T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE YEREL JEOİT BELİRLEME: ŞANLIURFA İLİ ÖRNEĞİ

Mehmet Emin KARCI

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
1.1. Temel Kavramlar 2
1.2. Referans Yüzeyleri 5
1.3. Yükseklik Kavramı 8
1.4. Yükseklik Sistemleri 8
1.4.1. Jeopotansiyel yükseklik 9
1.4.2. Dinamik yükseklik 12
1.4.3. Ortometrik yükseklik 12
1.4.4. Normal yükseklik 15
1.4.5. Elipsoidal yükseklik (h) 16
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 20
2.1. Jeoit Belirleme Çalışmalarında Bulanık Mantık Kullanımı 20
2.2. Farklı Disiplinlerde Bulanık Mantık Yönteminin Kullanımları 26
3. MATERYAL ve YÖNTEM 30
3.1. Jeoit Belirleme Yöntemleri 32
3.1.1. Astrojeodezik metotlarla jeoit belirleme 33
3.1.2. Gravite değerlerine göre jeoit belirleme 35
3.1.3. Sayısal yoğunluk yöntemine göre jeoit belirleme 36
3.1.4. Jeopotansiyel yaklaşımı ile jeoit belirleme 36
3.1.5. Kombine yöntemle jeoit belirleme 37
3.1.6. GNSS-nivelman yöntemine göre jeoit belirleme 37
3.1.7. Polinomlar ile jeoit belirleme 38
3.1.8. Bulanık mantık yöntemi ile jeoit belirleme 39
3.2. Bulanık Mantık 39
3.2.1. Bulanık mantık tarihsel gelişimi 40
3.2.2. Bulanık küme kavramı 41
3.2.3. Bulanık mantık aşamaları 42
3.2.4. Bulanık mantık kullanım alanları 45
3.2.5. Bulanık mantık yönteminin avantajları ve dezavantajları 47
3.2.6. Bulanık mantık yöntemleri 48
3.2.7. ANFIS modeli 50
3.3. Çalışma Alanında Bulanık Mantık Yöntemi 53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 54
4.1. Modelin Genel Yapısı 54
4.2. Uygulama 59
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 85
KAYNAKLAR 87
ÖZGEÇMİŞ 91

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE YEREL JEOİT BELİRLEME: ŞANLIURFA İLİ ÖRNEĞİ

Mehmet Emin KARCI

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ULUKAVAK
Yıl: 2022, Sayfa: 91

Konum bilgisi gerektiren arazi çalışmalarının birçoğunda yükseklik bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Ortometrik yükseklik, dünya üzerinde bir noktanın çekül doğrultusunda jeoit ile arasındaki mesafedir. Birçok çalışmada gerekli olan jeoit yüksekliği (N), elipsoidal yükseklikten (h) ortometrik yükseklik (H) farkı ile belirlenir. Bu iki yükseklik sistemi (elipsoidal ve ortometrik yükseklik) arasında dönüşüm bu bağlantı ile mümkün olduğundan dolayı elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yükseklikler belirlenebilmektedir. Jeoit belirlemek için bir çok yöntem vardır. Ancak çalışılacak bölgede yükseklik sisteminden istenen hassasiyete göre en uygun yöntem seçilmelidir. Bu yöntemler içerisinde bulanık mantık yöntemi ve yapay sinir ağları gibi esnek hesaplama yöntemleri ile jeoit belirleme çalışmaları yapılabilmektedir. Bu çalışmada, jeoit belirleme çalışması bulanık mantık yöntemi ile yapılmıştır. Çalışma bölgesi olarak Şanlıurfa İlinde; enlem, boylam, elipsoidal yükseklikleri ve ortometrik yükseklik değerleri bilinen 408 adet nokta ile bulanık mantık yöntemi kullanılarak jeoit yükseklikleri belirlenmiştir. Çalışmada 318 adet nokta eğitim verisi olarak, 90 adet noktada test verisi olarak kullanılmıştır. Uygulama MATLAB ortamında ANFIS editörü kullanılarak yapılmıştır. Bulanık model için her üyelik fonksiyonunda çeşitli alt kümelerle hesaplamalar yapılmış ve en iyi sonuçlar 8 alt kümede gauss yöntemi ile oluşturulan modelden elde edilmiştir. Ayrıca bulanık model oluşturmak için kullanılan jeoit yükseklikleri ile hesaplama sonucu bulunan jeoit yükseklikleri arasındaki fark, eğitim ve test noktalarının birçoğunda sıfıra yaklaşmıştır. Bu sonuç çalışma bölgesi için esnek hesaplama yöntemleri ile hassas bir jeoit modelinin oluşturulduğunu göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Jeoit Yüksekliği, GPS/GNSS, Ortometrik Yükseklik, Bulanık Mantık, ANFIS

ABSTRACT

MSc Thesis

LOCAL GEOID DETERMINATION WITH FUZZY LOGIC METHOD: CASE STUDY IN ŞANLIURFA

Mehmet Emin KARCI

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Mustafa ULUKAVAK
Year: 2022, Pages: 91

Most of the field studies that require location information need height information. Orthometric height is the distance between a point on the earth and the geoid along the plumb line. The geoid ondulation (N) required in most studies is determined by the difference between the orthometric height (H) and the ellipsoidal height (h). Since it is possible to transform between these two height systems, orthometric heights can be determined from ellipsoid heights There are many methods to determine the geoid, but the most suitable method should be selected according to the desired sensitivity from the height system in the region to be studied. Among these methods, geoid determination studies are carried out with flexible calculation methods such as fuzzy logic method and artificial neural networks. In this study, geoid determination study was carried out with fuzzy logic method. In the province of Şanlıurfa as the study area; Geoid heights were determined using fuzzy logic method with 408 points whose latitude, longitude, ellipsoidal heights and orthometric heights are known. In the study, 318 points were used as training data and 90 points were used as test data. The application was made using the ANFIS editor in the MATLAB environment. For the fuzzy model, calculations were made with various subsets in each membership function and the best results were obtained from the model created with the gaussian method in 8 subsets. In addition, the difference between the geoid heights used to create the fuzzy model and the geoid heights found as a result of the calculation approached zero at many points for the training and test data. This result shows that a precise geoid model is created for the study region.

KEY WORDS: Geoidondulation, GPS/GNSS, Orthometric Elevation, Fuzzy Logic, ANFIS

TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca bana destek olan kıymetli hocam Doç. Dr. Mustafa ULUKAVAK' a teşekkür ederim. Tez çalışmamda kullanılan verileri sağlayan Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, Tapu ve Kadastro XXI. Bölge Müdürlüğüne, İller Bankası Genel Müdürlüğüne ve Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesine teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam boyunca gerekli kolaylıkları gösteren Tapu ve Kadastro Şanlıurfa XXI. Bölge Müdürlüğündeki amirlerime ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Fiziksel Yeryüzü ve Jeoit 2
Şekil 1.2. Jeoit Şekli 3
Şekil 1.3. Elips Şeklinin Basit Gösterimi 4
Şekil 1.4. Dönel Elipsoit 5
Şekil 1.5. Yerel ve Dünya Elipsoidi 7
Şekil 1.6. Çekül Sapması 8
Şekil 1.7. Jeopotansiyel Yükseklik 10
Şekil 1.8. Ortometrik Yükseklik 14
Şekil 1.9. Elipsoidal Yükseklik 16
Şekil 1.10. Ortometrik ve Elipsoidal Yükseklik 18
Şekil 3.1. Çalışma Alanı ve Hesaplamalarda Kullanılan Noktalar 31
Şekil 3.2. Çalışma Alanında Model ve Test Noktaları 32
Şekil 3.3. Çekül Sapmasının Gösterimi 34
Şekil 3.4. Klasik Mantık ve Bulanık Mantık Gösterimi 42
Şekil 3.5. Bulanık Model Sistem Yapısı. 43
Şekil 3.6. Sugeno Bulanık Model Sistemi 49
Şekil 3.7. ANFIS Yapısı. 51
Şekil 3.8. Şanlıurfa İli Çalışma Alanı 53
Şekil 4.1. Matlab R2015a Ekranı 55
Şekil 4.2. FIS Editörü Ekranı 56
Şekil 4.3. Sugeno Yöntemi 56
Şekil 4.4. Sugeno Yöntemi Giriş ve Çıkış Verileri 57
Şekil 4.5. ANFIS Editörü Girişi 58
Şekil 4.6. ANFIS Editörü 58
Şekil 4.7. Model Verilerinin Yüklenmesi 60
Şekil 4.8. Model ve Test Verilerinin Yüklenmesi 61
Şekil 4.9. TRIMF Üyelik Tipi 2 Alt Küme 62
Şekil 4.10. Train FIS ile Elde Edilen Sonuçlar 62
Şekil 4.11. Grid Bölümleme Yöntemi ile Oluşan Ağ Modeli 63
Şekil 4.12. Eğitim Verilerinin Test Edilmesi 64
Şekil 4.13. Gerçek Değerler ile Bulanık Modelin Farkı 64
Şekil 4.14. Test Verilerinin Karesel Ortalama Hata Değeri 65
Şekil 4.15. Test Değerleri ile Bulanık Model Değerleri Karşılaştırılması 65
Şekil 4.16. Modelin Kural Görünümü 66
Şekil 4.17. Kuralların Grafik Görüntüsü 67
Şekil 4.18. Hesaplanan Modelin Yüzeyi 68
Şekil 4.19. GAUSS Üyelik Fonksiyonu 4 Alt Küme 69
Şekil 4.20. GAUSS Üyelik Fonksiyonu 4 Alt Küme Yapısı 69
Şekil 4.21. GAUSSMF Üyelik Fonksiyonları 70
Şekil 4.22. GAUSSMF 8 Alt Kümeli Model Noktaları Hesabı 71
Şekil 4.23. GAUSSMF 8 Üyelik Fonksiyonu Test Noktaları Hesabı 71
Şekil 4.24. 50 Nokta ile Yapılan GAUSSMF Üyelik Fonksiyonunun K.O.H. Gösterimi 81
Şekil 4.25. 90 Nokta ile Yapılan GAUSSMF Üyelik Fonksiyonunun K.O.H. Gösterimi 82
Şekil 4.26. 8x8 GAUSS Modeli ile Oluşturulan Jeoit Yüzeyi 83
Şekil 4.27. 8x8 GAUSS Model Yüzeyinin Üç Boyutlu Gösterimi 83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Referans Elipsoitleri 6
Çizelge 4.1. TRIMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları 72
Çizelge 4.2. TRAPMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları 73
Çizelge 4.3. GBELMF Üyelik fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları 74
Çizelge 4.4. GAUSSMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları 75
Çizelge 4.5. GAUSS2MF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçlar 76
Çizelge 4.6. PIMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları 77
Çizelge 4.7. DSIGMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları 78
Çizelge 4.8. PSIGMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları 79
Çizelge 4.9. Tüm Üyelik Fonksiyonlarının 8 Alt Kümeli Model Sonuçları 80
Çizelge 4.10. Yeni Model ile Yapılan GAUSSMF Sonuçları 80

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

a	Elipsoidin büyük yarı ekseni
b	Elipsoidin küçük yarı ekseni
C	Jeopotansiyel Büyüklük
C_A, C_B	A ve B noktalarının jeopotansiyel yükseklikleri
C_P	P noktasının jeopotansiyel yüksekliği
dh	Diferansiyel anlamda yükseklik farkı
dw	İki eşpotansiyel yüzey arasındaki fark
θ	Çekül sapması
g	Yeryüzünde ölçülebilen gravite değeri
G_0	Jeopotansiyel değer
g_P	P noktasında ölçülen gravite
H	Ortometrik yükseklik
h	Elipsoit yüksekliği
H^*	Normal yükseklik
H_A^{din}	A noktasının dinamik yüksekliği
H_B^{din}	B noktasının dinamik yüksekliği
N	Jeoit yüksekliği
W_0	Jeoit potansiyeli
W_A	A noktasındaki yüzey potansiyeli
W_B	B noktasındaki yüzey potansiyeli
X, Y, Z	Kartezyen koordinatlar
Δh	Noktalar arasında hesaplanan yerçekimi değeri
Z	Yükseklik anomalisi
W_P	P noktasından geçen eşpotansiyel yüzeyin potansiyeli
H^N	Normal yükseklik
$\bar{g}$	Ortalama gravite
Λ	Astronomik boylam
λ	Coğrafi boylam
Φ	Astronomik enlem
φ	Coğrafi enlem
f	Referans elipsoidin basıklığı
$s(\psi)$	Stokes fonksiyonu
Ψ	Jeosantrik açı
γ	Normal gravite
$\bar{\gamma}$	Ortalama gravite
η	Doğu ve Batı yönündeki çekül sapması bileşenleri
ξ	Kuzey ve Güney yönündeki çekül sapması bileşenleri
^{0}	Derece
ANFIS	Adaptif Uyarlamalı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)
EKK	En Küçük Kareler
GNSS	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System)
GPS	Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
GRS80	Jeodezik Referans Sistemi 1980 (Geodetic Referance System)
K.O.H.	Karesel Ortalama Hata
Km	Kilometre
MATLAB	Matrix Laboratuary

1. GİRİŞ

Dünyanın şeklinin ne olduğu ve bu şeklin neye benzediği mevzusu insanoğlu var olduğundan beri merak edilen ve araştırılan bir konudur. Eski uygarlıklardan günümüze kadar bu konu hakkında birçok araştırma yapılarak ilmi gözleme dayalı veriler üretilmiştir. Dünyanın şeklini önemli kılan etmenlerin neler olduğu ve eski uygarlıklardan günümüze kadar bu konuya neden önem verildiğini anlayabilmek için jeodezi bilim tarihine bakmak gerekmektedir

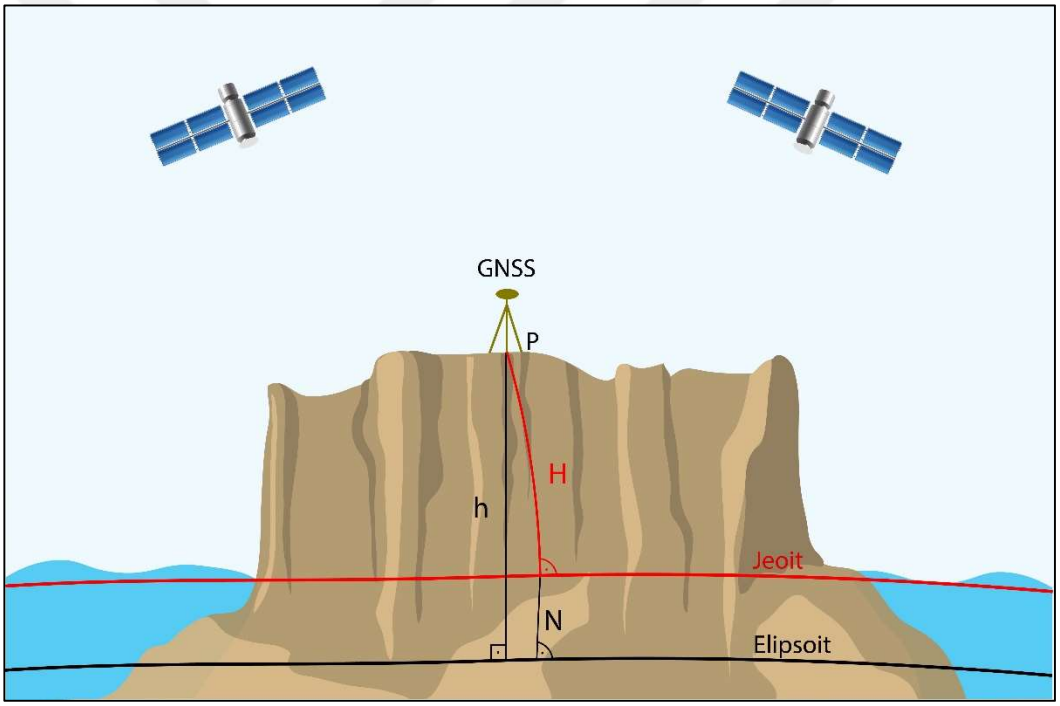
Yeryüzünün şeklini ve boyutlarını belirlemek maksadıyla birçok defa meridyen yay uzunluğu ölçülmüştür. Çünkü yeryüzünde yapılan tüm yapılar, yeryüzü ve toprakla ilişkili çalışmalar, konum ve yükseklik bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Bu konum ve yükseklik bilgisi içinde hassas bir jeodezi bilgisi gerekmekte ve konumun bir harita üzerinde ifade edilmesi gerekmektedir.

Jeodezi hakkında birçok tanım yapılmış olup bunların birkaçı şöyledir; jeodezi, dünyanın şeklini, büyüklüğünü ve uzaydaki konumunu doğru bir şekilde ölçme bilimidir (NOAA, 2021). Zaman faktörü ile birlikte uzayda dünyanın şeklini, çekim alanı ile birlikte belirleme bilimidir. Bu kapsamda jeodezinin temel görevleri yeryüzünün şeklini belirleme, yeryuvarının çekim alanının (gravite) modellemesi ve oluşacak değişimlerin takip edilmesi olarak tanımlanabilir (Abbak, 2019). Prusya jeodezi enstitüsü direktörü Helmert'e göre jeodezi, yeryüzünün ölçülmesi ve izdüşümü bilimi olarak tanımlanmış daha sonra gelişen teknoloji ile birlikte bu tanıma dış çekim alanını belirleme eklemesi yapılmıştır (Yerci, 2003).

Jeodezi bilimi konusunda yapılan araştırmalar ve bulgular bilimsel tarihin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Yetkin ve Bilginer, 2021). Buraya kadar açıklandığı üzere jeodezi aslında en eski bir yer bilimi olup, insanların yaşadığı yerin, bulunduğu mekanın konumunu tahmin etme isteğinden doğmuştur.

1.1. Temel Kavramlar

Jeoit tanım olarak ilk defa Listing tarafından belirlenmiş olup, ancak daha önce Gauss tarafından yeryüzünün şekli, yeryüzünün hesaplanan bir ifadesi olarak açıklanmıştır (Gauss, 1828; Akyılmaz ve ark., 2003). Ancak Gauss tarafından tanımlanmamıştır. Bu konuyu daha detaylı bir şekilde açıklamak gerekmektedir. Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi Gauss'un ifadesiyle yeryüzünün şekli, durgun okyanus yüzeyinin karaların altından devam ettiği eş potansiyelli bir yüzeydir. Bu yüzeye göre yeryuvarının şekli bu şekilde açıklanmış daha sonra Listing tarafından jeoit olarak isimlendirilmiştir (Tetik, 2018; Meyer, 2021).



Şekil 1.1. Fiziksel Yeryüzü ve Jeoit

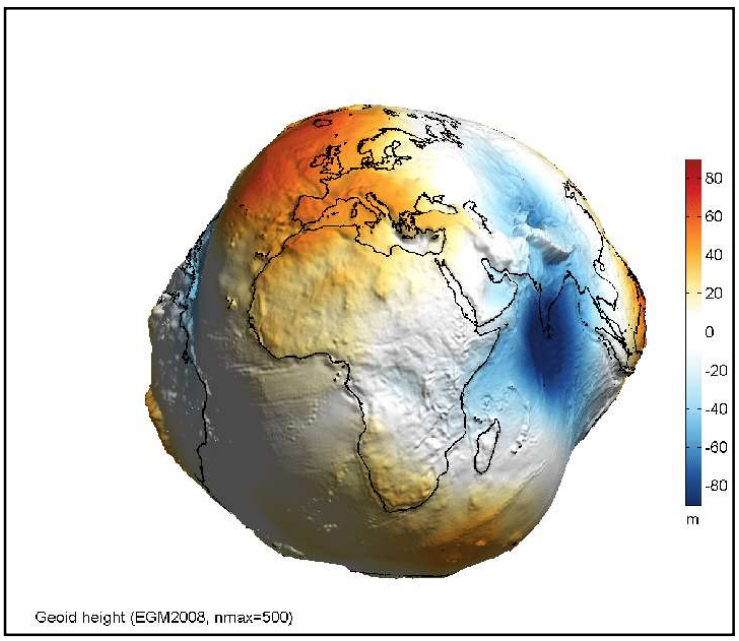
Şekil 1.1.'de ortalama deniz yüzeyinin karaların altında da geçtiği var sayılarak oluşturulan eş potansiyelli bir yüzey olan jeoit, matematiksel bir yüzey olan elipsoit (dönel elipsoit) görülmektedir. Yeryuvarının şekli olan jeoit homojen dağılımlı olmadığından ve çeşitli etkilerle bu jeoit yapısı değiştiğinden dolayı hesaplama kolaylığı açısından elipsoitten farkı alınarak fiziksel yeryüzündeki kullanıcının yüksekliği hesaplanabilmektedir (Akiz, 2007). Burada;

H: Yeryüzü ile jeoit arasındaki fark (ortometrik yükseklik),
N: Jeoit yüksekliği,
h: Elipsoit yüksekliğini ifade etmekte olup aralarında, denklem 1.1 de görüleceği gibi bir bağıntı vardır (Yılmaz ve Arslan, 2007).

$$N = h - H \tag{1.1}$$

Gelişen uydu teknolojileri ile birlikte matematiksel bir karşılığı olan elipsoidin yüksekliğinin bulunması kolay olmakta ancak jeoit yüksekliğinin hesaplanması zaman ve emek isteyen zorlu bir süreç olup, 1.1. denkleminde gösterilen hesaplama ile geoit ondülasyon değerlerinin hesaplanması daha kolay olmaktadır (Tanır Kayıkçı ve Karaaslan, 2015).

Jeoit, her noktasında potansiyel değerleri aynı olan bir yüzeydir, bu yüzey matematiksel olarak tanımlanması, ifade edilmesi zor bir yüzey olduğundan dünya yüzeyinde yapılan ölçmeler, bir hesap yüzeyi olan elipsoide göre hesaplanır (Kırıcı ve Şişman, 2014). Jeoit şeklinin örneği Şekil 1.2.'de gösterilmektedir.

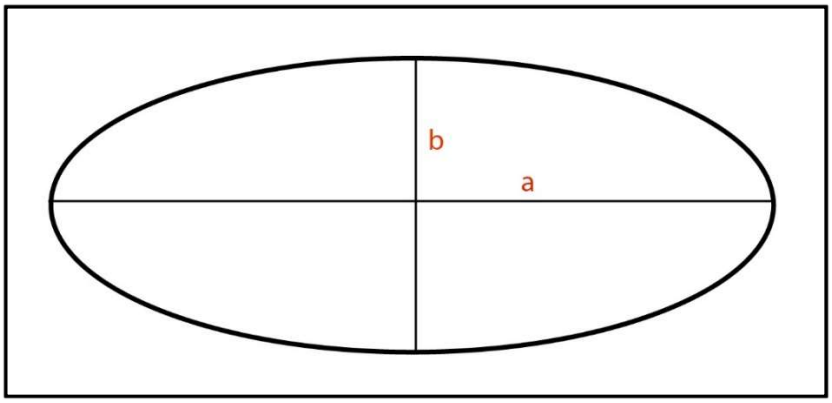


Şekil 1.2. Jeoit Şekli (Bezdek ve Sebera, 2013)

Yukarıda da açılandığı gibi jeoit'in belirlenmesi, ölçümü yapılacak yer ve çalışma alanı için oldukça önemlidir. Bu çalışmada jeoit belirleme yöntemlerinden hesaplama kolaylığı açısından bulanık mantık yöntemi ile yerel jeoit belirlenmiş ve sonuçlar araştırma bulguları ve tartışma kısmında açıklanmıştır.

Jeoit'in hesap yüzeyi olarak kullanılması, jeoit'in karmaşık yapısından dolayı mümkün olmamakta, bu nedenle jeodezik hesaplamalarda jeoit'e en uygun bir referans şekil olan dönel elipsoit kullanılmaktadır (Bolat, 2013).

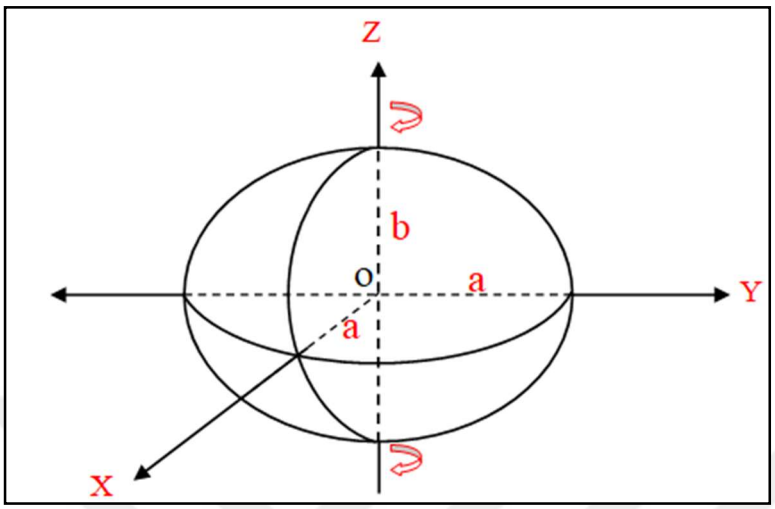
Dönel elipsoidi açıklamadan önce elips ve elipsoit kavramlarını bilmekte fayda olacaktır. Elips tüm noktaların odak denilen iki adet noktaya olan uzaklıklarının toplamı eşit olan kapalı bir eğridir, burada iki odak ve iki doğrultuya sahip olduğu kabul edilerek bu mesafelerin oranı ise dışmerkezliktir. Dışmerkezlik ne kadar küçük olursa elips daireye yaklaşır. Kısaca elips büyük ve küçük yarı eksen uzaklıkları olan a ve b ile tanımlanır (Encyclopedia Britannica, 2021). Şekil 1.3.'te elips şekli verilmiştir.



Şekil 1.3. Elips Şeklinin Basit Gösterimi

Elipsin iki ekseninden biri etrafında döndürülmesi ile elipsoit oluşur, ancak bu kapsamda elipsoit, yarı ekseni a ve b olan elipsin küçük eksen olan b kutup ekseninden döndürülmesi ile oluşan bir matematiksel şekil olup buna dönel elipsoit denilmektedir (Akiz, 2007).

Haritacılık faaliyetlerinde elipsoit denilince dönel elipsoit anlaşılmalıdır. Dönel elipsoit Şekil 1.4.'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Dönel Elipsoit (Akiz, 2007)

Mühendislik hizmetlerinin arazi üzerinde uygulanabilmesi için konum bilgisinin yanında üçüncü boyut olan yükseklik değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Yükseklik genel olarak bir noktanın belirli bir referans yüzey ile arasındaki en kısa mesafedir (Yiğit, 2003).

1.2. Referans Yüzeyleri

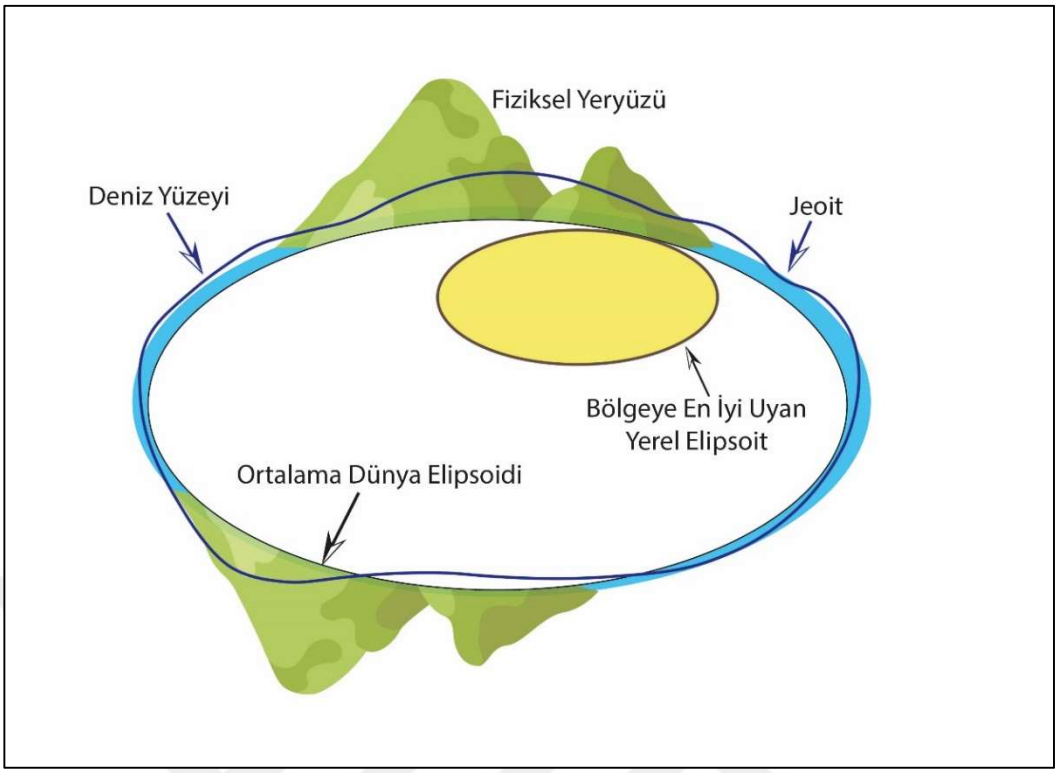
Yukarıda elips ve dönel elipsoidin açıklaması yapılmış, bu bölümde ise jeoite en uygun referans yüzeyleri hakkında kısaca bilgi verilecektir. Jeoit yapısı itibariyle tek tip başka bir ifadeyle sade bir yapıda değildir bu nedenle üzerinde bulunduğumuz dünya üzerinde karaların yoğunluğu her noktada aynı değildir. Bu yüzden jeoit üzerinde hesaplama yapmak çok zordur ancak jeoit üzerinde ölçümler yapılıp bunun bir hesap yüzeyine aktarımı ile hesaplamaları bu yüzey üzerinden yapmak daha kolaydır bu hesap yüzeyi kullanılan ölçeğe göre değişmektedir. Kullanılan hesap yöntemleri küre, düzlem ve elipsoittir (Moritz, 1992; Yılmaz, 2005). Büyük Bölgeler (Ülke, Kıta, Global) için yapılan çalışmalarda jeoit yerine dönel elipsoit kullanılır. Hesaplamaların yapıldığı bu elipsoit Helmert tarafından; referans elipsoit olarak tanımlanmıştır. Elipsin eksen büyüklüklerinin bilinmesi ile elipsoit belirlenebilir. Yani

elipsoidin a ve b değerlerinin bilinmesi gerekmektedir (Akiz, 2007). Dünya elipsoidini belirlemek için çeşitli a ve b değerleri hesaplanmış ve Çizelge 1.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Referans Elipsoitleri (Akiz, 2007)

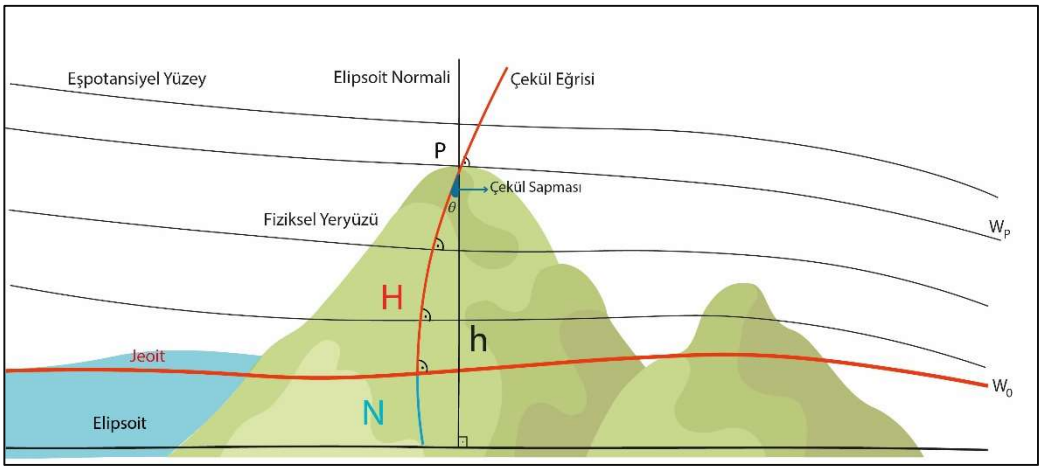
Referans Elipsoidi	**a**	**Basıklık ($f = \frac{a-b}{a}$)**
Clarke 1866	6378206.4	294.9786982
International	6378388.0	297.0
GRS 1980	6378137.0	298.257222101
WGS-84	6378137.0	298.257223563

Bu referans elipsoitleri çeşitli şekillerde seçilebilir, referans elipsoitlerini belirlemede öncelikle yeryüzündeki bir noktada (bu nokta koordinat başlangıç noktasıdır) elipsoit normali çekül normali ile çakıştırılır. Hesaplamalarda kullanılacak referans elipsoidinin a ve b değerleri meridyen ve paralel daire yaylarından hesaplanabilmektedir. Meridyen ölçümlerinin değişik sonuçları nedeniyle yüzeysel metotlar kullanılmıştır (Akiz, 2007). Şekil 1.5.'te Bölgesel ve dünya elipsoitlerinin seçimine dair bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Yerel ve Dünya Elipsoidi (Gürses, 2011)

Şekil 1.6.'da görüleceği üzere her noktasında çekül doğrultusuna dik yüzeyler olan nivo yüzeyleri gösterilmiş olup, bu yüzeyler eşpotansiyel yüzeylerdir ve birbirine paralel olmayıp her noktasında çekül doğrultusuna diktir. Paralel olmamasından dolayı çekül doğrultusu dikey bir eğri şeklindedir. Elipsoidin normali ve çekül eğrisi bir biri ile bazen çakışır bazen de çakışmaz çakışmadığı durumlarda aralarında çekül sapması açısı (θ) kadar bir fark oluşur (Gürses, 2011). Referans elipsoitleri genellikle yatay konum belirlemelerinde kullanılır. Yükseklik belirlemelerinde ise jeoit yüzeyleri kullanılır. Burada yatay ölçülerin yükseklik ölçmelerinin başlangıç yüzeylerinin farklı olduğu görülmektedir (Akiz, 2007).



