



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DFHRS YAKLAŞIMIYLA LOKAL JEOİT BELİRLEMEDE
GLOBAL JEOİT MODELLERİN SONUÇLARA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Bekir AVCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Bekir AVCU tarafından hazırlanan “DFHRS Yaklaşımıyla Lokal Jeoit Belirlemede Global Jeoit Modellerin Sonuçlara Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 29/05/2024 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

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

.....

Danışman

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

.....

Üye

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, 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.

İmza

Bekir AVCU

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

DFHRS YAKLAŞIMIYLA LOKAL JEOİT BELİRLEMEDE GLOBAL JEOİT MODELLERİN SONUÇLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Bekir AVCU

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

2024, 109 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

Günümüzde GNSS teknolojisindeki önemli gelişmeler ve ilerlemelerle birlikte konum doğruluğu önemli ölçüde artmıştır. Ancak GNSS ile ölçülen yüksekliğin pratikte doğrudan kullanılmadığından dolayı ihtiyaç duyulan jeoit yüksekliği doğruluğunun da önemi sürekli artmaktadır. Bu nedenle DFHRS yaklaşımıyla lokal jeoit belirleme yöntemiyle bu ihtiyacın giderilmesine çalışılmıştır. DFHRS yaklaşımı sonlu elemanlar içindeki polinomların parçalar arasındaki sürekliliğini sağlayarak geometrik ve fiziksel gözlem bileşenlerinin birlikte değerlendirilmesiyle jeoit yüksekliğini çözmeyi amaçlamaktadır. Geometrik gözlemler için GNSS/Nivelman verileri, fiziksel gözlemler için ise DFHRS veri tabanındaki 4 farklı global jeopotansiyel model kullanılmıştır. Çalışma sahası olarak Konya ili şehir merkezi ve çevresi 2x2, 5x5 ve 10x10 km grid aralıklarında tasarlanmış, kuzey-güney ve doğu-batı yönünde olmak üzere dört ayrı alt bölgeye, parçalara ayrılmıştır. Böylece çalışma sahası için DFHRS yaklaşımıyla 48 adet farklı iyileştirilmiş lokal jeoit modeli üretilmiştir. Üretilen modellerin sonuçları GNSS/Nivelman jeoitleriyle karşılaştırılarak model seçim kriterlerine tabi tutulmuş ve en iyi modelin seçilmesine çalışılmıştır. Bu anlamda 5x5 km grid aralıklı, doğu-batı yönünde parçalı ve EIGEN04 global jeopotansiyel modelin kullanıldığı 5X5EIGEN04DB adlı iyileştirilmiş lokal jeoit modeli $\pm 1,93$ cm KOH değeriyle en iyi model olarak belirlenmiştir. Bu model kullanılarak DFHRS yazılımı aracılığıyla çalışma sahası için 500 m aralıklarla jeoit yüksekliği kestirimi yapılarak kullanıcılarının elipsoit yüksekliğinden ortometrik yüksekliğe geçiş yapabileceği jeoit haritası oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: DFHRS, Elipsoit, GNSS, Jeoit, Ortometrik, Parça,

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GLOBAL GEOID MODELS ON THE RESULTS IN DETERMINING LOCAL GEOID WITH DFHRS APPROACH

Bekir AVCU

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

Advisor: Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

2024,109 Pages

**Jury
Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ**

Nowadays, with the significant developments and advancements in GNSS technology, location accuracy has increased significantly. However, since the height measured by GNSS cannot be used directly in practice, the importance of the required geoid height accuracy is constantly increasing. For this reason, an attempt was made to meet this need with the local geoid determination method using the DFHRS approach. The DFHRS approach aims to solve the geoid height by evaluating the geometric and physical observation components together by ensuring the continuity of the polynomials within the finite elements between the parts. GNSS/Leveling data were used for geometric observations, and 4 different global geopotential models in the DFHRS database were used for physical observations. As the study area, the city center of Konya province and its surroundings were designed in 2x2, 5x5 and 10x10 km grid intervals and were divided into four separate sub-regions in the south-north and west-east directions. Thus, 48 different improved local geoid models were produced for the study area with the DFHRS approach. The results of the produced models were compared with the GNSS/Levelling geoid and subjected to model selection criteria and the best model was tried to be determined. In this sense, the improved local geoid model named 5X5EIGEN04DB, with a 5x5 grid space, segmented east-west direction and using the EIGEN04 global geopotential model, was determined as the best model with an RMSE value of ± 1.93 cm. Using this model, geoid height was estimated for the study area at 500 m intervals through DFHRS software, and a geoid map was created, which users can switch from ellipsoid height to orthometric height.

Keywords: DFHRS, Ellipsoid, GNSS, Geoid, Orthometric, Patch,

ÖNSÖZ

“DFHRS yaklaşımıyla lokal jeoit belirlemede global jeoit modellerin sonuçlara etkisinin incelenmesi” adlı tez çalışma konusunu bana öneren, danışmanlığımı üstlenen, takıldığım her konuda desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ekrem TUŞAT’a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamda kullanmış olduğum verilerin temininde yardımlarından ve desteklerinden dolayı İlbank AŞ çalışanlarına ve yöneticilerine teşekkür ederim.

Yüksek lisans sürecimde desteklerinden dolayı Harita Müh. Ali BAYRAKTAR’ a, Harita Yük. Müh. Murat ÇAKAR’ a, Endüstri Müh. Hüseyin AKTUNÇ’ a, Araştırma Görevlileri Emre AYSO’ ya ve İrem KÖZ’ e teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatımın temelini oluşturan, destekleyen, dua eden çok kıymetli anneme, babama, hayatıma girdikleri andan itibaren desteklerini her zaman hissettiğim sevgili eşime ve sevgili kızıma çok teşekkür ediyorum.

Bekir AVCU
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. JEOİT VE JEOİT BELİRLEMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER ...	10
3.1 Astrojeodezik Yöntemle Jeoit Belirleme	11
3.2 Gravimetrik Yöntemle Jeoit Belirleme	13
3.2.1. Stokes yöntemi	14
3.2.2. KTH yöntemi.....	14
3.2.3. Hızlı fourier transformasyonu yöntemi.....	15
3.3. GNSS/Nivelman Yöntemiyle Jeoit Belirleme	16
3.3.1. Ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon	17
3.3.2. Polinomlarla enterpolasyon yöntemi	18
3.3.3. Sonlu elemanlar yöntemiyle enterpolasyon	19
3.3.4. Kriging enterpolasyon yöntemi	20
3.3.5. En küçük kareler kollokasyon yöntemi	20
3.3.6. Yapay sinir ağları yöntemi	22
3.3.7. Bulanık mantık yöntemi.....	24
3.4. Global Jeopotansiyel Modeller Yöntemiyle Jeoit Belirleme	25
3.4.1. EGM96 modeli	26
3.4.2. EGM2008 modeli	27
3.4.3. EIGEN04 modeli	28
3.4.4. EIGEN-6C4 modeli	28
4. JEOİT BELİRLEMEDE DFHRS YAKLAŞIMI	30

4.1. Geometrik Gözlem Bileşenleri ve Parametreleştirme	30
4.2. Fiziksel Gözlem Bileşenleri ve Entegrasyonu	33
4.3. Jeodezik Altyapı Olarak GIPS ve DFHRS	35
5. MATERYAL VE YÖNTEM	37
5.1. Çalışma Sahası	37
5.2. Materyal ve Yöntemin Uygulanışı	40
5.3. İstatistiksel Verilerin Esasları ve Model Seçim Kriterleri	46
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	50
6.1. 5X5EIGEN04DB Modeli	89
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR.....	96

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

α	:	Azimet
P	:	Ağırlık Değeri
h	:	Elipsoit Yüksekliği
ε	:	Çekül Sapması
$\tilde{u}_i$	:	DFHRS Yaklaşımıyla Elde(tahmin) Edilen Jeoit Yüksekliği
u_i	:	GNSS/Nivelman Yöntemiyle Ölçülen Jeoit Yüksekliği
$\bar{u}$	:	GNSS/Nivelman ile ölçülen jeoit yüksekliklerinin aritmetiği
g	:	Gerçek Gravite
W	:	Gerçek Gravite Potansiyeli
GM	:	Gravitasyonel sabit
φ, λ	:	Jeodezik Enlem, Jeodezik Boylam
N	:	Jeoit Yüksekliği
Φ	:	Merkezkaç Potansiyeli
ϕ, Λ	:	Noktanın Astronomik Enlemi, Boylamı
r, θ, λ	:	Noktanın Kutupsal Koordinatları
ξ, η	:	Noktanın Kuzey-Güney, Doğu-Batı Çekül Sapması Bileşenleri
γ	:	Normal Gravite
U	:	Normal Gravite Potansiyeli
$\bar{g}$	:	Ortalama Gravite
$\bar{\gamma}$	:	Ortalama Normal Gravite
H	:	Ortometrik Yükseklik
Δm	:	Ölçek Farkı Faktörü
n	:	Ölçü sayısı
p	:	Polinom Parametresi
Cnm, Snm	:	Tam Normalleştirilmiş Küresel Harmonik Katsayıları
Pnm(cos θ)	:	Tam Normalleştirilmiş Legendre Fonksiyonu

Kısaltmalar

CHAMP	:	Challenging Minisatellite Payload
DFHRS	:	Dijital Sonlu Eleman Yükseklik Referans Yüzeyi
EGM2008	:	Earth Gravitational Model of 2008
EIGEN	:	European Improved Gravity model of the Earth by New techniques
FEM	:	Sonlu Eleman Ağları
GIPS	:	GNSS Konumlandırma Hizmetleri
GNSS	:	Global Navigation Satellite Systems
GOCE	:	Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer
GRACE	:	Gravity Recovery and Climate Experiment
GRS80	:	Geodetic Reference System 1980
GSFC	:	Goddard Uzay Uçuş Merkezi
HRS	:	Yükseklik Referans Yüzeyi
ICGEM	:	International Centre for Global Earth Models
ITRF96	:	International Terrestrial Reference Frame-1996
KOH	:	Karesel Ortalama Hata
LAGEOS	:	Low Earth orbiting satellite

NASA	:	U.S. National Aeronautics and Space Administration
NGA	:	Amerika Ulusal Jeodezi Ajansı
NIMA	:	Amerika Ulusal Görüntü işleme ve Haritacılık Ajansı
OSU	:	Ohio State Üniversitesi
RTCM	:	Real Time Correction Message
SCH	:	Küresel Harmonik Katsayı
SH	:	Küresel Harmonik
SCH	:	Küresel Harmonik Katsayı
SLR	:	Satellite Laser Ranging
TDRSS	:	Takip ve Veri Aktarım Uydu Sistemi
TUDKA	:	Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı
THG09	:	Türkiye Hibrit Jeoid 2009
TUTGA	:	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
WGS84	:	World Geodetic System 1984



1. GİRİŞ

Jeodezi biliminin önemli görevlerinden birisi, konum bilgisinin elde edilmesini ve haritacılıkla alakalı olanlarla birlikte diğer mühendislik disiplinlerinin de kullanabilmelerine imkân sağlayacak uygun ve pratik bir biçimde sunumunu gerçekleştirmektir. Uzay ve uydu tekniklerinde yaşanan gelişmelerle birlikte global konum belirleme sistemlerinden faydalanılarak dünyanın her yerinde kesintisiz bir şekilde güvenilir ve doğru konum bilgilerine ekonomik şekilde ulaşılabilmesi, bu bilgilerin konumla ilişkili diğer bilgilerle birleştirilmesi, ekonomik değeri olan birçok sistem ve metodun geliştirilmesinin ve uygulamaya geçirilmesinin önünü açmıştır (Bolat, 2013).

Günümüze kadar yaşanan uydular aracılığıyla konum belirleme sistemlerindeki gelişmelerle birlikte, GNSS tekniği çeşitli mühendislik ve meslek disiplinlerince yaygın bir şekilde kullanılır duruma ulaşmıştır. Klasik yersel ölçme sistemlerinde noktaların yatay ve düşey konumları farklı metotlarla belirlenebilmektedir. Bu durumda işlem sayısının artmasıyla süre ve maliyet açısından dezavantajlı bir netice ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu metotla elde edilen yükseklik ve konum değerlerinin pratikte kullanılması yoğun emek sarf edilmesini gerektirir.

