hatanın sıfır olmasını önlemek için ağırlıkların kareleri hesaplanarak sonucun karekökü alınır. Buna göre ağın performans ölçütü  $E$ ,

$$E = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q (t_q - \zeta_q)^2 = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q (\varepsilon_q)^2 \quad (42)$$

eşitliği ile hesaplanır.



Şekil 7. Geri yayılım algoritmasının akış şeması

Bu algoritmada amaçlanan ağın performans ölçütü  $E$ 'yi, en aza indirmektir. Bunun için delta kuralında olduğu gibi eğim azaltımı (gradient descent) yöntemi ile, hataya neden olan işlem elemanlarına hatanın dağıtılması yani işlem elemanlarının ağırlıklarının değiştirilmesi gerekir. Bu işlemlere başlamadan önce ağın çıktı değerini hesaplamada izlenen işlemleri tekrar hatırlarsak,  $S_k$ ,  $k$ . katmanındaki sinir sayısı,  $b$  bias terimi,  $\zeta_j^k$   $k$  katmanındaki  $j$ . sinir hücresinin değeri olmak üzere  $k+1$ . katmandaki  $i$ . sinirin net girdisi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$net_i^{k+1} = \sum_{j=1}^{S_k} w_{ij}^{k+1} \zeta_j^k + b_i^{k+1} \quad (43)$$

Bulunan net girdinin  $f$  aktivasyon fonksiyonundan geçirildikten sonraki çıktı değeri,

$$\zeta_i^{k+1} = f^{k+1}(net_i^{k+1}) = f^{k+1} \left( \sum_{j=1}^{S_k} w_{ij}^{k+1} \zeta_j^k + b_i^{k+1} \right) \quad (44)$$

ile hesaplanır. Burada  $w_{ij}$   $k$ . katman  $j$ . elemanını bir sonraki ( $k+1$ ) katmanın  $i$ . elemanına bağlayan bağlantının değeridir. Çıktı katmanından girdi katmanına doğru geri yayılım algoritmasını uygulamaya başladığımızda, hata ağırlıkların bir fonksiyonu olarak görüldüğünden,  $\delta_i^k$ ,  $k$ . katmandaki  $i$ . sinirin net girdisindeki değişime olan performans ölçütü duyarlılığı olmak üzere,

$$\delta_i^k = - \frac{\partial E}{\partial net_i^k} \quad (45)$$

hata fonksiyonunun ağırlıklara göre türevi,

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^k} = \frac{\partial E}{\partial net_i^k} \frac{\partial net_i^k}{\partial w_{ij}^k} = -\delta_i^k \zeta_j^{k-1} \quad (46)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_i^k} = \frac{\partial E}{\partial net_i^k} \frac{\partial net_i^k}{\partial b_i^k} = -\delta_i^k \quad (47)$$

biçiminde ifade edilmektedir.  $k$  ara katmandaki  $j$ . işlem elemanını  $(k+1)$  katmanındaki  $i$ . işlem elemanına bağlayan bağlantının ağırlığındaki değişim miktarına  $\Delta w_{ij}^k$  ve  $(k+1)$  katmanındaki  $i$ . işlem elemanına etkileyen biasın ağırlığındaki değişim miktarına da  $\Delta b_i^k$  dersek ve  $h$  öğrenme döngü sayısı (iterasyon) olmak üzere ağırlıklardaki değişim miktarları (Alavala, 2008; Hagan ve Menhaj, 1994; Basheer ve Hajmer, 2000),

$$\Delta w_{ij}^k = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}^k}, \quad \Delta b_i^k = -\eta \frac{\partial E}{\partial b_i^k} \quad (48)$$

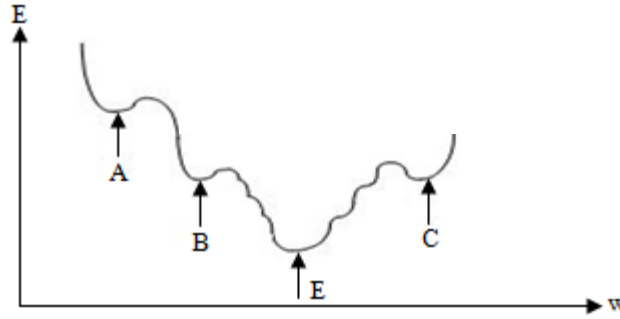
biçiminde bir sonraki iterasyonda  $(h+1)$  kullanılmak üzere kullanılacak ağırlık ve bias değerleri,

$$\Delta w_{ij}^k(h+1) = \eta \delta_i^k \zeta_j^{k-1} + \alpha \Delta w_{ij}^k(h) \quad (49)$$

$$\Delta b_i^k(h+1) = \eta \delta_i^k + \alpha \Delta b_i^k(h) \quad (50)$$

şeklinde elde edilir. Yukarıdaki eşitliklerde  $\eta$  öğrenme katsayısını,  $\alpha$  momentum katsayısını göstermektedir. Öğrenme katsayısı ağırlıkların değişim miktarını, momentum katsayısı da ağırlığın öğrenmesi esnasında bir önceki iterasyondaki değişimin belirli bir oranda bir sonraki değişime eklenmesini sağlar. Momentum katsayısı bir anlamda ağırlığın yerel minimumlara takılmasını önler. Öğrenme ve momentum katsayı değerleri ağırlığın performansına göre kullanıcı tarafından belirlenir. YSA'nın eğitimi esnasında öğrenmenin etkin bir şekilde gerçekleşmesi için öğrenme katsayısı değerinin uygun bir şekilde seçilmesi gerekir. Öğrenme katsayılarının küçük değerde seçilmesi öğrenme zamanını artırırken, büyük değerde seçilmesi de yerel çözümler arasında ağırlığın dolaşmasına sebep olur. Öğrenme ve momentum katsayı değerleri 0-1 arasında değişmektedir (Rumelhart vd., 1986). Problemin karmaşıklığına göre öğrenme katsayısı değerinin küçük değerler seçilmesi önerilmektedir. Öğrenme katsayısının gereğinden küçük seçilmesi yani sıfıra yaklaşması durumunda eğitimin tamamlanması için daha fazla iterasyon yapılması gerekir, yani

yakınsama yavaş olur. Öğrenme katsayısının büyük seçilmesi durumunda da iterasyon sayısı azalır fakat bu durum ağda ezberlemeye sebep olur. Uygun bir  $\eta$  değeri için tercih edilen değerler 0 ile 0,2 arasında değişir. Şekil 8’de ağırlık değerleri ile ağırlık performansı arasındaki değişim incelendiğinde, genel olarak başlangıçta nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıkları rastgele seçildiği için ağırlık performansı maksimum seviyede olduğu ve birden fazla yerel minimum noktasının (A, B, C) olduğu görülmektedir. Ağırlık eğitiminde amaçlanan da öğrenme ve momentum katsayılarının gerçek minimum noktasını (E) verecek şekilde ayarlanmasıdır.



Şekil 8. Yerel minimum noktası

Sonuç olarak, nöronlar arası bağlantı ağırlıklarının ve bias değeri ağırlığının yeni değerleri,

$$w_{ij}^k(h+1) = w_{ij}^k(h) + \Delta w_{ij}^k(h+1) \quad (51)$$

$$b_{ij}^k(h+1) = b_{ij}^k(h) + \Delta b_{ij}^k(h+1) \quad (52)$$

formülleri ile hesaplanır (Öztemel, 2003).

Örneğin, aktivasyon fonksiyonu olarak ağırlık tamamında sigmoid fonksiyonu kullanılırsa ara katman ile çıktı katman arasındaki nöronların bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesinde,

$$\delta_i^k = -\zeta_i^k (1 - \zeta_i^k) (g_i - \zeta_i^k) \quad (53)$$

ara katmanlar arasında ve girdi-ara katman arasındaki nöronlar arası bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesinde ise,

$$\delta_j^s = -\zeta_m^s (1 - \zeta_j^k) \sum_j (g_j^k - \zeta_j^k) w_{jm}^s \quad (54)$$

eşitlikleri kullanılır. Girdi katmanı ile ara katmanı arasındaki (veya iki ara katman arasındaki) ağırlıkların değiştirilmesinde çıktı katmanındaki işlem elemanlarının hepsinin hatasından etkilenildiği için  $\delta_j^s$  değeri (54) eşitliği ile hesaplanır.

#### 1.6.3.1.7.2. Levenberg - Marquardt (LM) Algoritması

YSA'ların eğitilmesinde geri yayılım algoritması yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen yerel minimuma yakalanma riskinin olması ve işlem zamanının yavaş olması sebebiyle alternatif yöntemlere yönelinmiştir. Gauss Newton (GN) ve geri yayılım algoritmalarının en iyi özelliklerini içinde barındıran Levenberg-Marquardt algoritması, işlem zamanının diğer yöntemlere göre hızlı olması ve bu iki metodun kısıtlamalarını ortadan kaldırması gibi özelliklere sahiptir.

GN metoduna göre yapay sinir ağında ağırlıkların güncellenmesi,

$$\underline{\Delta x} = -[ H(\underline{x}) ]^{-1} \nabla E(\underline{x}) \quad (55)$$

ile hesaplanır. Formüldeki  $H(\underline{x})$  Hessian matrisini,  $\nabla E(\underline{x})$  ağıın gradyan vektörünü,  $E(x)$  performans fonksiyonunu göstermektedir. Performans fonksiyonu olarak hataların kareleri toplamı seçilmiştir.  $e(x)$  ağıın hata vektörü olmak üzere,  $J(\underline{x})$  Jakobi matrisi,

$$J(\underline{x}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_n(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_n(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_n(\underline{x})}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (56)$$



performans fonksiyonu  $e$ 'nin ağırlıklara göre birinci derece türevlerinden oluşan kare matristir. Buradan  $\nabla E(\underline{x})$  ve  $H(\underline{x})$ ,

$$\nabla E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) \underline{e}(\underline{x}) \quad (57)$$

$$H(\underline{x}) = \nabla^2 E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + S(\underline{x}) \quad (58)$$

ile elde edilir. N eğitim aşamasında sisteme verilen girdi sayısı olmak üzere,

$$S(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N e_i(\underline{x}) \nabla^2 e_i(\underline{x}) \quad (59)$$

$S(\underline{x})$  matrisi, ağ hatalarının ağırlıklarına göre ikinci dereceden türevlerini içeren  $\nabla^2 e_i(\underline{x})$  terimini içerdiğinden dolayı ağırlık büyüklüğüyle paralel olarak işlem yükünü oldukça güçleştirir. Bu problemin üstesinden gelmek için Gauss Newton yönteminde  $S(\underline{x}) \approx 0$  olduğu kabul edilmektedir (Kermani vd., 2005). Bu ifadeye göre Gauss Newton yöntemi için ağırlıkların güncellenmesi,

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x}) J(\underline{x})]^{-1} J^T(\underline{x}) \underline{e}(\underline{x}) \quad (60)$$

ile hesaplanırken Levenberg-Marquardt algoritmasında Hessian matrisine küçük bir  $\theta$  sabiti eklenerek,

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + \theta I]^{-1} J^T(\underline{x}) \underline{e}(\underline{x}) \quad (61)$$

formülü ile ağırlıklar güncellenir (Hagan vd., 1994; Marquardt, 1963). Formülde geçen  $I$  birim matris,  $\theta$  Marquardt parametresidir. Bu metodun algoritması aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- (i) Ağırlıklara başlangıç değerleri atanarak performans fonksiyonu hesaplanır,
- (ii) Küçük bir  $\theta$  değeriyle başlanır ( $\theta=0.01$ ),

(iii) Ağırlıkların güncellenme miktarları ( $\Delta x$ ) hesaplanarak, performans fonksiyonunun bir sonraki değeri hesaplanır,

(iv) Performans fonksiyonunun bir sonraki değeri, şimdiki değerinden büyükse  $\theta$  'nın değeri on kat artırılır, tersi durumda da on kat azaltılır.

(v)  $x + \Delta x$  ile ağırlıklar güncellenir ve (iii) adımına gidilir

(vi) Algoritmaya, veri setine ait hataların kareleri toplamı, hedeflenen bir değerden küçük olana kadar işleme devam edilir (Sağıroğlu vd., 2003)

Levenberg-Marquardt algoritmasının yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılması için ağırlık katmanında tek bir çıktı değişkeni olması ve performans ölçütünün karesel hata formunda tanımlanmış olması gerekliliği şartı aranmaktadır. Ayrıca bellek ihtiyacı bilinmeyenlerin sayılarının karesiyle orantılı olarak arttığı için çok büyük ağların eğitilmesinde etkin bir yöntem değildir (Akyılmaz, 2005; Bishop, 1995).

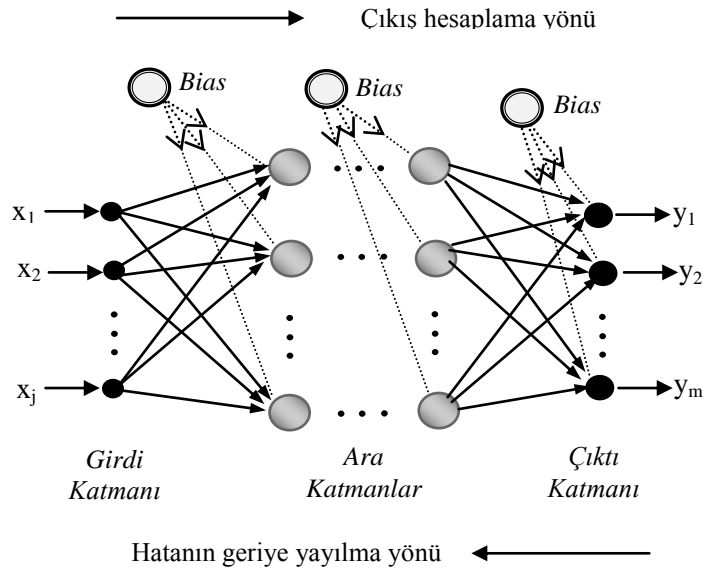
### 1.6.3.1.8. YSA Türleri

#### 1.6.3.1.8.1. Çok Katlı Algılayıcılar (ÇKA)

ÇKA yapısındaki ağırlıkların belirlenmesinde geriye yayılım yönteminin keşfi, bu yöntemi bilimsel araştırmalarda oldukça popüler yapmıştır (Jain vd., 1996). Mühendislik uygulamalarında da en sık kullanılan ağ türüdür. ÇKA yapısal olarak, bir giriş, bir veya daha fazla ara katman ve bir de çıkış katmanından oluşur (Şekil 9). Her bir katmanda da bir veya daha fazla sayıda nöron bulunur. Katmanlardaki işlem elemanlarının kendi aralarında bir bağlantı yoktur, ancak bilgi akışı ileri doğru olup, bir katmandaki bütün nöronlar bir üst katmandaki tüm nöronlara bağlıdır. Bundan dolayı bu tip ağlar ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli olarak da adlandırılır. Uygulanan probleme göre giriş ve çıkış katmanındaki işlemci elemanı sayısı belirlenmektedir. Ara katman sayısı ve ara katmanlardaki işlemci elemanı sayısı ise, deneme-yanılma yolu ile bulunur. Ara katmandaki nöron sayısı az olduğunda ağı öğrenemeyeceğine, fazla olduğu durumda da ağı fazla eğitilmiş olup yine test aşamasında hatalı sonuçlar vereceğine dikkat edilmelidir.

ÇKA ağlarında öğrenme, kontrollü öğrenme türüne göre yapılmaktadır. Örnekler giriş katmanına uygulanır, ara katmanlarda işlenir ve çıkış katmanından da çıkışlar elde edilir. Bu işlem akışı daha açık olarak şu şekilde de ifade edilebilir. Giriş katmanına verilen

bilgiler, giriş katmanı ile ara katman arasında bulunan bağlantı ağırlıkları ile çarpılıp ara katmana iletilir. Ara katmandaki sinirlere gelen girişler toplanarak bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilip ara katman ile çıkış katmanı arasındaki bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak çıkış katmanına iletilir. Çıkış katmanındaki sinirler de kendisine gelen bu girişleri toplayarak ağın çıktı değerlerini hesaplarlar. Daha sonra kullanılan öğrenme algoritmasına göre, ağdan hesaplanan çıkış ile ağa verilen gerçek çıkış arasındaki hata hesaplanıp tekrar geriye doğru yayılarak hata minimum olana kadar ağın ağırlıkları değiştirilir.



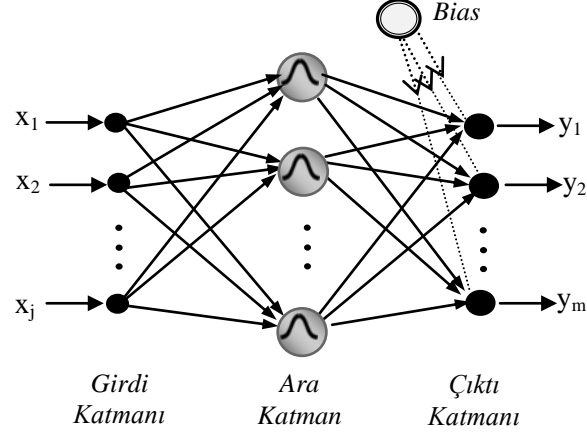
Şekil 9. Çok katlı algılayıcıların genel yapısı

#### 1.6.3.1.8.2. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RTYSA)

Radyal tabanlı fonksiyonların kestirim ve eğri uydurma problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılmasından yola çıkarak, Moody ve Darken (1988) bu fonksiyonların yapay sinir ağları içinde aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmasını önermişlerdir. RTYSA, çok katlı algılayıcılar ağına benzer şekilde giriş, ara katman ve çıkış katmanından oluşan ileri beslemeli ağ yapılarındandır (Şekil 10).

RTYSA'da radyal olarak simetrik olan ara katman sayısı birden çok olamaz. Ara katmandan çıkış katmanına dönüşüm doğrusal iken; girdi katmanından ara katmana

dönüşüm kullanılan radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonlarından dolayı doğrusal olmamaktadır.



Şekil 10. Radyal tabanlı yapay sinir ağının mimari yapısı

Radyal tabanlı fonksiyon ağı tasarımı çok boyutlu uzayda eğri uydurma yaklaşımıdır. Bu nedenle RTYSA'nın eğitimi çok boyutlu uzayda eğitim verilerine en uygun bir yüzeyi bulma problemine dönüşür. Girdi katmanındaki işlemci elemanlar giriş verilerini hiçbir işlem uygulamadan direkt olarak ara katmana iletirler. Gizli katmandaki işlemci elemanların çıkışları, YSA girişleri ile radyal fonksiyonun merkezi arasındaki uzaklığın (öklit mesafesinin) bir fonksiyonunu hesaplar. Son olarak, çıktı katmanı ara katmanın çıkışlarından ağırlıklandırılmış toplam çıkışı üretir (Park ve Sandberg, 1991).

Bu metodun temel çalışma prensibi verileri farklı kümelere veya kategorilere ayırıyor olmasıdır. Her küme bir merkez içermekte ve girişlerin kümelere ayrılması bu merkez değerler sayesinde, giriş vektörü ile merkez vektörü arasındaki öklit mesafesinin hesaplanmasıyla yapılmaktadır. Doğrusal olmayan RTYSA'da, aktivasyon fonksiyonu olarak multiküadratik, ters multiküadratik veya Gauss fonksiyonları kullanılır (Demuth ve Beale 2000). Chen vd., (1991) RTYSA'da kullanılacak farklı radyal fonksiyonların ağı performansında çok belirgin bir etkiye sahip olmadığını söylemektedirler. Genellikle RTYSA'da, aşağıda formülü verilen Gauss fonksiyonu kullanılmaktadır (Lippmann, 1989).

$$\phi_i(x) = \exp \left[ \frac{-\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2} \right] \quad (62)$$

Burada  $c_i$  ara katmandaki nöronun merkezi,  $x$  giriş vektörü,  $\sigma_i$  dağılım parametresi,  $\phi_i$  aktivasyon fonksiyonudur. Son olarak ağıın genel matematiksel ifadesi,

$$S_j(x) = \sum_{i=1}^N w_{ij} \phi_i(x) + b_j \quad (63)$$

ile elde edilir. Burada  $w_{ij}$  i. gizli katman ile j. çıkış nöronu arası dönüşümdeki ağırlığı göstermekte,  $b_j$  bias değeri,  $N$  veri sayısıdır.

RTYSA'nın eğitilme işlemi, ara tabakadaki radyal bazlı işlemcilerin formül (62)'ye göre parametreleri olan  $c_i$  ve  $\sigma_i$  'nin belirlenmesi ve ara tabaka ile çıkış tabakası arasındaki ağırlıkların belirlenmesi olarak iki gruba ayrılır. Bunlardan ilki kontrollü, ikincisi de geri yayılım algoritmali kontrolsüz eğitim prosedürü şeklindedir (Sharaf vd., 2006)

### 1.6.3.1.8.3. RTYSA ile Çok Katmanlı Algılayıcıların Karşılaştırılması

RTYSA ve ÇKA yapay sinir ağıları yapısı, doğrusal olmayan katmana sahip ileri beslemeli yaygın ağ örneklerindedir

1-ÇKA bir ve birden fazla ara katmana sahipken, temel yapıdaki bir RTYSA sadece tek bir gizli katmana sahiptir.

2- ÇKA'nın ara ya da çıkış katmanına konumlanmış hesaplama düğümleri genel bir nöron modeli kullanır. Öte yandan RTYSA'nın ara katmanındaki hesaplama düğümleri ÇKA 'ya göre işlevleri açısından oldukça farklıdır.

3- RTYSA'ya ait ara katman doğrusal değildir yalnızca çıkış katmanı doğrusaldır. ÇKA'nın ara ve çıkış katmanlarının yapısı problemin yapısına göre tercihen belirlenir.

4- RTYSA ağıının her bir gizli birimi için aktivasyon fonksiyonunun hesaplanması konusunda giriş vektörü ve merkez birim arasındaki öklit uzaklığı kullanılır. Öte yandan ÇKA'daki herbir ara işlemci elemanı için aktivasyon fonksiyonu, giriş fonksiyonunun "iç çarpım"ını ve o birime ait sinaptik ağırlık vektörünü hesaplar.

5- ÇKA ağları doğrusal olmayan giriş-çıkış tasarımlarına global yaklaşımlar oluştururken RTYSA doğrusal olmayan giriş çıkış tasarımına yerel yaklaşımlar oluşturur (Haykin, 1999).

6- RTYSA'nın eğitimi, ÇKA'nın eğitiminden daha az bir zaman gerektirir. Ancak, ÇKA kadar doğru sonuçlar verebilmesi için daha fazla veriye ihtiyaç duymaktadır (Demuth ve Beale, 2000).

### 1.6.3.2. Bulanık Mantık

Günlük hayatta her insanın kullandığı birçok terim belirsizlik içermektedir. Bu terimlere örnek olarak az, çok, pek çok, biraz az, az gibi sözel niteleyiciler örnek verilebilir. Şen (2001) değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarını “bulanık kaynaklar” olarak tanımlanmaktadır. Böyle durumlarda doğal süreçler her zaman klasik yöntemlerle (ihtimaller teorisi, istatistiksel yöntemler) modellenemeyebilir ve sayısal veri ile çalışan bilgisayarlar da bu tür belirsizliklerle işlem yapamazlar. Bulanık mantık yaklaşımı, makinelere insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve önsözlerinden yararlanarak çalışabilme yeteneğini kazandırır (Elmas, 2003).

İlk olarak Loutfi Zadeh (1965) tarafından bilim dünyasına sunulan bulanık mantık ilkelerine göre, insan düşüncesinin büyük çoğunluğunun bulanık olduğu, gerçek dünya ile ilgili olaylar, ne kadar yakından incelenirse çözümün daha da bulanık hale geleceği ifade edilmektedir (Zadeh, 1973). Bunun nedeni, bilgi kaynaklarının çeşitliliği arttıkça insanın aynı anda tüm bilgiyi kavrayamaması ve bunlardan kesin sonuç çıkaramamasıdır. Burada bilgi kaynaklarından kastedilen, kesin bilgilere ilave olarak, özellikle sözel olan bilgilerdir. Yukarıdaki ifadeden yola çıkarak, bulanık mantık felsefesi, belirsizlik durumlarında bir durumun gerçek adını ortaya koyup olduğu gibi kabul ederek çözüm bulmayı amaçlayan bir felsefe olarak kabul edilebilir.

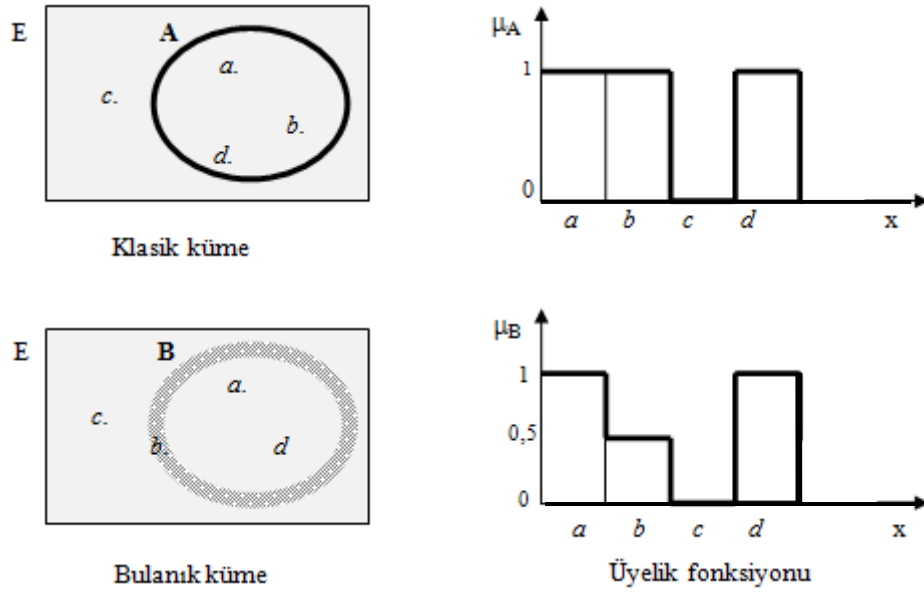
Bulanık mantığın özündeki ana düşünce, bir önermenin doğruluğunun, önermelerle, kesin yanlış ve kesin doğru arasındaki sonsuz sayıda doğruluk değerlerini içeren bir kümedeki değerler, ya da sayısal olarak  $[0,1]$  gerçel sayı aralığıyla ilişkilendirilen bir fonksiyon olarak kabulüdür. Bulanık mantığı diğer mantık sistemlerinden ayıran en önemli özelliklerden “*üçüncünün olmazlığı*” ve “*çelişmezliği*” ilkelerinin bulanık mantıkta geçerli olmayışı gereği, doğruluğun çok değerli oluşu ve bağlaçlarına yüklenen anlamdan dolayı

da, bulanık mantıkta bir önermenin aynı zamanda hem doğru hem de yanlış olmayacağı söylenemez (Baykal ve Beyan, 2004).

Bulanık Mantık yaklaşımı klasik kümenin genelleştirilmesi ile oluşturulan bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bu teoremin ortaya atıldığı dönemde bulanık sistemlerin doğrudan uygulamasının olmayışı, olasılık teorisine bir alternatif oluşu ve de hemen hemen tüm bilimlere temel olan Aristo mantığına karşı bir alternatif olmasından dolayı, bazı araştırmacılar bu fikri benimserken, bazıları da şüphe ile karşılayarak bu fikre karşı çıkmışlardır. Ancak, 1970'li yılların sonlarına doğru Zadeh'in devam eden yayınları, Mamdani ve Assilian tarafından bir buhar türbinin hızının denetlenmesinde ve çimento fabrikasının işletilmesinde bulanık mantık sisteminin kullanılması konuya olan önemi arttırmıştır (Zadeh, 1978; Mamdani ve Assilian, 1975). Özellikle de Japonya'da bulanık mantık ve sistem kavramlarına önem verilip teknolojik cihaz yapım ve işleyişinde kullanılması sonrasında, bulanık mantık uygulamaları tüm dünyada hızlı bir ivme kazanmıştır.

#### **1.6.3.2.1. Bulanık Küme Yapısı**

Aristo mantığına göre, klasik küme kuramında bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Buna göre kümeye dahil olan elemanın üyelik değeri 1, kümeye dahil olmayan elemanın üyelik değeri 0 olarak kabul edilir. Zadeh'e göre bulanık sistemlerin en temel ögesi olan bulanık küme kuramında ise, bir elemanın üyelik derecesi  $[0,1]$  arasında değişen ondalıklı sayılar olarak tanımlanmaktadır (Zadeh, 1965; Zimmermann, 2001).



Şekil 11. Klasik ve bulanık kümenin grafik gösterimi

Bulanık kümede tam üye olma ve üye olmama durumu sırasıyla, 1 ve 0 değerleriyle belirlenir. Bundan dolayı da klasik küme kavramı bulanık küme kavramının bu iki değerle sınırlandırılmış özel bir şekli olarak görülebilir. Şekil 11’de klasik ve bulanık kümeler örnek gösterilmiştir. E evrensel kümesinde A alt kümesiyle birlikte tüm  $x$  noktaları için üyelik fonksiyonu, elemanların kümeye ait olma derecelerini sıfır ya da bir değerini gösterirken, aynı evrensel kümede B bulanık kümesi için üyelik fonksiyonu değerlerinin sıfır ile bir arasında değiştiği görülmektedir.

### 1.6.3.2.2. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık kümelerin en büyük özelliği, belirsizlik içeren sözel ve sayısal verileri, aynı anda insan düşüncesine en yakın biçimde modelleyebilmesidir. Buna göre, nesnelerin uzunluk, kısalık, soğukluk, sıcaklık, parlaklık vb. gibi sözel niteleyicileri bulanık kümelerin değerlendirilmesinde göz önüne alınmaktadır. Bulanık kümelerin arasındaki sınırlar ve elemanların özellikleri, klasik küme mantığının aksine çok net ve keskin değildir. Küme sınırları genellikle iç içedir.

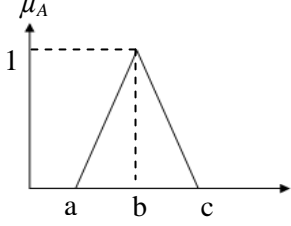
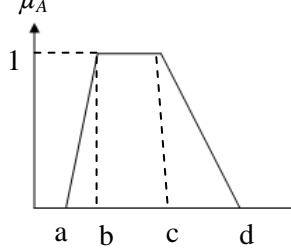
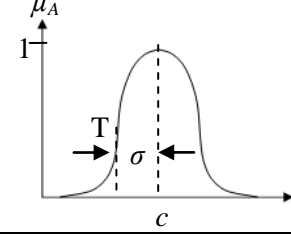
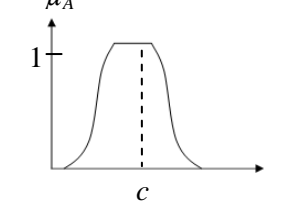
Bulanık kümeleri oluşturan üyelik fonksiyonları biçimsel olarak değişik şekillerde olabilir. Üyelik fonksiyonlarının seçimi tercihe bağlıdır. Tablo 5’de sıklıkla kullanılan üyelik fonksiyonları gösterilmiştir (Jang, 1995). Bu tablodan yamuk üyelik fonksiyonunu



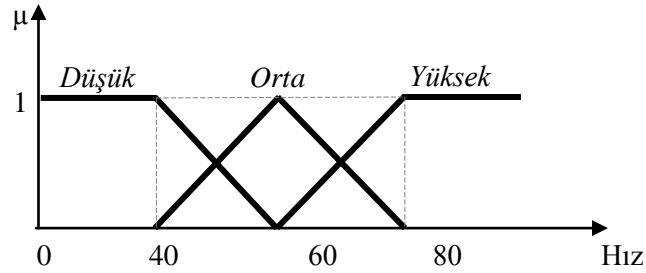
incelediğimizde  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ve  $d$  olmak üzere dört tane sayı ile temsil edildiği görülür. Burada, bulanık kümenin tüm öğelerini içeren  $[a,d]$  aralığı kümenin desteği ve üyelik dereceleri 1'e eşit öğelerin toplandığı  $[b,c]$  aralığı da özü olarak adlandırılır. Ayrıca  $a$  ve  $d$  sayıları bulanık kümenin sırası ile alt ve üst sınırlarını,  $b$  ve  $c$  ise bu iki sayı arasında üyelik derecesi tam olan yamuk sayıların kümesinin sınırlarını gösterir.

Üyelik fonksiyonlarının sahip olması gereken iki özellik vardır. Bunlar normallik ve dışbükeylik özellikleridir. Normal bulanık küme, en azından bir tane üyelik derecesi 1'e eşit olan küme anlamındadır. Dışbükeylik ise üyelik fonksiyonunu sürekli artan, sürekli azalan veya üçgen gibi olması durumunda geçerlidir.

Tablo 5. Bulanık mantıkta kullanılan bazı üyelik fonksiyonları

Fonksiyon Adı	Fonksiyonun Şekli	Matematiksel İfade
Üçgen		$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ x - a / b - a, & a \leq x \leq b \\ c - x / c - b, & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases}$
Yamuk		$\mu_A(x) = \begin{cases} (x - a) / (b - a), & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ (d - x) / (d - c), & c \leq x \leq d \\ 0, & x > d \text{ veya } x < a \end{cases}$
Gauss		$\mu_A(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{c^2}}$
Çan eğrisi		$\mu_A(x) = \left(1 + \left  \frac{x-c}{a} \right ^b\right)^{-1}$

Bulanık küme oluşturmak için, bir arabanın 0-100 km arası hızlarını ifade eden evrensel bir kümeyi örnek alalım. Nitekim “hız” kelimesinin ifade ettiği anlam göreceli olarak kişiden kişiye değişir. Burada “hız” dilsel değişkenine ait “düşük”, “orta” ve “yüksek” dilsel niteleyicilerini kullanarak üyelik fonksiyonları oluşturulabilir. Şöyle ki, “düşük” terimi 40km/h’ nin altında bir hız, ”orta” terimi 60km/h’ye yakın bir hız, ”yüksek” terimi ise 80km/h’den fazla bir hız olarak tanımlandığında, hız değişkenine ait üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi oluşturulabilir (Şekil 12). Dikkat edilirse, örneğin “orta” aralığına düşen hız değerlerinin hepsi aynı önemde değildir. “Orta” aralığının alt ve üst uçlarına yaklaştıkça onun komşusu olan “düşük” ve “yüksek” alt kümelerine doğru geçişler beklendiği için, o geçiş bölgelerine rastlayan kısımların tam anlamı ile “orta” vasfına sahip olacağı söylenemez. Buradan, her bir aralığa düşen hız derecelerinin, o alt aralığın uçlarına yakın kısımlarında, önemlerini ortaya kıyasla göreceli olarak kaybedeceği sonucuna varılır. Ayrıca, önem derecesi en büyük değerlerin o aralığın ortalarında, en düşük değerlerinin ise uçlarda olacağını söyleyebiliriz.