Şekil 1.6. Çekül Sapması (Gürses, 2011)

1.3. Yükseklik Kavramı

Ülkelerin gelişimine katkıda bulunacak birçok mühendislik yapıları, savunma, planlama çalışmaları için yeryüzüne ait yükseklik bilgilerinin bilinmesi gerekmektedir. Yükseklik, yeryuvarındaki bir yerin, ilk seviye veya referans yüzeyi ile o yerin arasındaki en kısa uzaklık olarak tanımlanmaktadır (Ayhan ve Demir, 1992; Yiğit, 2003). Yeryüzü üzerinde bir noktanın yüksekliğinin belirlenmesi için ilk önce başlangıç yüzeyinin (W) belirlenmesi ve belirlenen bu yüzeye dik olan doğruların belirlenmesi gerekmektedir (Yiğit, 2003; Kuru 2018). Yapılacak bu çalışmalar neticesinde ortalama bir değer alınarak (deniz yüzeyi gözlemlerinden) belirlenir.

Yüzeyler, bu yüzeylere dik olan normallerle incelenebilir, yeryüzü normalleri, yerçekimi yönünde olup, bu yön/doğrultu uygulamada çekül doğrultusuyla gösterilir. Çekül doğrusu haritacılıkta önemlidir, çünkü ölçme aletlerinin düşey eksenleri çekül doğrusuna göre hizalanır (Erkaya, 2006).

1.4. Yükseklik Sistemleri

Yeryüzündeki bir yerin yüksekliği; o yerin belirlenen bir referans yüzeyi ile yüzey normali boyunca olan mesafe olarak tanımlanabilir. Bu yüksekliğin belirlenebilmesi için burada kullanılan referans yüzeyinin bilinmesi gerekmektedir (Bolat, 2013).

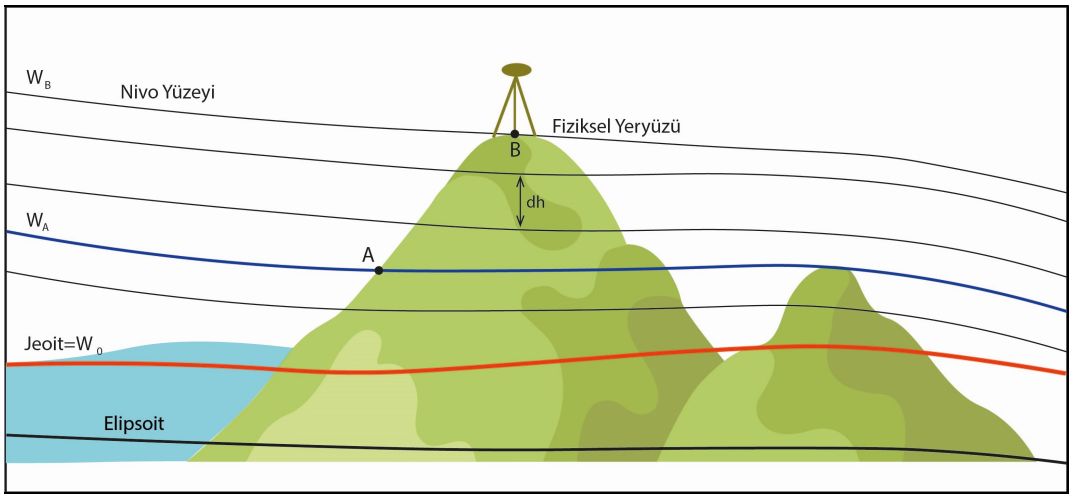
Yukarıdaki bölümlerde de açıklandığı gibi önceden durgun deniz seviyesi referans yüzey olarak alındığı ancak daha sonra ölçme tekniğinde meydana gelen gelişmelerle (ülkeler arası nivelman ağlarının birleşmesi ile) nivelman ölçülerine ağırlık ivmesi ile düzeltme değerlerinin eklenmesinin gerektiği anlaşılmıştır. Bu nedenle de ülkelerin, sınırları içerisinde belirlediği nivelman ağının o sınır içinde ki ortalama deniz yüksekliğine dayandırılması gerekmektedir (Erkaya, 2006).

Nivo yüzeylerinin birbirine paralel olmamasından dolayı farklı yollardan bir noktaya yapılan nivelman sonuçlarının farklı olacağından nivelman ölçmeleri yola bağımlıdır (Ledersteger, 1969; Torge, 1980; Vanicek and Krakiwsky, 1982; Taktak, 2005). Yüksekliklerin kesin bir biçimde belirlenebilmesi için yükseklik farklarının yanında nivelman yolu boyunca yerçekimi ivmelerinin ölçülmesi gerekir (Erkaya, 2006).

Jeodezi çalışmalarında tespit edilen en önemli yükseklik sistemlerinden bazıları; Jeopotansiyel yükseklik, dinamik yükseklik, ortometrik yükseklik, normal yükseklik ve elipsoidal yükseklik olmak üzere örnek olarak verilebilir (Yiğit, 2003). Bu sistemler kısaca açıklanacaktır.

1.4.1. Jeopotansiyel yükseklik

Yeryüzü üzerinde herhangi bir noktadan geçen eşpotansiyel yüzeylerin başlangıç yüzeyine göre durumunu gösteren ve başlangıç yüzeyi ile bu yüzeyler arasında kilogal*metre biriminde gösterilen farklar geometrik anlamlı olup, bu büyüklük jeopotansiyel büyüklük (C) olarak tanımlanır. Bu tanıma göre jeopotansiyel yükseklik 1.2 eşitliğinde olduğu gibi gösterilir (Yiğit, 2003). Şekil 1.7.'de jeopotansiyel yükseklik şekilsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Jeopotansiyel Yükseklik (Gürses, 2011)

$$C_A = W_0 - W_A = -\int_0^A dw = \int_0^A g\,dh \tag{1.2}$$

1.2 eşitliğinde geçen;

C_A: Jeopotansiyel sayıdır ve yoldan bağımsızdır,

W_0: Jeoit potansiyeli,

W_A: A noktasındaki yüzey potansiyeli,

dw: iki eşpotansiyel yüzey arasındaki fark,

g: Yeryüzünde ölçülebile gravite değeri,

dh: Diferansiyel anlamda yükseklik farkı (Uçar Çakmakçı, 2019),

1.2.eşitliğinde nivelman güzergahında gravitenin değişmez kabul edilmesi durumunda;

$$C = \int_0^A gdh = g\int_0^A dh \cong gH \tag{1.3}$$

Denklem 1.3.' de gösterildiği gibi olur (Gürses, 2011)

Bu bağıntıda;

g: A noktasındaki yerçekimi ölçüsü

H: Geometrik nivelmanla hesaplanan A noktasının yükseklik değeridir.

Yükseklik farkı Δh, noktalar arasında hesaplanan yerçekimi değeri G_0 ise jeopotansiyel değer denklem 1.2.'den;

$$C_A = \Sigma_0^A G_0\, dh \tag{1.4}$$

Denklem 1.4.'te gösterildiği gibi bulunur (Gürses, 2011).
A ve B noktaları arasındaki jeopotansiyel sayıları arasındaki farklar;

$$C_B - C_A = \Delta C_{AB} = W_A - W_B = \int_A^B g\, dh \approx \sum_A^B G_0 \Delta h \tag{1.5}$$

Denklem 1.5.' da görüldüğü gibi elde edilir (Gürses, 2011).
Jeopotansiyel yüksekliği hesaplanmış noktadan diğer noktalara olan jeopotansiyel yükseklikleri eşitlik 1.6.'te gösterilmiştir.

$$C_B = C_A + \Delta C_{AB} = C_A + \sum_A^B G_0 \Delta \mathrm{h} \tag{1.6}$$

Eşitliği ile hesaplanır. C gravite alanı ile ilişkilidir (Gürses, 2011).

Jeopotansiyel yükseklik, farklı olarak jeopotansiyel birim (g.p.u) şeklinde gösterilebilir. Genel bir yükseklik denklemi olarak; C jeopotansiyel sayı ve G yerçekimi (gravite) değeri ile yükseklik yöntemleri belirlenir. Denklem 1.7. ile bu bağıntı gösterilmiştir (Erkaya, 2006).

$$\mathrm{H} = \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{G}} \tag{1.7}$$

1.7. denklemi yukarıda da bahsedildiği gibi genel bir yükseklik denklemini belirler. Burada G değeri yerine $\bar{g}, \gamma_0, \bar{\gamma}, \ldots$ gibi farklı veriler yazılarak farklı yükseklik modelleri tanımlanabilir. Bu yükseklikler geometrik manada değil de fiziksel manada büyüklüklerdir (Erkaya, 2006).

1.4.2. Dinamik yükseklik

Dinamik yükseklik, jeopotansiyel sayıların sabit ağırlık değeri g_0 ağırlık değerine bölünmesi ile uzunluk birimine geçer ve dinamik yükseklik elde edilir (Yiğit, 2003).

Herhangi bir A ve B noktalarının dinamik yükseklikleri denklem 1.8.'de gösterilmiştir;

$$H_A^{din} = \frac{C_A}{g_0},\ H_B^{din} = \frac{C_B}{g_0} \tag{1.8}$$

Bunlar arasındaki farklar ise denklem 1.9.'de gösterilmiştir (Yiğit, 2003).

$$H_B^{din} - H_A^{din} = \Delta H_{A,B}^{din} = (C_B - C_A)/g_0 = \Delta C_{AB}/g_0 \tag{1.9}$$

Burada;

C_A ile C_B: A ve B noktalarının jeopotansiyel yükseklikleridir (Yiğit, 2003).
g_0: 45^0 enlemine ait normal gravite değeri (Uçar Çakmakçı, 2019).

Dinamik yükseklikleri denklem 1.8 ve 1.9 bağıntıları ile hesaplanabilmesi için jeopotansiyel yükseklik değerlerinin bilinmesi gerekmektedir (Yiğit, 2003). Dinamik yüksekliklerin geometrik bir anlamı olmayıp, jeopotansiyel yükseklikler ile benzer fiziksel özelliklere sahiptir (Gürses, 2011).

1.4.3. Ortometrik yükseklik

Ortometrik yükseklik, yeryüzündeki bir nokta ile jeoit arasındaki çekül normali uzunluğudur (Erkaya, 2006). Diğer bir ifade ile Jeopotansiyel sayının jeoit ile yeryüzündeki nokta arasındaki çekül doğrultusu boyunca ölçülen ortalama yer gravite değerine bölünmesi ile elde edilen yüksekliktir (Abbak, 2019). Ortometrik yükseklik, geometrik manasının yanında ayrıca fiziksel manada taşımaktadır. Bir noktanın

ortometrik yüksekliği çekül doğrusu boyunca aradaki kara parçaları nedeniyle doğrudan ölçülemez (Yiğit, 2003). Çünkü gravite ölçülerinin çekül eğrisi boyunca ölçülmesi gerekir ama sadece yeryüzündeki noktanın gravite ölçüsü yapılabilmektedir (Abbak, 2019). Ancak ortometrik yüksekliğin belirlenebilmesi için yeryüzündeki bir noktanın jeopotansiyel yüksekliği belirlenebilse bile çekül eğrisi boyunca ortalama g değerinin bilinmesi gerekmektedir. Yeryüzündeki kıtaların/kara parçalarının ya da kitlelerin yoğunlukları yaklaşık olarak bilinebildiğinden (yaklaşık olarak 2670 kg/m^3) dolayı bu değerler bir varsayımla belirlenebilir (Gürses, 2011; Abbak, 2019). Yeryüzündeki bir p noktasının jeopotansiyel sayısı C ve çekül doğrultusu boyunca P ve P_0 arasındaki kısmın uzunluğu olan ortometrik yükseklik H olmak üzere 1.10. denkleminde gösterilmektedir.

$$C_P = W_0 - W_p \approx \sum_{P_0}^{P} g\Delta H \tag{1.10}$$

P noktası olarak belirlenen ve bu noktanın nivelman güzergahına bağlı olamayan jeopotansiyel yükseklik olarak ortometrik yükseklik 1.11. eşitliği ile tanımlanır (Gürses, 2011);

$$H = \frac{C_P}{\bar{g}} \tag{1.11}$$

Burada $\bar{g}$ ise 1.12. bağıntısında gösterildiği gibi bir eşitlikle ifade edilir (Gürses, 2011).

$$\bar{g} = \frac{1}{H}\int_0^H g\, dH \tag{1.12}$$

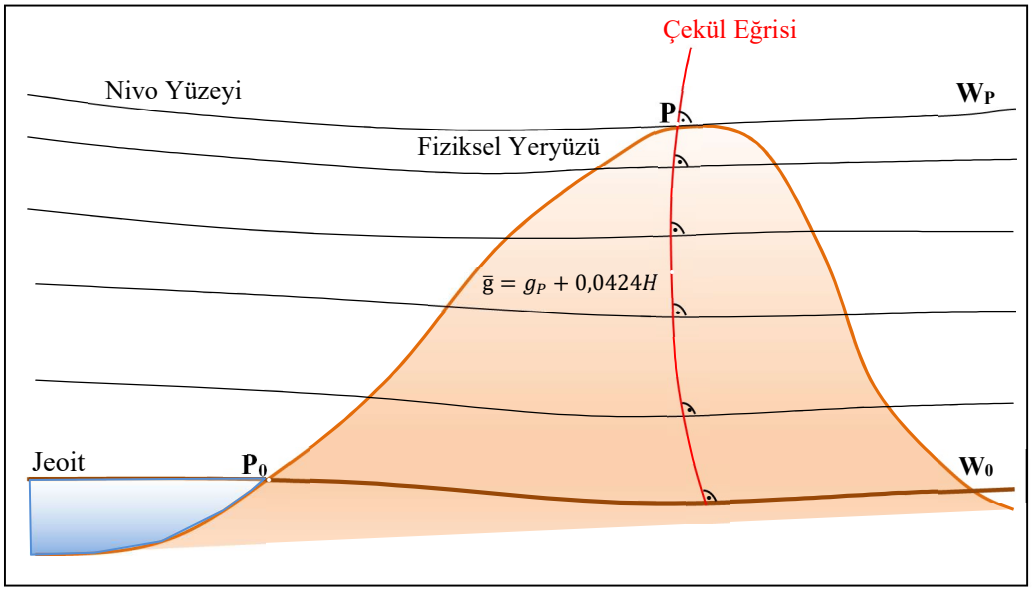
Burada $\bar{g}$: Jeoit üzerindeki P_0 noktası ile yeryüzü üzerindeki P noktası arasındaki çekül eğrisi boyunca ortalama gravitedir (Yiğit, 2003).

Bir noktada ortalama gravite olan $\bar{g}$ bilinmesi koşulu ile ortometrik yükseklik 1.11 bağıntısı ile bulunabilir. Yukarıda da değinildiği gibi çekül eğrisi boyunca P ve P_0 arasındaki gravite değerlerini ölçmek olanaksız olduğu için asıl ortometrik değerler belirlenememekte fakat bu aralıkta çekül doğrultusunda gravite verilerinin dağılımı ile

varsayımsal olarak, yaklaşık ortometrik (kuasijeoide göre) yükseklikler bulunabilir. Helmert yüksekliği olarak da bilinen ortometrik yükseklikler 1.13. bağıntısında gösterilmiştir (Yiğit, 2003).

$$H = \frac{C_P}{g_P + 0{,}0424.\,H} \tag{1.13}$$

1.13. eşitliği ile iteratif çözüm uygulanır (Yiğit, 2003). Burada g_P gal, H ise km birimindedir (Gürses, 2011).



Şekil 1.8. Ortometrik Yükseklik (Gürses, 2011)

Şekil 1.8.'de görüleceği üzere ortalama bir $\bar{g}$ değeri ile 1.14. denklemine göre belirlenir ve çalışmalar daha kolay tamamlanır (Gürses, 2011).

$$\bar{g} = g_P + 0{,}0424\,H \tag{1.14}$$

Yeryuvarındaki kütle yoğunluğu tam olarak bilinemediği için bu $\bar{g}$ değeri varsayım olarak belirlenir. Geometrik bir anlamı olmayıp fiziksel büyüklüklerdir (Gürses, 2011). Uygulamalarda geometrik ve nivelman ölçmelerinde ortometrik yükseklikler kullanılır (Akiz, 2007).

1.4.4. Normal yükseklik

1.11. denkleminde $\bar{g}$ yerine normal gravite karşılığı olan $\bar{\gamma}$ yazılırsa 1.15. denklemi ile Normal yükseklik elde edilir;

$$H^N = \frac{C_P}{\bar{\gamma}} \tag{1.15}$$

1.15. denklemi ile P notası ile kuasijeoit arasındaki çekül uzunluğu elde edilir (Gürses, 2011). Aşağıda gösterilen;

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{H^N}\int_0^{H^N} \gamma \, \mathrm{d}H^N \tag{1.16}$$

1.16. denklemine göre; normal çekim alanının çekül doğrultusunda H^N üzerinde γ datalarının ortalamasıdır. Uygulamalarda $\bar{\gamma}$ değerine;

$$\bar{\gamma} \approx \gamma\left[1 - (1 + f + m - 2f\sin^2\varphi)\frac{\mathrm{H^N}}{a} + \frac{\mathrm{H^{N^2}}}{a^2}\right] \tag{1.17}$$

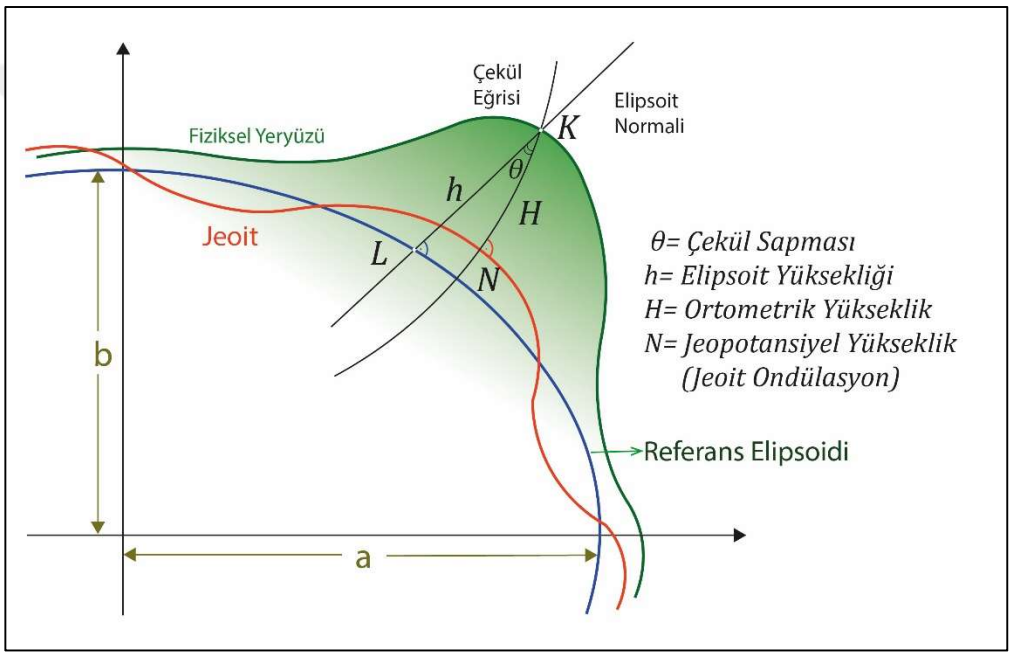
1.17. denklemi ile ulaşılabilir (Gürses, 2011).

Denklemlerde geçen;
γ: Normal gravite,
φ: Jeodezik enlem,
f: Basıklık, olarak tanımlanır (Akiz, 2007).

Bu sayede yukarıda ortometrik yüksekliklerde bahsedilen varsayıma gerek kalmadan çekül doğrultusu boyunca yeryüzündeki nokta ile jeoit arası mesafe H^N ile belirlenebilir. Normal yükseklik jeoit 'ten değil elipsoit yüzeyinden itibaren alınırsa H^N yüksekliğinin tanımlandığı yüzeyler tellüroit olarak isimlendirilir (Gürses, 2011). Tellüroit bir nivo yüzeyi olmayıp, kuasijeoitte bir nivo yüzeyi olmayıp fiziksel bir anlamı yoktur (Gürses, 2011).

1.4.5. Elipsoidal yükseklik (h)

Elipsoit, elipsin küçük yarı ekseni etrafında döndürülmesi ile elde edildiği yukarıda açılanmıştı. Elipsoidin şekli dünyanın şekline benzediğinden ve uygulamada kolaylık sağladığından jeodezide referans yüzey olarak kullanılır (Yurt, 2006; Kuru, 2018). Elipsoidal yükseklik, yeryüzündeki bir noktanın elipsoit normali boyunca referans elipsoidi ile arasındaki mesafedir (Yiğit, 2003; Gürses, 2011). Şekil 1.9.'de elipsoidal yükseklik gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Elipsoidal Yükseklik (Gürses, 2011)

Yeryüzünde seçilen bir K noktasının elipsoit üzerine iz düşümü L olmak üzere, h elipsoit yüksekliği Şekil 1.9.'da gösterilmiştir (Gürses, 2011).

GNSS ile belirlenen elipsoidal yükseklik (h) geometrik mahiyette hesaplanır ve yeryüzünün çekim/gravite alanı ile ilişkili değildir. Ortometrik yükseklik fiziksel anlamlıdır ancak elipsoit yüksekliğinin fiziksel karşılığı yoktur (Uçar Çakmakçı, 2019). Elipsoidal yükseklik sadece referans elipsoidine göre hesaplanır. GPS ile elde edilen koordinatlar, jeosantrik koordinat sistemindeki elipsoit referans seçilerek hesaplandığından, bu sistemde koordinat üretir ve bu belirlenen Kartezyen

koordinatlar (X, Y ve Z), jeodezik koordinat verilerine (enlem, boylam ve yükseklik) geçiş yapılabilir (Gürses, 2011).

Yeryüzü üzerindeki su akışının yönü elipsoit yüksekliği ile belirlenemez çünkü bu yükseklik yukarıda da belirtildiği gibi yeryüzünün çekim alanıyla ilişkili değildir bu nedenle mühendislik hizmetlerinde doğrudan kullanılması mümkün değildir. Ancak ortalama deniz yüzeyinin çakışık kabul edildiği jeoit referans elipsoidine göre belirlenirse ortometrik yüksekliklere geçiş mümkün olacaktır (Üstün ve Demirel, 2003). Bu tür mühendislik işlerinde yeryüzünün çekim alanı ile bağlı olan ortometrik yükseklik verilerinden yararlanılır. Bu nedenle elipsodial yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüşmesi gerekmektedir (Gürses, 2011).

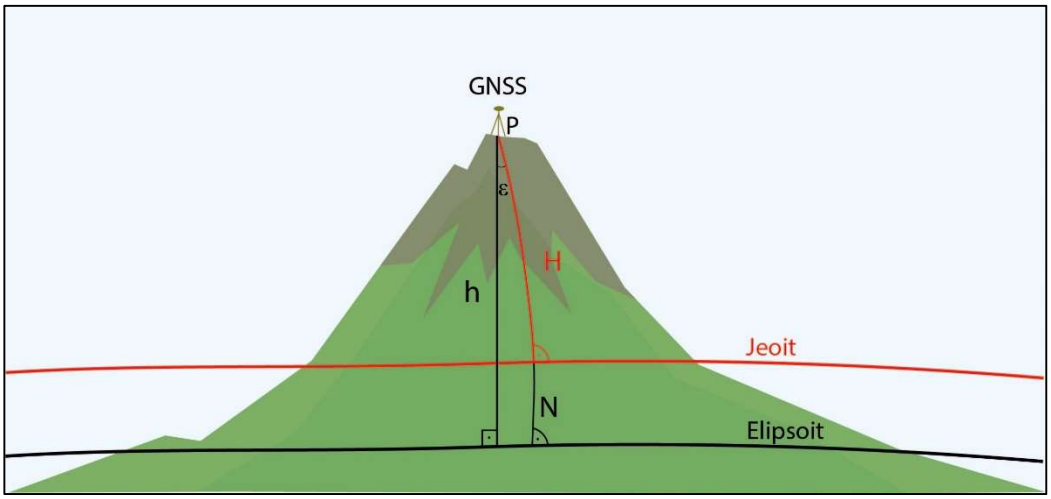
Elipsoit yüzeyi üzerinde matematiksel hesaplamalar yapılabildiğinden yeryüzünde ölçülen değerler iz düşüm yöntemi ile elipsoit yüzeyine indirgenir. Bu indirgeme için iki yöntem var olup bu yöntemler pizetti yöntemi ve Helmert yöntemleridir. Pizetti işlemi ile yeryüzünde elde edilen ölçüler çekül doğrusunca jeoit' e iz düşümü yapılıp daha elipsoit yüzeyine indirgenir, Helmert yönteminde ise ölçüler elipsoit normali boyunca elipsoide iz düşülür. Helmert yönteminde elipsoit koordinatlardan (φ, λ ve h) dik koordinatlar olan (X, Y ve Z)'ye vasıtasız olarak dönüştürülebilir (Gürses, 2011).

Elipsoit yüksekliği iki şekilde bulunabilir, bunlar doğal büyüklükler usulü/yöntemi ve standart büyüklükler usulü/yöntemidir (Yiğit, 2003).

Doğal Büyüklükler Usulü: Bu aşamada h elipsoit yüksekliği olmak üzere, N jeoit yüksekliği ve H ortometrik yükseklik verileri şeklinde ele alındığında aralarındaki bağıntı 1.18. eşitliğinde gösterilmiştir. Buna göre;

$$h \cong H + N \tag{1.18}$$

Eşitliği ile elde edilebilir (Yiğit, 2003). Ortometrik ve elipsoidal yükseklik arasındaki bağıntı Şekil 1.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Ortometrik ve Elipsoidal Yükseklik (Yiğit, 2003)

Standart büyüklükler Usulü: Bu aşamada ζ yükseklik anomalisi olmak üzere ve H^* normal yükseklik verilerini belirterek;

$$h \cong H^* + \zeta \tag{1.19}$$

1.19. eşitliğinden hesaplanabilir (Yiğit, 2003).

Yukarıda yükseklik sistemleri ve bu sistemler arasındaki geçişler ve kavramlar anlatılmış olup, yükseklik sistemleri ile elde edilecek verilerin zahmetli elde edilmesi açıklanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmanın amacı bulanık mantık yöntemi ile MATLAB® programında bulanık mantık ANFIS modülünden yararlanılarak; elipsoit ve jeoit yüksekliği bilinen noktalarda bir jeoit modeli oluşturmaktır. Gelişen teknoloji ile GNSS (Global Navigation Satellite Systems) yöntemi ile elde edilecek elipsoidal yükseklikler her ne kadar kolay ve zahmetsiz bir şekilde elde edilse de yukarıda açıklandığı gibi ortometrik yükseklik bilgisine gereksinim vardır. Bu çalışmadaki amaç ortometrik yükseklik bilgisine zahmetsiz ulaşmak için Bulanık mantık metodu ile GNSS noktalarından kolay bir şekilde elde edilen elipsoidal yükseklikler ve çalışma alanında uygun dağılımlı bilinen ortometrik yükseklikler ile bulanık modelleme sayesinde bölgenin kolay bir şekilde jeoit yüksekliklerini belirleyebilmektir. Bu çalışmada; Şanlıurfa ilinde elipsoit ve helmert ortometrik yükseklikleri bilinen 408 adet nokta ile MATLAB® programında ANFIS bulanık mantık modülünde bir model

oluşturulmuş, bu modelden elde edilen sonuçlar gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca çeşitli polinom enterpolasyon yöntemi ile kontrol amaçlı karşılaştırma yapılmıştır. Bulanık mantık yöntemi ile jeoit belirlemenin diğer yöntemler ile farkları ayrıca karşılaştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölüm iki kısım olarak gösterilecektir. Birinci kısımda bulanık mantık yönteminin jeoit belirleme çalışmalarında kullanım durumları ikinci kısımda ise, bulanık mantığın farklı disiplinlerde kullanım durumları olmak üzere iki kısımda açıklanacaktır. Ayrıca ilk kısımda bulanık mantık yöntemi ile ANFIS metoduna göre yapılan hesaplamalarla ilişkili olan yapay sinir ağları ile ilgili çalışmaya da değinilmiştir.

2.1. Jeoit Belirleme Çalışmalarında Bulanık Mantık Kullanımı

Akyılmaz ve ark. (2003), Jeodezik çalışmaların bulanık mantık yöntemleriyle modellenmesi amacıyla Almanya Baden-Württemberg ve İzmir bölgesinde jeoit yükseklikleri Bulanık mantık yöntemiyle belirlenmiş ve kontrol edilmiştir. Bulanık mantık yönteminin geleneksel yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur. Ayrıca bu yöntemin diğer jeodezik problemlerin çözümünde de kullanılabileceği bildirilmiştir.