Yüksekliklerin ölçülmesinde konum doğruluğu, ölçüm süresi, uygulanabilirliği ve ekonomik açıdan incelendiğinde, birbirlerinden farklı hidrostatik ölçüm metodu, geometrik, trigonometrik, barometrik ve GNSS/Nivelman gibi farklı ölçüm metotları kullanılabilmektedir.

GNSS/Nivelman yöntemiyle yükseklik belirlemede bilinmesi gereken iki yükseklik sistemi öne çıkmaktadır. Bunlardan birincisi GNSS tekniğiyle belirlenen elipsoit yüksekliğidir. Elipsoit yüksekliği fiziksel yeryüzündeki herhangi bir noktadan referans elipsoide olan normalin uzunluğunu ifade eder ve geometrik bir büyüklük olup fiziksel anlam taşımaz. İkinci yükseklik sistemi olan ve nivelman tekniğiyle belirlenen ortometrik yükseklik ise fiziksel yeryüzü üzerindeki herhangi bir noktanın çekül doğrultusu boyunca jeoite uzanan mesafesini temsil eder.

Gelişen uydu teknolojileriyle jeoitin belirlenmesinin önemi gün geçtikçe artmış ve artmaya da devam edecektir. Bundan dolayı jeoit ondülasyonun (yüksekliğinin),

konum belirleme uyduları tarafından elde edilen elipsoit yükseklikler ile nivelman ölçümleri sonucunda ulaşılan ortometrik yükseklikler arasındaki ilişkisi sebebiyle GNSS ölçümlerinde jeoit oldukça büyük önem arz eden bir altyapı durumundadır.

Jeoitin belirlenmesi, yatay koordinatları bilinen herhangi bir noktanın jeoit yüksekliğine sayısal ya da analog biçimde ulaşılmasına imkân sağlanacak şekilde verilerin modellenmesi anlamına gelmektedir (Ayar, 2009). Bu çalışmada jeoit modelleme; koordinatları bilinmekte olan herhangi bir noktanın global jeopotansiyel modelin dayanak noktalar aracılığıyla iyileştirilerek jeoit yüksekliğinin enterpolasyonuna imkan sağlayacak bir modelin elde edilmesini ifade eder.

Bu tez çalışmasındaki amaç; yatay koordinatları, elipsoit ve ortometrik yükseklik değerleri bilinen noktalardan yola çıkarak sonlu elemanlar yöntemiyle jeoit belirleme çalışmaları başlangıcında seçilen dayanak noktalar ve global jeopotansiyel modeller kullanılarak DFHRS yaklaşımıyla jeoit modellerin belirlenmesi, karşılaştırılması, global jeopotansiyel modellerin sonuçlara etkisinin incelenmesi ve en iyi lokal jeoit modelinin belirlenmesidir.

Bu tez çalışmasında, Konya ili şehir merkezi alanı uygulama sahası olarak seçilmiştir. Çalışmada kullandığımız veriler, TUDKA ve TUTGA ağ noktalarına bağlı ITRF96 datumunda C1, C2, C3 derece nirengi nokta koordinatları olup İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından, MNG Bilgisayar Programlama Mühendislik ve Danışmanlık AŞ'ye 2006 yılında yaptırılan Konya fotogrametrik harita yapım işine ait verilerdir. Kullanılacak olan nirengi noktalarının bir kısmı dayanak noktası ve diğer noktalar ise test noktası olarak seçilmiştir. Ayrıca global jeopotansiyel modellerin sonuçlara etkisinin incelenmesi için DFHRS veri tabanında bulunan EGM96, EGM2008, EIGEN04, EIGEN6C4 modelleri seçilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Jeoit belirleme çalışmaları üzerine yapılan literatür taraması sonucu bazı çalışmalar hakkında aşağıda sırasıyla bilgi verilmiştir.

Yurt, (2006) tarafından “Geometrik ve Gravimetrik Metotlarla Lokal Jeoit Belirleme ve Modelleme” adlı doktora tezinde çalışma sahası olarak Trabzon ili şehir merkezi seçilmiş ve GNSS/Nivelman jeoit için 39 nokta tesis edilmiştir. Gravimetrik jeoit için ise WGS84 EGM96 ve Kaldır–Koy tekniği uygulanmıştır. Çalışma sonucunda GNSS/Nivelman jeoitinin arazide yapılan ölçülerle testinde ± 1.4 cm standart sapma ile en yüksek ± 1.7 cm fark oluşturduğu saptanmış ve ± 2 cm altında bir doğrulukla jeoit yüksekliğine ulaşılmıştır.

Förste, (2008) tarafından “GeoForschungsZentrum Potsdam/Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale Yalnızca Uydu ve Birleşik Yerçekimi Alanı Modeller: EIGEN-GL04S1 ve EIGEN-GL04C” adlı araştırma makalesinde EIGEN-GL04S1 ve EIGEN-GL04C adlı global jeopotansiyel modellerin üretiminde kullanılan veri kaynaklarının karşılaştırılması, değerlendirilmesi ve modellerin kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Ayar, (2009) tarafından “Non Sibson Enterpolasyon Yöntemiyle Yerel Jeoit Belirlenmesi” adlı yüksek lisans tezinde Zonguldak GPS Ağı Projesi kapsamındaki GPS ölçümleri kullanılarak 5 farklı enterpolasyon yöntemiyle çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda polinomlarla(multiküadratik yüzey) enterpolasyon ve Non Sibson enterpolasyon yöntemi çalışma sahası Zonguldak için ± 5 cm doğrulukla birçok mühendislik çalışmalarında ihtiyaca cevap vereceği sonucuna varılmıştır.

Türen, (2010) tarafından “Astrojeodezik Nivelman ile Yerel Jeoit Belirleme: Konya Örneği” adlı yüksek lisans tezinde astronomik gözlemler 40 km x 70 km alanda 6 GPS ağ noktasından yapılmıştır. Altı noktalı GNSS ağındaki 15 baz serbest nivelman ağı gibi dengelenmiştir. Baz uzunlukları 15-70 km arasında değişmekte olup dengelemede ters ağırlık yöntemi seçilmiş ve 15 km için ± 2.6 cm karesel ortalama hata elde edilmiştir.

Abbak, (2011) tarafından “Global Yerpotansiyel Modellerinin Spektral Yöntemlerle Değerlendirilmesi ve Jeoit Belirleme İçin Yerel Olarak İyileştirilmesi” adlı doktora

tezinde global yerpotansiyel modellerinin değerlendirilerek KTH yaklaşımıyla iyileştirilmesine yönelik işlemler açıklanmış ve bu bilgiler ışığında bölgesel ölçekte GNSS/Nivelman verileriyle değerlendirilerek bir jeoit belirleme çalışması gerçekleştirilmiştir.

Jäger vd, (2012) tarafından “Baltik Ülkelerinde GNSS Konumlandırma Hizmetleri İçin Jeodezik Altyapının Yükseklik Bileşeni Olarak Baltık Yaklaşık-Jeoit Hesaplaması” adlı araştırma makalesinde konu Baltık yaklaşık-jeoitinin çalışma bölgesi olan Estonya, Letonya ve Litvanya topraklarında hesaplanmasına dayanmaktadır. Hesaplama, Riga Teknik Üniversitesi, Letonya Üniversitesi ve Karlsruhe Uygulamalı Bilimler Üniversitesi arasındaki araştırma işbirliği çerçevesinde, HsKA'da geliştirilen DFHRS yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu işbirliği sonucunda DFHRS veri tabanı ile Baltık ülkeleri için $\pm 1-3$ cm yüzey doğruluğuyla yaklaşık-jeoit hesaplanmış ve GNSS kullanıcıları için kullanıma hazırlanmıştır.

Bolat, (2013) tarafından “Lokal Jeoit Belirleme Yöntemleri” adlı yüksek lisans tezinde Samsun ili çalışma alanı olarak seçilmiş ve jeoitin belirlenmesinde lokal polinomlarla, IDW, Kriging enterpolasyon yöntemleri kullanılmış ve en iyi sonucu veren yöntem araştırılmıştır. Çalışma sonuçları incelendiğinde en iyi sonucu Kriging yönteminin verdiği gözlenmiştir.

Janpaule vd, (2013) tarafından “Letonya Yaklaşık-Jeoitinin DFHRS Tabanlı Hesaplanması” adlı araştırma makalesinde konu elde edilen yaklaşık-jeoit yüksekliği referans yüzeyinin, diğer jeoit modelleriyle karşılaştırılmasının uyum noktası istatistiklerini ve bağımsız ölçümlere dayalı kalite kontrolünün tartışılmasıdır. Sonuç olarak Letonya için $\pm 1,6$ cm'lik standart sapmayla yaklaşık-jeoit yükseklik referans yüzeyi DFHBF yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.

Aşık, (2013) tarafından “Lokal Jeoit Belirlemede Yapay Sinir Ağları ve Kriging Yöntemlerinin Karşılaştırılması” adlı yüksek lisans tezinde Afyonkarahisar ve çevre illerde bulunan 86 TUTGA noktası kullanılmıştır. TUTGA noktaları kullanılarak 3 farklı model oluşturulmuş ve üç farklı modelde yapılan karşılaştırmalarda genel olarak yapay sinir ağları yönteminin kriging yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Ghadi, (2013) tarafından “Entegre Bir Yaklaşımında Belirlenmiş Küresel Harmonik Katsayılarla Bölgesel Gravite Alanı Modellemesi” adlı doktora tezinde çalışma bölgesi olarak Almanya'nın Baden-Württemberg federal eyaleti bölgesi kullanılmıştır. Ölçüm doğruluğuna karşılık gelen 0,01 mGal çözünürlüğü elde etmek amacıyla, 300'lük derece ve sırada bir jeoit modelini uygulamak için karada yaklaşık 15000 adet gravite gözlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, belirlenmiş küresel harmonik katsayılarından yüksek doğruluklu gravite alanının modellenmesi, herhangi bir boyuta ölçeklenebilir bölgesel alanlarda yaklaşık-jeoit ve jeoit hesaplamaları için faydasını kanıtlamaktadır.

Halıcıoğlu, (2015) tarafından “Sayısal Zenit Kamera Sistemi İle Astro-Jeodezik Çekül Sapmalarının Belirlenmesi” adlı doktora tezinin test ağındaki çekül sapmaları ile astronomik nivelman yöntemiyle jeoit yükseklikleri hesaplanmış ve GNSS/Nivelman yöntemiyle elde edilen jeoit yükseklik farklarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçta hesaplanan jeoit ondülasyonlarının KOH değeri $P_{\Delta N} = 1/S_{km}$ için maksimum ± 5.71 cm, $P_{\Delta N} = 1/S_{km}^2$ için maksimum ± 5.46 cm olarak bulunmuştur. Bu çalışmada SZKS ile elde edilen sonuçların GNSS/Nivelman ölçüleriyle birlikte değerlendirilebilir doğruluklara sahip, jeoit belirlemede kullanılabilir olduğu ve ulusal yükseklik sisteminin modernizasyonu çalışmalarına katkı koyabilecek nitelikte olduğu belirlenmiştir.

Doğanalp vd, (2015) tarafından “Şeritvari Projelerde Polinomlar, En Küçük Kareler Kollokasyon ve Radyal Bazlı Fonksiyonlar Kullanılarak Yerel Jeoit Belirleme” adlı araştırma makalesinde bir şeritvari alanın jeoid ondülasyonunun belirlenmesindeki enterpolasyon yöntemleri araştırılmıştır. Bu amaçla jeoit ondülasyon değerleri hesaplanmıştır. En Küçük Kareler Kollokasyon ve Multiküadratik, Spline gibi radyal bazlı fonksiyonlar ve polinom modelleri yardımıyla sonuçlar sunulmuştur. Sonuçlara göre sırasıyla Spline, Multiküadratik, En Küçük Kareler Kollokasyon yöntemlerinin polinom yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ameti vd, (2016) tarafından “DFHRS Yaklaşımı İle Seçilmiş Bir Alan Üzerinde Yükseklik Referans Yüzeylerinin Tanımı Üzerine” adlı araştırma makalesinde çalışma bölgesi olarak Kosova bölgesi ve 30 adet GNSS/Nivelman dayanak noktası seçilmiş ve 4 jeopotansiyel model analiz edilmiştir. Yaklaşık-jeoit modelin Kosova bölgesinin çoğunda doğruluk $\pm 1-3$ cm iken dağlık alanlarda $\pm 4-7$ cm kadar çıkmaktadır.