Şekil 12. Hız değişkenine ait üyelik fonksiyonları

### 1.6.3.2.3. Bulanık Küme İşlemleri

Klasik kümelerde tanımlanan temel işlemler bulanık kümeler için de mevcuttur (Şekil 13). E evrensel kümesi üzerinde tanımlanan A ve B kümeleri verilsin. A ve B kümelerinin üyelik fonksiyonları  $\mu_A$ ,  $\mu_B$  olsun.  $A \cap B$  notasyonu ile gösterilen kesişim kümesindeki bir elemanın üyelik derecesi A ve B kümelerinden üyelik derecesi küçük olana eşittir.  $A \cup B$  notasyonu ile gösterilen birleşim kümesindeki elemanların üyelik derecesi, A ve B kümelerinden üyelik derecesi büyük olana eşittir.  $A^c$  notasyonu ile

gösterilen A kümesinin tümleyeni A kümesinin tersi anlamına gelmektedir. Burada anlatılan üç temel işlemle ilgili matematiksel gösterimler aşağıdaki gibidir.

$$A \cap B \Leftrightarrow \mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \forall x \in E \quad (64)$$

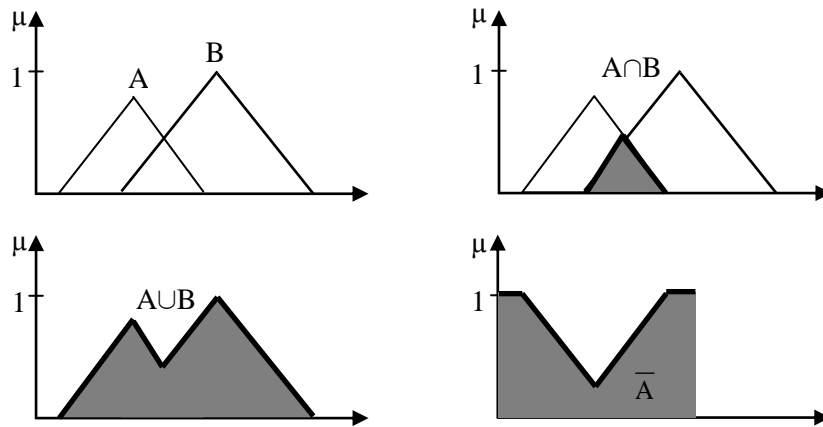
$$A \cup B \Leftrightarrow \mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \forall x \in E \quad (65)$$

$$\bar{A} = \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in E \quad (66)$$

Bu temel işlemlerden başka, aynı evrensel kümede tanımlı A ve B bulanık kümeleri için üyelik fonksiyonlarının eşit olması durumunda bu iki küme için eşit oldukları ( $A = B$ ) kabul edilir. Ayrıca A kümesindeki her bir elemanın üyelik derecesi B kümesindeki üyelik derecesinden küçük veya eşitse A kümesi B kümesinin alt kümesi olduğu ( $A \subseteq B$ ) aşağıdaki eşitliklerde gösterilebilir (Lee, 1990-a).

$$A = B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x), \forall x \in E \quad (67)$$

$$A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x), \forall x \in E \quad (68)$$



Şekil 13. Bulanık kümelerde işlemler

#### 1.6.3.2.4. Bulanık Sistemler

Bulanık kümeler matematiğini kullanan bulanık sistemler, bulanık mantıkla çıkarım ve karar vermeye dayalı çalışma esasları olan sistemlerdir. Hem sayısal, hem de sözel bilgiyi kullanabilme yeteneğinde olan bulanık sistemler, modelleme, veri analizi, öngörü ve denetim gibi alanlarda farklı amaçlarla kullanılmaktadır.

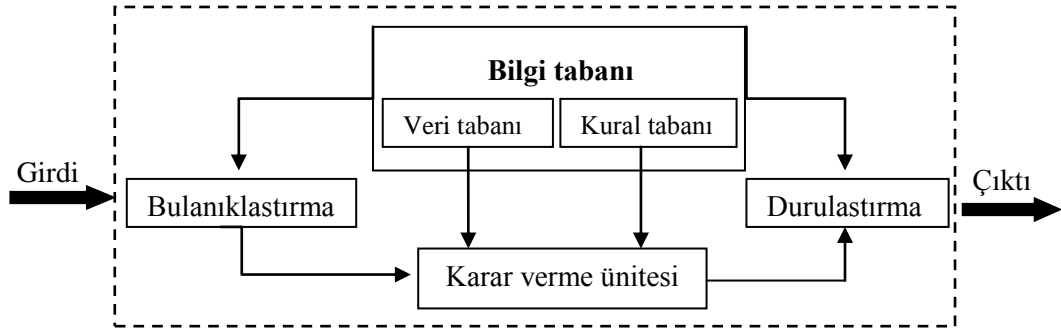
Bulanık sistemler, uzman görüşüne dayandırılan “eğer-ise” şeklinde kurallara göre oluşturulan yapılardır. Bundan dolayı kural tabanlı bulanık sistemler olarak da adlandırılırlar (Jang ve Sun, 1993; Lee, 1990a, 1990b). Şekil 14’de görüldüğü gibi bulanık sistem dört temel bileşenden oluşur.

Bulanıklaştırma biriminde, üyelik fonksiyonlarından yararlanılarak sayısal girdi değerlerinin ait olduğu bulanık küme ve üyelik derecesi tespit edilir. Böylece sayısal girdi değerleri bulanık değerlere çevrilir.

Bilgi tabanı, karar verme ünitesinin de kullandığı bilgileri aldığı veri tabanı ve kural tabanı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Veri tabanı, bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının tanımlandığı kısımdır.

Karar verme ünitesinde, bulanık kavramlara dayalı karar verme işlemi yürütülür.

Durulaştırma biriminde ise bulanık çıkarım sonuçları sayısal değerlere dönüştürülür.



Şekil 14. Bulanık sistemin genel yapısı

##### 1.6.3.2.4.1. Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, girdi verilerinin, bilgi tabanındaki bilgileri kullanarak işlenebilmesi için gerekli işlem adımlarını kapsamaktadır. Bu aşamada, girdi verilerinin ölçeksel olarak eşlenmesi, gürültüye karşı strateji geliştirme ve üyelik fonksiyonunun seçimi söz

konusudur. Ölçeksel eşlenme ile girdi verilerinin uygun bir evrensel kümeye dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Ayrıca gözlemlenen veri rasgele gürültü içerebilir. Sistem işleyişinde girdi verileriyle beraber gürültü miktarı da bulanık sayılara dönüştürülür. Ancak bu durum bir sorun oluşturmaz. Çünkü bulanık sayılar, rasgele değişkenleri daha kolay işleyeceğinden hesaplama etkinliği daha da artar. Şekil 12’de hız değişkeninin bulanık kümelerle ifade edilmesi bulanıklaştırmaya örnek verilebilir.

#### 1.6.3.2.4.2. Bilgi Tabanı

Bulanık mantıkta bilgi işleme için kullanılan çözümlerden bir tanesi de bilgiyi insan diline benzer bir ifade ile temsil etmektir. Bu düşünceden hareketle sayısal verilerin yerine dildeki ifadeler kullanarak, mantıkta yapıldığı gibi hesaplamaların yapılabilmesi amaçlanmaktadır. Örneğin, “Su çok sıcaktır.” cümlesinde “suyun sıcaklığı” dilsel değişken ve “çok” onun değeri olarak düşünülür. “Su sıcaklığı” değişkeni rakam olarak alındığında bu değişkeni matematiksel işlemler içinde kullanmak mümkündür. Ancak, değişkenin değerini kelime (çok) olarak ifade ettiğimizde bu değişkenin işlenmesi klasik matematik kurallarıyla mümkün değildir. Bu sorunu çözmek için dilsel değişken kavramları kullanan bulanık mantık hesabı geliştirilmiştir. Bilgi tabanı kendi içinde kural tabanı ve veri tabanı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

Veri tabanı, giriş-çıkış değişkenlerine ait tanımları, üyelik fonksiyonlarını ve sistemde değişkenler normalize edilmişse bu işlemlerle ilgili bilgileri ve bulanık işlemlerinin tanımlarını kapsar.

Kural tabanında “eğer...ise” şeklinde tanımlanmış kurallar mevcuttur. Bunlar insanın kişisel deneyim ve tecrübelerinden hareketle çıkardıkları bilgilerdir. Örneğin, “eğer hava soğuk ise montumu alırım” ifadesi gibi. Bulanık çıkarım sistemlerinin temeli olan bulanık “eğer...ise” kuralları, öncül ve soncul kısımlardan oluşmaktadır. Öncül kısımda sonuca sebep olan giriş değişkenleri ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler, soncul kısımda ise bu giriş değişkenlerine bağlı olarak ortaya çıkan sonuç değişkenleri yer alır. Buna göre yukarıdaki örneğin “hava soğuk” kısmı bize öncül bilgiyi verirken, “montumu alırım” kısmı ise havanın soğuk olmasından dolayı yapılan bulanık çıkarım sonucunu göstermektedir. Bu yapıyı genelleştirecek olursak, “eğer koşul ise sonuç” şeklinde yargıya ulaşırız. Bu yapının öncül kısmında  $X_i$ ,  $Y_m$  gibi birden fazla tanım alanında tanımlı

Eğer  $A_j \in X_i$  ve  $B_n \in Y_m$  ise sonuç (69)

biçiminde önermeler olduğunda bu iki önermeyi birleştirerek tek bir önermeye dönüştürmek için bulanık “VE” işlemi kullanılır.

Bir bulanık sistem içindeki kuralların sayısı ve doğruluğu, sistemin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bir bulanık sistem çözümünde toplam kural sayısı, sistemi karakterize eden bulanık alt kümelerin sayılarının çarpımlarının toplamına eşittir. İki girdi ve tek çıktı değişkeninden oluşan basit bir bulanık sistem ele alındığında, her bir girdi değişkeninin dört bulanık küme ile ifade edildiği varsayılırsa tüm girdi uzayını kavrayan bulanık kural sayısı 16 olacaktır (Akyılmaz, 2005; Elmas, 2003; Şen, 2001).

#### 1.6.3.2.4.3. Durulaştırma

Bulanık mantık kullanılarak oluşturulan modellerle elde edilen bulanık sayıların, bu günün teknolojisinde doğrudan kullanılması mümkün değildir. Bu nedenle durulaştırma aşamasında, bu değerlerin sayısal değerlere dönüşüm işlemi yapılmaktadır. Bu amaçla kullanılan yöntemlere de durulaştırma yöntemleri denir. Literatürde çok çeşitli durulaştırma yöntemleri mevcut olup, uygulamalarda karşılaşılan yöntemlerden bazıları şunlardır (Pfluger vd., 1992; Fullér, 1995; Mogharreban ve Dilalla, 2006).

En büyüklerin en küçüğü yöntemi: Tüm çıktıların birleşimi olarak elde edilen bulanık kümede maksimum üyelik derecesine sahip  $z_i$  değerlerinden minimum değerde olanıdır.

En büyüklerin en büyüğü yöntemi: Bulanık kümeler ile ilgili işlemlerde tüm çıktıların birleşimi olarak elde edilen bulanık kümede, maksimum üyelik derecesine sahip  $z_i$  değerlerinden en büyük olanıdır.

En büyüklerin ortalaması yöntemi: Tüm çıktıların birleşimi olarak elde edilen bulanık kümede, maksimum üyelik derecesine sahip  $z_i$  değerlerinin aritmetik ortalaması şeklinde hesaplanır.

$$z_0 = \sum_{i=1}^k \frac{z_i}{k} \quad (70)$$

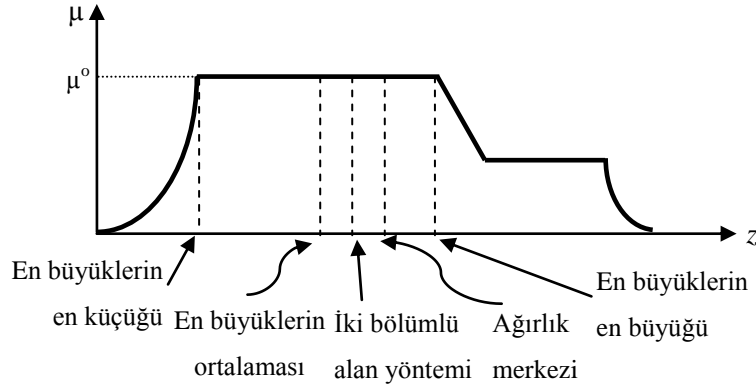
Ağırlık merkezi yöntemi: Alan merkezi veya sentroid yöntemi olarak da bilinen yöntem için dönüşüm işlemi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$z_0 = \frac{\int_z \mu_c(z) z dz}{\int_z \mu_c(z) dz} \quad (71)$$

İki bölümlü alan yöntemi: Bu yöntem, aynı alanlı iki bölgeye ayıran bir  $z_0$  değeri oluşturur.

$$z_0 = \int_{\alpha}^z \mu_A(z) dz = \int_z^{\beta} \mu_A(z) dz \quad (72)$$

Şekil 15'de konuda anlatılan durulaştırma yöntemlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları ağırlık merkezi ve en büyüklerin ortalaması yöntemleridir. (Lee, 1990b; Yager ve Filev, 1993).



Şekil 15. Durulaştırma yöntemlerinin grafiksel gösterimi

#### 1.6.3.2.5. Bulanık Çıkarım Sistemleri

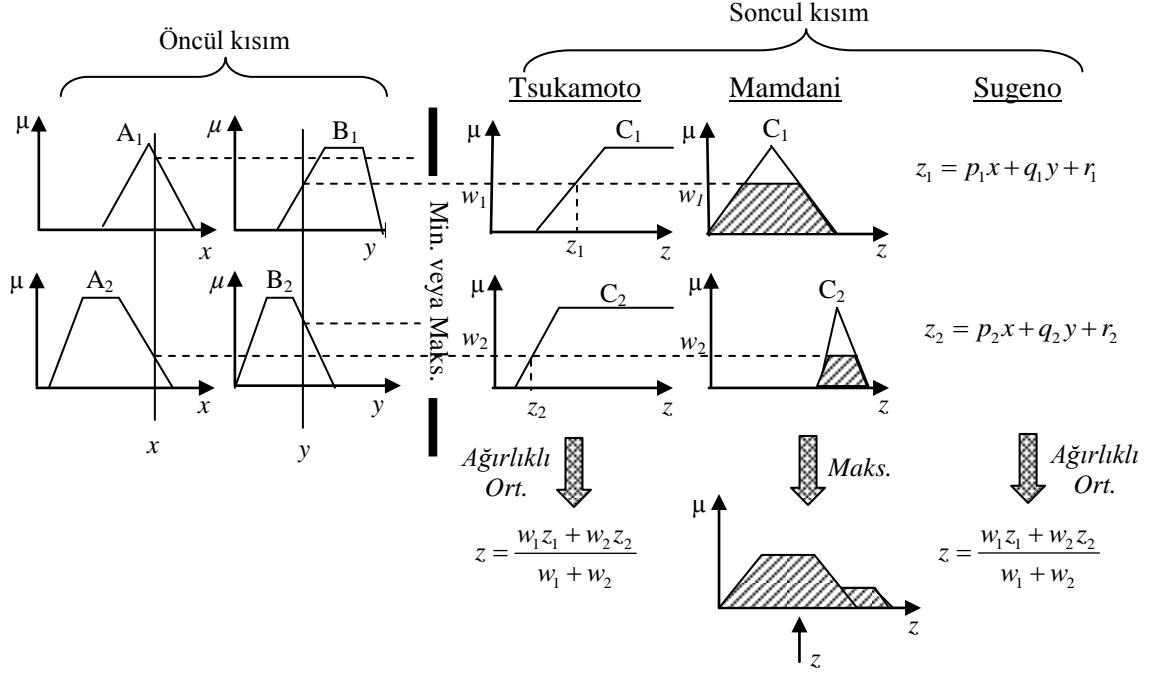
Bulanık çıkarım sistemi, eldeki bilgileri kullanarak yeni bilgi elde etmek için, giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulu ilişkileri bir araya toplayarak sistemin tek çıkış değeri verecek şekilde işleyişini sağlayan işlemler topluluğunun oluşturduğu mekanizmadır. Uygulamada en çok kullanılan bulanık çıkarım sistemleri, Mamdani,

Tsukamoto ve Sugeno tipi sistemlerdir (Mamdani ve Assilian, 1975; Takagi ve Sugeno, 1985; Tsukamoto, 1979; Sugeno ve Kang, 1988). Şekil 16'da her üç modelin işleyişi gösterilmektedir (Kamyar, 2008). Diğer bulanık modellerin temelini oluşturan Mamdani yöntemi, uygun üyelik fonksiyonlarının seçiminin ve optimizasyonunun kullanıcı tarafından belirlendiği uygulaması kolay, yaygın kullanım alanına sahip bir yöntemdir. Mamdani yönteminde sistemin çıkışı üyelik fonksiyonudur. Tsukamoto yönteminde her bir kural soncul kısmında keskin sayısal bir değerle sonuçlandırıldığından sistemin tek bir çıktı değerini elde etmek için her bir kuralın çıkışının ağırlıklı ortalamaları alınır. Sugeno yöntemi ise Takagi, Sugeno ve Kang tarafından teklif edilmiştir. Bundan dolayı, Takagi-Sugeno-Kang ya da Takagi-Sugeno yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Yöntemde veri tabanındaki girdiler birer sayı ve bulanık kural çıkarım motorunun çalışması sonunda elde edilen çıktılar ise girdilerin bir fonksiyonu şeklindedir. Benzer özellikleri olmakla beraber Sugeno yönteminin diğer iki yöntemden farkı, çıkış üyelik fonksiyonunun lineer veya doğrusal olmasıdır. Sugeno bulanık modelinde tipik bir bulanık kural,

$$\text{Eğer } x \in A \text{ ve } y \in B \text{ ise } z = f(x,y) \quad (73)$$

biçiminde gösterilir. Eşitlikte geçen A ve B öncül kısımdaki bulanık kümeler olup,  $z=f(x,y)$  ise soncul kısımda  $x,y$  giriş değişkenleri olan keskin fonksiyondur. Bu fonksiyon ( $z=f(x,y)$ ) birinci dereceden bir polinom olduğunda bulanık çıkarım sistemine birinci dereceden Sugeno Bulanık Model, sabit olduğunda sıfırıncı dereceden Sugeno bulanık modeli adı verilir.





Şekil 16. Tsukamoto, Mamdani ve Sugeno bulanık çıkarım sistemleri

### 1.6.3.2.6. Bulanık Mantık ve Sinir Ağı

Yapısal olarak çok farklı algoritmalara sahip sinir ağları ve bulanık sistemler için, birbirlerini tamamlayan iki önemli teknoloji olduklarını söyleyebiliriz. Şöyle ki, karakteristik özellikleri gereği esnek hesaplama algoritmasına sahip sinir ağları, veriden öğrenebilir. Ancak sinir ağlarıyla sunulan bilgiyi sinir ağlarının kara kutu özelliğinden dolayı anlamak zordur. Buna karşılık bulanık sistemler sözel terimler ve eğer-ise kuralları kullandığı için kolayca anlaşılabilir ve iyi sonuç verirler. Mantıksal alanda avantajlıdır ve yüksek düzeyde kolayca verileri işlemeyi sağlarlar. Bu özelliklere ilaveten kural oluşturmayı kendiliğinden oluşturamama ve öğrenme algoritmalarının olmayışı gibi dezavantajları da vardır.

Yapay zeka tekniklerinin kullanıldığı uygulamalarda beklentilerin karşılanmasına rağmen, bu yöntemlerin daha da geliştirilerek zayıf yönlerinin giderilmesi amacıyla YSA ve BM yöntemlerinin bütünleştirilerek karma sistemler oluşturulması ile ilgili pek çok araştırma yapılmaktadır. Bu düşünceden hareketle genel olarak bulanık sinir ağları ve sinirsel bulanık sistemler olmak üzere iki yaklaşım söz konusudur. Bulanık sinir ağı ile bulanık bilgi işleme yeteneğinde bulanık sinir ağı ifade edilmektedir. Sinirsel bulanık

sistemlerde ise, bulanık sistemin değişkenleri sinir ağlarıyla hesaplanarak, sistemin esneklik, hız ve uyarlanırlık gibi özellikleri artırılması hedeflenmiştir. Bu iki yapıya ilaveten bir de sistem performansını geliştirmek için YSA ve BM'nin beraber kullanıldığı bulanık-sinirsel hibrid sistemler eklenebilir (Baykal ve Beyan, 2004). Bu çalışmada sinirsel bulanık sistemlerinden adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır.

#### 1.6.3.2.6.1. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS)

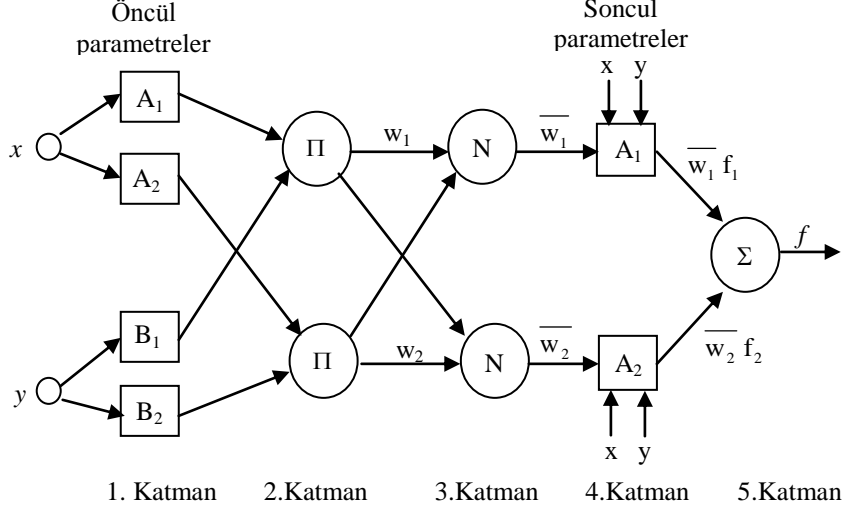
1993 yılında Jang tarafından ortaya atılan adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS-Adaptive Network based Fuzzy Inference Systems), Sugeno bulanık çıkarım sistemine dayalı bir modeldir. Bu yapı yapay sinir ağlarının kendi kendine öğrenebilme yeteneği ile uzman bilgi ve deneyimlerine bağlı pek çok veriyi içeren bulanık kurallar ve üyelik fonksiyonlarından oluşan bulanık çıkarım sistemindeki dilsel ifadeleri kapsamaktadır (Yun vd., 2008). ANFIS ile bulanık mantık çıkarım sistemlerine yapay sinir ağlarının öğrenme ve hesaplama gücü verilebilirken, YSA'lara da bulanık mantık çıkarım sistemlerinin insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama yeteneği kazandırılmış olmaktadır.

ANFIS yapısı için  $x, y$  giriş ve  $f$  çıkış değişkenlerine sahip iki kurallı birinci dereceden Sugeno modeli örnek olarak verilebilir. Şekil 17'de bu örneğe ait ANFIS mimarisi verilmektedir (Jang, 1993). Bu yapıda bir sistemin kuralları aşığıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} \text{Eğer } x = A1 \text{ ve } y = B1 \text{ ise } f_1 &= p_1 x + q_1 y + r_1 \\ \text{Eğer } x = A2 \text{ ve } y = B2 \text{ ise } f_2 &= p_2 x + q_2 y + r_2 \end{aligned} \quad (74)$$

Şekil 17'de görüldüğü gibi ANFIS yapısında 5 adet katman vardır. Katmanlarda kare ve daire gibi farklı şekillere sahip düğümler, değişik işlemlere sahip fonksiyonları içermektedir. Kare şeklinde gösterilen düğümler, uyarlamalı düğümler olarak adlandırılır ve düğümlere ait parametreler ağın eğitimi sırasında ayarlanır. Daire şeklinde gösterilen düğümler ise sabit düğümlerdir (Ying ve Pan, 2008). Aynı katmandaki düğüm fonksiyonları özdeş olup,  $O_i^l$   $l$  katmanındaki  $i$ . düğüm noktasındaki çıktı değeri olmak

üzere, her katmana ait düğüm işlevleri ve katmanların işleyişi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.



Şekil 17. ANFIS yapısı

1.Katman: Bulanıklaştırma katmanıdır. Bu katmandaki her bir karesel düğüm ( $A_i$ ,  $B_i$ ) bulanık kümeyi temsil etmektedir. Katmandaki her bir düğümün çıkışı, giriş değerlerine ve kullanılan üyelik fonksiyonuna bağlı olarak üyelik derecesini göstermektedir. Bu katmandaki üyelik fonksiyonu parametreleri *öncül parametreler* olarak isimlendirilir.  $\mu_{A_i}(x)$  ve  $\mu_{B_i}(y)$  bulanık kümelere ait girdi değerleri için üyelik dereceleri olmak üzere, 1. katmandan elde edilen sonuç değerinin gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} O_i^1 &= \mu_{A_i}(x) \quad i=1,2 \\ O_i^1 &= \mu_{B_{i-2}}(y) \quad i=3,4 \end{aligned} \quad (75)$$

2.Katman: Kural katmanıdır. Bu katmandaki  $\Pi$  ile etiketlenmiş her bir düğüm kural sayısını göstermekte olup, Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemine göre, 1. katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımını ifade etmektedir. Buradaki her bir düğümün çıkışı aynı zamanda kuralın ağırlığı  $w_i$  olarak kabul edilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \quad (76)$$

3.Katman: N ile etiketlenmiş sabit düğümlerin oluşturduğu bu katman normalizasyon katmanı olarak da isimlendirilir. Bu katmandaki her bir düğüm, 2. katmandan gelen tüm düğümleri giriş değeri olarak kabul etmekte ve her bir ağırlığı normlandırmaktadır. Buna göre, her bir  $i$ . Düğümün çıkış değeri,  $i$ . kuralın ağırlık değerinin, bütün kuralların ağırlıkları toplamına oranlayarak (77) nolu eşitliğe göre hesaplar.

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_i w_i} = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2 \quad (77)$$

4.Katman: Bu katmandaki her bir düğümün çıktısı 3.katmandan elde edilen normlandırılmış ağırlık ile birinci derece polinomun basitçe çarpımı olarak (78) eşitliğine göre hesaplanır. Bu katmandaki  $(p_i, q_i, r_i)$  polinom parametreleri “ $i$ . kuralın soncul parametreleri” olarak isimlendirilir.

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (78)$$

5.Katman: Bu katmanda sadece bir düğüm vardır ve  $\sum$  ile etiketlenmiştir. Bu tek düğümün çıktı değerini hesaplamak için, 4.katmandaki her bir düğümün çıkış değerleri toplanır ve sonuçta ANFIS sisteminin gerçek değeri,

$$O_i^5 = f = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (79)$$

biçimindedir. Şekil 17’de gösterilen ANFIS yapısı örneğine göre  $f$  sonuç değeri yukarıdaki formüllerden yola çıkarak soncul parametrelerin lineer kombinasyonu biçiminde aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\begin{aligned}
f &= \overline{w_1} f_1 + \overline{w_2} f_2 = \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2 \\
&= (p_1 \overline{w_1} + q_1 \overline{w_1} + r_1 \overline{w_1}) + (p_2 \overline{w_2} + q_2 \overline{w_2} + r_2 \overline{w_2})
\end{aligned} \tag{80}$$

Bu çalışmada ANFIS sistemi için model parametrelerinin belirlenmesinde “geriye yayılım” yöntemi ve “en küçük kareler” yöntemlerinin birleşiminden oluşan Hibrid öğrenme algoritması kullanılmıştır. Hibrid öğrenme ileri besleme ve geri besleme olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Hibrid öğrenme algoritmasının ileri yön geçişinde giriş parametreleri sabit tutularak en küçük kareler tahmini (EKK) yöntemi kullanılmak suretiyle  $(p_i, q_i, r_i)$  çıkış üyelik fonksiyon parametreleri güncellenmektedir. Geri yön geçişinde ise soncul parametreler sabit tutularak eğitim düşümü yöntemi ile modellemede ağ çıkışında elde edilen hata değeri giriş katmanına kadar geriye doğru yansıtılarak en küçük yapacak şekilde  $(a, b, c)$  giriş üyelik fonksiyonu parametreleri güncelleştirilmektedir (Jang, 1992, 1993; Jang vd., 1997).

## 2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

2005’de yürürlüğe giren Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) kapsamında büyük ölçekli haritacılık çalışmalarında ve mühendislik ölçmelerinde, GPS ile bulunan elipsoit yüksekliğinden ortometrik yüksekliklere dönüşüm için çeşitli yöntemler sunulmaktadır (Deniz vd., 2008). Bu yöntemler:

- Türkiye jeoit modelinin (TG99A) doğrudan kullanılması,
- TG99A jeoit modelinin GPS/nivelman noktaları ile iyileştirilerek kullanılması,
- Yerel GPS/nivelman jeoidinin oluşturularak kullanılması şeklindedir.

Bu yöntemlerden sonucunda, yerel GPS/nivelman jeoidinden yararlanmak için, BÖHHBÜY’e göre sıklaştırma alanını kaplayacak biçimde, elipsoit yükseklikleri ( $h$ ) GPS ile Helmert ortometrik yükseklikleri ( $H$ ) ise geometrik nivelman ile belirlenen bir “Jeoit Dayanak Noktaları Ağı” oluşturulur. Yönetmeliğe göre jeoit dayanak noktalarının oluşturulmasında aşağıdaki esaslar dikkate alınır:

–C1, C2 ve C3 dereceli GPS ağı ile ana ve ara nivelman ağının ortak noktaları alınmalıdır.

–Kütle dağılımını karakterize eden yerlerde (takeometrik alıma benzer biçimde, su toplama ve dağıtma çizgileri üzerinde, tepe ve çukurlarda ve benzeri yerlerde) mutlaka noktalar olmalıdır.

–En az nokta yoğunluğu;  $20 \text{ km}^2$  ye kadar 6 nokta ve bundan sonraki her  $15 \text{ km}^2$ ’ye 1 nokta olmalıdır.

–Jeoit dayanak noktalarının koordinatları en az C2 dereceli nokta esaslarına göre, Helmert ortometrik yükseklikleri ise ana veya ara nivelman ağı ölçme esaslarına göre belirlenirler. Ancak proje alanının  $30 \text{ km}^2$ ’den küçük olması durumunda, jeoit dayanak noktaları ilgili idarenin onayı alınarak C3 derece nokta esaslarına göre belirlenebilir.

–Eğimin %20’den fazla ve ulaşımın güç olduğu jeoit dayanak noktalarının Helmert ortometrik yükseklikleri, ilgili idarenin onayı alınarak, ana ve ara nivelman noktalarından geometrik nivelman veya hassas trigonometrik nivelman tekniğiyle yapılan bağlantı ölçmeleriyle belirlenebilir.

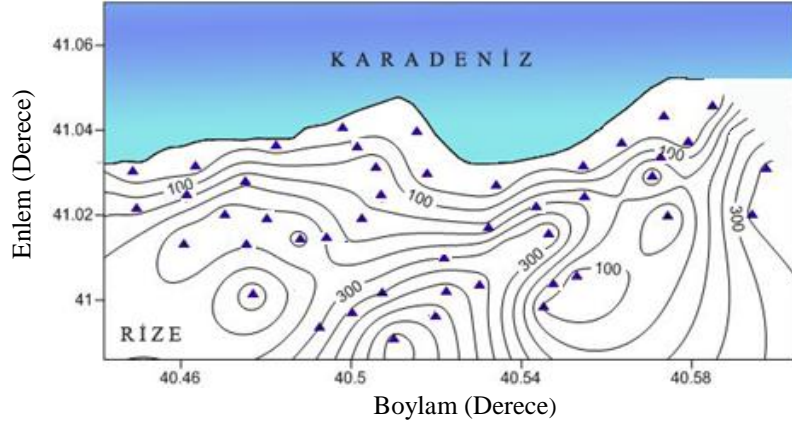
Gerçekleştirilen çalışmada üç farklı test bölgesinde farklı nokta dağılımları ile çeşitli deterministik ve esnek hesaplama yöntemleri ile yerel GPS/nivelman jeoitleri oluşturularak performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Uygulamada kullanılan veriler, İller Bankası Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Uygulamaya konu olan çalışma alanları Şekil 18'deki haritadan da görüldüğü üzere, Rize, Kayseri ve Karaman illeri içerisinde yer almaktadır. Uygulamalara ait tüm hesaplamalar için MATLAB programlama dilinde programlar yazılmıştır. Harita çizimleri de Golden Software Surfer9 paket yazılımında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 18. Çalışma alanlarının yeri

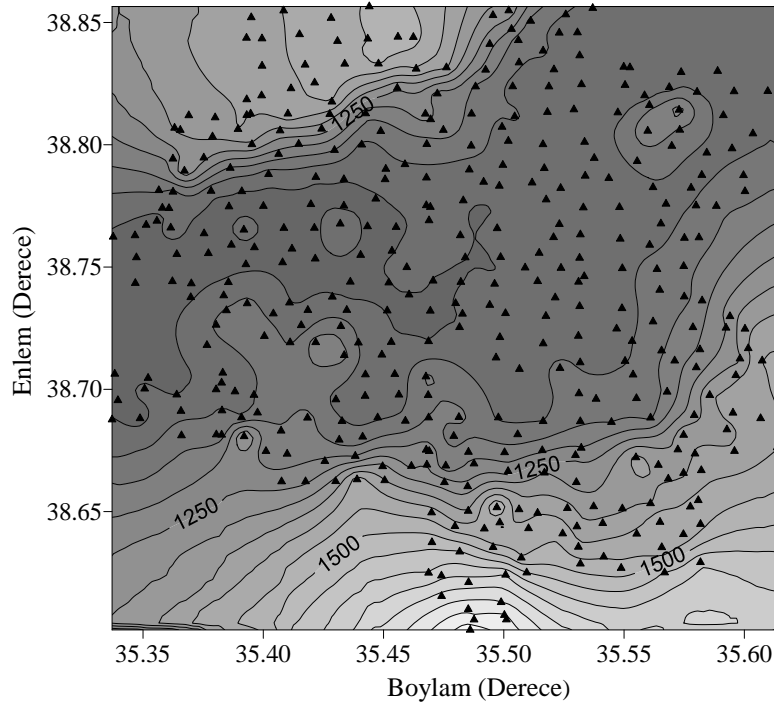
### 2.1. Çalışma Alanlarının Tanıtılması

Çalışma alanlarından birincisi Rize ilinde,  $40^{\circ} 59'$  ile  $41^{\circ} 03'$  enlemleri ile  $40^{\circ} 26'$  ile  $40^{\circ} 36'$  boylamları arasında yer alıp Karadeniz kıyısında kıyı şeridinde paralel uzanmaktadır. Bölgede topoğrafya nispeten eğimin yüksek olduğu bir yapıya sahiptir. Ortometrik yükseklikler 4-568m, jeoit yükseklikler 23.7-24.8m arasında değişmektedir. Uygulama alanındaki 46 GPS/nivelman noktasına Tau yöntemi ile uyumsuz ölçü testi uygulanarak uyumsuz nokta olmadığı görülmüştür. Çalışma alanının topoğrafik yapısı ve noktaların dağılımı Şekil 19'da görülmektedir.



Şekil 19. Rize çalışma alanının topoğrafik yapısı ve bölgedeki GPS/Nivelman noktalarının dağılımı

Çalışma alanlarından ikincisi Kayseri ilinde  $38^{\circ} 36'$  ile  $38^{\circ} 52'$  enlemleri ile  $35^{\circ} 20'$  ile  $35^{\circ} 37'$  boylamları arasında yer almaktadır. Uygulama alanındaki GPS/Nivelman noktalarına ait ortometrik yükseklikler 1030-1890m, jeoit yükseklikleri ise 33.8-35m arasında değişmektedir.