Yılmaz (2005), İstanbul iline ait İGNA (İstanbul GPS Nivelman Ağı) Projesi kapsamında üretilen noktaları kullanılarak, toplamda enlem, boylam elipsoit ve ortometrik yükseklikleri bilinen 443 noktadan 393 adedi model, 50 adedi ise test verisi olarak kullanmış ve çalışma alanı için jeoit modeli oluşturmuştur. Çalışmada MATLAB® programının bulanık mantık bölümünde ANFIS editörü kullanılmış yöntem olarak Sugeno yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada dayanak noktalarının sayısı ile uygunluk arasındaki ilgi, GPS-Nivelmanla elde edilen jeoit yüksekliklerine ait değişik ağırlıklarının sonuçlara etkisi, EGM96 yöntemi ile elde edilen sapmaların matematiksel modelinin araştırması, bulanık mantık yönteminin jeoit belirleme çalışmalarında kullanımı araştırılmış ancak burada sadece bulanık mantık yöntemi sonuçları aktarılmıştır. Yapılan çalışmada 50, 200, 393 ve 443 adet nokta verileriyle modeller oluşturulmuş, enlem boylam değerleri değişik sayıdaki alt kümelere ayrılmış ve bu sayede en uygun alt küme sayıları belirlenmiştir. 200 nokta ile oluşturulan

bulanık modelde 2 ile 20 alt kümeye ayrılmış bu modeller ile 50 test noktasına ilişkin jeoit yükseklikleri hesaplanmıştır. 393 adet nokta ile oluşturulan model, 50 adet nokta ve 200 adet nokta ile elde edilen modeller kıyaslandığında 363 adet nokta ile elde edilen modelin diğer modellere göre daha hassas sonuçlar verdiği hesaplanmıştır. 443 nokta ile oluşturulan bulanık mantık modelde ise 2 ile 20 alt kümeden oluşturulan modeller ile hesaplamalar yapılmış, buna göre iç doğruluğun ± 0.78cm ile ± 4.46cm aralığında olduğu ve alt kümelerinin yükseltilmesi ile daha küçük değerlere ulaşıldığı hesaplanmıştır. 200, 393 ve 443 nokta ile elde edilen bulanık modellerle, polinomlarla elde edilen modellerin karşılaştırılmasında noktaların sıklığının artması ile açık şekilde bir iyileşmenin olduğu hesaplanmış, sonuç olarak bulanık mantık ile oluşturulan modeller ile yapılan hesaplamaların polinomlarla oluşturulan modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ancak pratik kullanımda polinom yönteminin kullanım kolaylığının olduğu ayrıca açıklanmıştır.

Yılmaz ve Arslan (2005), bulanık mantık yönteminin jeodezik çalışmalarda kullanılması ile ilgili Mamdani ve Sugeno yönteminin kullanılması avantaj, dezavantajları belirtilmiş ve Sugeno yöntemine göre hesaplamaların nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Uygulamada ise İstanbul içerisinde GPS-Nivelman metodu ile elde edilen ve enlem, boylam ve yükseklik değerleri belirli olan noktalardan 50 adet nokta dayanak noktası olarak bir model oluşturulmuş ayrıca 50 adet nokta da test noktası olarak hesaplamalar kontrol edilmiştir. Bu modelde enlem verileri ve boylam verileri alt küme olarak her biri 5 alt kümeye bölünmüş ve hesaplamalarda üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda bulunan jeoit yükseklikleri gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta yeterli verilerle uygun üyelik derecelerinde ve alt küme aralıklarında iyi sonuçlar alınabileceği ortaya konulmuştur.

Arslan ve Yılmaz (2005), Jeoit belirleme yöntemlerinin sınıflandırılmasını açıklamıştır. Ayrıca jeoit belirleme yöntemleri içerisinde son yıllarda GPS-Nivelman yöntemleri ile üretilen jeoit yüksekliklerinin altlık olarak kullanıldığı polinom ve bulanık mantık yöntemleri ile jeoit belirleme çalışmalarının daha kolay olması ve hassas olarak neticelendirilmesi bakımından tercih edildiğini ortaya koymuşlardır.

Yılmaz ve Arslan (2005), jeoit belirleme çalışmalarında kullanılan polinom yöntemleri ve bulanık mantık yöntemlerinin karşılaştırılmasını yapmışlardır. Bu amaçla İstanbul İlinde polinom katsayıları ve bulanık modelin oluşturulması için enlem boylam ve GPS-Nivelman yöntemi ile elde edilmiş jeoit yüksekliği bilinen 200 adet nokta model verisi olarak belirlenmiş, hesaplamada kullanılmayan 50 nokta da hesaplamaların test edilmesi için kullanılmıştır. Bulanık model oluşturulurken enlem verileri ve boylam verilerinin her biri 8 alt kümeye ayrılmış ve üyelik fonksiyonlarından üçgen fonksiyonları seçilmiştir. Hesap kolaylığı olması ve verilerin geliştirilmesini sağlayan MATLAB® programına ait ANFIS kısmı kullanılarak Sugeno metoduna göre çözümler yapılmıştır. Elde edilen bulanık model ile eğitim ve test verilerinin jeoit yükseklikleri belirlenmiş ve gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak bulanık mantık yöntemi ile yapılan hesap verilerinin polinom yöntemine göre elde edilen verilerden daha iyi olduğu ortaya konulmuştur.

Akyılmaz ve Ayan (2006), iki kısımdan oluşan bir çalışma yapmışlardır. Bunlardan birinci kısımda gravite modellemesi elde edilen veriler kullanılmış, ikinci kısımda ise GPS-nivelman yöntemi ile elde edilen veriler kullanılarak bu verilerin yapay zeka metotları ile jeodezik çalışmalarda uygulanabileceği konusunda çalışılmıştır. Bu farklı iki çalışma sonucu ile jeodezik çalışmalarda yapay zeka yöntemlerinin kullanılabilirliği test edilmiştir. Sonuç olarak yapay sinir ağı metodu ve bulanık mantık metodunun jeodezik çalışmalarda kullanılabileceğini örneklerle açıklamışlardır.

Yılmaz ve Arslan (2007), İGNA (İstanbul GPS Nirengi Ağı) projesi kapsamında elde edilen 200 adet noktanın model verisi olarak, 50 adet noktanın da çalışmanın test edilmesi amacıyla test verisi olarak kullanılması ile çalışma yapmıştır. Çalışmada MATLAB® yazılımı kullanılarak ANFIS kısmı ile Sugeno metodu ile jeoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Burada model oluşturma aşamasında enlem değerleri ve boylam değerlerinin her biri 4 alt kümeye ayrılarak, hesaplamalarda üçgen fonksiyonu seçilerek çalışılmıştır. Enlem değerleri ve boylam değerleri 4'er alt kümeye ayrıldığından 4x4=16 kural elde edilmiş, elde edilen her bir kural için ise 1. derecen bir polinom denklemi yazılarak, doğrusal denklem katsayıları ile elde edilen model ile

noktaların jeoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Bu modele göre elde edilen yüksek değerleri ile gerçek değerler arasındaki farkın model hatası olduğu açıklanmıştır. Bu hatanın da yapay sinir ağları yardımıyla geriye doğru beslemeli alt küme kısımları değiştirilerek işlemlerin tekrarlanması ve bu tekrarlama ile istenen bir sınır değerden az olana kadar bu durumun sürdürülmesi gerektiği ve bu şekilde verilerin eğitiminin sağlandığı açıklanmıştır. Bu çalışmada girdi ve çıktı parametrelerinin elde edilmesi, verilerin eğitim safhalarının açıklanması ve noktaların jeoit yüksekliklerinin ANFIS ile adım adım nasıl hesaplandığı açıklanmıştır.

Tuşat (2011), tarafından bulanık mantık yöntemi ve polinom katsayılar yöntemine göre jeoit yüksekliklerinin belirlenmesi ile ilgili çalışma yapılmış ayrıca bu iki yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma bölgesi olarak Adıyaman ili seçilmiş ve bu bölgede 126 adet nokta seçilerek bir ağ oluşturulmuştur. Bu noktalardan jeoit yüksekliği elde edilmesi amacıyla 106 adet nokta model noktası, 20 adet nokta ise test noktası olarak seçilmiştir. Polinom katsayılar yöntemi ve bulanık mantık ile elde edilen jeoit yükseklikleri GNSS-Nivelman yöntemi ile elde edilen yükseklik değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bulanık mantık ANFIS yönteminin karesel ortalama hatalarına bakıldığında; Bulanık mantık ANFIS yöntemine göre karesel ortalama hatalar model verilerinde 1.87cm, test verileri için 1.93cm olarak hesaplanmış, polinom katsayıları yönteminde ise model verisi için karesel ortalama hatalar 2.50 cm, test verisi için 2.60cm bulunmuştur. Bulanık mantık yönteminin polinom katsayılar yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Yılmaz (2013), jeoit belirleme çalışmalarının bulanık mantık metodu ile hesaplamanın şekli açıklanmış, İstanbul içerisinde homojen dağılımlı 200 adet nokta verisi ile jeoit yükseklikleri belirlenmiştir. MATLAB yazılımı ANFIS (Sugeno Fuzzy modeline) alt modülünde jeoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Hesaplanan modele noktaların tesirini belirlemek için noktalar sırasıyla hesaplanan modelden elemine edilerek 200 değişik model ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Noktaların modele etkisini test etmek amacıyla her noktanın sırayla eğitim verilerinden çıkarılması ile diğer noktalarla bir eğitim modeli hazırlanmıştır. Modellerle elde edilen veriler gerçek

değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak eğitim verilerinin hassasiyetini belirleme çalışmasında bulanık mantık metodunun kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Çakır (2015), çalışma alanı için sayısal yükseklik modellerinin belirlenmesi amacıyla, polinomlar, multikuadritik enterpolasyon, yapay sinir ağları ve karma bir sistem olan bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemleri ile bölgeyi yüzeyini en iyi temsil edecek sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuştur. Çalışma sonunda en iyi sonucu veren sayısal yüzey modelleri için yapay sinir ağları ve ANFIS yöntemi ile elde edilen modellerin polinomlar ve multikuadritik enterpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Çakır (2016), çalışma alanı için Kayseri seçilmiş ve bu alanda seçimsiz dağılım ile tespit edilmiş 291 eğitim noktası ve 100 adet test noktası kullanılmıştır. Farklı yöntemler kullanılarak çalışma bölgesini en iyi şekilde temsil edecek modeller geliştirilmiştir. Daha sonra bu modeller karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen veriler değerlendirildiğinde bu modeller içinde Yapay sinir ağları ve bulanık mantık metodu ile hesaplanan verilerin diğer modellerle hesaplanan verilere göre daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Yılmaz ve Erdem (2019), çalışma bölgesi olarak Tekirdağ iline ait enlem, boylam ve elipsoit ve ortometrik yükseklik değerleri bilinen 262 nokta kullanılmıştır. Bu verilerden 232 adet nokta eğitim verisi olarak, 30 adet nokta ise test verisi olarak kullanılmıştır. Veriler model ve test verisi olarak ayrıldıktan sonra bölge için uygun olabilecek üyelik fonksiyonlarının çeşidinin seçimi yapılarak bulanık modeller oluşturulmuştur. Hesaplamalar sonucu elde edilen verilerin karesel ortalama hataları karşılaştırılmıştır. Beklenti olarak bu karesel ortalama hata değerlerinin birbirine yakın olması gerektiği vurgulanmış bu sayede modelin geçerliliğinin test edilebileceği aksi halde modelin bölge için uygun olmayacağı açıklanmıştır. Çalışmalar MATLAB yazılımının ANFIS alt modülü ile yapılmış, üyelik fonksiyonu olarak Gauss üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Modelleri oluşturmak için veriler 4'er ila 7'şer alt kümeye ayrılmış ve hesaplamalar sonucu elde edilen değerler gerçek değerler ile

karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak çalıma alanı için 5 alt küme ile oluşturulan modelin seçilmesinin uygun olacağı ortaya konulmuştur.

Fidancı ve Abbak (2019), yapay zeka çalışmaları kapsamında olan yapay sinir ağı yöntemine göre çalışma alanında 326 adet nokta ile 6 farklı çalışma yapılmış (model ve test noktalarının değiştirilmesiyle jeoit belirleme) ve bu noktalara ait farklı modeller oluşturulmuştur. Bu modellerden yapay sinir ağı ve polinom yöntemlerine göre elde edilmiş veriler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak homojen ve homojen olmayan dağılımda yapay sinir ağı modelinin daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Uçar Çakmakçı (2019), çalışma bölgesi olarak Kayseri ili seçilerek, çalışmada enlem, boylam, elipsoidal yükseklik ve ortometrik yüksekliği bilinen 811 adet nokta kullanılmıştır. 811 noktanın 681 adedi eğitim noktası, 130 adet nokta test noktası olarak seçilmiş, noktaların bilinen dik koordinat değerleri enlem ve boylam değerlerine dönüştürülmüş ve girdi verileri olarak kullanılmıştır. Çalışmada MATLAB® programından yararlanılmış ve ANFIS modülünde yöntem olarak Sugeno prensibi seçilmiştir. Çalışma kapsamında eğitim ve test verileri programa yüklenmiş, 2'den 16'ya kadar alt kümeler seçilmiş üyelik fonksiyonları olarak tüm üyelik fonksiyonları seçilerek karşılaştırmalar yapılmış ve uygulama alanında için en uygun model belirlenmeye çalışılmıştır. Model oluşturmak için kullanılan GPS-Nivelman ile elde edilen jeoit ondülasyonlarının, modelleme sonucu hesaplanan jeoit ondülasyonları arasındaki farkların çok az olduğu ve sıfıra yaklaştığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak hesaplama sonuç değerlerinin gerçek değerlere çok yakın olduğu ortaya konulmuştur.

Albayrak ve ark. (2020), çalışmada İstanbul iline ait GNSS-nivelman jeoit modelinin belirlenmesi amacıyla bulanık mantık yöntemi (ANFIS) ve yapay sinir ağları gibi esnek teknikler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan İstanbul GNSS-nivelman jeoit modelinin enterpolasyon teknikleri ile hesaplanan modellere göre daha güvenilir olduğu tespit edilmiştir.

Boateng ve Peprah (2020), Gana'nın güneybatısında bulunan maden alanında, 328 kontrol noktası ile jeoit belirleme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalarında Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı, Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon hattı, Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı, Uyarlamalı Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve geleneksel yöntemler kullanılarak jeoit belirleme çalışmaları yapılmış ve hesaplama sonuçları karşılaştırılmıştır. Uyarlamalı Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) modelinde verilerin %70'i model verisi olarak %30'u ise test girdisi şeklinde alınmış ve sonuç olarak jeoit yüksekliği belirlemede bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi tekniklerin klasik tekniklere göre daha gerçekçi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

2.2. Farklı Disiplinlerde Bulanık Mantık Yönteminin Kullanımları

Aşağıda bulanık mantık yönteminin farklı çalışmalarda kullanımına ait örneklere yer verilmiştir.

Yalpır (2007), taşınmazların değerlerinin belirlenmesinde bulanık mantık sistemlerinin kullanılabilirliğini araştırmış, taşınmazların değerlerini belirleyen sayısal ve sayısal olmayan verilerin işlene bilirliği bu yöntemin seçilmesinde etkili olmuştur. Çalışma kapsamında iki anket çalışması yapılmıştır. Birinci anket ile taşınmazın değerine etki eden faktörler araştırılmış, ikinci ankette ise yapılaşmanın yoğunluğuna göre iki kısımda veri grupları elde edilmiştir. Bulanık mantık yönteminin Mamdani modeli esasları ile bulanık yapılar oluşturulmuş, yapılaşmanın yoğunluğuna göre alternatif modeller oluşturulmuş ve en uygun model belirlenmeye çalışılmıştır. Bu modele göre oluşturulan model Sugeno yöntemine göre oluşturulan model ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak taşınmazların değer tespitlerinde bulanık mantık yöntemlerinin uygulanabilirliğini ortaya koymuş, en uygun modelin ise Mamdani yöntemi ile oluşturulan modellerde elde edildiği tespit edilmiştir.

İşcan (2009), arazi düzenleme çalışmalarının dağıtım aşamasında bulanık mantık çalışmalarının uygulanabilirliğini araştırmak amacıyla, Konya Ilgın-Ağalar Köyünde yapılan toplulaştırma projesi kapsamında bulanık mantık çalışmalarına

dayalı bir dağıtım yöntemi oluşturulmuştur. Bu kapsamda, bu modelin mülakat tabanlı dağıtım modeli ve blok öncelik tabanlı dağıtım modeli ile hesaplanan veriler mukayese edilmiştir. Sonuç olarak bulanık mantık yönteminin, arazi toplulaştırma projelerinde ve bu projelerde arazi dağıtım aşamasının bulanık modeller ile yapılabileceğini ve bu yöntemin bu tür çalışmalarda kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Bağırgan ve Karaşahin (2009), karayollarında olası kaza kesimlerini belirlemek ve gerekli tedbirleri almak amacıyla diğer modellere alternatif bir model olması amacıyla bulanık mantık yöntemi ile model oluşturmuşlardır. Bu yöntemin seçilmesindeki önemli bir faktör trafik kazalarının oluşumunda birçok belirsizliğin etkili olmasıdır. Trafik kazalarında bu farklı etkilerin birlikte değerlendirildiği model oluşturulmuştur. Sonuç olarak trafik güvenliğinde sıklıkla kullanılan regresyon modeline bir alternatif model olarak bulanık mantık modeli ile oluşturulan modelin de kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Ok (2010), Türkiye'de orta vadeli toplam elektrik enerjisinin talebini tahmin edebilmek amacıyla ANFIS (Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi) yöntemini kullanarak çalışma yapmış (Sugeno yöntemine göre), bu çalışmada MATLAB® programı kullanılmıştır. Bulanık mantık yöntemine göre oluşturulan modelin performansının test edilmesi amacıyla geleneksel istatistik yöntemlerinden çoklu regresyon analizi ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçta ANFIS ile oluşturulan modelin elektrik talep tahmininde kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Ingle ve ark. (2011), risk analizi çalışmalarında bulanık mantık yönteminin kullanılabilirliğini incelemiş, çalışma kapsamında oluşturulan model yazılım geliştirme sektörü için tasarlanmıştır. Model ile proje yöneticilerinin en az çaba ile incelemek zorunda kalmadan kullanılamayacak projeleri elemine ederek hızlı ve verimli bir araç olarak yöneticiye olanak sağladığı ortaya konulmuştur. Sonuç olarak risk analizinde bulanık mantık yönteminin, projenin gecikme olasılığını ve etkilerini önceden belirleyerek tedbir alınmasının sağlandığı ortaya konulmuştur.

Yılmaz (2015), nöro-bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak, üç kanser tipi için (akciğer, kolon ve meme kanseri) bu kanser türlerinin kişilerin gelişme riskinin ortaya çıkarılmasını sağlamak ve ortadan kaldırmak için önceden teşhis etme durumlarını ortaya konulmuştur. Kişilerin bu kanser tiplerine göre risk faktörleri, bulanık mantık yöntemi olan ANFIS, Einstein Çarpımı esaslı yöntem olan ANFIS (E*ANFIS) ve önerilen nöro-bulanık mantık yaklaşımı ile oluşturulan modellerle mukayese edilmiştir. Tüm yöntemlere ait sonuçlar karşılaştırılmış ve kanser gibi riskli bir problemin analizinde bu yöntemlerin uygulanabileceği ortaya konulmuştur.

Aslan ve Kızıl (2018), firmaların kararlılık çalışmalarına katkı sunmak amacıyla, belirli koşullar altında bilgisayar yardımı ile önceden elde edilen verilerin gerçek değere yaklaşımları kıyaslanarak test edilmiştir. Bu kapsamda bir sağlık kuruluşunun laboratuvarında yapılan kan testlerinden açlık kan şekeri testinin yarar ve zararının belirlenmesinde bulanık mantık metotları kullanılarak sonuçlar asıl değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Bulanık mantık yöntemi le elde edilen değerlerin gerçeğe yaklaştığı ve kabul edilebilir olduğu ortaya konulmuştur.

Akbulut ve ark. (2019), trafik yoğunluğunun ve kavşak kısmındaki araçların ortalama hızlarının değişimi durumunda yeşil ışık için gerekli zamanın bulanık mantık ilkelerine göre modellenmesini yapmışlardır. Çalışmada MATLAB® programının bulanık mantık modülü kullanılmıştır.

Sivari ve Civelek (2019), yaptıkları çalışma ile bir anestezi ilacı olan ve sıklıkla kullanılan propofolün başlangıç miktarının hesaplamasında, uzmanlara yardımcı bir sistem geliştirmek amacıyla bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Başlangıç miktarının ek bir ilaca ihtiyaç duyulmadan hesaplaması temel alınarak, uzmanlar tarafından kural tabanları oluşturulmuştur. Sonuç olarak bulanık mantık tahminlerinin anestezi uzmanlarına çalışmalarında destek sağlayacağı tespit edilmiştir.

Ahat (2021), sürdürülebilir tedarikçi seçiminde ANFIS (Uyarlanabilir Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi) ve YSA (Yapay Sinir Ağları) yöntemlerinden yararlanarak sürdürülebilir tedarikçi performans tahmini hesaplamalarını yapmıştır. Bulanık mantık

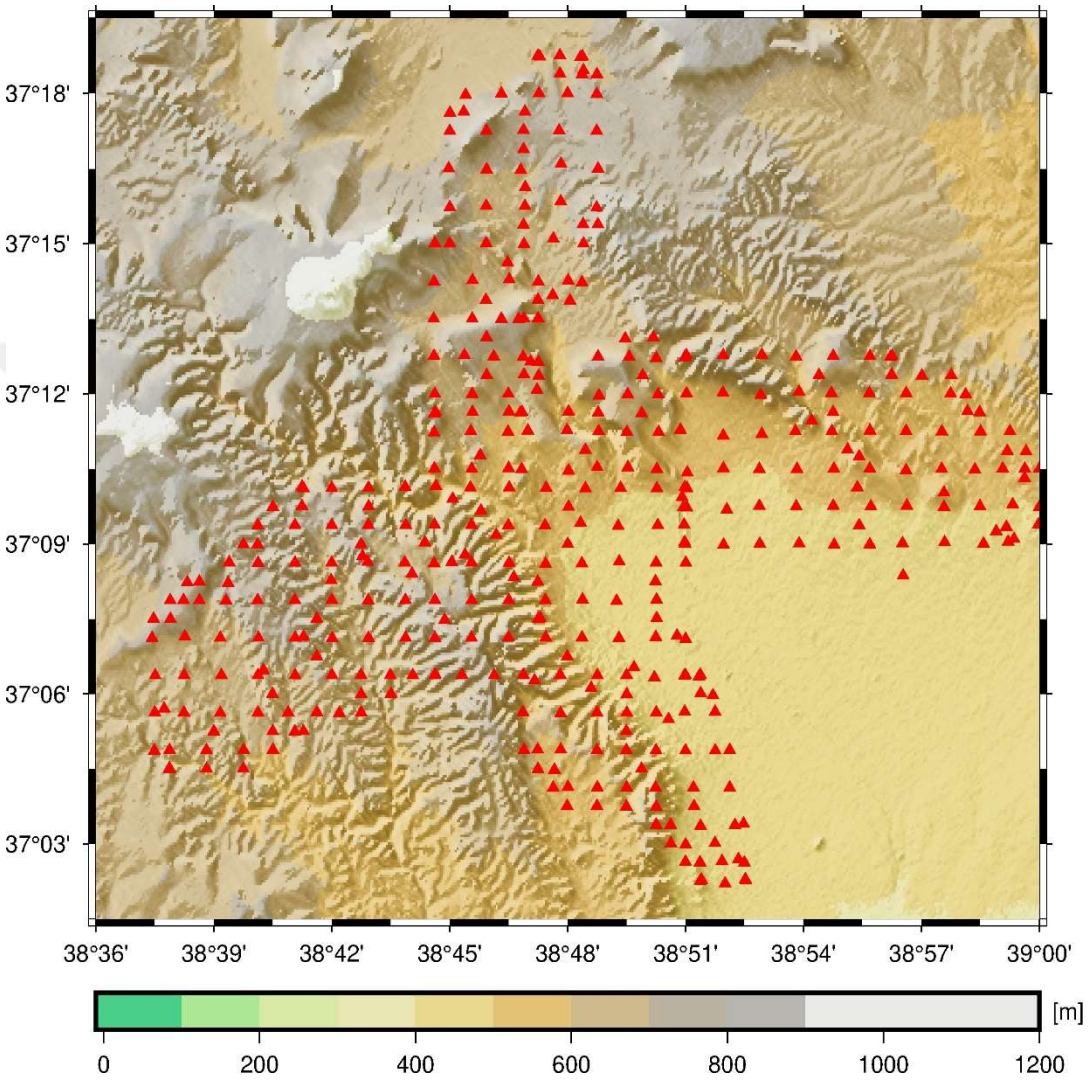
yöntemine ve yapay sinir ağları yöntemine göre oluşturulan modellerin performansını test etmek amacıyla çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Sonuç olarak performans tahmininde en başarılı modelin ANFIS yöntemine göre oluşturulan model olduğu ortaya konulmuştur.

Yukarıda da görüldüğü gibi bulanık mantık birçok farklı çalışmalarda ve farklı disiplinlerde var olan problemlere çözüm üretmek ve problemlerin oluşma durumlarını tahmin etmek gibi belirsizlik durumlarında başarı ile kullanılmaktadır. İlerleyen zamanlarda yapay zekanın gelişmesi ile daha fazla alanda kullanılacağı düşünülmektedir.

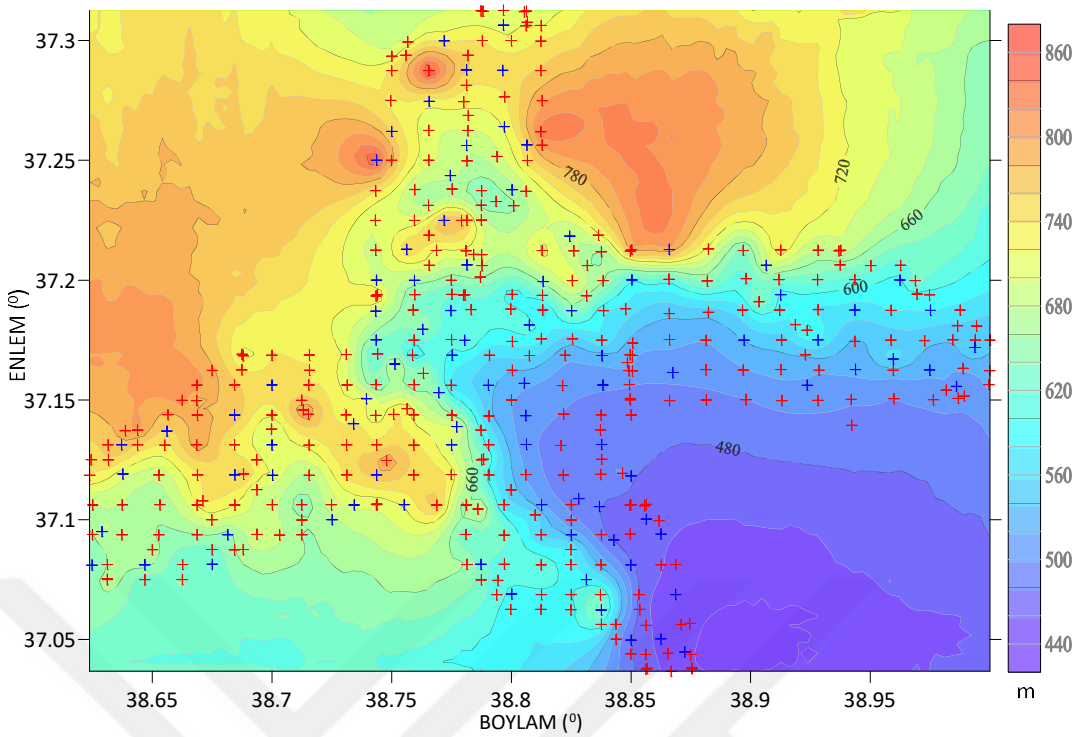
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında kullanılan materyaller; Uygulama bölgesi olarak verilerin temin edildiği Şanlıurfa ili 1/5000 ölçekli fotogrametrik halihazır harita işi kapsamında üretilen enlem, boylam, elipsoit yüksekliği ve ortometrik yüksekliği bilinen 408 adet noktadan oluşan Şanlıurfa il merkezini kapsayan bir alan seçilmiştir. Şekil 3.1.' de çalışma bölgesi gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan materyaller Şanlıurfa Tapu ve Kadastro XXI. Bölge Müdürlüğü arşivinden temin edilmiş (enlem, boylam ve elipsoit yüksekliği) ayrıca verilerin kontrolü ve halihazır harita çalışmaları kapsamında üretilen verilerin (ortometrik yükseklik verileri) karşılaştırılması için halihazır harita üretimi kapsamında elde edilen hesaplama dosyaları (enlem, boylam, elipsoit yüksekliği ve ortometrik yükseklik verileri ve hesaplamaları) verileri Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesinden ayrıca temin edilip karşılaştırmalar yapılmıştır. Uygulamada 408 adet noktadan 318 adet noktada model noktası ve 90 adet nokta test noktası olarak seçilmiş test noktaları arazinin karakteristik yapısına uygun dağılımlı seçilmiştir. Ayrıca test noktalarının model noktalarından uzak noktalar olmasına dikkat edilmiştir. Bu noktalar halihazır harita üretimi zamanında GNSS yöntemi ile statik ölçümler yapılmış ve ayrıca geometrik nivelman ile helmert ortometrik yükseklikleri hesaplanmış noktalardır. Nirengi hesaplamalarında F-test değerlerinin 0.752 olarak uygun olduğu, standart sapma değerleri enlem değerlerinde 0.0025m ila 0.0341m aralığında, boylam değerlerinde 0.0021m ila 0.0206m ve yükseklik değerlerinde 0.0058m ila 0.0647m aralığında olduğu, ayrıca uyuşum testlerinin uygun olarak hesaplandığı görülmüştür. Nivelman çalışmalarında ise dayalı nivelman dengelenmesi ile hesaplanan sonuçlarının hatası M_0= ±4.3 mm olarak hesaplandığı görülmüştür. Bulanık mantık ile modelleme çalışmalara başlamadan önce bu noktalara ait uyuşum testi Geodezik Yazılımlar 1.0 programı ile yapılmış ve noktaların uyuşumlu olduğu görülmüştür. Model ve test nokta sayılarının modele etkisini ölçmek için ayrıca 50 adet nokta test noktası olarak 358 nokta ise model noktası seçilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, yüksek maliyete ve zaman kaybına neden olan geometrik/trigonometrik nivelmanın yerine, GNSS-Nivelmanı yöntemi ile GNSS ölçümü yapılan noktalarda hızlı ve zahmetsiz bir şekilde bu noktaların helmert

ortometrik yüksekliklerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda da önce araziye en uygun hesaplama modeli seçilmeli ve bu model üzerinde testler yapılmalıdır. Şekil 3.1.'de çalışma alanı ve hesaplamalarda kullanılan noktalar gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma Alanı ve Hesaplamalarda Kullanılan Noktalar



Şekil 3.2. Çalışma Alanında Model ve Test Noktaları (Surfer, 2013)

Şekil 3.2.'de (+) ile gösterilen kırmızı işaretli noktalar model noktalarını, mavi (+) işaretli noktalar ise test noktalarını göstermektedir. Haritaların yapılmasında için surfer13 programı kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan materyal ve yöntemin daha iyi anlaşılması için, aşağıda jeoit belirleme yöntemlerinin neler olduğu ve bu yöntemler içerisinde bu tez çalışmasında kullanılan yöntem olan bulanık mantık metodu ile jeoit belirleme yöntemi açıklanacaktır.