Morozova vd, (2017) tarafından “Digital Zenit Kameranın Sonuçları ve DFHRS V.4.3 Yazılımında Yaklaşık-Jeoit Belirlemede Kullanımı” adlı araştırma makalesinde zenit kameranın yapısı ve kontrol yazılımının özellikleri açıklanmakta ve çekül sapma ölçümlerinin sonuçları tartışılmıştır. Çalışma bölgesi olarak Riga bölgesi seçilmiş ve lokal yaklaşık-jeoit modelini kontrol etmek ve geliştirmek için DFHRS yazılımı kullanılmıştır.

Akçalı, (2018) tarafından “Jeoit Tespiti İçin Güncel Global Jeopotansiyel Modellerin GNSS/Nivelman Verileriyle Değerlendirilmesi” adlı yüksek lisans tezinde çalışma sahası olarak İç ve Batı Anadolu’daki 158 GNSS/Nivelman noktası belirlenmiş ve modeller için ICGEM sitesinden WGS84 modeli referanslı her bir jeopotansiyel model için hesaplama yapılmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde GNSS/Nivelman verileriyle yapılan karşılaştırmaya göre Türkiye jeoit belirleme çalışmaları için en uygun modelin EIGEN-6C2 olduğu sonucuna varılmıştır.

Morozova vd, (2018) tarafından “Yerçekimi Alanının Belirlenmesi İçin Ulan Batur Yaklaşık-Jeoit Hesaplama, Parametre Tahmini ve Optimizasyon Kavramları” adlı araştırma makalesinde EGM2008, GNSS ve Baltık Yükseklik Sistemi 1977'deki nivelman noktalarına ve çekül sapmalarına dayanan Ulan Batur bölgesi yaklaşık-jeoit modelinin (UBQGEOID2018) yöntemi ve DFHRS hesaplama sonuçları açıklanmaktadır. Yaklaşık-jeoit modelin doğruluğu $\pm 1-3$ cm olarak elde edilmiştir. İlgili bölgede dayanak noktalarının homojen dağılmadığından yaklaşık-jeoit iyileştirmede çekül sapmalarının tespiti için dijital zenit (başucu) kamerası kullanılması ve yükseklik değerlerinin kontrolünün yapılması gereklidir.

Şişman vd, (2018) tarafından “En Küçük Kareler Kollokasyon ve Kriging Yöntemleri İle Lokal Jeoit Belirleme” adlı araştırma makalesinde öncelikle jeoit yükseklikleri hesaplanmış ve sonrasında En Küçük Kareler Kollokasyon ve Kriging enterpolasyon metotlarına göre lokal jeoit yüzeyi belirlenmiştir. Çalışmanın neticesinde, 2 yöntemle de bulunan karesel ortalama hatalar karşılaştırılmış ve yöntemlerin avantajları açıklanmıştır.

Demir, (2018) tarafından “Global Yerpotansiyel Modellerin Gravimetrik Jeoit Belirlemeye Katkısı” adlı yüksek lisans tezinde CHAMP, GRACE ve GOCE uydu verileriyle oluşturulan yeni nesil global yerpotansiyel modellerinden türetilen jeoit yükseklikleri, GNSS/Nivelman verileriyle karşılaştırılıp seçilen güncel global yerpotansiyel modellerinin doğrulukları bölgesel olarak değerlendirilmiştir. Çalışma için KTH tekniği ile Konya Kapalı Havzasında 12 adet gravimetrik jeoit modeli oluşturulmuş ve 7 parametrelilik benzerlik dönüşümü yardımıyla GNSS/Nivelman verileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yeni nesil global yerpotansiyel modelinin doğruluğunun hesaplanan gravimetrik jeoit modelinin doğruluğuna yaptığı katkılar sayısal anlamda ortaya konmuştur.

Çiftçi, (2019) tarafından “Lokal Jeoit Belirlemede Kullanılan Çeşitli Enterpolasyon Yöntemlerinin Farklı Alanlardaki Uygulamalarının Karşılaştırılması” adlı yüksek lisans tezinde Burdur ve Haymana’da santral ve zincir şebeke olarak seçilen iki uygulama sahasında 4 farklı ağ tasarlanarak polinomlarla enterpolasyon, kriging enterpolasyon yöntemleri ve bulanık mantıkla jeoit sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda polinomlarla enterpolasyonun, alansal ağ yapısının şeritvari ağ yapısına sahip modellere göre daha iyi sonuçlar verebileceği; Kriging enterpolasyonun noktasal kriging yönteminin şeritvari ağ yapılarında daha iyi sonuç verdiği, blok Kriging yönteminin ise alan ağ yapılarında daha iyi sonuç verebileceği görülmüştür. Bulanık mantıkta ise esnek yapısından dolayı kullanıcıya çok farklı sonuçlar sunabilen ve tecrübe ile geliştirilebilip kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Fidancı, (2019) tarafından “Yapay Sinir Ağları İle Yerel Jeoit Belirleme” adlı yüksek lisans tezinde yapay zekâ teknolojilerinden yapay sinir ağları incelenmiş, jeoitin belirlenmesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma sahası olarak Belçika’da yaklaşık 2765 km² lik bir alan belirlenmiş ve bu alandaki 326 GNSS/Nivelman noktası aracılığıyla 6 adet deney yapılmıştır. Çalışma sonucunda homojen olan ve homojen olmayan noktaların dağılımlarında YSA modelinin polinom yüzey modelin çıktılardan daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Kahveci vd, (2019) tarafından “Ankara-Yozgat Hattında Mühendislik ve CBS Amaçlı Yaklaşık-Jeoit Hesabı” adlı araştırma makalesinde bahsedilen projenin çalışma sahasında GNSS/Nivelman ve gravite ölçümlerinin yapıldığı 21 adet dayanak noktası

kullanılmıştır. Ayrıca mutlak gravite, TG-03 kestirim değerleri HGM'den temin edilmiş ve DFHRS yazılımı kullanılarak lokal yaklaşık-jeoit hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu yazılım ile ± 10 cm den daha iyi doğruluk elde edilmiş ve GNSS/Nivelman jeoit, DFHRS çıktı ve TG-03 kestirim değerleri karşılaştırılmıştır.

Doğdu vd, (2021) tarafından “Kabuk Yoğunluğu Değişiminin Gravimetrik Jeoit Belirlemeye Etkisi” adlı araştırma makalesinde çalışma sahası olarak Konya Kapalı Havzası seçilmiş ve çalışma sahasında global ve bölgesel modellerden bulunan yoğunluklar ortalama değerden yaklaşık $\pm 10\%$ oranında daha farklıdır. Bu farkın gravimetrik bölgesel jeoit belirlemeye etkisi araştırılmıştır.

Simav vd, (2021) tarafından “Türkiye’de Güncel Yersel Gravimetri Çalışmaları” adlı araştırma makalesinde Türkiye yükseklik sisteminin modernizasyonu ve gravite altyapısının iyileştirilmesi (2015-2020) projesi kapsamında yapılan çalışmalar ve sonuçları açıklamıştır. 2016-2020 yılları arasında beş farklı kurumun (HGM, MTA, TPAO, TÜBİTAK-MAM ve TÜBİTAK UME) iş birliği ile gerçekleştirilen mutlak ve bağıl gravimetri çalışmaları sonucu 100 adedi mutlak olmak üzere toplam 11783 noktadan oluşan yeni gravite standardizasyon ağı TRGrav-Net oluşturulmuştur. TRGrav-Net ağına ağırlıklı ve zorlamalı en küçük kareler dengeleme istatistiklerine göre nokta gravite değeri standart sapmaları ortalaması ± 34.9 μGal büyüklüğündedir. Proje kapsamındaki yeni GNSS/nivelman noktalarında yapılan karşılaştırmalarda TG-20’nin $\pm 1.2 - 6.3$ cm doğruluğa eriştiği görülmüştür.

Morozova vd, (2021) tarafından “Astrojeodezik Ölçümlere Dayalı Yaklaşık-Jeoit Modelin Değerlendirilmesi: Letonya Örneği” adlı araştırma makalesi Letonya bölgesini kullanan bir çalışma alanı olarak çekül sapmalarına dayalı yaklaşık-jeoit model sonuçlarını değerlendirmektedir. Bu çalışmada minimum ve maksimum farkların dengelenmesinden sonra çözümün standart sapması, gözlem düzeltmeleriyle birlikte $\pm 0,006$ m’ye eşit olduğu sonucuna varılmıştır.

Karcı, (2022) tarafından “Bulanık Mantık Yöntemi İle Yerel Jeoit Belirleme: Şanlıurfa İli Örneği” adlı yüksek lisans tezinde çalışma bölgesi olarak Şanlıurfa’da elipsoit ve ortometrik yükseklik değerleri bilinen 408 adet nokta seçilmiştir. Noktaların 318’i eğitim, 90’ı test noktası 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.

Olgun, (2023) tarafından “Gravimetrik Jeoit Belirlemede Topoğrafik Etkilerin Araştırılması Üzerine Bir Çalışma” adlı doktora tezinde çalışma bölgesi olarak Konya Kapalı Havzası (KKH) ve Auvergne bölgeleri seçilmiş ve topoğrafik yapının lokal jeoit modellerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, 1" çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) verileri kullanılmıştır. Bu tez çalışmasıyla ortometrik yüksekliklerin iyileştirici etkisi ortaya çıkarılmıştır. Helmert ortometrik yüksekliklere getirilen düzeltmelerin ardından, KKH bölgesinde 7 parametrelili karşılaştırma testi ile jeoit modelinde en yüksek doğruluğa (± 6.03 cm) ulaşılmıştır. Ayrıca Auvergne’de en iyi model ± 2.60 cm karesel ortalama hata değerine sahiptir.

3. JEOİT VE JEOİT BELİRLEMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Yeryüzünün gerçek şeklini belirlemek için bir model tanımlamak, bu modelin bilimsel çalışmalara ve uygulamada mühendislik çalışmalarına katkı sağlamak açısından sonuçları jeodezinin temel çalışma konusunu oluşturur. Burada tanımlanmak istenen fiziksel yeryüzü modeli okyanus ve kara parçalarının düzensizliğini bünyesinde barındırmamalıdır. Bu düzensizliğe sebep olan (gel-git, rüzgâr, dalga, akıntılar, ısı, basınç, tuzluluk farkı, yoğunluk gibi) etkilerden arındırılmış olarak kabul edilen durgun okyanus yüzeylerinin kara parçalarının altından da devam ettiği varsayılan eşpotansiyelli kapalı şekle “jeoit (Yılmaz, 2011)” denir.

Fiziksel yeryüzü, kütlesi ve kendi eksenini etrafındaki dönüşünden kaynaklanan gravite alanında her bir nokta için bir gravite ve gravite potansiyeli değeri vardır. Gravite potansiyelleri eşit olan noktaların birleşmesiyle oluşturulan yüzeylere “eşpotansiyelli yüzeyler ya da seviye yüzeyleri (nivo yüzeyleri)” denmektedir. Seviye yüzeylerinin suyun hareket yönünü belirlemesinden dolayı başta jeodezi olmak üzere tüm altyapı ve mühendislik çalışmaları için önemi oldukça büyüktür.

Fiziksel yeryüzünün şekli olan jeoit ilk defa Listing (1872) tarafından adlandırılmıştır. Tanımı açık ve basit olarak verilen jeoit karmaşık bir yüzey olup pratik amaçlara uygun şekilde belirlenmesi matematiksel olarak kolay değildir. Jeoitin denklemi, gravite vektörü (çekül doğrultusu) ve gravite potansiyeliyle açıklanabilir. Kütle yoğunluğu sürekli oldukça, jeoitin eğriliği de sürekli. Yoğunluğun aniden değiştiği yerlerde, jeoitin eğriliği de ani bir şekilde değişir. Bu sebeple jeoit üzerinde büyük bölgelerde analitik hesap yapmak imkânsızlaşır. Dolayısıyla jeoit yüzeyi, hesap yüzeyi olarak kullanıma uygun değildir. Jeoitin belirli bir denklemle geometrik bir yüzey olarak ifade edilememesi nedeniyle jeodezik hesaplamaların jeoitte çok iyi uyum sağlayan geometrik bir şekil olan dön elipsoit üzerinde yapılması zorunluluğu vardır. Dön elipsoit, meridyen elipsinin küçük yarı eksen etrafında dönmesi ile oluşur. Üzerinde jeodezik hesaplamaların yapılacağı dön elipsoite, Helmert tarafından “Referans Elipsoidi” adı verilmiştir. Fiziksel yeryüzü üzerinde jeodezik amaçlı yapılan ölçümlerde esas olan, çekül doğrultusudur. Çekül doğrultusu her noktada jeoitte dik konumdadır. Referans elipsoidi ile jeoitin uyumu için seçilen ortak bir noktada (genellikle çalışma bölgesinin orta kısımlarında) elipsoit jeoitte teğet duruma getirilir.

