



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



LOKAL JEOİT BELİRLEMEDE
KULLANILAN ÇEŞİTLİ ENTERPOLASYON
YÖNTEMLERİNİN FARKLI JEODEZİK AĞ
YAPILARINDA UYGULANMASI

Murat ÇİFTÇİ

YÜKSEK LİSANS

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran - 2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Murat ÇİFTÇİ tarafından hazırlanan “Lokal Jeoit Belirlemede Kullanılan Çeşitli Enterpolasyon Yöntemlerinin Farklı Alanlardaki Uygulamalarının Karşılaştırılması” adlı tez çalışması 27/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

Danışman

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

Üye

Doç.Dr. Salih ALÇAY

İmza


.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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



Murat ÇİFTÇİ

Tarih: 27.06.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

LOKAL JEOİT BELİRLEMEDE KULLANILAN ÇEŞİTLİ ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİNİN FARKLI ALANLARDAKİ UYGULAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Murat ÇİFTÇİ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

2019, 61 Sayfa

**Jüri
Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Doç. Dr. Salih ALÇAY**

GNSS ile ortometrik yükseklik belirleme ancak jeoit yüksekliğinin bilinmesiyle mümkün olmaktadır. Dolayısıyla GNSS ölçmelerine dayalı olarak ortometrik yükseklik belirlemedeki doğruluk, elipsoidal yüksekliğin ve jeoit yüksekliğinin doğruluğuna bağlıdır. Yüksek çözünürlüklü ve doğruluklu bir jeoit modelinin, sadece jeodezi değil diğer mühendislik branşları için de pratik önemi vardır. Lokal jeoit belirlemede kullanılan yöntemlerden GNSS/Nivelman tekniğinin uygulanmasında çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Farklı ağ yapılarına sahip alanlarda hangi enterpolasyon yönteminin kullanılacağına belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada, Burdur ve Haymana’da yer alan birisi santral şebeke diğeri zincir şebeke şeklinde iki uygulama sahası seçilmiştir. Çalışma bölgesinde nokta yoğunluğu ve jeodezik ağ yapılarının farklı olmasının sonuçlara etkisini değerlendirmek amacı ile her iki ağda da dayanak nokta sayısı değiştirilerek hesaplamalar için 4 farklı jeodezik ağ tasarlanmıştır. Bu 4 jeodezik ağ için polinomlarla enterpolasyon, kriging (ordinary, blok) enterpolasyon yöntemi ve bulanık mantık (Fuzzy) ile jeoit ondülasyonları hesaplanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Enterpolasyon, GNSS, Jeoit, Kriging

ABSTRACT

MS THESIS

COMPARISON OF SEVERAL INTERPOLATION METHOD USED TO DETERMINE THE LOCAL GEOID APPLICATION IN THE DIFFERENT GEODETIC NETWORKS

Murat ÇİFTÇİ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies Department of
Geomatics Engineer**

Advisor: Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

2019, 61 Pages

Jury

**Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Assoc. Prof. Dr. Salih ALÇAY**

The determination of orthometric height by GNSS is only possible by knowing the geoid height. Therefore, the accuracy in determining the orthometric height based on GNSS measurements depends on the accuracy of the ellipsoidal height and the geoid height. A high resolution and accurate geoid model has practical importance not only for geodesy but also for other engineering branches. Various interpolation methods are used in the application of GNSS / Leveling technique which is one of the methods used for local geoid determination. It is important to determine which interpolation method to use in areas with different network structures. In this study, two application areas in Burdur and Haymana, one of which is a central network and the other is a chain network. In order to evaluate the effect of point density and different geodetic network structures on the results, 4 different geodetic networks were designed for calculations by changing the number of reference points in both networks. For these 4 geodetic networks, interpolation with polynomials, kriging (ordinary, block) interpolation method and fuzzy logic and geoid undulations were calculated and the results were compared.

Keywords: Fuzzy Logic, Geoid, GNSS, Interpolation, Kriging

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenen, tez çalışmam sırasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Ekrem TUŞAT'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması sırasında ihtiyaç duyduğum veriler ve yazılım konusundaki desteklerinden dolayı; Matlab ticari yazılımı kullanımına yardımlarından dolayı Selçuk Üniversitesi'ne, Excel ve Surfer ticari yazılımlarını kullanımına yardımlarından dolayı Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ne, çalışmada kullanılan verilerin temininden dolayı İlbank AŞ.'ye ve Karayolları Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

İlkokuldan üniversiteye kadar tüm eğitim hayatımdaki desteklerinden dolayı anne ve babama teşekkür ederim. Desteklerinden dolayı sevgili eşime ayrıca teşekkür ederim. Yüksek lisans yapmış olmanın çocuklarıma ilham kaynağı olmasını dilerim.

Murat ÇİFTÇİ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
ABSTRACT	2
ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER.....	4
SİMGELER VE KISALTMALAR	6
1. GİRİŞ	7
2. JEOİT KAVRAMI VE JEOİT BELİRLEME YÖNTEMLERİ.....	10
2.1. Jeoit Kavramı	10
2.2. Jeoit Belirleme Yöntemleri	12
2.2.1. Astrojeodezik yöntemle jeoit belirleme	12
2.2.2. Gravimetrik yöntemle jeoit belirleme.....	13
2.2.3. GNSS/Nivelman yöntemi ile jeoit belirleme	13
2.3. Türkiye Jeoit Modelleri.....	13
3. LOKAL JEOİT BELİRLEMEDE ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ	15
3.1. Ağırlıklı Aritmetik Ortalama İle Enterpolasyon	16
3.2. Polinomlarla Enterpolasyon	17
3.3. Multikuatradik Enterpolasyon	19
3.4. Üçgenler Ağında Enterpolasyon.....	20
3.5. Kriging Yöntemi	20
3.6. Bulanık Mantık (Fuzzy)	22
3.6.1. Mamdani tipi bulanık modellemenin esasları.....	23
3.6.2. Takagi – Sugeno bulanık modellemenin esasları	23
4. UYGULAMA	25
4.1. Uygulamanın Amacı ve Çalışma Alanları	25
4.2. Uygulamanın Metodolojisi	26
4.3. Bulgular ve Tartışma.....	41

5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	61



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ξ	Astrojeodezik çekül sapması
Λ	Astronomik boylam
ϕ	Astronomik enlem
α	Azimut
λ	Boylam
φ	Enlem
γ	Normal gravite
θ	Kutup mesafesi
ψ	Küresel mesafe

Kısaltmalar

EGM 96	Yer Jeopotansiyel Modeli-1996 (Earth Geopotential Model)
EKKK	En Küçük Karelerle Kollokasyon
GNSS	Uydulara Dayalı Global Konum Belirleme Sistemi(Global Navigation Satellite System)
GPS	Global Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
GRS80	Geodetic Reference System-1980
HGK	Harita Genel Komutanlığı
IGSN71	Uluslararası Standart Gravite Ağı-1971
ITRF	Uluslararası Yersel Referans Sistemi (International Terrestrial Reference Frame)
KOH	Karesel ortalama hata
KRIG	Kriging
TAG-94	Türkiye Astrojeodezik Jeoiti-1994
TDJ-92	Türkiye Doppler Jeoiti
TG-03	Yeni Türkiye Jeoiti-2003
TG-09	Türkiye Jeoiti-2009
TG-76	Türkiye Jeoiti-1976
TG-91	Türkiye Jeoiti-1991
TG-99	Türkiye Jeoiti-1999
TG-99A	Güncellenmiş Türkiye Jeoiti-1999
THG-09	Türkiye Hibrid Jeoit Modeli-2009
TPDJ-92	Türkiye Pseudo WGS84 Doppler Jeoiti
TUDD-92	Türkiye Ulusal Doppler Datumu
TUDKA-92	Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1992
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
WGS84	World Geodetic System 1984

1. GİRİŞ

Günümüz üç boyutlu konum belirleme çalışmalarında GNSS tekniği en hızlı ve pratik tekniktir. Günün her saatinde ve her türlü hava şartında çalışması jeodezik ölçmelerde kullanımını artırmıştır. Fiziksel yeryüzü üzerindeki herhangi bir noktanın uzaydaki konumunun kesin olarak tanımlanabilmesi için yatay koordinatları ile birlikte üçüncü koordinat bileşeni olan yüksekliğinin de bilinmesi gerekir. Nokta yükseklikleri, genel olarak geometrik, trigonometrik ve GNSS/Nivelman teknikleri uygulanarak elde edilebilmektedir. Uydulardan alınan sinyaller yardımıyla noktaların yüksek doğrulukta konumlarının belirlenmesine olanak sağlayan Global Konum Belirleme Sistemi (GNSS), birçok alanda olduğu gibi yükseklik belirlemeleri konusunda da güncel bir teknik olmuştur.

Elipsoidal yüksekliği; Yeryüzündeki bir noktadan elipsoide inilen dik boyunun uzunluğuna eşit, ortometrik yüksekliği; Noktadan geçen çekül eğrisi boyunca jeoit olan düşey uzaklık olarak tanımlayabiliriz (Heiskanen ve Moritz, 1984; Tuşat ve ark., 2001; Taktak, 2005; Kuru, 2018).

GNSS ile yatay konumda birkaç mm düzeyinde doğruluk elde etmek mümkünken, düşey konumda aynı doğruluğu elde etmek pek mümkün değildir (Yurt ve Gökalp, 2009). GNSS'den elde edilen yükseklikler elipsoit yükseklikleri olup, uygulamada ise ortometrik yükseklikler kullanılmaktadır. Dolayısıyla GNSS'den elde edilen elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerinin hesaplanması gerekir (Tuşat ve Turgut, 2005; Kahveci ve Yıldız, 2017). GNSS ölçmeleri ile elde edilen elipsoit yüksekliklerin pratikte kullanılabilmesi için hassas bir jeoit belirleme gereksinimi ortaya çıkmıştır (Yurt ve Gökalp, 2009).

Klasik nivelman çalışmaları ile yüksekliklerin bulunması fazlaca vakit ve emek ister. GNSS ölçümleri ile böyle bir durumdan kurtulmak ve bulunan ortometrik yüksekliklerin doğru olabilmesi için jeoit dalgalanmalarının hassas olarak belirlenmesi gerekir.

Elipsoidin matematiksel olarak tanımlanmasına karşın, fiziksel bir yüzey olan jeoit matematiksel olarak tanımlanamadığından, elipsoit ile jeoit normal olarak çakışmamaktadır. Jeoit ile elipsoit arasındaki farklılıklar, yeryuvarının gravite alanındaki değişimlerini yansıtmaktadır (Yurt ve Gökalp, 2009).

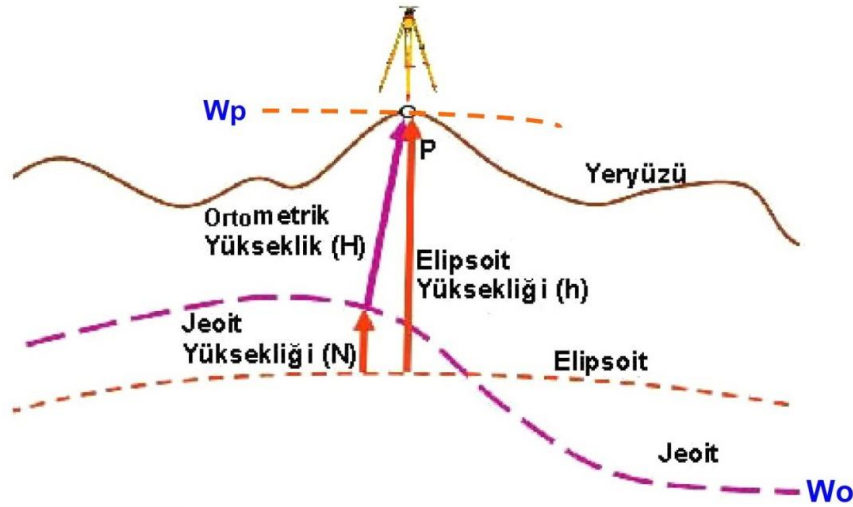
Jeodezik çalışmalarda yükseklik sistemleri teorik ve fiziksel yükseklikler olarak tanımlanmaktadır. Bu yükseklikler jeopotansiyel, dinamik, normal, ortometrik ve elipsoidal yüksekliklerdir (Taktak, 2005).

Jeoit yüksekliği biliniyorsa, GNSS ile ortometrik yükseklik belirlenebilmektedir. Dolayısıyla elipsoidal yüksekliğin ve jeoit yüksekliğinin doğruluğu, GNSS'e dayalı ortometrik yükseklik doğruluğunu etkilemektedir (Yurt ve Gökalp, 2009).

Uygulamada ortometrik yükseklikler (H) kullanılmaktadır. Elipsoit yüksekliği (h) ile ortometrik yükseklik arasında,

$$h = H + N \quad (1.1)$$

eşitliği ile bilinen bir ilişki vardır. Burada N jeoit yüksekliği, jeoit ile elipsoit arasındaki uzaklıktır. Geometrik değere sahip elipsoit yüksekliğinin fiziksel bir anlamı yoktur (Akiz ve Yerci, 2009). Ortometrik ve elipsoit yükseklikler arasındaki bağıntı Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1: Ortometrik ve elipsoit yüksekliği (Akiz ve Yerci, 2009)

Ortometrik yüksekliklerin özelliklerini Akiz (2007) şu şekilde sıralamıştır:

- Ortometrik yükseklikler, çekül eğrilerinin yeryüzü ile jeoit arasında kalan parçaları boyunca gravite değerlerinin dağılımına (kitle yoğunluğuna)

ilişkin bir varsayım öngörülmezsizin belirlenemez, ancak gerçek değerlerden az ya da çok sapan bir yaklaşıklıkla elde edilebilir.

- Aynı bir nivo yüzeyinin değişik noktalarının ortometrik yükseklikleri genel olarak eşit değildir. Örneğin, yüksekte bulunan bir gölün durgun su yüzü nivo yüzeyinden bir parçadır. Her noktasının dinamik yükseklikleri eşit, ama ortometrik yükseklikleri değişkendir. Yalnız jeoit paralel yüzeylerle su yüzünün kesim noktalarının ortometrik yükseklikleri eşittir. Ortometrik yüksekliği büyük olan nokta yönünde suyun aktığı durumlarla karşılaştırılabilir.
- Ortometrik düzeltmeler, genellikle dinamik düzeltmelerden daha küçüktür.
- Ortometrik yükseklikler sisteminde ağ, trigonometrik nivelman ile sıklaştırılabilir.

Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından yapılan çalışmalar ile Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) kurulmuştur. Bu ağın uygulaması ile noktalara ilişkin elipsoit yükseklikleri hassas olarak belirlenebilmektedir. Elde edilen bu elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesabı, noktalara hassas olarak jeoit yüksekliklerinin belirlenmesi ile mümkündür (Aşık, 2013).

Referans yüzeylerinden elipsoit ile jeoit arasındaki fark; elipsoit geometrik olarak tanımlanmış bir yüzey olmasına karşın, jeoit fiziksel olarak belirlenir ve yerin kütleli dağılımı ile topografik yoğunluk yapıya göre değişim gösterir. Bu nedenle birçok bilim adamı tarafından tanımlanmış değişik tipte elipsoit yüzeyleri olmasına karşın, belirli tek bir jeoit yüzeyi mevcuttur. Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliğinin tanımladığı ve günümüzde tüm yerküre için referans alınan sistemlerden biri olan global yer elipsoidi World Geodetic System 1984 (WGS84) elipsoidine göre jeoitin maksimum sapmaları ± 100 m civarındadır (Akçın, 2001).

Bu çalışmada, Burdur ve Haymana'da yer alan iki alanda nokta yoğunluğu ve jeodezik ağ yapılarının farklı olmasının sonuca etkisini değerlendirmek amacı ile 4 farklı jeodezik ağ tasarlanmıştır. Polinomlarla enterpolasyon, Kriging (nokta, blok) enterpolasyon yöntemi ve bulanık mantık (fuzzy) ile jeoit ondülasyonları hesaplanarak elde edilen sonuçlar standart sapma, ortalama mutlak hata ve en büyük mutlak hata ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır.

2. JEOİT KAVRAMI VE JEOİT BELİRLEME YÖNTEMLERİ

2.1. Jeoit Kavramı

Ortalama deniz yüzeyi ile özdeş olan ve karaların altında da devam ettiği varsayımına dayanan, eş potansiyeli yüzey jeoit olarak tanımlanır (Torge, 1980). Bu yüzey yeryüzü noktalarının yükseklikleri için başlangıç yüzeyi kabul edilir. Arşimet'in kapalı kaplar yasasına göre, durağan haldeki okyanus yüzeylerinin karaların altında da devam ettiği varsayılan ve fiziksel özellikleri olan üst dereceden bir eş potansiyel yüzey 1871 yılında Listing tarafından jeoit olarak ele alınmıştır (Akçın, 2001).

Jeoit, bir kısmı yeryüzü içerisinde geçen, eş gravite (yer çekimi) değerlerine sahip noktaları birleştiren bir yüzeydir. Bu yüzeyin eğriliği kütle dağılımının ani olarak değiştiği yerlerde süreksizlik gösterir. Bu süreksizlikten dolayı jeoit analitik bir yüzey olarak kabul edilmez (Grafarend,1994; Yılmaz ve Arslan, 2006). Analitik olmayan bir yüzey üzerinde matematiksel hesaplamalar yapılmaz.

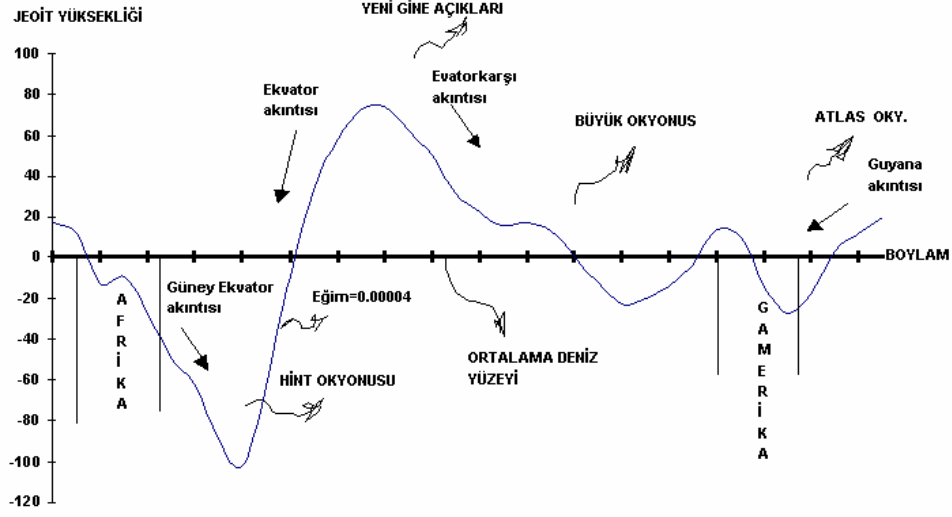
Temelde fiziksel yeryüzüne uygun en iyi geometrik biçim elipsoit olmasına karşın, yükseklikler için yatay ve düşey kavramlarının belirlenmesi ve bu yüzden yerin gravite alanı ile ilişkili değişik bir referans yüzeyinin tanımlanması gerekmektedir (Akçın, 2001). Gravite değerlerine göre şekillenen jeoidin fiziksel olarak dünyayı temsil ettiği kabul edilmektedir (Arslan, 2014).

Jeoidin fiziksel olarak tanımlanmış bir yüzey olması, karasal geçişlerde bu yüzeyin belirsizleşmesi ve gözle görülemeyen bir değişim arz etmesi ve hesaplanamamasına karşın teorik ve pratik anlamdaki önemi dolayısıyla çok sayıda bilim dalının ve günlük yaşantının önemli bir parçası olduğunu Akçın (2001) belirtmiştir. Bunun nedeni şu iki tanımda saklıdır.

- Yeryüzündeki tüm cisimler yerin merkezine doğru çekilirler.
- Cisimlerin çekim doğrultusuna dik olan yüzey ise gerçek yataydır.

W potansiyelinin sabit olduğu ($W(x,y,z)= W_0= \text{sabit}$) yüzeylere eşpotansiyel yüzey denilir ve yeryüzündeki her noktadan geçen bir eş potansiyel yüzey (eş gravite yüzeyi) bilinirse gravite vektörünün (yerçekiminin doğrultusu) yönü ve büyüklüğü

belirlenmiş olur (Akçın, 2001). Elipsoidin matematiksel olarak tanımlanan düzenli bir yüzey olmasına karşın jeoit düzensiz bir yüzeydir ve bu sebepten dolayı bu iki yüzey çakışmaz (Arslan, 2014). Gravite potansiyelinin her yerde eşit olduğu ve çekül doğrultusuna her zaman dik olan bu yüzeyden (Arslan, 2014) ölçülen büyüklük ise günümüzde yükseklik (rakım) olarak ele alınmaktadır (Akçın, 2001).