3.1. Jeoit Belirleme Yöntemleri

Jeoit belirlemede çeşitli yöntemler vardır. Gelişen teknoloji ile birlikte bu yöntemlere yeni yöntemlerde ekleneceği kaçınılmazdır. Jeoit belirlemenin gelişimini sıralamak gerekirse; İlk başlarda astrojeodezik yöntemler kullanılmış, daha sonra gelişen teknoloji ile diğer hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bilgisayar sistemlerinin geliştiği zamanlarda ise jeopotansiyel değerler önem kazanmış gravite değerleri ile jeoit belirlenmeye başlanmıştır. Daha sonra uydu sistemlerinin gelişmesi sonucu GNSS-Nivelman yöntemi ile jeoit belirlenmeye başlanmıştır (Arslan ve

Yılmaz). Aşağıda jeoit belirlemede kullanılan yöntemler kısaca gösterilmiştir (Yılmaz, 2005).

1- Astrojeodezik metotlarla
2- Gravite verileri ile
    a- Stokes metodu ile jeoit belirleme
    b- Hızlı fourier dönüşümü metodu ile
3- Sayısal yoğunluk metotları ile
4- Jeopotansiyel metot ile
5- Kombine metotlar ile
6- GPS/nivelman metodu ile
    a- Polinom metotları ile jeoit belirleme
    b- Bulanık mantık metotları ile jeoit belirleme
    c- Sonlu eleman metodu ile jeoit belirleme
    d- Kollakasyon metodu yardımıyla jeoit belirleme
    e- Enterpolasyon metotları ile jeoit belirleme

Jeoit belirleme yöntemleri yukarıda gösterildiği gibi sıralanabilir (Yılmaz, 2005). Ayrıca uygulamalarda karşılaşılan yöntemlerden de kısaca bahsedilecektir. Bu çalışmada Bulanık mantık yöntemi ile jeoit belirleme çalışmaları yapılmış ve doğruluk araştırması için bazı polinom yöntemleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

3.1.1. Astrojeodezik metotlarla jeoit belirleme

Çekül sapması belli olan ve astronomik koordinatlar ve jeodezik koordinatları belirli noktalarda hesaplanabilen bir yöntemdir. Çekül sapmasının hesaplanması da zaman alan bir yöntemdir. Bu yöntem astronomik ve jeodezik koordinat sistemleri ile hesaplanmasından dolayı bu şekilde adlandırılmıştır (Arslan ve Yılmaz, 2005).

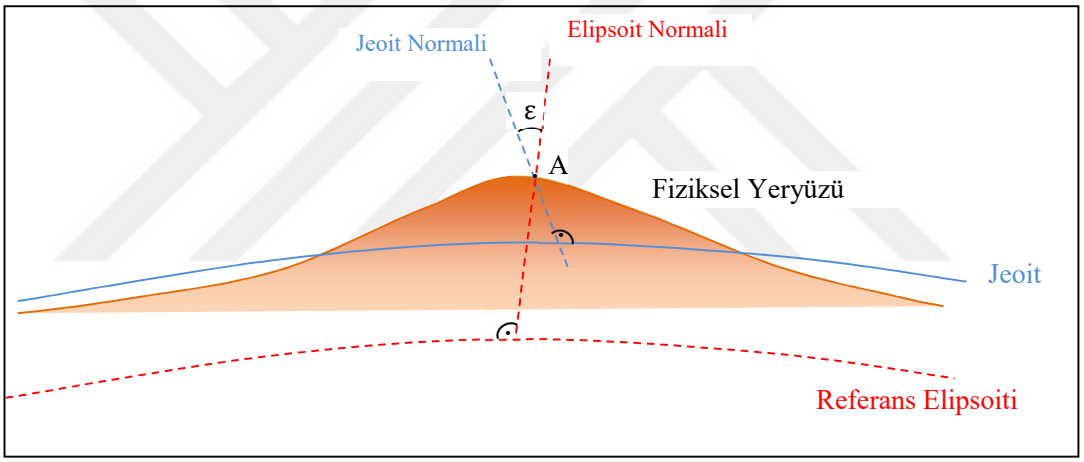
Bu yöntemde çekül sapması bileşenlerinden yararlanarak jeoit yükseklikleri belirlenir (Abbak, 2019). Çekül sapması hesaplanabilirse jeoit belirlenebilir (Arslan ve Yılmaz, 2005). Çekül sapmasının iki bileşeni vardır bunlar denklem 3.1. ve 3.2.'de

gösterilmiştir. Yeryüzünde bulunan bir A noktasının çekül doğrusu ile bu noktanın elipsoit doğrultusu (normali) arasında ε sapması vardır ve bu değere çekül sapması denilir. Şekil 3.3.'te çekül sapması gösterilmiştir.

$$\xi = \Phi - \varphi \tag{3.1}$$

$$\eta = (\Lambda - \lambda)Cos\varphi \tag{3.2}$$

Yukarıdaki denklem 3.1 ve 3.2 ile ifade edilen ve astronomik koordinat sisteminde enlem ve boylam değerleri olmak üzere sırasıyla Φ ve Λ ile gösterilirken coğrafi koordinatlar olarak enlem ve boylam değerleri sırasıyla φ ve λ olarak ifade edilmektedir (Abbak, 2019).



Şekil 3.3. Çekül Sapmasının Gösterimi (Bolat, 2013)

Bir noktadaki çekül değeri hesaplanırsa bir ds mesafesi için ε aşağıda verilen 3.3. denkleminde gösterildiği gibi ifade edilebilir (Abbak, 2019).

$$\varepsilon = -\frac{dN}{ds} \tag{3.3}$$

Bu denklemde gösterilen dN noktalar arası jeoit yüksekliği değişimi, ds ise yine noktalar arası yatay uzunluktur (Abbak, 2019). Bu ds mesafesindeki jeoit değişimi aşağıda verilen denklem 3.4. ile hesaplanır (Heiskanen ve Moritz, 1984).

$$dN = -\varepsilon ds \tag{3.4}$$

ε çekül sapması ise aşağıda verilen denklem 3.5.'de gösterildiği gibi hesaplanır (Heiskanen ve Moritz, 1984).

$$\varepsilon = \xi \cos\alpha + \eta \sin\alpha \tag{3.5}$$

Bir A başlangıç noktasında jeoit' in yüksekliği biliniyorsa bir B noktası ile arasındaki AB uzunluğu boyunca jeoit yüksekliği değişimi aşağıda gösterilen denklem 3.6. ile hesaplanabilir.

$$N_B = N_A - \int_A^B \varepsilon ds \tag{3.6}$$

Denklemi ile hesaplanır (Heiskanen ve Moritz, 1984).

3.1.2. Gravite değerlerine göre jeoit belirleme

Çekül sapması ile elde edilebilecek başka bir yöntemdir. Kısaca yersel ve uydu temelli gravite değerleri incelenerek jeoit belirleme yöntemidir (Demir ve ark. 2018). Bu yöntemde kendi içerisinde stokes fonksiyonu ve hızlı fourier transformasyonu olarak iki farklı yoldan jeoit belirlemesi yapılabilmektedir.

Başka bir ifade ile Gravite anomalilerinden yararlanarak jeoit belirleme yöntemidir (Abbak, 2019). Stokes bozucu gravite potansiyelini aşağıdaki denklem 3.7.'ye göre hesaplamıştır.

$$T = \frac{R}{4\pi} \iint_{\sigma} \Delta_g s(\psi)\, d\sigma \tag{3.7}$$

Bu denklemde gösterilen;

R: yeryuvarı ortalama yarıçapı

σ: Yeryüzü

$s(\psi)$: Stokes fonksiyonu olmak üzere aşağıda denklemi verilen 3.8 bağıntısına göre hesaplanır;

$$s(\Psi) = \frac{1}{\sin\left({}^{\psi}/_{2}\right)} - 6\sin\frac{\Psi}{2} + 1 - 5\cos\psi - 3\cos\psi\ln\left(\sin\frac{\Psi}{2} + \sin^2\frac{\Psi}{2}\right) \tag{3.8}$$

$$\sin^2\frac{\Psi}{2} = \sin^z\frac{\Psi p - \varphi}{2} + \sin^2\frac{\lambda_P - \lambda}{2} cos\,\varphi P\,cos\,\varphi$$

Şeklinde ifade edilir (Arslan ve Yılmaz, 2005).

Bu denklemde geçen Ψ veri notası olup (φ, λ), hesap noktası olarak $(\Psi p, \lambda_P)$ verilen değerler arası küresel mesafedir. T ile ifade edilen bozucu potansiyel γ ile ifade edilen normal potansiyel ve jeoit arasındaki bağıntı denklem 3.9 ile aşağıda gösterilmiştir (Arslan ve Yılmaz, 2005).

$$N = \frac{T}{\gamma} = \frac{B}{4\pi\gamma}\iint_{\sigma}\Delta_g s(\Psi)\,\mathrm{d}\sigma \tag{3.9}$$

3.1.3. Sayısal yoğunluk yöntemine göre jeoit belirleme

Yeryüzünde gravite alanının ve geometrik ölçümlerinden elde edilen sonuçlara göre belirlenen yeryüzü şeklidir. Buna göre bilgisayar ortamında elde edilen verilerle yeryuvarının modeli oluşturulur bu modele göre potansiyel sayısı belli olan bir noktada enlem ve boylam biliniyorsa bu noktada gravite değeri üretilir (Arslan ve Yılmaz, 2005).

3.1.4. Jeopotansiyel yaklaşımı ile jeoit belirleme

Yeryuvarının gravite alanının küresel harmonik katsayılara göre hesaplanması ile bulunur (Arslan ve Yılmaz, 2005).

3.1.5. Kombine yöntemle jeoit belirleme

Ölçülen gravite değerlerinden GRS80'nin atmosferik düzeltmeyi içeren gravite anomalilerin hesaplanması ile jeoit belirleme yöntemidir (Yılmaz, 2005).

3.1.6. GNSS-nivelman yöntemine göre jeoit belirleme

GNSS yönteminin sivil hayatta kullanılması ile birlikte klasik haritacılığa farklı bir bakış getirmiş ve klasik yöntemle elde edilen konum verileri daha zahmetsiz ve masrafsız olacak şekilde haritacılık faaliyetlerinin yapılması sağlanmıştır. Bu yöntem kısaca; GNSS ile elde edilen yükseklik verisi olan yani elipsoit yüksekliği h'ın, yersel yöntemlerle elde edilen nivelman yüksekliği olan H (Helmert ortometrik yüksekliği) ile aralarında yükseklik sistemlerinden dolayı farklar vardır. Daha önce de bahsedildiği gibi elipsoit yüksekliği (h) daha kolay belirlenirken, ortometrik yüksekliğin (H) belirlenmesi arazi şartları, ölçme aletlerindeki hatalar, ölçümcünün kusurları vs. birçok nedenden dolayı daha zor ve zahmetlidir. Bu iki sistem arasında yukarıda da bahsedilen 1.1 denkleminde gösterildiği gibi bir bağıntı vardır. Bu eşitlik GNSS-Nivelman yöntemine göre jeoit belirlemeyi gösterir. Çalışma bölge için bu temel eşitliğe göre belirlenen jeoit modeli ile bu bölgenin jeoit yüzeyi modellenir, çalışma alanı içerisinde koordinatları bilinen noktaların jeoit yükseklikleri oluşturulan yüzey modeline göre belirlenir. GNSS-nivelman yöntemine göre jeoit belirlemede birçok alt dallara ayrılmış ancak bu çalışmada bulanık mantık ile jeoit belirleme konusu üzerinde durulduğundan ve yukarıda da açıklandığı üzere karşılaştırma içinde polinomlar ile jeoit belirleme yöntemlerinin bir kısmı üzerinde durulacaktır. GNSS-nivelman yöntemine göre jeoit belirleme yöntemleri yukarıda açıklanmıştı aşağıda enterpolasyon yöntemine göre jeoit belirleme yöntemleri sıralanmıştır (Uçar Çakmakçı, 2019).

- Polinom enterpolasyonu ile
- Bulanık Mantık modelleme ile
- Sonlu Elemanlar metodu ile
- Kollakasyon metodu ile

- Enterpolasyon yöntemi ile
- Yapay Sinir Ağları ile jeoit belirleme
- Multikuadritik Yüzey Modelleme ile
- Kringing metodu ile
- Ağırlıklı ortalama metodu ile jeoit belirleme olmak üzere gösterilebilir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere jeoit belirleme yöntemleri; çalışmada kullanılan veriler ve bunların işlenmesinde kullanılan metotlara göre sınıflandırılmıştır (Yılmaz, 2005). Bu çalışmada Bulanık Mantık yöntemi ile jeoit belirleme çalışmaları yapılmıştır. Bu yöntem ile elde edilen veriler polinomlar ile jeoit belirleme metotlarının bir kısmı ile karşılaştırılmış ve elde edilen değerler sonuçlar bölümünde açıklanmıştır.

3.1.7. Polinomlar ile jeoit belirleme

Yukarıda bahsedildiği gibi (1.1) bağıntısı ile elde edilecek yüzeylere göre jeoit in belirlendiği açıklanmıştı, polinom yüzeyleri ile elde edilen yüzey modellemesi tekniği en sık kullanılan teknik olup çalışma alanının tek bir fonksiyonla belirlenmesi anlamına gelmektedir. Çalışma alanında kullanılan modeldeki polinom katsayılarının bilinmesi ile bu bölgedeki bilinmesi gereken parametrelerin elde olması halinde bir noktanın jeoit yüksekliği (N) değeri bulunabilir. Polinomun mertebesi, denklemin en yüksek mertebeden terimi ile belirlenir. Yüzey ise daha yüksek mertebeden polinomlar ile belirlenir ve bu durum denklem 3.10.'da gösterilmiştir (Yılmaz, 2005).

$$N(X,Y) = \sum_{k=0}^{n} \sum_{\substack{j=k-i \\ i=0}}^{k} a_{ij} x^i y^j \tag{3.10}$$

Burada gösterilen

a_{ij}: Polinom değişmeyenleri

n: Polinom mertebesi

x.y: Koordinat değerleri

3.10 denkleminde n=1seçilirse elde edilecek yüzey lineer bir yüzey olur, n=2 seçilirse elde edilen yüzey quadritik bir yüzey, n=3 seçilirse elde edilecek yüzey ise kübik yüzey olarak adlandırılır (Yiğit, 2003). Buraya kadar olan kısımda gösterilenler aslında ortogonal polinomlardı, birde ortogonal olmayan polinomlarla enterpolasyon kısmı vardır ancak bu konuya değinilmeyecektir. Kısaca çalışma alanında hangi dereceden bir yüzey kullanılacağı önceden bilinemez, çalışmalar ikinci dereceden başlanılarak istatistik testler sonucu ile belirlenir. Polinom derecesinin artması bilinmeyen sayısını arttırarak yüzeyin hassasiyetinin bozulmasına neden olacaktır, bununda doğruluğunu elimizdeki model ve test noktalarının kıyaslanmasıyla değerlendirebiliriz (Yiğit, 2003).

3.1.8. Bulanık mantık yöntemi ile jeoit belirleme

Elipsoidal yükseklik, GNSS yöntemleri ile üretilen yükseklik olup, bulanık mantık metotları ile elde edilen modellerde kullanılabilmektedir. GNSS sitemleri ile beraber bir noktanın koordinatları ve h elipsoit koordinatları elde edilmektedir. Bu noktaların bulanık mantık yöntemi ile jeoit belirlemede kullanılabilmesi için bulanık mantık kurallarını iyi bilmek gerekmektedir çünkü elde edilen verilerin alt kümelere ayrılması daha sonra bunlara göre üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gerekmektedir (Yılmaz, 2005). Bu çalışmada bu yöntemin kullanılması ile ilgili detaylar anlatılacaktır. Bunun için de aşağıda bulanık mantık sistemi gelişimi, uygulama alanları, kullanım yöntemleri ve faydaları detaylı şekilde açıklanacak daha sonra uygulama çalışması, sonuç ve karşılaştırmalar anlatılacaktır.

3.2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık; İngilizce fuzzy kelimesi, Türkçe karşılığı bulanık anlamına gelen bir kelimedir. İlk kez Zadeh tarafından bu terim kullanılmıştır (Zadeh, 1965).

Bulanık mantık aslında belirsizlik barındıran durumların çözülmesinde uygulanan bir yöntemdir. Günlük yaşamda birçok problemle karşılaşılır ve bunların bir kısmı daha önceleri elde edilen bilgi ve tecrübeler ile kolayca çözülmekte bir

kısmında ise çözümlerin kolay belirlenememesinden dolayı çözüm getirilememektedir (Sarı ve ark. 2005). Bu belirsizlik klasik Aristo mantığına ters olduğundan çünkü klasik anlayış kesin matematiksel ifade olduğundan bulanık mantık ilk ortaya atıldığı zamanlarda bu konuya önem verilmemiş daha sonra Japonya, Malezya, Kore, Hindistan vb. ülkelerde akıllı cihazlarda bu yöntemin kullanımı ile bu konu üzerine durulmaya başlanılmıştır. Klasik Aristo mantığı 0 ve 1 olmak üzere iki değer alır ve arası yoktur, bir ifade veya yorum doğruysa 1 olarak, yanlış ise 0 olarak gösterilir (Şen, 2012). Günlük hayatta kullanılan birçok kavram belirsizlik içermektedir ve bunlar; az çok az, fazla, çok fazla, yaşlı, orta yaşlı, vb. pek çok kavram örnek verilebilir (Dursun, 2012).

3.2.1. Bulanık mantık tarihsel gelişimi

Mantık kelimesi Arapçada konuşmak, dile getirmek anlamında (Arapça ifadesi Nutk'tur) olup, Grekçe 'de logos yani akıl yürütme, düşünme vs. anlamlarına gelmekle birlikte konuşma dilinde ise düzgün düşünme anlamına gelmektedir (Karataş, 2018).

Batı dünyasında ki mantık çalışmalarında; Bazı bilim adamları tarafından (Aquinolu Thomas, Albert Magnus, vd.) klasik mantık düşüncesi devam ettirilmiş, 19. yüzyılda ise bazı bilim adamları (Bertrand Russel, George Boole, John Stuart Mill, vd. gibi) ve düşünürlerle bilimsel gelişmeler ile birlikte mantık bilimi kendini yenilemiştir. Jan Lukasiewicz ve Lütfi A. Zadeh ile mantık, bulanık mantık süreçlerine girmiştir (Karataş, 2018). Bunlara ek olarak; Augustus De Morgan günümüzdeki adıyla anılan teoremi kurmuştur, George Bool ise mantık ile matematiği birleştirmiştir. John Venn matematikte kullanılan kümelerde kendi adı ile anılan venn şemasını kullanmıştır. 1920'lerde Heisenberg belirsizlik kuramını ortaya atmıştır (Dursun, 2012), 1930'larda ise Max Black belirsizliği açıklayan kavramlar geliştirmiştir (Sarı ve ark., 2005), Bulanık mantık, aslında 1965'te, Lütfi A. Zadeh sayesinde bilim dünyasına kazandırılmıştır. 1965 yılında yayımlanan The Theory of Fuzzy Logic and Fuzzy Sets (Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler Teorisi) makalesinden sonra Aristoteles'ten süre gelen kabullenmeleri değiştirmiştir. Lütfi A. Zadeh 1921 yılında Bakü'de doğmuş, Tahran'da Elektrik mühendisliği eğitiminden sonra ABD 'de Boston eyaletinde

bulunan Massachusetts Enstitüsü'nde yüksek lisans, Columbia Üniversitesinde de doktora eğitimini tamamlamıştır (Keskenler ve Keskenler, 2017).

Bulanıklık derecelendirme ile alakalıdır. Ona göre bulanık sözcüğü matematiksel bir niceliktir. Dünya kesintili değildir süreklidir (Karataş, 2018). Buna göre; renkler arasında olduğu gibi geçişler yani dereceler vardır siyah ile beyaz arasında farklı derecelenme ile koyuluk açıklık durumu oluşmaktadır. Bunun temelinde ise küme kavramı vardır. Zadeh'e göre bulanık mantığın maddeleri aşağıdaki gibidir;

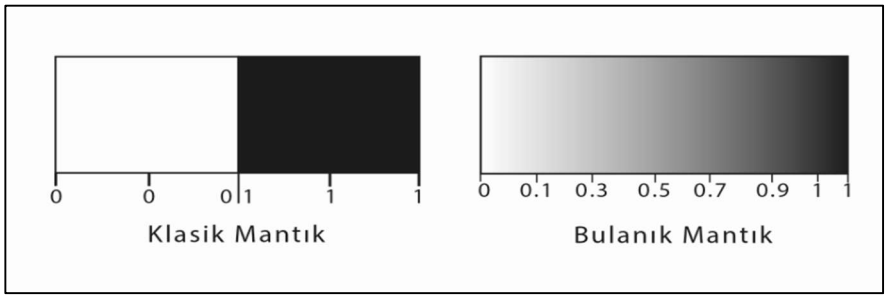
- Kesin ifadeler yerine yaklaşık ifadeler vardır.
- Her şey sıfır ve bir arasındaki üyelik derecesinde belirtilir.
- Veriler sözel ifadeler içerir örneğin az, çok, gibi.
- Bulanık tahmin sözel kurallar ile gerçekleştirilir.
- Mantıksal işlemler bulanık bir şekilde gösterilebilir.

Cebirsel olarak tanımlanması karmaşık olan işlemlerde bu yöntemin kullanılması elverişlidir (Keskenler ve Keskenler, 2017).

3.2.2. Bulanık küme kavramı

Geleneksel küme yaklaşımında eleman ya bu kümenin üyesidir veya değildir. Bir elemanın bir kümeye ait olması klasik yaklaşımda kesinlik içermektedir. Ancak bulanık mantık yaklaşımı ile bu örneğe bakarsak o elemanın o kümeye ait veya ait olmamasını o ile 1 arasında derecelendirerek buluruz bu derecelendirmeye üyelik derecelendirmesi denilmektedir. Bu üyelik derecelendirmesine yukarıda da değinildiği gibi sözel ifadeler girerek bulanık mantığı klasik mantıktan ayırır. Bulanık mantık modeli oluştururken farklı üyelik fonksiyonları kullanılır, bunlara örnek; üçgen, yamuk, sigmoid, çan eğrisi ve gauss eğrisidir (Akyılmaz ve ark., 2003). Bulanık küme değişik üyelik derecesinde bulunan elemanlar ile oluşan bir kümedir. Tam üye veya tam üye değil denilemeyecek durularda bulanık mantık devreye girerek bize bu tanımı yapmamızı sağlar. Yukarıda değinildiği gibi geleneksel kümelerde örneğin siyah renk ile beyaz renk arasında ara bir renk değeri yoktur. Ancak bulanık yaklaşımla belirlenen

kümelerde bu iki renk arasında tüm tonlar kümelere dahil edilir. Bu durum Şekil 3.4'te gösterilmiştir (İşcan, 2009).



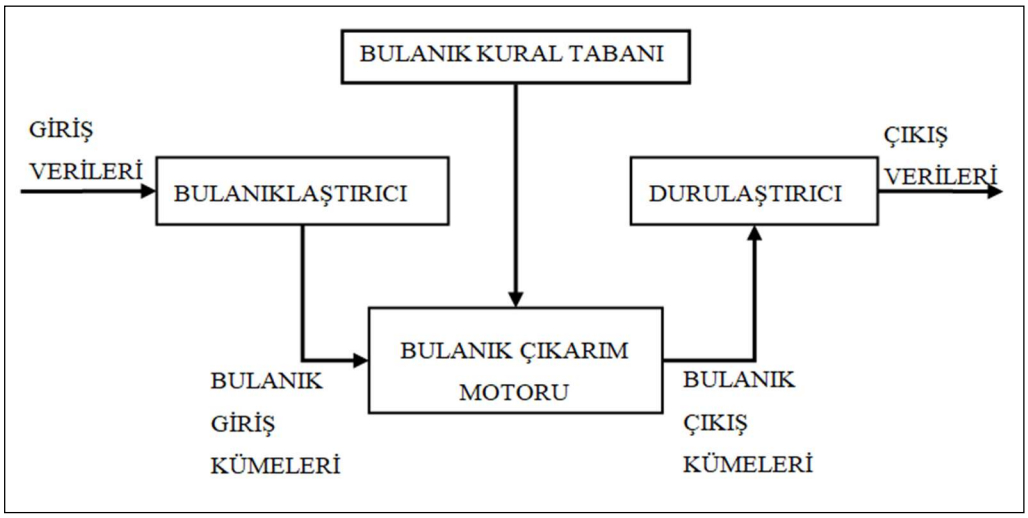
Şekil 3.4. Klasik Mantık ve Bulanık Mantık Gösterimi (İşcan, 2009)

3.2.3. Bulanık mantık aşamaları

Bulanık bir model sistemi, eğer ise prensipleri olarak adlandırılan kural tabanlı sistemdir. Bulanık modelin girdi ve çıktıları vardır. Giriş kısmında çıktı ürünlerine neden olan parametreler yer alırken sonuç kısmında giriş değerlerine yanıt niteliğinde oluşturulan sonuç parametreleri bulunur. Aşağıda kurallar gösterilmiştir.

1. Kural, **Eğer** x değeri A_1 ve y değeri B_1 **ise** z değeri de N_1 dir.
2. Kural, **Eğer** x değeri A_2 ve y değeri B_2 **ise** z değeri N_2 dir (Yılmaz ve Arslan, 2005)**.**

Burada x ve y, girdi değişkenleri ve z ise çıktı kısmındaki çıktı değişkenleri sonuçlarıdır (Yılmaz ve Arslan, 2005). Bulanık model sisteminin yapısı Şekil 3.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Bulanık model sistem yapısı (Yılmaz ve Arslan, 2005)

Şekil 3.5.'te gösterilen Bulanık model sistemi yapısında adı geçen terimler aşağıda açıklanmıştır.

Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenecek konu ile ilgili girdilerin ve bunlar hakkındaki tüm bilgilerdir sayısal ve sözel bilgi olabilmektedir.

Bulanıklaştırıcı Birimi: Sayısal değişkenlerin, sözel nitelendirilmesinin bulanık kümelerdeki üyelik derecesinin bulanık ifadelere çevrildiği birimdir. Burada bulanıklaştırma fonksiyonu tanımlanır (Yılmaz ve Arslan, 2007; İşcan, 2009).

Bulanık Kural Tabanı Birimi: Bulanık mantık sisteminde değişkeler için belirlenen kurallar girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki bağlantıyı sağlar, ayrıca kurallara ait sözel ifadeleri de barındırır, bu sayede insan düşünme sistemi gibi çalışmış olur. Giriş değişkenlerinin artması kural sayısını artıracak olup, bu da kurallar üzerine etki etmektedir (İşcan, 2009).

Bulanık Çıkarım Motoru birimi: Bulanık sistemin çekirdeğini oluşturur. Bu kısımda yapılan çalışmalar insan karar verme ve çıkarım yapma kabiliyetine benzer bir şekilde girdi verilerini işler ve çıkarım yaprak sonuçlarını denetler. Bu sistem üç kavramsal temelden oluşmaktadır bunlar; Eğer ise prensiplerinin sonuçları olarak ifade edilen kural tabanı bölümü, kümelerin aitlik seviyesi olan ve üyelik seviyelerinin

tanımlanması bölümü olan veri tabanı bölümü ve bu yapının giriş ve çıkışından ibaret olan çıkarım bölümüdür. Üç tür bulanık çıkarım sistemi bulunmaktadır, bunlar; Mamdani, Sugeno ve Tsukamoto bulanık çıkarım sistemleridir. Mamdani tipi çıkarım sistemi insan davranışına en uygun kullanıma sahip sistemdir ve kullanımı en çok olan sistemdir (İşcan, 2009).

Durulaştırıcı Birimi: Bulanık işlemler sonucu elde edilen verilerin sayısal çıktılar şeklinde belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlemler bu birim altında yapılır. Aşağıda bazı durulaştırma metotları verilmiştir.

- Sentroid (ağırlık merkezi) metodu
- Maksimum Üyelik metodu
- Ortalama Ağırlıklar metodu
- Ortalama Maksimum üyelik metodu
- Merkezi Yaklaşım metodu
- Maksimum Alan Merkezi metodu
- İlk En Büyük veya Son Üye derecelendirme metodu (Yılmaz, 2005; İşcan, 2009).

Üyelik fonksiyonları konusuna da değinmek gerekmektedir bu kapsamda; bulanık mantık konusunda ele alınan ifadelerin değeri bunu inceleyen kişiler tarafından belirlenir. Örneğin havanın ısı değerinin -6^{o} C ile +38^{o} C arasında değiştiği bir bölgede bu sıcaklık aralığında çok soğuk, soğuk, ılık, sıcak ve çok sıcak değerleri kişiden kişiye göre değişecektir. Bu aralıkların kümenin elemanlarının bulunabileceği anlamına da gelmektedir. Burada her bir aralığın sözel ifadesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu aralıklar arasında geçişler günlük yaşamda kesin olmamakta herkesin bakışına göre değişecektir yani kesin bir değerle bunları birbirinden ayırmak doğru olmayacaktır. Bulanık mantığın temel felsefesinin bu mantığa göre çalıştığını söylemek gerekmektedir. Kesin olmayan ifadeler ile bulanık geçişlerin yukarıda bahsedilen evrelerden geçirilerek daha uzlaşıcı sonuçlara varılacağı görülmektedir. Küme üyelerinin bu aralık değerlerini gösteren eğriye üyelik fonksiyonu denilir (Yılmaz, 2005).

3.2.4. Bulanık mantık kullanım alanları

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi klasik mantığın çok uzun yıllar boyunca kullanılmış olmasından ve bir alışkanlık haline gelmesinden dolayı bulanık mantığın bu süre zarfına göre yeni bir yaklaşım olduğu söylenebilir bu nedenle de ilk başlarda önemsenmemiştir. Geçmişten gelen alışkanlıkları değiştirmek zaman alan bir iştir. Tüm dünya kullanım alanları artan bu düşünceyi artık benimsenmiştir. Bulanık mantığın çok çeşitli kullanım alanları mevcuttur. İlk çalışmalar 1970'lerde Prof. Dr. Ebrahim H. Mamdani tarafından buhar makinelerinin kontrolü için yapılmıştır (Mamdani ve Assilian, 1975).

1987 yılında Sendai Metrosu'nda bulanık mantık yöntemini uygulanmış, bu çalışma ile enerji tasarrufu sağlanmış ve trenin belirli bir noktada daha doğru bir şekilde durması sağlanmıştır. 1988 yılında Tokyo Borsasında oluşan krizi bulanık mantık temelli sistemleri sayesinde on sekiz gün önceden bilinebilmiştir. Bulanık mantığın önem kazanmasını nedeni ise Japonya'da bulanık mantık ile geliştirilen sistemlerin artması olarak gösterilebilir (Keskenler ve Keskenler, 2017).