Bu durumda elipsoit normalı ile aynı noktadaki çekül doğrultusu çakışır. Böylece aynı noktada jeoitin durumu da çakışır (Bolat, 2013).

Jeoit belirleme çalışmaları sonucunda elde edilen jeoit modelleri birbirleriyle kullanılan veri seti, yöntem, seçilen referans datum ve elipsoit, doğruluk ve uygulanabilirlik bakımından farklılık gösterir. Jeoit modelleri farklı veri setleri ve hesaplama yöntemleriyle ayrı ayrı belirlenebildikleri gibi veri seti ve yöntemin beraber değerlendirilmesiyle de belirlenebilirler.

GNSS tekniğiyle yapılan jeodezik ölçümlerde elde edilen referans elipsoitine bağlı olarak elipsoit yüksekliği (h) geometrik büyüklük olup fiziksel anlamı yoktur. Nivelman tekniğiyle elde edilen fiziksel anlamlı ve pratikte kullanılan yükseklik sistemi ise ortometrik yüksekliktir (H). Gelişen uydu teknolojileri ile yapılan ölçümlerin pratikte kullanılabilmesi için bu iki yükseklik sistemi arasındaki farkı ifade eden jeoit yüksekliğine (ondülasyonuna) ihtiyaç vardır.

Jeoit modelleme, jeoit yüksekliğinin seçilen dayanak noktalar yardımıyla bir referans yüzeyi geçirilerek ara noktaların belirlenmesidir.

Jeoit belirleme (modelleme) yöntemleri, mevcut veri seti ve kullanılan global jeopotansiyel modellere göre bu tez çalışması kapsamında ilerleyen sayfalarda sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.1. Jeoit belirleme (modelleme) yöntemlerinin doğruluk değerleri (Kuru, 2018).

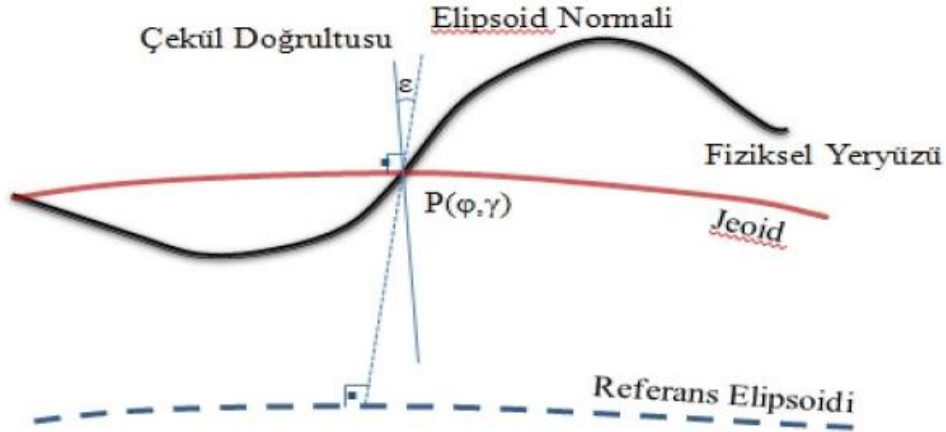
YÖNTEM	DOĞRULUK	
	Rölatif	Mutlak
Astrojeodezik	30 - 50 cm	70 - 100 cm
Gravimetrik	40 - 70 cm	1 – 1.5 m
Jeopotansiyel model		1 - 2 m
GNSS/Nivelman	10 - 20 mm	8-12 cm

3.1 Astrojeodezik Yöntemle Jeoit Belirleme

Fiziksel yeryüzü üzerindeki herhangi bir P noktasından geçen çekül doğrultusu ile aynı noktadan geçen elipsoit normalinin kesişiminde oluşan açıklığa çekül sapması

denmektedir (Sekil 3.1). Fiziksel yeryüzündeki herhangi bir noktanın astronomik enlem ve boylamı (ϕ , Λ) astronomik gözlemler yapılarak belirlenebilir. Aynı noktanın koordinat değerleri referans elipsoitinin jeodezik enlem ve boylamı (φ , λ) ile karşılaştırılırsa çekül sapmasının bileşenleri oluşur.

$$\xi = \phi - \varphi ; \eta = (\Lambda - \lambda) \cos \varphi \quad (3.1)$$



Şekil 3.1. Çekül sapması (Kuru, 2018).

Bir noktadaki çekül sapmasının meridyen doğrultusundaki (η doğu-batı yönündeki çekül sapması bileşen) ve paralel doğrultusundaki (ξ kuzey- güney yönündeki çekül sapması bileşen) bileşenleri biliniyorsa bir ds mesafesinde jeoit yüksekliğindeki değişiklik,

$$dN = - \varepsilon ds \quad (3.2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada ε , azimutu α olan doğrultudaki çekül sapmasıdır ve

$$\varepsilon = \xi \cos \alpha + \eta \sin \alpha \quad (3.3)$$

olarak bulunur. A başlangıç noktasındaki jeoit yüksekliği biliniyorsa bir AB kenarı boyunca N değeri aşağıdaki integrale hesaplanabilir.

$$NB = NA - \int_A^B \varepsilon ds \quad (3.4)$$

Yukarıda açıklandığı gibi jeoit belirlemeye astrojeodezik yöntemle jeoit belirleme denir (Halıcıoğlu, 2015). Gözlemlerin yapılabilmesi için görüşe kapalı

olmayan açık gökyüzüne ihtiyacın olması astrojeodezik yöntemle jeoit belirlemenin dezavantajıdır.

3.2 Gravimetrik Yöntemle Jeoit Belirleme

Bu yöntemle, jeoit yüzeyi belirlenecek sahalardaki farklı topoğrafik yapıya ve kütle yoğunluğa sahip alanlardaki belirlenen noktalar üzerinde gravimetrik ölçmeler gerçekleştirilir. Ölçümü gerçekleştirilen gravimetrik değerlerin gereken indirgemelere tabi tutularak jeoit yüzeyi üzerindeki gravimetrik değerler elde edilir. Bu indirgemeler serbest hava ve bouguer indirgemesi olarak ikiye ayrılabilir. Serbest hava indirgemesi fiziksel yeryüzünde farklı yüksekliklere sahip noktaların yüksekliklerinden kaynaklanan etkiyi gidermek için (3.5) eşitliği kullanılarak indirgenir.

$$d_{gs} = - 0.3086H \quad (3.5)$$

(3.5) eşitliğindeki 0,3086 değeri Türkiye için kullanılan bir katsayıdır. H ise noktanın ortometrik yüksekliğidir. Bouguer indirgemesinde ise jeoit ile fiziksel yeryüzü arasındaki kütlelerin etkisinin giderilmesi söz konusudur. Bouguer çekim etkisi (3.6) de gösterilmiştir.

$$B = 2\pi G\rho H \quad (3.6)$$

Burada $\rho = 2,67 \text{ gr/cm}^3$ ortalama yoğunluğa sahip yer kabuğunu, G evrensel çekim sabitini, H ortometrik yüksekliği ifade eder. Böylece bouguer indirgemesi

$$d_{gb} = 0.1119H \quad (3.7)$$

(3.7) eşitliği ile elde edilir. Nihayetinde bir noktanın fiziksel yeryüzündeki ölçülen gravite değeri (3.8) eşitliği yardımıyla serbest hava ve bouguer indirgemeleri yapılarak jeoit yüzeyine indirgenmiş olur (Abbak, 2021).

$$g - d_{gs} - d_{gb} = g + 0.1967H \quad (3.8)$$

Jeoit yüzeyine indirgenen gravimetrik ölçüm yapılan noktaların Stokes integrali ile jeoit ondülasyonu değerleri hesaplanır ve bu değerlerden en uygun jeoit yüzeyi geçirilir.

3.2.1. Stokes yöntemi

Stokes integrali, jeoit yüzeyi üzerindeki her nokta için ölçülen gravite anomalilerinden bozucu potansiyelin hesaplanmasıyla ilgilidir. Stokes (1849) bozucu gravite potansiyelini (3.9) eşitliğiyle hesaplamıştır.

$$T = \frac{R}{4\pi} \iint \Delta g S(\psi) d\sigma \quad (3.9)$$

Eşitlikte R yeryuvarının ortalama yarıçapını, σ yeryuvarı yüzeyini, $S(\psi)$ Stokes fonksiyonunu temsil eder. Referans elipsoitini jeoit üzerindeki gravite potansiyeliyle aynı normal potansiyele sahip seçerek bozucu potansiyel ve normal potansiyel ilişkisinden jeoit yüksekliği (3.10) eşitliğinde gösterildiği gibi elde edilebilir (Arslan vd, 2005).

$$N = \frac{T}{\gamma} = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint \Delta g S(\psi) d\sigma \quad (3.10)$$

3.2.2. KTH yöntemi

Stokes integrali, jeoit yüzeyi üzerindeki her nokta için ölçülen gravite anomalilerinden yeryuvarının gravite alanının hesaplanmasında yeryuvarına ait yersel gravite gözlem verileri gereklidir. Fakat gravite gözlemlerinin sınırlı olması, Stokes integralinin global yerine bölgesel olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. KTH yöntemiyle istenen doğrulukta sonuçlara ulaşabilmek için Stokes integrali, çalışma sahasında yeniden düzenlenir. Böylece Stokes integralinin global yerine bölgesel ölçekte modifikasyonundan dolayı bir kesme hatası olur. Kesme hatasının en aza indirilmesi için bazı teknikler geliştirilmiştir. Deterministik ve stokastik olarak ikiye ayrılan tekniklerden deterministik yöntemde sadece kesme hatası minimuma indirilmeye çalışılırken stokastik yöntemlerde kesme hatasının yanında global jeopotansiyel modellerden ve yersel gözlem verilerinden kaynaklanan hatalar en aza indirgenmeye çalışılır (Doğdu vd, 2021).

Lars E. Sjöberg adlı bilim insanı 1981 yılında, kesme hatasını azaltmak için KTH yöntemini geliştirmiştir. KTH'nın açılımı İsveç Kraliyet Teknoloji Enstitüsü'dür. Çalışmalar yöntemin adını aldığı yer olan bu enstitüde yapılmıştır. KTH yöntemi stokastik bir yöntem olmakla birlikte KTH yaklaşımında veri hatalarını göz önünde bulundurarak kesme hatasını en aza indiren modifikasyon katsayıları EKK yöntemi ile kestirilir. Bu nedenle KTH yaklaşımı Stokes fonksiyonunun en küçük kareler yöntemi ile modifikasyonu (LSMS: Least Squares Modification of Stokes) olarak da adlandırılır. (Abbak, 2011). KTH yöntemine göre elde edilen jeoit yüksekliği yaklaşıktır. Yaklaşık jeoit yüksekliğine topoğrafik, atmosferik, elipsoidal gibi düzeltmeler getirilerek kesin değere ulaşılır. KTH yöntemine yaklaşık jeoit yüksekliği;

$$\tilde{N} = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} S^L(\psi) \Delta g d\sigma + \frac{R}{2\gamma} \sum_{n=2}^M b_n \Delta g_n^{KYM} \quad (3.11)$$

(3.11) denklemiyle elde edilir (Doğdu vd, 2021). (3.11) denkleminde R yeryuvarının ortalama yarıçapını, γ normal graviteyi, $S^L(\psi)$ yerel Stokes fonksiyonunu, Δg gravite anomalisini, M yer potansiyel modelin kullanılan en büyük açınım derecesini, b_n modifikasyon parametresini temsil etmektedir.