Şekil 2.1: WGS 84 elipsoidine göre Ekvator üzerindeki deniz yüzeyi (jeoit) profili (Akçın, 2001)

Jeoit kapladığı alanlarda oldukça büyük değişimler gösterir. Örneğin deniz yüzeyi topografyasındaki en büyük değişimler, ekvator düzlemi üzerinde yaşanmaktadır. Ekvator üzerinde jeoit profili çizildiğinde oldukça büyük sapmalar meydana gelmektedir ve bu durum Şekil 2.1’de özetlenmiştir. WGS 84 elipsoidi baz alınarak çizilen bu jeoitte, deniz yüzeyi Hint okyanusu üzerinde -102m’lik bir azalma ve Yeni Gine açıklarında da +74m’lik bir yükseliş göstermektedir. Ayrıca jeoitin Afrika ve Güney Amerika üzerindeki karasal geçişlerinde de ortalama deniz yüzeyinin altında olması dikkat çekicidir. Büyük çaplı okyanus akıntılarının çoğunluğunun ekvator kuşağı üzerinde olması da bu oluşumla doğru orantılıdır. Jeoitin biçimsel değişikliğine neden olan olguları ise şu şekilde sıralayabiliriz (Akçın, 2001):

- Ay, Dünya ve Güneş arasındaki yörüngesel çekim etkileri.
- Dünyanın kendi etrafındaki dönüş hızı
- Yeryüzündeki kütle dağılımındaki dengesizlikler.
- Yeraltı su seviyesindeki değişimler.

- Ozon tabakasındaki bozulmalara bağlı sıcaklık değişimleri ve buzullardaki erimeler.
- Güneşteki büyük patlamalar ve dünyayı etkisi altına alan radyasyon fırtınaları.

2.2. Jeoit Belirleme Yöntemleri

Ayan ve Deniz (2000) jeoit belirlemeyi, yatay konumu bilinen bir noktada, jeoit yüksekliğinin sayısal veya analog olarak elde edilmesini sağlayacak biçimde verilerin modellenmesi olarak tanımlamışlardır (Yılmaz, 2005).

İlk yapılan çalışmalarında astrojeodezik ve gravimetrik yöntemler kullanılarak jeoit belirlenmiştir. 1990'lı yıllarda uydu tabanlı konum belirleme yöntemlerinin kullanılması ile GNSS/Nivelman yöntemi ile jeoit belirlenmiştir. Gravite verilerinin de uydular yardımı ile edilmeye başlanması ile gravimetrik jeoit belirleme yöntemlerinin doğruluğu artmıştır (Arslan ve Yılmaz, 2005). Tüm dünyayı kapsayan çeşitli jeoit modelleri geliştirilmiştir fakat uygulamalarda istenen doğrulukta değillerdir.

Bazı jeoit belirleme yöntemleri aşağıda kısaca açıklanacaktır.

2.2.1. Astrojeodezik yöntemle jeoit belirleme

Ayan (1978) çekül sapmasını, elipsoit normali ile çekül doğrultusu arasındaki açı olarak tanımlamıştır. Çekül sapmasının iki bileşeni vardır. Bunlar doğu-batı bileşeni ve kuzey-güney bileşenleridir. Çekül sapmasının bileşenlerinin bilinmesiyle jeoitin şeklide belirlenebilir.

GNSS sistemi ile jeodezik enlem ve boylamın (φ , λ) kolayca belirlenmesi, astrojeodezik yöntemle jeoit belirlemeyi güvenilebilir bir yöntem olarak görülmesini sağlamıştır. Astrojeodezik yöntem yüksek maliyete sahiptir ve sadece karalarda uygulanabilen bir yöntemdir. Astrojeodezik yöntem, jeoitin düzgün olduğu alanlar için ve birbirine yakın birkaç astrojeodezik istasyonda yapılacak GNSS ölçüleri için elverişli bir yöntemdir (Taktak, 2005).

2.2.2. Gravimetrik yöntemle jeoit belirleme

Bu yöntemde; jeoit yüzeyi hesaplanacak bölgedeki değişik topografik yapıya ve kütleli yoğunluğa sahip alanlarda seçilen noktalar üzerinde gravimetrik ölçümler yapılır. Elde edilen bu değerler gerekli indirgemelere tabi tutularak jeoit yüzeyindeki gravimetrik değerler bulunur. Stokes integrali ile gravimetrik ölçümü yapılan noktanın jeoit yükseklik değerleri hesaplanır ve bu değerlerden de en uygun jeoit yüzeyi geçirilir (Akçın, 2001).

2.2.3. GNSS/Nivelman yöntemi ile jeoit belirleme

Jeodezik çalışmalarda GNSS sistemlerinden elde edilen yükseklik ölçüleri WGS84 elipsoidine dayalı olarak elde edilen yükseklik değerleridir. Ortometrik yükseklik (H), elipsoidal yükseklik (h) ve jeoit yüksekliği (N) arasında $H = h - N$ şeklinde bir eşitlik vardır. Ortometrik ve elipsoidal yüksekliklerinin değerleri yüksek doğrulukla elde edilirse jeoit yüksekliği de aynı doğrulukla elde edilir. Uygulamalarda ortometrik yüksekliğin doğruluğuna kolay ulaşılammaktadır (Yaprak, 2007).

Jeoit yüzeyi belirleme yöntemleri içerisinde en yaygın olarak kullanılanı, çalışma bölgesini temsil eden, elipsoidal ve ortometrik yüksekliği bilinen noktalar yardımı ile bir yüzey tanımlamaktır. Yüzey tanımlaması ile elde edilen matematiksel modelden, GNSS ölçüsü yapılan noktalardaki ortometrik yükseklikler belirlenir.

2.3. Türkiye Jeoit Modelleri

Ülkemizde günümüze kadar farklı zamanlarda, farklı yöntemlerle birçok farklı jeoit modelleri belirlenmiştir. Bunlar: 1976 Türkiye Jeoit (TG-76), Türkiye Jeoit-1991 (TG-91), Türkiye Doppler Jeoit (TDJ-92), Türkiye Pseudo WGS84 Doppler Jeoit (TPDJ-92), Türkiye Astrojeodezik Jeoit-1994 (TAG-94), GNSS/Nivelman Jeoit, Türkiye Jeoit-1999 (TG-99), Güncellenmiş Türkiye Jeoit-1999 (TG-99A), Yeni Türkiye Jeoit-2003(TG-03), Türkiye Jeoit-2009 (TG-09) ve Türkiye Hibrid Jeoit Modeli-2009 (THG-09) jeoitleridir (Yılmaz, 2011). Harita Genel Komutanlığı (HGK) yeni adı ile Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından Türkiye jeoitini daha yüksek doğrulukta belirleme çalışmaları devam etmektedir.

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğinde (BÖHHBÜY), GNSS ile elde edilen elipsoit yüksekliğinin ortometrik yüksekliğe dönüşümünde

uygulanacak esaslar belirtilmiştir. Türkiye Jeoidinin iyileştirilerek ve yerel GNSS/Nivelman jeoit yüksekliklerinin kullanılması önerilen yaklaşımlardandır. TG-99A yaklaşık ± 10 cm iç duyarlığa ve ± 15 cm doğruluğa sahiptir (Kılıçoğlu, 2004). Tüm dünyada geçerli ve uygulamalarda kullanılmayı sağlayacak yeterli hassasiyete sahip bir jeoit modelinin tanımlanamaması sebebiyle her bölge için yerel jeoidin belirlenmesine çalışılmaktadır. Yerel bir çalışmada lokal GNSS/Nivelman jeoit modelinin hesaplanmasında çok çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılabilir.



3. LOKAL JEÖİT BELİRLEMEDE ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ

Yaprak (2007)'de konumu bilinen fonksiyonel bağımlılık değerlerinden, bilinmeyen fonksiyonel bağımlılıkların hesaplanmasını enterpolasyon olarak tanımlamıştır. Jeodeziye daha uygun bir tanım yapılacak olursa, koordinat ölçümleri yapılan noktalardaki değerlerle koordinat ölçümleri yapılmayan noktalardaki değerlerin hesaplanması enterpolasyon olarak tanımlanabilir. Jeoit yüzeyinin belirlenmesinde değişik enterpolasyon yöntemleri geliştirilmiştir.

Arazi üzerine dağılmış ve koordinatları bilinen noktalar dayanak noktaları olarak adlandırılırlar. Çalışma alanında yeterli nokta sıklığına sahip, içerisinde ve dışarısında dayanak noktaları olan bir ağ oluşturulur. Çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılarak ağın köşe noktalarının yükseklikleri belirlenmiş olur ve arazi sayısal olarak tanımlanır.

Dayanak noktalarının yatay konumları amaç ve olanaklara göre,

- Rastlantısal olarak
- Arazinin karakteristik çizgi ve noktalarında
- Düzgün kareler veya dikdörtgenler ağının kesişme noktalarında

seçilebilir (Taktak, 2005).

Bazı enterpolasyon yöntemlerinde dayanak noktalarının yükseklikleri kesin değer kabul edilir, bazılarında ise belirli bir dengeleme ya da düzensiz hataların filtrelemesi yapılır. Seçilen enterpolasyon yönteminin bölgeye uyumu, jeoit farkının hesaplanan değeri ile gerçek değeri arasındaki farkın az olmasına neden olur. Matematiksel eşitlik olarak

$$E\{ N_{hesap} \} = N_{gerçek} \quad (3.1)$$

olması istenir. Uygulamalarda böyle bir durumun gerçekleşmesi zordur (İnal vd., 2002; Yaprak, 2007).

Noktasal, tüm çalışma alanını kapsayan bir tek fonksiyon veya yerel olarak tanımlanmış parça parça fonksiyonlarla enterpolasyon yöntemleri vardır (Güler, 1978).

Noktasal interpolasyon yönteminde, değerleri aranan noktayı çevreleyen tanımlı bir alan (daire, kare veya elips) içine düşen dayanak noktalarına göre hesaplama yapılır (Yaprak, 2007). Her nokta için fonksiyon katsayıları dayanak noktalarına bağlı olarak yeniden hesaplanır ve bu sebepten fonksiyon katsayıları noktadan noktaya farklılık gösterir (Yiğit, 2003). Noktasal interpolasyonda dört taneden fazla dayanak noktası kullanılacaksa;

- Ağırlık aritmetik ortalama ile interpolasyon
- Kayan (hareketli) yüzey
- Lineer prediksyon
- En küçük arazi parçalarındaki polinomlar

Dört tane dayanak noktası kullanılacaksa;

- Ağırlıklı ortalama
- Lineer prediksyon
- Bilineer polinomlar
- Lineer interpolasyon
- Çift lineer interpolasyon

şeklinde sıralanabilir (Taktak, 2005).

3.1. Ağırlıklı Aritmetik Ortalama İle Interpolasyon

Bir çeşit noktasal interpolasyon yöntemi olan bu yöntem, kullanımının kolaylığı sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Yiğit, 2003). Ağırlıklı aritmetik ortalama ile interpolasyon yönteminde, dayanak noktalarının yüksekliklerinden ağırlıklı ortalama ile interpolasyon yapılacak noktanın yüksekliği hesaplanır (Yaprak, 2007). Dayanak noktası ile interpolasyon noktası arasındaki yatak uzaklık ile ters orantılı olacak şekilde dayanak noktalarındaki bilinen değerlere ağırlık verilir (Yanalak, 2002b). Bir interpolasyon noktasının yüksekliği,

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^m P_i * Z_i}{\sum_{i=1}^m P_i} \quad (3.2)$$

eşitliği ile bulunur. Daha açıklayıcı olarak,

$$z_o = (p_1 * z_1 + p_2 * z_2 + \dots + p_m * z_m) / (p_1 + p_2 + \dots + p_m) \quad (3.3)$$

olur. Matris gösterimiyle,

$$z_o = \underline{p}^T \underline{z} / \underline{p}^T \underline{I} \quad (3.4)$$

yazılabilir. Burada,

$$\underline{p}^T = (p_1 + p_2 + \dots + p_m) \quad (3.5)$$

ağırlık vektörünü, \underline{I} birim vektörü. \underline{z} ise dayanak noktalarının yükseklik vektörünü gösterir. Ağırlık fonksiyonu olarak (x_i, y_i) herhangi bir dayanak noktasının, (x_0, y_0) yüksekliği belirlenecek enterpolasyon noktasının konum koordinatları olduğuna göre;

$$p_i = [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]^{-k} = (s_i^2)^{-k}, \quad i=1,2,\dots,m \quad 2k=1,2,3 \quad (3.6)$$

eşitliği kullanılabileceği gibi.

$$p_i = e(-s_i^2/k^2), \quad i=1,2,\dots,m \quad k=3,4,5 \quad (3.7)$$

şeklindeki Gauss fonksiyonu da kullanılabilir (Güler, 1978; Yanalak, 2002b).

Dayanak noktası sayısının artması ile birlikte yapılacak işlem sayısı da artırmaktadır. Artan iş yükünü azaltmak için, enterpolasyon noktasının çevresine çizilen daire içerisinde kalan dayanak noktalarının yüksekliklerinden o noktanın yüksekliği hesaplanır. Kare veya dikdörtgen elemanları da daire yerine kullanılabilir. Daire alanı dışında kalan diğer dayanak noktaları hesaba katılmadığından, yöntemin uygulanacağı araziye göre farklı büyüklüklerde daire seçilebilir (Koroğlu, 2006).

3.2. Polinomlarla Enterpolasyon

Yüzey modelleme çalışmalarında polinom yüzeyleriyle enterpolasyon yöntemi en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. Bu yöntem ile çalışılan bölge tek bir fonksiyonla ifade edilir. (Yiğit, 2003).

Derecesi en yüksek olan terim o polinomun derecesini belirlemekte ve model yüzey hakkında bilgi vermektedir. n polinomun derecesi olmak üzere n. dereceden bir polinom n-1 tane kırılmaya uğrar. (İnal, 1996; Yiğit, 2003).

Ortogonal polinomlarla enterpolasyonda;

$$N(x,y) = \sum_{k=0}^n \sum_{\substack{j=k-i \\ i=0}}^k a_{ij} x^i y^j \quad (3.8)$$

Ortogonal olmayan polinomlarla enterpolasyonda ise,

$$N(x,y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j \quad (3.9)$$

eşitliklerinden yararlanılır. Burada;

a_{ij} : Polinomun bilinmeyen katsayıları

x,y : Noktaların düzlem koordinatları

n : Yüzeyin derecesi (1,2,3)'dir.

Dayanak noktası sayısı bilinmeyen sayısından fazla ise a_{ij} katsayıları en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile hesaplanır.

A; Katsayılar matrisi, $L^T = [N_1 N_2 \dots N_n]$ olmak üzere,

$$N = A^T A$$

$$n = A^T l \quad (3.10)$$

$$x = N^{-1} n$$

eşitlikleri yazılabilir. Ortogonal polinomlarla enterpolasyonda yüzeyin derecesine bağlı olarak;

$$N(x, y) = a_0 + a_1 y + a_2 x \quad (n=1) \quad (3.11)$$

$$N(x, y) = a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 \quad (n=2) \quad (3.12)$$

$$N(x, y) = a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + a_6 x^3 + a_7 x^2 y + a_8 xy^2 + a_9 y^3 \quad (n=3) \quad (3.13)$$

fonksiyonları yazılır. Bu yöntemle enterpolasyonda yüzeyin derecesi 1 ise en az 3, yüzeyin derecesi 2 ise en az 6, yüzeyin derecesi 3 ise en az 10 dayanak noktası gereklidir.

Ortogonal olmayan polinomlarla enterpolasyonda ise yüzeyin derecesine bağlı olarak ;

$$N(x, y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3xy \quad (n=1) \quad (3.14)$$

$$N(x, y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3xy + a_4y^2 + a_5xy^2 + a_6x^2 + a_7x^2y + a_8x^2y^2 \quad (n=2) \quad (3.15)$$

$$N(x, y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3xy + a_4y^2 + a_5xy^2 + a_6x^2 + a_7xy^2 + a_8x^2y^2 + a_9y^3 + a_{10}xy^3 + a_{11}x^2y^3 + a_{12}x^3 + a_{13}x^3y + a_{14}x^3y^2 + a_{15}x^3y^3 \quad (n=3) \quad (3.16)$$

fonksiyonları yazılır. Ortogonal olmayan polinomlarla enterpolasyonda yüzeyin derecesi 1 ise en az 4, yüzeyin derecesi 2 ise en az 9, yüzeyin derecesi 3 ise en az 16 dayanak noktası gereklidir (İnal ,1996; İnal ve ark., 2002).

Polinom derecesinin artması yapılan işlemler sonucunda elde edilecek doğruluğun artması anlamına gelmez. Derecenin artmasıyla yüzeyde ani inip çıkımlar oluşur ve bu durum gerçeğe uygun olmayan yükseklik değişimlerine neden olmaktadır (İnal ve ark., 2002).

3.3. Multikuatradik Enterpolasyon

Dayanak noktalarının tümünün aynı zamanda kullanılması ile araziye tek bir fonksiyonda tanımlamak bu enterpolasyon yönteminin amacıdır. Polinom, harmonik seri veya trigonometrik fonksiyonların kullanılması ile m sayıdaki dayanak noktalarından bir yüzey geçirilir (Yanalak, 2002a). Tercih edilen polinomun bilinmeyen katsayıları en küçük kareler yöntemine göre çözümlenir ve ardından dayanak noktalarındaki ΔN_i artık jeoit yükseklik değerleri

$$\Delta N_i = N_i - N(x_i, y_i) = N_i - N_{trend} \quad i=1,2,3,\dots,m \quad (3.17)$$

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

$$\Delta N_e = N_e - N(x_e, y_e) = N_e - N_{trend} \quad (3.18)$$

şeklinde yazılabilir. Fakat bu eşitlikteki ΔN_e N_e ve değerleri bilinmeyen değerlerdir. Bilinmeyen değerlerden birisinin bulunması durumunda diğeri hesaplanabilir. En genel gösterimiyle multikuatradik yüzey

$$\Delta N_i = \sum_{i=1}^m c_i [Q(x, y, x_i, y_i)] \quad (3.19)$$

şeklindedir. Burada, c_i dayanak noktalarının bilinen ΔN_i artık yükseklik değerlerinden hesaplanan bilinmeyen katsayıları, ise kernel fonksiyonudur (Yılmaz, 2011). Matris gösterimi ile c_i bilinmeyen katsayıları;

$$c_i = A^{-1} \cdot \Delta N_i \quad (3.20)$$

ile hesaplanır. Çalışma alanındaki dayanak noktalarının sayısı arttıkça A matrisinin boyutları artar ve matrisin tersini (invers) alma işlemi zorlaşır. Bu enterpolasyon yönteminde dayanak noktaları için hiçbir çakışma artığı kalmamaktadır (Şanlıoğlu ve ark., 2002). 3.19 eşitliğinden başka multiküadratik yüzey çeşitleri de mevcuttur. Örneğin,

$$\Delta N = \sum_{i=1}^m C_i [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + \delta^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3.21)$$

iki yapraklı dairesel hiperboloid serilerinin toplamları veya

$$\Delta N = \sum_{i=1}^m C_i [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + \delta^2] \quad (3.22)$$

şeklinde dairesel paraboloid serilerinin toplamları şeklinde ifade edilebilir. Bağlantılardaki δ isteğe bağlı bir katsayıdır (Zhan-Ji, 1998; Yılmaz, 2011).

3.4. Üçgenler Ağında Enterpolasyon

Dayanak noktaları üçgenlerin köşesini oluşturacak şekilde çalışma alanı üçgenlerle kaplanır. Verilerin düzenli olması durumunda bu işlem çok daha kolay olmaktadır (Koroğlu, 2006). Lineer enterpolasyon üçgenler ağında yaygın olarak kullanılan yöntemidir. Eğik düzlem olarak kabul edilen üçgenlerle arazi yüzeyi oluşturulur. Yüksekliği hesaplanacak noktanın içine isabet ettiği üçgende, üçgenin köşe noktalarındaki yükseklik değerlerine göre lineer enterpolasyon uygulanır. Bir üçgenleme işleminin tek anlamlı olması gerekir. Üçgenleme işleminde oluşturulan üçgen kenarlarının mümkün olduğunca eşit olması ve genelde düzgün bir görünüme sahip olması istenir (Yanalak, 2001).

3.5. Kriging Yöntemi

Kriging tekniği bir maden mühendisi olan D.G. Krige tarafından geliştirilmiştir. Değerleri bilinen noktalar yardımı ile değerleri bilinmeyen noktalardaki verilerin en

olası biçimde hesaplanmasını sağlayan bir enterpolasyon metodudur. Bu yöntemi diğer yöntemlerden ayıran en önemli özelliği esnek yapısıdır. Kriging, rastgele bir fonksiyonun, ya da rastgele bir sürecin bilinmeyen değerlerinin tahminlerini verebilen bir metottur.

Bu tahminler, gözlemlenen verilerin ağırlıklı lineer kombinasyonudur. Kriging varsayımına göre girdiler birbirine ne kadar yakınsa, tahmin hataları o kadar pozitif korelasyonlu olacaktır. Matematiksel olarak bu varsayım ikinci dereceden durağan kovaryans süreci üzerine kurulmuştur. Gözlemlerin beklenen değerleri sabittir ve konuma bağlı değildir. Gözlemlerin kovaryansları yalnızca ilgili noktalar arasındaki mesafeye bağlıdır. Gözlemler tahmin noktasına ne kadar yakınsa tahmin noktası o kadar fazla ağırlık alacaktır. Hali hazırda bir çıktı noktası gözlemlendiği zaman bu noktanın tahmini gözlem değerine eşit olacaktır (Aydın, 2013).