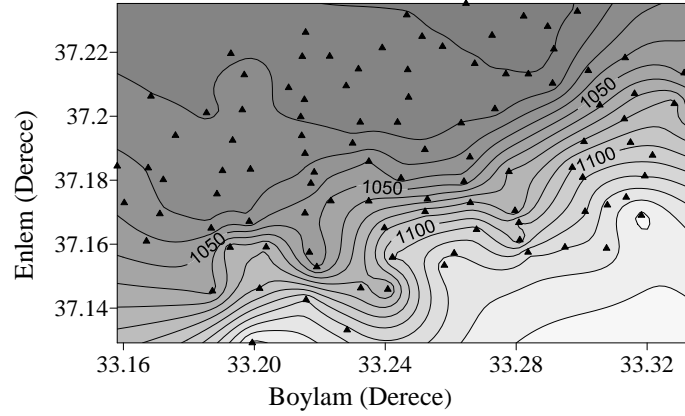


Şekil 20. Kayseri çalışma alanının topoğrafik yapısı ve bölgedeki GPS/Nivelman noktalarının dağılımı



Kayseri çalışma alanındaki 398 GPS/nivelman noktasına istatistiksel Tau uyuşumsuz ölçü testi uygulandığında 7 noktanın uyuşumsuz nokta olduğu görülmüştür. Uyuşumsuz noktalar verilerden çıkartıldığında elde edilen 391 noktanın dağılımı ve çalışma alanının topoğrafik yapısı Şekil 20’de görülmektedir.

Çalışma alanlarından üçüncüsü, Karaman ilinde  $33^{\circ} 09'$  ile  $33^{\circ} 21'$  enlemleri ile  $37^{\circ} 07'$  ile  $37^{\circ} 15'$  boylamları arasında yer almaktadır. Ortometrik yükseklikler 1008 ile 1154m jeoit yükseklikler 33.8-34m arasında değişmektedir. Uygulama alanındaki 108 GPS/nivelman noktasına Tau uyuşumsuz ölçü testi uygulanarak 2 noktanın uyuşumsuz nokta olduğu görülmüştür. Çalışma alanının topoğrafik yapısı ve noktaların dağılımı Şekil 21’de görülmektedir.



Şekil 21. Karaman çalışma alanının topoğrafik yapısı ve bölgedeki GPS/Nivelman noktalarının dağılımı

Ayrıca çalışma alanları ile ilgili detaylı bilgi Tablo 6’da görülmektedir.

Tablo 6. Test alanları ile ilgili genel bilgiler

Genel Bilgi	Rize	Karaman	Kayseri
Alan (km <sup>2</sup> )	6*13km	15*11km	26*28km
Nokta sayısı	46	106	391
Datum	ITRF96, GRS80	ITRF96, GRS80	ITRF96, GRS80
Elipsoidal yükseklik doğruluğu	±3.9cm	±2.1cm	±3.2cm
Geometrik nivelmanın doğruluğu	±2.4cm	±1.5cm	± 1.9cm
Nokta yoğunluğu (nokta/km <sup>2</sup> )	1/1.7	1/1.6	1/1.9
Ortometrik yükseklik değişimi	564m	146m	860m
Jeoit yükseklik değişimi	1.1m	0.15m	1.2m

Bu çalışmada, üç farklı test alanı için yerel GPS/Nivelman jeoit yüzeylerinin belirlenmesinde, çeşitli yöntemlerin performansları değerlendirilerek farklı nokta dağılımlarıyla dayanak nokta yoğunluğunun jeoidin doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Nokta yoğunluğu için, her üç çalışma alanına ait veri sayısına göre ortak olabilecek dayanak nokta sıklığı belirlenmiştir. Buna göre, her üç test bölgesi için yaklaşık 2.5 km<sup>2</sup>'de bir dayanak noktası, BÖHHBÜY'e göre minimum sayıda dayanak noktası ve son olarak da Kayseri test alanında 20 km<sup>2</sup>'de bir dayanak noktası olacak şekilde üç farklı yaklaşım ile modelin dayanak nokta sayıları belirlenmiştir. Buna göre, ilk üç durum için Kayseri test alanında dayanak nokta sayısı, 291, 53, 36 olarak belirlenirken 100 nokta da test noktası olarak belirlenmiştir. Benzer biçimde, yukarıdaki ilk iki türde nokta sıklığına göre Rize test alanı için 31 ve 10 dayanak noktası ile 15 test noktası, Karaman test alanı için de 66 ve 16 dayanak noktası ile 40 test noktası belirlenmiştir. Ayrıca dayanak noktalarının, yüzeyin değişimini iyi karakterize edebilecek homojen dağılım gösteren yerlerde olmasına, test noktaları için de çalışma bölgesi sınırlarının içinde olmasına dikkat edilmiştir. Tüm test bölgeleri için dayanak ve test noktalarının dağılımı Ek Şekil 15-35'de gösterilmektedir. Ayrıca oluşturulan jeoit modeller bölge ismi ve dayanak nokta sayısı ile adlandırılacaktır.

Çalışmada test alanları için yerel jeoit modelleri oluşturmadan önce dayanak ve test noktaları seçimi yapılarak, her iki nokta gurubu için ITRF96 sisteminde bulunan elipsoidal yükseklikler ile nivelman ölçmelerinden elde edilen TUDKA-99 sisteminde bulunan ortometrik yüksekliklerin (5) eşitliğine göre farkı alınıp jeoit yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, her bir bölge için farklı nokta yoğunluklarına göre aşağıdaki yöntemlerle oluşturulan yerel jeoit modellerinin performansı istatistiksel sonuçlarla irdelenmiştir. Kullanılan yöntemler şunlardır:

- Polinomlarla enterpolasyon
- Radyal tabanlı fonksiyonlarla enterpolasyon
- Yapay sinir ağları
- ANFIS

## 2.2. Lokal Jeoit Yüzeyinin Polinomlar ile Modellenmesi

Test bölgeleri için en uygun jeoit yüzeyinin belirlenmesinde, ortogonal ve ortogonal olmayan polinom eşitlikleri (6) ve (7)'den yararlanılmıştır. Yüzey dereceleri birden

başlanarak sırayla arttırılmış ve her bir yüzey için hesaplanan istatistiksel sonuçlar irdelenerek değerlendirilmeler yapılmıştır. Bu istatistiksel değerler içinde belirlilik katsayısı, düzeltilmiş belirlilik katsayısı ve ortalama mutlak hata değeri de mevcuttur.

Oluşturulan yeni jeoit yüzeyin verilere olan uyumunun ne oranda sağlandığını açıklayan belirlilik katsayısı terimi, bağımlı değişken olan jeoit yüksekliğindeki değişimin yüzde ne kadarının bağımsız (x,y) değişkenlerince açıklandığını ifade eder. Belirlilik katsayısı değerleri 0 ile 1 arasında değişmektedir. ( $0 \leq R^2 \leq 1$ ). Bu değer 1'e yaklaştıkça modelin verilere uygunluğu artmaktadır. Polinom denklemindeki (x,y) konum değerleri, bağımsız değişkenler olup, jeoit yükseklik değeri bağımlı değişkeni göstermektedir.

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (l_i - V_i)^2}{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l}_i)^2} \right] \quad (81)$$

Formülde  $n$  dayanak noktası olarak seçilen gözlem sayısını,  $V_i$  regresyon modeli ile hesaplanmış değerleri,  $\bar{l}_i$  gözlemlenen değerlerin ortalamasını gösterir.  $R^2$  kullanımı çoklu modellerde uygun olmamaktadır. Çoklu modellerde, modele yeni bir değişken ilave edildiğinde  $R^2$  değeri her zaman artmaktadır. Payın değeri artarken payda aynı kalmaktadır. Bu nedenle düzeltilmiş çoklu belirlilik katsayısı  $\bar{R}^2$  kullanılıp,

$$\bar{R}^2 = 1 - \left[ \frac{\left( \sum_{i=1}^n (l_i - V_i)^2 \right) / (n - u)}{\left( \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l}_i)^2 \right) / (n - 1)} \right] \quad (82)$$

biçiminde hesaplanabileceği gibi,

$$\bar{R}^2 = 1 - \left[ \frac{(n-1)}{(n-u)} (1 - R^2) \right] \quad (83)$$

şeklinde de hesaplanabilir. Formüllerde geçen  $u$ , seçilen polinom fonksiyonunda bilinmeyen parametre sayısını göstermektedir (Fotopoulos, 2003, Yüzer vd., 2006).

Performans değerlendirmesi için, kullanılan diğer bir kriterde hatanın dağılımı hakkında bilgi veren,

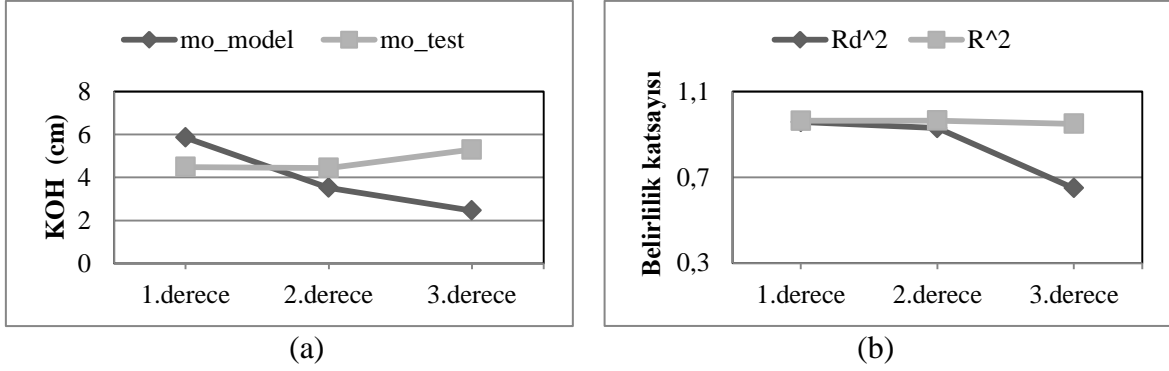
$$OMH = \sum_{i=1}^n \left| (N_{model} - N_{gercek}) / N_{gercek} * 100 \right| \quad (84)$$

eşitliği ile hesaplanan ortalama mutlak hata (OMH) değeridir.

Yöntemin uygulamasında örneğin Rize(31) çalışma alanında, veri sayısı çok fazla olmadığı için birinci dereceden üçüncü dereceye kadar polinom yüzeyleri denenmiştir. Çünkü polinom bilinmeyen katsayılarının hesaplanabilmesi için veri sayısının en az polinom bilinmeyenleri toplamı kadar olması gerekmektedir. Buna göre seçilen polinom derecesine bağlı olarak 31 dayanak noktası ile en küçük kareler yöntemine göre polinom bilinmeyen katsayıları hesaplanmıştır. Polinom katsayılarının anlamlılığını test etmek için istatistiksel t testi kullanılmıştır. t testinde tablo değerinin hesaplanmasında dengelemenin serbestlik derecesi ve güven aralığı parametreleri kullanılmaktadır. t testi için tablo değeri %95 güven aralığında hesaplanmıştır. Polinom bilinmeyen katsayısının test değeri tablo değerinden büyük olursa katsayı anlamlı olarak kabul edilirken test değeri tablo değerinden küçük olan polinom bilinmeyen katsayısı anlamsız kabul edilerek ilgili ifadeden silinmektedir (Wolf and Ghilani, 1997; Şimşek, 1992). Daha sonra bilinen anlamlı polinom katsayıları ile dayanak (model) ve test noktalarındaki jeoit yükseklikleri hesaplanarak GPS/Nivelman ölçü değerlerinden farkları alınmıştır. Elde edilen bu fark değerlerinden minimum, ortalama, maksimum yükseklik fark değerleri, belirlilik katsayıları ( $R^2$ ), düzeltilmiş belirlilik katsayıları ( $\overline{R^2}$ ) ve karesel ortalama hataları hesaplanmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. Rize(31) test alanında GPS/Nivelman jeoidinin polinomlar ile modellenmesinden hesaplanan sonuçlar

Pol. Der.	Veri	min (cm)	ort (cm)	maks (cm)	KOH (cm)	$\overline{R^2}$	$R^2$
1.derece	<i>Model</i>	-11.77	0.00	19.52	5.86	0.9642	0.9666
	<i>Test</i>	-7.30	0.95	10.6	4.49	0.9583	0.9642
2.derece	<i>Model</i>	-7.40	0.00	7.70	3.52	0.9842	0.9879
	<i>Test</i>	-10.62	-0.26	8.34	4.44	0.9298	0.9657
3.derece	<i>Model</i>	-3.90	0.00	5.13	2.46	0.9902	0.9941
	<i>Test</i>	-9.91	-0.48	10.46	5.30	0.6502	0.9500



Şekil 22. Rize(31) test alanında GPS/Nivelman jeoidinin farklı derecede polinomlarla belirlenmesinde a)Model ve test noktaları için elde edilen KOH değerlerinin karşılaştırılması b)Test noktalarına ait belirlilik ve düzeltilmiş belirlilik katsayılarının değerlerin karşılaştırılması

Tablo 7’de gösterilen değerler incelendiğinde model için doğruluk değerlerinin  $\pm 2.46\text{cm}$  ile  $\pm 5.86\text{cm}$  arasında değişmekte olduğu, test noktaları için doğruluk değerlerinin ise  $\pm 4.49\text{cm}$  ile  $\pm 5.30\text{cm}$  arasında değiştiği görülmüştür. Bu değerlerin grafik olarak gösterimi Şekil 22a’dadır. Ayrıca test noktaları için farklı derecedeki polinom yüzeyleriyle elde edilen jeoit yüksekliği değerlerinin ölçü ile elde edilen jeoit yüksekliği değerlerine uyumu, belirlilik katsayıları ve düzeltilmiş belirlilik katsayıları ile Şekil 22b’de görülmektedir. Tüm değerler incelendiğinde çalışma bölgesine en iyi yaklaşım gösteren polinomun, ortogonal olmayan ikinci dereceden polinom olduğu görülmüştür ve formüsel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$N(x, y) = a_{00} + a_{01}y + a_{02}x^2 + a_{10}x + a_{11}xy \quad (85)$$

(7) eşitliğine göre ortogonal olmayan ikinci dereceden polinomun genel ifadesindeki toplam katsayısı dokuz tane olup polinom katsayıları için anlamlılık testi yapıldığında 4 tanesinin anlamsız olduğu görülmüştür ve polinomdan çıkartılmıştır. Bu yüzey için kullanılan polinomun katsayı değerleri Tablo 8’de sunulmuştur.

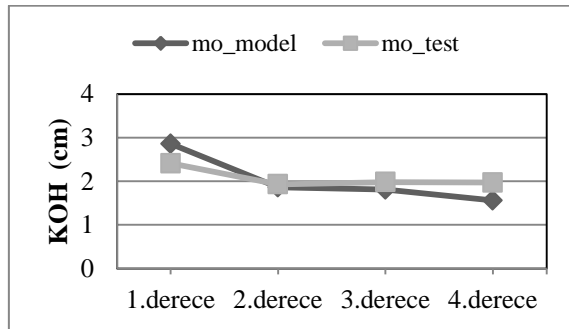
Tablo 8. Rize(31) test alanını en iyi temsil eden ikinci derece polinomun anlamlı polinom katsayıları ve doğruluk değerleri (m)

Polinom katsayı ve doğruluk değerleri					
$a_{00}$	$0.141 \pm 0.089$	$a_{02}$	$0.895 \pm 0.362$	$a_{11}$	$5.012 \pm 1.295$
$a_{01}$	$-0.810 \pm 0.363$	$a_{10}$	$-2.302 \pm 0.233$		

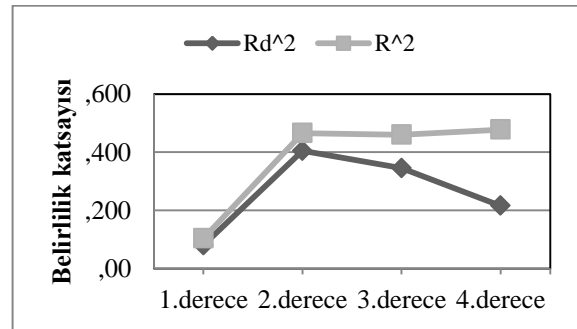
Test alanlarımızdan 66 dayanak noktasına ve 40 test noktasına sahip Karaman(66) test alanında GPS/Nivelman ölçülerinden lokal jeoit yüzeyi oluşturmak için birinci dereceden dördüncü dereceye kadar polinom yüzeyleri denenmiş olup istatistiksel sonuçları karşılaştırıldığında test bölgesine en iyi uyan yüzeyin ortogonal olmayan ikinci dereceden polinom yüzeyi olduğu görülmüştür. Bu yüzeylere ait sonuçlar Tablo 9’da gösterilmektedir.

Tablo 9. Karaman(66) test alanında GPS/Nivelman jeoidinin polinomlar ile modellenmesinden hesaplanan sonuçlar

<i>Pol. Der.</i>	<i>Veri</i>	<i>min (cm)</i>	<i>ort (cm)</i>	<i>maks (cm)</i>	<i>KOH (cm)</i>	$\overline{R^2}$	$R^2$
1.derece	<i>Model</i>	-7.78	0.00	5.99	2.86	0.1573	0.1703
	<i>Test</i>	-5.98	0.22	4.49	2.41	0.0798	0.1034
2.derece	<i>Model</i>	-4.85	0.00	4.71	1.86	0.6242	0.6470
	<i>Test</i>	-3.4	0.31	4.32	1.93	0.4046	0.4657
3.derece	<i>Model</i>	-5.28	0.00	4.2	1.81	0.6278	0.6679
	<i>Test</i>	-3.65	0.40	3.8	1.96	0.3452	0.4627
4.derece	<i>Model</i>	-4.19	0.00	3.46	1.56	0.6600	0.7541
	<i>Test</i>	-4.75	0.65	3.70	1.97	0.2155	0.4776



(a)



(b)

Şekil 23. Karaman(66) test alanında GPS/Nivelman jeoidinin farklı derecede polinomlarla belirlenmesinde a)Model ve test noktaları için elde edilen KOH değerlerinin karşılaştırılması b)Test noktalarına ait belirlilik ve düzeltilmiş belirlilik katsayılarının değerlerin karşılaştırılması

Karaman(66) test alanı için dört farklı polinom yüzeyi ile lokal jeoit yüzeyinin belirlenmesi ile elde edilen Tablo 9’daki istatistiksel değerler incelendiğinde model için

doğruluk değerlerinin  $\pm 1.56\text{cm}$  ile  $\pm 2.86\text{cm}$  arasında değiştiği, test noktaları için ise  $\pm 1.93\text{cm}$  ile  $\pm 2.41\text{cm}$  arasında değiştiği görülmüştür (Şekil 23-a). Ayrıca test noktalarının farklı derecedeki polinom yüzeyleriyle elde edilen jeoit yüksekliği değerlerinin gerçek jeoit yüksekliği değerlerine uyumunu gösteren belirlilik katsayıları ve düzeltilmiş belirlilik katsayıları ile ilgili olarak Şekil 23b'ye bakıldığında çalışma alanına en iyi yaklaşım gösteren polinomun, ortogonal olmayan ikinci dereceden polinom olduğu görülmektedir. Bu yüzeye ait toplam polinom katsayısı dokuz tane olup polinom katsayıları için anlamlılık testi yapıldığında 4 tanesinin anlamsız olduğu görüldüğünden polinomdan çıkartılmıştır. Tablo 10'da polinomun katsayı değerleri sunulmuş olup formüsel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$N(x, y) = a_{00} + a_{02}y^2 + a_{10}x + a_{21}x^2y + a_{22}x^2y^2 \quad (86)$$

Tablo 10. Karaman(66) test alanını en iyi temsil eden ikinci derece polinomun anlamlı polinom katsayıları ve doğruluk değerleri (m)

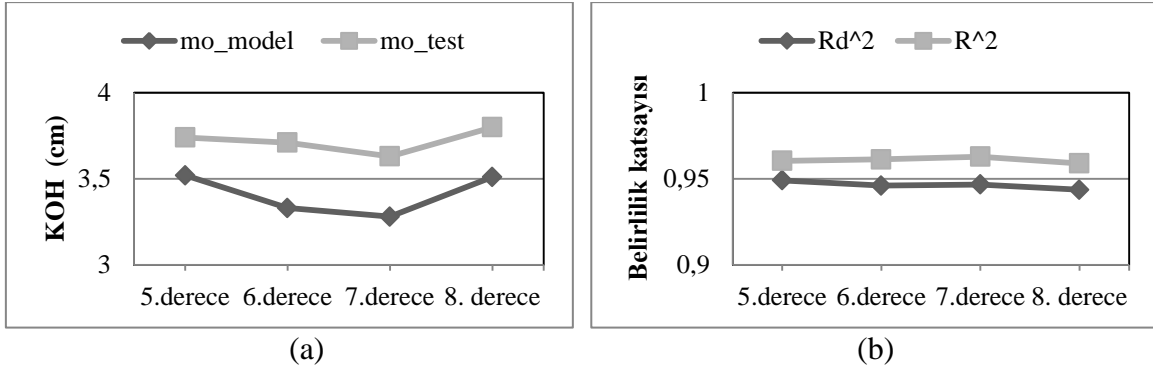
Polinom katsayı ve doğruluk değerleri					
$a_{00}$	$0.876 \pm 0.009$	$a_{10}$	$0.130 \pm 0.019$	$a_{22}$	$0.135 \pm 0.022$
$a_{02}$	$0.024 \pm 0.005$	$a_{21}$	$-0.252 \pm 0.033$		

291 dayanak noktasına ve 100 test noktasına sahip Kayseri(291) test alanında diğer bölgelere nispeten dayanak nokta sayısı fazla olduğundan polinomlarla GPS/Nivelman ölçülerinden lokal jeoit yüzeyi oluşturmak için birinci dereceden sekizinci dereceye kadar polinom yüzeyleri denenmiştir. Ancak, Tablo 11'de 5, 6, 7 ve 8. derece polinom yüzeyleriyle elde edilen istatistiksel değerler gösterilmiştir.

Tablo 11'de gösterilen değerler incelendiğinde model için hesaplanmış doğruluk değerlerinin  $\pm 3.28\text{cm}$  ile  $\pm 3.52\text{cm}$  arasında değişmekte olduğu, test noktaları için ise  $\pm 3.63\text{cm}$  ile  $\pm 3.80\text{cm}$  arasında değiştiği görülmüştür. Bu değerlerin grafik olarak gösterimi Şekil 24 a' ve b dedir. Bu değerleri göz önüne alarak gerek model gerekse test noktaları için karesel ortalama hata değerinin polinomun derecesini ne kadar arttırırsak arttırılabilir belli bir değer altına düşmediği görülmektedir. Bunun sebebi olarak, hesaplanan jeoit yüzeyinin gerçek yüzeyi yeterince yansıtmadığı, modeli oluştururken ölçü olarak kullanılan jeoit yüksekliklerinin belli miktarda hata ile yüklü olması ve polinom derecesi arttıkça yüzeyde gereksiz salınımların ortaya çıkması söylenebilir.

Tablo 11. Kayseri(291) test alanında GPS/Nivelman jeoidinin polinomlar ile modellenmesinden hesaplanan sonuçlar

Pol. Der.	Veri	min (cm)	ort (cm)	maks (cm)	KOH (cm)	$\overline{R^2}$	$R^2$
5.derece	Model	-10.13	0.00	11.13	3.52	0.9667	0.9692
	Test	-13.44	0.49	11.24	3.74	0.9491	0.9604
6.derece	Model	-8.98	0.00	10.50	3.33	0.9694	0.9724
	Test	-13.39	0.55	10.05	3.71	0.9461	0.9613
7.derece	Model	-8.93	0.00	10.04	3.28	0.9702	0.9733
	Test	-13.1	0.51	10.49	3.63	0.9467	0.9628
8.derece	Model	-9.76	0.00	11.91	3.51	0.9663	0.9694
	Test	-13.87	0.51	12.40	3.80	0.9436	0.9590



Şekil 24. Kayseri(291) test alanında GPS/Nivelman jeoidinin farklı derecede polinomlarla belirlenmesinde a) Model ve test noktaları için elde edilen KOH değerlerinin karşılaştırılması b) Test noktalarına ait belirlilik ve düzeltilmiş belirlilik katsayılarının değerlerin karşılaştırılması

Kayseri(291) test alanı için Tablo 11 ve Şekil 24'e bakıldığında yedinci derece polinom yüzeyinin dayanak ve test noktalarına daha iyi yakınsadığı görülmektedir. Ortogonal olmayan yedinci dereceden polinomun (7) eşitliğine göre açılımındaki toplam katsayısı atmışdört tane olup polinom katsayıları için t testi ile anlamlılık testi yapıldığında otuzdört tanesinin anlamsız olduğu görülmüştür ve polinomdan çıkartılmıştır. Bu yüzey için kullanılan 30 terimli ortogonal olmayan yedinci dereceden polinomun formüsel gösterimi aşağıda mevcut olup, katsayı değerleri Tablo 12'de sunulmuştur.



$$\begin{aligned}
N(x, y) = & a_{00} + a_{01}y + a_{05}y^5 + a_{06}y^6 + a_{11}xy + a_{12}xy^2 + a_{14}xy^4 + a_{17}xy^7 + a_{27}x^2y^7 \\
& + a_{31}x^3y^1 + a_{36}x^3y^6 + a_{42}x^4y^2 + a_{44}x^4y^4 + a_{46}x^4y^6 + a_{47}x^4y^7 + a_{50}x^5 \\
& + a_{51}x^5y^1 + a_{55}x^5y^5 + a_{57}x^5y^7 + a_{60}x^6 + a_{62}x^6y^2 + a_{66}x^6y^6 + a_{67}x^6y^7 \\
& + a_{70}x^7 + a_{71}x^7y^1 + a_{72}x^7y^2 + a_{74}x^7y^4 + a_{75}x^7y^5 + a_{76}x^7y^6 + a_{77}x^7y^7
\end{aligned} \quad (87)$$

Tablo 12. Kayseri(291) test alanını en iyi temsil eden yedinci derece polinomun anlamlı polinom katsayıları ve doğruluk değerleri (m)

Polinom katsayı ve doğruluk değerleri							
$a_{00}$	1.17 ±0.021	$a_{31}$	0.627±0.078	$a_{51}$	-0.222±0.034	$a_{71}$	0.021±0.006
$a_{01}$	0.99 ±0.043	$a_{36}$	-0.199±0.041	$a_{55}$	0.152±0.033	$a_{72}$	-0.022±0.007
$a_{06}$	0.136 ±0.018	$a_{37}$	-0.196±0.077	$a_{57}$	-0.138±0.033	$a_{74}$	0.013±0.006
$a_{11}$	-1.119 ±0.113	$a_{42}$	0.139±0.047	$a_{60}$	0.101±0.015	$a_{75}$	-0.021±0.007
$a_{12}$	-0.615 ±0.111	$a_{44}$	-0.293±0.050	$a_{62}$	0.045±0.014	$a_{76}$	0.024±0.005
$a_{14}$	0.561±0.061	$a_{46}$	0.149±0.034	$a_{66}$	-0.073±0.013	$a_{77}$	-0.010±0.002
$a_{17}$	-0.093±0.021	$a_{47}$	0.193±0.064	$a_{67}$	0.058±0.011		
$a_{27}$	0.183±0.056	$a_{50}$	-0.106±0.015	$a_{70}$	-0.023±0.004		

Buraya kadar yapılan işlemler her üç test alanında nokta dağılımı  $2.5\text{km}^2$ 'ye bir nokta olacak şekilde dayanak noktalarının belirlenerek polinom fonksiyonlarla yerel jeoit yüzeylerinin oluşturulması ile ilgiliydi. Aynı test alanlarında nokta yoğunluğu azaltılarak jeoit yüzeyleri belirlemeye devam edildi. Her yüzeyle ilgili elde edilen en uygun polinoma ait bilinmeyen katsayıları ve doğruluk değerleri Ek Tablo 1, 2, 3 ve 4'de mevcuttur. Elde edilen tüm sonuç değerler de Tablo 13'de sunulmaktadır. Tablodaki değerler nokta yoğunluğu ve test noktalarının doğruluğu açısından incelendiğinde nokta yoğunluğu arttıkça test noktalarının doğruluk değerlerinde iyileşme olduğu rahatlıkla görülmektedir. Bu, beklenen bir durumdur. Çünkü modellenecek yüzey ne kadar sık noktalarla temsil edilirse oluşturulacak yüzey, gerçek yüzeye daha iyi yakınsar. Şöyleki, otuzbir dayanak noktasına sahip Rize(31) test bölgesinde uygun olduğu tespit edilen ikinci dereceden polinom ile jeoit yüzeyi oluşturulduğunda test noktalarının doğruluk değeri  $\pm 4.44\text{cm}$  iken, aynı bölgede on dayanak noktası ve ikinci derece polinom ile oluşturulan jeoit yüzeyine göre test noktaları için elde edilen doğruluk değeri  $\pm 4.69\text{cm}$ 'dir.

Tablo 13. Tüm test alanlarında GPS/Nivelman jeoidinin polinomlar ile modellenmesinden hesaplanan sonuçlar

Test Alanları	Pol. Der.	Veri	min (cm)	ort (cm)	maks (cm)	KOH (cm)	$R^2$	OMH
Rize(31)	2.derece	<i>Model</i>	-7.40	0.00	7.70	3.52	0.9879	0.1142
		<i>Test</i>	-10.62	-0.26	8.34	4.44	0.9657	0.1333
Rize(10)	2.derece	<i>Model</i>	-5.86	0.00	6.17	3.75	0.9865	0.1341
		<i>Test</i>	-13.66	0.53	6.44	4.69	0.9618	0.1362
Karaman(66)	2.derece	<i>Model</i>	-4.85	0.00	4.71	1.86	0.6470	0.0435
		<i>Test</i>	-3.4	0.31	4.32	1.93	0.4657	0.0449
Karaman(36)	2.derece	<i>Model</i>	-2.28	0.00	2.10	1.21	0.8874	0.0128
		<i>Test</i>	-4.22	0.37	4.17	1.98	0.5233	0.0458
Kayseri(291)	7.derece	<i>Model</i>	-8.93	0.00	10.04	3.28	0.9733	0.0737
		<i>Test</i>	-13.1	0.51	10.49	3.63	0.9628	0.0824
Kayseri(53)	4.derece	<i>Model</i>	-9.92	0.00	11.38	4.31	0.9573	0.0947
		<i>Test</i>	-16.14	1.08	8.90	4.43	0.9465	0.0973
Kayseri(16)	4.derece	<i>Model</i>	-11.04	0.00	9.94	3.99	0.9701	0.1925
		<i>Test</i>	-18.11	0.73	9.47	4.88	0.9389	0.1093

### 2.3. Lokal Jeoit Yüzeyinin Radyal Tabanlı Fonksiyonlar ile Modellenmesi

Çalışmanın bu kısmında bölüm 1’de anlatılan radyal tabanlı fonksiyonlardan en çok kullanılanları multikuadrik ve ince tabakalı splayn fonksiyonlar ile lokal GPS/Nivelman jeoidinin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle (15) formülündeki trend yüzeyinin sonuçlar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla trend yüzeyi birinci dereceden beşinci dereceye kadar değiştirilerek yerel jeoit yüzeyleri oluşturulmuştur. Hesaplamalarda multikuadrik fonksiyon için geometrik parametre değeri sıfır olarak alınmıştır. Elde edilen değerler Tablo 14’de sunulmuştur.

Nokta dağılımı yüksek çalışma alanlarında, multikuadrik ve ince tabakalı splayn fonksiyonları ile oluşturulan lokal jeoit yüzeylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde trend yüzey derecesi artışının sonuçlar üzerinde belirgin bir iyileştirme göstermediği aksine birinci ve ikinci dereceden lineer yüzeylerin yeterli doğrulukta sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 14. Çalışma alanlarında farklı derecedeki trend yüzeye sahip multiküadrik ve ince tabakalı splayn fonksiyonları ile elde edilen sonuçlar

RTF türü	KOH (cm)				
	1.derece	2.derece	3.derece	4.derece	5.derece
Multiküadrik					
Rize(31)	4.69	4.84	5.01	4.70	4.86
Karaman(66)	2.20	2.20	2.18	2.24	2.29
Kayseri(291)	3.55	3.55	3.55	3.55	3.56
	KOH (cm)				
İnce tabakalı splayn	1.derece	2.derece	3.derece	4.derece	5.derece
Rize(31)	5.17	5.08	5.08	4.80	4.92
Karaman(66)	2.38	2.39	2.38	2.35	2.41
Kayseri(291)	3.83	3.82	3.83	3.83	3.83

Multiküadrik enterpolasyon formülünde  $\delta$  geometrik parametre değeri keyfi bir değerdir. Dayanak nokta sayısı, dayanak noktalarının dağılımı, RTF türü ve bilgisayarın hesaplama hassasiyeti gibi pek çok etkenlere bağlı olarak değişen  $\delta$  parametresi için çeşitli formüller önerilmiştir. Tablo 2’de Hardy (1990), Franke (1979), Fassaurer (2002), Schul’min ve Mitel’man (1974) tarafından sunulan formüller bulunmaktadır.

Uygulamada dayanak nokta sayısının ve yoğunluğunun  $\delta$  geometrik parametresinin hesabında önemli olduğundan yola çıkarak,  $n$  dayanak nokta sayısı,  $s$  çalışma alanındaki dayanak noktaları arasındaki en kısa mesafelerin ortalaması olma üzere, tekrarlı denemeler sonucunda hesaplanan jeoit yüzeylerine ait doğruluk değerleri göz önüne alınarak  $\delta$  geometrik parametre değeri için,

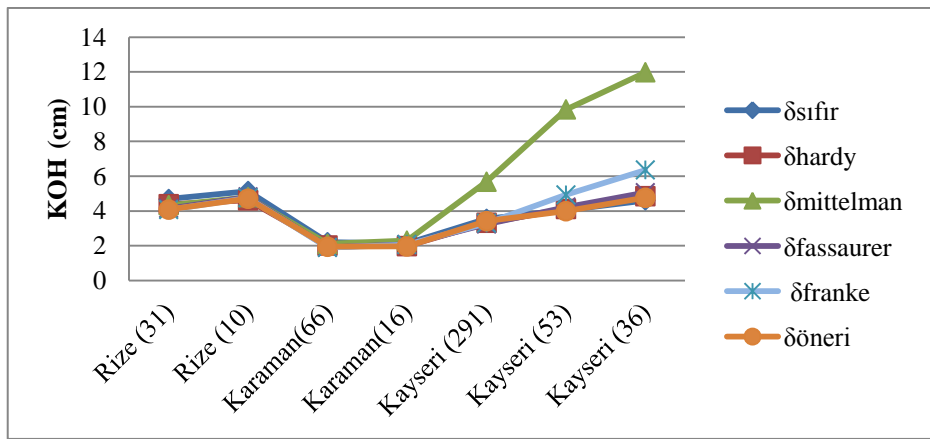
$$\delta = 2.5 s / \sqrt{n} \quad (88)$$

eşitliği önerilmiştir. Bununla birlikte diğer yazarlarca önerilen Tablo 2’deki  $\delta$  parametre değerleri ile de GPS/Nivelman ölçülerinden jeoit yüzeyleri oluşturularak test noktaları için KOH değerleri Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15. Tüm test alanlarında GPS/Nivelman jeoidinin farklı  $\delta$  geometrik parametrelili multikvadrik fonksiyon ile modellenmesiyle test noktalarında elde edilen sonuçlar

Test Alanları	KOH (cm)					
	$\delta_{\text{sıfır}}$	$\delta_{\text{Hardy}}$	$\delta_{\text{Mittelman}}$	$\delta_{\text{Fassaurer}}$	$\delta_{\text{Franke}}$	$\delta_{\text{Öneri}}$
Rize(31)	4.69	4.38	4.33	4.15	4.07	4.08
Rize(10)	5.14	4.61	4.79	4.80	4.75	4.71
Karaman(66)	2.20	2.01	2.11	1.90	1.90	1.94
Karaman(16)	2.14	1.98	2.30	2.07	2.06	1.96
Kayseri (291)	3.55	3.32	5.69	3.24	3.29	3.42
Kayseri (53)	4.04	4.10	9.84	4.21	4.92	3.99
Kayseri(36)	4.60	4.85	11.97	5.06	6.35	4.76

Tablodaki değerler incelendiğinde, örneğin 53 nokta ile modelleme yapılan Kayseri(53) çalışma alanında modelin doğruluk değerleri  $\pm 3.99\text{cm}$  ile  $\pm 9.84\text{cm}$  arasında değişmekte iken, 31 nokta ile modelleme yapılan Rize(31) çalışma alanında da modelin doğruluk değerleri  $\pm 4.07\text{cm}$  ile  $\pm 4.69\text{cm}$  arasında değiştiği görülmektedir. Bundan dolayı  $\delta$  parametresinin sonuçlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tekrar görülmektedir. Şekil 26'da Tablo 15'deki KOH değerlerin grafiksel olarak gösterimi mevcuttur. Tüm değerler incelendiğinde önerilen  $\delta$  parametresi ile modellemelerde test noktalarına ait KOH değerlerinin iyi düzeyde olduğu görülmektedir.