3.2.3. Hızlı fourier transformasyonu yöntemi

Çalışma sahasının gravite anomalilerinden jeoit yükseklikleri 2 boyutlu bir konvolusyon integraliyle düzlem yaklaşımda ifade edilebilirler. MxN gridli ve Δx ve Δy aralıklı nokta gravite anomalilerini kullanarak, bir (X_k, Y_l) noktasındaki jeoit yüksekliği aşağıdaki iki boyutlu hızlı Fourier transformasyonu ile aşağıdaki (3.12) eşitliğiyle hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} N^{\Delta g}_{(X_k, Y_l)} &= \frac{\Delta x, \Delta y}{2\pi\gamma} \mathbf{F}^{-1} \left\{ \mathbf{F} \{ \Delta g_{(X_k, Y_l)} \} \mathbf{F} \{ l_{N(X_k, Y_l)} \} \right\} \\ &= \frac{\Delta x, \Delta y}{2\pi\gamma} \mathbf{F}^{-1} \{ \Delta G(u_m, v_n) L_N(u_m, v_n) \} \end{aligned} \quad (3.12)$$

(3.12) eşitliğindeki F 2D diskrete Fourier transformasyonu, F^{-1} ters 2D diskrete Fourier transformasyonu, u ve v ise sırasıyla x ve y'ye karşılık gelen frekanslardır. ΔG diskrete fourier transformasyonu ile hesaplanmalıdır, öte yandan L_N

ya diskrete fourier transformasyonu (DFT) ile ya da sürekli fourier transformasyonu (CFT) ile hesaplanmalıdır. ΔG CFT ile hesaplanırsa $L_N=(u^2+v^2)^{-1/2}=q^{-1}$ 'i verir. Burada q radyal frekanstır ve (3.12) numaralı eşitlikte kullanmak için diskrete edilir (Arslan vd, 2005).

3.3. GNSS/Nivelman Yöntemiyle Jeoit Belirleme

Günümüzde jeodezik amaçlı uygulamalarda kullanım alanı oldukça yaygınlaşmış GNSS teknolojisi, klasik ölçme yöntemleri (açı-kenar ölçümü) ile yapılan konum belirlemenin çok fazla zaman ve yoğun emek harcanması gibi zorluklarını ortadan kaldırmıştır. GNSS ile elipsoit yüksekliği (h) tanımlanan bir elipsoite göre doğrudan ölçülebilmektedir. GNSS ile ölçülen yükseklikler klasik yükseklik ölçme yöntemleri (nivelman) ile ölçülen yüksekliklerden farklı bir yükseklik sistemindedir. Yani jeodezik uygulamalarda geometrik anlam taşıyan h elipsoit yüksekliği yerine fiziksel anlamı olan H ortometrik yükseklikler kullanılmaktadır. Elipsoidal yükseklik ile ortometrik yükseklik arasındaki ilişki (3.13) eşitliğiyle gösterilmektedir.

$$N = h - H \quad (3.13)$$

Burada N jeoit yüksekliğini, iki yükseklik türü arasındaki farkı ifade etmektedir. Yukarıdaki (3.13) eşitliği GNSS/Nivelman yöntemine göre jeoit belirlemenin temel ifadesidir. Buna göre bir noktada ortometrik yükseklik (H) ve elipsoit yüksekliği (h) biliniyorsa jeoit yüksekliğine (N) kolaylıkla ve hızlıca ulaşılabilir. Yukarıdaki (3.13) eşitliğiyle jeoit yükseklikleri GNSS ve Klasik nivelman verilerinden hareketle hesaplanan noktalara dayalı olarak çalışma sahaları için jeoit yüzeyi hesaplanabilir. Burada jeoit yüzeyinden kastedilen GNSS/Nivelman yöntemi verilerini kullanan enterpolasyon yöntemleri yardımıyla bilinen dayanak noktası değerlerinden yararlanarak bilinmeyen ara nokta değerlerinin belirlenmesi ifade edilmektedir. Uygulanmak istenen enterpolasyon aslında bir yüzey geçirme işlemidir. Yüzey geçirmede kullanılacak çeşitli enterpolasyon yöntemleri vardır. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir.

Enterpolasyon işlemlerinin çözümlenmesinde nokta bazlı, çalışma sahasının tümünü ifade eden tek fonksiyonla ve lokal alanlarda tanımlı parça parça fonksiyonlarla olmak üzere farklı kestirim tekniklerinden söz edilebilir.

Nokta bazlı enterpolasyon yönteminde enterpolasyon noktasını çevreleyen belirli bir dairenin veya dörtgenin içine giren dayanak noktaları esas alınır. Her nokta, kendisinin merkezinde olduğu daire ya da dörtgen içindeki dayanak noktalarından hesaplandığından dolayı enterpolasyon fonksiyonu katsayıları noktadan noktaya değişiklik göstermektedir.

Çalışma alanının tamamını temsil eden tek bir fonksiyonla enterpolasyon yönteminde alanın tamamını ifade eden fonksiyonu belirlemek için bölgede bulunan bütün dayanak noktalarından yararlanılır.

Lokal alanlarda tanımlı parçalı fonksiyonlarla enterpolasyon yönteminde ise çalışma alanı parçalara ayrılmakla ve her parça kendi içindeki tanımlı fonksiyonuyla gösterilmektedir. Bu durumda parçaların arasında çatlakların ve süreksizliklerin oluşabilmesi söz konusudur. Bu durumu engellemek için parçalar arasındaki sınırlarda birleştirme fonksiyonları kullanılarak parçadan bütüne gidilerek enterpolasyon tamamlanır.

3.3.1. Ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon

Bu yöntem nokta bazlı enterpolasyon yöntemi olup herhangi bir noktanın enterpolasyon değeri çevresindeki dayanak noktalarının ağırlıklı ortalamasıyla belirlenir. Dayanak noktalarının bilinen değerlerine atanacak ağırlık değeri dayanak ve enterpolasyon noktası arasındaki mesafenin bir fonksiyonuna bağlı olarak elde edilir ve bu nedenle ağırlıklar, her dayanak noktası için farklılıklar gösterebilir (Yurt, 2006). Kullanılacak dayanak noktasının ağırlık değeri P_i

$$P_i = (1) / d_i^k, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (3.14)$$

şeklinde elde edilir. Ağırlık eşitliğindeki k bir güç çarpanı olup d_i ise dayanak noktası ile enterpolasyon noktası arasındaki uzaklıktır ve şu şekilde hesaplanır.

$$d_i = \sqrt{(X_i - X_e)^2 + (Y_i - Y_e)^2} \quad (3.15)$$

Enterpolasyonu yapılacak bir nokta için o bölgede m sayıda dayanak noktası olduğu varsayıldığında o bölgedeki herhangi bir noktanın jeoit yüksekliğinin ağırlıklı ortalama ile enterpolasyonu

$$N_e = \frac{\sum_{i=1}^m N_i P_i}{\sum_{i=1}^m P_i} \quad (3.16)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Eşitlikteki N_e enterpolasyon noktasının jeoit yüksekliğini, N_i enterpolasyon noktasının çevresindeki dayanak noktalarının jeoit yüksekliğini, P_i dayanak noktalarının ağırlık değerini temsil eder.

Ağırlık değerinin hesaplanmasında (3.14) eşitliği kullanılırsa k değerinin güç çarpanının seçimi oldukça önemli olacaktır. Ağırlıkla uzaklık ters orantılı olduğundan güç çarpanı değerinin artmasıyla birlikte uzaktaki noktanın enterpolasyonla jeoit yüksekliği belirlenecek noktaya etkisi az olacaktır. Bu durumda çok fazla dayanak noktası bulunan büyük bölgelerde k değeri büyük tutularak azaltılmalıdır (Yurt, 2006).

3.3.2. Polinomlarla enterpolasyon yöntemi

Polinomlarla enterpolasyon yöntemi yüzey geçirme işlemlerinde en yaygın tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntemin temel amacı çalışma sahasının tek bir fonksiyonla ifade edilmesidir. Tek bir fonksiyon ifadesini biraz açıklamak gerekirse jeoit yüzeyi hesabında kullanılacak dayanak noktaları verilerinden (x, y, N) faydalanılarak çalışma sahasındaki yatay konumu bilinen herhangi bir noktanın jeoit yüksekliğinin hesaplanmasında kullanılacak polinom fonksiyonun bilinmeyen sabit katsayılarının belirlenmesi yöntemin temel amacıdır.

Polinom yüzeyleri genellikle iki değişkenli yüksek dereceden polinomlarla tanımlanır.

$$N_{(X,Y)} = \sum_{k=0}^n \sum_{j=k-i}^k a_{ij} X^i Y^j \quad (3.17)$$

Eşitliğiyle ortogonal polinom elde edilir. Eşitlikte;

a_{ij} : Polinomun bilinmeyen sabit katsayılarını

n : Polinomun derecesini

x, y : Noktanın düzlem koordinatlarını

temsil eder. Polinomun derecesine göre terim sayısı değişir. Bir polinomun derecesini en yüksek dereceli terim belirler. Polinomun derecesi sıfır, bir, iki, üç seçildiğinde sırasıyla yüzey düzlem, lineer, kuadratik, kübik olarak adlandırılır. Kuadratik yüzey eşitliği altı bilinmeyen sabit katsayılı bir polinomla, kübik yüzey eşitliği ise on bilinmeyen sabit katsayılı bir polinom ile elde edilir (Yurt, 2006). Burada önemli olan çalışma sahasının polinom yüzeyinin derecesinin nasıl belirleneceğidir. Bu amaçla polinom fonksiyonları 1. dereceden başlatılarak dengeleme çıktıları incelenir. Polinom fonksiyonun derecesi artırıldıkça varyansı küçülecektir. Polinom fonksiyonun en uygun derecesi varyansın yükselmeye başladığı derecenin bir eksiği olmalıdır. Fonksiyon derecesinin çok yüksek olması bilinmeyenlerin artmasıyla yüzeydeki gereksiz salınmalara sebeptir. Bu duruma dikkat edilmelidir. Zira bu durum yüzeyin duyarsızlaşmasıdır ve gerçeği yansıtmayan durumlarla karşılaşılabilir (Yiğit, 2003).

3.3.3. Sonlu elemanlar yöntemiyle enterpolasyon

Sonlu elemanlar yöntemi; süreklilik arz eden herhangi bir cismi karakteristiğini de göz ardı etmeden sonlu elemanlar olarak adlandırılan uygun parçalara ayırıp çözümlmek ve tekrar parçaları birleştirilerek bütüne ulaşmaktır. Parçalardan bütüne ulaşmada komşu parçalar arasında oluşabilecek süreksizlikler birleştirme fonksiyonları yardımıyla giderilir. Jeoit yüksekliği belirlenecek çalışma sahası parçalara ayrılarak ayrı ayrı enterpolasyonları yapılır ve komşu parçalar arasındaki geçişlerde sürekliliğin sağlanması gerekir. Karmaşık ve farklı karakteristikte öğeler barındıran bir yapının tek bir ifadeyle temsil edilmesi yerine, bütünü oluşturan öğelerin genel bütünlüğünü koruyacak şekilde ifade edilmeleri sonlu elemanlar yönteminin mantıksal yaklaşımıdır (Kartal, 2001; Çepni vd.,2007).

Sonlu elemanlar yönteminde sayısal hesaplamalar için yeryüzünü meridyen ve paralellerle sınırlandırılmış uygun büyüklükte (örneğin 10'x10', 5'x5' veya 1'x1') parçalara ayırmak önerilebilir. Sonlu elemanlar yönteminin matematiksel olarak uygun bir fonksiyonla temsili gerekmektedir. Parçaları temsil edecek fonksiyonun mümkün olduğunca basit olması istenir. Bunun için ideali polinom fonksiyonlardır. Bu nedenle her bir sonlu eleman (örneğin 5'x5'lık bir parça) bir polinom fonksiyonla gösterilirler. Farklı parçalar farklı polinomlarla temsil edilebilirler. Fakat farklı parçalar arasındaki

sınır çizgileri boyunca polinomların birbirleriyle uyum sağlaması gerekmektedir. Böylece bir parçadan diğer parçaya geçişte süreklilik sağlanacaktır (Yılmaz, 2011).