Kriging yöntemi kullanılarak bir noktadaki jeoit yüksekliğini hesaplanmak istenirse öncelikle dayanak noktalarına atanacak ağırlık değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kriging’ de bu ağırlıklar kestirim hatası ortalamaları sıfır ve varyans minimum olacak şekilde belirlenir (Yılmaz, 2011).

Kriging yönteminin genel denklemi;

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N w_i Z(x_i) \quad (3.23)$$

şeklindedir. Burada;

N: $\hat{Z}(x_0)$ ’ın hesaplama işleminde kullanılan nokta sayısını,

$\hat{Z}(x_0)$: x_0 noktasının aranan ondülasyon değeri,

w_i : her bir $Z(x_i)$ ’ye karşılık gelen ağırlık değeri,

$Z(x_i)$: $\hat{Z}(x_0)$ hesabında kullanılan nokta sayısını ifade etmektedir.

Kriging yöntemleri çeşitli isimlerde ve alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemlerden bazıları Yaprak (2007) tarafından şu şekilde sıralanmıştır;

- Ordinary Kriging (Noktasal Kriging)
- Block Kriging (Blok Kriging)
- Indicator Kriging (Gösterge Kriging)

- Disjunctive Kriging (Ayrıncı Kriging)
- Cokringing

3.6. Bulanık Mantık (Fuzzy)

Bulanık Mantık Sistemleri 1960'ların ortalarında Lotfi Zadeh tarafından mantık ve olasılık teorilerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Bulanık mantık modelini diğer yöntemlerden ayıran en önemli özelliği sözel ifadelerin modele katılmasıdır.

Yöntem, sözel veriye dayanmakta, sayısal veriler de sözelleştirilmektedir ve bulanık mantık yönteminde bu işlem bulanıklaştırma olarak anılmaktadır. Modelin kalbi kural tabanı; "... ve ... ise" şeklinde koşul ve sonuca dayanan ifadelerden oluşmaktadır. Bulanık mantık yöntemi bu yapısı nedeniyle anlaşılması kolaydır ve az bilinen konularda dahi bu şekilde model kurmak mümkündür. Ancak iyi bir model için uzman görüşüne veya ölçüm verilerine ihtiyaç vardır (Aydoğan, 2011).

Bulanık mantık mimarisinin dört ana bölümü vardır. Bunlar; kural tabanı, bulanıklaştırma, çıkarım motoru ve durulaştırma modülleridir (Aydoğan, 2011).

Kural tabanı, karar alma sistemini kontrol etmek için uzmanlar tarafından sunulan tüm kuralları ve zaman koşullarını içerir. Bulanıklaştırma, net sayıları bulanık kümelere dönüştürür. Çıkarım motoru, bulanık girdi ve kurallar arasındaki eşleşme derecesini belirler. Durulaştırma, bulanık kümeleri net bir değere dönüştürür.

Bulanık küme teorisi kapsamında gauss eğrisi, üçgen, yamuk ve singleton tipi üyelik fonksiyonları yaygın olarak kabul görmüştür (Köse, 2010).

Bulanık model (bulanık çıkarım sistemi), bulanık *Eğer İse* kuralları adı verilen bulanık kurallara dayanan sistemlerdir. Genel olarak bulanık kurallar aşağıdaki formdadır;

Kural 1: *Eğer* $x = A_1$ ve $y = B_1$ *İse* $z = N_1$

Kural 2: *Eğer* $x = A_2$ ve $y = B_2$ *İse* $z = N_2$

Burada x ve y öncül kısımdaki girdi değişkenlerince tanımlanan koşulları z ise soncul kısımdaki çıktı değişkenlerince tanımlanan sonuçları ifade eder (Yılmaz ve Arslan, 2005).

Uygulamada sık kullanılan iki bulanık model vardır. Bunlar Mamdani bulanık modeli ve Sugeno bulanık modelidir (Yılmaz ve Arslan, 2005).

3.6.1. Mamdani tipi bulanık modellemenin esasları

Diğer bulanık mantık modellerinin temelini oluşturan bu model çok kolay oluşturulur ve insan davranışlarına çok uygun olduğu için oldukça fazla kullanım alanına sahiptir. Mamdani bulanık mantığı, sözel değişkenlerin işlem durumlarını tanımlar ve bu değişkenler kontrol kuralları için girdi olarak kullanılır. Giriş değişkenleri sistemin temelini oluşturur (Mamdani ve Assilian, 1975). Kapalı formdaki üyelik fonksiyonları hem girdi hem de çıktı değişkenleri için kullanılır (Akyılmaz, 2005).

3.6.2. Takagi – Sugeno bulanık modellemenin esasları

1985 yılında ilk defa kullanılmaya başlanan Takagi – Sugeno bulanık mantık ya da Sugeno bulanık mantık modeli, esasen Mamdani bulanık mantık modelleme yönteminden esinlenerek geliştirilmiştir. Tıpkı Mamdani modelinde olduğu gibi, girdi değişkenleri bulanıklaştırılır ve bulanık mantık işlemleri aynen yapılır. İki yöntem arasındaki fark çıktı üyelik fonksiyonlarındadır. Sugeno tipi bulanık modellemede çıktı üyelik fonksiyonları sadece lineer ya da sabittir (Yılmaz ve Arslan, 2005).

Tablo 3.1’de Mamdani ve Sugeno yöntemlerinin genel bir karşılaştırmasına yer verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi modellenecek sisteme dair sayısal veriler mevcut ise Sugeno yönteminin seçilmesi daha uygundur (Aydoğan, 2011). Bu tez çalışması kapsamında bulanık mantık ile enterpolasyon hesaplamalarında Sugeno bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 3.1: Mamdani ve Sugeno yöntemlerinin karşılaştırılması (Aydoğan, 2011).

Mamdani Yöntemi	Sugeno Yöntemi
Sezgiseldir	Hesap hızlı ve verimlidir
Yaygın olarak kabul görmüştür	Doğrusal yöntemlerle iyi çalışır (uyumludur)
İnsan düşünce yapısına uygundur	Optimizasyon tekniklerine iyi uyum sağlar
Sonuçlar bulanıktır	(ANFIS kullanılabilir)
Durulaştırma gerektirir	Sonuç yüzeyi her zaman süreklidir
	Matematiksel analizlere uygundur

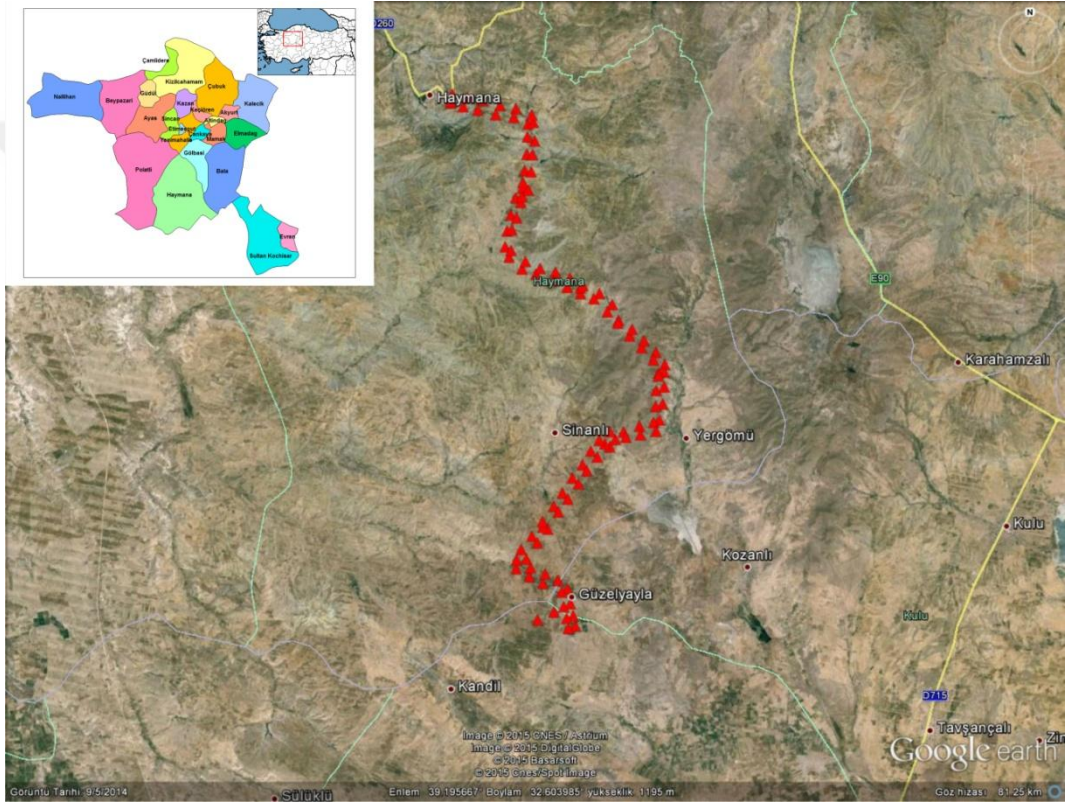
Matlab ticari yazılımının bulanık mantık modülü altındaki ANFIS editörü kullanılarak Sugeno yöntemi ile jeoit yüksekliğinin hesaplanması işlem adımları şu şekildedir. İlk önce tüm noktalara ait enlem, boylam ve jeoit yükseklikleri verilerinin bulanık modeli oluşturması ve oluşturulan modelin doğruluğunun test edilmesi için eğitim ve test verileri olarak iki farklı gruba ayrılması gerekir. Veri setleri oluşturulurken konum bilgilerinin kaç alt bölgeye ayrılacağını ve üçgen, yamuk gibi üyelik fonksiyonlarından hangisinin seçileceği belirlenmelidir (Yılmaz ve Arslan, 2005).



- ortalama yüksekliği ise 965.075 m'dir.

Konumsal dağılımları Şekil 4.2'de gösterilen 2. çalışma Alanında (Haymana), toplam 110 adet C3 dereceli nirengi noktası kullanılmıştır. Haymana (Ankara) ilçesindeki 2. çalışma alanına ait noktalar şeritvari bir yapıdadır. Kullanılan noktalarda;

- en düşük nokta yüksekliği 1004.788 m
- en yüksek nokta yüksekliği 1389.924 m
- ortalama yüksekliği ise 1134.945 m'dir.



Şekil 4.2 Çalışma Alanı 2 – Haymana (Ankara)

Noktaların koordinatları ve elipsoidal yükseklikleri GNSS ile ölçülmüş, ortometrik yükseklik değerleri ise nivelman yapılarak elde edilmiştir.

4.2. Uygulamanın Metodolojisi

Uygulamanın gerçekleştiği ve konumsal dağılımları Şekil 4.1'de gösterilen alan ağ yapısına sahip 1. Çalışma Alanında (Burdur), toplam 101 adet C3 dereceli nirengi noktasının koordinatları ve GNSS/Nivelman tekniği ile ölçülmüş elipsoidal ve ortometrik yükseklik değerleri veri olarak kullanılmıştır. Uygulamanın gerçekleştiği ve

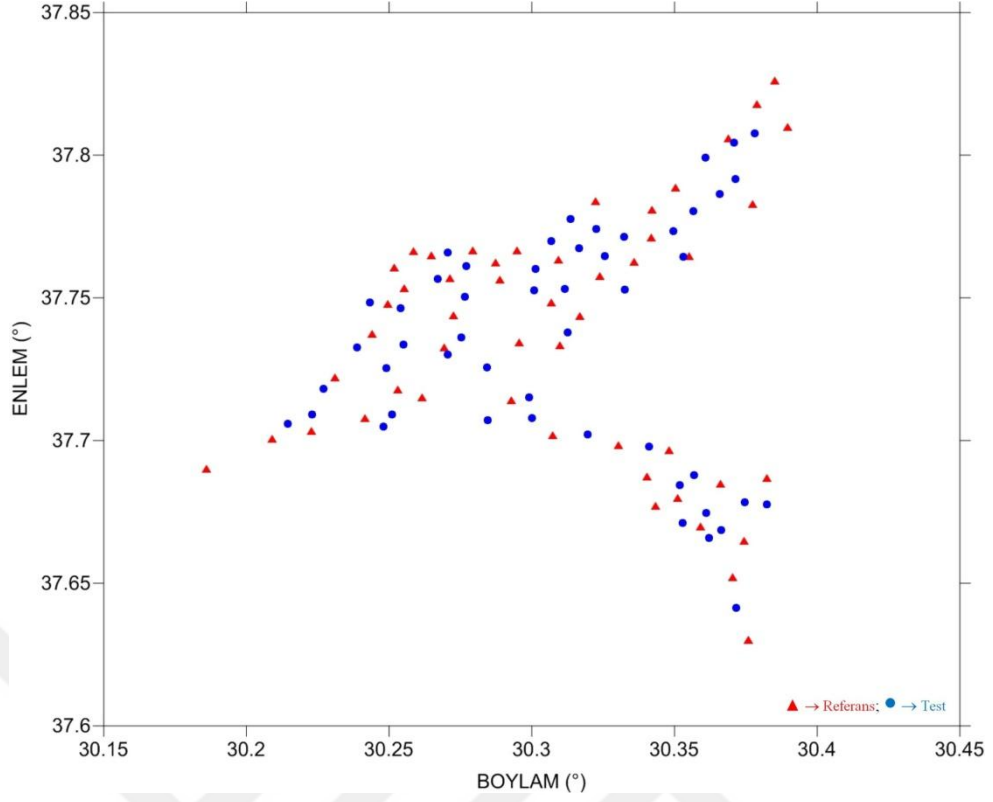
konumsal dağılımları Şekil 4.2’de gösterilen şeritvari ağ yapısına sahip 2. Çalışma Alanında (Haymana), toplam 110 adet C3 dereceli nirengi noktalarının GNSS ölçülerinden elde edilmiş olan enlem, boylam (ya da sağa değer, yukarı değer), elipsoit yükseklikleri ve nivelman ölçmelerinden elde edilmiş olan ortometrik yükseklik değerleri kullanılmıştır. Öncelikle ortometrik ve elipsoit yüksekliklerden (1.1) eşitliğinden faydalanılarak jeoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Jeoit yüzeyi hesaplamalarında yatak koordinatlar bağımsız değişken, jeoit yüksekliği bağımlı değişken olarak işleme konmuştur.

Uygulamanın gerçekleştiği her iki çalışma alanında da veri seti olarak kullanılan noktalar referans (dayanak) ve test noktaları olarak iki gruba ayrılarak kullanılmıştır. Referans veri setleri, uygulamada kullanılan enterpolasyon yöntemlerinde jeoit yüzeyinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Jeoit yüzeyi modellemedeki nokta yoğunluğunun enterpolasyon sonuçlarına etkisini inceleyebilmek amacıyla mevcut veri setlerinden dört farklı jeoit modeli oluşturulmuş, tüm hesaplamalar bu dört modele göre gerçekleştirilmiştir (Tablo 4.1).

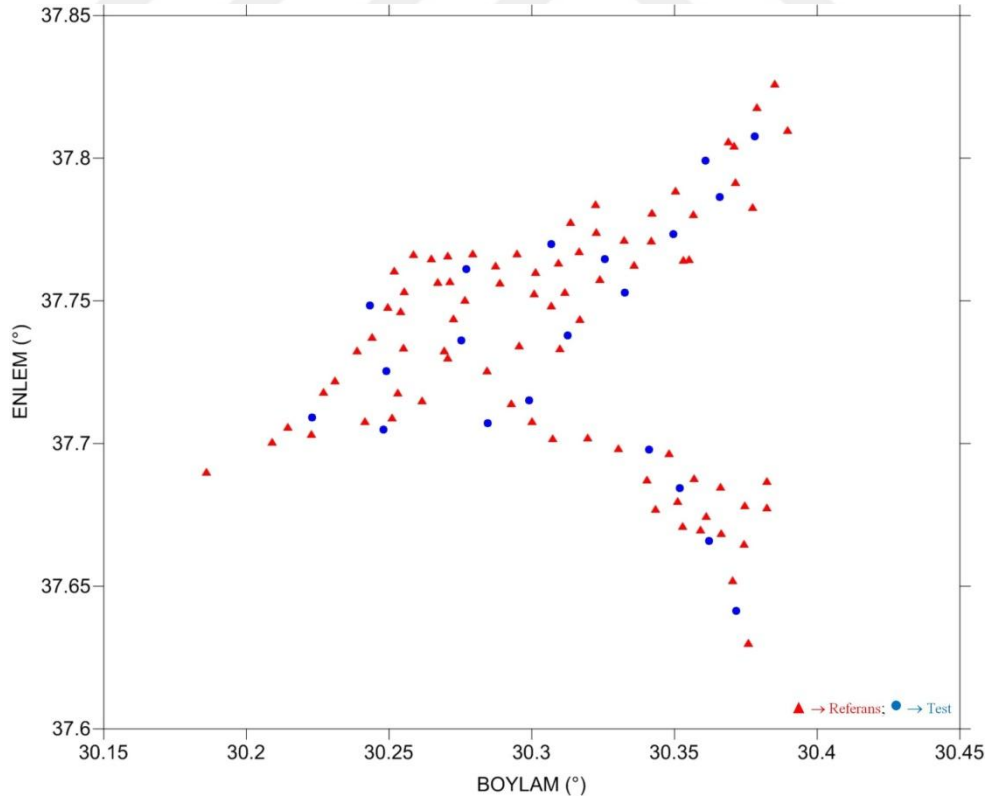
Tablo 4.1 Çalışma alanlarında jeoit modellemede kullanılan nokta yoğunlukları

	Model No	Nokta Sayısı		Toplam Nokta Sayısı
		Referans	Test	
1. ÇALIŞMA ALANI (BURDUR)	1	51	50	101
	2	81	20	101
2. ÇALIŞMA ALANI (HAYMANA)	3	60	50	110
	4	90	20	110

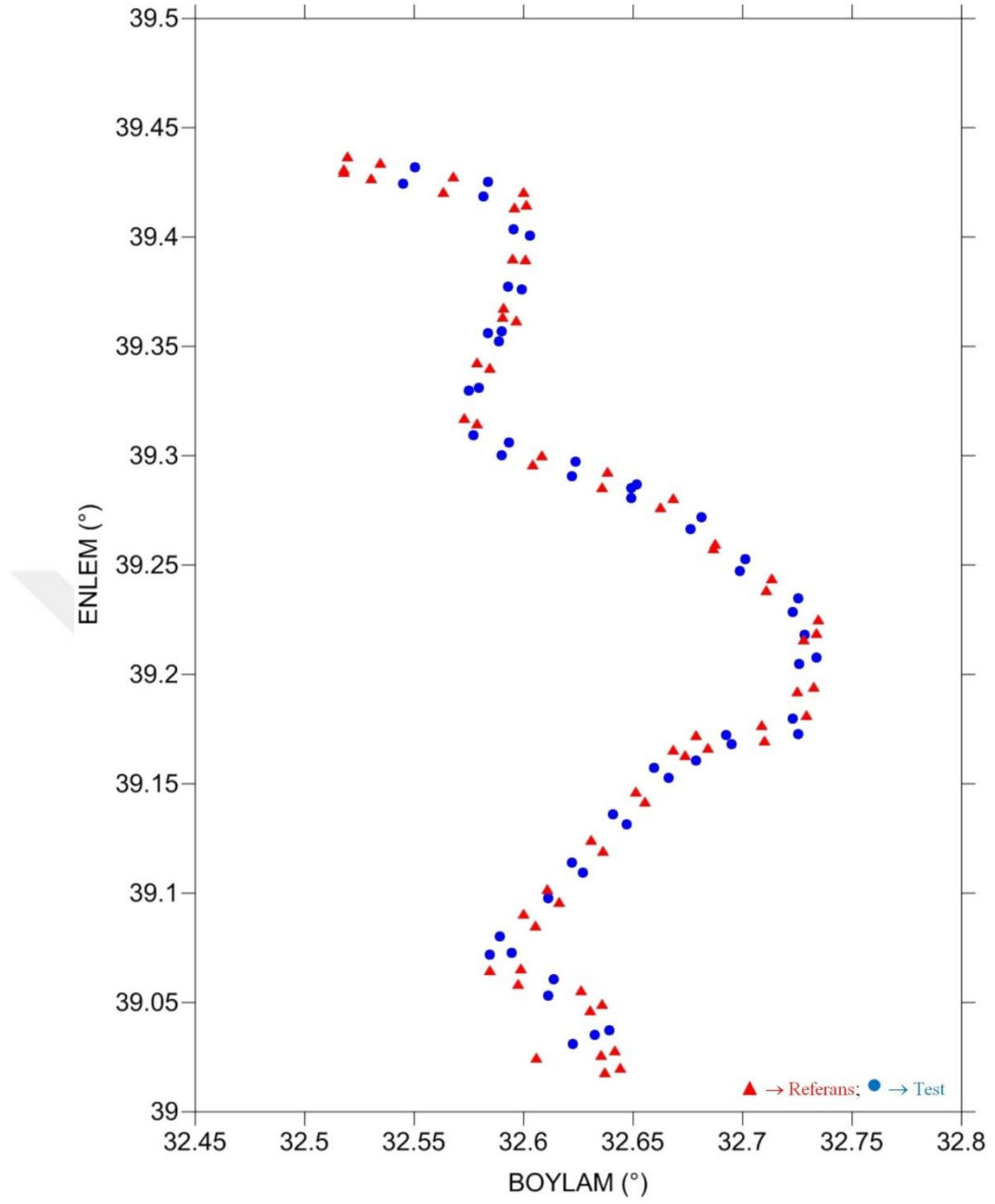
1. ve 2. model Burdur’da, 3. ve 4. model ise Haymana’da yer almaktadır. 1. modelde test verisi olarak seçilen noktalar, 2. modelde test verisi olarak seçilen aynı noktaları içermektedir. 3. modelde test verisi olarak seçilen noktalar, 4. modelde test verisi olarak seçilen aynı noktaları içermektedir.