1980'lerde Danimarka'da bir çimento fabrikasında karşılaşılan sorunun çözümü için bulanık mantık yöntemi denenmiş ve başarılı olunmuştur. Bu sorunun gelişimi ise şöyledir, çimento yapımında kullanılan malzemeler fazla sıcaklığa maruz kalınca katılaştığından, sıcaklığın azaltılmasının da çimentonun kalitesini düşürdüğünden dolayı ortaya bir problem çıkarmaktadır. Bu ısının ayarlanması operatör marifetine göre fazla zaman alması ve yeni operatörlerin duruma adapte olması çok fazla zaman kaybına neden olmasından dolayı bu duruma çözüm aranmış ve bulanık mantık sistemini kullanan bir firma bu problemi çözmüştür (Munakata ve Jani, 1994; Uçar Çakmakçı, 2019).

Günümüze kadar bulanık mantık ile birçok problem çözülmüş ve çok geniş bir alanda kullanım imkanı bulmuştur. Günümüzde kullanım alanlarının bir kısmı aşağıda verilmiş olup, ne kadar geniş bir yelpazeye sahip olduğu görülmektedir.

- Sigortacılık faaliyetleri
- Tıp alanı.
- Ham madde tedarik seçimi
- Finansal performans izleme
- Hazır giyim
- Araç motorları
- Meteorolojik tahminler
- Mobilya sektörü
- Sosyal ağlar
- Hava savunma sistemleri
- İnsansız hava araçları
- İş sağlığı
- Uçuş kontrol Sistemleri
- Hayvancılık
- Trafik
- Klima sistemleri

Yukarıda sayılan kullanım alanları bulanık mantığın kullanıldığı sektörler olup kısa bir bölümü gösterilmiştir. İlerleyen zamanlarda daha birçok sektörde kullanım alanı bulacağı öngörülebilir.

Haritacılık alanında kullanım durumları ise; uydu sistemleri ve bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile haritacılık faaliyetlerinde daha hızlı veri toplama olanakları doğmuştur. Bu durumlarda jeodezi alanını etkilemiştir aşağıda bulanık mantığın kullanım alanları şöyledir; gravite alanı modelleme, jeoit belirleme, deformasyon ölçmeleri, taşınmaz değerleme, GNSS tam sayı belirsizliği, CBS veri analizleri, arazi kullanım sınıflarının belirlenmesi gibi birçok alanda faaliyet göstermektedir (Uçar Çakmakçı, 2019).

3.2.5. Bulanık mantık yönteminin avantajları ve dezavantajları

Yapılacak olan çalışmalarda kullanılacak bulanık mantık sisteminin en avantajlı tarafı klasik mantıktaki gibi analizi yapılacak sistemin sayısal ifadeler yerine sözel ifadeler ile açıklanabilmesidir. İncelemeye aldığımız sistemi bilgi ve tecrübelerimiz ile sayısal terimler yanında sözel ifadelerle de çözümleyebiliriz. Bu da matematiksel ifade barındıran sorunların insan idrak kavramı gibi düşünüp çözüm üretmesi gibi bir avantaj sağlar. Çok fonksiyonlu, karmaşık, tamamen tanımlanmamış ve zamanla değişim gösteren sistemlerin çözümü için bulanık mantık sistemi en ideal sistemdir. Problem karmaşık değilse klasik yöntemle çözülebilir. Bulanık mantık diğer bir avantajı karmaşık olmayan bir yazılım ile klasik yönteme göre çok daha hızlı bir şekilde sorunu çözer. Bunun nedeni de bulanık sisteme girilen giriş verilerinin kümelere ayrılarak sözel ifadelerle az sayıda işleve indirgenerek çözüme varılmasıdır. Diğer taraftan kullanıcı deneyiminin bulanık sisteme etki etmesi yani kullanıcı girişlerine izin vermesi başka bir avantajdır. Klasik mantıkta matematiksel modele gereksinim duyulurken bulanık mantıkta buna ihtiyaç yoktur (Sinecen, 2002). Doğrusal olmayan fonksiyonlar bu sayede modellenebilir, klasik mantık kontrol yöntemleri ile uyumludur, anlaşılması kolaydır çünkü insan zekasının çalışma prensibine göre bir sistemle çalışır (Munakata ve Jani, 1994).

Bulanık mantık dezavantajları; Bulanık mantık kurallarının uzman ve deneyim sahibi kişilerce belirlenmesi gerekmektedir, deneyimsiz kişilerin yapacağı bir kuralda deneyimsizlik zaman kaybına neden olacaktır. Buda bulanık mantık sistemini kullanıcı deneyimine bağlamaktadır. Sistemin ne şekilde cevap vereceği önceden bilinemez ve sonuçlar kestirilemez (Uçar Çakmakçı, 2019). Bulanık mantık klasik mantığa göre inceleme yapılacak sistemde matematiksel modele ihtiyaç duyulması bulanık mantıkta ise böyle bir şeye gerek olmadığı daha önce belirtilmişti. Bu sayede bulanık mantık sistemleri çok hızlı bir ivme ile kullanım alanları gelişmiş ve gelişmeye devam etmektedir (Sinecen, 2002).

3.2.6. Bulanık mantık yöntemleri

Uygulamada bulanık mantık modelleri genelde iki yöntem ile oluşturulur bunlar; Mamdani ve Sugeno yöntemleridir (Yılmaz, 2005). Sugeno bulanık model, Takagi, Sugeno ve Kang tarafından eldeki verilerden bulanık kurallar oluşturmak amacıyla üretilmiştir (Uçar Çakmakçı, 2019). Mamdani yöntemi ise kullanıcı sezgisine yani tecrübeye dayalı bir kural sistemidir ve uygulama alanı geniştir (Yılmaz, 2005). Bu yöntem ilk defa İngiltere'de buhar makinelerinin kontrolü amacıyla Prof. Dr. Ebrahim Mamdani tarafından oluşturulmuştur. Yukarıda da değinildiği gibi bu yöntem kullanıcının tecrübeli olmasını zorunlu kılar. Bu iki yöntemin benzerlikleri ve farklılıkları vardır bunlar kısaca; Her iki kural sisteminde de bulanıklaştırma ve bulanık operatörleri aynı işlemi yapar ancak bu iki sistemin farkı Sugeno yönteminde çıktı değerlerinin üyelik fonksiyonları sabit ya da lineerdir bu iki sistem arası en büyük farklılıktır. Sugeno yönteminde girdi bir sabit sayı ile çarpılıp sonuçları toplanır (Uçar Çakmakçı, 2019). Mamdani yöntemi insan davranışlarına en uygun yöntem olup, bulanık mantık modellerinin temelidir (Yalpır, 2007). Diğer yöntemler bu yöntemin uyarlamasıdır. Mamdani bulanık modeli oluşturulurken aşağıdaki işlem adımlarına göre oluşturulur;

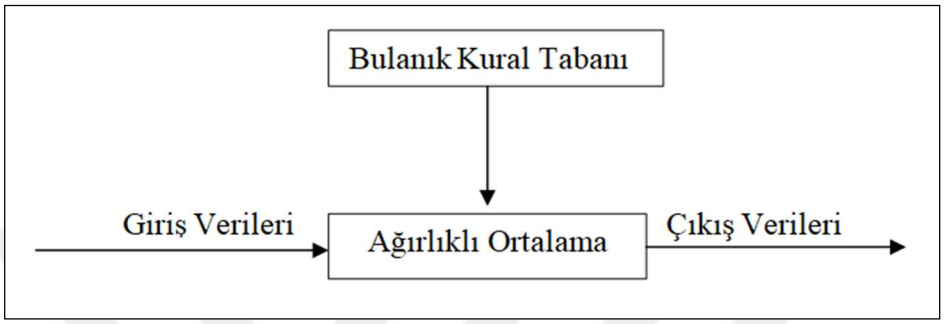
- Girdi verilerinin bulanıklaştırılması; girdi değişkenleri 0 ile 1 arası değerler arasında derecelendirilir.
- Kuralların ağırlıkları belirlenir.
- Mantıksal işlemciler uygulanır.
- Sonuçların toplanması; bulanık sistemdeki gruplarının birleşimi.
- Durulaştırma; bulanık kümeler sonucu tekil sayıya çevrilen neticelerin durulaştırılması işlem adımlarından oluşur (Yalpır, 2007).

Mamdani bulanık mantık yönteminde x ve y sayısal iki değişken ile kurallar oluşturularak bir model belirlenecekse z çıkış verileri ve c ise bulanık kümelerin bir fonksiyonu olarak gösterimi aşağıda verilmiştir. Bu yöntemin en önemli avantajı basit bir şekilde model oluşturulmasıdır.

1. Kural, **Eğer** x değeri A_1 ve y değeri B_1 **ise** z değeri C_1 dir.

2. Kural, **Eğer** x değeri A_2 ve y değeri B_2 **ise** z değeri C_2 dir (Yalpır, 2007)

Sugeno bulanık modellemeyi özetleyecek olursak; Mamdani yöntemi ile aynı olmasına rağmen az bir farklılık vardır. Bu farklılık çıktıların üyelik fonksiyonlarındadır. Sugeno modelleme Şekil 3.6. ile gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Sugeno Bulanık Model Sistemi (Yalpır, 2007)

Şekil 3.6. da verildiği üzere kuralların gösterimi aşağıda açıklanmıştır;
Eğer x değeri A ve y değeri B ise z değeri bir fonksiyon olarak f(x,y)= px+qy+r şeklinde gösterilir (Yalpır, 2007).

Yukarıda gösterilen A ve B değerleri, x ve y fonksiyonlarının giriş kümeleri olarak, p, q ve r değerleri de çıkış verileri olarak belirtilir. Burada ki işlemler basit cebirsel işlemlerdir (Yalpır, 2007)

Sugeno yönteminin faydaları; hesaplama kolaydır, lineer olmayan sistemlerin kontrolünde lineer teknik kullanır, çıktı ürünleri optimize edilebilir, matematiksel analize uygundur. Dezavantajları ise; yüksek derecede modellemede karmaşık bir yapı alır, girdi değerlerinin fazla olması verilerin eğitimini zorlaştırır, insan sezgilerine uygun değildir (Yalpır, 2007).

Bu yöntemler haricinde birde Tsukamoto yöntemi de vardır ancak uygulamada en çok kullanılan yöntem olan yukarıda bahsedilen Mamdani ve Sugeno yöntemlerine değinilmiştir.

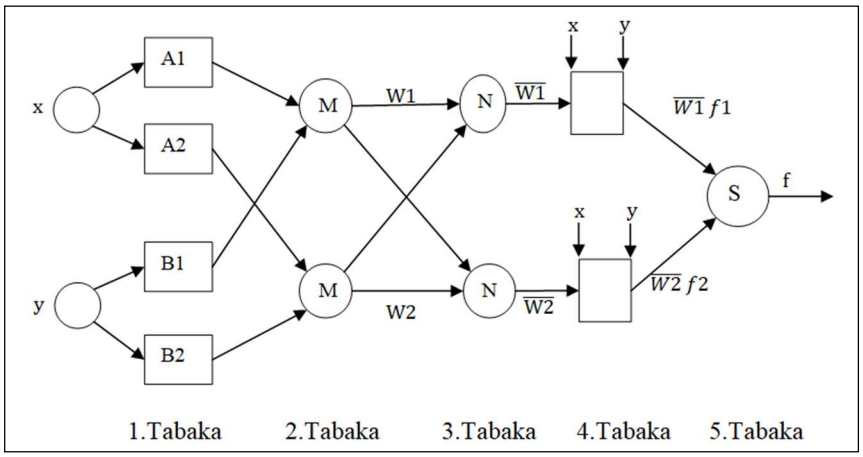
Bu iki yöntemin (Sugeno-Mamdani) birbiri ile olan kıyaslaması; Sugeno modeli daha esnektir, birçok girdi parametresine izin verir her girdinin bir fonksiyonu vardır buda açık bir ilişkiyi ortaya koyar, Hesaplamada Sugeno modeli daha etkilidir çünkü ağırlıklı ortalama yöntemine göre çalışır. Mamdani modeline göre daha karışık hesaplamalar kullanabildiğinden daha iyi sonuçlar verir ancak uyarlamalı tekniklere ihtiyaç duyar (Uçar Çakmakçı, 2019).

3.2.7. ANFIS modeli

Bulanık mantık modeli içerisinde, uyarlanabilir bir yapay sinir bulanık çıkarım yöntemi olan ANFIS yöntemi, bilim dünyasına 1993'te Jang sayesinde kazandırılan bir yöntemdir (Jang, 1993). Bu yöntemde yapay sinir ağlarının (YSA) öğrenme kabiliyetini kullanarak bu iki sistemin birleşmesi ile insana ait karar verme yeteneğinin bulanık mantık sisteminde birlikte kullanılması sağlanmıştır. Bu yöntem yukarıda bahsedilen Sugeno modeliyle birlikte kullanılır. Öğrenme algoritması ise geri yayılım veya geri yayılım modeli EKK metodu ile birlikte kullanılan (melez) öğrenme modelidir (Uçar Çakmakçı, 2019). Bu uyarlamalı yapı sayesinde kullanıcı deneyimine fazla ihtiyaç duyulmaz, ANFIS mimarisi 2 kurallı Sugeno modeli ile aşağıdaki gibi gösterilir (Yılmaz, 2005).

1. Kural: eğer x değeri A_1 ve y değeri B_1 ise $f_1= p_1x+q_1y+r_1$
2. Kural: eğer x değeri A_2 ve y değeri B_2 ise $f_2= p_2x+q_2y+r_2$ şeklinde gösterilir (Yılmaz, 2005).

Yukarıdaki kuralların uygulanmasında ANFIS yapısı aşağıdaki Şekil 3.7.'de gösterilmiştir (Yılmaz, 2005). ANFIS sistemi Eğer-İse kuralına göre işlem yapar, yapısı ise birbirine bağlanmış düğümlerden oluşur beş adet tabakaya sahiptir 1. tabaka ve 4. tabaka uyarlanabilir düğüm noktası olup dairelerin bulunduğu tabakalar ise uyarlanabilir değildir, çünkü bazı düğümlerde parametreler değişime uğrar bazılarında uğramaz (Uçar Çakmakçı, 2019).



Şekil 3.7. ANFIS Yapısı (Yılmaz, 2005)

Şekil 3.7'de gösterilen daireler sabit bir düğüm noktası, kare şekiller ise uyarlanabilir düğüm noktasıdır. Kare olan şekillerde eğitim sırasında parametrelerin değiştiği bölümdür (Yılmaz, 2005). Şekil 3.8'de görülen tabakaların açıklamaları aşağıdaki gibidir burada O_{Li}; L tabakasındaki i düğüm noktasındaki çıktı verisini göstermektedir buna göre;

1. tabaka; buradaki düğüm noktaları bir fonksiyon parametresi ile uyarlanabilir. i düğümleri bölümlerinde bulanık sistem üyelik fonksiyonu ile belirtilen giriş verilerinin kademeleridir ve aşağıda gösterilen 3.11. ve 3.12. denklemlerindeki gibi ifade edilir (Yılmaz, 2005).

$$O_{1,i} = \mu_{Ai}(x) \qquad i = 1,2. \tag{3.11}$$

$$O_{1,i} = \mu_{Bi-2}(y) \quad i = 3,4. \tag{3.12}$$

A_i ve B_i ile ifade edilenler bulanık küme olarak değerlendirilebilir, örnek verecek olursak çan eğrisi aitlik fonksiyonu kullanılabilir ve 3.13 denkleminde ki gibi gösterilir.

$$\mu_{Ai}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^2\right]^{b_i}} \quad i = 1,2. \tag{3.13}$$

Burada a, b ve c değerleri üyelik fonksiyonunda kullanılacak değerlerdir (Yılmaz, 2005).

2. tabaka: Bu bölümdeki değerler sabit değerlerdir. Bu düğüm noktaları çarpım görevi görürler, bu nedenle M harfi ile gösterilirler. Bu düğüm noktalarına giren değerlerin sonuçları denklem 3.14.' de gösterilmiştir (Uçar Çakmakçı, 2019).

$$O_{2,\mathrm{i}} = \mathrm{w_i} = \mu_{Ai}(x) * \mu_{Bi}(y) \quad i = 1,2. \tag{3.14}$$

Burada ifade edilen kısımdaki düğüm noktalarının çıktı değerleri (w_i) kuralın ağırlığı olarak adlandırılır (Uçar Çakmakçı, 2019).

3.Tabaka: Bu katmandaki düğümler sabit değerlerdir. 2. Tabakanın sonuç değerlerinin kurallandırılması bu tabakada yapılır ve N harfi ile gösterilir. Bu düğüm noktalarının çıktıları 3.15 denkleminde gösterilmiştir (Yılmaz, 2005)

$$O_{3,i} = \overline{W_{\mathrm{i}}} = \frac{W_i}{W_1 + W_2} \quad i = 1,2. \tag{3.15}$$

4. Tabaka: Bu tabakadaki düğüm noktaları uyarlanabilir haldedir. Burada ki işlem kurallandırılmış ağırlıklar ile birinci dereceden polinomun çarpılması işlemidir. Bu durum 3.16 denkleminde gösterilmiştir (Yılmaz, 2005).

$$O_{4,i} = \overline{W_{\mathrm{i}}} f_i = \overline{W_{\mathrm{i}}}(P_i x + q_i y + r_i) \quad i = 1,2. \tag{3.16}$$

Bu denklemdeki p değeri, q değeri ve r değeri bulanık kurallar ile alakalı nihai değerleridir (Yılmaz, 2005)

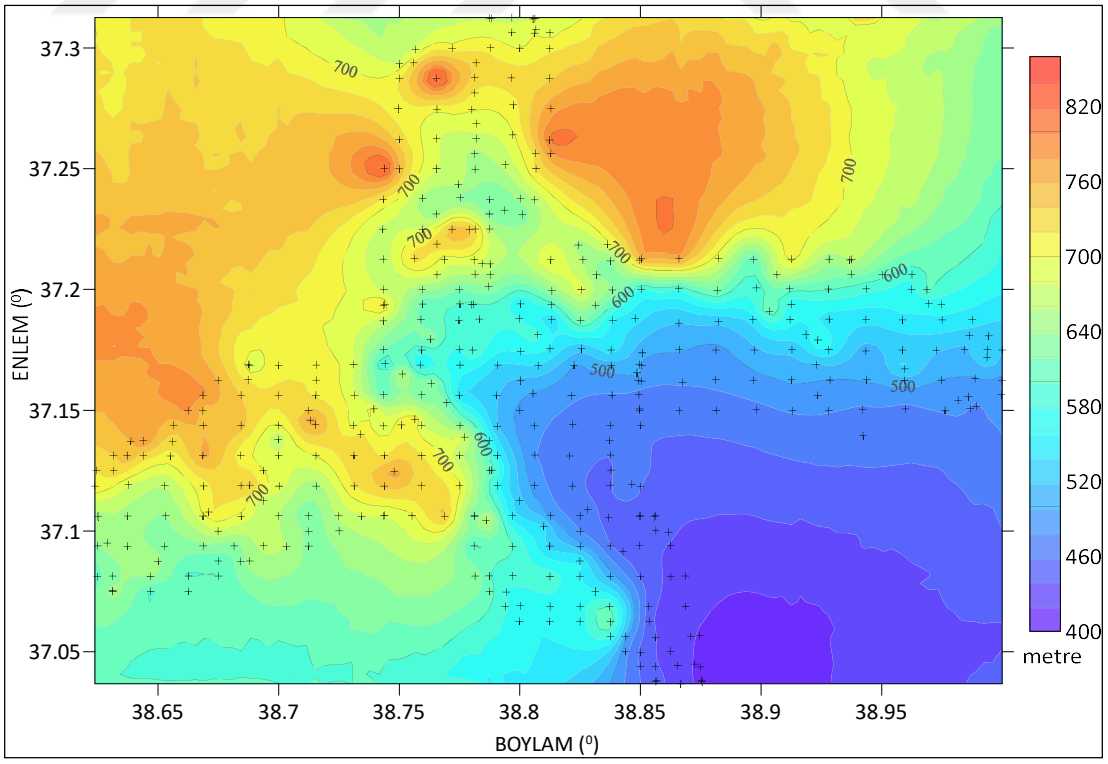
5.Tabaka: Bir düğümün olduğu bu katmanda sadece toplama görevi yapılır bu nedenle S ilse gösterilir. Bu tabakadan elde edilen sonuç değerlerinin hesaplanması 3.17 denkleminde aşağıda gösterilmiştir (Yılmaz, 2005).

$$O_{5,i} = f = \sum_{i} \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad i = 1,2. \tag{3.17}$$

Birinci tabakada gösterilen a, b ve c girdi değerleri uyarlanabilir parametrelerdir ve öncül parametre olarak adlandırılır, dördüncü tabakada 1. derece polinoma ait uyarlanabilir parametrelere sahiptir bunlar p, q ve r parametreleridir. Bunlar soncul parametreler olarak da isimlendirilir (Yılmaz, 2005).

3.3. Çalışma Alanında Bulanık Mantık Yöntemi

Yukarıda da açıklandığı çalışma bölgesinde jeoit belirleme için Bulanık Mantık yöntemi seçilmiştir. Bulanık mantık yöntemi daha önce açıklanmıştı. Çalışma bölgesinde Bulanık Mantık metodunun kullanılması amacıyla MATLAB® programı kullanılmış olup, programın bulanık mantık kısmında ANFIS alt modülünde bulanık mantık yöntemine göre çalışılmış ve sonuçlar ise 4. ve 5. bölümlerde açıklanmıştır. Şekil 3.8'de Şanlıurfa iline ait çalışma alanı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Şanlıurfa İli Çalışma Alanı (Surfer, 2013)

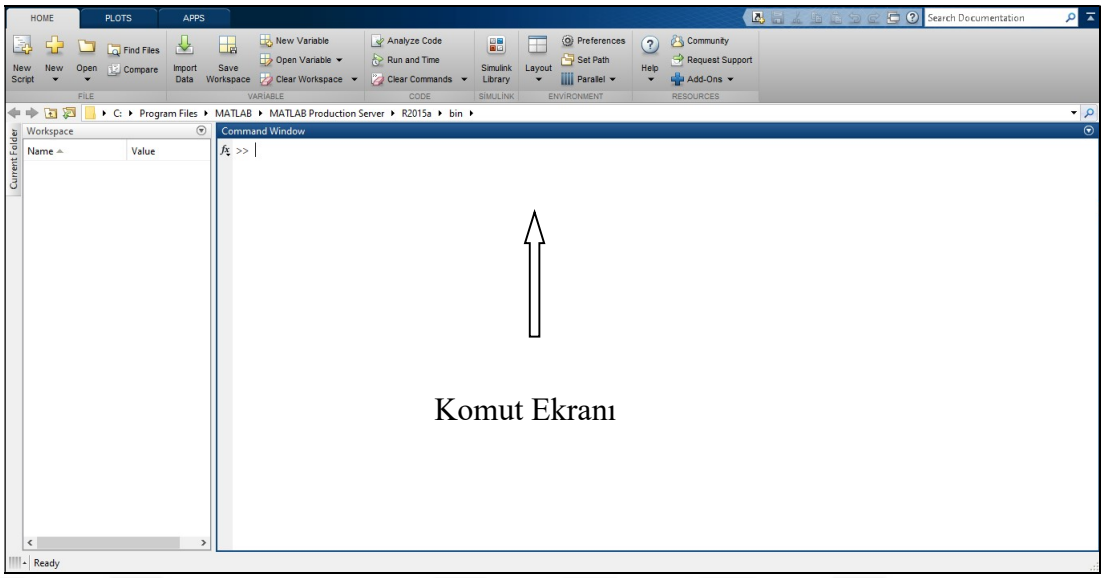
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, bulanık mantık yöntemini uygulamak için MATLAB® programı kullanılmıştır. MATLAB® kelimesi İngilizce "MATrix LABoratuary" kelimelerinin kısaltılması ile oluşmuştur. MATLAB® Sayısal analiz, matris işlemleri, bulanık mantık, algoritma geliştirme, finans, ses ve görüntü kontrol işlemleri, tıbbi araştırma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. MATLAB programı, Cleve Moler tarafından Fortran dilinde yazılmış daha sonra ise Mathworks firması tarafından C ve Java dilleri ile yazılmıştır. MATLAB®'ın kullanım alanları arasında; Üniversiteler, Savunma Sanayi, Hava Elektronik Sanayi (HAVELSAN), Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Merkez Bankası, elektrik, elektronik sanayi, bankacılık gibi birçok alanda kullanımı bulunmaktadır (Uçar Çakmakçı, 2019).

Bu çalışmada, MATLAB R2015a programının Bulanık Mantık kısmı ANFIS parçası kullanılmıştır. Çalışmada MATLAB® programının ve ANFIS editörünün kullanılmasının nedeni ise problemlerin Bulanık Mantık ile çözümlenmesinde iyi sonuçlar vermesi nedeniyle bu program seçilmiştir (Yılmaz, 2005). Ayrıca ANFIS bilinen en iyi sinirsel bulanık sistemlerden biri olup, Takagi- Sugeno bulanık modeli ile geliştirilmiş ve bu sistemin öğrenme algoritması hibrit bir öğrenme işlemleyici olan en küçük kareler geri yayılım algoritması ile belirlendiğinden bu anlamda iyi sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. Burada üyelik fonksiyonlarının parametreleri geri yayılım ile sonuç parametreleri ise en küçük kareler metodu ile belirlenir (Ok, 2010).

4.1. Modelin Genel Yapısı

MATLAB® programının, bulanık mantık modülü altında bulunan ANFIS editörü ve girdi ve çıktılar ile kullanılacak üyelik fonksiyonları ve çalışmanın nasıl yapıldığı aşağıda açıklanacaktır. MATLAB® ara yüzü Şekil 4.1. ile gösterilmiştir.

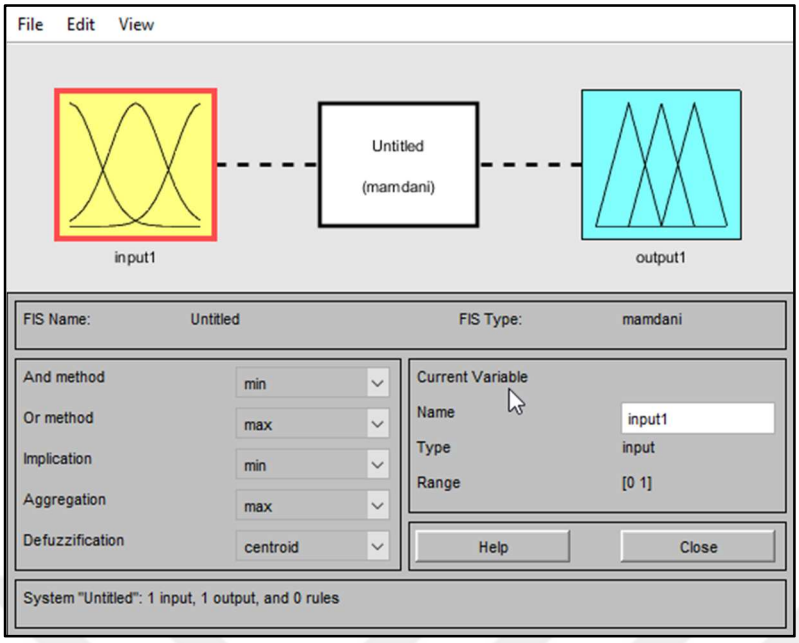


Şekil 4.1. MATLAB R2015a Ekranı (Mathworks, 2015)

Şekil 4.1'de MATLAB ana ekranı görünmektedir. Burada görülen "command window" alanı komut ekranı olup, girilen komutların yazıldığı bölümdür, "workspace" alanı ise çalışma alanıdır ve çalışmadaki parametrelerin ve boyutlarının görüldüğü ve isimlendirildiği bir alandır. "current folder" alanı ise kullanılan klasör alanını ifade etmektedir (Ahat, 2021).

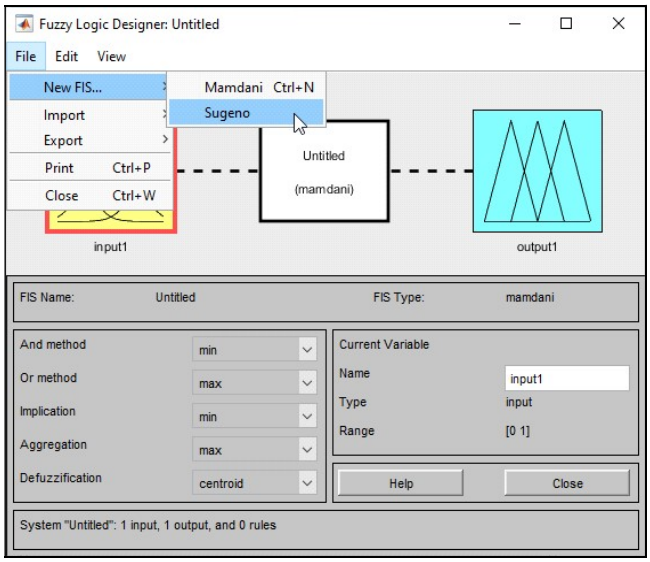
MATLAB Bulanık Mantık araç kutusunda ANFIS editörü ve FIS (Fuzzy Inference System-Bulanık Çıkarım Sistem) editörü yer almaktadır. MATLAB ana ekranında bulunan komut ekranına fuzzy yazılarak FIS editörü açılır (Uçar Çakmakçı, 2019).

Komut ekranına fuzzy yazdıktan sonra FIS editörüne ulaşılır. Şekil 4.2'de FIS editörü görülmektedir.