3.3.4. Kriging enterpolasyon yöntemi

Kriging enterpolasyon yöntemini bulan ve ilk uygulayan 1951 yılında Güney Afrikalı D. G. Krige adında bir maden mühendisidir. Bu yöntem enterpolasyonda kullanacağı dayanak nokta verileriyle hesabı yapılacak noktaların değerlerinin en uygun şekilde kestirilerek belirlenen bir yöntemdir. Kriging yöntemi yakındaki noktalardan daha çok etkilenen bir ağırlık modeli kullanır. Kriging enterpolasyon yönteminin genel eşitliği,

$$N_e = \sum_{i=1}^n P_i N_i \quad (3.18)$$

şeklinde verilmiştir. Eşitlikte;

N_e : Enterpolasyon noktasının jeoit yüksekliğini

P_i : Dayanak noktalarına atanacak ağırlık değerini

N_i : Dayanak noktalarının jeoit yüksekliğini

n : kullanılan dayanak nokta sayısını ifade eder.

Kriging enterpolasyon yönteminin genel eşitliği incelendiğinde en önemli konunun P_i ağırlık değerlerinin belirlenmesi olduğu görülmektedir. Bu yöntemde ağırlıklar variogram modelleriyle doğrudan ilişkilidir. Variogram farklı noktalardaki değişkenlerin birbirleriyle bağımlılık durumunun bir fonksiyonudur. Kriging enterpolasyonunda noktanın jeoit yüksekliğini hesaplamada kullanılacak dayanak noktalarına atanacak ağırlıkların kestirim hatası ortalamaları sıfır ve varyansı minimum olacak şekilde belirlenmelidir. Çalışılacak sahada kriging enterpolasyon yöntemi kullanılacaksa seçilen variogram modelinin parametreleri bilinmelidir (Yılmaz, 2011).

3.3.5. En küçük kareler kollokasyon yöntemi

En Küçük Kareler yöntemine göre dengeleme, süzgeçleme (filtreleme) ve tahmin (kestirim) aşamalarının birlikte uygulanarak yapılan işleme kollokasyon denilmektedir (Şişman vd, 2018). Kollokasyon dengeleme modelini, EKK'den ayıran

en önemli fark fonksiyonel modelin sinyal adı verilen hatayı bünyesinde barındırmasıdır. Jeoitin belirlenmesindeki genel denklem aşağıdadır.

$$l+V = Ax+s \quad (3.19)$$

Denklemden l ölçü vektörünü, V düzeltme vektörünü, Ax trendi veya deterministik kısmı, s sinyal adı verilen hata vektörünü temsil etmektedir. EKKK yöntemi trend belirleme (filtreleme), deneysel kovaryansın hesaplanması ve tahmin noktalarındaki sinyalin kestirimi olarak üç aşamada uygulanmaktadır.

Trendin Belirlenmesi: EKKK’de verilere göre analitik fonksiyonun belirlenmesi gerekir. Buna fonksiyonda trend geçirme diyebiliriz. Trend, ele alınan fonksiyonel modele uygun yüzey olarak adlandırılır. Dengeleme modeli, ele alınan bu trend yüzeyinden olan sapmalar ile birlikte uygulanır. Jeoitin belirlenmesinde jeoit yüksekliklerine uygun olan fonksiyonun belirlenmesi gerekmektedir. Lineer, polinomal, spline ve trigonometrik fonksiyon olabilecek fonksiyon türleri arasında gösterilebilir (Doğanalp vd, 2015).

Deneysel Kovaryansın Hesaplanması: EKKK’de en önemli farklılık sinyal değerleri için oluşturulan deneysel kovaryanslardır. Sinyallerin istatistiksel tutumları uygun bir kovaryans fonksiyonu ile elde edilen kofaktor matrisiyle (C_q) belirlenir. Kovaryans matrisi elemanları tahmin edilen ve ölçülen noktalar arasındaki uzaklık (q) kullanılarak elde edilir (Şişman vd, 2018).

Tahmin Noktalarında Sinyalin Kestirimi: EKKK’de tahmin değeri sinyallerdir. Bu değerlerin tahmininde bilinen nokta sinyalleri ve aralarındaki korelasyon kullanılır. Ölçüler, referans (s) ve tahmin ölçüleri (sp) olarak ikiye ayrılır. Referans ve tahmin noktaları için iki nokta grubu arasındaki kovaryans matrisleri elde edilir. Ölçülerin kovaryans matrisi $Q_{\ell\ell}$ ve sinyallerin kovaryans matrisi Q_{ss} kullanılarak toplam kovaryans $\bar{Q}$ matrisi elde edilir. Daha sonra kollokasyona en küçük kareler adımlarıyla devam edildiğinde;

$$x = (A^T \bar{Q}^{-1} A)^{-1} A^T \bar{Q}^{-1} l; k = \bar{Q}^{-1} (l - Ax) \quad (3.20)$$

elde edilir (Doğanalp vd, 2015). Tahmin noktalarındaki sinyal (s_p) ve jeoit yükseklik değerleri (L_p) ise;

$$S_p = Q_{sps} \bar{Q}^{-1} (I - Ax) ; L_p = A_p x + S_p \quad (3.21)$$

eşitlikleri ile bulunur. Uygulanan modelin doğruluk kriteri olarak karesel ortalama hata 3.22 eşitliğiyle hesaplanır (Doğanalp vd, 2015).

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{l^T_k}{n-u}} \quad (3.22)$$

3.3.6. Yapay sinir ağları yöntemi

Yapay sinir ağlarının (YSA) çalışması yapay nöron adı verilen bilgiyi işleme birimine dayanır. Aralarında bağlantıların kurulduğu nöronlar ve gruplar halindeki katmanlar tarafından yapay sinir ağları oluşturulurlar. Genel özellikleri ile nöron modelleri girdi, ağırlık, eşik değeri, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olarak altı temel bileşenden oluşmaktadır.

Girdi: Nöron hücrelerine dışarıdan ya da diğer nöronlardan gelen YSA'nın öğrenmesi gereken bilgileri ifade eder.

Ağırlık: Nörona gelen bilgilerin önemini ve nörondaki etkisini gösteren bağlantılardır. Girdiler, ağırlık değerleriyle çarpımından sonra diğer nörona aktarılır. Ağırlık değerlerinin sıfır olması etkisiz olduğunu, eksi ya da artı olmasıysa etkinin negatif ya da pozitif olduğunu gösterir.

Eşik değeri: Nöronun ya da yapay sinir ağlarının, çıktı değerinin sıfır olmasını engellemek için kullanılan değerdir.

Toplama fonksiyonu: Nörona ulaşan ağırlıklı net girdinin hesabını yapan fonksiyondur. Toplama ifadesi, yapay sinir ağları uygulamalarında genelde toplama işleminin yapılmasından kaynaklanmakta olup zorunlu değildir. Yapay sinir ağlarının yapısına göre toplama fonksiyonu olarak kendi ağırlığı ile çarpılmış girdi değerlerinin; en büyüğü, en küçüğü, toplamı, ortalaması veya mod değeri kullanılabilir. En yaygın kullanımı ağırlıklı toplamıdır (Aşık,2013).

$$T = \sum_{i=1}^n x_i w_i + b \quad (3.23)$$

(3.23) denkleminde x girdiyi, w bağlantı ağırlık değerini, b eşik değerini ve n nörona ulaşan toplam girdi sayısını göstermektedir.

Aktivasyon fonksiyonu: YSA'nın, temel hesap işleminin yapılacağı bileşen olup nörona ulaşan net girdiye karşılık nöronun üreteceği çıktıyı hesaplayan fonksiyondur. Aktivasyon fonksiyonunun görevi, hem çıktıları $[-1, 1]$, $[0, 1]$ gibi belirli değerler arasında tutmak hem de sürekli bir fonksiyon oluşturmaktır. Aktivasyon fonksiyonunun sürekli olması türevinin alınması, türevinin alınması da yapay sinir ağlarının eğitimi aşamasındaki algoritmaları için gereklidir. Aktivasyon fonksiyonun türev karakteristikleri, eğitim aşamasının hızını ve başarısını etkilemektedir (Aşık, 2013). Ayrıca aktivasyon için farklı fonksiyonlar kullanılabilir. Birlikte fonksiyonun seçimiyle ilgili kesin bir kural yoktur. Bu durum problemin yapısıyla ilgilidir ve deneme-yanılma metoduyla aktif şekilde belirlenebilir. YSA'da kullanılan aktivasyon fonksiyonları sigmoid, hiperbolik tanjant, lineer, basamak, Gauss ve multiküadratik şeklinde sıralanabilir.

Çıktı: Aktivasyon fonksiyonuyla hesaplanan $y = f(T)$ değeri, nöronun çıktı değeridir. Yapay sinir ağlarının yapısına göre, çıktı değeri başka bir nörona girdi olarak veya bir dış bağlantıya sonuç olarak gönderilebilir.

Yapay sinir ağlarının tümü, yukarıda temel bileşenleri açıklanan nöronlardan oluşmaktadır. Nöronların tasarımı (toplama ve aktivasyon fonksiyonlarının seçimi) YSA mimarisinin ilk aşamasıdır. İkinci aşama ise nöronların kümelendirilmesini ve aralarındaki bağlantıların oluşturulmasını içermektedir (Aşık, 2013). YSA'da görevli işlem elemanları görevleri kapsamında belli kümeler gruplanırlar. Bu gruplanmış kümelere katmanlarda denilmektedir. İlk YSA'lar sadece girdi ve çıktı katmanlarından oluşurken daha sonra bu katmanlara ara katmanda eklenmiştir (Fidancı, 2019).

Girdi katmanı: Gelen girdi verilerinin ilk olarak ağı girdiği katmandır. Bu katman verileri ara katmana aktarmakla sorumludur.

Ara katman: Girdi katmanından gelen verileri işleyerek çıktı katmanına ulaştırmakla görevlidir. Bir ağda birden fazla ara katman olabilir.

Çıktı katmanı: Ara katmandan ulaşan verileri işleyerek sonuç ürünü olan çıktıyı ortaya koyar.

İşlem süreci katmanlar arasındaki bağlantılar aracılığıyla ilişkilendirilir. Bağlantılardaki var olan ağırlıklar öğrenme sırasında değişerek öğrenmeyi gerçekleştirir (Fidancı, 2019).

3.3.7. Bulanık mantık yöntemi

Bu yöntem sözel verilere dayanmakta olup sayısal verilerde sözelleştirilerek kullanılmaktadır. Bulanık mantık yönteminde bu işleme bulanıklaştırma denilmektedir. Bulanık mantık mimarisi dört ana bölüme ayrılmaktadır. Bunlar; kural tabanı, bulanıklaştırma, çıkarım motoru ve durulaştırma olarak sıralanır.

Kural tabanı bölümü, karar alma sistemini kontrol etmede uzmanlarca sunulan tüm kuralları ve zaman koşullarını barındırır. Bulanıklaştırma, net sayıları bulanık kümelere dönüştürür. Çıkarım motoru, bulanık girdi ve kurallar arasındaki eşleşme derecesini belirler. Son olarak durulaştırma bölümü ise, bulanık kümeleri net bir değere dönüştürür. Bulanık küme teorisinde yaygın bir şekilde kabul gören üyelik fonksiyon tipleri arasında gauss eğrisi, üçgen, yamuk ve singleton olarak sayılabilir (Çiftçi, 2019).

Bulanık mantık sistemi eğer ise kuralları olarak adlandırılan bulanık kurallara dayalı sistemlerdir. Bulanık kurallar genel olarak aşağıda gösterilmiştir.

Kural 1: Eğer $x = A1$ ve $y = B1$ İse $z = N1$

Kural 2: Eğer $x = A2$ ve $y = B2$ İse $z = N2$

Burada x ve y öncül kısımdaki girdi değişkenlerince tanımlanan koşullarının z ise soncul kısımdaki çıktı değişkenlerince tanımlanan sonuçlarının temsilidir. Kullanımda sık karşılaşılan iki bulanık model vardır. Bunlar Mamdani ve Sugeno bulanık modelleridir.

3.3.7.1. ANFIS modeli

Bulanık mantık yöntemi içerisinde, uyarlanabilir bir yapay sinir bulanık çıkarım yöntemi olan ANFIS yöntemi, bilim dünyasına 1993'te Jang sayesinde kazandırılan bir yöntemdir. Bu yöntemde yapay sinir ağlarının öğrenme kabiliyetini kullanarak bu iki sistemin birleşmesi ile insana ait karar verme yeteneğinin bulanık mantık sisteminde birlikte kullanılması sağlanmıştır. Bu yöntem yukarıda adı geçen Sugeno modeliyle birlikte kullanılır. Öğrenme algoritması ise geri yayılım veya geri yayılım modeli EKK metodu ile birlikte kullanılan (melez) öğrenme modelidir. Bu uyarlamalı yapı sayesinde

kullanıcı deneyimine fazla ihtiyaç duyulmaz. ANFIS mimarisi iki kurallı Sugeno modeli ile aşağıdaki gibi gösterilir (Karcı, 2022).