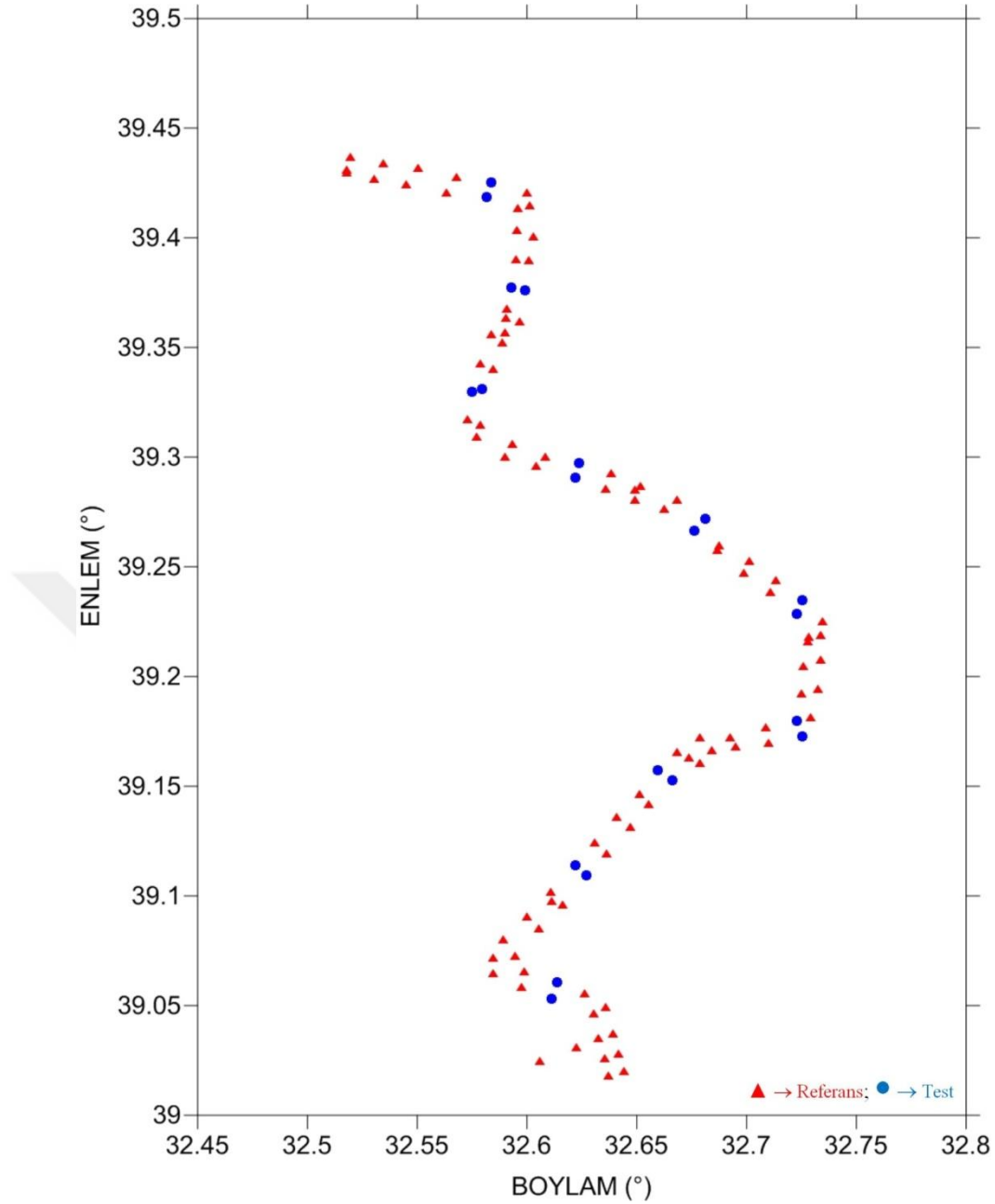
Şekil 4.3 Burdur 1 no'lu çalışma alanında 51 referans – 50 test noktalarının (Model 1) dağılımı



Şekil 4.4 Burdur 1 no'lu çalışma alanında 81 referans – 20 test noktalarının (Model 2) dağılımı



Şekil 4.5 Haymana 2 no'lu çalışma alanında 60 referans – 50 test noktalarının (Model 3) dağılımı



Şekil 4.6 Haymana 2 no'lu çalışma alanında 90 referans – 20 test noktalarının (Model 4) dağılımı

Polinomlarla enterpolasyon yöntemi ile jeoit yüksekliklerinin kestiriminde Ms Excel ticari yazılımı kullanılmıştır. Polinom derecesi 2' den başlanarak 5'e kadar hesaplama yapılmıştır. Burada oluşturulan referans yüzeylerinin karesel ortalama hataları 3. dereceden itibaren birbirine yaklaştığı veya değer büyümeye başladığı için 5. dereceden daha yüksek dereceli polinom yüzeylerinin hesaplanmasının çok anlamlı olmayacağı değerlendirildiğinden 5 ten daha yüksek derecedeki modellerin hesaplanmasına gerek duyulmamıştır.

Uygulama sırasında kullanılacak matrislerin kondisyonunu bozmamak için noktaların yatay konum değerleri normlandırılmıştır. Normlandırma işleminden sonra bilinmeyenler en küçük kareler (EKK) yöntemi ile çözülmüştür.

Polinomlarla enterpolasyon işlemlerinde, polinomun derecesine arttıkça polinom katsayıları da artmaktadır. Student Dağılımı kullanılarak ortaya çıkan bu katsayıların anlamlı olup olmadıklarının test edilmesi gerekir. Bu test yönteminde, a_i katsayısı ve bunun karesel ortalama hatası m_a arasındaki oranın mutlak değeri

$$\left| \frac{a_i}{m_a} \right| \quad (4.1)$$

test değeri

$$T_{f,1-\frac{\alpha}{2}} \quad (4.2)$$

ile karşılaştırılarak anlamlı polinom katsayıları tespit edilir (Demirel, 2003).

Polinom katsayılarının test edilmesi işleminde t dağılım tablosundan test sınır değerine bakılır. Eğer katsayılara ait test değeri sınır değerinden büyükse polinom katsayıları anlamlı, aksi durumda yani test sınır değerinden küçükse polinom katsayısı anlamsız kabul edilir. Anlamsız kabul edilen katsayılar elimine edilerek her bir polinom yüzeyi ve katsayıları yeniden hesaplanır. Polinom yüzeylerine ait elde edilen nihai modellerin dereceleri ve karesel ortalama hataları Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2 Polinom referans yüzeylerinin karesel ortalama hata değerleri (m)

ALAN NO	MODEL NO	POLİNOM DERECEŚİ			
		2	3	4	5
1. ÇALIŞMA ALANI (BURDUR)	1	0.041	0.023	0.032	0.030
	2	0.037	0.021	0.033	0.043
2. ÇALIŞMA ALANI (HAYMANA)	3	0.037	0.028	0.027	0.062
	4	0.036	0.027	0.028	0.032

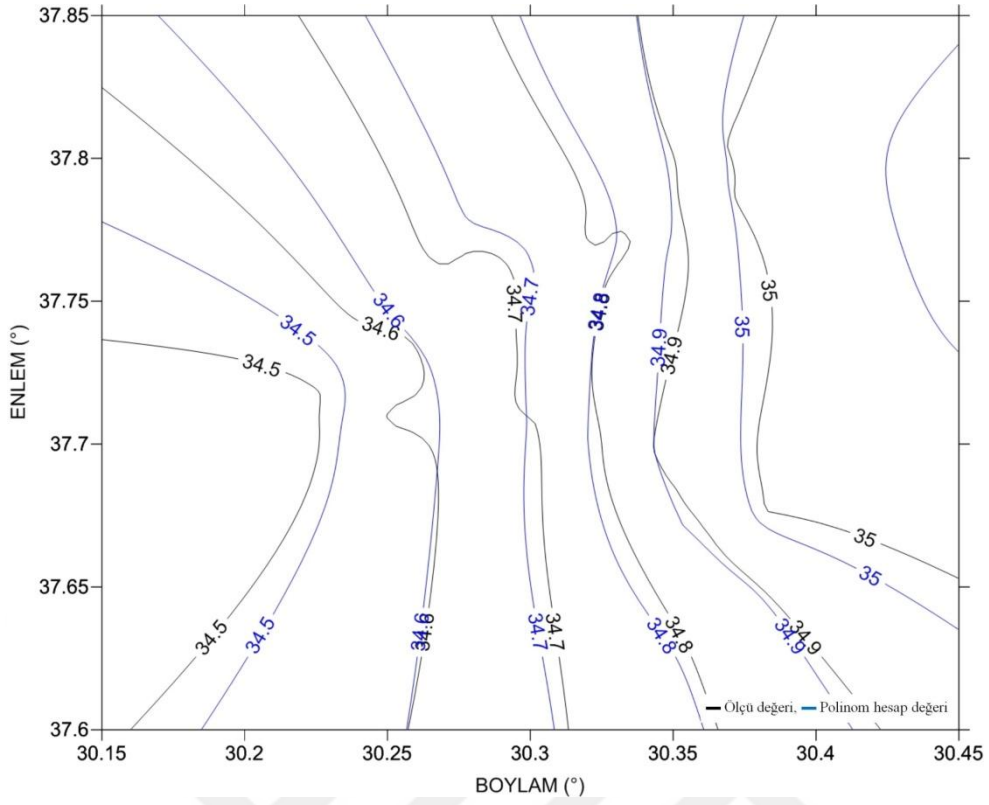
Tablo 4.2 incelendiğinde 4 model için de 2., 3., 4. ve 5. dereceden polinom katsayıları ile jeoit yükseklikleri ve karesel ortalama hataları görülmektedir. Diğer yöntemlerle kıyaslamada her bir model için en küçük karesel ortalama hata değerindeki

polinom derecesi kullanılmıştır. Buna göre Model 1 için 3. derece, Model 2 için 3. derece, Model 3 için 4. derece ve Model 4 için 3. derece polinom yüzeyi kullanılmıştır.

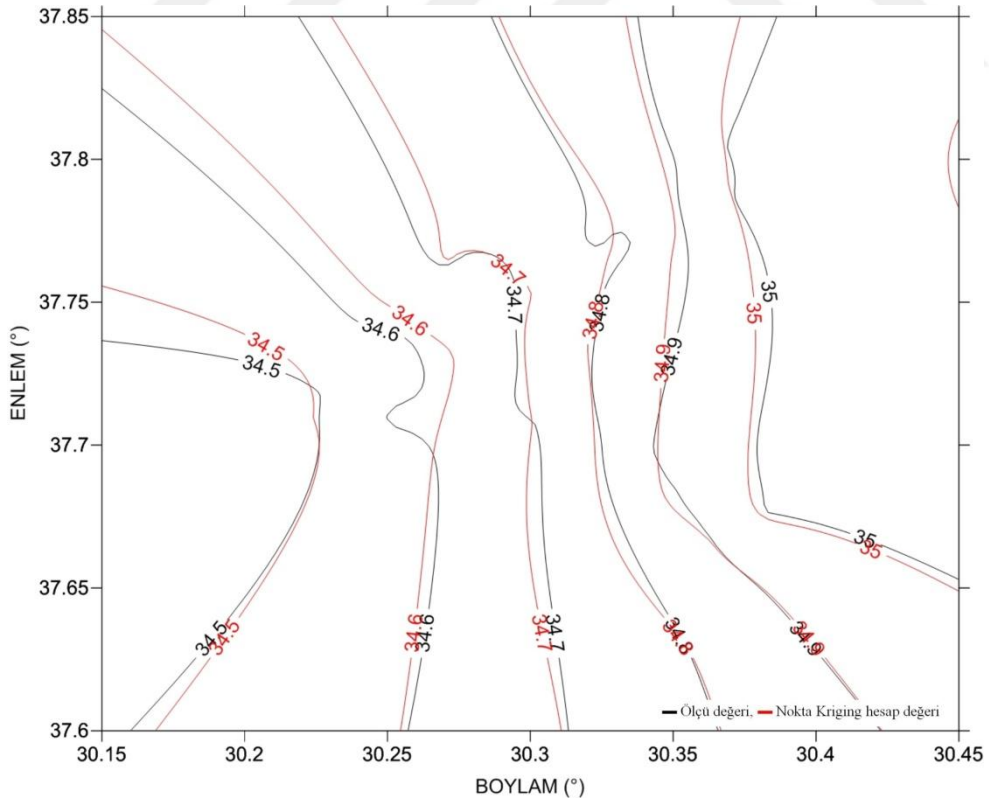
Kriging yöntemi ile jeoit yüksekliklerinin kestiriminde Surfer ticari yazılımında nokta ve blok Kriging yöntemleri ayrı ayrı seçilerek çözüm yapılmıştır. Jeodezik ağ modellerindeki referans olarak seçilen noktalar kullanılarak referans jeoit yüzey modeli oluşturulmuştur. İlk adımda GRID modülü kullanılarak referans noktalarından grid dosyası oluşturulmuştur. Daha sonra MAP modülü altında “eşyükseklik eğrili harita (contour map)” kullanılarak daha önce oluşturulmuş grid dosyasından referans yüzeyi oluşturulmuştur. Referans jeoit yüzeyden, test noktalarının jeoit yükseklikleri GRID modülü altında “düzeltmeler (residuals)” kullanılarak hesaplanmıştır.

Bulanık mantık ile kestiriminde Matlab ticari yazılımında bulanık mantık modülü altındaki ANFIS editöründe matematiksel modellere daha uygun olan Sugeno yöntemi kullanılmıştır. Uygulamada ilk olarak, girdi ve çıktı veri setleri oluşturulmuştur. Referans ve test noktalarının koordinatları (enlem, boylam) girdi verisi olarak ve noktanın jeoit yüksekliği çıktı verisi olarak kullanılmıştır. Enlem ve boylam değerleri sırasıyla 3 ve 2 alt bölgeye ayrılmış ve gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

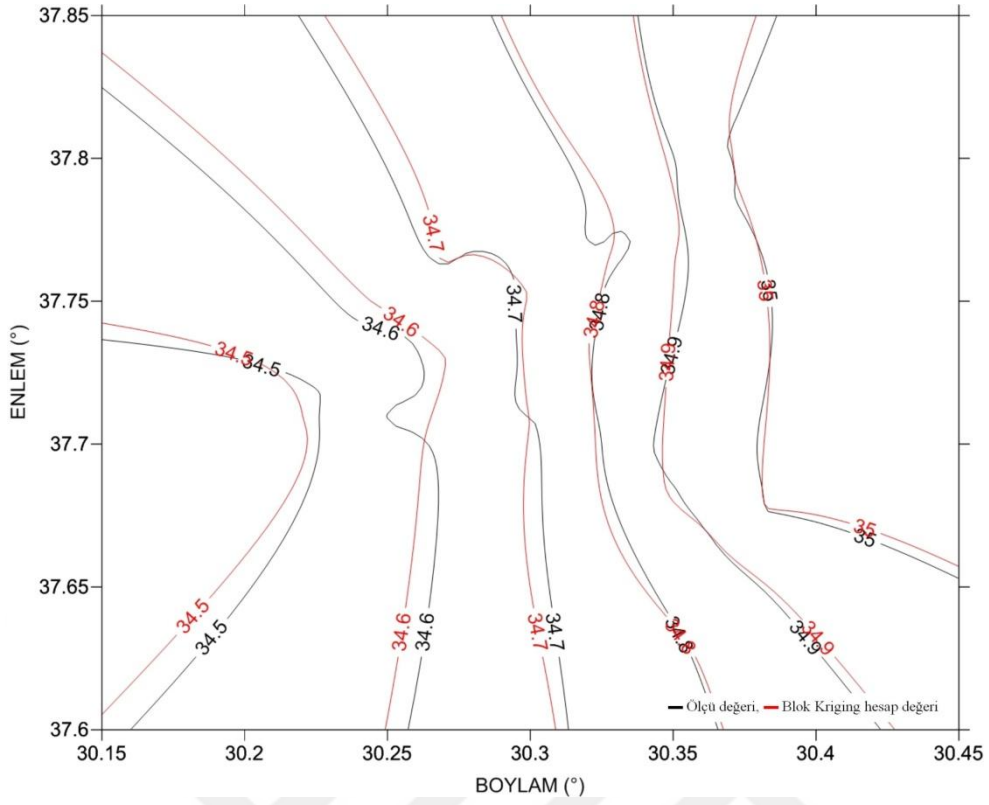
Farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen jeoit yüzeylerinin harita çizimleri gösterim amaçlı olarak noktasal Kriging yöntemine göre Surfer ticari yazılımda yapılmıştır (Şekil 4.7 – 4.22).



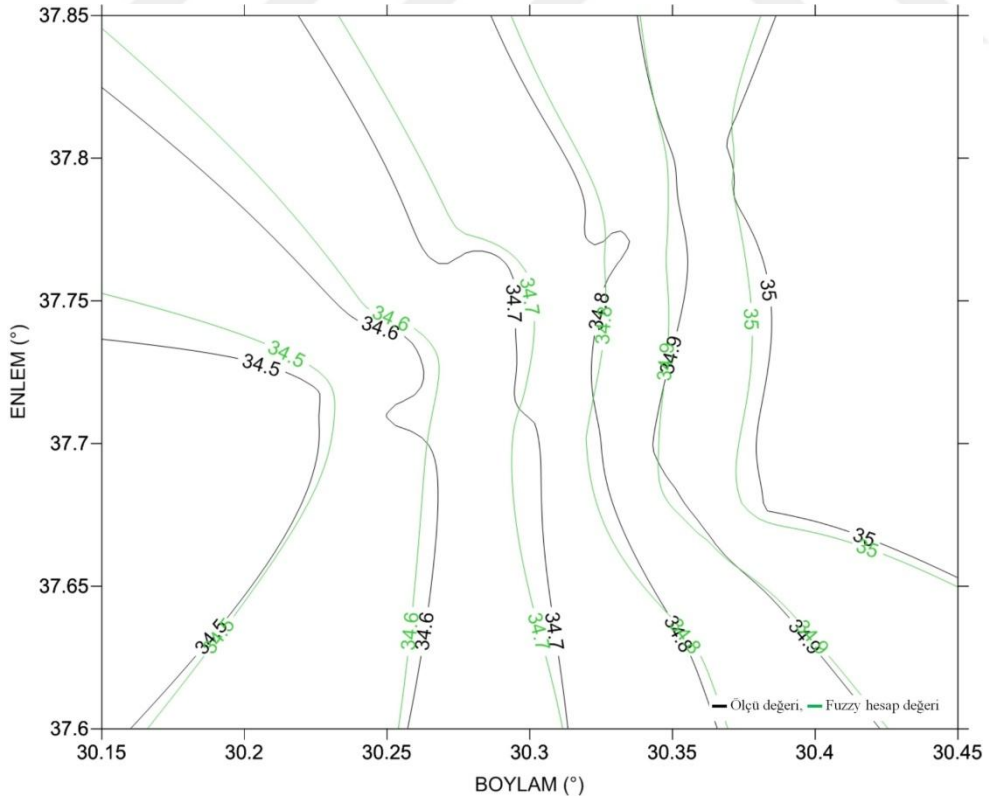
Şekil 4.7 Model 1 test noktaları ölçü ve polinom jeoit yüksekliği haritası (m)