Şekil 4.2. FIS Editörü Ekranı (Mathworks, 2015)

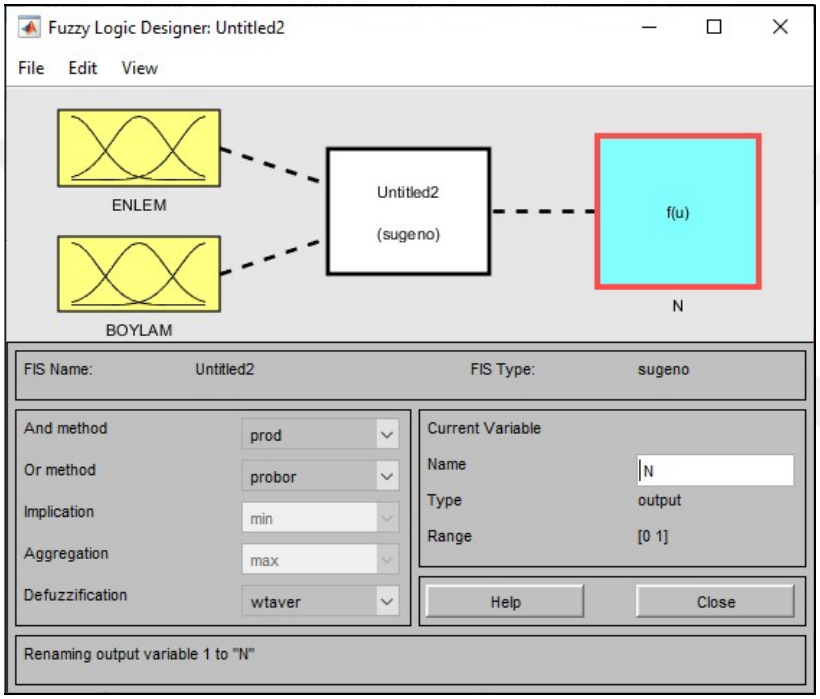
Şekil 4.2.'de FIS editörü gösterilmektedir. MATLAB komut ekranına fuzzy yazıldıktan sonra FIS editörü ekrana gelir. Bu çalışmada Sugeno yöntemi kullanılacağından ilk açılışta ekrana gelen yöntem Mamdani yöntemidir. Bunu değiştirmek için File bölümünden New FIS ve buradan Sugeno yöntemi seçilir. Şekil 4.3. ile gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Sugeno Yöntemi (Mathworks, 2015)

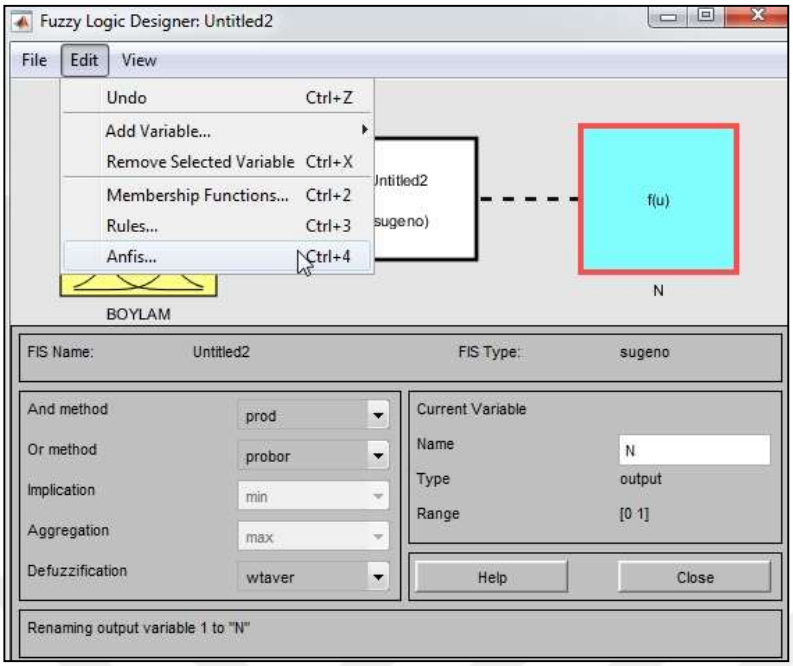
Sugeno yöntemi seçildikten sonra Sugeno ekranı gelir. Çalışmada kullanılan veriler Enlem, Boylam ve Jeoit yüksekliği olan N değerleri olduğundan iki girdi bir çıktı formatında veri girişlerinin yapılması gerekmektedir. Bunun için Edit ekranından Add Variable ve Input seçeneği ile yeni girdi eklenir ve adlandırılır.

Şekil 4.4.'te Sugeno yönteminin girdi ve çıktı verilerinin tanımlandığı görsel verilmiştir.



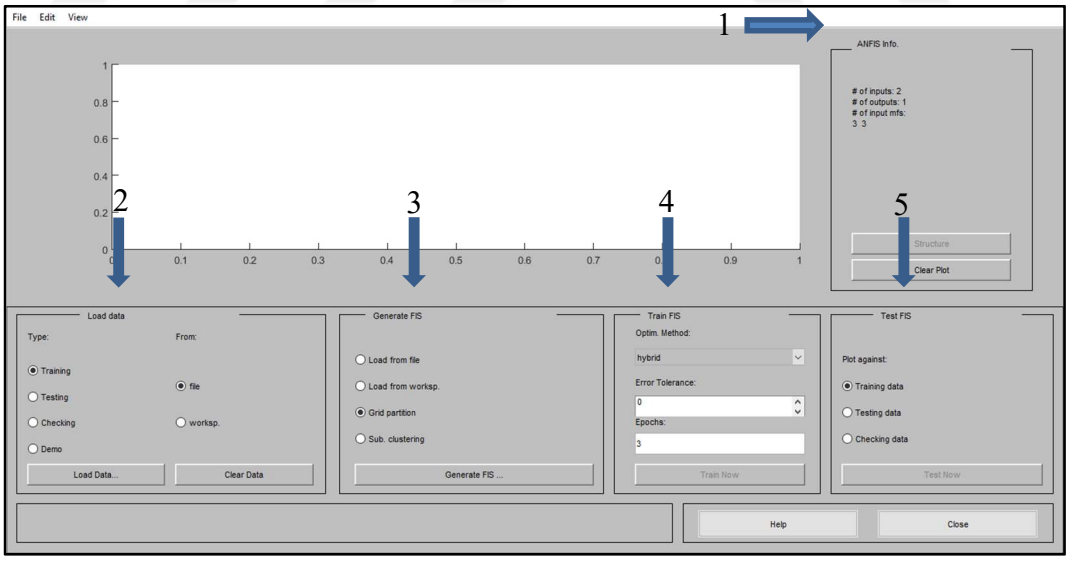
Şekil 4.4. Sugeno Yöntemi Giriş ve Çıkış verileri (Mathworks, 2015)

Bu aşamadan sonra ANFIS editörüne geçilir bunun için komut ekranına anfisedit yazarak ya da aşağıdaki şekilde görüleceği üzere Edit ekranından ANFIS komutu çalıştırılır. Bu durum Şekil 4.5. ile gösterilmiştir.



Şekil 4.5. ANFIS Editörü Girişi (Mathworks, 2015)

Şekil 4.5.'te gösterildiği gibi ANFIS editörü çalıştırılır ve ekrana Şekil 4.6.'da gösterildiği gibi ANFIS editörü ekranı gelir.



Şekil 4.6. ANFIS Editörü (Mathworks, 2015)

Yukarıda ANFIS Arayüz ekranı görülmekte olup GUI (Graphical user Interface-grafiksel kullanıcı arayüzü) olarak da ifade edilmektedir. Burada 1 numaralı okla gösterilen "ANFIS İnfo" bölümünde uygulamaya dahil olan girdi verileri sayısı, çıktı

verileri sayıları ve üyelik fonksiyonlarına ilişkin bilgiler yer alır, 2 numaralı okla gösterilen "Load Data" bölümünde eğitim verileri, test verileri, kontrol verilerinin yüklenmesi yapılmaktadır. 3 numaralı okla gösterilen "Genrate FIS" bölümü modelin yönteminin seçildiği bölümdür. Burada grid bölümleme yöntemi ile model belirleme çalışması yapılmaktadır. Ayrıca dosyadan model eklemekte bu bölümde mümkündür. 4 numaralı okla gösterilen "Train FIS" kısmında "error tolarance" ve "epoch" opsiyonları mevcut olup, ayrıca "Optim.Method" kısmı da bulunmaktadır. “error tolarance" yani hata toleransı ile modelde, hata oranının maksimum değeri belirlenir, "epoch" yani "iterasyon sayısı" ile modelde kaç devir yapılacağı, girilen iterasyon sayısı ile belirlenir (Ahat, 2021).

"Optim.Method" kısmında iki seçenek vardır birincisi backpropagation learning algoritma (yayılmalı öğrenme algoritması) ikincisi ise melez (hybrid) öğrenme algoritması seçilebilir. Bu çalışmada melez yöntem seçilmiştir çünkü bu yöntemde veriler eğitilmeye daha müsaittir (Uçar Çakmakçı, 2019). Melez yöntem; en küçük kareler yöntemi ile yapay sinir ağı bileşiminden oluşur. 5 numaralı okla gösterilen "Test FIS" bölümü ise, eğitim verileri, test verileri ve kontrol verilerinin test edildiği bölümdür (Ahat, 2021).

Eğitim verileri ve test verileri yüklendikten sonra Generate FIS bölümünde modelde uygulanacak üyelik fonksiyonu ve bu fonksiyonun alt küme sayıları INPUT bölümünde seçilir. OUTPUT kısmında ise constant (sabit) veya linear seçeneklerinden biri seçilir (Ahat, 2021).

4.2. Uygulama

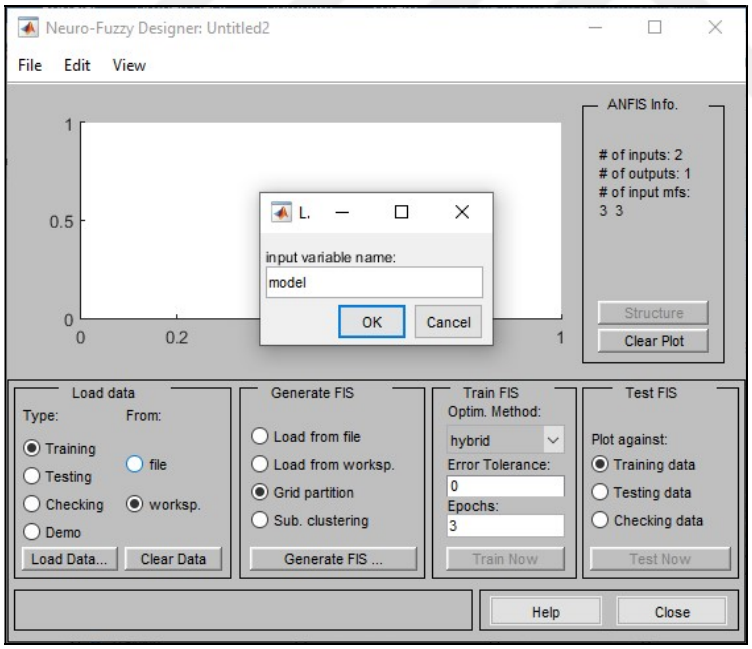
Çalışma bölgesinde üretilen nokta verileri (enlem boylam ve jeoit yükseklikleri) model (eğitim) noktaları ve test noktaları olmak üzere iki kısma ayrılır. Burada bulanık modeli oluşturmak ve oluşturulan bu modeli test etmek amacıyla iki kısma ayrılır. Çalışma kapsamında üretilen 408 adet noktanın 318 adedi model verisi olarak, 90 adedi ise test verisi olarak belirlenmiştir. Test noktaları belirlenirken uygun dağılımlı ve arazide karakteristik noktalar olmasına ve model noktalarından uzak olmalarına

dikkat edilmiştir. Bu veriler Excel ortamından MATLAB Workspace bölümüne aktarılır. Bunun için öncelikle MATLAB komut ekranına model ve test noktalarının verilerinin girilebilmesi için matris şeklinde dosyalar oluşturulmalı ayrıca çıktı verilerinin daha hızlı bir şekilde kaydedilmesi için çıktı dosyası da oluşturulur

Model ve test noktaları oluşturulduktan sonra komut ekranına fuzzy yazılarak FIS editörü açılıp, buradan File kısmından New FIS ile Sugeno yöntemi seçilmiştir.

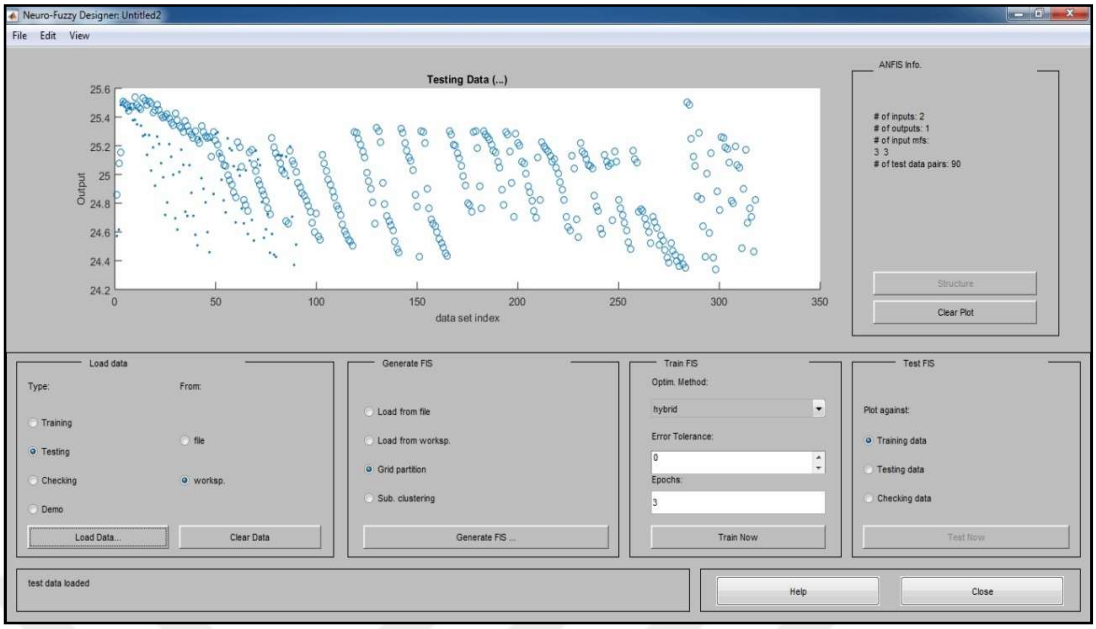
Sugeno yöntemi seçildikten sonra iki girdi bir çıktılı model oluşturmak için Edit bölümünden Add Variable kısmı input seçeneği ile iki girdi, output ile bir çıktı oluşturulur.

Model oluşturulduktan sonra ANFIS arayüz ekranı açılır. Load data bölümünden Traning kısmı ile eğitim (model) verileri, Testing kısmı ile test verileri Workspace'den aktarılır. Bu durum Şekil 4.7. ile gösterilmiştir.



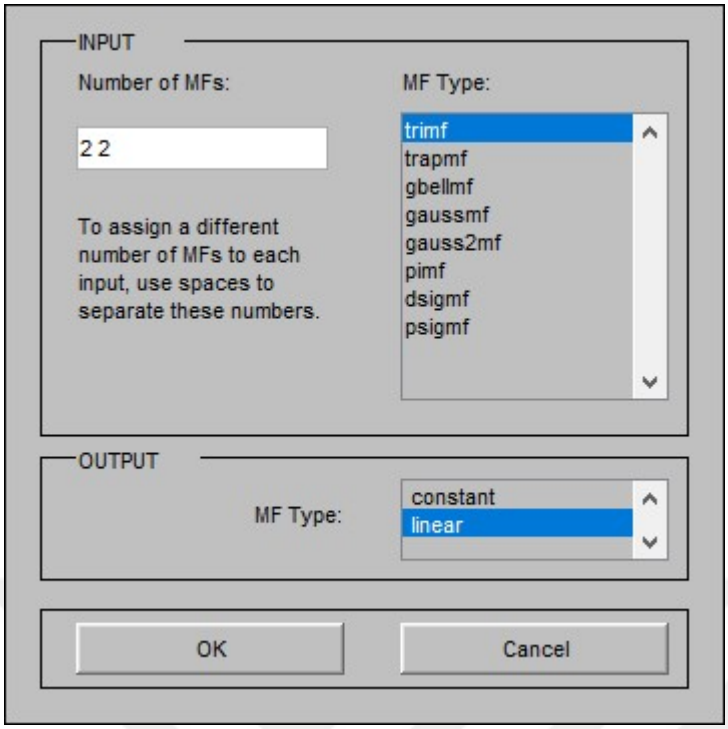
Şekil 4.7. Model Verilerinin Yüklenmesi (Mathworks, 2015)

Model ve test verileri yüklendikten sonra Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi görüntü oluşur.



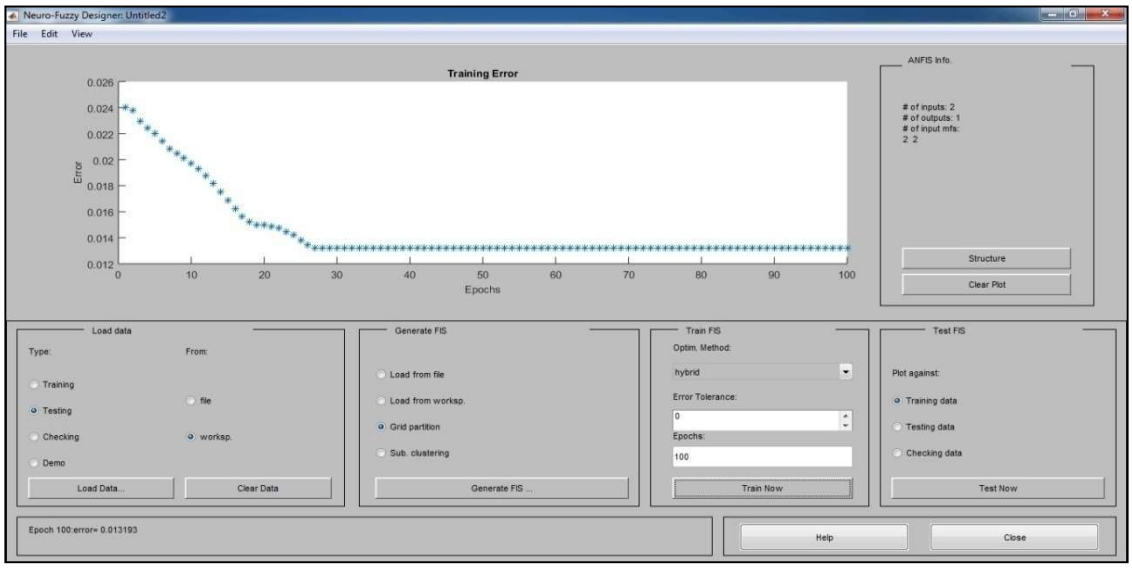
Şekil 4.8. Model ve Test Verilerinin Yüklenmesi (Mathworks, 2015)

Şekil 4.8.'de mavi daire şeklinde gösterilen verilen model verilerini mavi nokta şeklindeki veriler ise test verilerini temsil etmektedir. Bu aşamadan sonra Generate FIS bölümünden üyelik tipi ve bu üyeliğin alt küme sayları belirlenir. Output kısmında constant (sabit) ve linear olmak üzere iki seçenekten linear seçilmiştir. Sugeno yönteminde çıktı değerleri birinci dereceden bir polinom şeklinde ya da sabit bir değerle belirtilir. 1.derece polinomlarla daha iyi sonuçların üretildiği tespit edilmiştir (Yılmaz, 2005). Bu nedenle uygulamada linear seçeneği seçilmiştir. Bu bölümde gösterilen tüm üyelik tiplerinde 2 alt küme sayısından 14 alt küme sayısına kadar hesaplamalar yapılmıştır. Örneğin Şekil 4.9.'da gösterildiği üzere TRIMF üyelik tipinde 2 alt küme sayısından yapılan hesap gösterilmiştir.



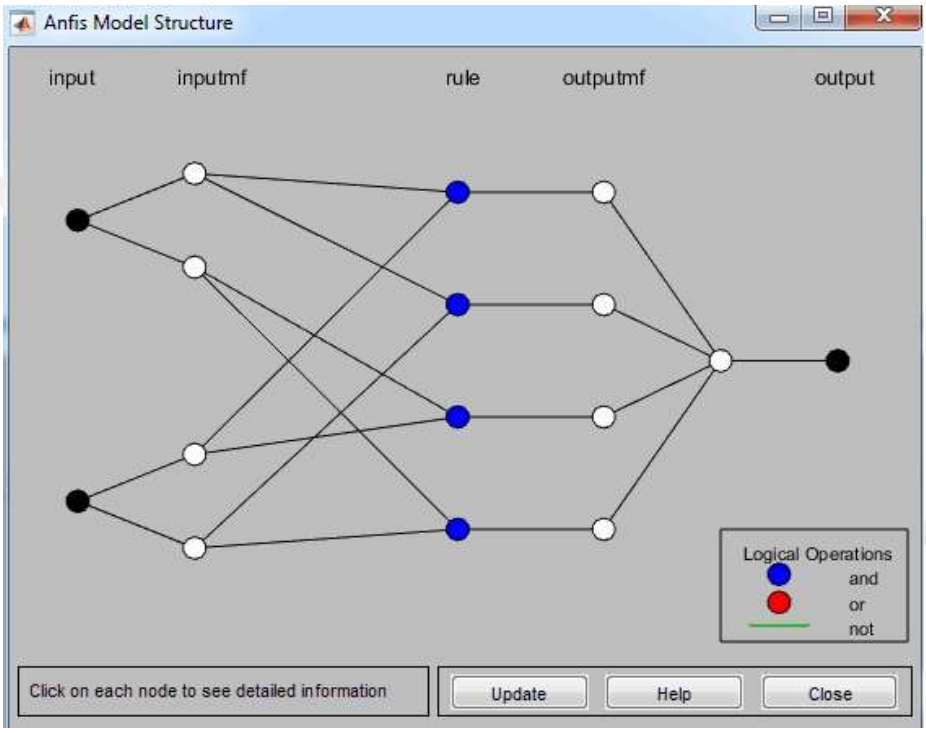
Şekil 4.9. TRIMF Üyelik Tipi 2 Alt Küme (Mathworks, 2015)

Bu şekilde belirleme yapıldıktan sonra Train FIS bölümünde Optm. Method hybrid seçilerek epoch sayısı da 100 seçilerek Train Now seçilmiş ve neticeleri Şekil 4.10.'da verilmiştir.



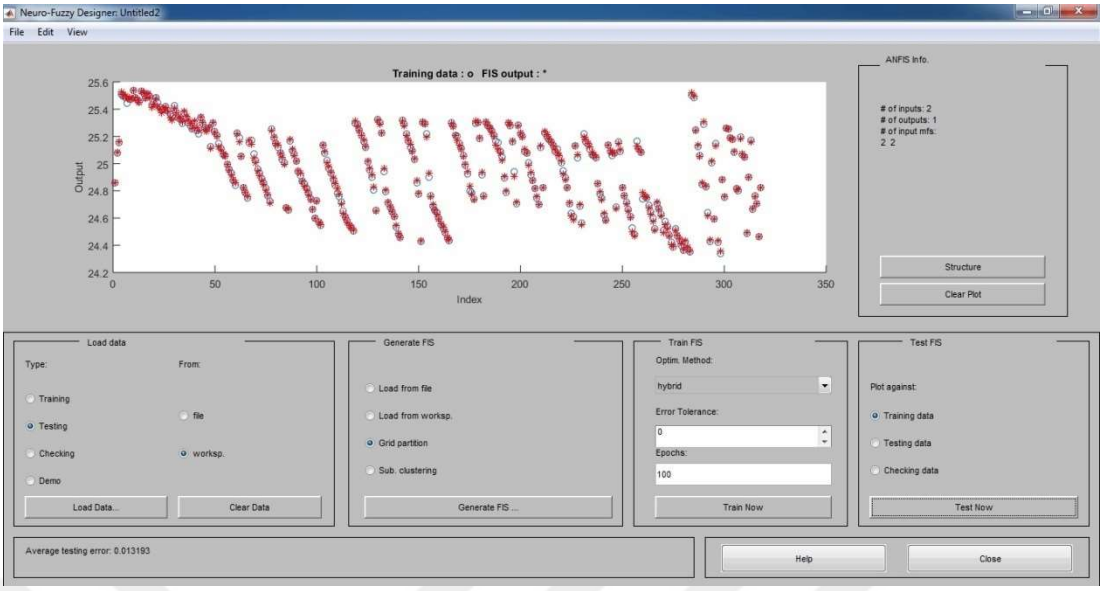
Şekil 4.10. Train FIS ile Elde Edilen Sonuçlar (Mathworks, 2015)

Şekil 4.10.'da görüleceği üzere yaklaşık 30. epoktan sonra değişmez bir sayı olduğu görülmektedir. Değişmez olan bu değere aşırı uyum noktası (overfitting) denilmektedir (Ahat, 2021). Epok 100 olduğunda 0.012193 hata ile model başarılı bir şekilde oluşturulmuştur. Daha sora Test FIS bölümünde bu uygulama test edilmiştir. Bu arada oluşturulan 2 alt kümede grid bölümleme yöntemi ağ yapısı Şekil 4.11.'de verilmiştir.

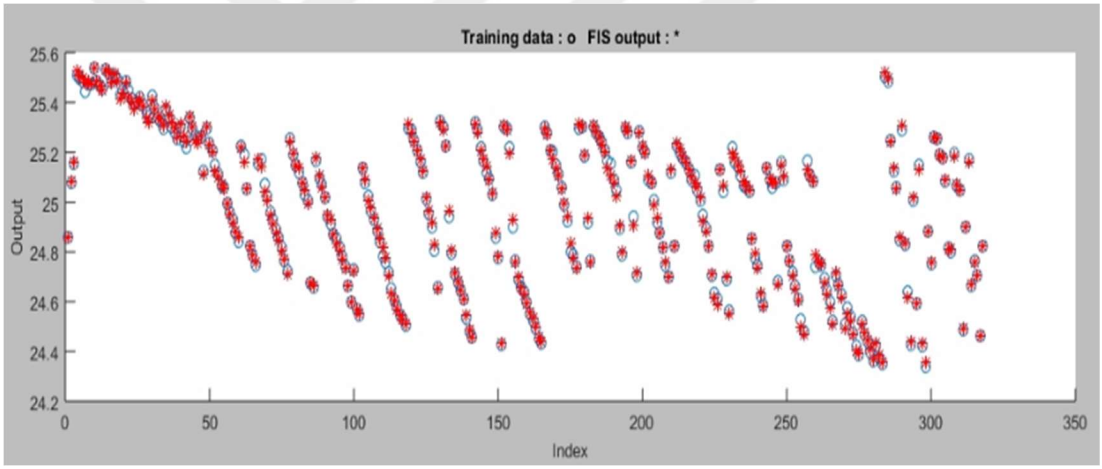


Şekil 4.11. Grid Bölümleme Yöntemi ile Oluşan Ağ Modeli (Mathworks, 2015)

Bu aşamadan sonra Test FIS bölümünden Plot against kısmında bulunan Traning data işaretlenerek model verilerinin gerçek çıktı değerleri ile bulanık model ile oluşan çıktıların uyumluluğu gözlemlenir. Test Now butonuna basılarak Şekil 4.12.'de kırmızı şekil içerisine alınan değer görülür.



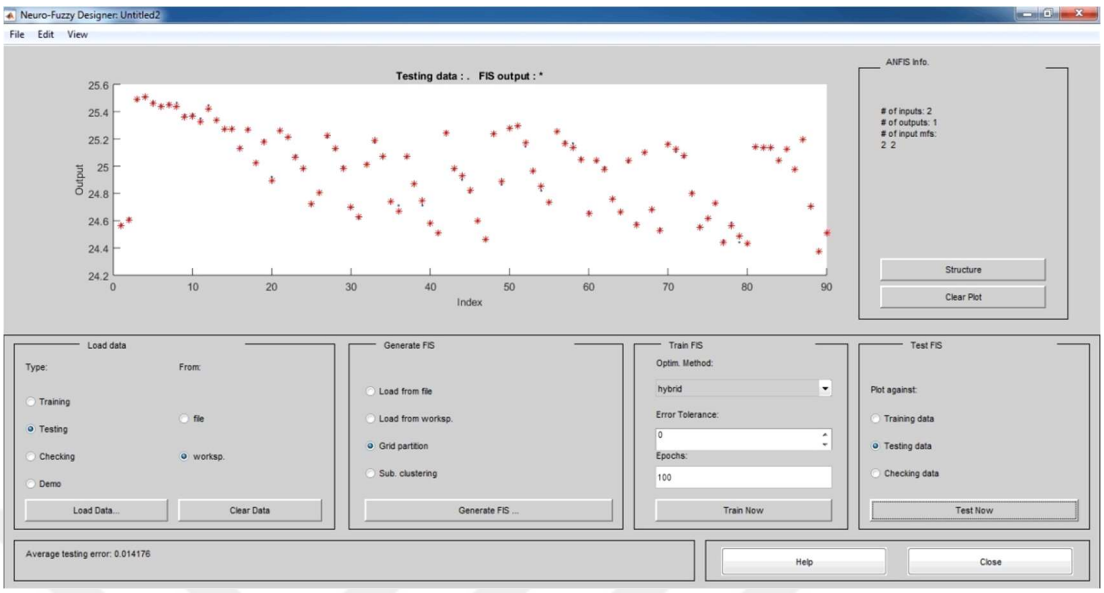
Şekil 4.12. Eğitim Verilerinin Test Edilmesi (Mathworks, 2015)



Şekil 4.13. Gerçek Değerler ile Bulanık Modelin Farkı (Mathworks, 2015)

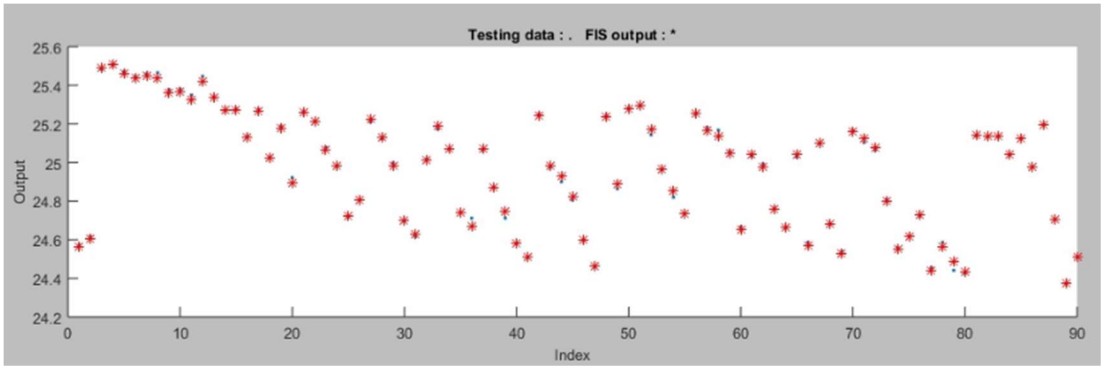
Şekil 4.13.'te görüleceği üzere mavi daire şekilleri eğitim verilerinin gerçek değerlerini, kırmızı yıldız şekilleri ise hesaplanan modelin çıktılarını göstermektedir (Uçar Çakmakçı, 2019).

Daha sonra tekrar Plot aganist kısmından Testing data seçilerek Test Now tuşuna basılır. Sonuç değerin 0.014176 çıktığı görülmüştür. Bu değer kabul edilebilir bir değer olduğundan hedeflenen ağ yapısına ulaşılmış olup, bu değerin büyük çıkması durumunda eğitim aşaması tekrarlanır ve parametreler değiştirilir. 2 alt küme sayısında TRIMF üyelik modelinde test verilerinin hata değeri Şekil 4.14. ile belirtilmiştir.



Şekil 4.14. Test Verilerinin Karesel Ortalama Hata Değeri (Mathworks, 2015)

Şekil 4.14. incelendiğinde test verilerinin gerçek çıktılarının bulanık model ile elde edilen sonuç değerleri ile uyumluluğu gösterilmiştir. Burada hata değeri 0.014176' dır. Şekilde görüleceği üzere mavi noktalar test verilerinin gerçek değerleri, kırmızı yıldız şekilleri ise eğitilmiş model değerlerini ifade eder. Bu durumda Şekil 4.15.' de gösterilmiştir.