Şekil 25. Tüm test alanlarında GPS/Nivelman jeoidinin farklı  $\delta$  geometrik parametrelili multikvadrik fonksiyon ile modellenmesiyle test noktalarında elde edilen sonuçların karşılaştırılması

## 2.4. Lokal Jeoit Yüzeyinin Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Modellenmesi

YSA, bir problem için sunulmuş girdi ve çıktı verileri arasındaki var olan ilişkileri öğrenerek modelleme yapabilen, sonrasında yeni örneklerle ilgili tahminin elde edilmesinde oldukça başarılı sonuçlar veren bir yöntemdir. Uygulama konusu yerel jeoit belirleme için YSA modellerinin geliştirilmesinde kullanılacak dayanak noktalarının bir kısmı (%80) modelin geliştirilmesi (training) aşamasında, bir kısmı ise (%20) modelin değerlendirilme aşamasında kullanılmıştır. %20'lik kısımdaki veriler, eğitilmiş olan ağın performansının güvenilirliğini ölçmek için kullanılır. Bu çalışmada, girdi tabakasında (x,y) yatay konum değerleri, çıktı tabakasında ise jeoit yüksekliği değişkenleri olan ileri beslemeli yapay sinir ağı (İBYSA) modeli ve radyal tabanlı fonksiyonlarla yapay sinir ağı modeli (RTYSA) kullanılmıştır. YSA'da uygun ağ parametrelerinin belirlenmesi konusunda “deneme-yanılma” stratejisi uygulanmıştır. Bunun için, öğrenme algoritması, gizli katman sayısı, gizli katmanlardaki hücre sayısı, öğrenme oranı gibi parametreler değiştirilerek çok sayıda deneme sonucunda en uygun ağ mimarisi bulunmaya çalışılmıştır. Bu kriterlere göre, GPS/Nivelman ölçülerinden lokal jeoit yüzeyi belirlemek için test alanlarında farklı kombinasyonlardan oluşan YSA modelleri ayrı ayrı denenmiş ve sonuçta test alanları için en iyi sonucu veren YSA modeli ile elde edilen istatistiksel değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tüm ağlarda öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt yönteminin iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Çalışmada ağın öğrenme oranı 0.02 ve momentum katsayısı 0.9 olarak alınmış olup ağın eğitim aşaması hatanın 0.00001 gibi yeterince küçük seçilmesi ile 1000 epok sonunda duracak şekilde seçilmiştir. Oluşturulan YSA'larda aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant sigmoid ve lineer fonksiyonlarının daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Tablo 16'daki değerler incelendiğinde, örneğin Rize(31) test bölgesinde optimum ağ mimarisinin 2:9:1 olarak belirlendiği görülmektedir. Buradan, ağın girdi katmanında 2 nöron (x,y), gizli katmanında 9 nöron ve çıktı katmanında 1 nöron (N) olduğu anlaşılmaktadır. Karaman(66) test bölgesinde ise en iyi ağ mimarisi 2:6:9.1 olarak belirlenmiştir. Burada ağ yapısı iki gizli katmandan oluşmakta olup, girdi katmanında 2 nörona, birinci gizli katmanında 6, ikinci gizli katmanında 9 ve çıktı katmanında bir nörona sahiptir.

Tablo 16. Tüm test alanlarında İBYSA ile GPS/Nivelman jeoidin modellenmesinden elde edilen istatistiksel sonuçlar

Test Alanları	Ağ Mimarisi	Veri	min (cm)	ort (cm)	maks (cm)	KOH (cm)	R <sup>2</sup>	OMH (%)
Rize(31)	2:9:1	<i>Model</i>	-4.60	0.33	8.61	2.49	0.9910	0.1003
		<i>Test</i>	-4.50	0.76	9.34	3.82	0.9795	0.1093
Rize(10)	2:2:1	<i>Model</i>	-1.71	2.10	11.24	4.34	0.9862	0.1190
		<i>Test</i>	-8.85	1.17	9.53	4.44	0.9674	0.1367
Karaman(66)	2:6:9:1	<i>Model</i>	-2.84	0.46	4.26	1.55	0.7833	0.0356
		<i>Test</i>	-3.77	-0.25	3.38	1.65	0.6124	0.0373
Karaman(16)	2:12:1	<i>Model</i>	-1.06	0.44	3.67	1.23	0.9016	0.0117
		<i>Test</i>	-3.47	-0.13	3.54	1.66	0.6112	0.0380
Kayseri(291)	2:25:1	<i>Model</i>	-7.77	0.09	11.03	2.84	0.9800	0.0637
		<i>Test</i>	-8.14	-0.19	7.74	3.03	0.9793	0.0716
Kayseri(53)	2:14:1	<i>Model</i>	-8.34	0.73	11.60	3.63	0.9712	0.0809
		<i>Test</i>	-13.53	-0.39	10.86	4.02	0.9541	0.0907
Kayseri(36)	2:5:1	<i>Model</i>	-9.83	-0.45	10.17	4.09	0.9690	0.2094
		<i>Test</i>	-13.55	-0.80	9.51	4.37	0.9469	0.010

Tablodaki veriler incelendiğinde, Karaman test alanı hariç, diğer iki test alanında nokta sıklığının azalmasıyla birlikte, aynı test noktalarında hesaplanan doğruluk ve ortalama mutlak hata değerlerinde büyüme, belirlilik katsayısı değerinde azalma görülmektedir. Örneğin, 31 dayanak noktasına sahip Rize(31)'de 15 test noktası için elde edilen doğruluk değeri  $\pm 3.82$ cm, belirlilik katsayısı 0.9795 iken aynı yüzey için BÖHHBÜY'e göre minimum nokta sayısı olarak belirlenmiş 10 dayanak noktası ile modellemede test noktaları için hesaplanan doğruluk değeri  $\pm 4.44$ cm, belirlilik katsayısı değeri 0.9674'dür. Buna karşılık, 66 dayanak noktalı Karaman(66)'da 40 test noktası için elde edilen doğruluk değeri  $\pm 1.65$ cm, belirlilik katsayısı 0.6122 iken 16 dayanak noktasına sahip Karaman(16)'da test noktaları için elde edilen doğruluk değeri  $\pm 1.66$ cm, belirlilik katsayısı değeri 0.6112'dir. Karaman test alanında bu iki farklı nokta sıklığına göre hesaplanan istatistiksel değerlerin birbirine yakın sonuçlar çıktığı görülmektedir. Bunun sebebi bu test alanındaki jeoit yüksekliği değişiminin yaklaşık 15cm kadar olması, ölçü olarak kullanılan jeoit yüksekliği değerinin elipsoidal ve ortometrik yüksekliklerin duyarlılıkları ile bağlantılı olması söylenebilir.

Çalışmada İBYSA yöntemine alternatif olarak kullanılan RTYSA yöntemi ile de GPS/Nivelman ölçülerinden jeoit yüzeyi modellemesi yapılmıştır. Yöntemde radyal tabanlı fonksiyon olarak literatürde en çok kullanılan gauss fonksiyonu kullanılmıştır.

Multikvadrik fonksiyonda olduğu gibi gauss fonksiyonunun yayılma parametresi ( $\delta$ ) değeri değişiminin sonuçlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle modellenen jeoit yüzeyinden hesaplanan model ve test noktalarına ait doğruluk değerleri göz önünde bulundurularak deneme-yanılma ile yayılma parametresinin değeri belirlenmiştir. Buna göre RTYSA ile test alanlarında oluşturulan jeoit modellerinden elde edilen istatistiksel sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 17. Tüm test alanlarında GPS/Nivelman jeoidin RTYSA ile modellenmesinden hesaplanan istatistiksel sonuçlar

Test Alanları	Ağ Mimarisi	Veri	min (cm)	ort (cm)	maks (cm)	KOH (cm)	R <sup>2</sup>	OMH (%)
Rize(31)	2:21:1 $\delta = 0.18$	<i>Model</i>	-1.96	0.00	3.11	1.16	0.9987	0.0348
		<i>Test</i>	-9.14	-1.22	7.32	4.01	0.9821	0.1294
Rize(10)	2:7:1 $\delta = 6.5$	<i>Model</i>	-5.63	0.00	5.98	3.34	0.9893	0.1165
		<i>Test</i>	-5.06	0.53	13.00	4.38	0.9677	0.1245
Karaman(66)	2:26:1 $\delta = 0.15$	<i>Model</i>	-2.98	0.00	3.94	1.41	0.8011	0.0320
		<i>Test</i>	-4.05	0.60	4.11	1.80	0.5898	0.0411
Karaman(16)	2:9:1 $\delta = 0.22$	<i>Model</i>	-3.23	0.00	2.78	1.47	0.8353	0.0328
		<i>Test</i>	-2.90	0.06	4.08	1.70	0.5636	0.0405
Kayseri(291)	2:45:1 $\delta = 0.39$	<i>Model</i>	-11.11	0.00	7.34	2.95	0.9783	0.0649
		<i>Test</i>	-8.47	0.27	10.36	3.05	0.9737	0.0709
Kayseri(53)	2:24:1 $\delta = 0.37$	<i>Model</i>	-14.81	0.00	6.43	3.80	0.9668	0.0817
		<i>Test</i>	-11.57	0.62	13.15	3.97	0.9560	0.0900
Kayseri(36)	2:11:1 $\delta = 1.45$	<i>Model</i>	-5.66	0	5.22	2.78	0.9855	0.0649
		<i>Test</i>	-9.91	0.5919	13.00	4.31	0.9513	0.0984

Tablo 17’de tüm test alanlarında yerel jeoidin belirlenmesinde model noktaları için elde edilen sonuç değerler incelendiğinde ortalama değer her zaman sıfır olduğu görülmektedir. Test noktalarında RTYSA ile hesaplanan doğruluk değerleri Polinomlar ve RTF yöntemlerine oranla daha iyi sonuçlar vermesine rağmen, İBYSA ile karşılaştırıldığında kesin bir şey söylenemez. Şöyleki, 31 dayanak noktasına sahip Rize test alanında İBYSA ve RTYSA ile oluşturulan jeoit modeli yardımıyla test noktaları için hesaplanan doğruluk değeri  $\pm 3.82\text{cm} \pm 4.01\text{cm}$  iken, aynı test alanında 10 dayanak noktası için hesaplanan jeoit modelinden yararlanarak aynı test noktalarında bulunan doğruluk değerleri 4.44cm ve 4.38cm’dir.

## 2.5. Lokal Jeoit Yüzeyinin ANFIS ile Modellenmesi

Yapay sinir ağları ile bulanık mantığın birlikte kullanıldığı adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yönteminde Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemi ve hibrid öğrenme algoritması (enküçük kareler ve geri yayımlı öğrenme) kullanılmıştır. YSA yöntemlerine benzer olarak yatay konum (x,y) değerleri girdi, jeoit yüksekliği değerleri çıktı olarak sisteme girilmektedir. Oluşturulacak ANFIS modelinde x ve y değerlerini alt kümelere ayırmak için kullanılacak üyelik fonksiyonu tipi ve üyelik fonksiyonlarının sayısı, deneme-yanılma yöntemiyle en az karesel ortalama hatası esas alınarak, ayrıca eğitim hatası ile test hatası arasındaki farkın çok yüksek çıkmadığı seçenekler dikkate alınarak belirlenmiştir. Sabit ya da lineer fonksiyonların kullanıldığı Sugeno tipi bulanık çıkarımda, uygulama verileri için çıktı üyelik fonksiyonu olarak lineer fonksiyon kullanılmıştır. Girdi verileri için üyelik fonksiyon türü denemelerinde üçgen, gauss, çan eğrisi, sigmoid ve dikdörtgen üyelik fonksiyonları denenmiştir. Buna göre uygulamaya konu olan test alanlarında GPS/Nivelman ölçülerinden ANFIS ile en iyi sonucu veren jeoit modeli belirlenerek modele ve test verisine ait minimum, maksimum, ortalama, karesel ortalama hata, belirlilik katsayısı ve yüzde olarak ortalama mutlak hata değerleri, AK alt küme sayısı ve ÜF üyelik fonksiyonu olmak üzere aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 18. Tüm test alanlarında GPS/Nivelman jeoidin ANFIS ile modellenmesinden hesaplanan istatistiksel sonuçlar

Test Alanları	Ağ Mimarisi	Veri	min (cm)	ort (cm)	maks (cm)	KOH (cm)	R <sup>2</sup>	OMH (%)
Rize(31)	AK=(3,2) ÜF=üçgen	<i>Model</i>	-3.92	0.00	4.06	1.71	0.9972	0.0506
		<i>Test</i>	-6.92	0.30	7.24	3.60	0.9782	0.1175
Rize(10)	AK=(4,3) ÜF=üçgen	<i>Model</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0
		<i>Test</i>	-4.55	1.32	10.56	4.41	0.9697	0.1453
Karaman(66)	AK=(2,3) ÜF=dikdörtgen	<i>Model</i>	-3.11	0.00	4.99	1.73	0.6965	0.0397
		<i>Test</i>	-3.03	0.50	3.22	1.66	0.6657	0.0416
Karaman(16)	AK=(2,2) ÜF=üçgen	<i>Model</i>	-1.79	0.00	2.88	1.21	0.8875	0.0305
		<i>Test</i>	-3.76	0.27	4.45	1.99	0.4498	0.0452
Kayseri(291)	AK=(5,5) ÜF=üçgen	<i>Model</i>	-8.99	0.00	8.37	2.68	0.9822	0.0591
		<i>Test</i>	-10.17	0.46	11.59	3.11	0.9728	0.0702
Kayseri(53)	AK=(2,3) ÜF=üçgen	<i>Model</i>	-11.14	0.00	8.02	3.75	0.9678	0.0810
		<i>Test</i>	-8.73	0.92	13.66	4.06	0.9546	0.0901
Kayseri(36)	AK=(2,3) ÜF=gauss	<i>Model</i>	-6.48	0.00	6.11	3.14	0.9814	0.0270
		<i>Test</i>	-9.16	0.46	14.48	4.43	0.9483	0.1006



ANFIS ile yapılan hesaplamalarda altküme sayısı çok fazla arttırıldığında, 10 noktalı Rize test alanında olduğu gibi, hesaplanan jeoit modelin dayanak noktalarıyla tamamen çakıştığı yani modele ait doğruluk değerinin sıfır, belirlilik katsayısının bir değerini aldığı görülmüştür. Hesaplamalarda amaçlanan, hem model hem de test verileri için doğruluk değerlerini ve performansı göz önüne alarak optimum bir ağ oluşturmaya çalışmaktır. Tablo 18’de, aynı test alanlarında ANFIS ile hesaplanan modellere ait sonuç değerlere bakıldığında, nokta sıklığı değiştikçe altküme sayısında ve üyelik fonksiyon türünde değişme olduğu görülmüştür. Yani modelleme yaparken aynı test alanında herhangi bir fonksiyon türü için her zaman o fonksiyonun kullanılabilceği söylenemez. 66 ve 16 noktaya sahip Karaman test alanında oluşturulan ANFIS modellerinde alt küme sayıları sırasıyla enlem ve boylam değerler için (2,3), (2,2) iken üyelik fonksiyon türleri de dikdörtgen ve üçgen olarak modellenmiştir.

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu bölümde, 2.bölümde ayrıntılarıyla sunulan, test alanlarında polinomlar, radyal tabanlı fonksiyonlar, yapay sinir ağları ve ANFIS yöntemleriyle en iyi sonucu veren lokal GPS/Nivelman jeoitlerinden elde edilen istatistiksel değerler karşılaştırılarak yöntemlerin üstünlükleri ve sakıncalı yönleri irdelenecektir.

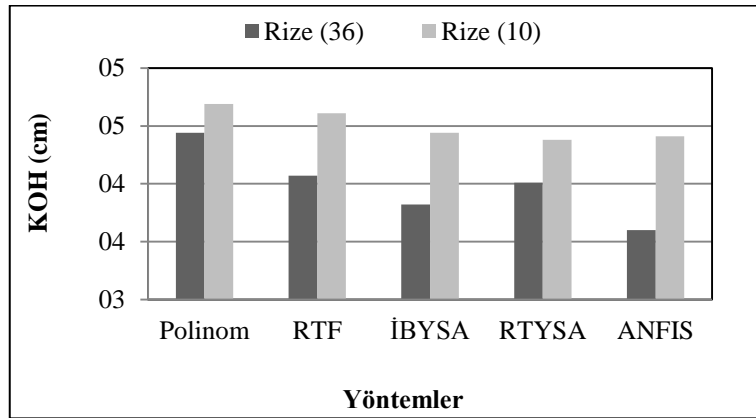
#### 3.1. Rize Test Alanında GPS/Nivelman Jeoitlerinin Karşılaştırılması

Uygulamada kullanılan Rize test alanında, konum değerleri ve jeoit yükseklikleri bilinen yaklaşık 2.5 km<sup>2</sup>'ye bir dayanak noktası ve ikincisi, BÖHHBÜY'e göre minimum sayıda nokta olacak şekilde belirlenen 31 ve 10 dayanak noktası için polinomlar, RTF, İBYSA, RTYSA ve ANFIS yöntemleriyle lokal jeoit modelleri oluşturulmuştur. RTF ile değerlendirmede Multikuadrik fonksiyon kullanılmıştır. Sonrasında model ve 15 test noktası için KOH ve belirlilik katsayısı değerleri elde edilerek aşağıda Tablo 19'da sunulmuştur. Test noktalarında tüm yöntemler için hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek yüksekliklere göre değişimi ve test noktalarındaki hataların dağılımı Ek Şekil 1-4'de gösterilmiştir.

Tablo 19. Rize test alanı GPS/Nivelman jeoit modellerine ait istatistiksel sonuçlar

Yöntem	Özellikler	Veri	KOH (cm)	R <sup>2</sup>	Veri	KOH (cm)	R <sup>2</sup>
Polinom	2.derece	Model(31)	3.52	0.9879	Test	4.44	0.9657
	2.derece	Model(10)	3.75	0.9865		4.69	0.9618
RTF	$\delta=0.0788$	Model(31)	4.18	0.9796		4.07	0.9729
	$\delta=0.0458$	Model(10)	4.86	0.9755		4.61	0.9701
İBYSA	2:9:1	Model(31)	2.49	0.9910		3.82	0.9795
	2:2:1	Model(10)	4.34	0.9862		4.44	0.9674
RTYSA	2:21:1, $\delta=0.18$	Model(31)	1.16	0.9987		4.01	0.9821
	2:7:1, $\delta=6.5$	Model(10)	3.34	0.9893		4.38	0.9677
ANFIS	AK=(3,2) ÜF=üçgen	Model(31)	1.71	0.9972		3.60	0.9782
	AK=(4,3) ÜF=üçgen	Model(10)	0.00	1.0000		4.41	0.9697

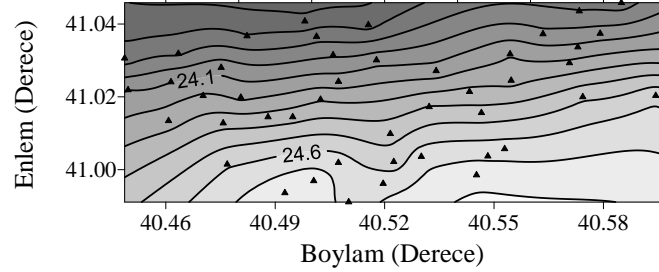
Şekil 26'ya bakıldığında yöntemlerin cm mertebesinde farklılıklara sahip olduğu görülmektedir. Rize test alanında yapay zeka yöntemleri klasik yöntemlere kıyasla daha iyi sonuçlar vermektedir. 31 nokta ile yapılan jeoit modellemede test noktaları için doğruluk değerleri incelendiğinde ANFIS ve İBYSA yöntemleri için KOH değerleri sırasıyla  $\pm 3.60\text{cm}$  ve  $\pm 3.82\text{cm}$ , belirlilik katsayı değerleri de 0.9782 ve 0.9795'dir. 10 nokta ile yapılan jeoit modellemeden elde edilen test noktalarına ait doğruluk değerleri incelendiğinde yapay zeka yöntemleriyle elde edilen doğruluk değerleri hemen hemen birbirinin aynı gibidir. İBYSA, RTYSA ve ANFIS için test noktalarındaki karesel ortalama hata değerleri sırasıyla  $\pm 4.44\text{cm}$ ,  $\pm 4.38\text{cm}$  ve  $\pm 4.41\text{cm}$ 'dir. Test noktaları için tüm sonuçlar incelendiğinde 31 dayanak noktasına göre jeoit modellemede 0.9821 değeri ile RTYSA yöntemi, 10 dayanak noktasına göre oluşturulan jeoit modellemede 0.9701 değeri ile RTF ile enterpolasyon yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Ayrıca test alanının topoğrafyasının zor olması sebebiyle nokta sıklığının 31 olduğu durumda elde edilen sonuçların daha iyi olduğu söylenebilir.



Şekil 26. Rize test alanı GPS/Nivelman jeoit modellerinin test noktalarında KOH'a göre karşılaştırılması

Şekil 27'de Rize test alanında 31 dayanak noktası ve 15 test noktasının toplamı 46 nokta kullanılarak oluşturulan jeoit profili, Ek Şekil 15, 16 ve 17'de 31 dayanak noktasına, Ek Şekil 18, 19 ve 20'de ise 10 dayanak noktasına dayalı polinomlar, RTF, İBYSA, RTYSA, ANFIS yöntemleri ile hesaplanan jeoit profilleri ve noktaların gerçek yüksekliklerinden modellere göre hesaplanan jeoit yükseklik değerlerinin farkları sunulmaktadır. Tüm şekiller incelendiğinde Tablo 19'daki sayısal sonuçlarla ilişkili olarak Rize çalışma alanında dayanak nokta sayısının 31 ve 10 olarak belirlendiği durumda

ANFIS ve YSA yöntemleri ile kestirilen jeoit profillerinin diğer yöntemlere kıyasla uygulama alanına daha iyi yakınsadığı görülmüştür.



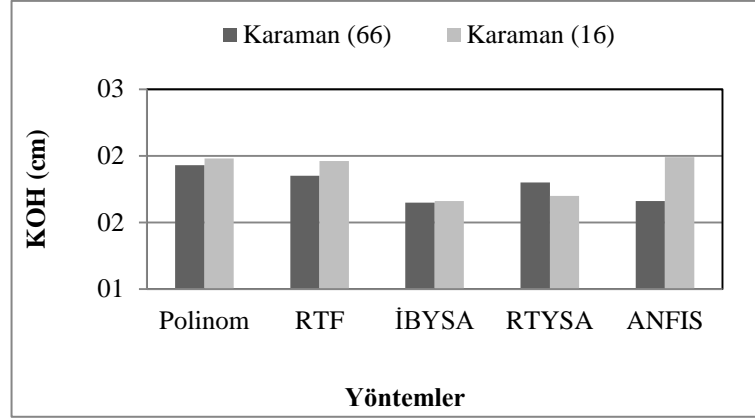
Şekil 27. Rize test alanında gerçek jeoit yüksekliği bilinen 46 noktadan yararlanarak oluşturulan jeoit profili

### 3.2. Karaman Test Alanı GPS/Nivelman Jeoitlerinin Karşılaştırılması

Karaman test alanında yaklaşık 2.5 km<sup>2</sup>'ye bir nokta olacak şekilde 66 dayanak noktası ve BÖHHBÜY'e göre minimum sayıda olmak üzere belirlenmiş 16 dayanak noktası kullanılarak çeşitli yöntemlerle jeoit modelleri hesaplanmış ve her modele göre de 40 test noktasının jeoit yüksekliği elde edilmiştir. Bu test alanı ile ilgili yöntemleri karşılaştırabilmek için hesaplanmış KOH ve belirlilik katsayısı değerleri toplu olarak aşağıda Tablo 20'de sunulmuştur.

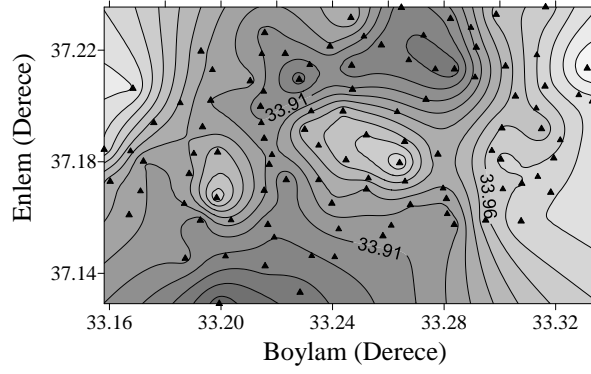
Tablo 20. Karaman test alanı GPS/Nivelman jeoit modellerine ait istatistiksel sonuçlar

Yöntem	Özellikler	Veri	KOH (cm)	R <sup>2</sup>	Veri	KOH (cm)	R <sup>2</sup>
Polinom	2.derece	Model(66)	1.86	0.647	Test	1.93	0.4657
	2.derece	Model(16)	1.21	0.8874		1.98	0.5233
RTF	$\delta = 0.058$	Model(66)	1.61	0.7555		1.85	0.5147
	$\delta = 0.1099$	Model(16)	1.81	0.8741		1.96	0.4027
İBYSA	2:6:9:1	Model(66)	1.55	0.7833		1.65	0.6124
	2:12:1	Model(16)	1.23	0.9016		1.66	0.6112
RTYSA	2:26:1, $\delta = 0.15$	Model(66)	1.41	0.8011		1.8	0.5898
	2:9:1, $\delta = 0.22$	Model(16)	1.47	0.8353		1.7	0.5636
ANFIS	AK=(2,3) ÜF=dikdörtgen	Model(66)	1.73	0.6965		1.66	0.6657
	AK=(2,2) ÜF=üçgen	Model(16)	1.21	0.8875		1.99	0.4498



Şekil 28. Karaman test alanı GPS/Nivelman jeoit modellerinin test noktalarında KOH'a göre karşılaştırılması

Yöntemlerin tamamı için test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek yüksekliklere göre değişimi ve test noktalarındaki hataların dağılımı Ek Şekil 5, 6, 7 ve 8'de verilmiştir. Şekil 28'e bakıldığında yöntemlerin doğrulukları arasında çok büyük farklar olmayıp mm mertebesinde farklılıklara sahip olduğu görülmektedir. Sonuçların birbirine yakın çıkmasında çalışma alanındaki jeoit yüksekliği değişiminin 15cm olması önemli bir etkidir. 66 nokta ile yapılan hesaplamalarda çalışma alanını en iyi İBYSA yöntemi temsil etmektedir. Test noktaları için hesaplanan doğruluk değeri  $\pm 1.65$ cm ve yöntemin performansını gösteren belirlilik katsayı değeri 0.6124'dür. Buna karşılık, 16 nokta ile yapılan modellemede İBYSA yöntemi  $\pm 1.66$ cm doğruluk değeri ve 0.6112 belirlilik katsayı değeri ile en iyi sonuçları vermektedir. Tablodaki değerler incelendiğinde 16 nokta ile yapılan modellemelerde ANFIS yönteminin küçük değerler çıkması beklenirken diğer yöntemlere oranla daha büyük olduğu görülmektedir. Bu duruma nokta dağılımının etki ettiği söylenebilir. Şekil 29'da Karaman uygulama alanına ait jeoit profili görülmektedir. Ek Şekil 21, 22 ve 23'de 66 dayanak noktasına, Ek Şekil 24, 25 ve 26'da ise 16 dayanak noktasına dayalı hesaplanan jeoit profilleri ve noktaların gerçek yüksekliklerinden modellere göre hesaplanan jeoit yükseklik değerlerinin farkları sunulmuştur.



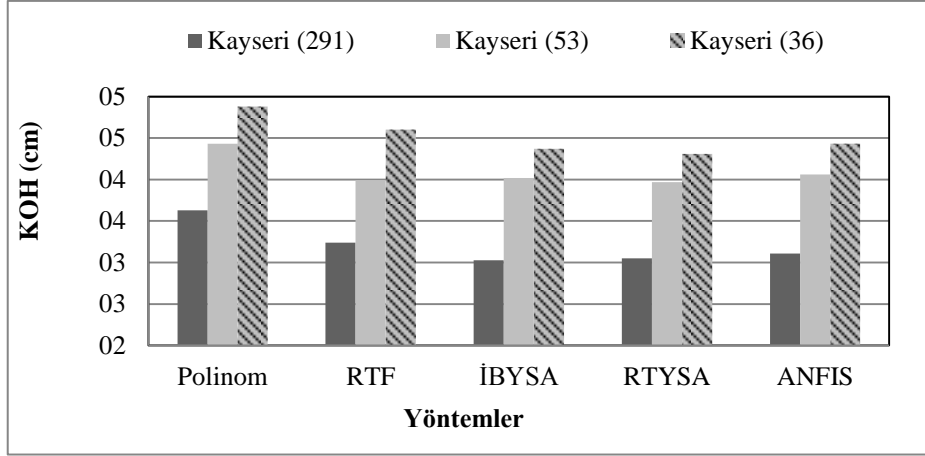
Şekil 29. Karaman test alanında gerçek jeoit yüksekliği bilinen 106 noktadan yararlanılarak oluşturulan jeoit profili

### 3.3. Kayseri Test Alanı GPS/Nivelman Jeoitlerinin Karşılaştırılması

Çalışma alanlarından Kayseri’de üç çeşit nokta sıklığına göre jeoit modellemesi hesaplanmıştır. Bunlardan birincisi, yaklaşık 2.5 km<sup>2</sup>’ye bir dayanak noktası, ikincisi, BÖHHBÜY’e göre minimum sayıda dayanak noktası, son olarak da 20 km<sup>2</sup>’ye bir dayanak noktası olacak şekilde modelin dayanak nokta sayısı seçimidir. Buna göre, üç durum için Kayseri test bölgesinde dayanak nokta sayısı, 291, 53, 36 olarak belirlenirken 100 nokta da test noktası olarak belirlenmiştir.

Tablo 21. Kayseri test alanı GPS/Nivelman jeoit modellerine ait istatistiksel sonuçlar

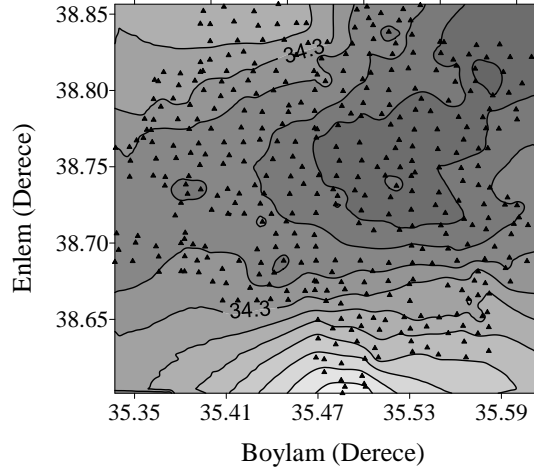
Yöntem	Özellikler	Veri	KOH (cm)	R <sup>2</sup>	Veri	KOH (cm)	R <sup>2</sup>
Polinom	7.derece	Model(291)	3.28	0.9733	Test	3.63	0.9628
	4.derece	Model(53)	4.31	0.9573		4.43	0.9465
	4.derece	Model(36)	3.99	0.9701		4.88	0.9389
RTF	$\delta = 0.0137$	Model(291)	2.19	0.9882		3.24	0.9702
	$\delta = 0.0339$	Model(53)	3.24	0.9788		3.99	0.9578
	$\delta = 0$	Model(36)	0	1.0000		4.60	0.9435
İBYSA	2:25:1	Model(291)	2,84	0.9800		3.03	0.9793
	2:14:1	Model(53)	3,63	0.9712		4.02	0.9541
	2:5:1	Model(36)	4,09	0.969		4.37	0.9469
RTYSA	2:45:1, $\delta = 0.39$	Model(291)	2.95	0.9783		3.05	0.9737
	2:24:1, $\delta = 0.37$	Model(53)	3.8	0.9668	3.97	0.9560	
	2:21:1, $\delta = 1.45$	Model(36)	2.78	0.9855	4.31	0.9513	
ANFIS	AK=(5,5) ÜF=üçgen	Model(291)	2.68	0.9822	3.11	0.9728	
	AK=(2,3) ÜF=üçgen	Model(53)	3.75	0.9678	4.06	0.9546	
	AK=(2,3) ÜF=gauss	Model(36)	3.14	0.9814	4.43	0.9483	



Şekil 30. Kayseri test alanı GPS/Nívelman jeoit modellerinin test noktalarında KOH'a göre karşılaştırılması

Test noktaları için hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek yüksekliklere göre değişimi ve test noktalarındaki hataların dağılımı Ek Şekil 9-14'de verilmiştir. Test alanında hesaplanan jeoit modellemelere ait istatistiksel sonuçlar Tablo 21'de sunulmuştur.

Şekil 30'da görüldüğü gibi 36 ve 53 noktaya dayalı oluşturulan modellerin doğruluk değerleri birbirine yakın çıkarken 291 noktaya dayalı oluşturulan jeoit modellerin doğruluk değerleri ile aralarındaki farklılıklar biraz daha büyüktür. Örnek olarak 36, 291 ve 53 dayanak noktası için RTYSA yöntemi ile test noktalarında elde edilen doğruluk değerleri sırasıyla  $\pm 3.05\text{cm}$ ,  $\pm 3.97\text{cm}$  ve  $\pm 4.31\text{cm}$ , 'dir. Test noktalarındaki doğruluk değerlerine göre uygulama alanını modellemede çalışma alanına en iyi uyan model, 291 nokta ile modelleme için  $\pm 3.03\text{cm}$  doğruluk değeri ve 0.9793 belirlilik katsayısı değeri sonucunu veren İBYSA yöntemi, 53 nokta ile modelleme için  $\pm 3.97\text{cm}$  doğruluk değeri ve 0.9560 belirlilik katsayısı değeri sonucunu veren RTYSA ile enterpolasyon yöntemi, 36 nokta ile modelleme için  $\pm 4.31\text{cm}$  doğruluk değeri ve 0.9578 belirlilik katsayısı değeri sonucunu veren RTYSA yöntemidir. Şekil 31'de Kayseri test alanında tüm noktalara dayalı oluşturulan jeoit yüzeyi gösterilmektedir.