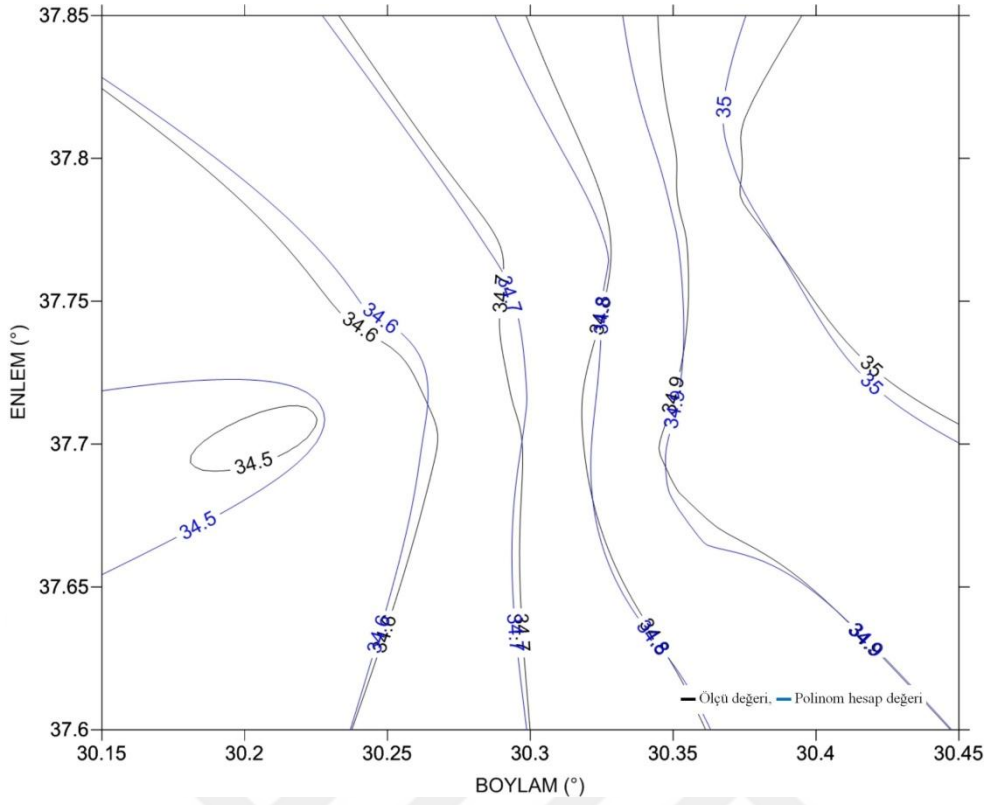
Şekil 4.8 Model 1 test noktaları ölçü ve nokta Kriging jeoit yüksekliği haritası (m)



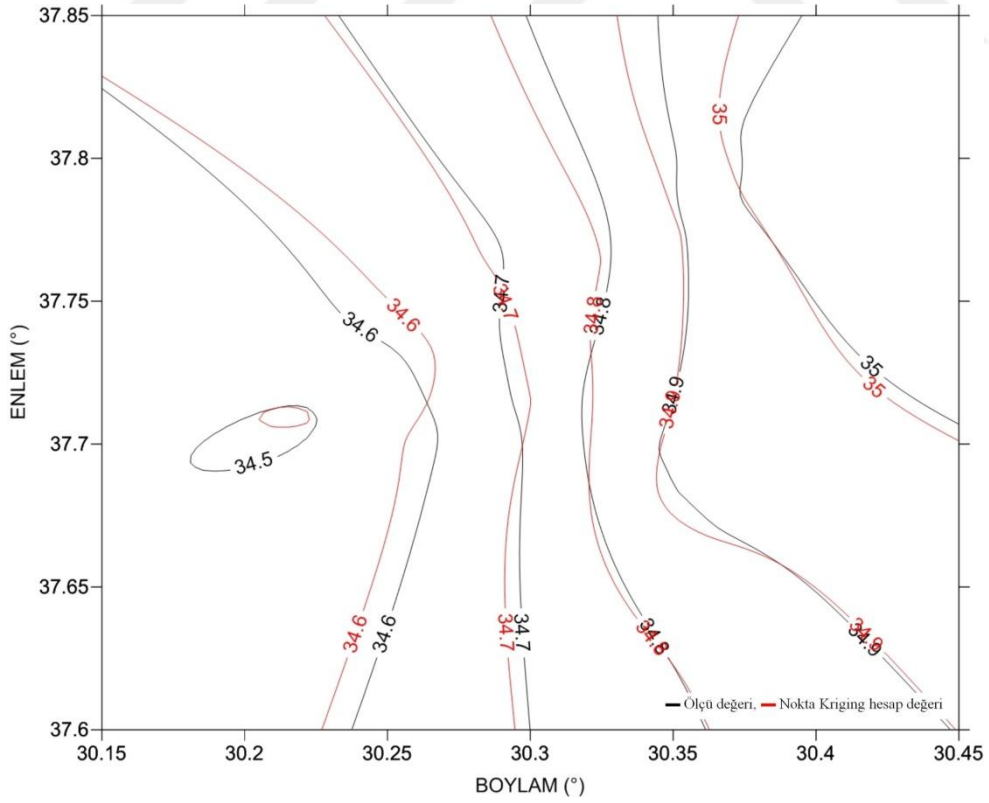
Şekil 40.9 Model 1 test noktaları ölçü ve blok Kriging jeoit yüksekliği haritası (m)



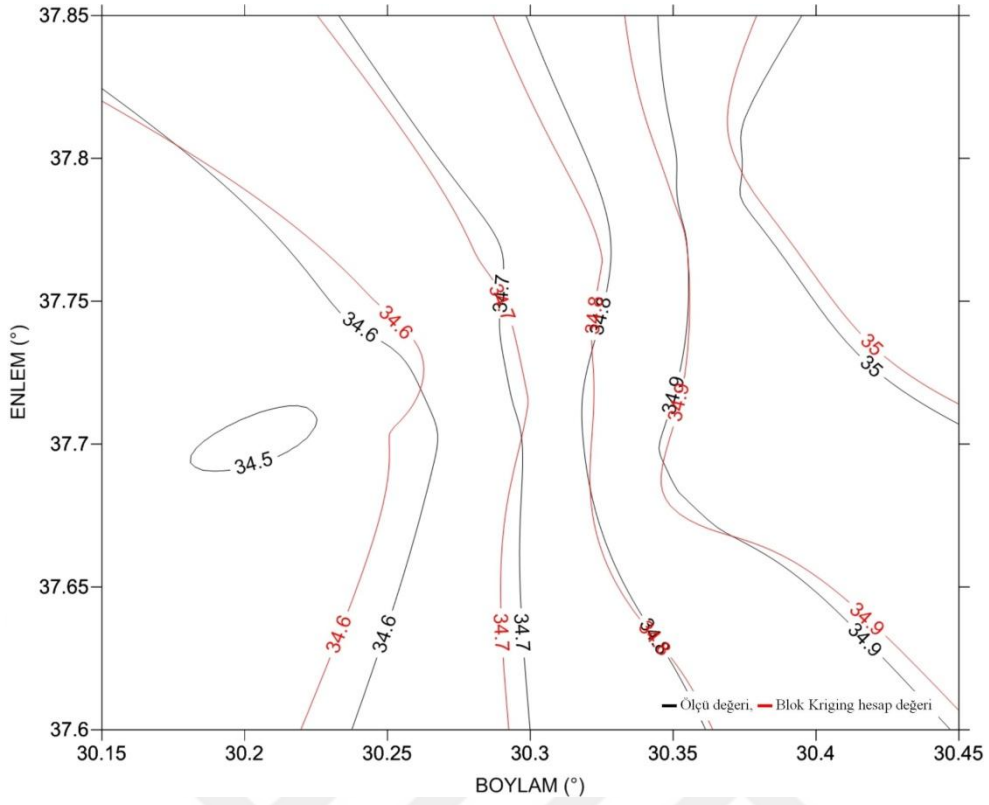
Şekil 4.10 Model 1 test noktaları ölçü ve bulanık mantık jeoit yüksekliği haritası (m)



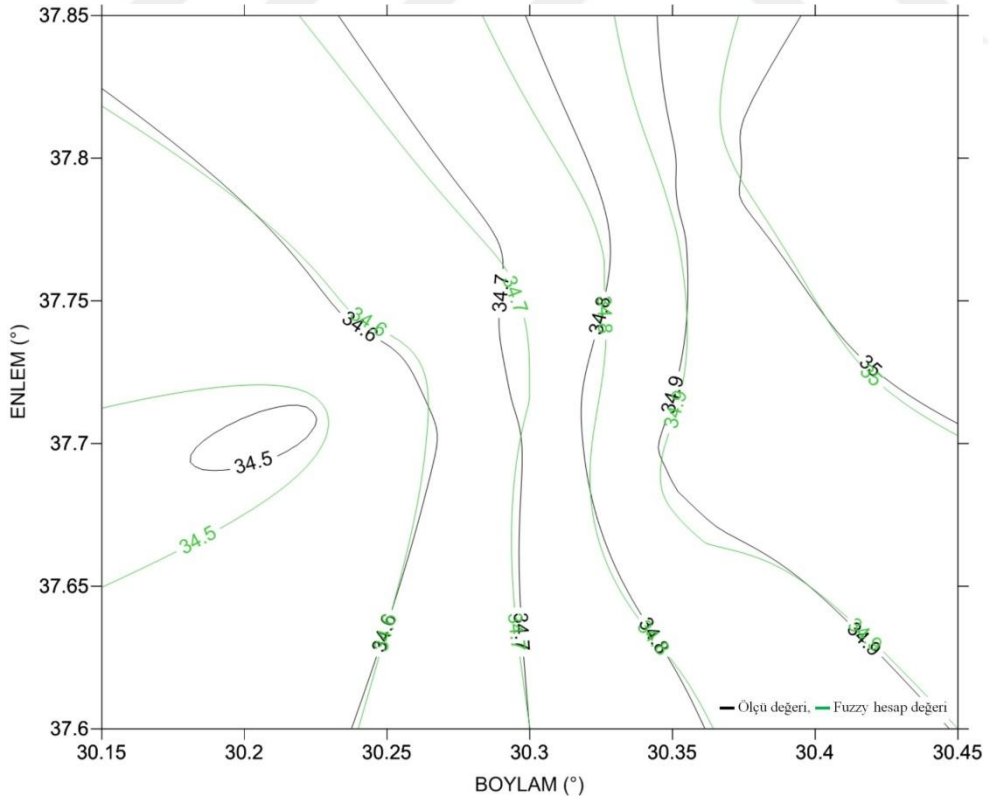
Şekil 4.11 Model 2 test noktaları ölçü ve polinom jeoit yüksekliği haritası (m)



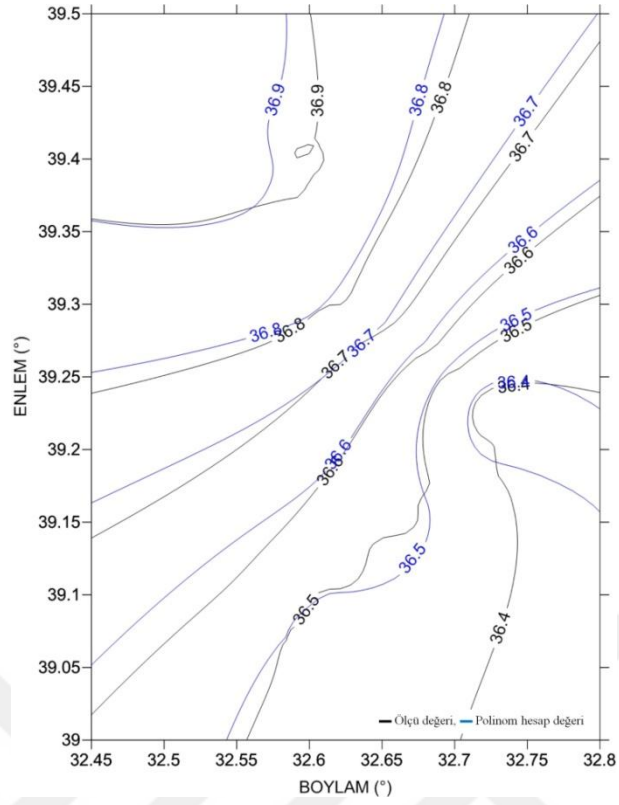
Şekil 4.12 Model 2 test noktaları ölçü ve nokta Kriging jeoit yüksekliği haritası (m)



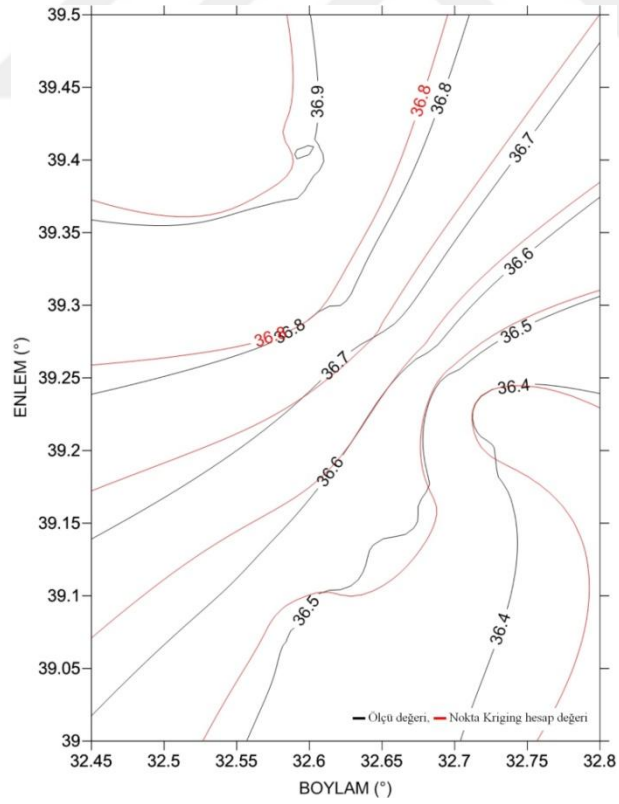
Şekil 4.13 Model 2 test noktaları ölçü ve blok Kriging jeoit yüksekliği haritası (m)



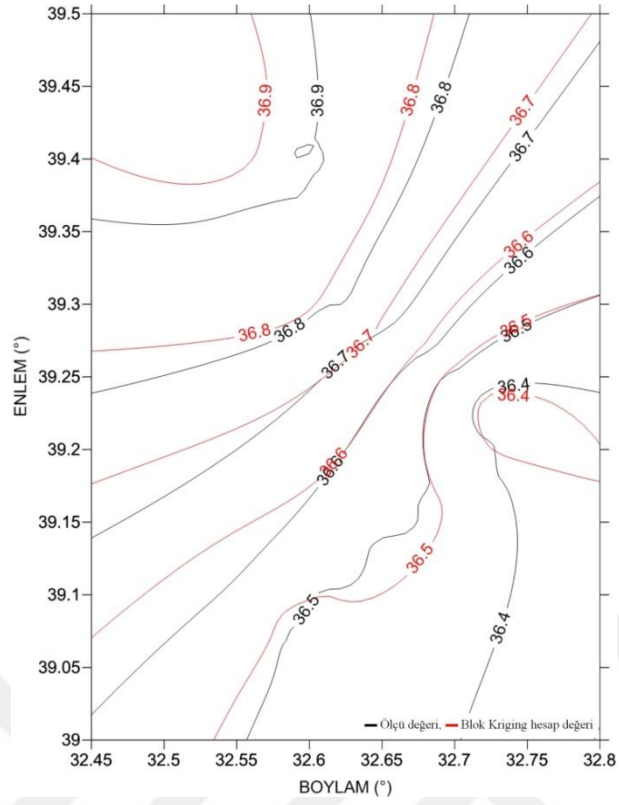
Şekil 4.14 Model 2 test noktaları ölçü ve bulanık mantık jeoit yüksekliği haritası (m)



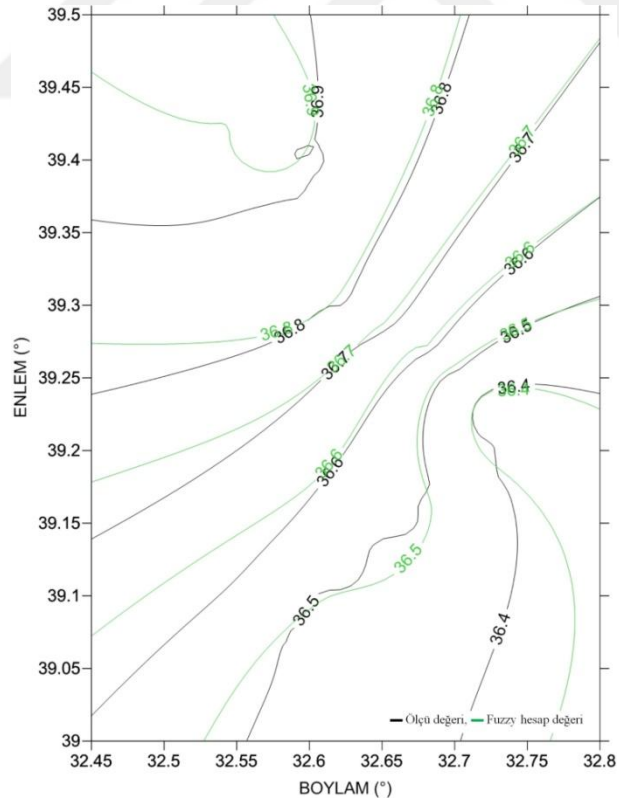
Şekil 4.15 Model 3 test noktaları ölçü ve polinom jeoit yüksekliği haritası (m)



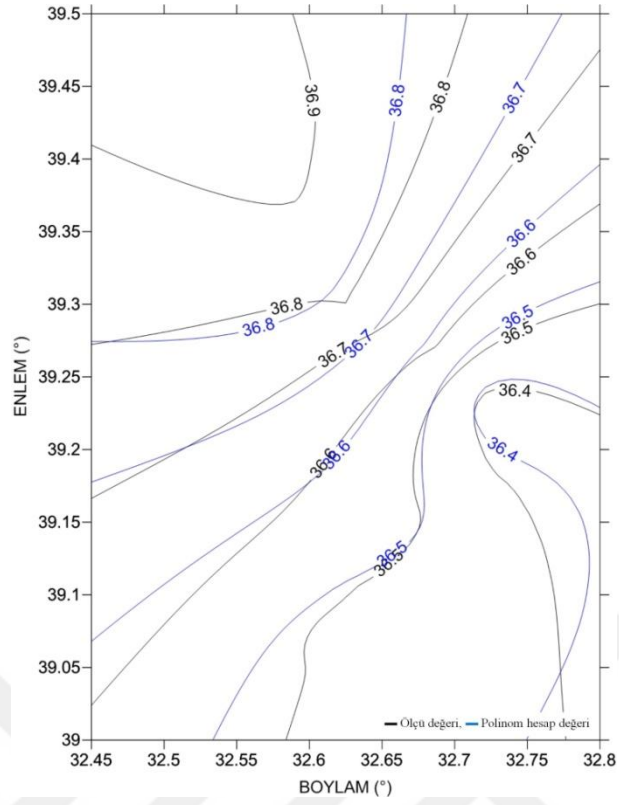
Şekil 4.16 Model 3 test noktaları ölçü ve nokta Kriging jeoit yüksekliği haritası (m)



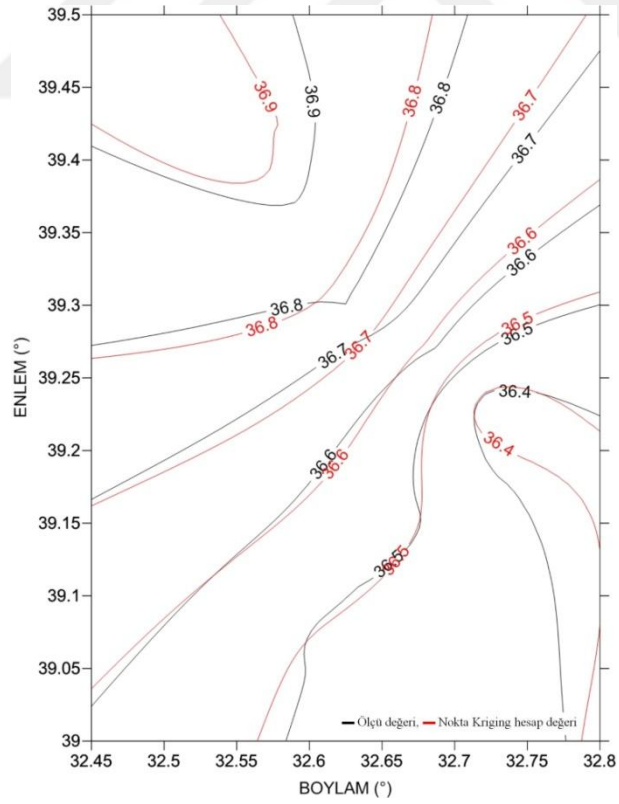
Şekil 4.17 Model 3 test noktaları ölçü ve blok Kriging jeoit yüksekliği haritası (m)



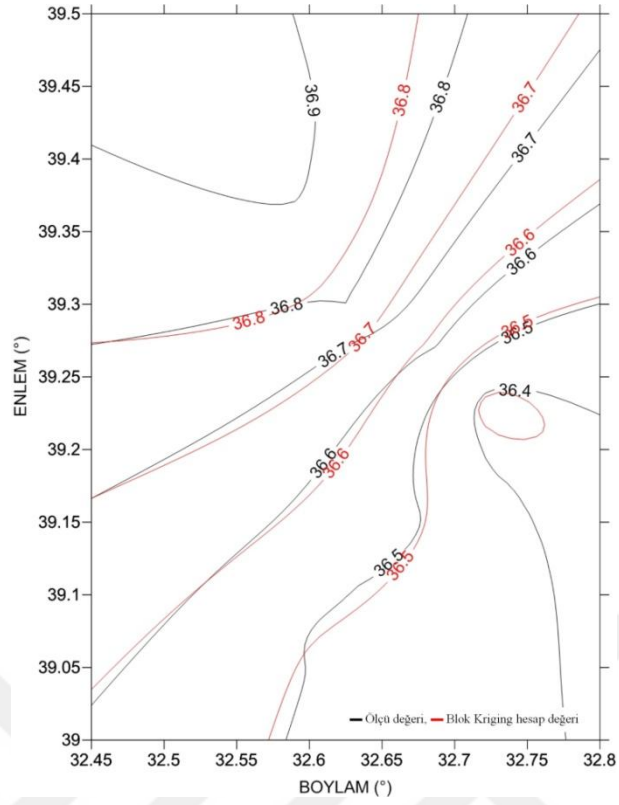
Şekil 4.18 Model 3 test noktaları ölçü ve bulanık mantık jeoit yüksekliği haritası (m)