Kural 1: eğer x değeri A1 ve y değeri B1 ise $f1 = p1x + q1y + r1$

Kural 2: eğer x değeri A2 ve y değeri B2 ise $f2 = p2x + q2y + r2$

3.4. Global Jeopotansiyel Modeller Yöntemiyle Jeoit Belirleme

Global jeopotansiyel model, genel anlamda belirli bir açınım derecesine kadar hesaplanmış katsayıları içeren bir modeldir ve yeryuvarının çekim potansiyelini en iyi tanımlayan küresel harmonik serilerin katsayılarını barındırır (Türen, 2010).

Yeryuvarının gravite alanının (W) küresel harmonik gösterimi;

$$W(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r} \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n (C_{nm} \cos m \lambda + S_{nm} \sin m \lambda) P_{nm}(\cos \theta) \right\} + \Phi \quad (3.24)$$

şeklindedir. Burada,

r, θ, λ : W' nin hesaplanacağı noktanın kutupsal koordinatları,

GM : Gravitasyonel sabit,

a : Referans elipsoitinin büyük eksen,

$P_{nm}(\cos \theta)$: Tam normallestirilmiş Legendre fonksiyonu,

C_{nm}, S_{nm} : Yeryuvarı gravite alanının tam normallestirilmiş küresel harmonik katsayıları,

Φ : Merkezkaç potansiyeli ($\Phi = \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \sin^2 \theta$, ω : yeryuvarının açısal dönme hızı)

dir.

Jeopotansiyel model kullanılarak jeoit yüksekliklerinin (3.25) formülüyle belirlenebileceği gösterilmiştir.

$$N(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r^2} \left\{ \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\Delta C_{nm} \cos m \lambda + \Delta S_{nm} \sin m \lambda) P_{nm}(\cos \theta) \right\} \quad (3.25)$$

Burada γ , $P(r, \theta, \lambda)$ noktasındaki normal gravite değeridir.

Uydu izleme verileri, gravite anomalileri, uydu altimetre verileri ve sayısal yükseklik modelleri jeopotansiyel model oluşturmak için kullanılan veri kaynakları

arasında sayılabilirler. Global jeopotansiyel modeller kullandıkları veri setleri açısından üç gruba ayrılabilir. Aşağıda açıklamaları sunulmuştur.

- **Sadece yapay uydu izleme verileriyle elde edilen modeller:** Katsayıları yapay uyduların kepler yasalarına göre elips şeklinde çizdiği yörüngelerinden sapmalarının değerlendirilmesiyle elde edilirler. Uydu teknolojisinin ilk yıllarında gravite alanı belirleme çalışmalarına katkı sunmuşlardır. 2000’li yıllarda ise gravite alanı belirleme amaçlı CHAMP, GOCE, GRACE uyduları devreye girmiştir.
- **Birleştirilmiş jeopotansiyel modeller:** Sadece uydu izleme verileriyle belirlenen modellerin yersel gravite ölçmeleri, uydu altimetre ölçmeleriyle birleştirilerek hesaplanan modellerdir.
- **Yeniden biçimlendirilmiş(iyileştirilmiş) modeller:** 1. veya 2. Gruptaki modellerin lokal çalışma sahalarındaki lokal gravite, jeoit yüksekliği, çekül sapması verileriyle birleştirilerek küresel harmonik katsayıların iyileştirilmesiyle elde edilen modellerdir. Böylece modelin açının derecesi de yükseltilir (Avşar, 2009;Gökçe, 2018).

Uydu teknolojilerinin geçmişten günümüze uzanan tarihsel sürecinde ilk olarak 1966 yılında 15 açınım derecesine sahip, sadece uydu izleme verilerinden hesaplanan SE1 adlı global jeopotansiyel modeli karşımıza çıkmaktadır. 2023 yılı sonu itibariyle uydu izleme, uydu altimetre ve yersel ölçme verilerinin de dahil edilerek hesaplanan global jeopotansiyel model sayısı 180’e, açınım derecesi 5540’a kadar ulaşmıştır (URL-1). EGM96, EGM2008, EIGEN04, EIGEN6C4 global jeopotansiyel modeller ile oluşturulmuş global jeoit yüzeyi modelleri öne çıkmış modeller arasındadır.

3.4.1. EGM96 modeli

ABD de Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA), Goddard Uzay Uçuş Merkezi (GSFC), Ulusal Görüntü işleme ve Haritacılık Ajansı (NIMA) ve Ohio State Üniversitesi (OSU), yeryuvarının çekim potansiyelinin 360 derece ve sırada geliştirilmiş küresel harmonik modelinin üretilmesi amacıyla işbirliği yapmışlardır (Turgut vd. 2002).

Yeni model, Yeryuvarı Gravitasyonel Modeli 1996 (EGM96) eski Sovyet Rusya, Güney Amerika, Afrika, Çin, Grönland gibi alanlardaki yeni ölçümleri de kapsayan öncekilere göre daha çok sayıda yüzey gravite verisini, ERS-I ve GEOSAT ile elde edilen altimetre türetilmi gravite anomalilerini, Uydu Lazer Ölçümü (SLR), Global Konumlama Sistemi (GPS), NASA'nın Takip ve Veri Aktarım Uydu Sistemi (TDRSS), Fransız DORIS Sistemi ve Birleşik Devletler (US) Donanması TRANET Doppler Takip Sisteminden elde edilen yeni verileri, ayrıca TOPEX/POSEIDON (T/P), ERS-I ve GEOSAT'dan elde edilen doğrudan altimetre ölçüsünü içeren kapsamlı uydu izleme verisini birleştirmektedir (Turgut vd. 2002).

Model, bir metreden daha iyi bir doğrulukla jeoit ondülasyonlarını hesaplamak ve WGS84'ü gerçek bir üç boyutlu referans sistemi olarak tamamlamakta kullanılmaktadır (Turgut vd. 2002).

3.4.2. EGM2008 modeli

EGM08 global jeopotansiyel modelinin kullandığı küresel harmonik katsayı 2160'a kadardır. İlave edilen katsayılarla 2190 dereceye ve sıraya kadar çıkarılabilmektedir. EGM08 global jeopotansiyel modelinin geliştirilmesi NGA kurumu tarafından yapılmıştır. Bu model 5'x5' çözünürlüklü global gravite anomali bilgileriyle GRACE uydusunun gravite anomali bilgisini de bünyesinde içermektedir. Hesaplamalarında geliştirilmiş altimetreyle elde edilen gravite anomali verisi kullanılmıştır (Akçalı, 2018).

EGM08 global jeopotansiyel modeli, 3 adet farklı teknik kullanarak değerlendirme yapmaktadır. Bunlar;

- Farklı dalga boylarında topografyanın modellenmesi
- Okyanus üzerinde jeoit doğruluğu model performansı
- Uydu dinamiklerinin modellenmesi

olarak sıralanabilir.

Yapılan testler okyanus dolaşımı, deniz jeoit testlerini, GRACE ve SLR testlerini ve GNSS/Nivelman testlerini içermektedir. Bu testlerden GNSS/Nivelman testi EGM2008 modeli ile çok iyi sonuçlar vermiştir ve jeoit belirleme hatalarının test sınır değer aralığının içinde olduğu belirtilmiştir. EGM2008 aynı zamanda kısa dalga boyuna sahip deniz jeoitinde en iyi performansı vermiştir (Akçalı, 2018).

EGM2008'in spektral içeriği yalnızca düşük çözünürlüklü yerçekimi verilerinin mevcut olduğu alanlar üzerindeki topografya ile gösterilen yerçekimi bilgileri tarafından sağlanmıştır. Türkiye için tanımlanan ulusal jeoit modeli THG09, EGM2008 yer potansiyel modeline göre hesaplanmıştır (Yılmaz vd. 2017).

3.4.3. EIGEN04 modeli

EIGEN04 global jeopotansiyel modeli EIGEN-GL04S1 ve EIGEN-GL04C olmak üzere iki ayrı model şeklinde incelenmelidir.

EIGEN-GL04S1 modeli küresel harmonik katsayıları açınım derece ve sırasına göre 150'ye kadar tamamlanan, yalnızca GRACE ve LAGEOS uydu izleme verilerinden türetilen ilk model olarak karşımıza çıkmaktadır. Yalnızca uydu izleme verilerinden oluşan bu modeli bir başlangıç noktası kullanarak, Kuzey Kutbu, Antartika ve Kuzey Kutbu'na ait yeni mevcut veya geliştirilmiş uydu izleme, uydu altimetre ve karasal gözlem veri setleri de dahil edilerek 360 açınım derecesine kadar tamamlanmış yeni bir global jeopotansiyel model olarak EIGEN-GL04C modeli geliştirilmiştir (Förste vd, 2008).

EIGEN-GL04C modeli, hassas yörünge belirlemede, bölgesel jeoit modellemede arka plan modeli olarak veya yer kabuğu, manto kütle dağılımının incelenmesi gibi çok çeşitli konularda jeodinamik yorumlama için kullanılabilir (Förste vd, 2008).

3.4.4. EIGEN-6C4 modeli

EIGEN-6C4 modeli kendi serisinin dördüncü versiyonudur. LAGEOS, GRACE, GOCE uydu verilerinin, altimetre ve gravimetrik yüzey verilerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. EIGEN-6C4, küresel harmonik açınımları 2190 derece ve sıraya kadar

kullanır. EGM2008 jeopotansiyel modelinin geliştirilmiş halidir. EIGEN-6C4 modeli GOCE sistemi için en iyi yörünge bilgisi sonucunu verir (Akçalı, 2018).

EIGEN-6C4 modelini kapsayan veriler:

- 1985-2010 yıllarındaki LAGEOS-1/2 SLR verilerini,
- 2003-2012 yıllarındaki GRACE K band verilerini,
- GOCE uydu gradyometre verilerini,
- EGM08 jeoit verilerini içermektedir (Akçalı, 2018).

Küresel harmonik katsayıları, gözlem denklemleri oluşturduğundan bu kombinasyonda uydu ve yüzey veri setleri normal denklemin sınırlı bir bant kombinasyonu ile yapılmıştır. EIGEN-6C4 modeli ve EGM2008 modeli karşılaştırıldığında EIGEN-6C4 modelinde GOCE uydu verisine rastlanıldığı ve EIGEN-6C4 modeli için GNSS/Nivelman veri setlerinde de bir iyileşme olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Akçalı, 2018).