Şekil 31. Kayseri test alanında gerçek jeoit yüksekliği bilinen 391 noktadan yararlanarak oluşturulan jeoit profili

Ek Şekil 27-35'de Kayseri test alanında 291, 53 ve 36 dayanak noktasına dayalı hesaplanan jeoit profilleri ve noktaların gerçek yüksekliklerinden modellere göre hesaplanan jeoit yükseklik değerlerinin farkları sunulmaktadır. Şekiller incelendiğinde 291 noktaya dayalı çizilen jeoit yüzeylerinin gerçek jeoit yüzeyini daha iyi temsil ettiği, dayanak nokta sayısı azaldıkça bu görünümünden uzaklaştığı görülmüştür.



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda mühendislik uygulamalarında GPS kullanımının yaygınlaşması, beraberinde elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüşümü problemi beraberinde getirmiştir. Bu dönüşüm işlemini gerçekleştirmek için yönetmelikte uygulanacak ölçü ve hesaplama yöntemleriyle ilgili çeşitli öneriler sunulmaktadır. Yerel bir alanda ortometrik yüksekliği bilinen noktalarda GPS ölçülerinden yararlanarak jeoit modelinin hesaplanması ve sonrasında yükseklik dönüşüm problemi çözümünün sağlanması önerilen yaklaşımlardan biridir. GPS/Nivelmanı olarak adlandırılan bu yöntem pratikte sıklıkla kullanılmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmada üç farklı test alanında farklı nokta dağılımları için polinomlar, radyal tabanlı fonksiyonlar ve esnek hesaplama yöntemleri ile yerel GPS/Nivelman jeoitleri oluşturularak performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. BÖHKBÜY'e göre GPS/Nivelman jeoidinin belirlenmesinde nokta yoğunluğu ilk 20 km<sup>2</sup>'ye kadar 6 nokta, sonrasındaki her 15 km<sup>2</sup> için bir nokta olmalıdır. Uygulamaya konu olan Rize, Kayseri ve Karaman çalışma alanlarında nokta yoğunluğunun yerel GPS/Nivelman jeoidinin belirlenmesinde ne kadar etkin olduğu, yaklaşık 2.5 km<sup>2</sup>'de bir dayanak noktası, BÖHKBÜY'e göre minimum sayıda dayanak noktası ve son olarak da 20 km<sup>2</sup>'de bir dayanak noktası olacak şekilde farklı sıklıkta nokta yoğunluğu seçimi ile incelenmiştir. Lokal jeoidin modellenmesinde kullanılan polinomlar, radyal tabanlı fonksiyonlar, yapay sinir ağları ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemleri ile elde edilen sonuçlara göre yöntemlerin harita yapımı ve mühendislik çalışmalarına ne kadar katkı sağladığı değerlendirilmiştir.

Klasik yöntemlerden oldukça farklı algoritması olan esnek hesaplama yöntemlerinde sistem, girdi-çıkı değişkenleri arasında herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymadan doğrusal olmayan bir modelleme ile kurulmaktadır. Uygulamalarda girdi bilgisi olarak yatay konum (x,y) verisi, çıkı bilgisi olarak da jeoit yükseklik değerleri kullanılmıştır. YSA'da ağı eğitimi esnasında, belli bir doğruluk seviyesine göre ağ parametrelerinin (ağırlık ve bias) belirlenmesi ile girdi-çıkı arasındaki ilişkinin öğrenilmesi amaçlanmaktadır. YSA metodu girdi-çıkı veri setlerinden öğrenebilme, genelleme yapabilme, sınıflandırabilme, sınırsız sayıda değişkenle çalışabilme gibi birçok önemli özelliğe sahiptir. Yapay sinir ağları ve bulanık mantığın bir arada kullanıldığı adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemleri

(ANFIS), Sugeno bulanık çıkarım sistemini kullanmaktadır. Geri yayılım ve en küçük kareler yönteminin kombinasyonundan oluşan hibrid öğrenmenin kullanıldığı ANFIS ile bulanık mantık çıkarım sistemlerine yapay sinir ağlarının öğrenme ve hesaplama gücü verilebilirken, YSA'lara da bulanık mantık çıkarım sistemlerinin insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama yeteneği kazandırılmış olmaktadır.

Test alanlarında tüm yöntemler için 2.5 km<sup>2</sup>'ye bir nokta kullanılarak seçilen dayanak noktalarıyla elde edilen jeoit modellemelerde test noktaları için en iyi doğruluk değerleri, 31 dayanak noktasına sahip Rize'de ANFIS ile ±3.60 cm, 66 noktalı Karaman'da İBYSA ile ±1.65 cm, 291 noktalı Kayseri'de İBYSA ile ±3.03 cm'dir. Yönetmeliğe göre en az dayanak noktası seçilerek kurulan modellerde ise test noktaları için doğruluk değerleri 10 dayanak noktasını içeren Rize'de RTYSA ile ±4.38 cm, 16 noktalı Karaman'da İBYSA ile ±1.66 cm, 53 noktalı Kayseri'de RTYSA ile ±3.97 cm'dir. Ayrıca 20 km<sup>2</sup>'ye bir nokta kullanılarak seçilen 36 dayanak noktasına sahip Kayseri test alanında test noktaları için minimum doğruluk değeri RTYSA yöntemi ile ±4.31cm olarak hesaplanmıştır.

Yerel GPS/Nivelman jeoit modellemede kullanılan jeoit yüksekliği, elipsoidal yükseklik ile ortometrik yüksekliğin farkı olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle jeoit model hesaplamalarında jeoit yükseklik değeri önemli olduğu gibi, jeoit modellerin duyarlılığı elipsoidal ve ortometrik yüksekliklerin duyarlılığı ile ilişkilidir. Nokta sıklığı ne kadar arttırılırsa arttırılsın modellemede kullanılan ölçüler belli bir hata içerdiğinden, hesaplanan jeoit modelin duyarlılığı da modeli oluştururken kullanılan dayanak noktalarına ait jeoit yükseklik değerinin doğruluk değerinden etkilenmektedir. Örneğin Kayseri test alanında elipsoidal ve ortometrik yüksekliklerin ortalama hataları sırasıyla ±3.2 cm ve ±1.9 cm iken bu test alanında hesaplanan jeoit modellerinin doğruluk değerlerinin de hata yayılma yasası ile  $m_N = \sqrt{m_h^2 + m_H^2}$  formülünden elde edilen ±3.7cm civarında olacağı söylenebilir.

Test alanlarında yerel GPS/Nivelman jeoidinin belirlenmesinde kullanılan tüm yöntemler, elde edilen istatistiksel değerlere göre karşılaştırıldığında,

- Radyal tabanlı fonksiyonlarla yapılan değerlendirmelerde RTF'lerden multiküadrik fonksiyonla yapılan jeoit modellemelerden elde edilen doğruluk değerlerinin ince düzlem splayn ve diğer fonksiyon türlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği,

- Test noktalarındaki KOH değerleri incelendiğinde multikvadrik fonksiyon için  $\delta$  parametre değerinin sonuçlar üzerinde önemli etkisi olduğu ve önerilen  $\delta$  formülü ile test noktalarında iyi sonuçlar alındığı,
- $\delta$  formülünü, uygulama alanındaki dayanak nokta sayısına ve dağılımına göre hesaplamanın sonuçları iyileştirdiğı,
- Polinomlar ve RTF'ler kendi içinde bir kıyaslama yapıldığında RTF ile enterpolasyonun polinomlarla enterpolasyona göre daha iyi bir yöntem olduğu,
- YSA ve ANFIS yöntemlerinde birbirine yakın sonuçlar çıktığı ve diğer iki metoda göre daha iyi sonuçlar verdiğı,
- İBYSA yönteminin parametrelerinin (gizli katman sayısı, gizli katmandaki nöron sayısı, üyelik fonksiyon türleri, öğrenme algoritması, öğrenme oranı, momentum katsayısı, aktivasyon fonksiyonu, epok sayısı, hata tolerans miktarı gibi) çok fazla olduğu ve yüzlerce denemenin sonunda kullanıcı tarafından belirlendiğı için hesaplama süresi açısından en fazla zaman alan yöntem olduğu,
- RTYSA yönteminde kullanılan gauss fonksiyonunda  $\delta$  yayılım parametresinin sonuçlar üzerinde önemli rol oynadığı,
- ANFIS yönteminde girdi verilerini gruplamada kullanılan alt küme sayısı, üyelik fonksiyon türü ve epok sayısı seçiminin modelin doğruluğunu oldukça etkilediğı,
- Bulanık modelde alt küme sayısı arttıkça dayanak noktalarına ait KOH değerinin sifıra yaklaştığı,
- Dayanak noktalarının homojen, uygun sıklıkta ve modellenecek yüzeyin karakteristik özelliklerini iyi yansıtacak yerlerde seçilmesinin jeoit modelleme sonuçlarını büyük ölçüde etkilediğı, ayrıca seçilecek yöntemin de modelin doğruluğunu etkileyen diğer önemli bir faktör olduğu,
- Dayanak nokta yoğunluğunun yaklaşık  $2.5 \text{ km}^2$ 'ye bir nokta alınması durumunda hesaplanan jeoit modellerine göre test noktaları için doğruluk değerlerinde jeoit yükseklik değişimi fazla olan yerlerde iyileşme olduğu, BÖHHBÜY'e göre minimum sayıda dayanak nokta sayısının alınması ile elde edilen sonuçların istenen duyarlılığı karşıladığı, dayanak nokta yoğunluğunun yönetmelikte belirtilen durumdan daha az sayıda alınması durumunda jeoit yüksekliği değişimi fazla olan arazide test noktalarına ait doğruluk değerlerinde büyüme olduğu görülmüştür.

## 5. KAYNAKLAR

- Aksoy, A., 1984. Uyuşumsuz Ölçüler Testi, Harita Dergisi, 93, 15-24.
- Akyılmaz, O., 2005. Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Jeodezide Uygulamaları, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alavala, C.R., 2008. Fuzzy Logic ve Neural Networks Basic Concepts ve Applications, New Age International (P) Limited Yayınevi, 257s.
- Amidor, I., 2002. Scattered Data Interpolation Methods for. Electronic Imaging Systems: a Survey, Journal of Electronic Imaging, 11, 2, 157–176.
- Basheer, I., A. ve Hajmeer, M., 2000. Artificial Neural Networks: Fundamentals, Computing, Design and Application. Journal of Microbiological Methods, 43, 3–31.
- Baykal, N. ve Beyan, T., 2004. Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler, Bıçaklar Kitabevi, Ankara, 509 s.
- Bishop, C., M., 1995. Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford University Press, Oxford, UK, 482 p.
- Buhmann, M., D., 2000. Radial Basis Functions, Acta Numerica, Cambridge University Press, 1–38.
- Chen, S., Cowan, C., F., N. ve Grant, P., M., 1991. Orthogonal Least Squares Learning Algorithm for Radial Basis Function Networks, IEEE Transactions on Neural Networks, 2, 2, 302-309.
- De Villars, J. ve Barnard, E., 1993. Backpropagation Neural Nets with one and Two Hidden Layers, IEEE Transactions on Neural Networks, 4, 1, 136–141.
- Demuth, H. ve Beale, M., 2000. Neural Network Toolbox for Use with Matlab, Mathworks Inc., 840 p.
- Deniz, R., Çelik, R., N., Kutoğlu, Ş., H., Özlüdemir, M., T., Demir, C. ve Kımık, İ., 2008. Açıklamalı-Örnekleme Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 86 s.
- Eberly, D., Thin Plate Splines. Geometric Tools. <http://www.geometrictools.com/Documentation/ThinPlateSplines.pdf>, 17 Ocak 2010.

- Elmas, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), Seçkin Yayıncılık. Ankara, 192 s.
- Erol, B., 2007. Investigations On Local Geoids For Geodetic Applications, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fasshauer, G.E., 2002. Newton Iteration with Multiquadrics for the Solution of Nonlinear PDEs, Computers Math. Appl., 43, 3–5, 423–438.
- Featherstone, W., E., Dentith, M., C. ve Kirby, J., F., 1998. Strategies for the Accurate Determination of Orthometric Heights from GPS, Survey Review, 34, 267, 278-296.
- Fogel, D., N. ve Tinney, L.R., 1996. Image Registration Using Multiquadratic Functions the Finite Element Method Bivariate Mapping Polynomials and Thin Plate Spline, National Center for Geographic Information and Analysis Technical Report 96-1.
- Fotopoulos, G., 2003. An Analysis on the Optimal Combination of Geoid, Orthometric ve Ellipsoidal Height Data, Doktora Tezi, Calgary Üniversitesi, Department of Geomatics Engineering, Report No: 20185, Calgary.
- Franke, R., 1979. A Critical Comparison of Some Methods for Interpolation of Scattered Data, PhD thesis, Naval Postgraduate School Monterey, California.
- Franke, R. ve Nielson G., 1980. Smooth Interpolation of Large Sets of Scattered Data, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 15, 1691–1704.
- Franke, R., 1982. Scattered Data Interpolation Tests of some Methods, Mathematics of Computation, 38, 181–200.
- Franke, R., Hagen, H. ve Nielson, G. M., 1993. Repeated Knots in Least Squares Multiquadric Functions, Technical Report NPS-MA-94-004, Naval Postgraduate School, Monterey CA.
- Fullér, R., 1995. Neural Fuzzy Systems, Lecture Notes. Abo Akademi University.
- Güler, A., 1983. Sayısal Arazi Modellerinde İki Enterpolasyon Yöntemi ile Denemeler, K.T.Ü. Araştırma ve İnceleme Yayınları Dizisi, Genel Yayın No:22, Fakülte Yayın No:19, Trabzon, 22s.
- Hagan, M., T. ve Menhaj, M., 1994. Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm, IEEE Transactions on Neural Networks ,5, 6, 989–993.
- Hardy, R. L., 1971. Multiquadric Equations of Topography and other Irregular Surfaces, Journal of Geophysical. Research, 76, 1905 -1915.
- Hardy, R., L., 1990. Theory of Applications of the Multiquadratic-biharmonic Method: 20 Years of Discovery 1968-1988, Computers and Mathematics with Application., 19, 8-9,163-208.

- Haykin, S., 1999. *Neural Networks a Comprehensive Foundation*, Prentice Hall Publishing, New Jersey, 842 p.
- Heiskanen, W., A. ve Moritz, H., 1967. *Physical Geodesy*, W.H. Freeman ve Company, San Francisco ve London.
- Hopfield, J., J., 1982. *Neural Networks Ve Physical Systems With Emergent Collective Computational Abilities*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 79, 2554-2558.
- Hornik, K., Stinchcombe, M. ve White, H., 1989. *Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators*, Neural Networks, 2, 5, 359–366.
- İnal, C., Turgut, B. ve Yiğit, C., Ö., 2003. *Lokal Alanlarda Jeoit Ondülasyonlarının Belirlenmesinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması*, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde 30.Yıl Sempozyumu, Ekim, Konya, Bildiriler Kitabı, 97-106.
- Jain, A., K., Mao, J. ve Mohiuddin, K., M., 1996. *Artificial Neural Networks: A Tutorial*, Computer, 31-44.
- Jang, J., S., R., 1992. *Neuro-Fuzzy Modeling: Architectures, Analyses and Applications*, PhD Thesis, Dept. of Electrical Eng. and Computer Science, University of California, Berkley.
- Jang, J., S., R. ve Sun, C., T., 1993. *Functional Equivalence between Radial Basis Function Networks and Fuzzy Inference Systems*. IEEE Transactions on Neural Networks, 4, 1, 156-159.
- Jang, J., S., R., 1993. *ANFIS: Adaptive-network Based Fuzzy Inference Systems*, IEEE Transactions on Systems, Man ve Cybernetics, 23, 665-685.
- Jang, J., S., R. ve Gulley, N. 1995. *Fuzzy Logic Toolbox for Use with, MATLAB*, The MathWorks, Inc., 244p.
- Jang, J., S., R., Sun, C., T. ve Mizutani, E., 1997. *Neuro Fuzzy and Soft Computing: a Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, Prentice Hall, USA, 614 p.
- Kamyar M., 2008. *Takagi-Sugeno Fuzzy Modeling for Process Control*, Industrial Automation, Robotics and Artificial Intelligence (EEE8005), School of Electrical, Electronic and Computer Engineering, Newcastle University.
- Kansa, E., J., 1990. *Multiquadrics - A Scattered Data Approximation Scheme with Applications to Computational Fluid Dynamics: I. Surface Approximations and Partial Derivative Estimates*, Computers and Mathematics with Applications., 19, 8-9, 127-145.

- Kavzoglu, T. ve Saka, M., H. 2005. Modelling Local GPS/Levelling Geoid Undulations Using Artificial Neural Networks, Journal of Geodesy, 78, 520-527.
- Kermani, B., Schiffman, S. ve Nagle, H., T., 2005. Performance of the Levenberg–Marquardt Neural Network Training Method in Electronic Nose Applications, Sensors ve Actuators B 110, 13–22.
- Konak, H., 1994. Yüzey Ağlarının Optimizasyonu, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kotsakis, C. ve Sideris, M., G., 1999. On the Adjustment of Combined GPS/levelling/geoid Networks, Journal of Geodesy, 73, 8, 412-421.
- Kohonen, T., 1972. Correlation Matrix Memories, IEEE Transactions on Computers, 21, 353-359.
- Kohonen T., 1990. The Self-organizing Map, Proceeding of the IEEE, 78, 9, 1464–1480.
- Kuhar, M., Stopar, B., Turk, G. ve Ambrožič T., 2001. The Use of Artificial Neural Network in Geoid Surface Approximation, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 1, 22-27.
- Lee, C., C., 1990a. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part 1, IEEE Trans. on Systems, Man ve Cybernetics, 20, 2, 404-418.
- Lee, C., C., 1990b. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part 2, IEEE Trans. on Systems, Man ve Cybernetics, 20, 2, 419-435.
- Lin, L., S., 2007. Application of a Back-Propagation Artificial Neural Network to Regional Grid-Based Geoid Model Generation Using GPS ve Levelling Data, Journal of Surveying Engineering, 133, 2, 81-89.
- Lippmann R., P., 1989. Pattern Classification Using Neural Networks, IEEE Communications Magazine, 47–64.
- Luk, K., C., Ball, J., E. ve Shirma, A., 1999. A Study of Optimal Model Lag and Spatial Inputs to Artificial Neural Network for Rainfall Forecasting, Journal of Hydrology, 227, 56-65.
- Mamdani, E., H. ve Assilian, S., 1975. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, Int. Journal of Man-Machine Studies, 7, 1, 1- 13.
- Marquardt, D., 1963. An Algorithm for Least Squares Estimation of Non-linear Parameters, J. Ind. Appl. Math., 431–441.
- McCulloch, W. ve Pitts, W., 1943. A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, Bulletin of Mathematical Biophysics, 5, 115-133.

- Micchelli, C., A., 1986. Interpolation of Scattered Data: Distance Matrices and Conditionally Positive Definite Functions, Const. Approx., 2, 11-22.
- Mogharreban, N. ve Dilalla, L., F., 2006. Comparison of Defuzzification Techniques for Analysis of Non-Interval Data, IEEE, Nafips Annual Meeting of The North American Fuzzy Information Processing Society, Montreal, Que, 257-260.
- Moody, J. ve Darken, C., 1989. Fast Learning in Networks of Locally-Tuned Processing Units, Neural Computation, 1, 281-294.
- Nabiyev, V., 2005, Yapay Zeka Problemler – Yöntemler – Algoritma, Seçkin Yayıncılık, 764 s.
- Omay, R., E., 2007, Regresyonda Pürüzlülük Ceza Yaklaşımı, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri, Eskişehir.
- Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayınevi, İstanbul, 232 S.
- Öztürk, E. ve Şerbetçi, M., 1992. Dengeleme Hesabı, Cilt III, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 558 s.
- Park, J. ve Sveberg, J., W., 1991. Universal Approximation Using Radial Basis Functions Network, Neural Computation, 3, 246-257
- Pfluger N., Yen, J. ve Langari, R., 1992. A Defuzzification Strategy for a Fuzzy Logic Controller Employing Prohibitive Information in Commve Formulation, Ieee Int. Conf. On Fuzzy Syst., San Diego, 717-723.
- Rippa, S., 1999. An Algorithm For Selecting a Good Parameter c in Radial Basis Function Interpolation, Advances in Computational Mathematics, 11, 193-210.
- Rosenblatt, F., 1958. The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in The Brain, Psychological Review, 65, 6, 386-408.
- Rumelhart, D., E., Hinton, G., E. ve Williams, R., J., 1986. Learning Representations by Back Propagation error, Nature, 32, 533-536.
- Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M. 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1 Yapay Sinir Ağları, Ufuk Yayıncılık, Kayseri, 426 s.
- Sharaf, R., Noureldin A., Osman, A. ve El-Sheimy, N., 2006. Online INS/GPS Integration with a Radial Basis Function Neural Network, IEE A&E Systems magazine. 20, 3, 8-14.
- Shul'min, M., V. ve Y., Y., Mitel'man, 1974. The Multiquadric Method of Approximating a Topographic Surface, Geodesy, Translated from Russian for AGU, ACSM and ASP (1977), Mapping and Photogrammetry 16, 13-17.



- Sugeno, M. ve Kang, G., T., 1988. Structure Identification of Fuzzy Model, Fuzzy Sets and Systems, 28, 15-33.
- Şen, Z., 2001. Bulanık (fuzzy) Mantık ve Modelleme İlkeleri, Su vakfı yayınları, İstanbul.
- Şen, Z., 2004. Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su vakfı yayınları, İstanbul, 183.
- Şimşek, M., 1992. Jeodezik Ağlarda Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi, Harita Dergisi, 108, 18-33.
- Takagi, T. ve Sugeno, M., 1985. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modelling and Control, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, 15, 116-132.
- Torge, W., 1980. Geodesy, Walter De Gruyter, Berlin-Newyork, 254 p.
- Tsukamoto, Y., 1979. An Approach to Fuzzy Reasoning Method, in: Gupta, M. M., Ragade, R. K., Yager, R. R. (eds.), Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, Amsterdam, North-Hollve, 137-149.
- URL-1, [www.ngs.noaa.gov/GEOID/geoid\\_def.html](http://www.ngs.noaa.gov/GEOID/geoid_def.html), What is the Geoid?, 10 Şubat 2011.
- URL-2, [www.barrodale.com](http://www.barrodale.com), Thin Plate Spline Interpolation on Large 2D Grids, 10 Mart 2010.
- Üstün, A., 2002. Bölgesel ve Global Yükseklik Sistemlerinin Oluşturulması nda GPS'nin Katkı sı Üzerine bir İnceleme: Antalya-Samsun Mareograf İstasyonları Arası nda GPS Nivelmanı Örneği, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Widrow, B. ve Hoff, M., E., 1960. Adaptive Switcing Circuits, IRE WESCON Convention Record, Newyork: IRE Part 4, 96-104.
- Wolf, H. ve Ghilani, C., D., 1997. Adjustment Computation: Statistics ve Least Squares in Surveying ve GIS, John Wiley ve Sons Inc., New York, 564 s.
- Yager, R., R. ve Filev, D., P., 1993. SLIDE: A simple adaptive defuzzification method, IEEE Tran. Fuzzy Syst., 1, 69-78, Feb. 1993.
- Yanalak, M. ve Baykal, O., 2001. Transformation of Elipsoid Heights to Local Levelling Heights, ASCE, Journal of Surveying Engineering, 127, 3, 1-14.
- Yanalak M., 2002. Sayısal Arazi Modellerinde Yükseklik Enterpolasyonu, Harita Dergisi, 128, 44-58 s.
- Yıldız, H., 2012. Yükseklik Modernizasyonu Yaklaşımı: Türkiye İçin Bir İnceleme, Harita Dergisi, 1,147.

- Ying, L., C., ve Pan, M., C., 2008. Using Adaptive Network Based Fuzzy Inference System to Forecast Regional Electricity Loads, Energy Conversation and Management, 49, 205–211.
- Yun, Z., Quan, Z., S., Caixin , L. Shaolan , L. Yuming ve S. Yang, 2008. RBF Neural Network and ANFIS-based Short-term Load Forecasting Approach in Real-time Price Environment, IEEE Trans. Power Syst., 23, 853.
- Yüzer., A., F., Ağaoğlu, E. ve Tatlıdil, H., 2006. Özmen, A., Şıklar, E., İstatistik, TC. Anadolu Üniversitesi Yayın No:1448, Açıköğretim Fakültesi Yayını No:771,
- Zadeh, L., A., 1965. Fuzzy Sets, Information ve Control, 8, 3, 338-353.
- Zadeh, L., A., 1973. Outline of a new Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, IEEE Trans. on Syst., Man. Cyb. SMC, 2, 28-44.
- Zadeh, L., A., 1978. Fuzzy Sets as a Basis for A Theory of Possibility, Fuzzy Sets and Systems, 1, 3-28.
- Zhan, Y. ve Yong, C., 1999. Determination of Local Geoid With Geometric Method: Case Study, Journal of Surveying Engineering, 125, 136-146.
- Zimmermann, H. J., 2001. Fuzzy Set Theory and Its Applications, Fourth Edition, Kluwer Academic Publishers, New York.

## 6. EKLER

Ek Tablo 1. Rize(10) test alanını en iyi temsil eden ikinci derece polinomun anlamlı polinom katsayıları ve doğruluk değerleri (m)

Polinom katsayı ve doğruluk değerleri			
$a_{00}$	1.147 ±0.040	$a_{10}$	-0.915±0.287
$a_{02}$	0.233 ±0.034	$a_{20}$	-1.523±0.473

Ek Tablo 2. Karaman(16) test alanını en iyi temsil eden ikinci derece polinomun anlamlı polinom katsayıları ve doğruluk değerleri (m)

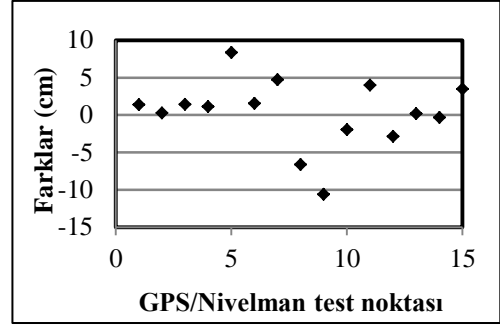
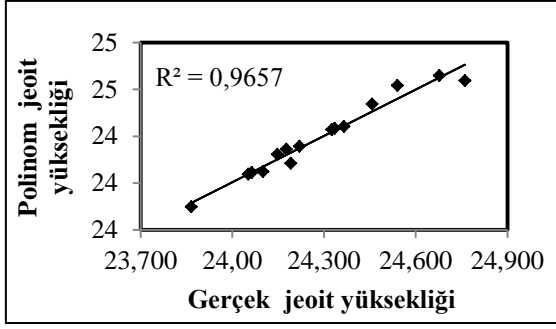
Polinom katsayı ve doğruluk değerleri							
$a_{00}$	0.987 ±0.012	$a_{02}$	0.391±0.063	$a_{12}$	-0.783±0.190	$a_{22}$	0.531±0.154
$a_{01}$	-0.491±0.070	$a_{11}$	0.916±0.207	$a_{21}$	-0.632±0.172		

Ek Tablo 3. Kayseri(53) test alanını en iyi temsil eden dördüncü derece polinomun anlamlı polinom katsayıları ve doğruluk değerleri (m)

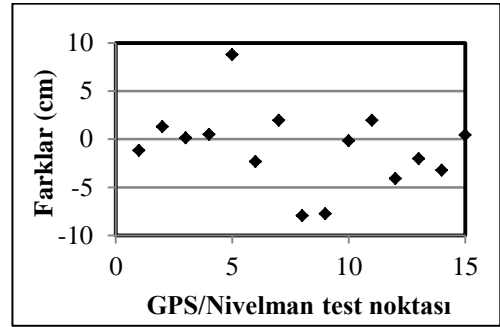
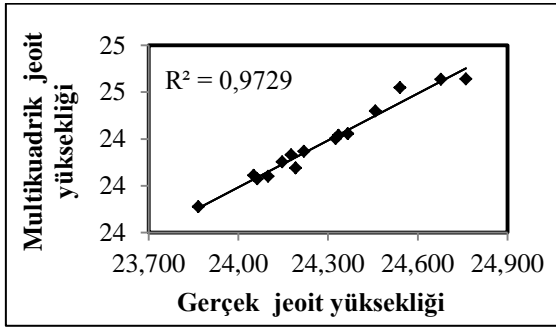
Polinom katsayı ve doğruluk değerleri							
$a_{00}$	1.25 ±0.086	$a_{03}$	0.099±0.026	$a_{20}$	-0.373±0.152	$a_{30}$	0.312±0.102
$a_{01}$	1.326 ±0.175	$a_{11}$	-1.558±0.193	$a_{21}$	0.461±0.065	$a_{40}$	-0.063±0.018
$a_{02}$	-0.738±0.110	$a_{12}$	0.638±0.082	$a_{22}$	-0.209±0.027		

Ek Tablo 4. Kayseri(36) test alanını en iyi temsil eden üçüncü derece polinomun anlamlı polinom katsayıları ve doğruluk değerleri (m)

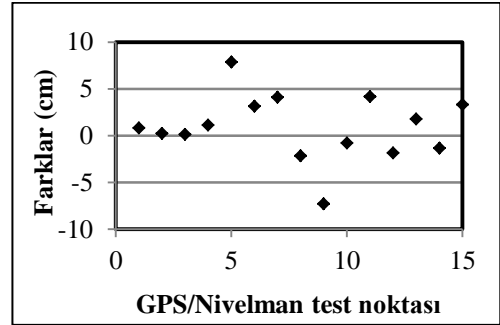
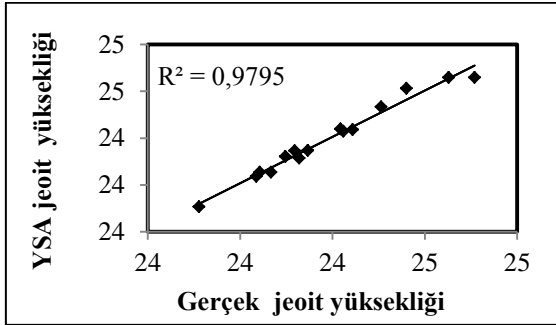
Polinom katsayı ve doğruluk değerleri							
$a_{00}$	1.117 ±0.035	$a_{04}$	0.022±0.006	$a_{21}$	-0.732±0.078	$a_{31}$	-0.081±0.014
$a_{01}$	1.343 ±0.108	$a_{11}$	-1.783±0.136	$a_{22}$	-0.164±0.026		
$a_{02}$	-0.547±0.074	$a_{12}$	0.513±0.719	$a_{30}$	0.015±0.005		



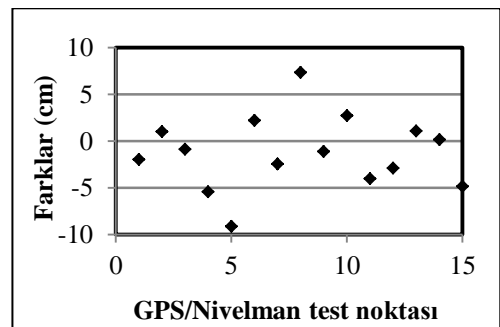
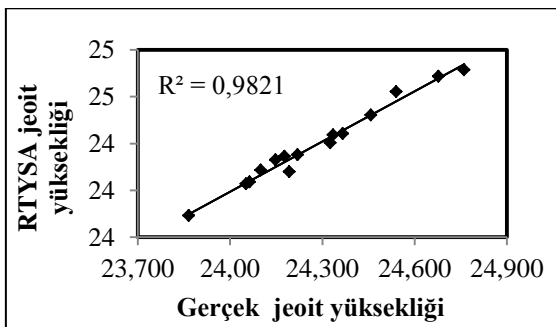
(a)



(b)

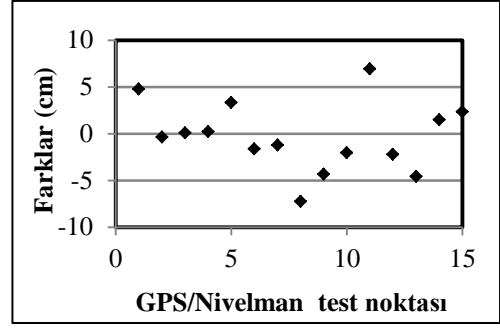
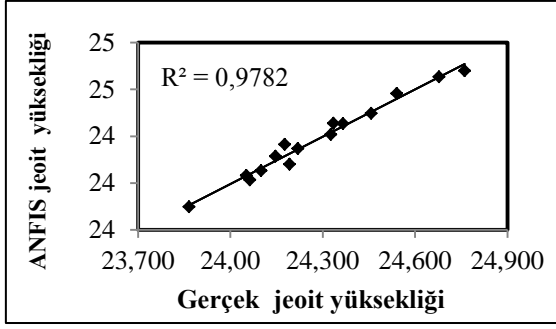


(c)

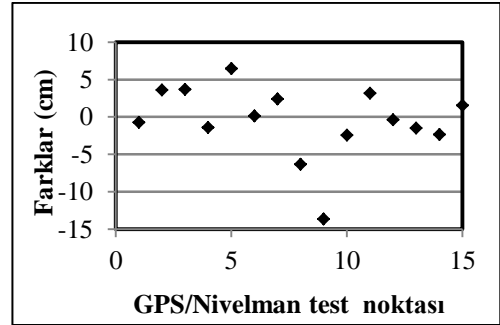
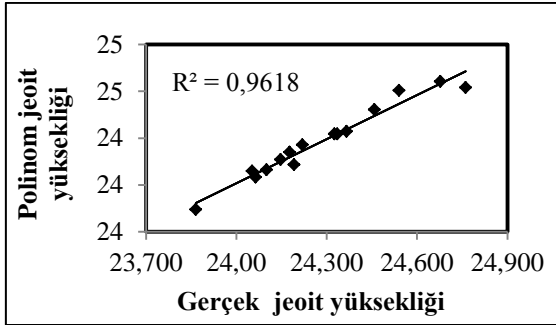


(d)

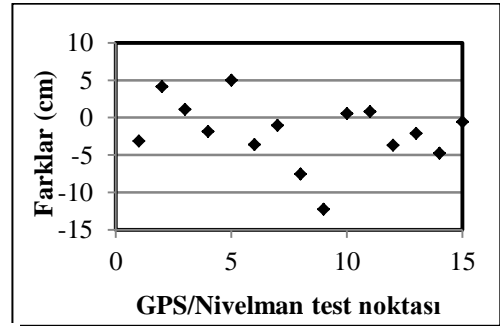
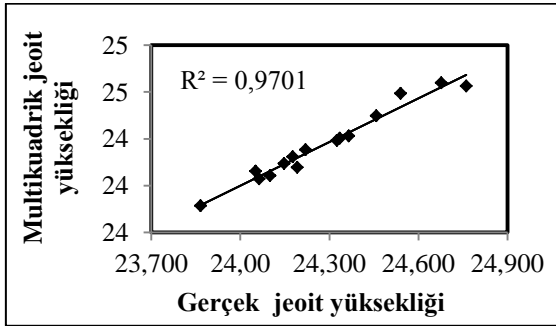
Ek Şekil 1. Rize(31) çalışma alanında a)Polinomlar, b)RTF c)İBYSA ve d)RTYSA yöntemleri ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar