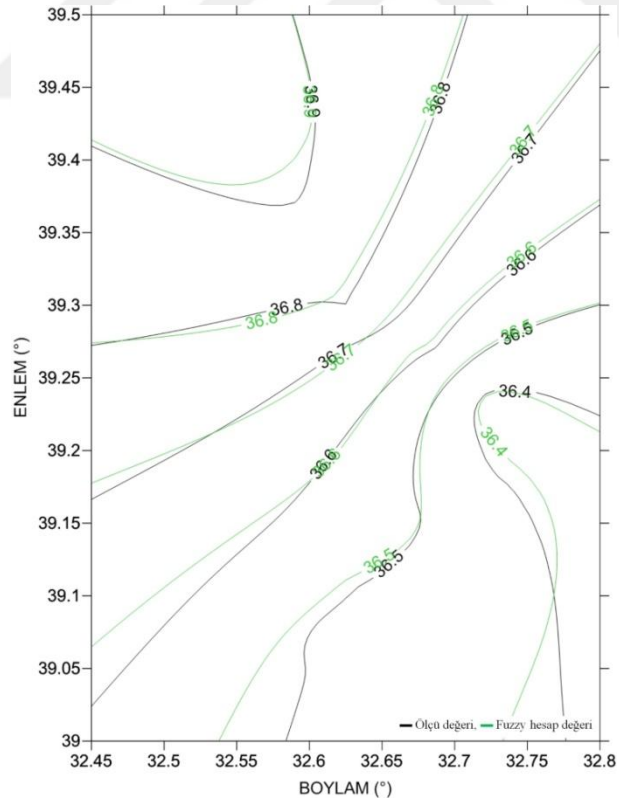
Şekil 4.19 Model 4 test noktaları ölçü ve polinom jeoit yüksekliği haritası (m)



Şekil 4.20 Model 4 test noktaları ölçü ve nokta Kriging jeoit yüksekliği haritası (m)



Şekil 4.21 Model 4 test noktaları ölçü ve blok Kriging jeoit yüksekliği haritası (m)



Şekil 4.22 Model 4 test noktaları ölçü ve bulanık mantık jeoit yüksekliği haritası (m)

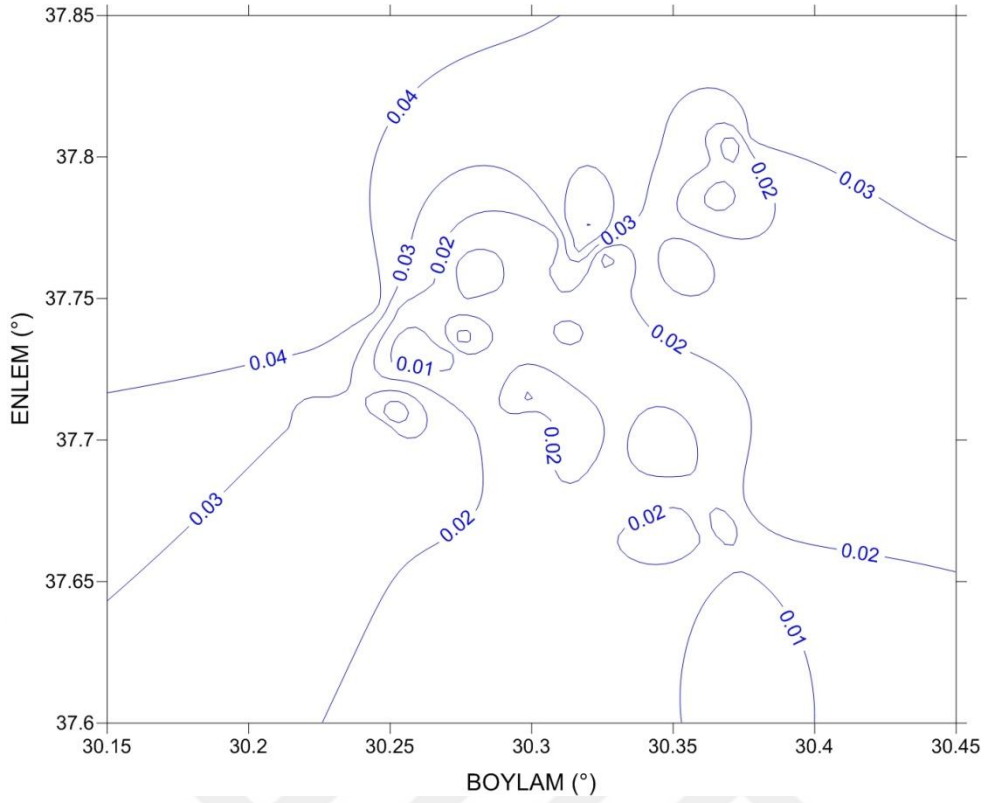
4.3. Bulgular ve Tartışma

Burdur ve Haymana çalışma alanlarında farklı jeodezik ağ modellerindeki dayanak noktalarına göre elde edilen jeoit yüzeylerine göre enterpolasyon yöntemleri kullanılarak söz konusu modellerdeki test noktalarının jeoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Oluşturulan jeoit yüzeylerinin doğruluğunun tespit edilebilmesi amacıyla, test noktalarına ait ölçüden gelen mevcut jeoit yüksekliği değerleri ile hesaplanan jeoit yüksekliği değerleri arasındaki yükseklik farkları (ΔN) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

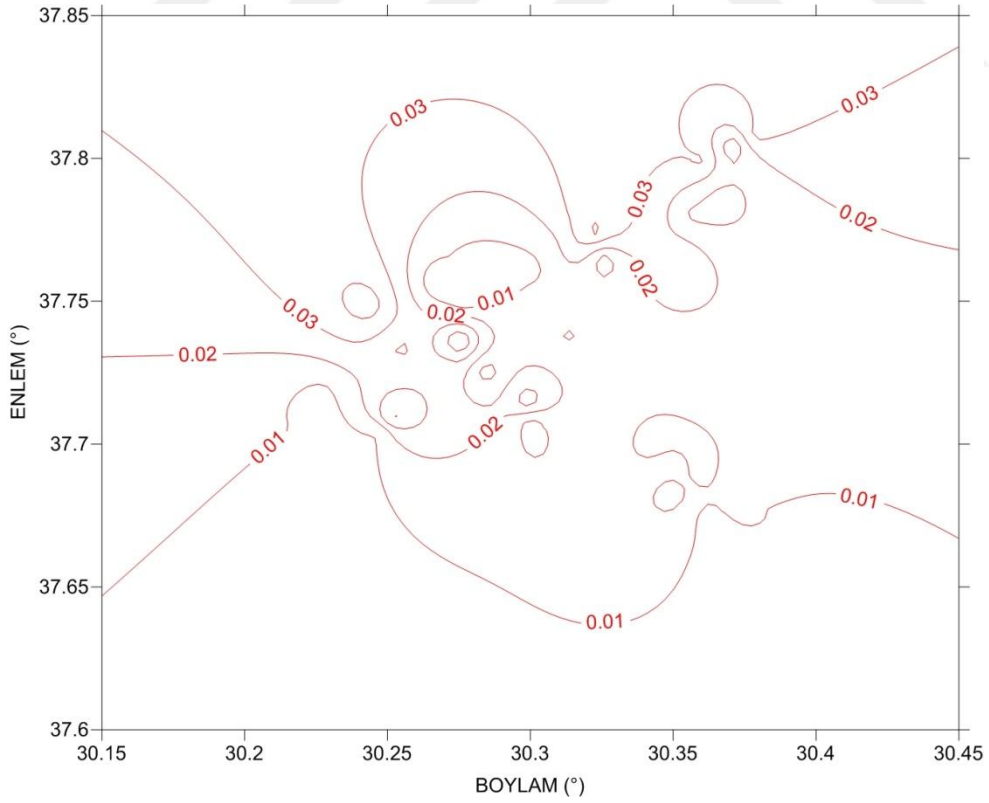
$$\Delta N = N_{ölçü} - N_{hesap} \quad (4.1)$$

Elde edilen ΔN 'lerin istatistiksel analizi için, en küçük, en büyük, ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. ΔN 'lar; bilinen ve hesaplanan yükseklik değerleri arasındaki küçük farklarda bile etkin, enterpolasyon yöntemlerinin hata hesabında yaygın olarak kullanılan standart sapma ölçütüne göre incelenmiştir.

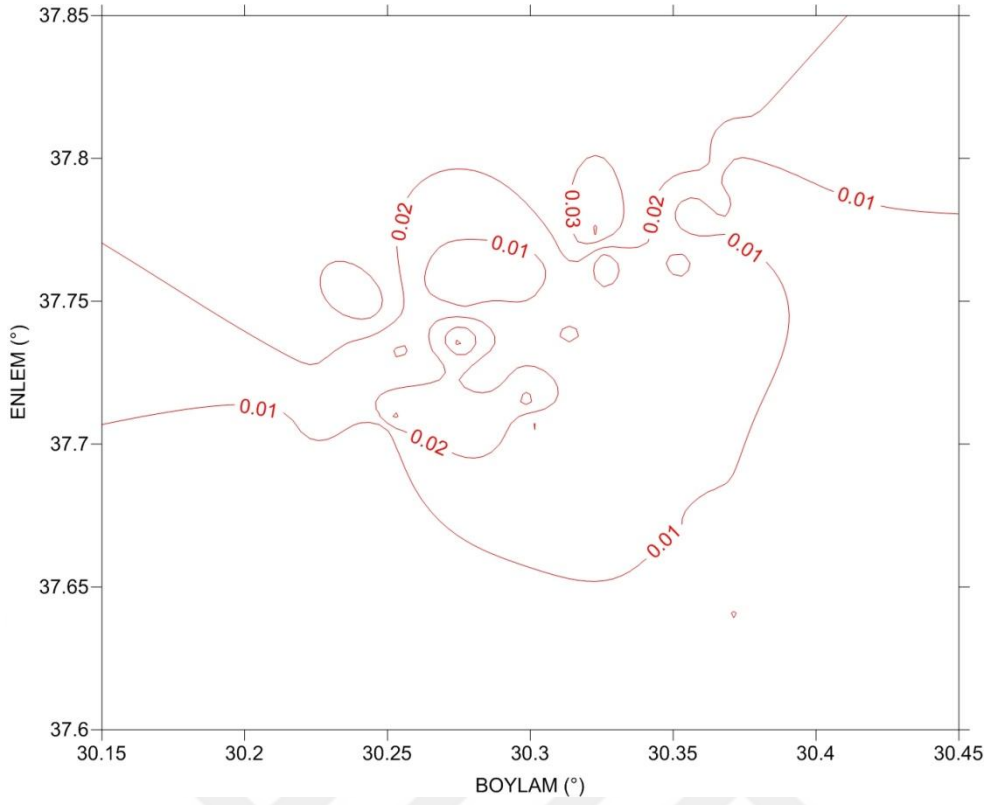
Jeoit modellemede Polinomlarla enterpolasyon, Kriging yöntemleri (nokta, blok) ve bulanık mantık (Fuzzy) ile hesaplanması uygulamasında, bölgesel jeodezik ağ modellerindeki test noktası olarak belirlenmiş noktaların jeoit yükseklik değerleri ile enterpolasyon yöntemleri ile bu noktalara ait hesaplanmış yükseklik değerleri arasındaki farklara göre, yükseklik fark haritaları hazırlanmıştır. Bu sayede elde edilen sonuçların daha kolay değerlendirilmesi beklenmektedir. Farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen jeoit yüzeylerinin fark haritaları çizimleri gösterim amaçlı olarak noktasal Kriging yöntemine göre Surfer ticari yazılımda yapılmıştır (Şekil 4.23 – 4.38).



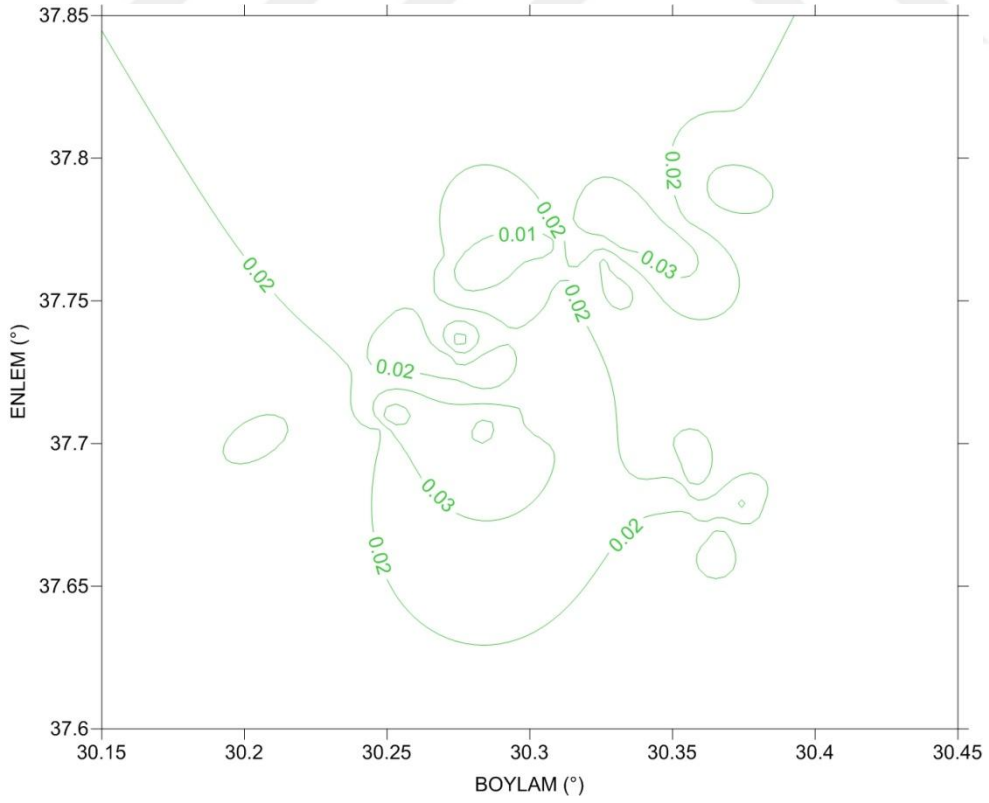
Şekil 4.23 Model 1 için ölçülen ve Polinom yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



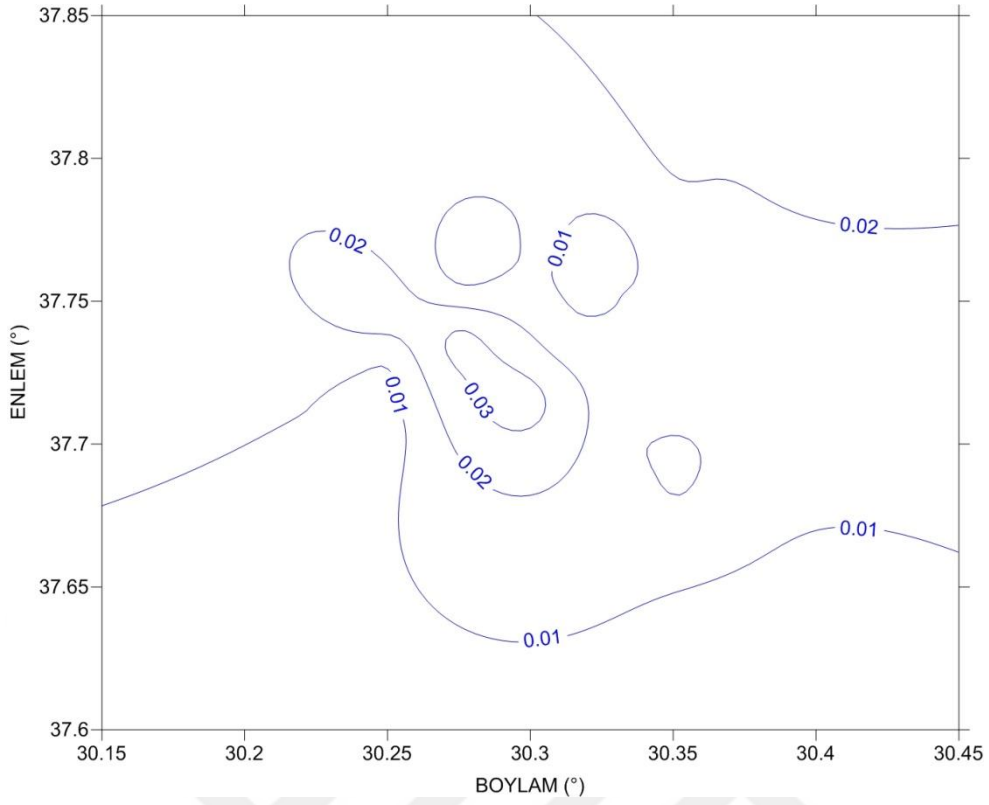
Şekil 4.24 Model 1 için ölçülen ve Kriging (nokta) yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



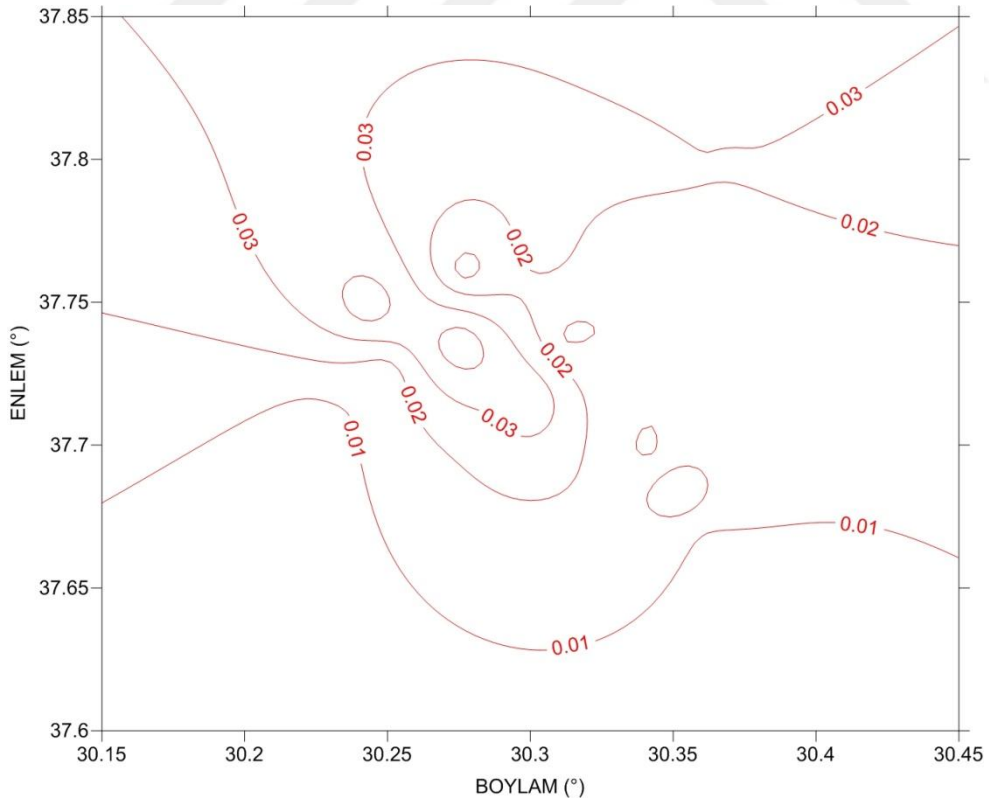
Şekil 4.25 Model 1 için ölçülen ve Kriging (blok) yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



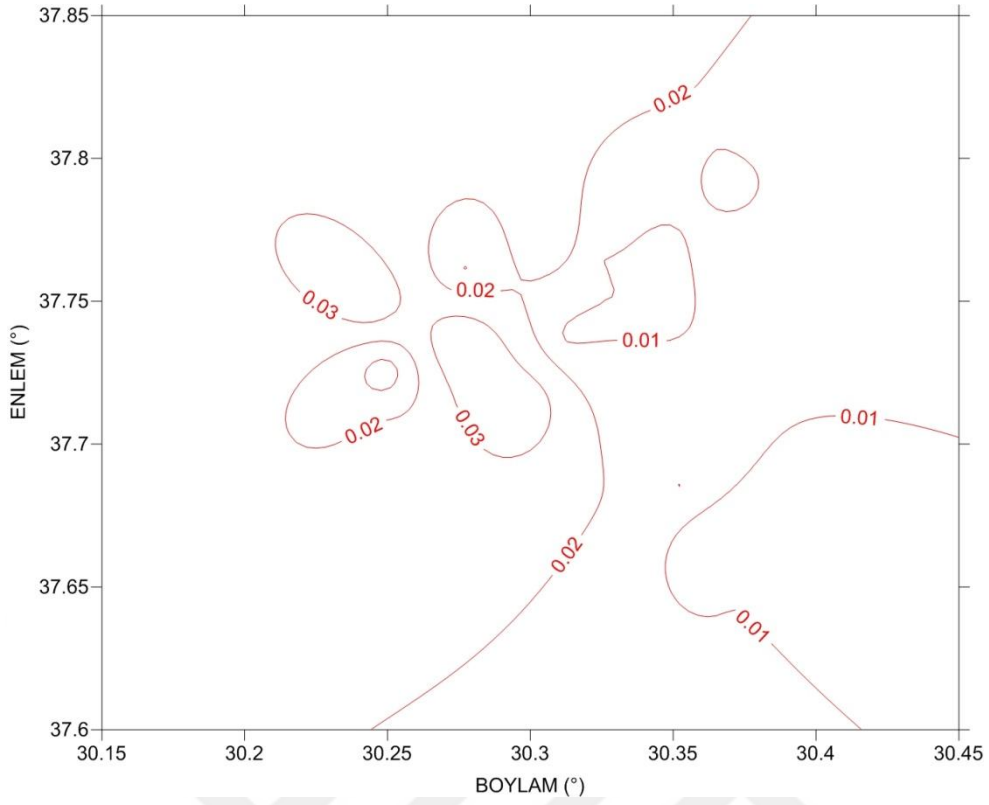
Şekil 4.26 Model 1 için ölçülen ve Fuzzy yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