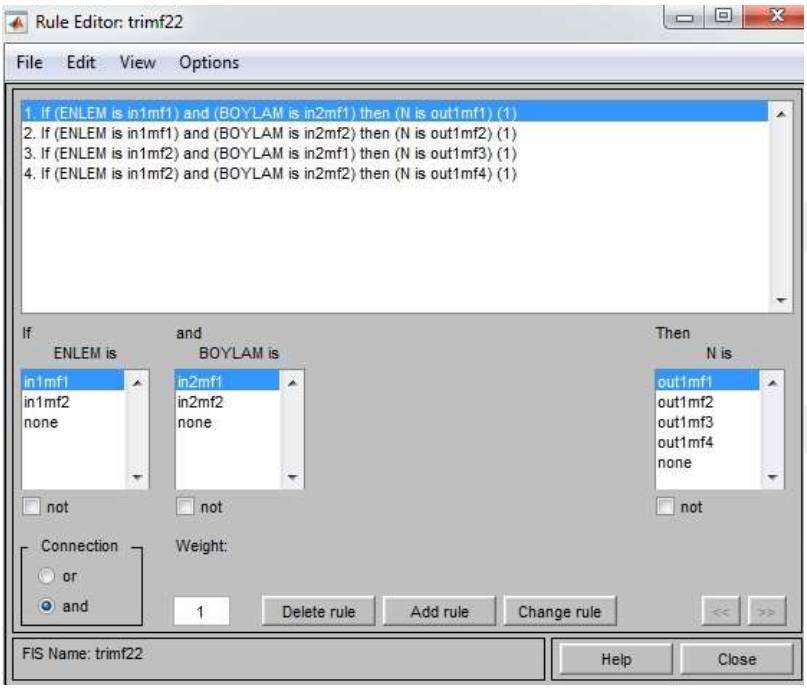


Şekil 4.15. Test Değerleri ile Bulanık Model Değerleri Karşılaştırılması (Mathworks, 2015)

ANFIS kullanıcı ara yüzünde bulunan Edit menüsü ile FIS properties seçeneği ile gelen ekranda girdi ve çıktı verileri isimlendirilir. Modelin kaydı içinde File menüsünden model ismi kaydedilir. Yine ANFIS kullanıcı ara yüzünde Edit menüsü ile Membership Functions seçeneği ile üyelik fonksiyonları isimlendirilir. Daha sonra

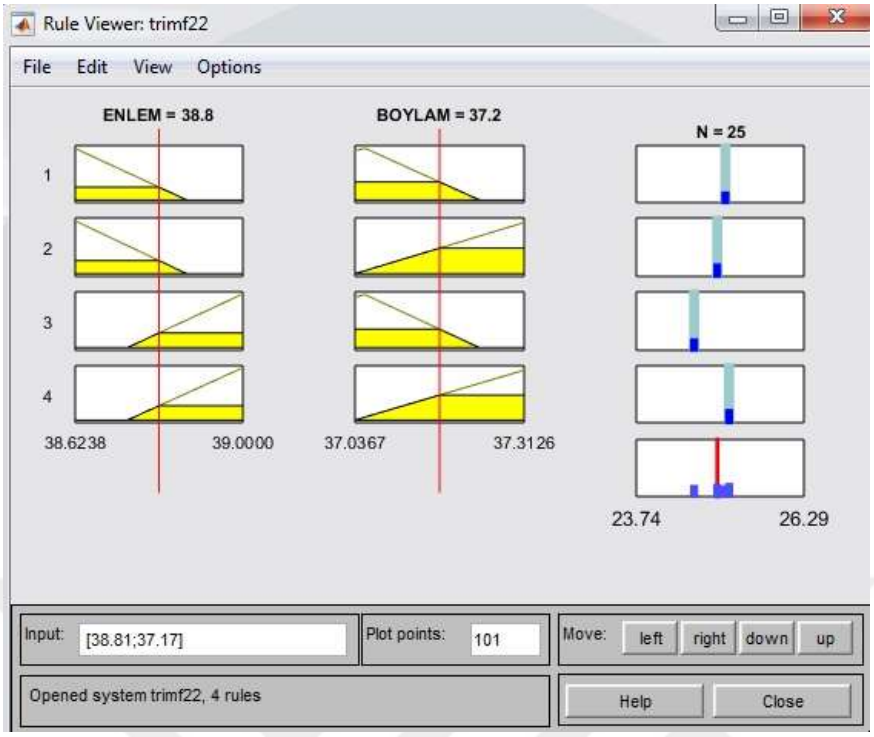
ANFIS kullanıcı ara yüzünde Edit menüsündeki Rules seçeneği ile oluşturulan kurallar irdelenir.

Şekil 4.16'da modelin kural görüntüsü gösterilmektedir. Bu kural değerleri sözel tanımlamalarla anlamlı hale gelip, sözel ifadeler ile bulanık model ifade edilir hale gelmiştir.



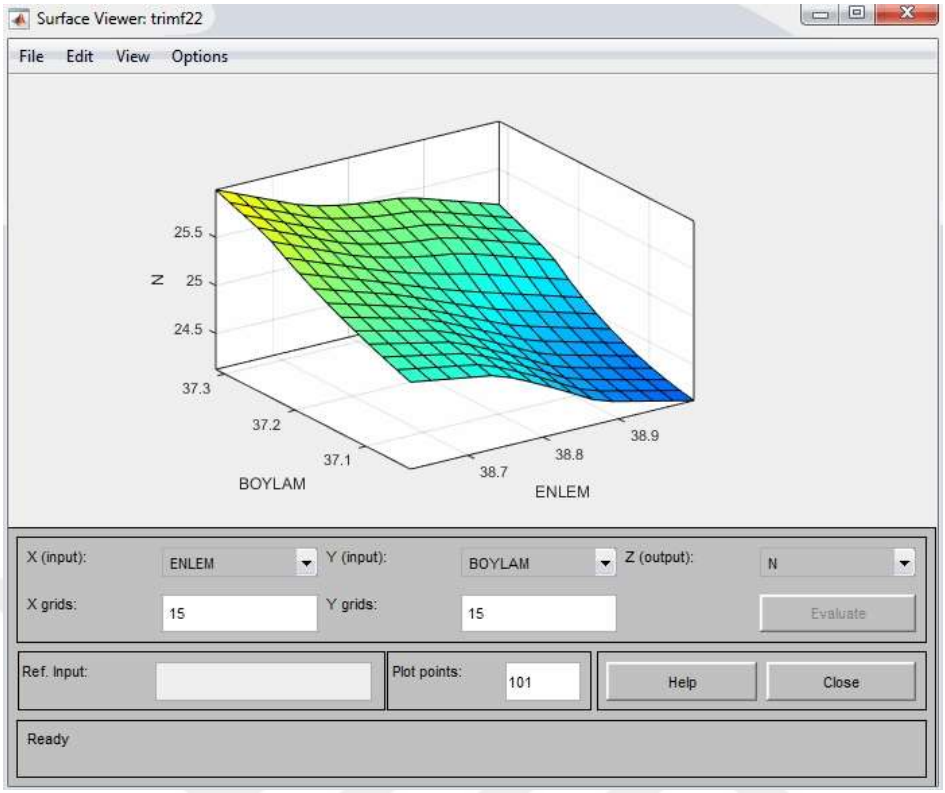
Şekil 4.16. Modelin Kural Görünümü (Mathworks, 2015)

ANFIS ara yüzündeki Wiew menüsünde Rules seçeneğinde girdi ve çıktı değerleri arasındaki grafiksel ilişki gösterilir. Şekil 4.17.'de bu şekil gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Kuralların Grafik Görüntüsü (Mathworks, 2015)

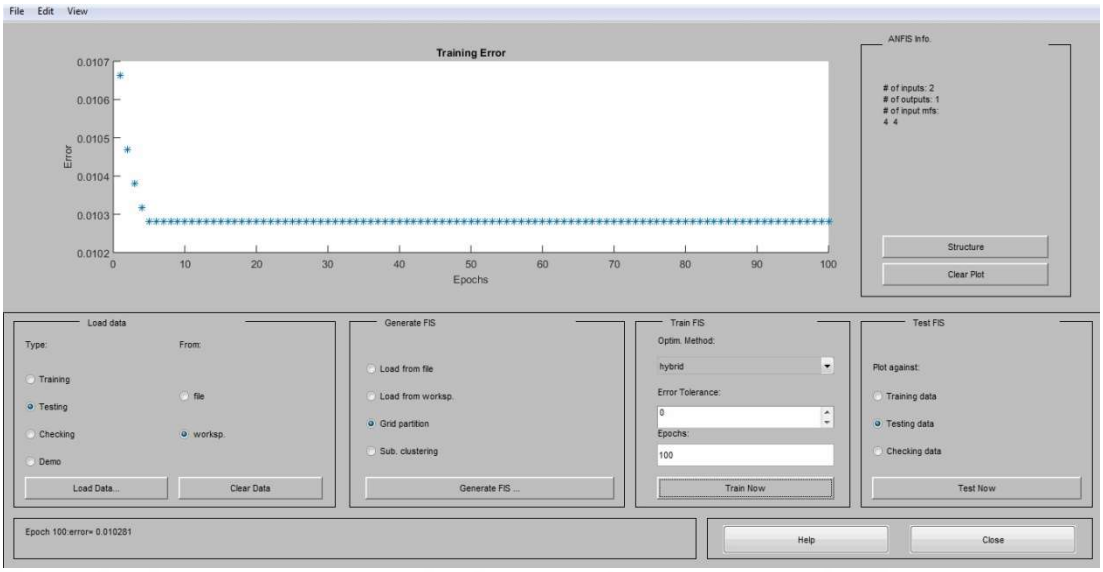
Oluşturulan ANFIS modelinde elde edilen kurallar Şekil 4.16.'da gösterilmiştir. Girdi sayısı 2 olan ANFIS örneğinde birinci dereceden Sugeno fonksiyonuna göre 2^2 =4 tane kural elde edilmiştir. Bu kurallar Şekil 4.16.'da gösterilmiştir. Şekil 4.17.'de görüleceği üzere kırmızıçizgiler hareket ettirilerek farklı girdi değerlerinden çıktı değerleri hesaplanabilir (Ahat, 2021). Bu şekilde girdi değerlerinden çıktı değerlerinin hesaplanması için evalfis (model, input) komut ile kolayca elde edilir. Çalışmada kullanılan toplam 318 adet eğitim ve 90 adet test verisinin olması tek tek sonuçların elde edilmesini zorlaştırdığı için evalfis komutu kullanılmıştır. Evalfis komutunu kullanma için model ve test noktalarının çıktı değerleri olmaksızın 2 girdi şeklinde yüklenmesi gerekmektedir. Ayrıca ANFIS arayüzü Wiew menüsünde Surface seçeneği ile modelin yüzeyi görüntülenebilmektedir. Bu durum Şekil 4.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Hesaplanan Modelin Yüzeyi (Mathworks, 2015)

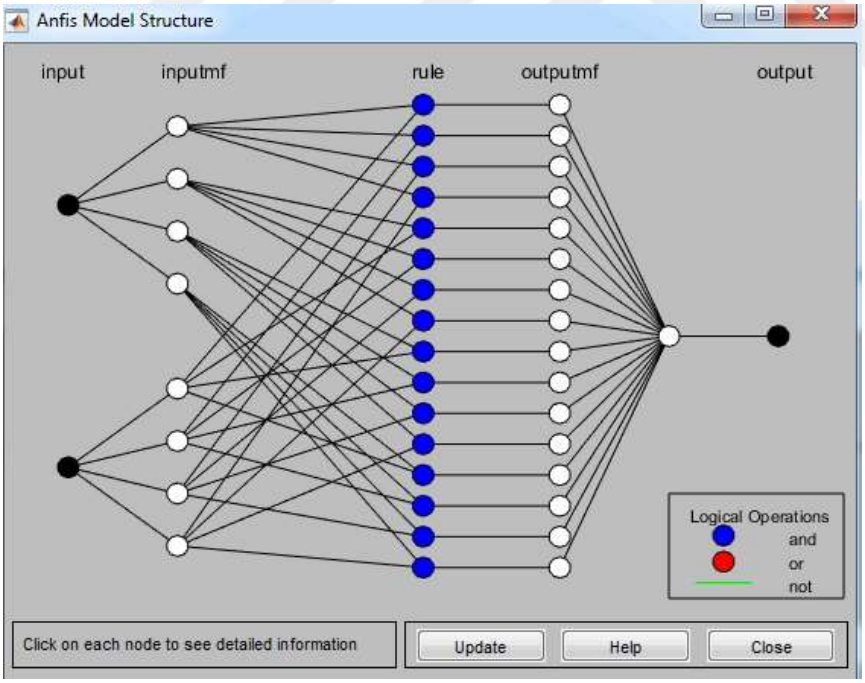
Yapılan çalışma yukarıda da değinildiği gibi tüm üyelik fonksiyonlarında 2 alt küme sayılarından 14 alt küme sayılarına kadar hesaplanmıştır. Ayrıca polinomlarla enterpolasyon yöntemleri ile de yapılan hesaplamalar karşılaştırılmıştır. Polinomlarla yapılan incelemede ticari bir yazılım olan Geodezik Yazılımlar 1.0 programı kullanılmış ve yapılan hesaplamalardan elde edilen en iyi modeldeki sonuçlar bulanık mantık ile elde edilen en iyi sonuçlarla kıyaslama ilerleyen aşamalarda gösterilecektir. Ayrıca aşağıdaki şekillerde bazı üyelik fonksiyonlarında bulunan sonuçlar gösterilmiştir.

Aşağıdaki Şekil 4.19.'da GAUSS üyelik fonksiyonunda 4 alt küme kullanılarak elde edilen sonuçlara ait değerler gösterilmektedir.



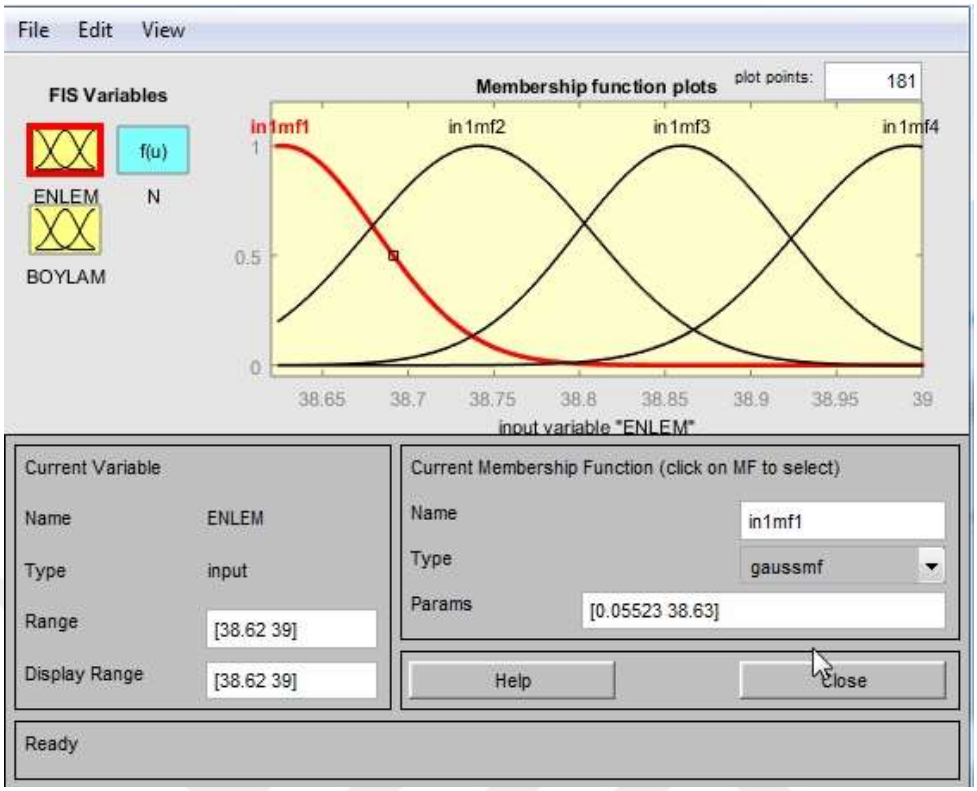
Şekil 4.19. GAUSS Üyelik Fonksiyonu 4 Alt Küme (Mathworks, 2015)

Şekil 4.20.'de GAUSS üyelik fonksiyonunda 4 alt kümede oluşturulan modelin ağ yapısı gösterilmiştir.



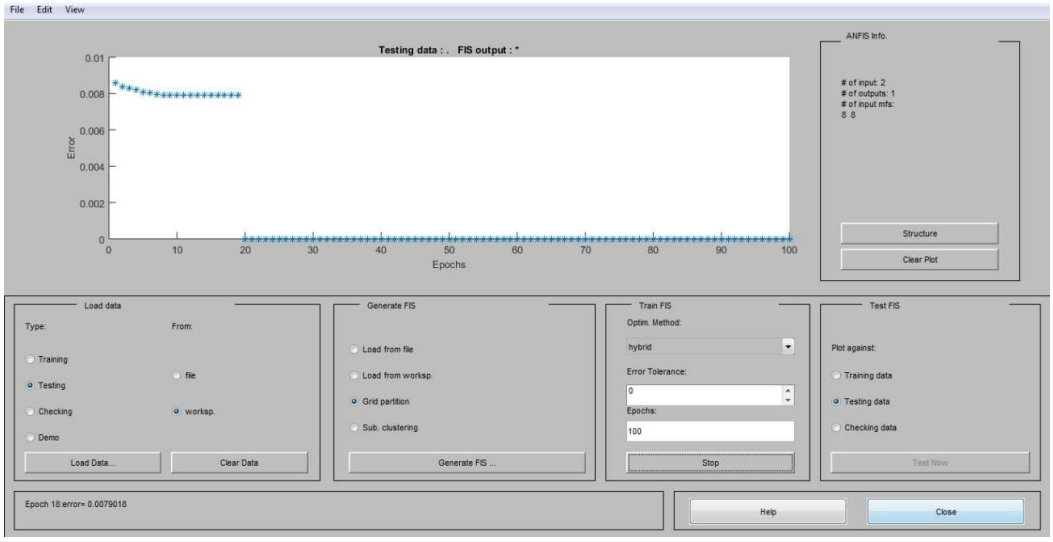
Şekil 4.20. GAUSS Üyelik Fonksiyonu 4 Alt Küme Yapısı (Mathworks, 2015)

Aşağıdaki Şekil 4.21.'de ise 4 alt küme sayısında üyelik fonksiyonlarının şekilleri gösterilmiştir.

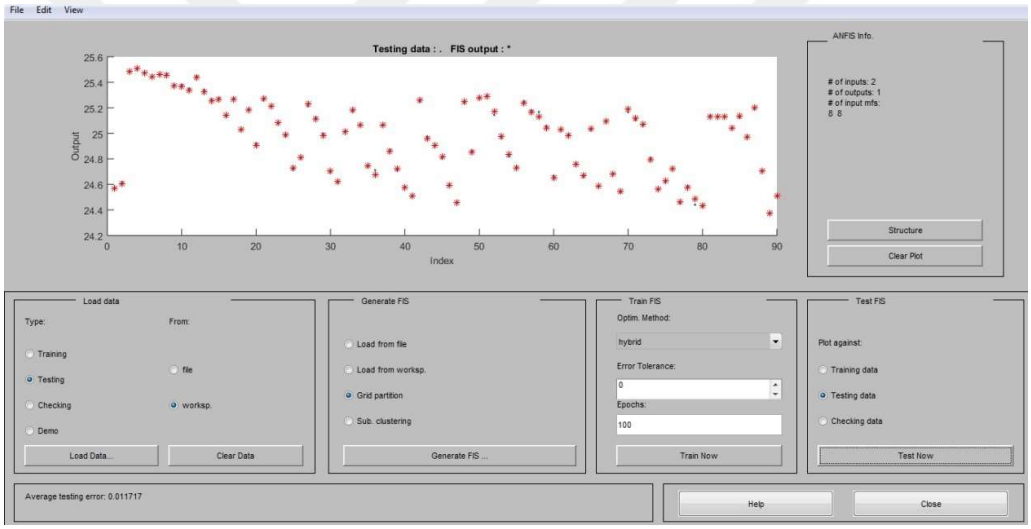


Şekil 4.21. GAUSSMF Üyelik Fonksiyonları (Mathworks, 2015)

Şekil 4.22.'de GAUSS üyelik fonksiyonunda 8 alt kümede model noktalarının hesabı gösterilmiş olup görüleceği üzere model (eğitim) noktalarında; yaklaşık 10. çevirim noktası aşırı uyum noktası olup, 10. çevrimden sonra karesel ortalama hata değeri 0.0079018 de sabit kalmaktadır. Test değerlerindeki sonuç ise aşağıda Şekil 4.23.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. GAUSSMF 8 Alt Kümeli Model Noktaları Hesabı (MathWorks, 2015)



Şekil 4.23. GAUSSMF 8 Üyelik Fonksiyonu Test Noktaları Hesabı (Mathworks, 2015)

Yukarıdaki şekilde görüleceği üzere test noktalarında karesel ortalama hata değeri 0.011717 olmaktadır.

Çizelge 4.1.'de TRIMF üyelik modelinde hesaplanan değerlerin sonuçları metre biriminde karesel ortalama hataları (K.O.H.) gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. TRIMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları

ALT KÜME SAYISI	MODEL NOKTALARI K.O.H. (m)	TEST NOKTALARI K.O.H. (m)
2	0.011927	0.014277
3	0.011409	0.014804
4	0.009417	0.013363
5	0.009115	0.012731
6	0.008752	0.012503
7	0.008030	0.012616
8	0.007551	0.012433
9	0.006640	0.013321
10	0.006523	0.015611
11	0.006202	0.014857
12	0.006008	0.014477
13	0.005121	0.048825
14	0.004830	0.023428

Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi TRIMF (üçgen) üyelik fonksiyonu ile alt küme sayısı 2 den 14'e kadar hesaplamalar yapılmış ve karesel ortalama hatalar model noktalarında ±0.004830m ila ±0.011927m aralığında değiştiği görülmektedir. Alt küme sayısı arttıkça karesel ortalama hatanın düştüğü ayrıca minimum ve maksimum hata değerlerinin de düştüğü görülmektedir. Test verilerindeki durum ise; karesel ortalama hataların ±0.012433m ila ±0.048825m aralığında değiştiği görülmektedir. Test noktalarında alt küme sayısı 9'dan sonra karesel ortalama hata, minimum ve maksimum hata değerlerinin büyük oranda arttığı görülmüştür. Özellikle alt küme sayısı 12'ten sonra karesel ortalama hata ve minimum ve maksimum hata değerlerinde büyük farklar gözlemlendiğinden alt kümese sayısı 13'ten sonra model oluşturulmaması gerekmektedir. Bu üyelik fonksiyonu için en iyi modelin 8 alt kümede oluştuğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2.'de TRAPMF üyelik modelinde hesaplanan değerlerin sonuçları metre biriminde gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. TRAPMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları

ALT KÜME SAYISI	MODEL NOKTALARI K.O.H. (m)	TEST NOKTALARI K.O.H. (m)
2	0.013327	0.015216
3	0.017035	0.018014
4	0.010670	0.013401
5	0.009922	0.012721
6	0.009774	0.014473
7	0.009560	0.013080
8	0.007960	0.012464
9	0.008538	0.136159
10	0.007273	0.013501
11	0.007599	0.039567
12	0.007168	0.569621
13	0.005965	0.016446
14	0.005590	0.284868

Çizelge 4.2.'de görüldüğü gibi TRAPMF (yamuk) üyelik fonksiyonu ile alt küme sayısı 2 den 14'e kadar hesaplamalar yapılmış ve karesel ortalama hatalar model noktalarında ±0.005590m ila ±0.017035m aralığında değiştiği görülmektedir. Model noktalarında alt küme sayısı arttıkça karesel ortalama hatanın düştüğü ayrıca minimum ve maksimum hata değerlerinin de düştüğü görülmektedir. Test verilerindeki durum ise; karesel ortalama hataların ±0.012464 m ila ±0.569621m aralığında değiştiği görülmektedir. Test noktalarında alt küme sayısı 9'dan sonra karesel ortalama hata, minimum ve maksimum hata değerlerinin büyük oranda arttığı görülmüştür. Bu üyelik fonksiyonu için 8 alt kümeden sonra model oluşturulmamalıdır. Bu üyelik fonksiyonu için en iyi modelin 8 alt kümede oluştuğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3.'te GBELMF üyelik modelinde hesaplanan değerlerin sonuçları metre biriminde gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. GBELMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları

ALT KÜME SAYISI	MODEL NOKTALARI K.O.H. (m)	TEST NOKTALARI K.O.H. (m)
2	0.014225	0.015845
3	0.011324	0.012844
4	0.010159	0.012731
5	0.009664	0.012221
6	0.009372	0.012918
7	0.008720	0.012834
8	0.007916	0.011963
9	0.007295	0.013500
10	0.006855	0.014158
11	0.006180	0.019667
12	0.005945	0.016491
13	0.004625	0.015580
14	0.004583	0.027062

Çizelge 4.3.'te görüldüğü gibi GBELMF (çan şekilli) üyelik fonksiyonu ile alt küme sayısı 2 den 14'e kadar hesaplamalar yapılmış ve karesel ortalama hatalar model noktalarında ±0.004583m ila ±0.014225m aralığında değiştiği görülmektedir. Model noktalarında alt küme sayısı arttıkça karesel ortalama hatanın düştüğü ayrıca minimum ve maksimum hata değerlerinin de düştüğü görülmektedir. Test verilerindeki durum ise; karesel ortalama hataların ±0.011963m ila ±0.027062m aralığında değiştiği görülmektedir. Test noktalarında alt küme sayısı 9'dan sonra karesel ortalama hata, minimum ve maksimum hata değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu üyelik fonksiyonu için en iyi modelin 8 alt kümede oluştuğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.4.'te GAUSSMF üyelik modelinde hesaplanan değerlerin sonuçları metre biriminde gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. GAUSSMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları

ALT KÜME SAYISI	MODEL NOKTALARI K.O.H. (m)	TEST NOKTALARI K.O.H. (m)
2	0.014140	0.015776
3	0.011228	0.012618
4	0.011201	0.013859
5	0.009568	0.012508
6	0.009331	0.012277
7	0.009019	0.012096
8	0.007917	0.011779
9	0.007724	0.012991
10	0.007284	0.012852
11	0.006236	0.013342
12	0.006429	0.015101
13	0.005224	0.020230
14	0.005094	0.040148

Çizelge 4.4.'te görüldüğü gibi GAUSSMF (tam simetrik) üyelik fonksiyonu ile alt küme sayısı 2 den 14'e kadar hesaplamalar yapılmış ve karesel ortalama hatalar model noktalarında ±0.005094m ila ±0.014140m aralığında değiştiği görülmektedir. Model noktalarında alt küme sayısı arttıkça karesel ortalama hatanın düştüğü ayrıca minimum ve maksimum hata değerlerinin de düştüğü görülmektedir. Test verilerindeki durum ise; karesel ortalama hataların ±0.011779m ila ±0.040148m aralığında değiştiği görülmektedir. Test noktalarında alt küme sayısı 8'den sonra minimum ve maksimum hata değerlerinin attığı ancak altküme sayısı 14'ten sonra büyük bir sıçrama olduğu görülmüştür. Bu üyelik fonksiyonu için en iyi modelin 8 alt küme ile oluşan model olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.5.'de GAUSS2MF üyelik modelinde hesaplanan değerlerin sonuçları metre biriminde gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. GAUSS2MF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçlar

ALT KÜME SAYISI	MODEL NOKTALARI K.O.H. (m)	TEST NOKTALARI K.O.H. (m)
2	0.014228	0.015765
3	0.011027	0.012338
4	0.010327	0.012637
5	0.009913	0.012614
6	0.009334	0.012832
7	0.009103	0.013102
8	0.008099	0.011996
9	0.007872	0.013384
10	0.007364	0.014091
11	0.006884	0.070060
12	0.006293	0.015587
13	0.004857	0.039170
14	0.005696	0.052188

Çizelge 4.5.'de görüldüğü gibi gauss2mf üyelik fonksiyonu ile alt küme sayısı 2 den 14'e kadar hesaplamalar yapılmış ve karesel ortalama hatalar model noktalarında ±0.004857m ila ±0.014228 m aralığında değiştiği görülmektedir. Model noktalarında alt küme sayısı arttıkça karesel ortalama hatanın düştüğü ayrıca minimum ve maksimum hata değerlerinin de düştüğü görülmektedir. Test verilerindeki durum ise; karesel ortalama hataların ±0.011996m ila ±0.070060m aralığında değiştiği görülmektedir. Test noktalarında alt küme sayısı 8'den sonra karesel ortalama hata, minimum ve maksimum hata değerlerinin attığı ancak altküme sayısı 10'dan sonra sıçrama olduğu görülmüştür. Model noktalarında alt küme sayısı arttıkça karesel ortalama hatanın azalması bunun yanında test noktalarında alt küme sayısı arttıkça karesel ortalama hatanın artmasının nedeni çıktı fonksiyon tipinin lineer alınmasından dolayı lineer parametre sayılarının artmasından kaynaklandığına bağlanabilir. Bu üyelik fonksiyonu için en iyi modelin 8 alt küme ile oluşan model olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6.'da PIMF üyelik modelinde hesaplanan değerlerin sonuçları metre biriminde gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. PIMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları

ALT KÜME SAYISI	MODEL NOKTALARI K.O.H. (m)	TEST NOKTALARI K.O.H. (m)
2	0.013223	0.014888
3	0.010711	0.012340
4	0.010126	0.011933
5	0.010428	0.012852
6	0.009937	0.014691
7	0.008924	0.013158
8	0.008692	0.013322
9	0.008579	0.012983
10	0.007311	0.014513
11	0.007835	0.016874
12	0.006154	0.016649
13	0.005987	0.024062
14	0.005210	0.097854

Çizelge 4.6.'da belirtildiği gibi PIMF üyelik fonksiyonu ile alt kümeleri 2 den 14'e kadar hesaplamalar yapılmış ve karesel ortalama hatalar model noktalarında ±0.005210m ila ±0.013223m aralığında değiştiği görülmektedir. Model noktalarında alt küme sayısı arttıkça karesel ortalama hatanın düştüğü ayrıca minimum ve maksimum hata değerlerinin de düştüğü görülmektedir. Test verilerindeki durum ise; karesel ortalama hataların ±0.011933m ila ± 0.097854m aralığında değiştiği görülmektedir. Bu üyelik fonksiyonu için minimum ve maksimum hata değerlerinin de göz önüne alındığında en iyi modelin 8 alt küme ile oluşan model olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.7.'de DSIGMF (sigmoidal-tam simetrik) üyelik modelinde hesaplanan değerlerin sonuçları metre biriminde gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. DSIGMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları

ALT KÜME SAYISI	MODEL NOKTALARI K.O.H. (m)	TEST NOKTALARI K.O.H. (m)
2	0.013785	0.015162
3	0.011718	0.013685
4	0.010391	0.012210
5	0.009514	0.012842
6	0.009234	0.012057
7	0.008975	0.013078
8	0.008061	0.012236
9	0.007577	0.013892
10	0.007026	0.013413
11	0.007080	0.015588
12	0.006445	0.015317
13	0.005347	0.018133
14	0.004888	0.031171

Çizelge 4.7.'de görüldüğü gibi DSIGMF (sigmoidal-tam simetrik) üyelik fonksiyonu ile alt küme sayısı 2 den 14'e kadar hesaplamalar yapılmış ve karesel ortalama hatalar model noktalarında ±0.004888m ila ±0.013785m aralığında değiştiği görülmektedir. Model noktalarında alt küme sayısı arttıkça karesel ortalama hatanın düştüğü ayrıca minimum ve maksimum hata değerlerinin de düştüğü görülmektedir. Test verilerindeki durum ise; karesel ortalama hataların ±0.012057m ila ± 0.031171m aralığında değiştiği görülmektedir. Alt küme sayısı 14'ten sonra hata değerleri arttığından model oluştururken alt küme sayılarının 14'e kadar alınarak model oluşturulması gerektiği anlaşılmıştır. Bu üyelik fonksiyonu için minimum ve maksimum hata değerlerinin de değerlendirilerek en iyi modelin 8 alt küme ile oluşan model olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.8.'de PSIGMF üyelik modelinde hesaplanan değerlerin sonuçları metre biriminde gösterilmektedir.