Ek Şekil 2. Rize(31) çalışma alanında ANFIS yöntemi ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar

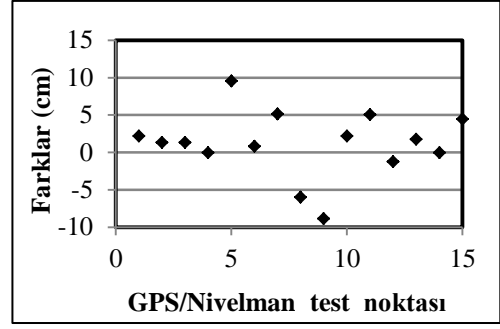
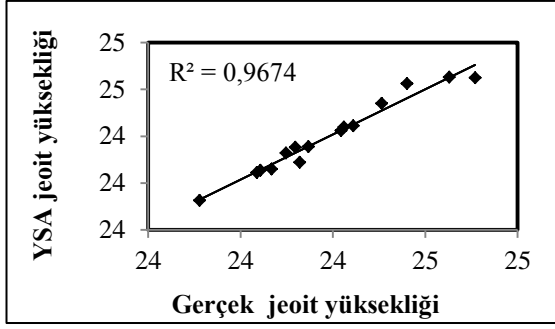


(a)

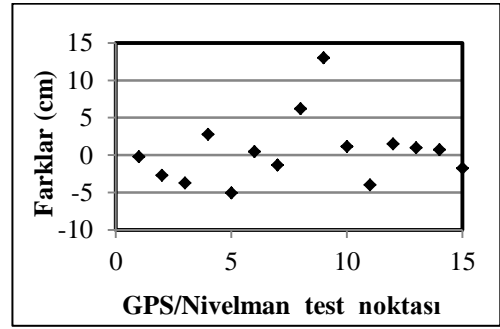
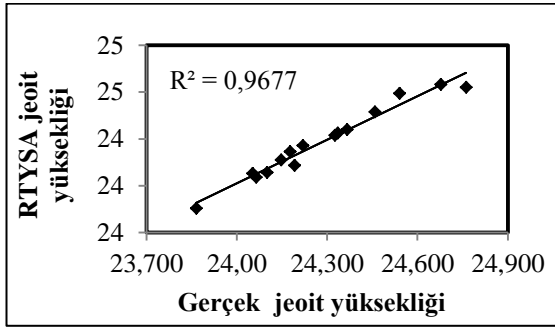


(b)

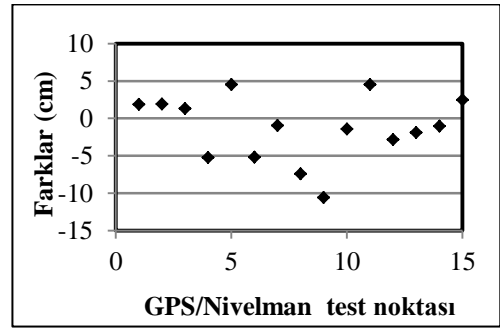
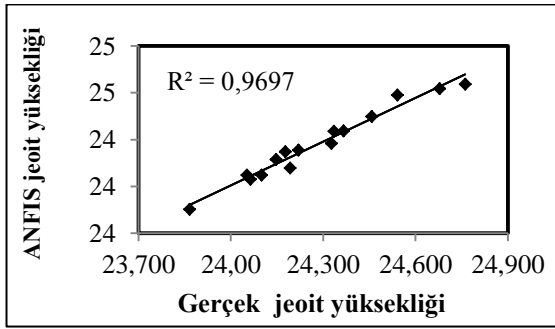
Ek Şekil 3. Rize(10) çalışma alanında a)Polinomlar ve b)RTF yöntemleri ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerlerinin karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar



(a)

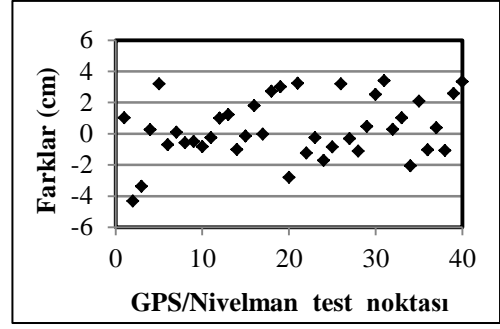
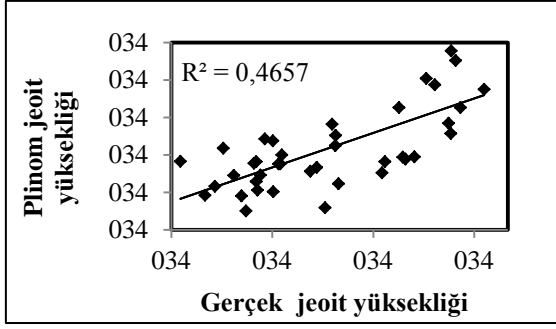


(b)

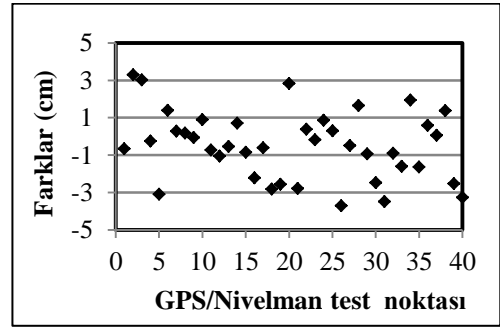
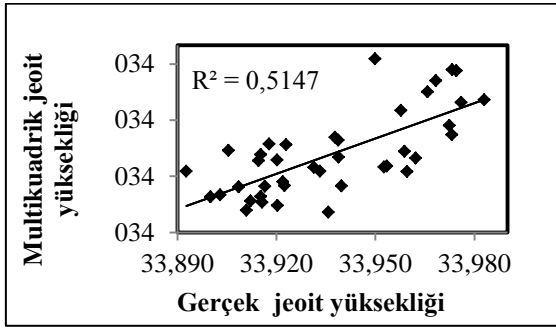


(c)

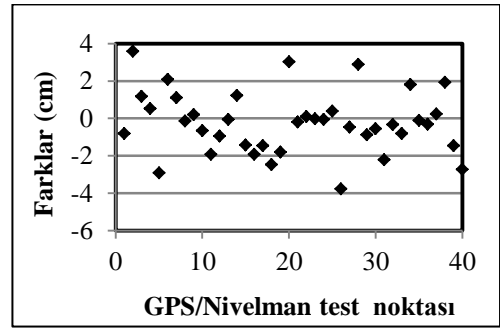
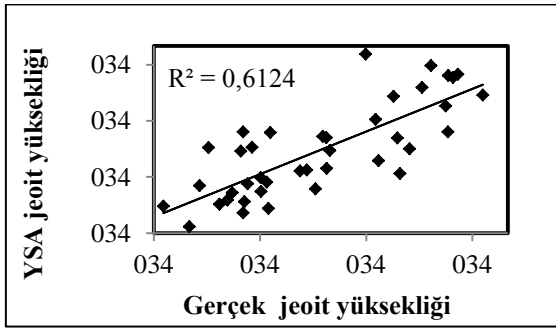
Ek Şekil 4. Rize(10) çalışma alanında a)İBYSA, b)RTYSA ve c)ANFIS yöntemleri ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar



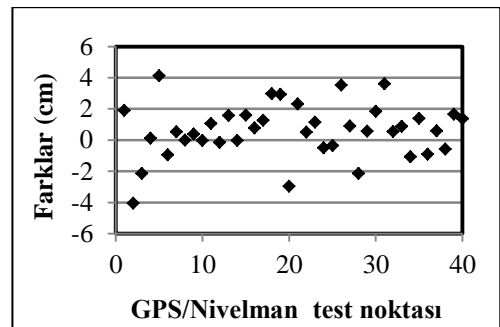
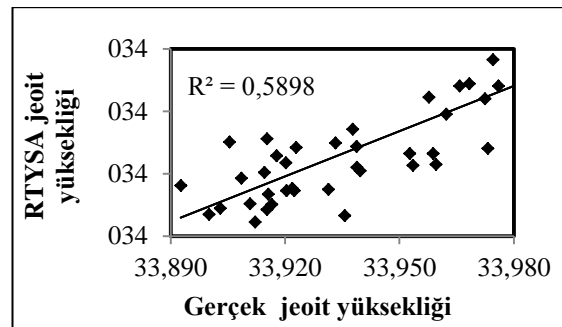
(a)



(b)

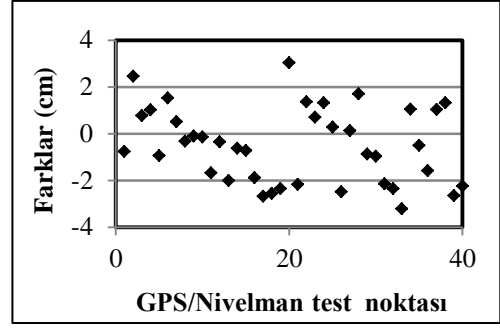
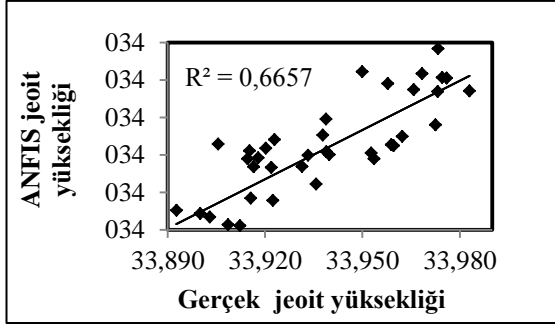


(c)

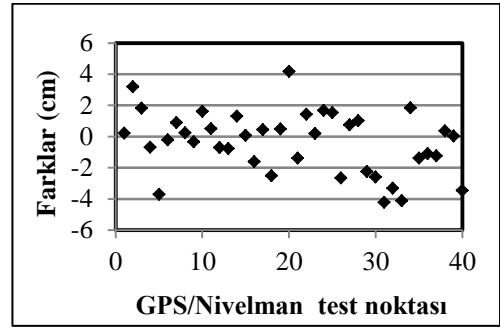
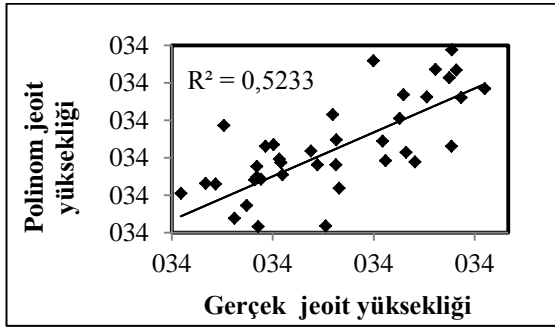


(d)

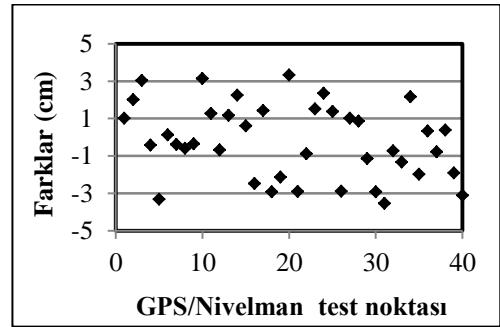
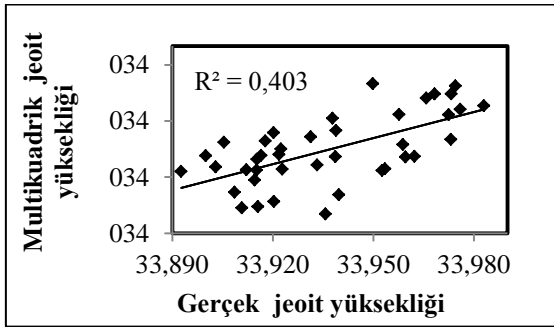
Ek Şekil 5. Karaman(66) çalışma alanında a)Polinomlar, b)RTF c)İBYSA ve d)RTYSA yöntemleri ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar



Ek Şekil 6. Karaman(66) çalışma alanında ANFIS yöntemi ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar



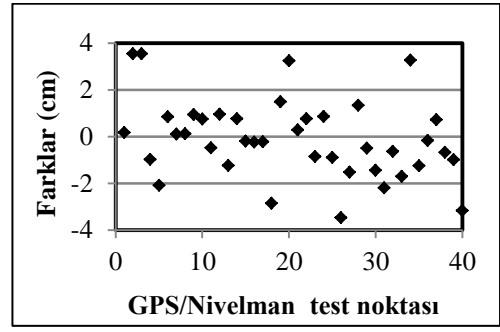
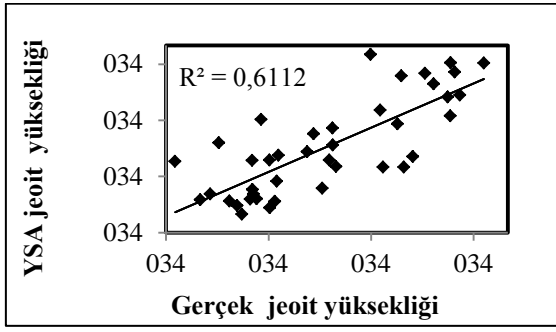
(a)



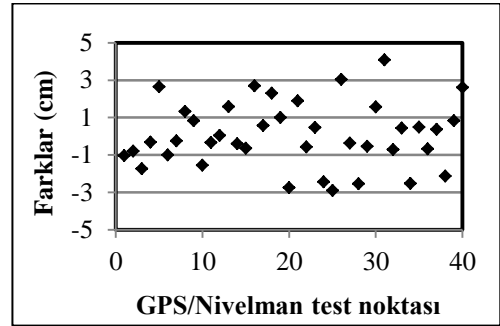
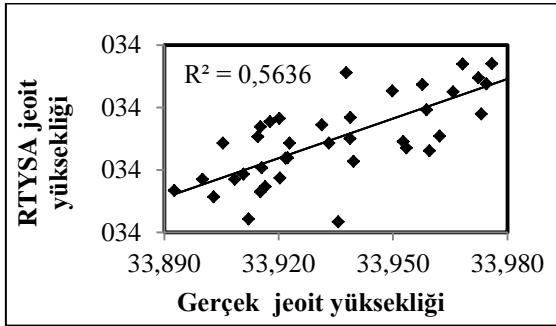
(b)

Ek Şekil 7. Karaman(16) çalışma alanında a)Polinomlar ve b)RTF yöntemleri ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar

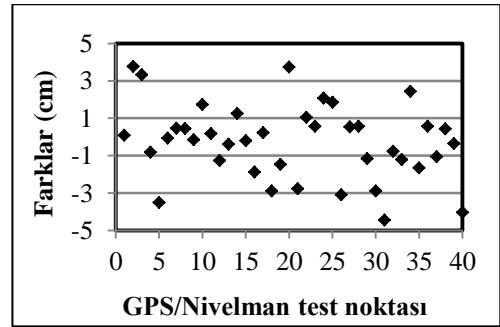
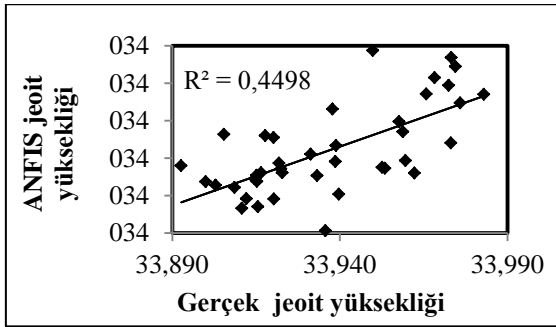




(a)

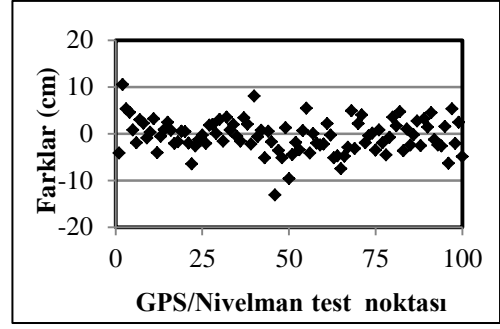
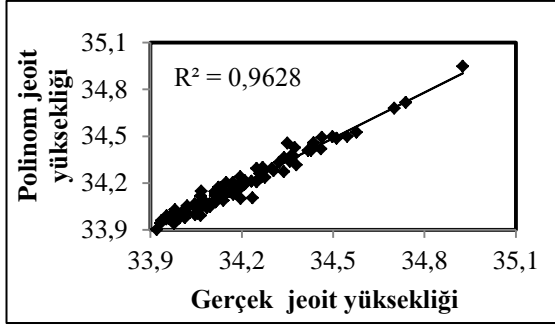


(b)

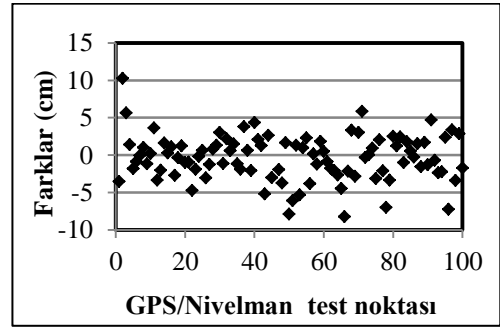
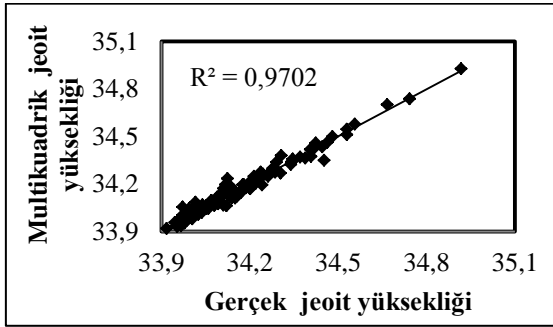


(c)

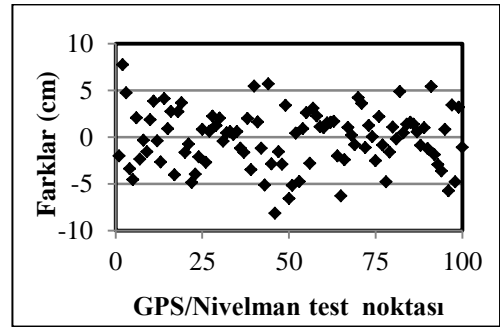
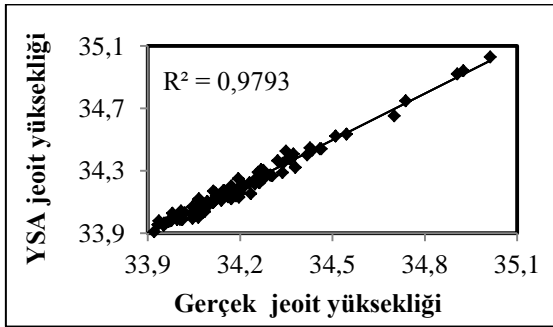
Ek Şekil 8. Karaman(16) çalışma alanında a)İBYSA, b)RTYSA ve c)ANFIS yöntemleri ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar



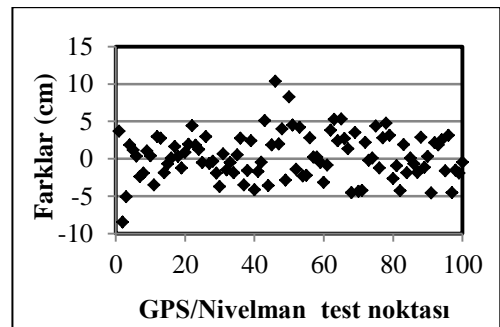
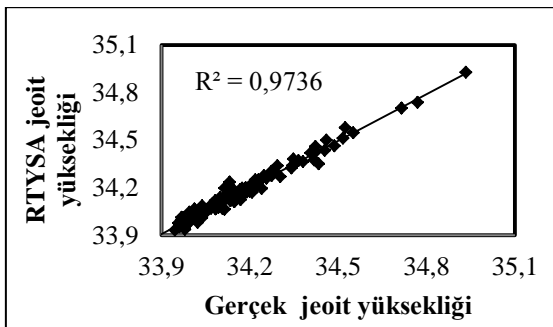
(a)



(b)

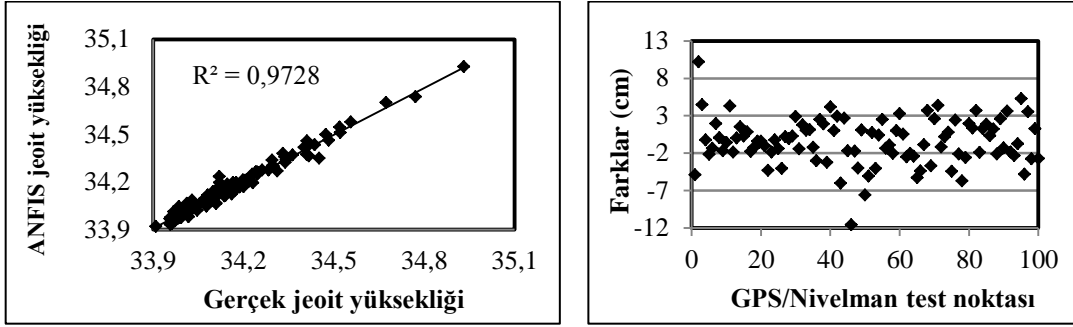


(c)

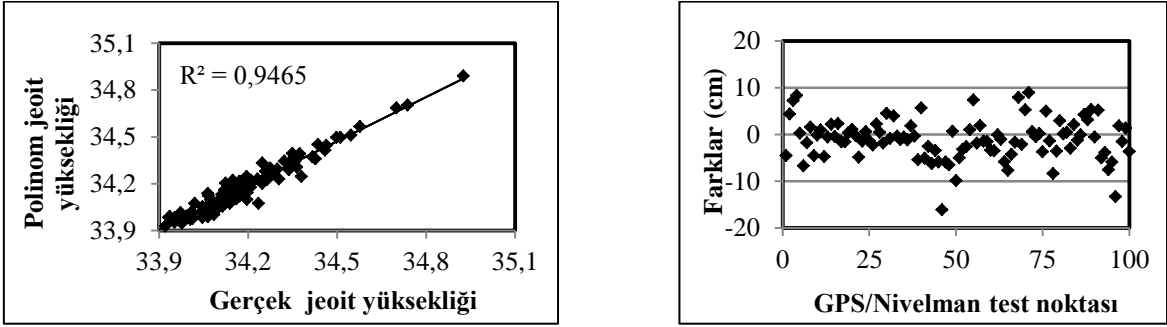


(d)

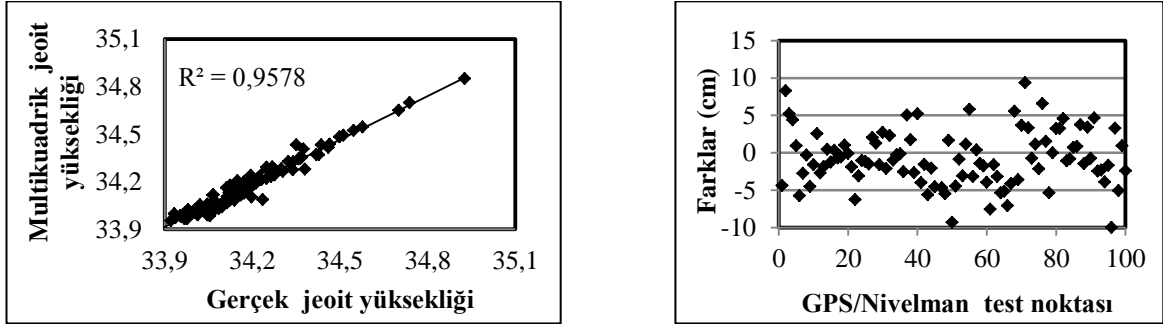
Ek Şekil 9. Kayseri(291) çalışma alanında a)Polinomlar, b)RTF c)İBYSA ve d)RTYSA yöntemleri ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar



Ek Şekil 10. Kayseri(291) çalışma alanında ANFIS yöntemi ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar

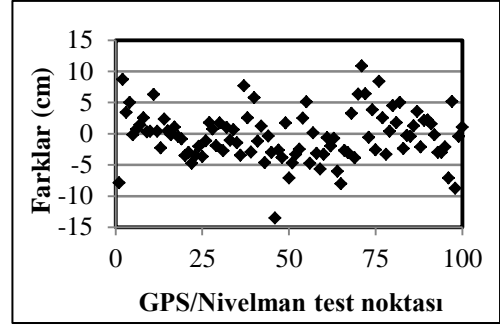
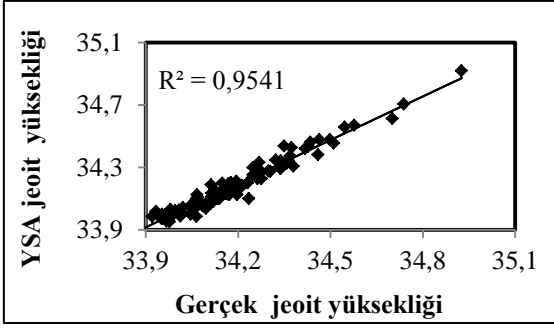


(a)

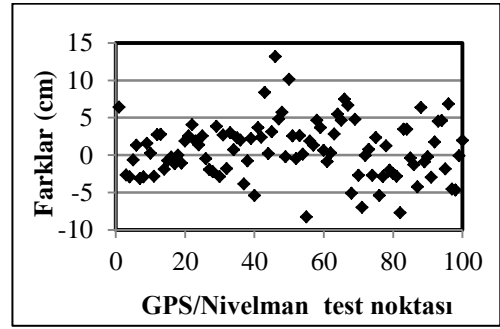
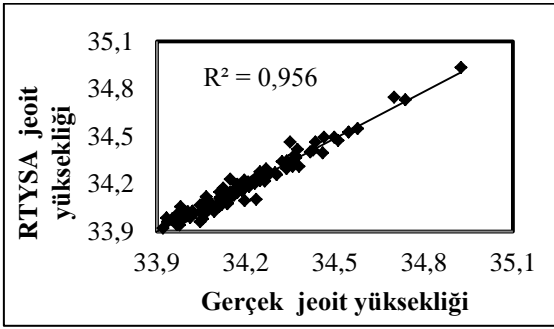


(b)

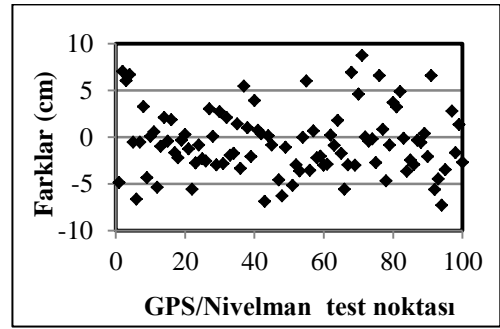
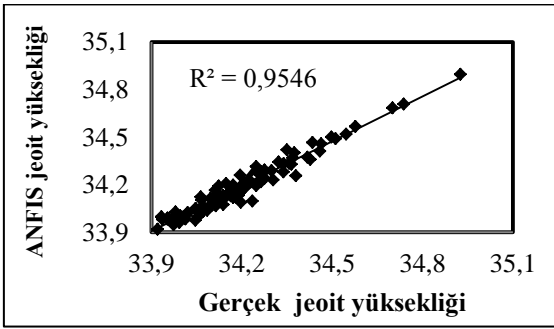
Ek Şekil 11. Kayseri(53) çalışma alanında a) Polinomlar ve b) RTF yöntemleri ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar



(a)

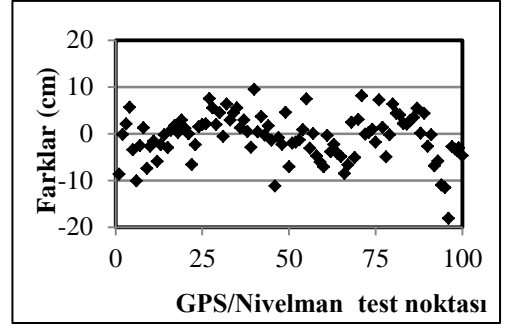
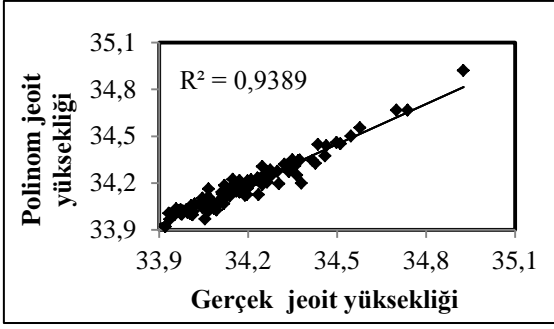


(b)

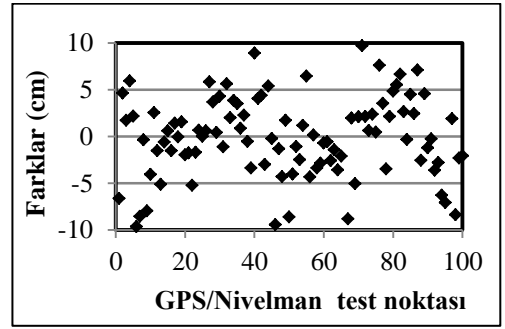
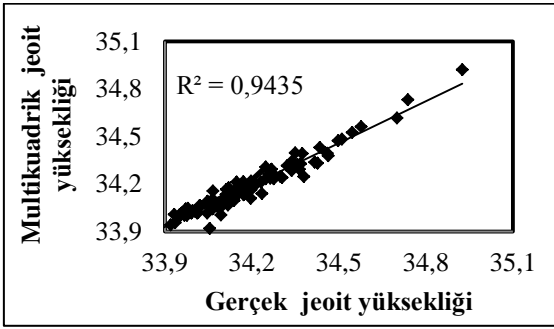


(c)

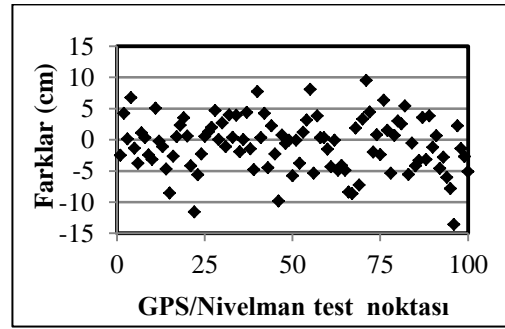
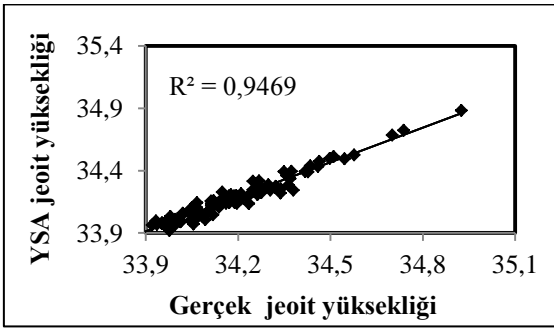
Ek Şekil 12. Kayseri(53) çalışma alanında a) İBYSA, b)RTYSA ve c)ANFIS yöntemleri ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar



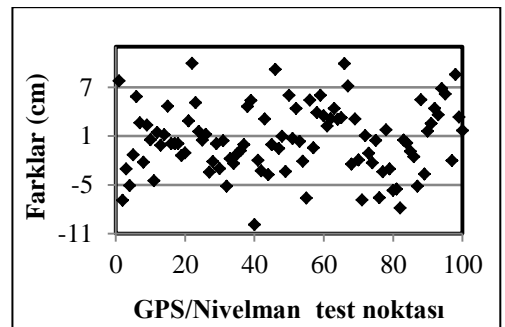
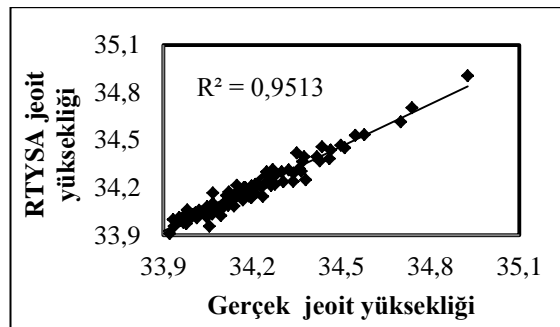
(a)



(b)

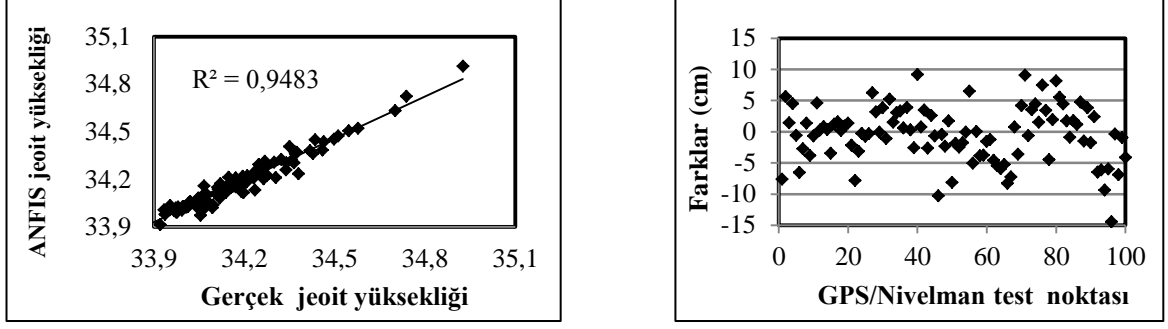


(c)