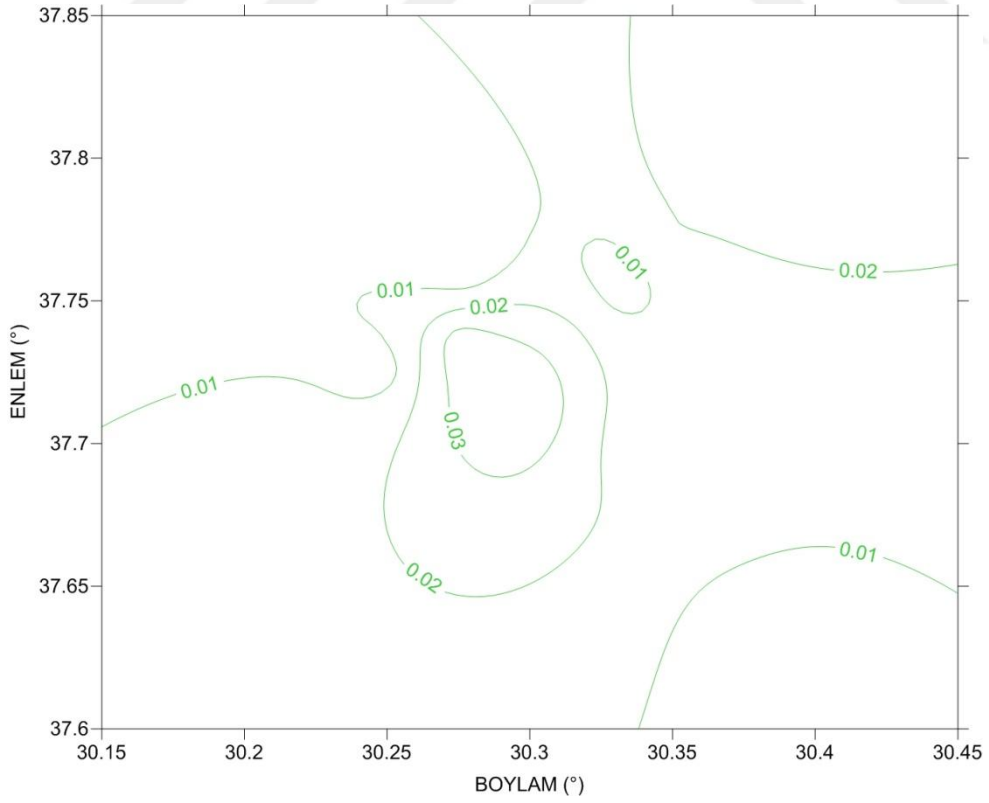
Şekil 4.27 Model 2 için ölçülen ve Polinom yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



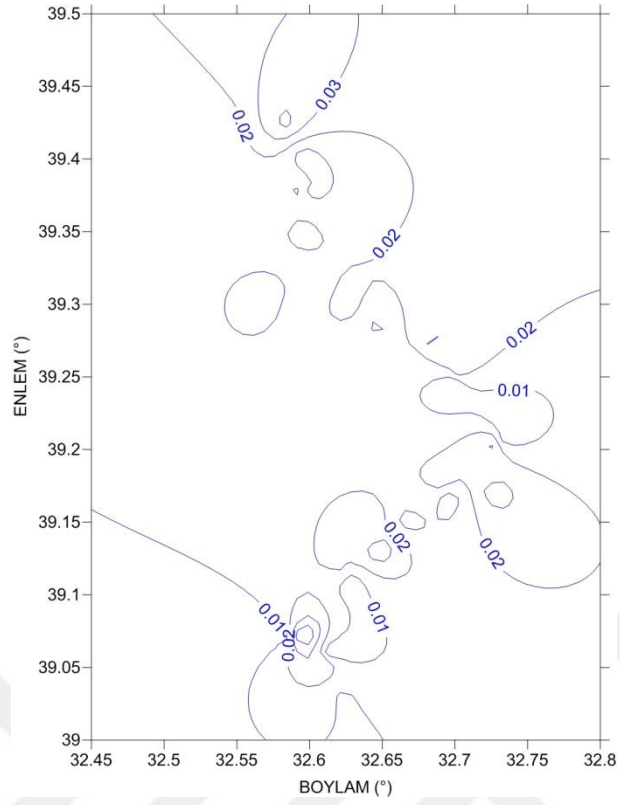
Şekil 4.28 Model 2 için ölçülen ve Kriging (nokta) yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



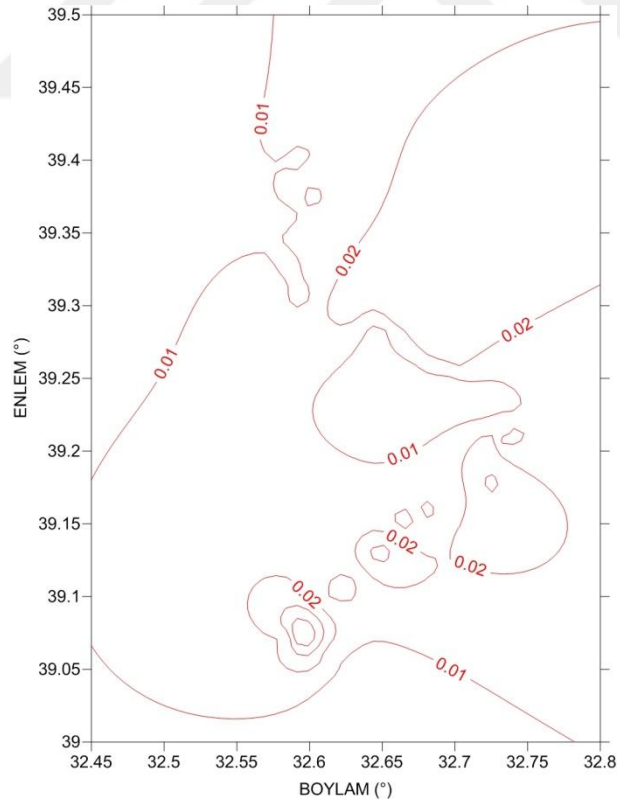
Şekil 4.29 Model 2 için ölçülen ve Kriging (blok) yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



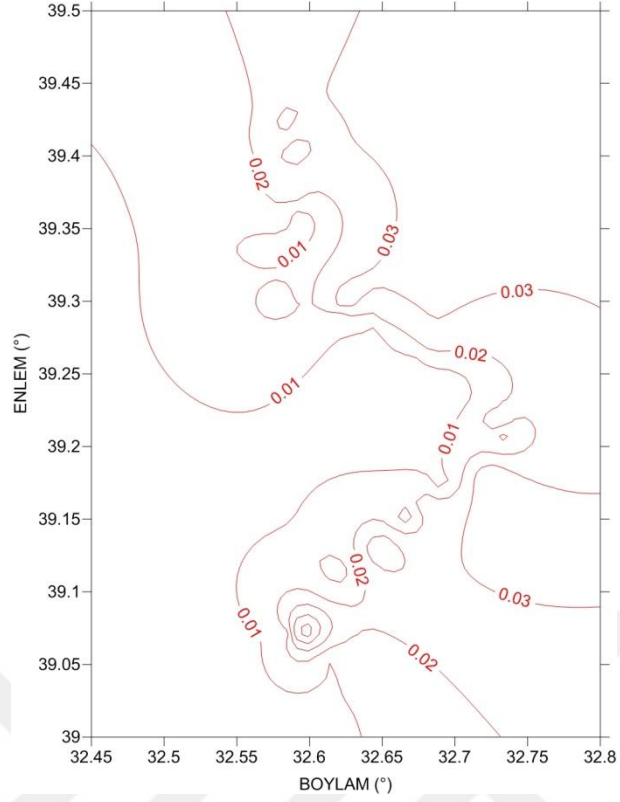
Şekil 4.30 Model 2 için ölçülen ve Fuzzy yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



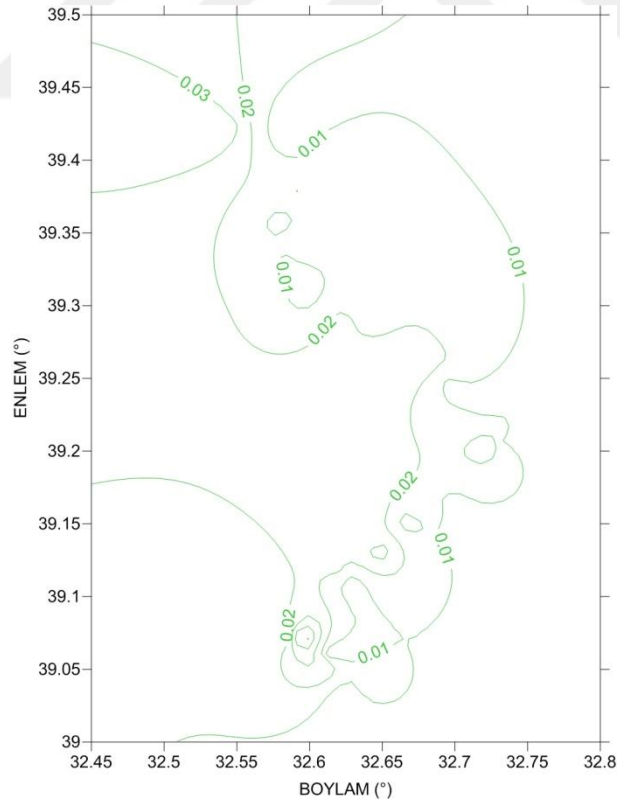
Şekil 4.31 Model 3 için ölçülen ve Polinom yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



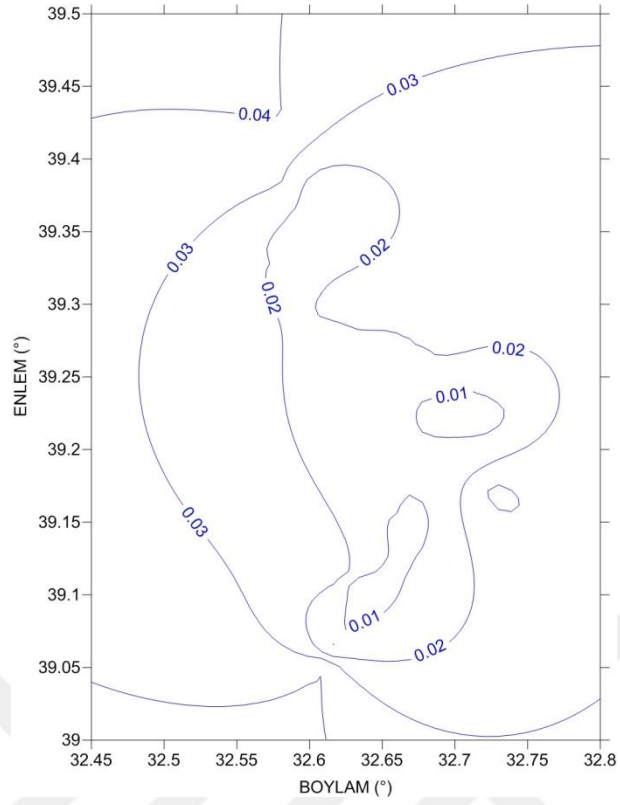
Şekil 4.32 Model 3 için ölçülen ve Kriging (nokta) yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



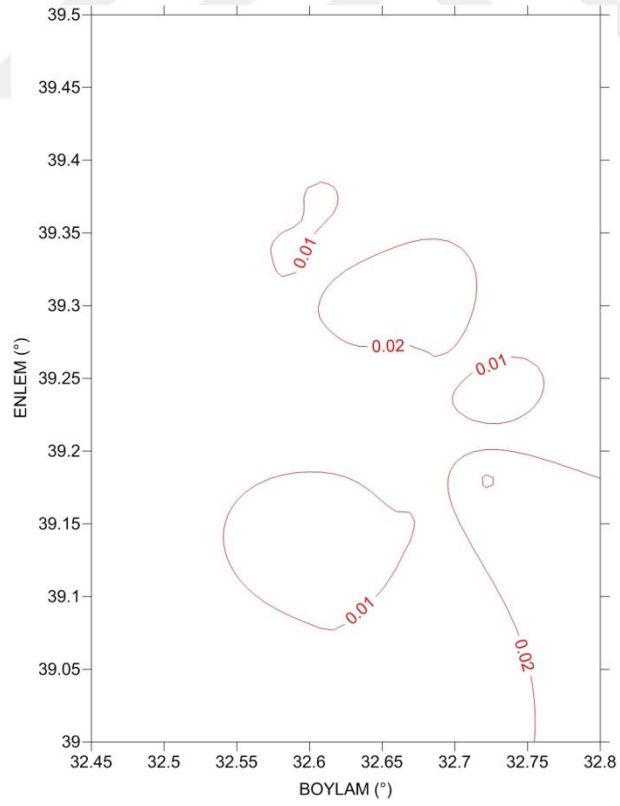
Şekil 4.33 Model 3 için ölçülen ve Kriging (blok) yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



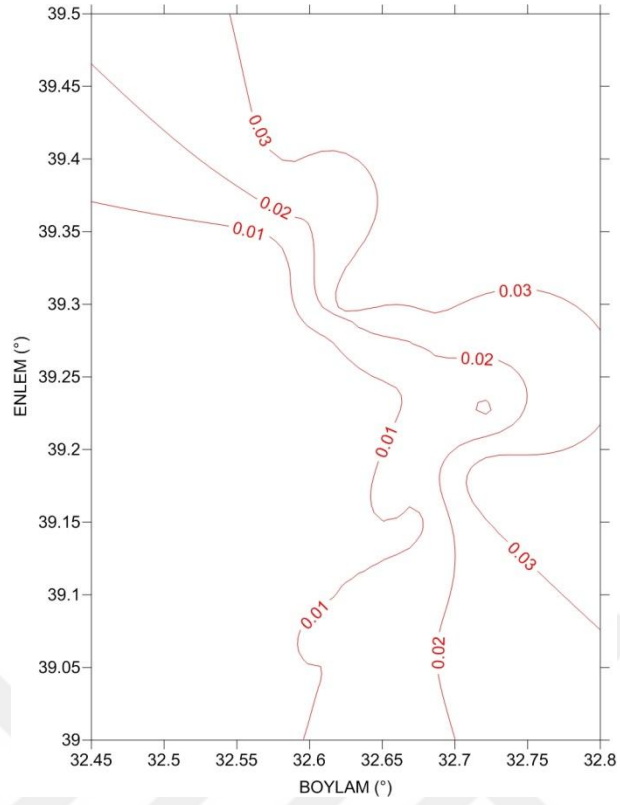
Şekil 4.34 Model 3 için ölçülen ve Fuzzy yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



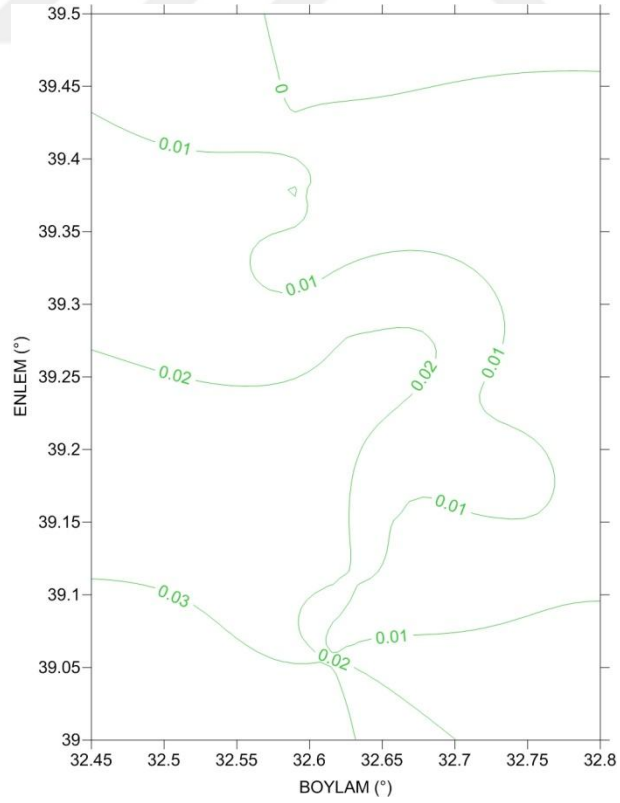
Şekil 4.35 Model 4 için ölçülen ve Polinom yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



Şekil 4.36 Model 4 için ölçülen ve Kriging (nokta) yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



Şekil 4.37 Model 4 için ölçülen ve Kriging (blok) yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)



Şekil 4.38 Model 4 için ölçülen ve Fuzzy yöntemi ile hesaplanan yükseklik değerleri farkları (m)

Polinom, Kriging yöntemleri (nokta, blok) ve Bulanık Mantık yöntemleri ile elde edilen test noktalarına ait yükseklik farklarının, en az, en fazla, ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmış ve kendi aralarında istatistiksel olarak karşılaştırılmak üzere gerçek hata değerleri Tablo 4.3’de, hataların mutlak değerleri ise Tablo 4.4’de verilmiştir.

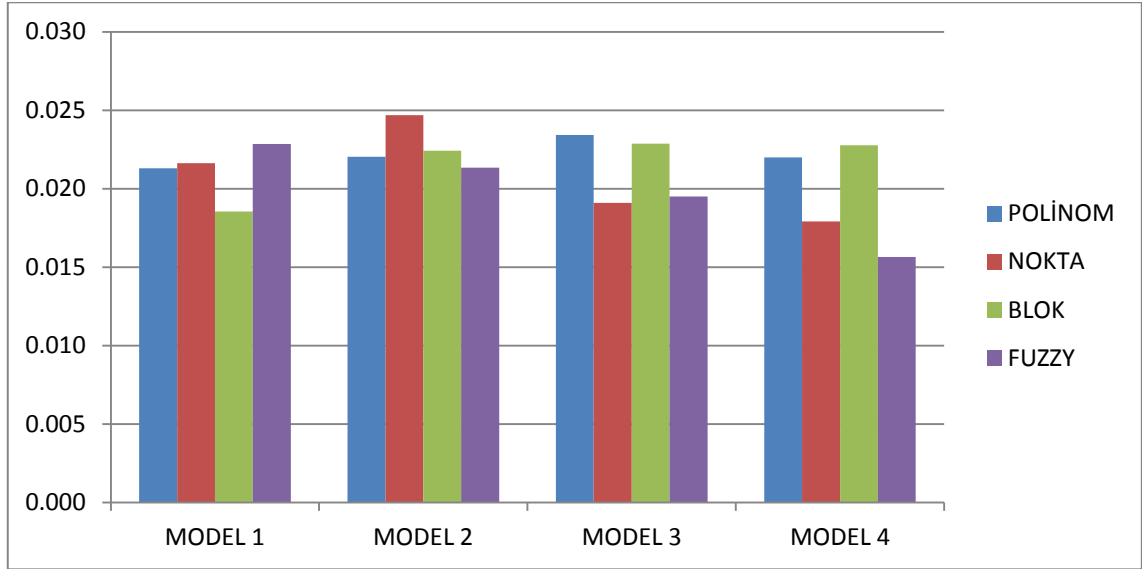
Tablo 4.3 Hesaplanan jeoit yüksekliklerinin ölçülen jeoit yüksekliklerinden olan farklarının istatistiksel değerleri (m)

ALAN NO	MODEL NO	ÖLÇÜT	POLİNOM (m)	KRİGİNG (NOKTA) (m)	KRİGİNG (BLOK) (m)	FUZZY (m)	NOKTA SAYISI
1. ÇALIŞMA ALANI BURDUR	MODEL 1	En az	-0.038	-0.032	-0.029	-0.043	51Model_50Test
		En fazla	0.061	0.053	0.046	0.049	
		Ortalama	0.001	0.003	0.003	0.003	
		Std spm	0.021	0.022	0.019	0.023	
	MODEL 2	En az	-0.029	-0.032	-0.032	-0.037	81Model_20Test
		En fazla	0.039	0.048	0.041	0.039	
		Ortalama	0.002	-0.002	-0.002	0.001	
		Std spm	0.022	0.025	0.022	0.021	
2. ÇALIŞMA ALANI HAYMANA	MODEL 3	En az	-0.071	-0.058	-0.064	-0.063	50Model_50Test
		En fazla	0.050	0.045	0.038	0.036	
		Ortalama	0.000	0.000	0.001	0.001	
		Std spm	0.023	0.019	0.023	0.020	
	MODEL 4	En az	-0.028	-0.033	-0.041	-0.019	90Model_20Test
		En fazla	0.057	0.029	0.037	0.035	
		Ortalama	0.005	0.002	0.003	0.004	
		Std spm	0.022	0.018	0.023	0.016	

Tablo 4.4 Hesaplanan jeoit yüksekliklerinin ölçülen jeoit yüksekliklerinden olan farklarının mutlak değerlerinin istatistiksel sonuçları (m)

ALAN NO	MODEL NO	ÖLÇÜT	POLİNOM MUTLAK FARK (m)	KRİGİNG (NOKTA) MUTLAK FARK (m)	KRİGİNG (BLOK) MUTLAK FARK (m)	FUZZY MUTLAK FARK (m)	NOKTA SAYISI
1. ÇALIŞMA ALANI BURDUR	MODEL 1	En az	0.000	0.000	0.000	0.002	51Model_50Test
		En fazla	0.061	0.053	0.046	0.049	
		Ortalama	0.017	0.017	0.015	0.020	
		Std spm	0.013	0.013	0.011	0.012	
	MODEL 2	En az	0.002	0.005	0.001	0.000	81Model_20Test
		En fazla	0.039	0.048	0.041	0.039	
		Ortalama	0.018	0.020	0.019	0.018	
		Std spm	0.012	0.014	0.012	0.011	
2. ÇALIŞMA ALANI HAYMANA	MODEL 3	En az	0.000	0.001	0.000	0.001	50Model_50Test
		En fazla	0.071	0.058	0.064	0.063	
		Ortalama	0.018	0.015	0.019	0.016	
		Std spm	0.015	0.012	0.013	0.012	
	MODEL 4	En az	0.000	0.000	0.000	0.000	90Model_20Test
		En fazla	0.057	0.033	0.041	0.035	
		Ortalama	0.017	0.015	0.019	0.013	
		Std spm	0.015	0.010	0.013	0.009	

Polinom, Kriging yöntemleri (nokta, blok) ve bulanık mantık yöntemleri ile elde edilen test noktalarına ait yükseklik değerlerinin topluca incelenmesi amacıyla, jeoit yüksekliği farklarının standart sapma ölçütüne göre karşılaştırılması Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.39 Hesaplanan yükseklik farklarının standart sapma değerleri

Çalışma kapsamında oluşturulan modellerin genel değerlendirilmeleri ise şu şekildedir:

1. Çalışma Alanı Burdur için Tablo 4.3 ve Şekil 4.39 incelendiğinde;

Model 1 için en küçük standart sapma değeri ± 0.019 m ile blok Kriging yönteminde elde edilmiştir.