Çizelge 4.8. PSIGMF Üyelik Fonksiyonu ile Yapılan Hesaplama Sonuçları

ALT KÜME SAYISI	MODEL NOKTALARI K.O.H. (m)	TEST NOKTALARI K.O.H. (m)
2	0.013785	0.015162
3	0.011718	0.013685
4	0.010391	0.012211
5	0.009513	0.012842
6	0.009233	0.012057
7	0.008975	0.013078
8	0.008061	0.012236
9	0.007574	0.013892
10	0.007024	0.013410
11	0.007081	0.015592
12	0.006446	0.015313
13	0.005346	0.018140
14	0.004885	0.031166

Çizelge 4.8.'de görüldüğü gibi PSIGMF üyelik fonksiyonu ile alt küme sayısı 2 den 14'e kadar hesaplamalar yapılmış ve karesel ortalama hatalar model noktalarında ±0.004885m ila ±0.013785m aralığında değiştiği görülmektedir. Model noktalarında alt küme sayısı arttıkça karesel ortalama hatanın düştüğü ayrıca minimum ve maksimum hata değerlerinin de düştüğü görülmektedir. Test verilerindeki durum ise; karesel ortalama hataların ±0.012057m ila ± 0.031166m aralığında değiştiği görülmektedir. Alt küme sayısı 14'ten sonra hata değerleri arttığından model oluştururken alt küme sayılarının 14'e kadar alınarak model oluşturulması gerektiği anlaşılmıştır. Bu üyelik fonksiyonu için minimum ve maksimum hata değerlerinin de değerlendirilerek en iyi modelin 8 alt küme ile oluşan model olduğu gözlemlenmiştir.

Yukarıda açıklandığı üzere Bulanık Mantık ile oluşturulan modelde en güvenilir modellerin 8 alt kümelerden oluşan modellerin verdiği görülmüştür. Bu bağlamda aşağıda çizelge 4.9.'da gösterilen 8 alt kümeli modellerden en uygunu çalışma bölgesi için seçilir.

Çizelge 4.9. Tüm Üyelik Fonksiyonlarının 8 Alt Kümeli Model Sonuçları

ALT KÜME SAYISI	ÜYELİK ADI	MODEL NOKTALARI K.O.H. (m)	TEST NOKTALARI K.O.H. (m)
8	TRIMF	0.007551	0.012433
8	TRAPMF	0.007960	0.012464
8	GBELMF	0.007916	0.011963
8	GAUSSMF	0.007917	0.011779
8	GAUSS2MF	0.008099	0.011996
8	PIMF	0.008692	0.013322
8	DSIGMF	0.008061	0.012236
8	PSIGMF	0.008061	0.012236

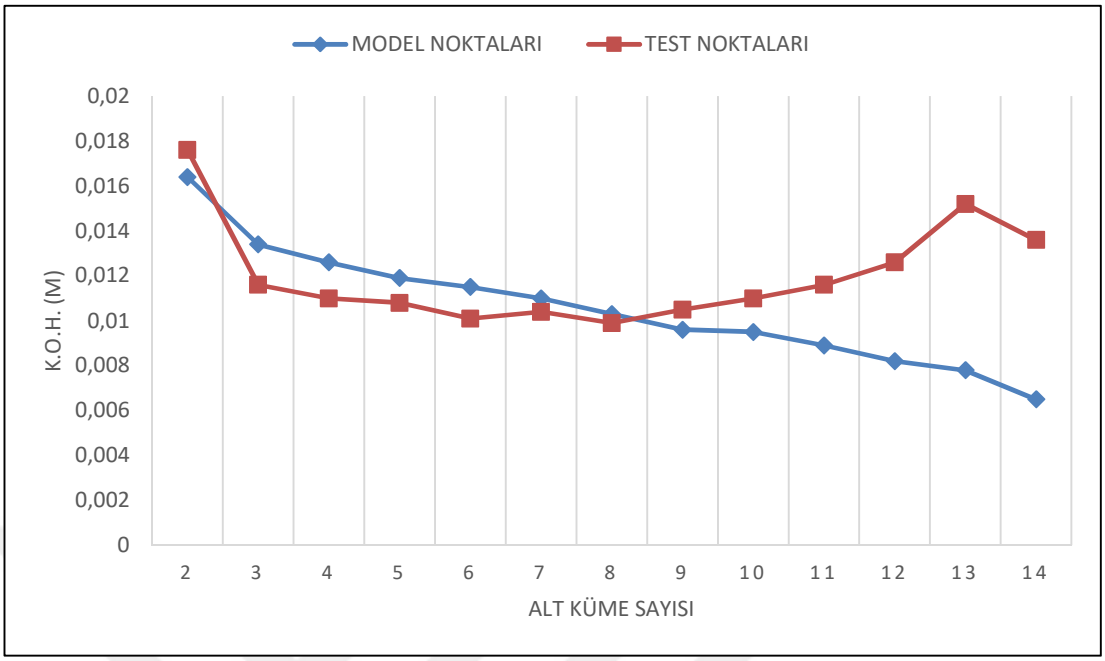
Burada görüleceği üzere en uygun ve güvenilir yöntemin minimum ve maksimum hata değerlerinin de değerlendirilmesiyle birlikte sekiz alt küme (8x8) sayısında oluşturulan GAUSSMF modeli olduğu tespit edilmiştir.

Yöntemin uygunluğunun farklı noktalarla test edilmesi amacıyla test noktaları sayısı azaltılıp model nokta sayısı arttırılarak ve test noktaları ve model noktaları seçiminin tekrar yapılarak oluşturulan model ile GAUSSMF üyelik fonksiyonunda 2 alt kümeden 14 alt kümeye kadar tekrar hesaplanmıştır. Çizelge 4.10. ile bu durum belirtilmiştir.

Çizelge 4.10. Yeni Model ile Yapılan GAUSSMF Sonuçları

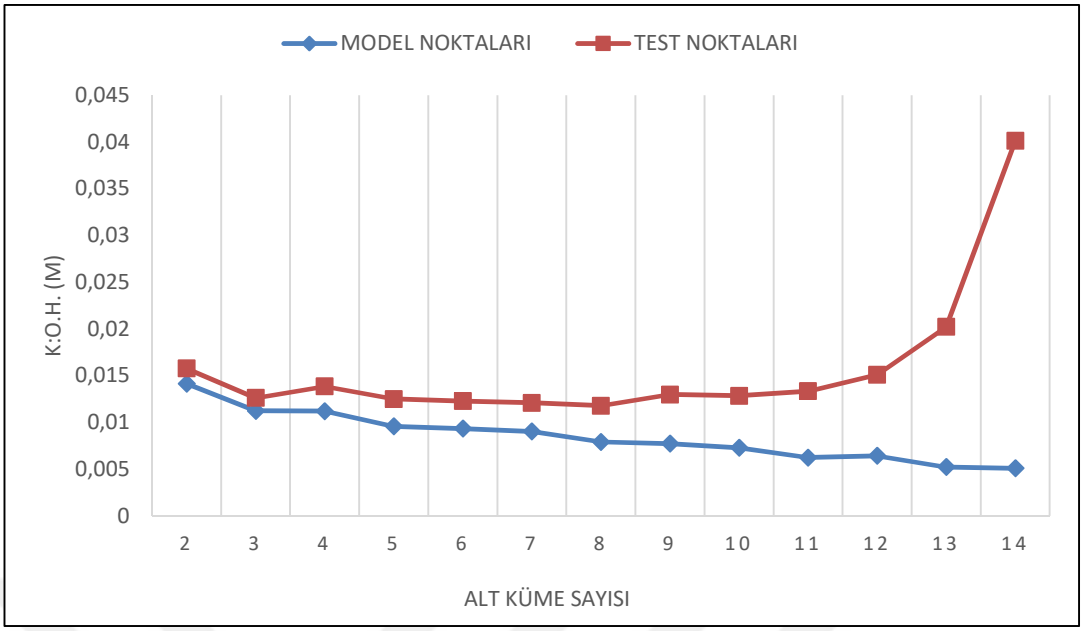
ALT KÜME SAYISI	MODEL NOKTALARI K.O.H. (m)	TEST NOKTALARI K.O.H. (m)
2	0.01640	0.01760
3	0.01340	0.01160
4	0.01260	0.01100
5	0.01190	0.01080
6	0.01150	0.01010
7	0.01100	0.01040
8	0.01030	0.00990
9	0.00960	0.01050
10	0.00950	0.01100
11	0.00890	0.01160
12	0.00820	0.01260
13	0.00780	0.01520
14	0.00650	0.01360

Aşağıdaki Şekil 4.24.'te GAUSSMF yönteminin 50 test noktasında yapılan hesaplamalara ilişkin değişim grafiği gösterilmiştir. Burada Karesel ortalama hata (K.O.H.) ile alt küme sayılarındaki değişim gösterilmiştir.



Şekil 4.24. 50 Nokta ile Yapılan GAUSSMF Üyelik Fonksiyonunun K.O.H. Gösterimi

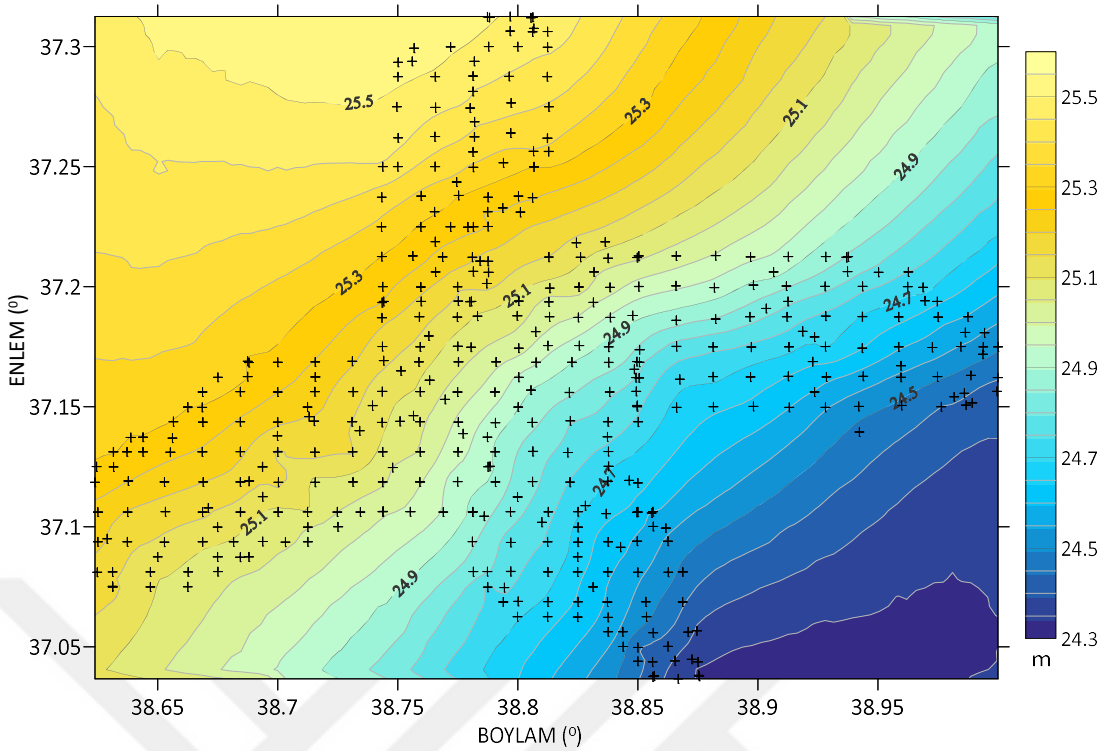
Şekil 4.24.'te görüleceği üzere 50 adet test noktası ile hesaplamaların başında model noktalarının karesel ortalama hatası test noktalarının karesel ortalama hatasından daha küçük olarak başlamıştır. Ancak 8 alt kümeye kadar test noktalarının karesel ortalama hataları daha küçük olarak devam etmiştir. Ancak 8 alt kümeden itibaren durum değişmiş ve model noktalarının karesel ortalama hatası test noktalarının karesel ortalama hatalarından daha düşük bir şekilde azalarak devam etmiştir. Test noktalarının karesel ortalama hataları ise artarak devam etmiştir. Buradaki durumda rastgele seçilen test noktalarının modeli nasıl etkilediği gösterilmektedir. Böylece nokta seçiminin önemi değerlendirilmiştir. Test noktası sayısının 90 nokta olarak yapılan model ise Şekil 4.25.'de gösterilmiştir.



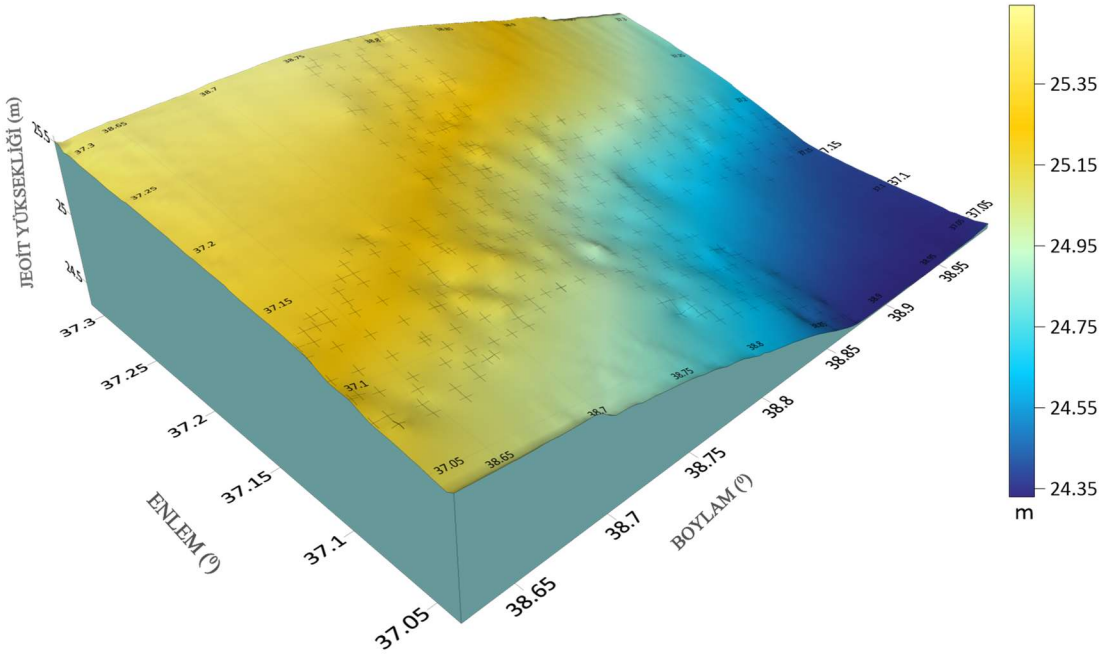
Şekil 4.25. 90 Nokta ile Yapılan GAUSSMF Üyelik Fonksiyonunun K.O.H. Gösterimi

Test noktası sayısının 90 nokta olarak yapılan modelde grafikte görüleceği üzere model noktalarının karesel ortalama hataları test noktalarının karesel ortalama hatalarından daha düşük olarak başlamış ve azalarak devam etmiştir. Bu olması gereken ve beklenen bir sonuçtur. 12 alt küme sayısından sonra test noktalarında karesel ortalama hata değeri daha çok artmaya başladığı görülmüştür.

Bu iki durumun karşılaştırması ile test noktalarının sayısının artması ve araziyi daha iyi yansıtacak karakteristik noktaların seçilmesi modelin test edilmesinde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Yine burada da görüleceği üzere GAUSS üyelik fonksiyonunda 8 alt küme ile oluşturulan model bu çalışmada kullanılabilecek bir modeldir. Şekil 4.26.' da 8x8 GAUSS modeline göre oluşturulan yüzey ve Şekil 4.27.'de ise elde edilen jeoit modeli gösterilmiştir.



Şekil 4.26. 8x8 GAUSS Modeli ile Oluşturulan Jeoit Yüzeyi (Surfer, 2013)



Şekil 4.27. 8x8 GAUSS Model Yüzeyinin Üç Boyutlu Gösterimi (Surfer, 2013)

Uçar Çakmakçı (2019) çalışmasında, çalışma alanında model noktalarının ortalama hatalarının test noktalarının ortalama hatasından daha iyi olduğunu tespit ederek her üyelik fonksiyonun hangi alt kümede daha iyi sonuçlar verdiğini ve bölge için en iyi jeoit modelinin hangi alt kümede olduğunu hesaplamıştır. Bu çalışmada ise çalışma bölgesi için en iyi üyelik fonksiyonunun gauss üyelik fonksiyonu ile elde edilen modellerde olduğu tespit edilmiştir.

Polinom enterpolasyonları yöntemi ile yapılan kıyaslamada; 3. dereceden 10 katsayılı polinomlarla belirlenen modelin çalışma bölgesi için diğer polinom yöntemlerinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yapılan kıyaslamalar sonucunda bulanık mantık ile yapılan hesaplama sonucunun (GAUSSMF 8 alt küme ile oluşturulan model), polinomlarla yapılan hesaplamalardan elde edilen en iyi modelden (3. dereceden 10 katsayılı polinom) daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bulanık Mantık ile yerel jeoit belirleme çalışmaları son zamanlarda artış göstermektedir. Bunun nedeni ise bulanık mantık veya yapay sinir ağları ile yerel jeoit modellemenin daha hassas sonuçlar vermesindendir. Bu nedenle yerel jeoit modellerinin oluşturulması elde edilen haritaların ve yükseklik sistemlerinin uygulanabilmesi açısından daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Bulanık Mantık ile oluşturulan model sayesinde GNSS verileri ile çalışma alanı içerisinde zahmetsiz bir şekilde ortometrik yükseklikler elde edilebilecektir. Ancak oluşturulacak modellerde kullanılan nokta koordinat verilerinin çalışma bölgesinin karakteristik yapısını iyi yansıtması ve model oluşturulmada kullanılan konum verilerinin güncel veriler olması çalışılmalarda daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Bu çalışmada oluşturulan model ile çalışma alanında herhangi bir noktada GNSS ile elde edilen elipsoidal yüksekliği bilinen bir noktanın ortometrik yüksekliği modelden hesaplanabilecektir ancak ölçülerin oluşturulduğu zaman ile modelin oluşturulduğu zaman farkı göz önüne alınmalıdır.

Bu çalışmada Bulanık Mantık ile model oluşturmak için enlem, boylam, elipsoidal yükseklik (h) ve ortometrik (H) yükseklik değerleri bilinen 408 adet nokta kullanılmış bu noktalardan 318 adedi model noktası 90 adedi ise test noktası olarak seçilmiştir. Enlem ve boylam değerleri giriş verisi, jeoit yükseklik değerleri ise çıktı değerleri olarak değerlendirilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma bölgesi için bulanık modeller oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada test noktalarının çalışmaya etkisini araştırmak amaçlı 50 nokta test verisi 358 noktada model verisi alınarak hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar test noktası sayısının 90 olarak alınan model ile karşılaştırılması yapılmıştır. Burada test noktası sayısının artması ile modelin daha anlamlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışma bölgesinde daha çok nokta verisi ile yapılacak modeller daha anlamlı sonuçlar verecektir. Yapılan çalışma ile bulanık mantık yöntemi sonucu üretilen yükseklik verileri nivelman metodu ile üretilen değerlere yani gerçek değerlere çok yaklaştığı tespit edilmiş ayrıca yukarıdaki bölümlerde de gösterildiği üzere birçok noktada aralarındaki fark sıfıra çok

yaklaşmıştır. Bulanık mantık yöntemi ile birçok mühendislik projeleri, arazi ve jeodezik çalışmalarda çok daha az emek ve daha kısa zamanda ortometrik yüksekliklerin elde edilebileceği görülmüştür. Çalışmalarda kullanılan noktalara ait koordinat verilerinin oluşturulduğu tarih göz önüne alındığında çalışma alanında güncel olarak oluşturulan verilerle bir model oluşturulmasının daha iyi olacağı, nokta verilerinin sayılarının artması ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir. Kurumların çalışmalarında, bulanık mantık modelleri ile oluşturulan modellerin kullanılabileceği bu sayede daha hassas jeoit belirlenebileceği tespit edilmekle birlikte, ayrıca eldeki veriler ve çalışmada istenilecek hassasiyete göre bölgede uygulanacak jeoit belirleme yönteminin denenerek belirlenmesinin daha uygun olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

ABBAK, R. A., 2019. Fiziksel Jeodezi Teori ve Uygulama. Atlas Akademi, Konya, 142 s.

AHAT, Ü., 2021. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ile Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 106 s.

AKBULUT, H., GÜRER, C., YARCI, Ş., ve KORKMAZ, B. E., 2019. Bulanık Mantık Yöntemi ile Sinyalize Kavşaklarda Trafik Işığı Süresi Belirlenmesi. Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology, 1(1): 41–56

AKİZ, E., 2007. Jeoit Kullanarak Elipsoit Yüksekliklerinden Ortometrik Yükseklik Belirleme Yöntemlerinin Doğruluk Araştırması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 73 s.

AKYILMAZ, O., AYAN, T., and ÖZLÜDEMİR, M. T. 2003. Geoid surface approximation by using Adaptive Network based Fuzzy Inference Systems. Allgemeine Vermessungs Nachrichten (AVN), 8(9): 308–315

AKYILMAZ, O., ve AYAN, T., 2006. Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Jeodezide Uygulamaları. İTÜDERGİSİ/d, 5(1): 261-268

ALBAYRAK, M., ÖZLÜDEMİR, M. T., AREF, M. M., and HALİCİOGLU, K., 2020. Determination of Istanbul geoid using GNSS/levelling and valley cross levelling data. Geodesy and Geodynamics, 11(3):163–173, doi:10.1016/j.geog.2020.01.003.

ARSLAN, E., ve YILMAZ, M., 2005. Geoit Belirleme Yöntemleri, 10.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart- 1 Nisan, Ankara, s. 7.

ASLAN, S. T., ve KIZIL, C., 2018. Bulanık Mantık Yöntemiyle Açlık Kan Şekeri Karlılık Analizi: Bir Sağlık Kuruluşunda Uygulama. Muhasebe ve Denetime Bakış, 18(55):59–84

AYHAN, M. E., ve DEMİR, C., 1992. Türkiye Ulusal düşey Kontrol (Nivelman) Ağı 1992 (TUDKA-92) . Harita Dergisi, (109): 22–42.

BAĞIRGAN, N., ve KARAŞAHİN, M., 2009. Bulanık Mantık ile Trafik Güvenliği Modellemesi. İMO Teknik Dergi, (305):4635-4651

BEZDEK, A., and SEBERA, J., 2013. Matlab script for 3D visualizing geodata on a rotating globe. Computers & Geosciences, 56: 127–130, doi:10.1016/j.cageo.2013.03.007.

BOATENG, B. K., and PEPRAH, M. S., 2020. Modelling Local Geometric Geoid using Soft Computing and Classical Techniques: A Case Study of the University of Mines and Technology (UMaT) Local Geodetic Reference Network. International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications, 2(3):166–177.

BOLAT, S., 2013. Lokal Jeoid Belirleme Yöntemleri: Samsun İli Örneği. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun: 93 s.

ÇAKIR, L., 2016. Polinomlar, Multikuadrik Enterpolasyon, İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı ve Anfıs Yöntemleri ile Yerel Gps/Nivelman Jeoidin Belirlenmesi, 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 19-21 Ekim, İstanbul, ss.1-6

ÇAKIR, L., 2015. Sayısal Yükseklik Modellerinde Klasik ve Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması. 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-28 Mart, Ankara, ss.1-6

DEMİR, S., ABBAK, R. A., ve ARLI İl, H. T., 2018. Global Yerpotansiyel Modellerin Gravimetrik Jeoit Belirlemeye Katkısı. Geomatik Dergisi, 3(3): 213–224, doi:10.29128/geomatik.403776.

DURSUN, Ş., 2012. Bulanık (Fuzzy) Mantık Paradigması Üzerine. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 1(2): 347–354

ENCYCLOPEDİA BRİTANNİCA, 2021, https://www.britannica.com/science/ellipse (erişim 2.11.2021).

ERKAYA, H., 2006. Yükseklik Ölçmeleri (Ders Notları). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 87 s.

FİDANCI, Y., ve ABBAK, R. A. 2019. Yerel Jeoit Belirlemede Yapay Sinir Ağlarının Farklı Nokta Yoğunluğundaki Performansı. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(3): 486–495, doi:10.17714/gumusfenbil.503340.

GAUSS, C. F., 1828. Bestimmung des Breitenunterschiedes zwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona. Göttingen.

GÜRSES, H. B., 2011. Şeritvari Projelerde Ortometrik Yükseklik Hesabı İçin bir Yaklaşım. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 68 s.

HEISKANEN, W., ve H. MORITZ, 1984, Fiziksel Jeodezi. Çeviren: GÜRKAN, O., Trabzon, KTÜ Matbaası, 491 s.

INGLE, M., ATİQUE, M., and DAHAD, S. O., 2011. Rısk Analysıs Usıng Fuzzy Logıc. International Journal of Advanced Engineering Technology, 2(3):96-99

İŞCAN, F., 2009. Arazi Düzenleme Çalışmalarında Bulanık Mantık Uygulaması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 157 s.

JANG, J. S., 1993. ANFIS Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System. Systems, Man and Cybernetics. IEEE Transactions on, 23:665–685, doi:10.1109/21.256541.

KARATAŞ, İ., 2018. Bulanık Mantık ile Klasik ve Sembolik Mantık İlişkisi (Karşılaştırılması). European Journal of Educational and Social Sciences, 3(2): 144–163.

KESKENLER, M. F., ve KESKENLER, E. F., 2017. Bulanık Mantığın Tarihi Gelişimi. Takvim-i Vekayi, 5(1): 1–10.

KIRICI, U., ve ŞİŞMAN Y., 2014. Jeoid Belirlemede En Uygun Polinomun Belirlenmesi: Samsun Örneği. 7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 15-17 Ekim, Çorum, s.7.

KURU, B., 2018. Lokal Jeoid Belirlemede Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, 54 s.

LEDERSTEGER, K., 1969. Astronomische und physikalische Geodäsie (Erdmessung). Jordan/Eggert/Kneissl: Handbuch der Vermessungskunde, zehnte Auflage. Band V. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart (1956/1969).

MAMDANI, E. H., and ASSILLIAN, S., 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. 7, (1): 1–13.

MATHWORKS, 2015. MathWorks R2015a. MathWorks home page, ANFIS. https://www. mathworks.com/help/fuzzy/anfis.html. (erişim: 07.07.2021)

MORITZ, H., 1992. Geodetic Reference System 1980. 66 (2): 187–192.
MUNAKATA, T., and JANİ ,Y., 1994. Fuzzy systems: an overview. Communications of the ACM, 37(3): 69–77.
NOAA, 2021. What is geodesy. https://oceanservice.noaa.gov/facts/geodesy.html (erişim: 30.08. 2021).
OK, Y., 2010. Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) İle Türkiye'de Orta Dönemli Elektrik Enerjisi Talep Tahmini. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 104 s.
SARI, M., MURAT, Y. Ş., ve KIRABALI M., 2005. Bulanık Modelleme Yaklaşımı Ve Uygulamaları. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, (009): 77–92
ŞEN, Z., 2012. Bulanık Bilim Felsefesi. Yükseköğretim ve Bilim Dergisi, (1): 20–24.
SİNECEN, M., 2002. Klima Sistem Kontrolünün Bulanık Mantık İle Modellenmesi Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli 73 s.
SİVARİ, E., ve CİVELEK, Z., 2019. Genel Anestezide Kullanılan Propofolün Başlangıç Dozunun Bulanık Mantık ile Tahmini. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(3): 808–816, doi:10.31202/ecjse.581844.
SURFER 2013, Golden Software Surfer 13.0 (2015) User's Guide Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineering. Colorado, USA.
TAKTAK, F., 2005. Afyonkarahisar'da Gps Gözlemleri ve Nivelman Ölçüleri Yardımıyla Yerel Jeoid Profilinin Çıkarılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 78 s.
TANIR KAYIKÇI, E., ve KARAASLAN, Ö., 2015. Trabzon İli İçin Jeoid Ondülasyonları Belirleme Amacıyla Enterpolasyon Yöntemlerinin Uygulanması, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-28 Mart, Ankara, s.10.
TETİK, K., 2018. Farklı Enterpolasyon Teknikleri Kullanılarak Yerel Jeoit Belirleme. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, konya, 89s.
TORGE, W., 1980. Geodesy. Walter de Gruyter. Berlin-New York,
TUŞAT, E., 2011. A Comparison Of Geoid Height Obtained With Adaptive Neural Fuzzy İnference Systems And Polynomial Coefficients Methods. International Journal of Physical Sciences, 6(4):789–795.
UÇAR ÇAKMAKÇI, F., 2019. Bulanık Mantık ile Yerel Geoid Modelleme. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 89 s.
UNİVERSİTY OF CONNECTİCUT, and MEYER, T., 2021, Earth's Shape, Sea Level, and the Geoid. Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge, no. Q2, doi:10.22224/gistbok/2021.2.8.
ÜSTÜN, A., ve DEMİREL, H., 2003. Düşey Kontrol Açısından GPS/Nivelman Kontrol Noktalarının Önemi. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 24-26 Ocak, Konya, s. 35-43
VANICEK, P., and KRAKIWSKY, E. J., 1982, Geodesy. The Concepts. North-Holland, Amsterdam,
YALPIR, Ş., 2007. Bulanık Mantık Metodolojisi ile Taşınmaz Değerlenme Modelinin Geliştirilmesi ve Uygulaması. Konya Örneği. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 245 s.

YERCİ, M., 2003. JEODEZİ 1. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Ders Notları Yayın No:17, Konya,178 s.
YETKİN, M., ve BİLGİNER, Ö., 2021. Haritacılık Tarihinde Bir Yolculuk. Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi, 3(1):1–9.
YİĞİT, C. Ö., 2003. Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliğe Dönüşümünde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 131 s.
YILMAZ, M., 2013. Bulanık Mantık ile Hesaplanan Geoid Yüksekliğine Nokta Yüksekliklerinin Etkisi. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(1): 61–67
YILMAZ, M., ve E. Arslan, 2005. Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması. 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım, İstanbul, s.11.
YILMAZ, M., 2005. İstanbul Metropolitan Alanında Geoit Araştırması. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 106 s.
YILMAZ, A., 2015. Sinirsel bulanık mantık modeliyle kanser risk analizi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 215 s.
YILMAZ, M., ve ARSLAN, E., 2007. Geodit Yüksekliğin ANFIS ile Adım Adım Hesaplanması. Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, (96):31-38
YILMAZ, M., ve ARSLAN, E., 2005. Polinomlarla ve Bulanık Mantık İlkelerine Göre Geoit Belirlemenin Presizyona Etkisi. 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart-1 Nisan, Ankara, s.5
YILMAZ, M., ve ERDEM, N., 2019. Bulanık Mantık İlkelerine göre Local Geoid Hesabı; Tekirdağ Örneği. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies, 2(1): 48–60
YURT, K., 2006. Geometrik ve Gravimetrik Metodlarla Lokal Jeoid Belirleme ve Modelleme: Trabzon ili Örneği. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 150 s.
ZADEH, L. A., 1965. Fuzzy Sets. Informatıon and Control, 8: 338–353.