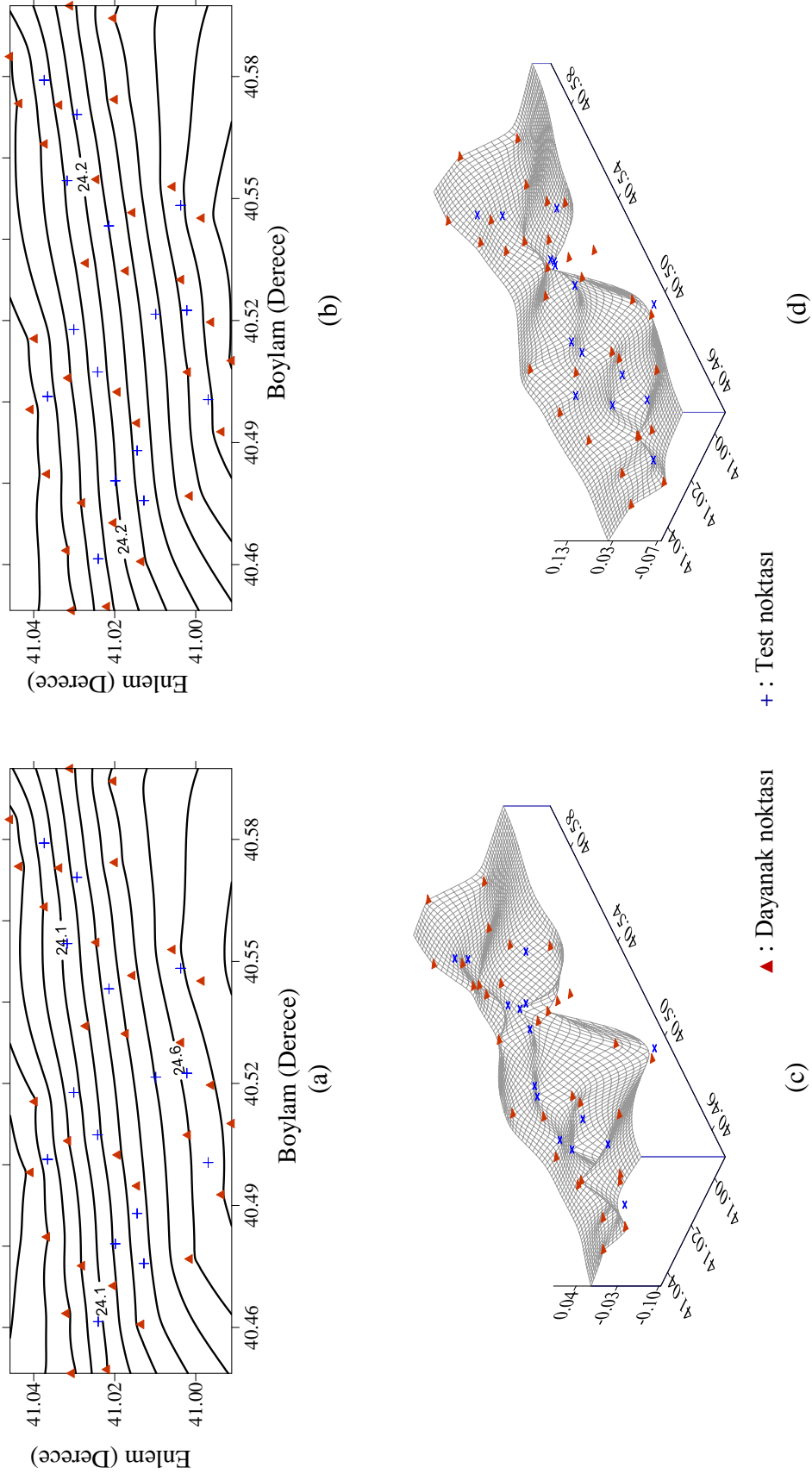


(d)

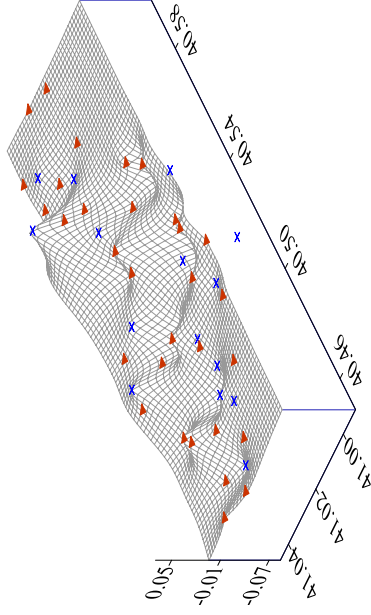
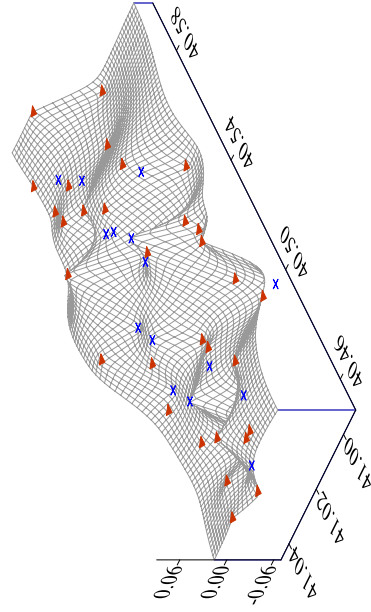
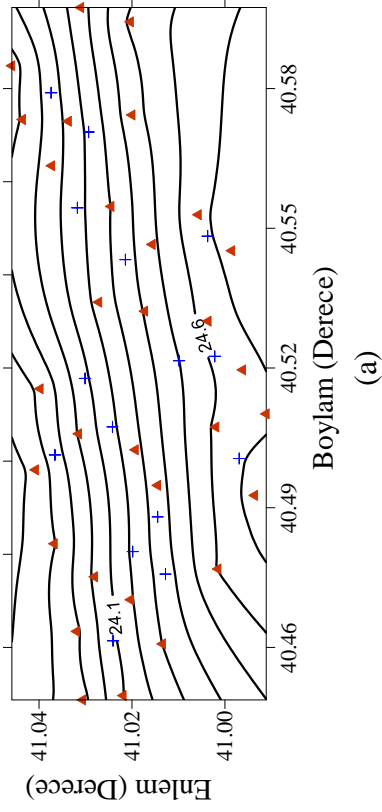
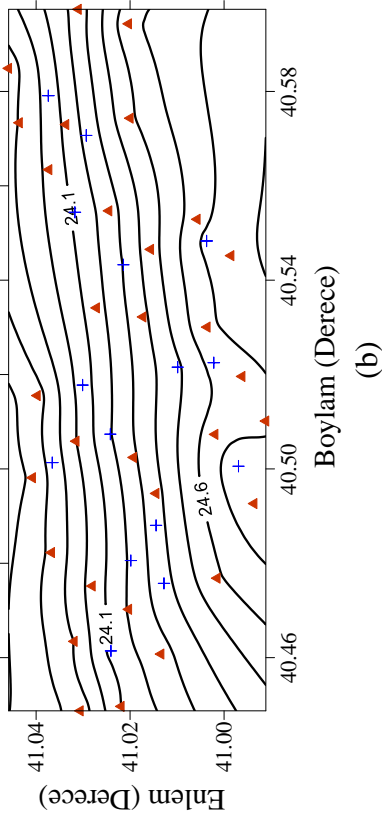
Ek Şekil 13. Kayseri(36) çalışma alanında a)Polinomlar, b)RTF c)İBYSA ve d)RTYSA yöntemleri ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler arasındaki farklar



Ek Şekil 14. Kayseri(36) çalışma alanında ANFIS yöntemi ile test noktalarında hesaplanan jeoit yüksekliklerinin gerçek jeoit yükseklik değerleri ile karşılaştırılması ve gerçek jeoit yükseklikler ile arasındaki farklar



Ek Şekil 15. Rize(31) test alanında a)Polinomlar, b)RTF yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d) Gerçek jeoit yükseklikler ile Polinomlar ve RTF ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



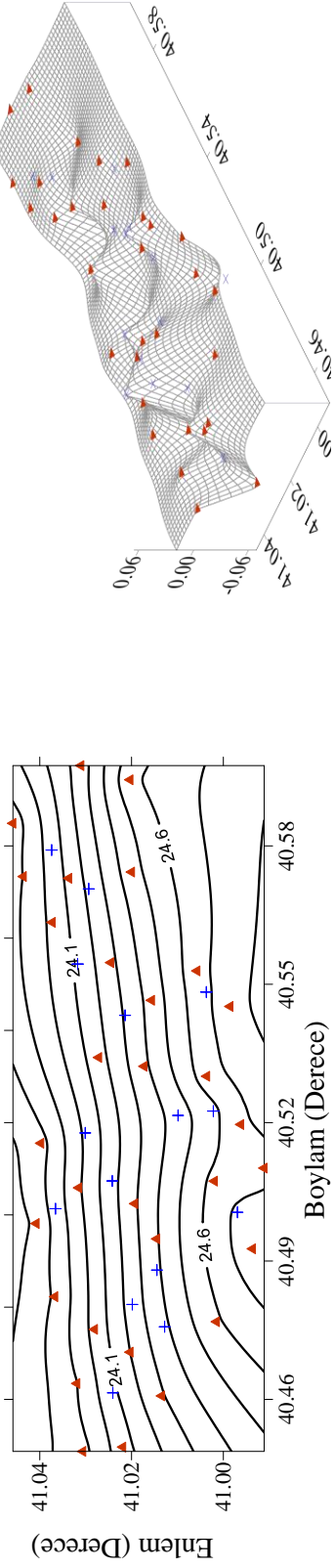
▲ : Dayanak noktası + : Test noktası

(c)

(d)

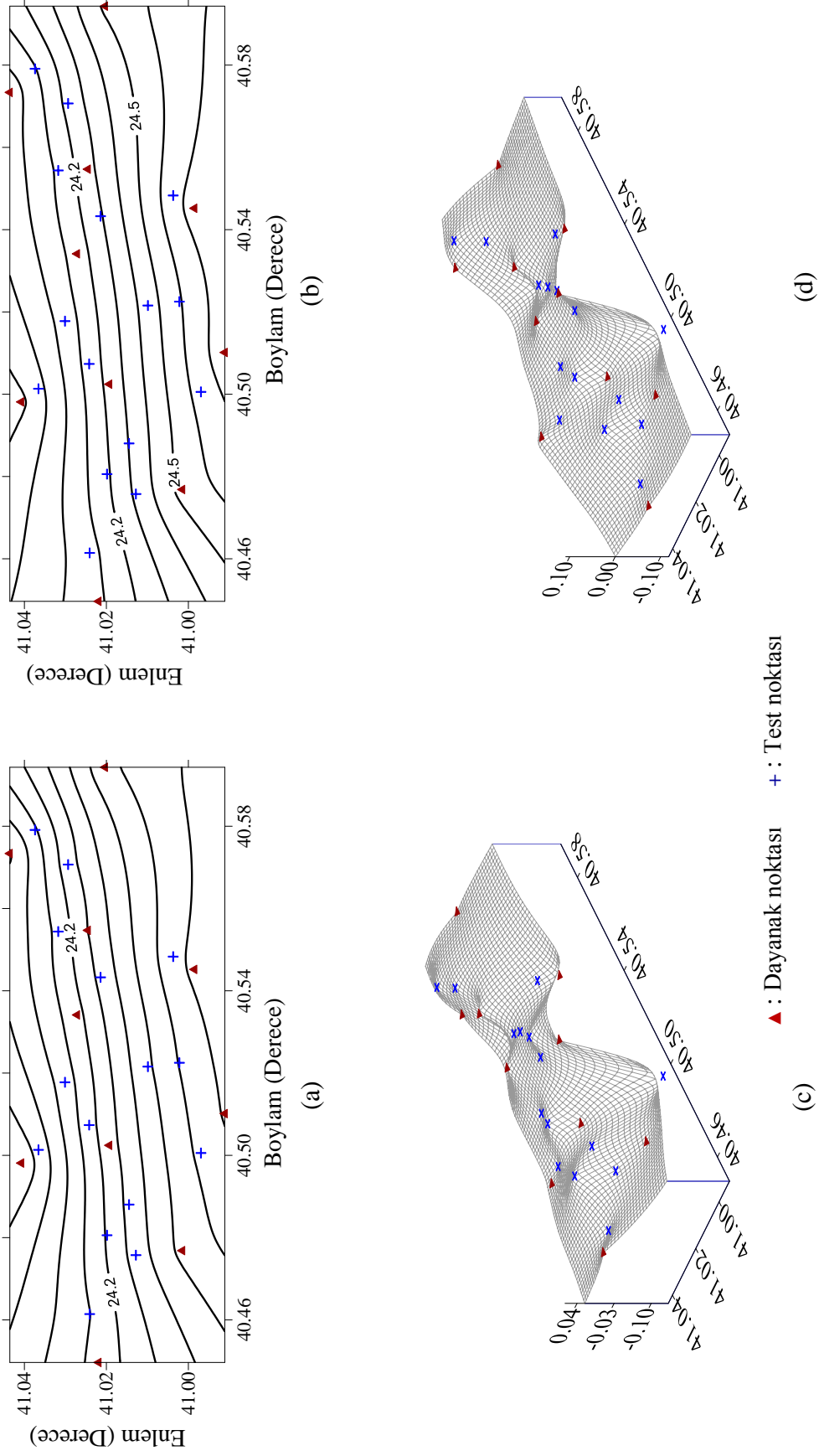
Ek Şekil 16. Rize(31) test alanında a)İBYSA, b) RTYSA yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d) Gerçek jeoit yükseklikler ile İBYSA ve RTYSA ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



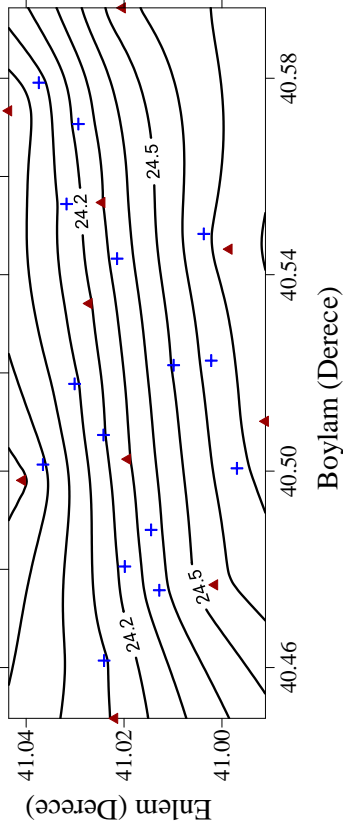
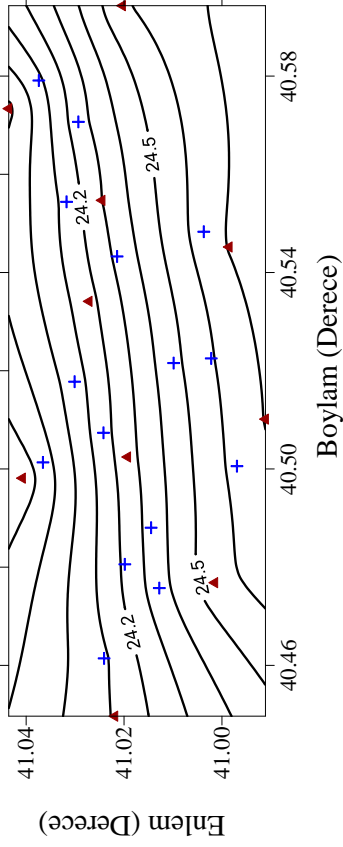


(a) ▲ : Dayanak noktası + : Test noktası (b)

Ek Şekil 17. Rize(36) test alanında a)ANFIS yöntemi için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profili; b)Gerçek jeoit yükseklikler ile ANFIS ile modellenmesinden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)

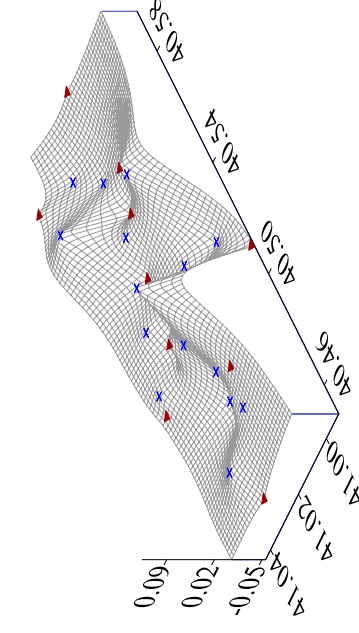
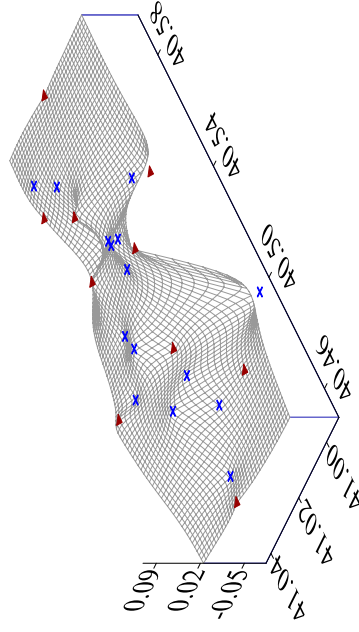


Ek Şekil 18. Rize(10) test alanında a)Polinomlar, b)RTF yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c) , d) Gerçek jeoit yükseklikler ile Polinomlar ve RTF ile modellenmelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



(a)

(b)

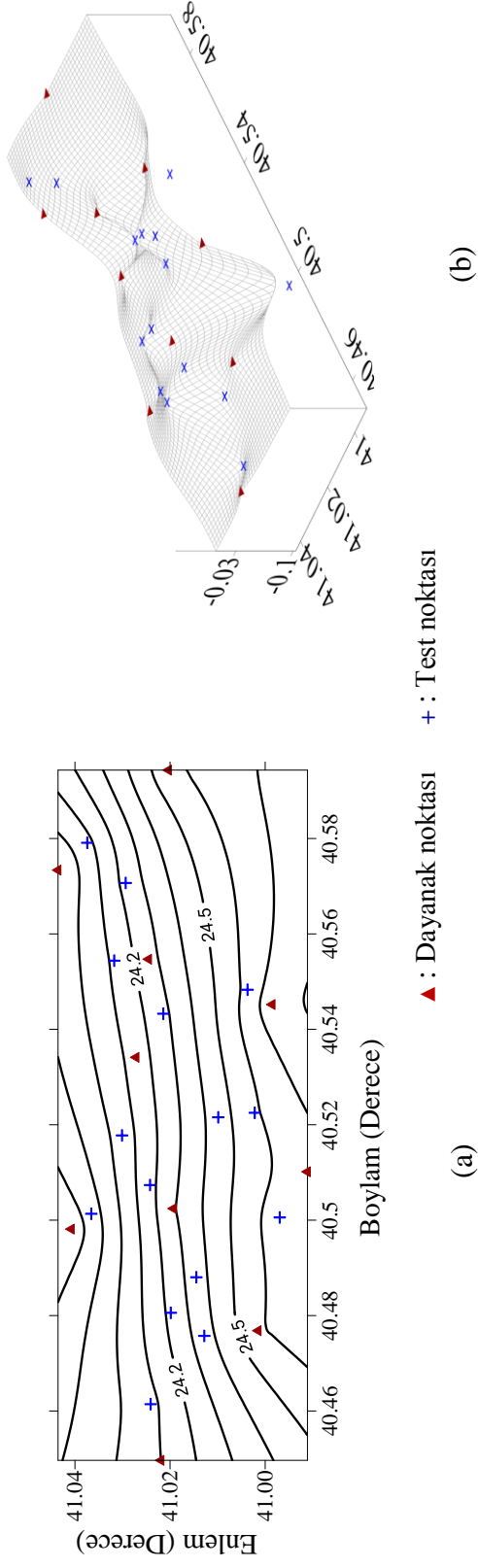


▲ : Dayanak noktası + : Test noktası

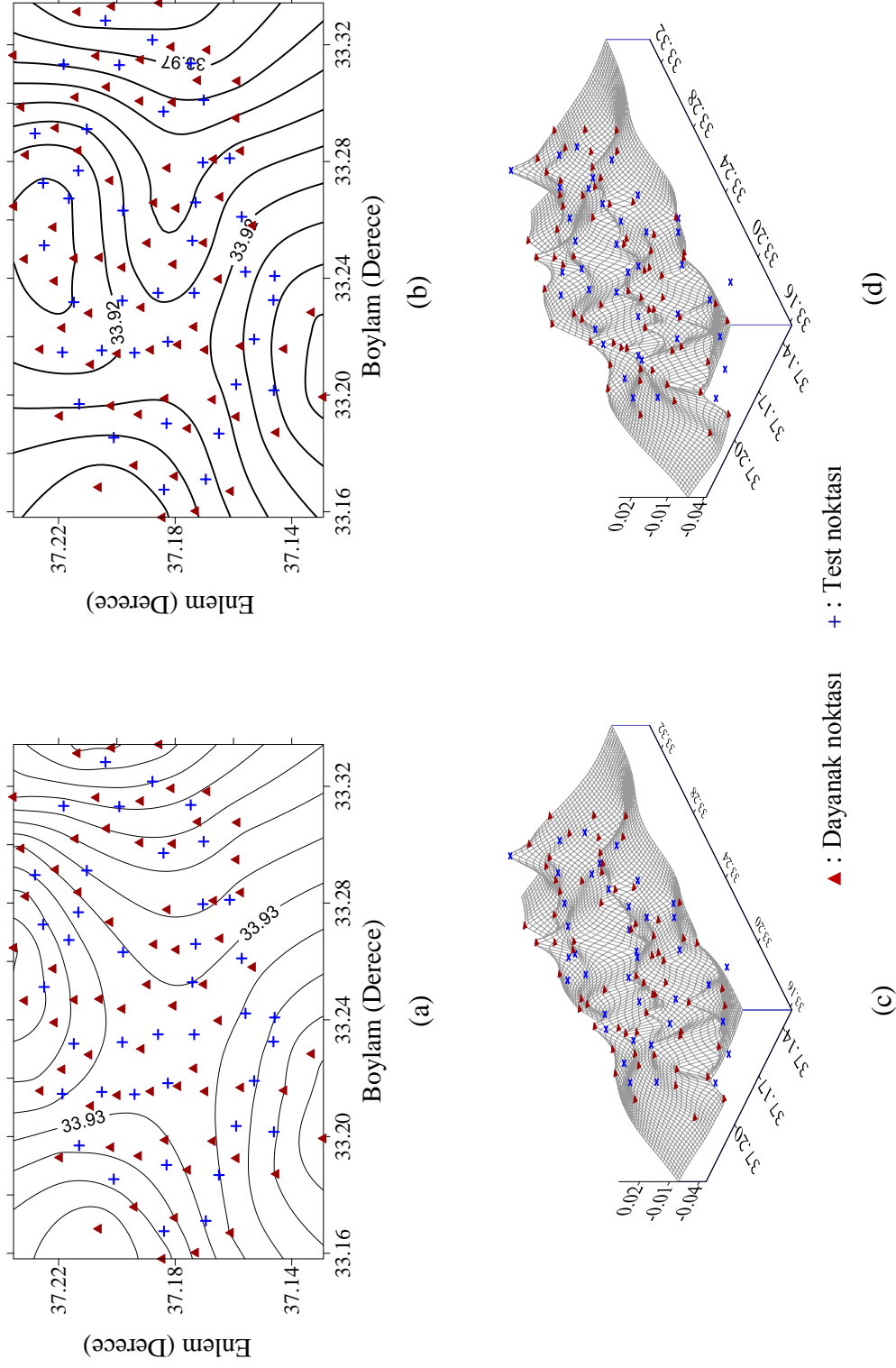
(c)

(d)

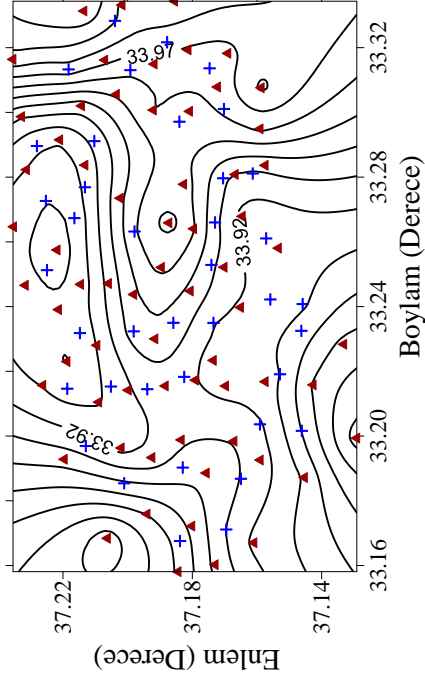
Ek Şekil 19. Rize(10) test alanında a)İBYSA, b) RTYSA yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d) Gerçek jeoit yükseklikler ile İBYSA ve RTYSA ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



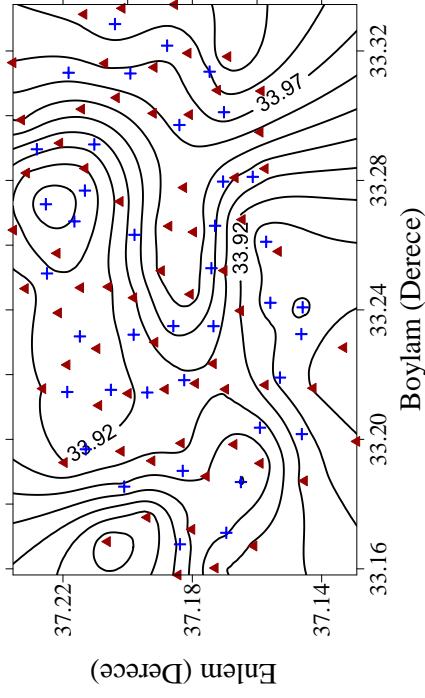
Ek Şekil 20. Rize(10) test alanında a)ANFIS yöntemi için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profili; b)Gerçek jeoit yükseklikler ile ANFIS ile modellenmesinden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



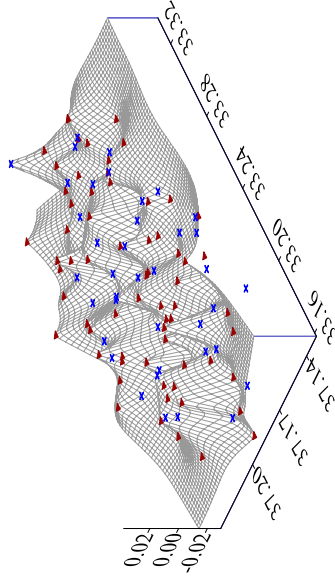
Ek Şekil 21. Karaman(66) test alanında a)Polinomlar, b)RTF yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d)Gerçek jeoit yükseklikler ile Polinomlar ve RTF ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



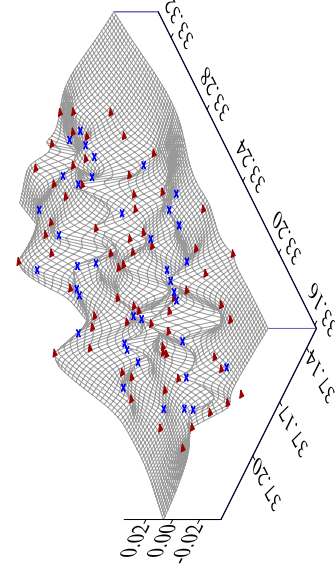
(a)



(b)



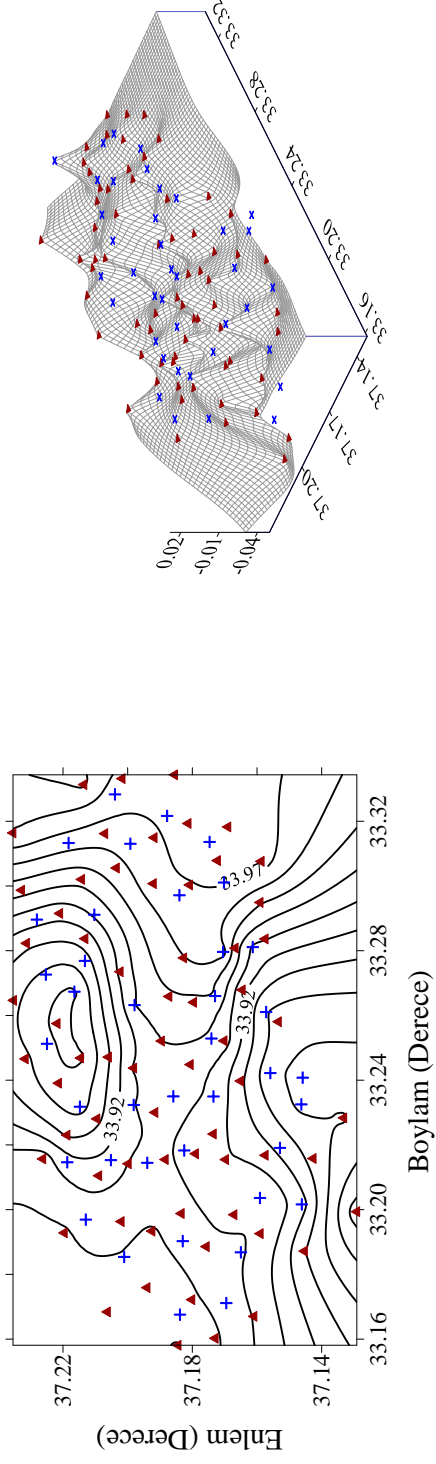
(c)



(d)

▲ : Dayanak noktası + : Test noktası

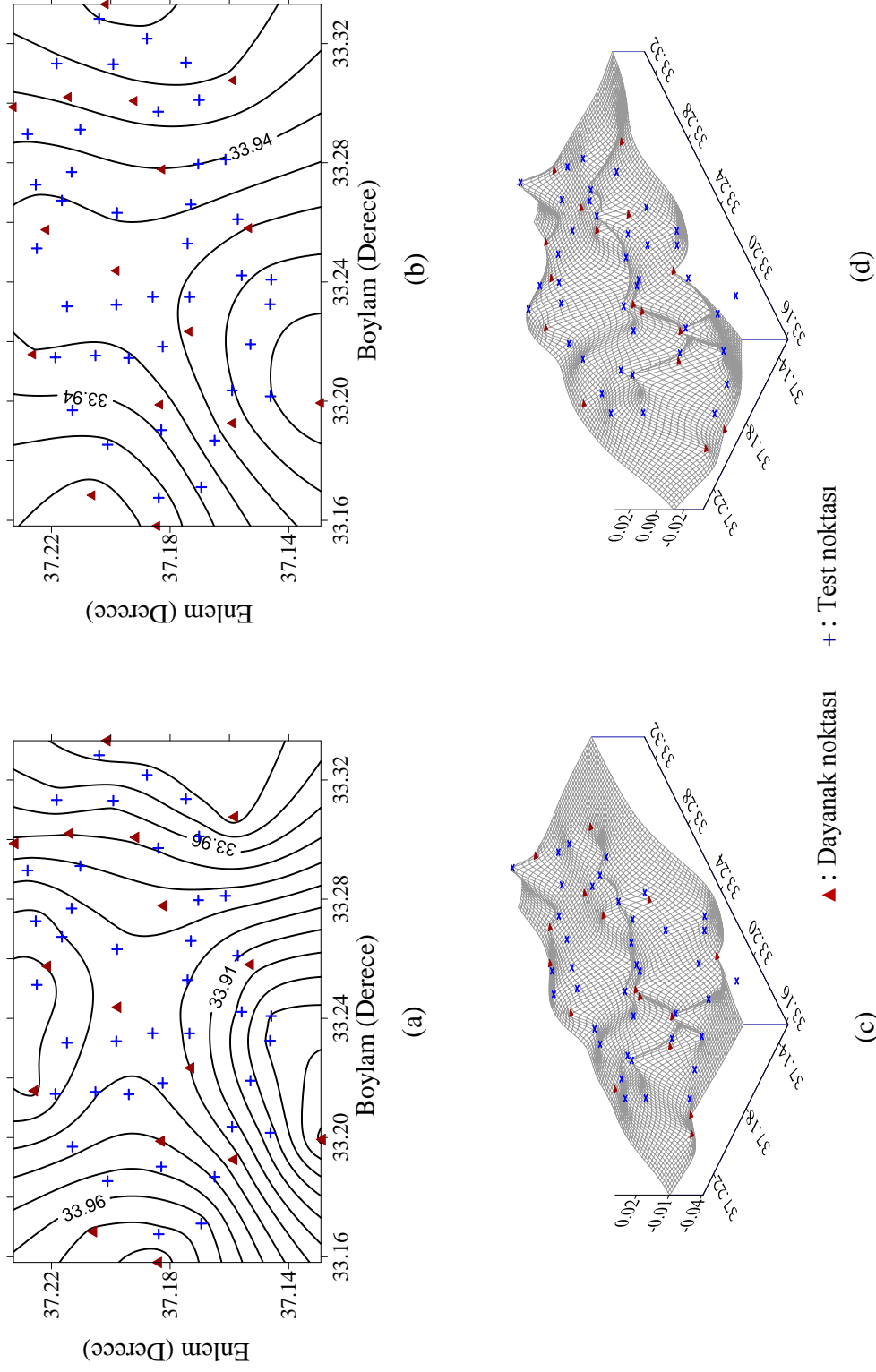
Ek Şekil 22. Karaman(66) test alanında a)İBYSA, b) RTYSA yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d)Gerçek jeoit yükseklikler ile İBYSA ve RTYSA ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



▲ : Dayanak noktası + : Test noktası (a)

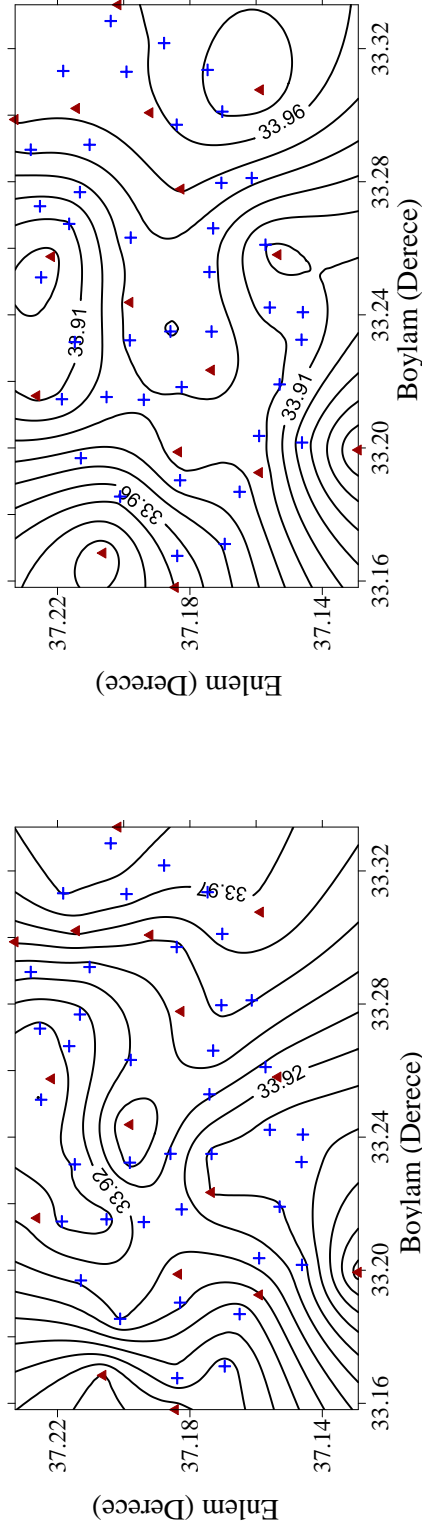
(b)

Ek Şekil 23. Karaman(66) test alanında a)ANFIS yöntemi için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profili; b)Gerçek jeoit yükseklikler ile ANFIS ile modellemesinden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)

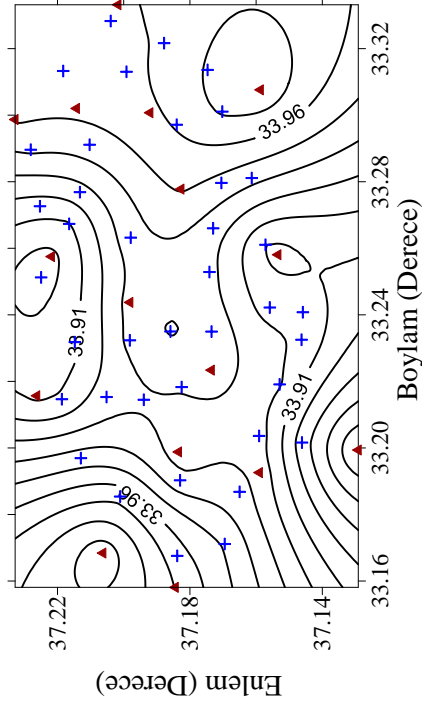


Ek Şekil 24. Karaman(16) test alanında a)Polinomlar, b)RTF yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d)Gerçek jeoit yükseklikler ile Polinomlar ve RTF ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)