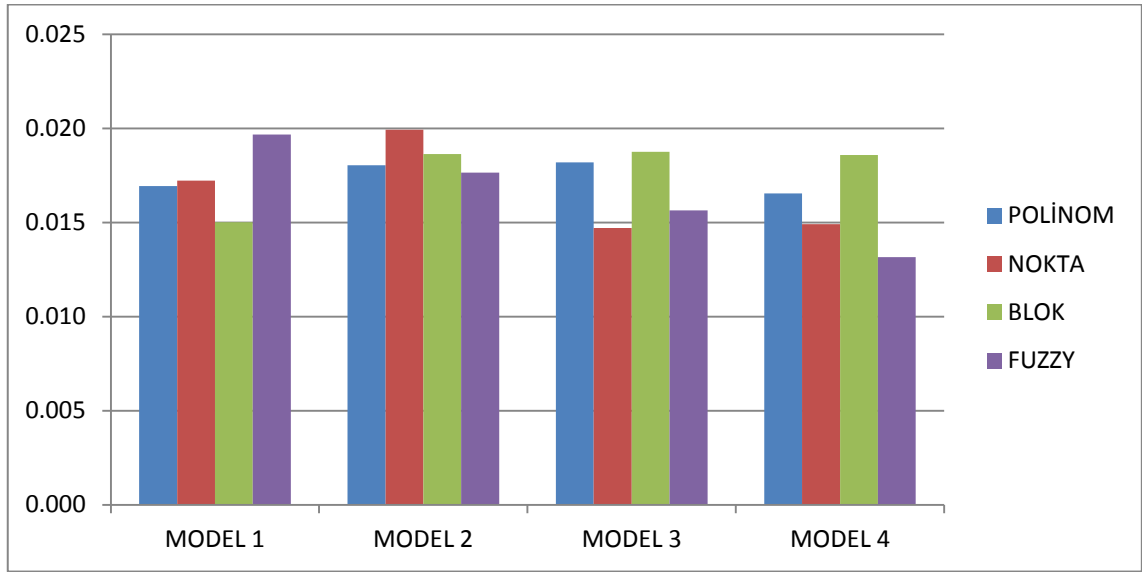
Model 2 için en küçük standart sapma değerleri bütün yöntemler için birbirine yakın olmakla birlikte en küçük standart sapma değeri ± 0.021 m ile bulanık mantık (Fuzzy) yönteminde elde edilmiştir.

2. Çalışma Alanı Haymana için Tablo 4.3 ve Şekil 4.39 incelendiğinde;

Model 3 için en küçük standart sapma değeri ± 0.019 m ile nokta Kriging yönteminde elde edilmiştir.

Model 4 için en küçük standart sapma değeri ± 0.019 m ile bulanık mantık (Fuzzy) yönteminde elde edilmiştir.

Polinom, Kriging yöntemleri (nokta, blok) ve bulanık mantık yöntemlerine göre jeoit yüksekliği farklarının mutlak değerlerinin ortalaması Şekil 4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.40 Hataların mutlak değerlerinin ortalaması

1. Çalışma Alanı Burdur için Tablo 4.4 ve Şekil 4.40 incelendiğinde;

Model 1 için en küçük ortalama değeri 0.015 m ile blok Kriging yönteminde elde edilmiştir.

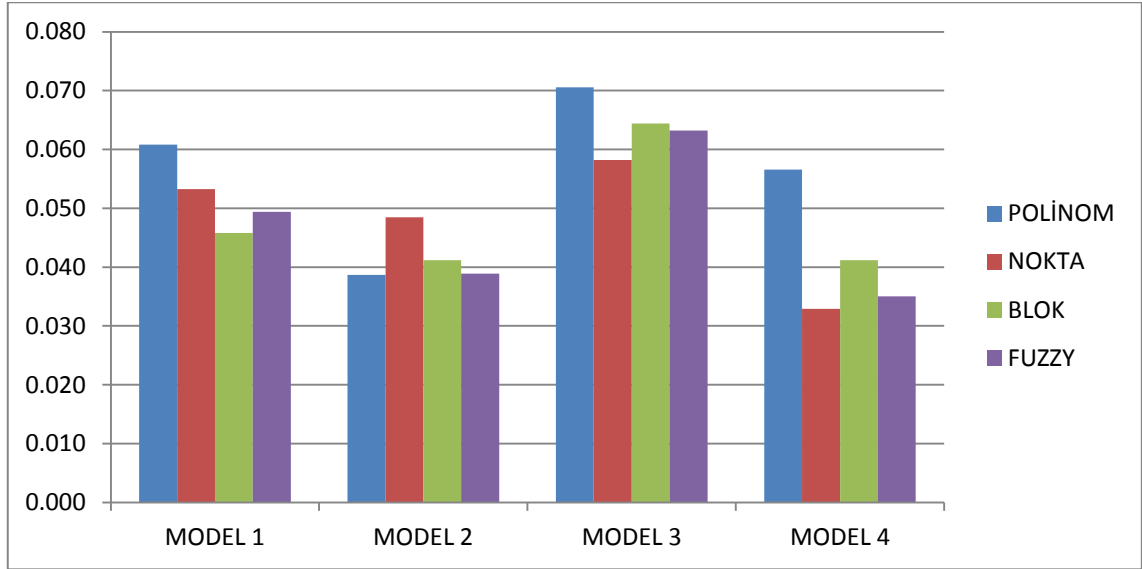
Model 2 için en küçük ortalama değer diğer yöntemler için de birbirine yakın olmakla birlikte en küçük ortalama değeri 0.018 m ile bulanık mantık (Fuzzy) yönteminde elde edilmiştir.

2. Çalışma Alanı Haymana için Tablo 4.4 ve Şekil 4.40 incelendiğinde;

Model 3 için en küçük ortalama değer 0.015 m ile nokta Kriging yönteminde elde edilmiştir.

Model 4 için en küçük ortalama değer 0.013 m ile bulanık mantık (Fuzzy) yönteminde elde edilmiştir.

Polinom, Kriging yöntemleri (nokta, blok) ve bulanık mantık yöntemlerine göre jeoit yüksekliği farklarının mutlak değerlerine göre en yüksek değerler Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.41 Hataların mutlak değerlerine göre en yüksek değerler

1. Çalışma Alanı Burdur için Tablo 4.4 ve Şekil 4.41 incelendiğinde hataların mutlak değerlerine göre en yüksek değerler;

Model 1 için en küçük değer 0.046 m ile blok Kriging yönteminde elde edilmiştir.

Model 2 için en küçük değeri diğer yöntemler için de birbirine yakın olmakla birlikte en küçük değer 0.039 m ile bulanık mantık (Fuzzy) yönteminde elde edilmiştir.

2. Çalışma Alanı Haymana için Tablo 4.4 ve Şekil 4.41 incelendiğinde hataların mutlak değerlerine göre en yüksek değerler;

Model 3 için en küçük değer 0.015 m ile nokta Kriging yönteminde elde edilmiştir.

Model 4 için en küçük değer 0.033 m ile nokta Kriging yönteminde elde edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mühendislik amaçlı projelerde ortometrik yüksekliklerin belirlenmesi önemli bir konudur. GNSS ölçmelerinden elde edilen elipsoit yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere dönüşümü için çalışma sahasında bir jeoit modeli belirlenmelidir. Elde edilen modelden farklı yöntemlerle enterpolasyon yapmak mümkündür. Bu tez kapsamında lokal GNSS/Nivelman jeoidi belirlemede kullanılan polinom, nokta Kriging, blok Kriging ve bulanık mantık yöntemleri incelenmiştir. Bu amaçla çalışma ile jeoit yüksekliği hesabında kullanılan çeşitli enterpolasyon yöntemlerinin farklı ağ yapılarında ve nokta sıklığında kullanılmasının incelemesi yapılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların tamamı Şekil 4.1 – 4.41 ve Tablo 4.1 – 4.4'te verilmiştir. Dayanak noktalarından hareketle çalışma alanında bulunan diğer noktaların jeoit yüksekliklerinin hesabında en küçük standart sapma değerini veren yöntemin kullanılabilir en iyi yöntem olduğu düşüncesinden hareketle, aşağıdaki sonuçlar çıkarılmış ve önerilerde bulunulmuştur:

- Bu tez çalışması kapsamında uygulanan enterpolasyon yöntemlerinin hepsinin genel olarak lokal GNSS/Nivelman jeoit yüzeyi modelleme çalışmalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür.
- Alan ağ yapısına sahip 1. çalışma alanı Burdur için Model 1 ve Model 2'de yöntemler birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir.
- Şeritvari ağ yapısına sahip 2. Çalışma alanı Haymana için Model 3 ve Model 4'te bulanık mantık ve nokta Kriging daha iyi sonuçlar vermiştir.
- Model dayanak nokta sayısının test nokta sayısına hemen hemen eşit olduğu, alan ağ yapısına sahip Model 1'de blok Kriging yöntemi daha iyi sonuçlar vermiştir.
- Model dayanak nokta sayısının test nokta sayısından fazla olduğu, alan ağ yapısına sahip Model 2'de polinom, blok Kriging ve bulanık mantık yöntemleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Buradan noktaların homojen dağıldığı, yeterli sayıda referans noktasının olduğu durumlarda yöntemlerin birbirine yakın sonuçları verebileceği değerlendirilmektedir.
- Model dayanak nokta sayısının test nokta sayısına hemen hemen eşit olduğu, şeritvari ağ yapısına sahip Model 3'de bulanık mantık ve nokta Kriging yöntemleri daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

- Model dayanak nokta sayısının test nokta sayısından fazla olduğu, şeritvari ağ yapısına sahip Model 4’de bulanık mantık yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.
- Tüm proje sahası için tek bir model hesaplayan polinom yöntemi alan ağ yapısında diğer yöntemlere yakın sonuçlar verirken, şeritvari ağ yapısında biraz daha farklılık göstermiştir.
- Alan ağ yapısına sahip Model 1 ve Model 2 birlikte değerlendirildiğinde blok Kriging yönteminin daha kullanılabilir bir seçenek olduğu düşünülmektedir. Referans nokta sayısı artırıldığında bulanık mantık bu ağ yapısında daha iyi sonuç vermiştir.
- Şeritvari ağ yapısına sahip Model 3 ve Model 4 birlikte değerlendirildiğinde bütün çalışma alanını küçük alt bölgelere ayıran bulanık mantık yönteminin daha kullanılabilir bir seçenek olduğu düşünülmektedir.
- Model dayanak nokta sayısı ile test nokta sayısının farklı olduğu durumlarda, model dayanak nokta sayısının artırılması şerit vari ağ yapısında daha iyi sonuç verirken, alan ağ yapısında sonuçları çok etkilememiştir.
- Model dayanak nokta sayısının test nokta sayısından fazla olduğu Model 2 ve Model 4 birlikte değerlendirildiğinde, bulanık mantık yönteminin daha iyi sonuçlar verebileceği söylenebilir.
- Polinomlarla enterpolasyon yönteminin, alansal ağ yapısına sahip modellerde şeritvari ağ yapısına sahip modellere göre daha iyi sonuçlar verebileceği değerlendirilmektedir.
- Kriging yöntemlerinin genel olarak değerlendirildiğinde, noktasal Kriging yönteminin şeritvari ağ yapılarında daha iyi sonuç verdiği, blok Kriging yönteminin ise alan ağ yapılarında daha iyi sonuç verebileceği düşünülmektedir.
- Bulanık mantık yönteminin Jeoit yüksekliği hesaplanması problemi için genel olarak değerlendirildiğinde, esnek yapısı nedeniyle uygulayıcıya çok farklı sonuçlar sunabilen ve tecrübe ile geliştirilebilip kullanılacağı düşünülmektedir. Dolayısıyla elde edilecek sonuçların kullanıcın deneyimi ile ilişkili olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Akçın H.**, 2001, Jeoit kavramı ve belirleme teknikleri üzerine bir inceleme, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 4 Sayı 1; s:37-50, Niğde.
- Akiz E.**, 2007, Jeoit kullanarak elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yükseklik belirleme yöntemlerinin doğruluk araştırması, yüksek lisans tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Akiz E. ve Yerci M.**, 2009, Jeoit kullanarak elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yükseklik belirleme yöntemlerinin doğruluk araştırması, *Harita Dergisi* Sayı:141; s: 13-25.
- Akyılmaz, O.**, 2005, Esnek hesaplama yöntemlerinin jeodezide uygulamaları, Doktora tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Arslan N.**, 2014, Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinde jeodezik kavramlar, Ders Notu, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Aşık E.**, 2013, Lokal jeoit belirlemede yapay sinir ağları ve kriging yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.
- Aydın O.**, 2013, kriging metamodelleme tekniği ve bir uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Aydoğan B.**, 2011, İstanbul Boğazı akıntı yapısının istatistik ve belirsizlik yöntemleri ile modellenmesi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Ayan, T.**, 1978, Astro jeodezik çekül sapması, *İTÜ Dergisi*, sayı: 6, sayfa 67, İstanbul.
- Ayan T. ve Deniz R.**, 2000, Fiziksel jeodezi ders notu, İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Demirel, H.**, (2003). Dengeleme hesabı, Üniversite yayın no:YTÜ.İN.DK-03.0703/ Fakülte yayın no:İN.JFM-2003.003, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım–Yayın Merkezi / İstanbul

- Grafarend E. W.**, (1994). What is geoid?, Geoid and its geophysical interpretations, edited by Petr Vanicek and Nikolas T.Christou, Chapter 1,CRC press, Boca Raton, FL, USA.
- Güler A.**, 1978. Sayısal arazi modellerinde enterpolasyon yöntemleri, *Harita Dergisi*, Ankara, sayı:85, s:53-71.
- Heiskanen W. A, Moritz H**, 1984, Fiziksel jeodezi, Çeviren: Onur Gürkan, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Genel Yayın No:19, Fakülte Yayın No:8, 491 s, Trabzon.
- İnal C.**,1996, Yerel jeoit geçirilerek GPS sonuçlarından yükseklik belirlemesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11. Cilt, 2.sayı, s:15-21, Konya.
- İnal C. Turgut B. ve Yiğit C.**, 2002, Lokal alanlarda jeoit ondülasyonlarının belirlenmesinde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu*, 16-18 Ekim, Konya, s. 97-106.
- Kahveci M. ve Yıldız F.**, 2017, GNSS Uydularda konum belirleme sistemleri teori ve uygulama, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Ltd Şti, Yayın No:363, ISBN:978-605-133-265-9, 8. Basım, 262 s, Ankara.
- Kılıçoğlu A.**, 2004. Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi (TG-99A). <https://www.harita.gov.tr/images/egitim/506a72894a75e6d.pdf> [Ziyaret Tarihi: 12.07.2019]
- Köroğlu S.**, 2006, Farklı enterpolasyon yöntemlerinin hacim hesabına etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Köse U.**, 2010, Bulanık mantık ve yapay sinir ağları için eğitim yazılımı geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar.

- Kuru B.**, 2018, Lokal jeoid belirlemede kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar.
- Mamdani, E.H., Assilian, S.**, 1975, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller", *Int. Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.
- Şanlıoğlu İ. Ceylan A. İnal C. Çorumluoğlu Ö. ve Kalaycı İ.**, 2002, Konya Bölgesi için GPS İle Elde Edilen Elipsoidal Yüksekliklerden Ortometrik Yüksekliklerin Hesaplanması, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu*, 16-18 Ekim, Konya, s:210-217.
- Taktak F.**, 2005, Afyonkarahisar'da GPS gözlemleri ve nivelman ölçüleri yardımıyla yerel jeoid profilinin çıkarılması, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar.
- Torge W.**, 1980, *Geodesy*, Walter de Gruyter, Berlin-New York.
- Tuşat E. ve Turgut B.**, 2005, GPS ile bir ağ çalışması, *Harita ve Kadastro Mühendisliği Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, Sayı: 93, s:44-50.
- Tuşat E., Turgut B. ve Çorumluoğlu Ö.**, 2001, GPS yardımıyla WGS-84 jeoid yüksekliklerinin (Konya'nın bir bölgesi için) belirlenmesi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi*, Sayı:87, s: 15-23.
- Yanalak M.**, 2001, Yüzey modellemede üçgenleme yöntemleri, *Harita Dergisi*, Sayı: 126, s:58-69.
- Yanalak M.**, 2002a, Sayısal arazi modellerinde yükseklik enterpolasyonu, *Harita Dergisi*, Sayı:128.
- Yanalak M.**, 2002b, Yön ve ters uzaklık ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon, *Harita Dergisi*, Sayı:127.
- Yaprak S.**, 2007, Kriging yönteminin geoit yüzeyi modellemesinde kullanılabilirliğinin araştırılması ve var olan yöntemlerle karşılaştırılması, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- Yılmaz M.**, 2005, İstanbul metropolitan alanında geoid araştırması, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Yılmaz M. ve Arslan E.**, 2005, Bulanık mantığın jeodezik problemlerin çözümünde kullanılması, *Harita ve Kadstro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 23-25 Kasım, İstanbul.
- Yılmaz M. ve Arslan E.**, 2006, İstanbul metropolitan alanında geoid araştırması, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi/D Mühendislik*, Cilt:5, Sayı:3, s:107-114, İstanbul.
- Yılmaz N.**, 2011, Türkiye için farklı yöntem ve verilerle belirlenen jeoidlerin karşılaştırılması, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Yiğit C.Ö.**, 2003, Elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliğe dönüşümünde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Yurt K. ve Gökalp E.**, 2009, Geometrik ve gravimetrik (gel-gitten bağımsız) jeoid modellerinin karşılaştırılması: Trabzon Örneği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 1, No: 1, s: 23-31.
- Zhan-Ji, Y.**, 1998, Precise determination of lokal geoid an its geophysical interpretation, Doktora Tezi, *Hong Kong Polytechnical University*, Hong Kong.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : MURAT ÇİFTÇİ
Uyruğu : TÜRKİYE CUMHURİYETİ
Doğum Yeri ve Tarihi : GÜLŞEHİR 10.06.1980
Telefon : 0312 201 1314
Faks : 0312 287 8745
e-mail : ciftcim@mynet.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Nevşehir Anadolu Lisesi	1999
Üniversite	: İstanbul Teknik Üniversitesi	2004
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2004-2019	MTA Genel Müdürlüğü	Harita Mühendisi (Birim Yöneticisi)

Yabancı Dil: İngilizce