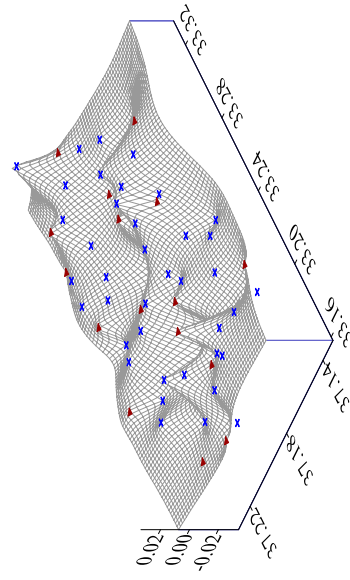




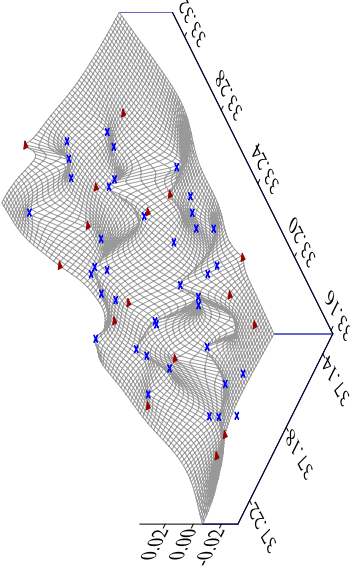
(a)



(b)



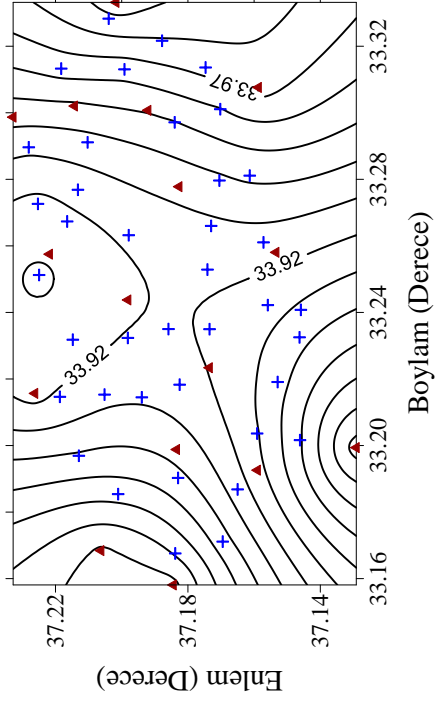
(c)



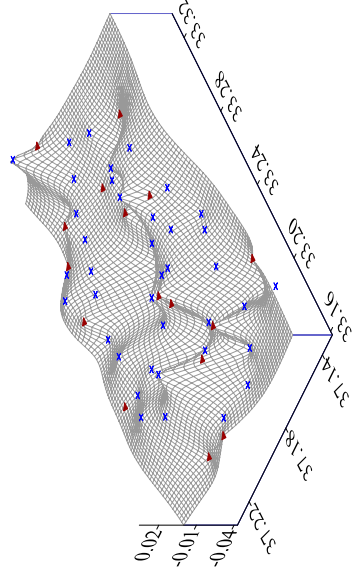
(d)

▲ : Dayanak noktası + : Test noktası

Ek Şekil 25. Karaman(16) test alanında a)İBYSA, b) RTYSA yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d)Gerçek jeoit yükseklikler ile İBYSA ve RTYSA ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



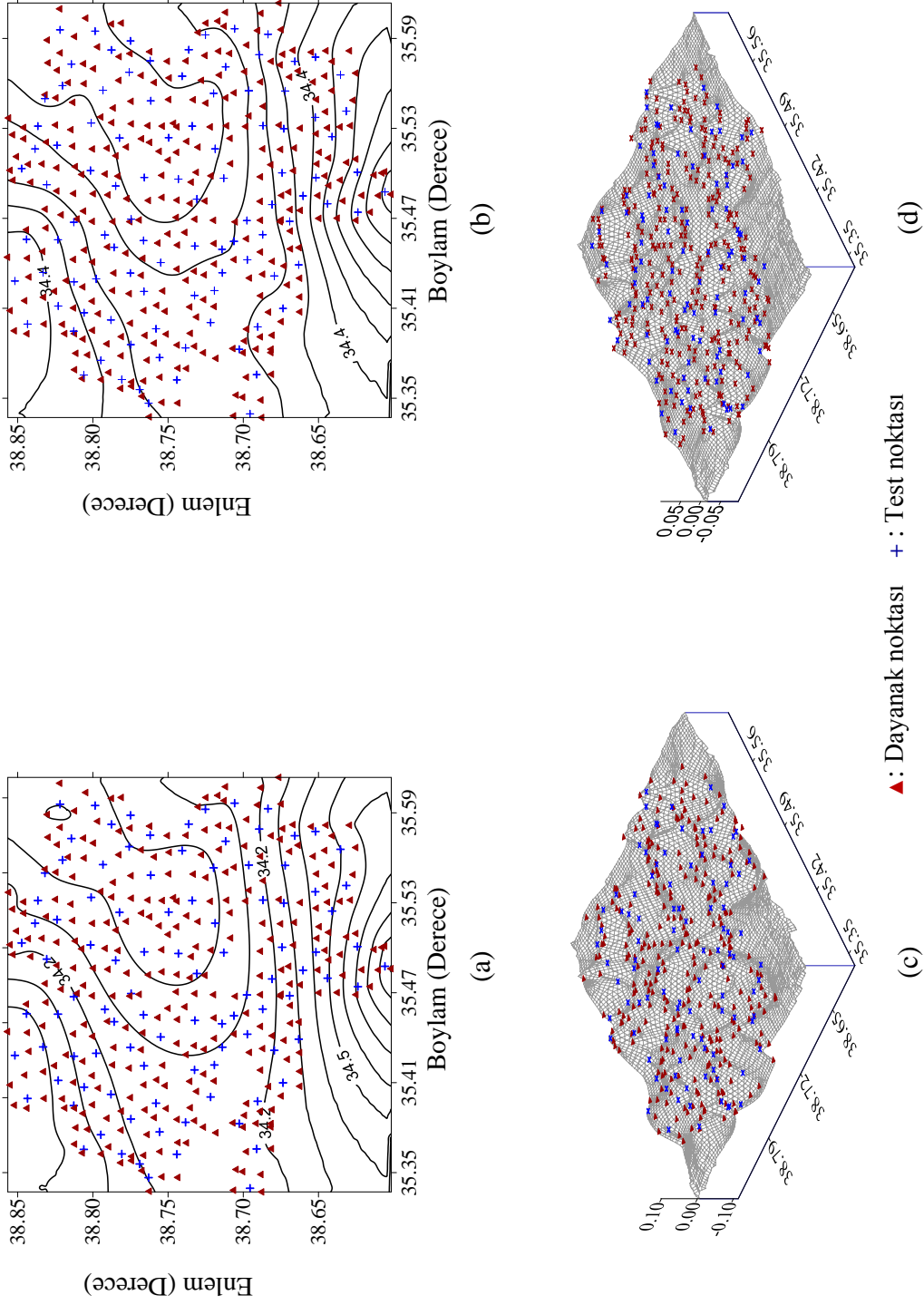
(a)



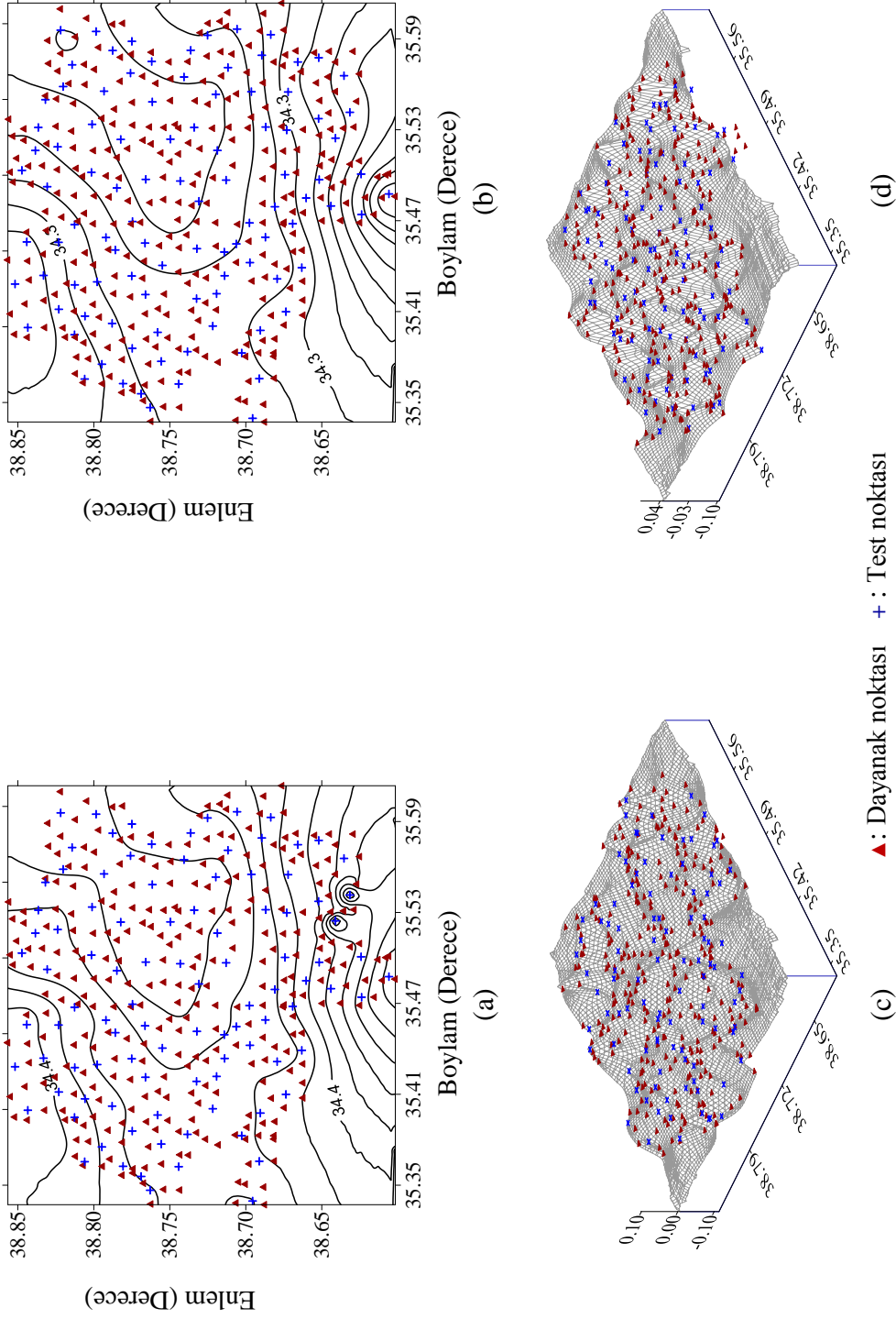
(b)

▲ : Dayanak noktası + : Test noktası

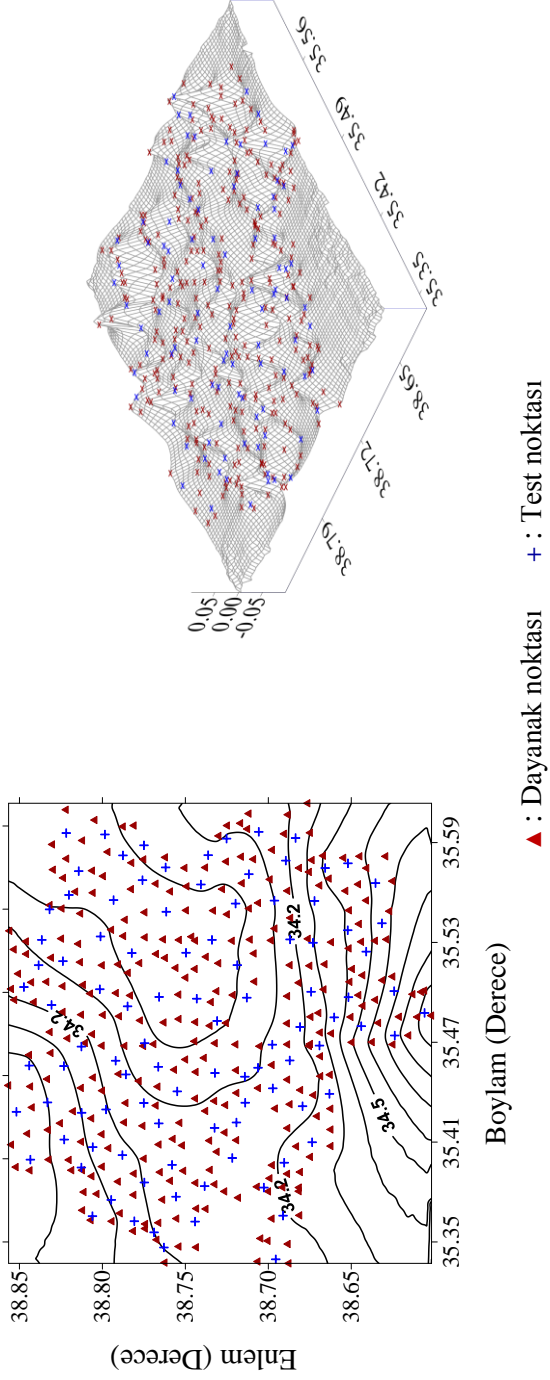
Ek Şekil 26. Karaman(16) test alanında a)ANFIS yöntemi için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profili; b)Gerçek jeoit yükseklikler ile ANFIS ile modellemesinden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



Ek Şekil 27. Kayseri(291) test alanında a)Polinomlar, b)RTF yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d)Gerçek jeoit yükseklikler ile Polinomlar ve RTF ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



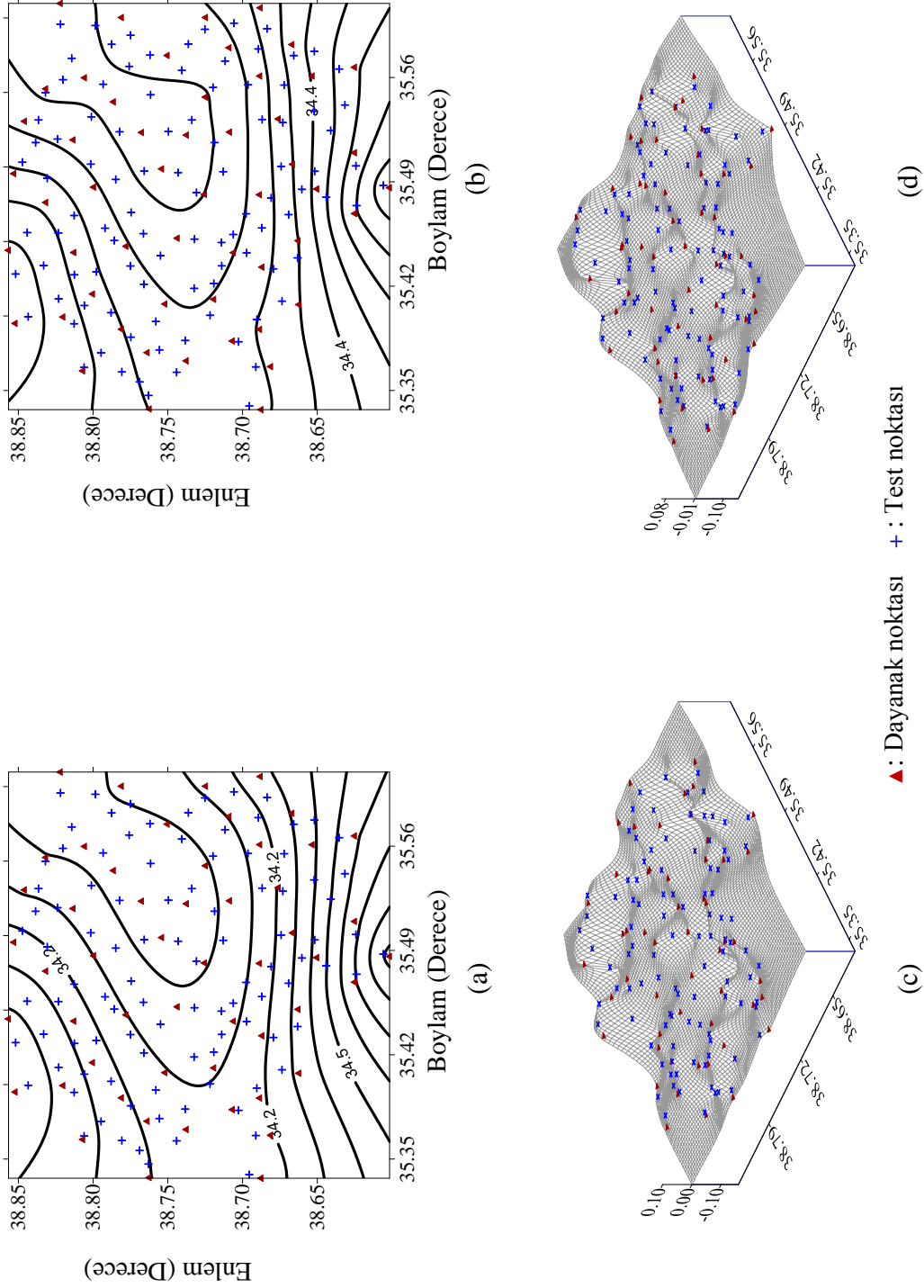
Ek Şekil 28. Kayseri(291) test alanında a)IBYSA, b) RTYSA yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d)Gerçek jeoit yükseklikleri ile IBYSA ve RTYSA ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



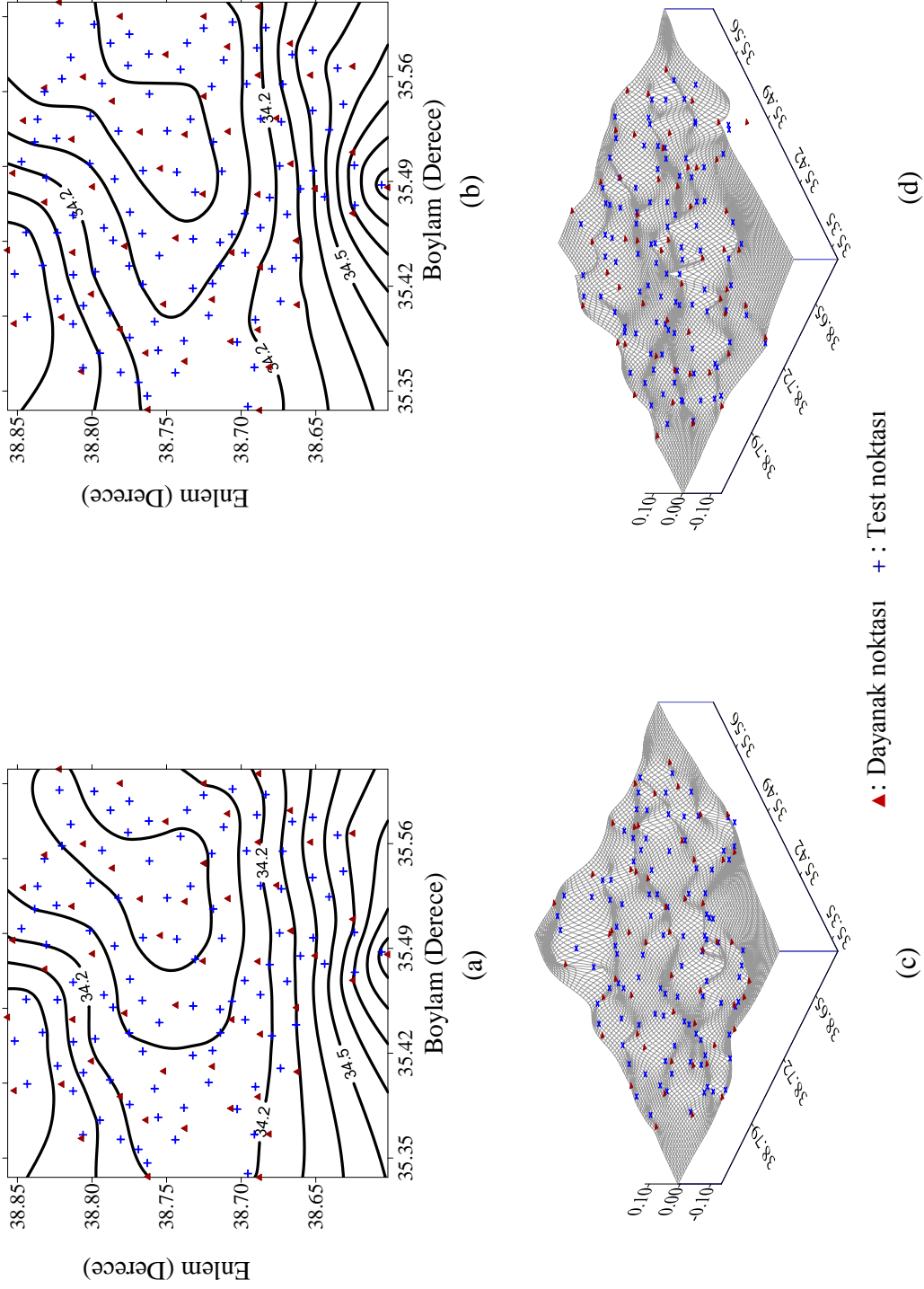
(a)

(b)

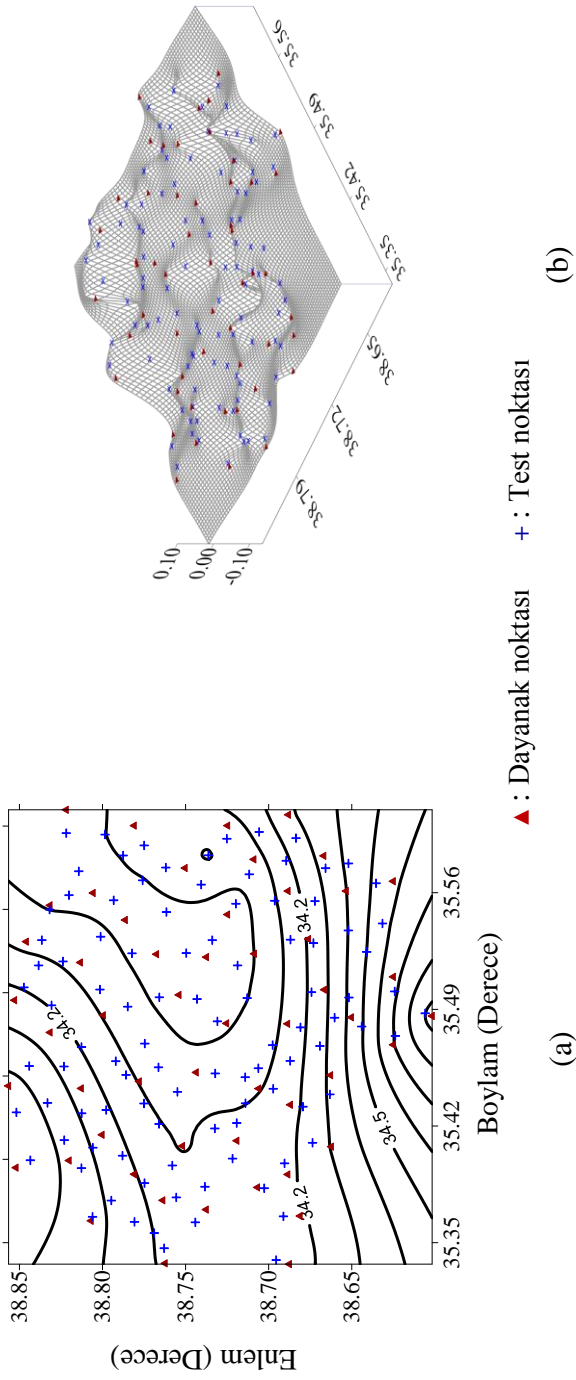
Ek Şekil 29. Kayseri(291) test alanında a)ANFIS yöntemi için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profili; b)Gerçek jeoit yükseklikler ile ANFIS ile modellemesinden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



Ek Şekil 30. Kayseri(53) test alanında a)Polinomlar, b)RTF yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d)Gerçek jeoit yükseklikler ile Polinomlar ve RTF ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)

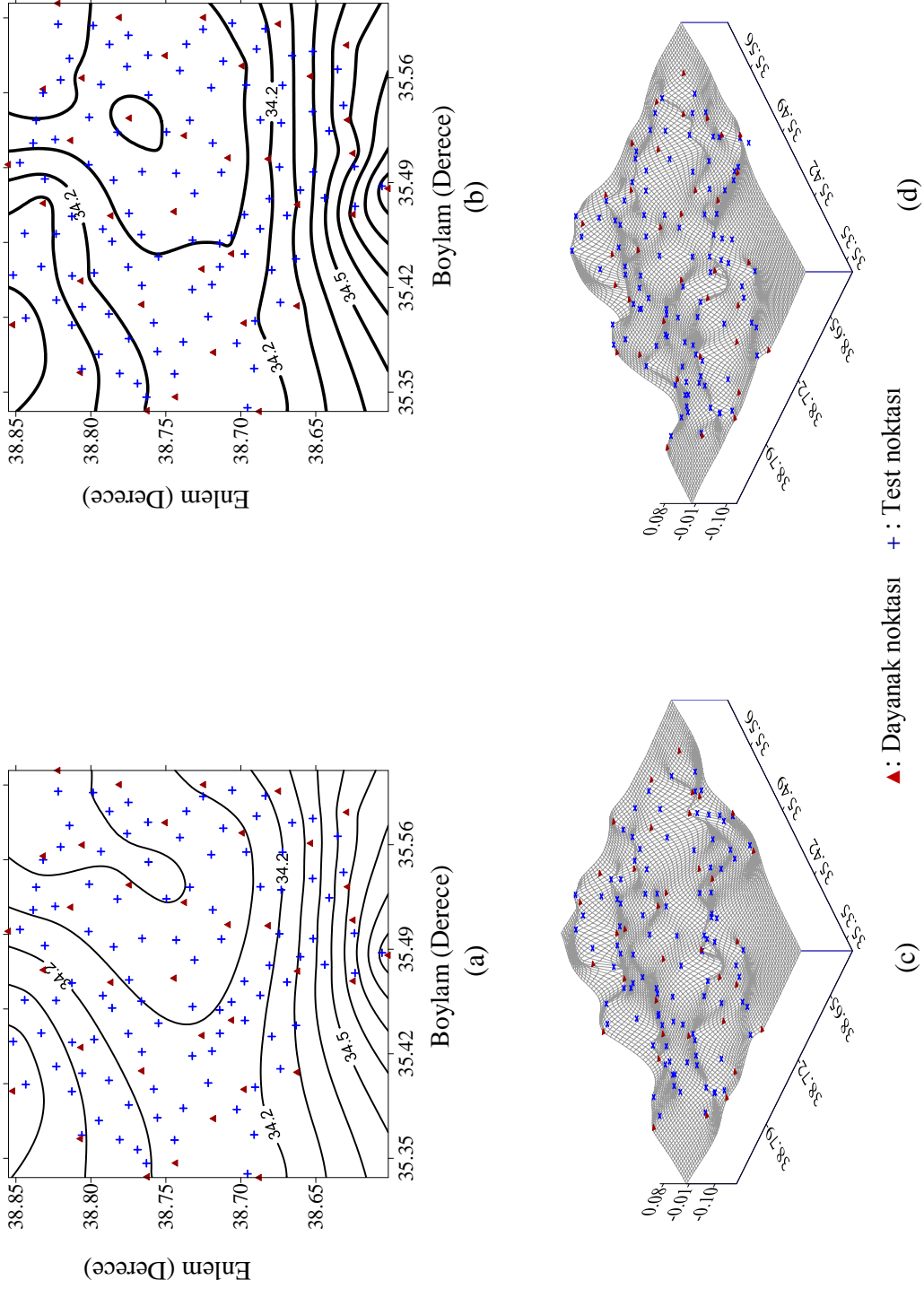


Ek Şekil 31. Kayseri(53) test alanında a)İBYSA, b) RTYSA yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d)Gerçek jeoit yükseklikler ile İBYSA ve RTYSA ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)

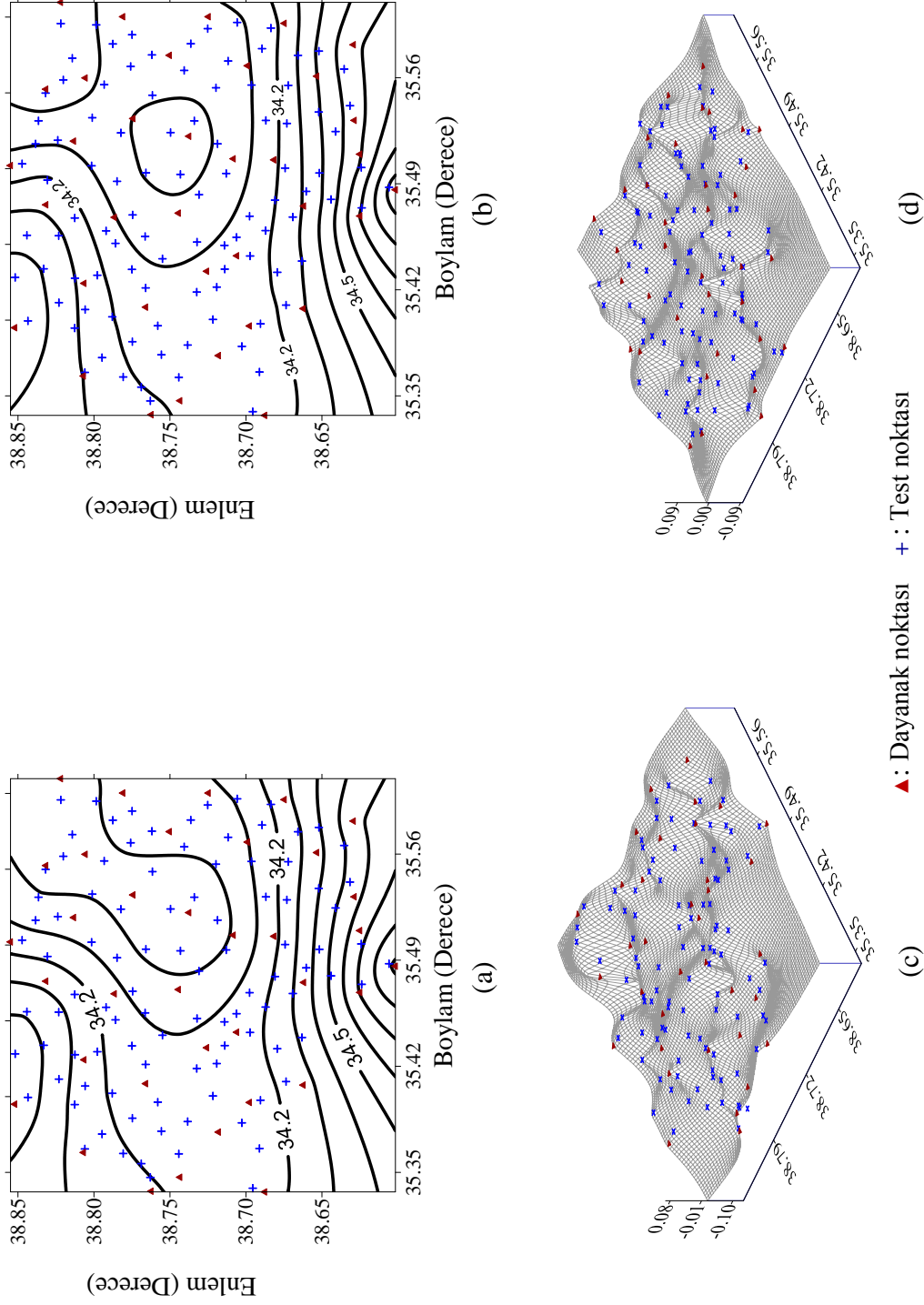


Ek Şekil 32. Kayseri(53) test alanında a)ANFIS yöntemi için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profili; b)Gerçek jeoit yükseklikler ile ANFIS ile modellemesinden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)

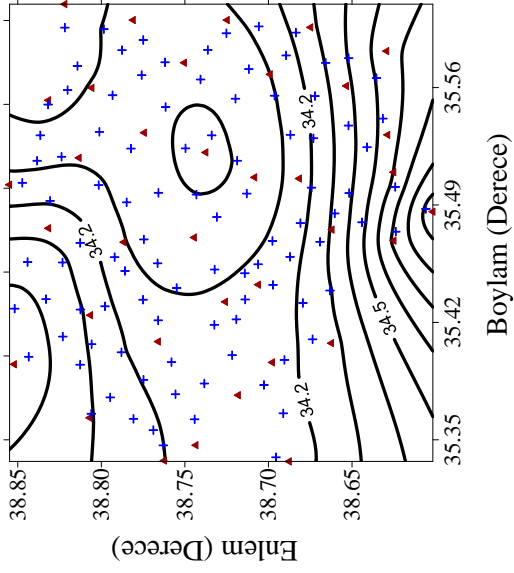




Ek Şekil 33. Kayseri(36) test alanında a)Polinomlar, b)RTF yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d)Gerçek jeoit yükseklikler ile Polinomlar ve RTF ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)

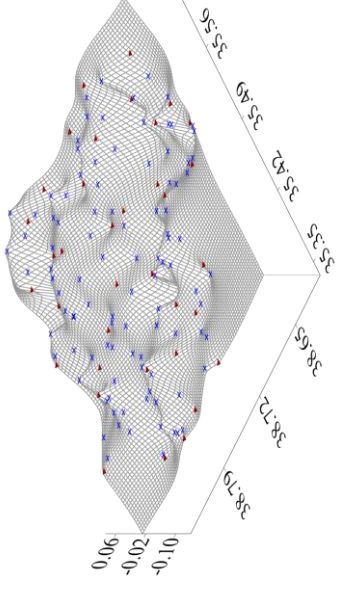


Ek Şekil 34. Kayseri(36) test alanında a)İBYSA, b) RTYSA yöntemleri için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profilleri; c), d)Gerçek jeoit yükseklikler ile İBYSA ve RTYSA ile modellemelerden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)



▲ : Dayanak noktası + : Test noktası

(a)



(b)

Ek Şekil 35. Kayseri(36) test alanında a)ANFIS yöntemi için oluşturulan GPS/Nivelman jeoit profili; b)Gerçek jeoit yükseklikler ile ANFIS ile modellemesinden elde edilen jeoit yükseklikler arasındaki farklar (m)

## ÖZGEÇMİŞ

19.04.1979 tarihinde Trabzon Merkez’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon’da tamamladı. 1997 yılında yükseköğrenimine başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden 2001 yılında Harita Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl içerisinde K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Yüksek Lisans programına girerek 2002-2011 yıllarında Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2005 yılında Jeodezi Anabilim Dalı tezli Yüksek Lisans programından mezun olarak “Harita Yüksek Mühendisi” unvanını aldı ve K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı. Bildiği yabancı dil İngilizcedir.