4. JEOİT BELİRLEMEDE DFHRS YAKLAŞIMI

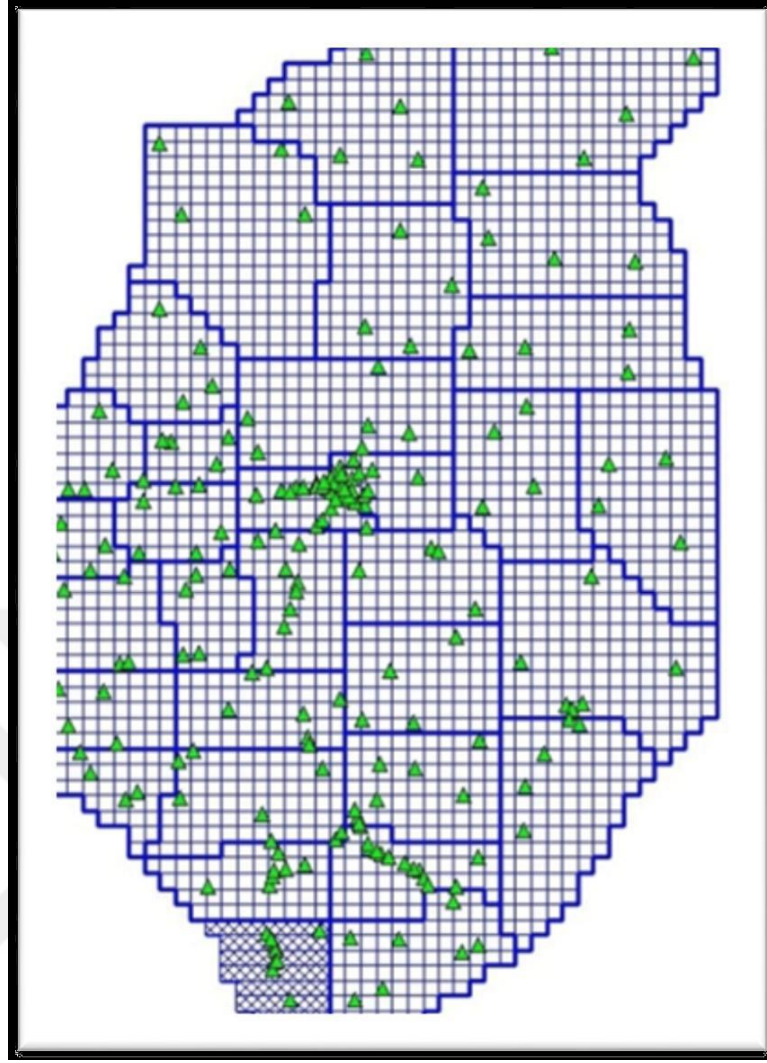
Hochschule Karlsruhe - Uygulamalı Bilimler Üniversitesinin DFHRS araştırma projesi, hibrit bir yaklaşımla geometrik ve fiziksel gözlem bileşenlerinden HRS'nin (yükseklik referans yüzeyi) parametrik modellemesini ve hesaplanmasını amaçlamaktadır. Parametrik HRS modeline erişim, GNSS tekniğiyle elde edilen elipsoit yüksekliklerinin uygulamada kullanılan fiziksel ortometrik yüksekliklere doğrudan dönüştürülmesine izin veren DFHRS veri tabanları tarafından etkinleştirilir.

4.1. Geometrik Gözlem Bileşenleri ve Parametreleştirme

DFHRS yaklaşımında, HRS için bir taşıyıcı fonksiyon olarak p polinom parametrelili (Şekil 4.1, ince mavi çizgiler) FEM'in(sonlu eleman ağlarının) bir gridi üzerinde sürekli bir polinom yüzeyi kullanılır. HRS'nin FEM yüzeyi $NFEM(p|\varphi,\lambda)$ olarak adlandırılır. Ölçek farkı faktörü Δm ve p polinom parametresi dikkate alınarak jeoit yüksekliğinin DFHRS modeli iki bölümden oluşur.

$$H = h - N = h - DFHRS(p, \Delta m | \varphi, \lambda, h) = h - (NFEM(p, | \varphi, \lambda) + \Delta m \cdot h) \quad (4.1)$$

DFHRS yaklaşımıyla hesaplanan jeoit yüksekliği, ağ tasarımı (Şekil 4.1) bilgisi ile birlikte HRS parametrelerini ($p, \Delta m$) içeren bir veri tabanı (DFHRS_DB) aracılığıyla sağlanır. DFHRS_DB, dünya çapındaki tüm GNSS alıcıları için kullanıcı standardı ve RTCM mesajı olarak kullanılabilir.



Şekil 4.1. DFHRS ağ tasarımı (Jäger vd, 2012).

DFHRS yaklaşımında, jeoit veya jeopotansiyel model tabanlı uyumlu olmayan jeoit yükseklikleri, herhangi bir sayıda gözlemlenen astronomik veya jeopotansiyel model tabanlı çekül sapması bileşenleri (ξ, η) grubu ve ortak dayanak $(\varphi, \lambda, h|H)$ noktaları DFHRS_DB parametrelerinin $(p, \Delta m)$ belirlenmesi için en küçük kareler hesabında gözlem grupları olarak özellikle kullanılır. Bu gözlemler için matematiksel model aşağıdaki Çizelge 4.1.de verilmiştir. Uygun bir stokastik model olması durumunda, kovaryans bilgisi ile birlikte Stokes tabanlı modellerden veya jeopotansiyel modellerden hesaplanan gravite tabanlı jeoit modellerinin kullanılması, orijinal gözlenen gravite değerlerinin (g) kullanımına eşdeğerdir (Jäger vd, 2012). Gözlem bileşenlerinin yukarıda bahsedilen geometrik kısmı kullanılarak DFHRS_DB parametrelerinin $(p, \Delta m)$ hesaplanması için matematiksel model şu şekildedir:

Çizelge 4.1. DFHRS'nin genel matematiksel modeli (Jäger vd, 2012).

Fonksiyonel Model	Gözlem Tipleri ve Stokastik Modeller
$h + v = H + h \cdot \Delta m + NFEM(p x, y)$ $NFEM(p x, y) = f(x, y) \cdot p$	Elipsoidal yükseklik h gözlemleri. Kovaryans matris $Ch = \text{diag}(\sigma_{hi}^2)$.
$N_G(\varphi, \lambda)^j + v = \mathbf{f}(x, y)^T \cdot \mathbf{p} + \partial N_G(\mathbf{d}^j)$	Jeoit yükseklik gözlemleri. Gerçek kovaryans matrisi CN_G ile veya sentetik bir kovaryans fonksiyonundan değerlendirilir.
$\xi^j + v = -\mathbf{f} \varphi^T / (M(\varphi) + h) \cdot \mathbf{p} + \partial \xi(\mathbf{d}^j_{\xi, \eta})$ $\eta^j + v = -\mathbf{f} \lambda^T / (N(\varphi) + h) \cdot \cos(\varphi) \cdot \mathbf{p} + \partial \eta(\mathbf{d}^j_{\xi, \eta})$	Çekül sapması bileşenleri(ξ, η) bir zenit kamerayla gözlemlenir veya bir gravite potansiyel modelden türetilir.
$H + v = H$	Kovaryans matrisi ile fiziksel yükseklik H gözlemleri $CH = \text{diag}(\sigma_{Hi}^2)$.
$C + v = C(\mathbf{p})$	Küçük varyanslara ve yüksek ağırlıklara sahip uyumlu (Kahveci vd, 2019) gözlemler olarak süreklilik koşulları.

Tablodaki sembollerin karşılığı şu şekilde ifade edilebilir. φ ve λ ile jeodezik enlem ve boylam tanımlanır. (x, y) öngörülen koordinatlardır. $M(\varphi)$ ve $N(\varphi)$, φ enleminde sırasıyla meridyen ve normal eğriliğin yarıçapı anlamına gelirken $f\varphi$ ve $f\lambda$ ile $f(x(\varphi, \lambda), y(\varphi, \lambda))$ çekül sapması bileşenlerinin φ ve λ coğrafi koordinatlarına göre kısmi türevleridir. Ortaya çıkan HRS temsilinin $NFEM(p|x, y) = f(x, y)^T p$ ağlar üzerindeki sürekliliği (Şekil 4.1 ince mavi çizgiler), süreklilik denklemleri $C(p)$ tarafından otomatik olarak sağlanır.

Şekil 4.1 de yeşil üçgenlerle gösterilen dayanak noktaları $(\varphi, \lambda, h|H)$ ölçülerek DFHRS yazılımına tanıtılır. DFHRS_DB değerlendirmesi pratiğinde, bir jeoit modeli ve bir dizi farklı global jeopotansiyel model (örneğin EGM96, EGM2008, EIGEN04,

EIGEN6C4) DFHRS yazılımında uygulanan matematiksel modelle en küçük kareler hesabında kullanılır. Jeoit modelinden N ve (ξ, η) gözlemlerinde orta veya uzun dalga sistematik şekil sapmalarının, yani doğal ve stokastik "zayıf şekiller" in etkisini (Ghadi, 2013) azaltmak için bu gözlemler birkaç alt bölüme, parçalara ayrılmıştır (Şekil 4.1, kalın mavi çizgiler). Bu parçalar, datum parametreleştirmeleri tarafından sunulan bir dizi jeoit yükseklik gözlemleri $(\partial N_G(\mathbf{d}^j))$ ve çekül sapmaları $(\partial \xi(\mathbf{d}^j, \xi, \eta))$, $(\partial \eta(\mathbf{d}^j, \xi, \eta))$ ile ilgilidir. Bu şekilde, aynı alanda herhangi bir sayıdaki farklı jeoit modellerinden jeoit yükseklik gözlemlerini ve çekül sapmalarını veya modern zenit kameralarıyla gözlemlenen çekül sapmalarını tanıtmak açıkça mümkündür.

4.2. Fiziksel Gözlem Bileşenleri ve Entegrasyonu

DFHRS kavramının ve yazılımının yersel, havadan veya uzay kaynaklı gravite ölçümleri, jeopotansiyel modellerden alınan fiziksel gözlem türleri (örn. EGM 2008) verileri dünyanın gravite potansiyelinin bölgesel küresel harmonik katsayı parametreleştirilmesine dayanmaktadır.

Sıradan bir küresel harmonik (SH) yerine lokal ve sınırlı büyüklükteki bir alanın küresel harmonik katsayısıyla (SCH) parametreleştirilmesinin faydası, aynı gravite potansiyel çözünürlüğünün SCH ile SH'ye göre çok daha az sayıda parametre ile elde edilebilmesidir. Bu nedenle 100 km'lik büyüklükteki bir alanda HRS'nin 2 mm'lik çözünürlüğü için, SCH parametrik modeli durumunda yalnızca 80 açınım derecesi yeterli iken SH parametreleştirmesi için 7200 açınım derecesi gereklidir (Jäger vd, 2012).

Bu nedenle tüm geometrik ve fiziksel gözlem türleri için belirlenmiş entegre bir HRS hesaplaması anlamına gelen SCH, DFHRS'nin fiziksel gözlem entegrasyonu aşamasında yüksek çözünürlüklü HRS'nin hesaplanmasını sağlamak için anahtar modeldir (Jäger vd, 2012).



Şekil 4.2. Gravite gözlemi için gravimetre (solda). Çekül sapmalarının belirlenmesi için zenith kamera (sağda)(Jäger vd, 2012).

Yerçekimi potansiyeli W 'nin $(C_{n,m}, S_{n,m})$ parametreleriyle SCH cinsinden temsili şu şekildedir:

$$W(r, \lambda, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (C_{nm} \cdot \cos m\lambda + S_{nm} \cdot \sin m\lambda) \cdot P_{nm}(\cos \theta) \quad (4.2)$$

Aşağıda yersel ve havadan veya uzay kaynaklı gravite gözlemleri için gözlem denklemi g_p kısaca açıklanmaktadır. P Herhangi bir yeryüzü noktasındaki g_p gravite gözlemi (bir gravimetreyle ölçülmüş (bkz. Şekil 4.2), lokal astronomik düşey (LAV) sisteme atıfta bulunur ve bu nedenle gözlemlenen gravite vektörü denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\mathbf{g}^{\text{LAV}} = [0, 0 - g_p]^T \quad (4.3)$$

Astronomik enlem ve boylam ($\Phi = \varphi + \xi$, $\Lambda = \lambda + \eta / \cos(\varphi)$), elipsoidal enlem ve boylam (φ , λ) ve çekül sapması bileşenleri (ξ , η) tarafından açıklanır. Orijinal vektör $\mathbf{g}^{\text{LAV}}$ önce bir jeopotansiyel modelden astronomik yön (Φ, Λ) kullanılarak Yer merkezli Yer sabit sistemine (ECEF) döndürülür. Bu koordinat çerçevesinde, $\mathbf{g}^{\text{LAV}}$ 'ın merkezkaç kısmı kaldırılır ve böylece orijinal gözlem (4.3), çekül sapmalarına ("topografya") ve merkezkaç ivmesine göre indirgenmiş olur.

$$\mathbf{g}_{\text{red}}^{\text{LGV}} = [g_N, g_E, g_r]^T \quad (4.4)$$

İndirgenmiş gravite gözlem vektörü $\mathbf{g}_{red}^{LGV}$ (4.4) daha sonra $\mathbf{g}_{grav}^{SCH}$ olarak SCH-temsil çerçevesine (4.5) döndürülür. Gravite vektörünün SCH ile ilgili temsili şu şekildedir.

$$\mathbf{g}_{grav}^{SCH} = \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial W}{\partial \theta}, \frac{1}{r \cdot \sin \theta} \cdot \frac{\partial W}{\partial \lambda}, \frac{\partial W}{\partial r} \right]^T \quad (4.5)$$

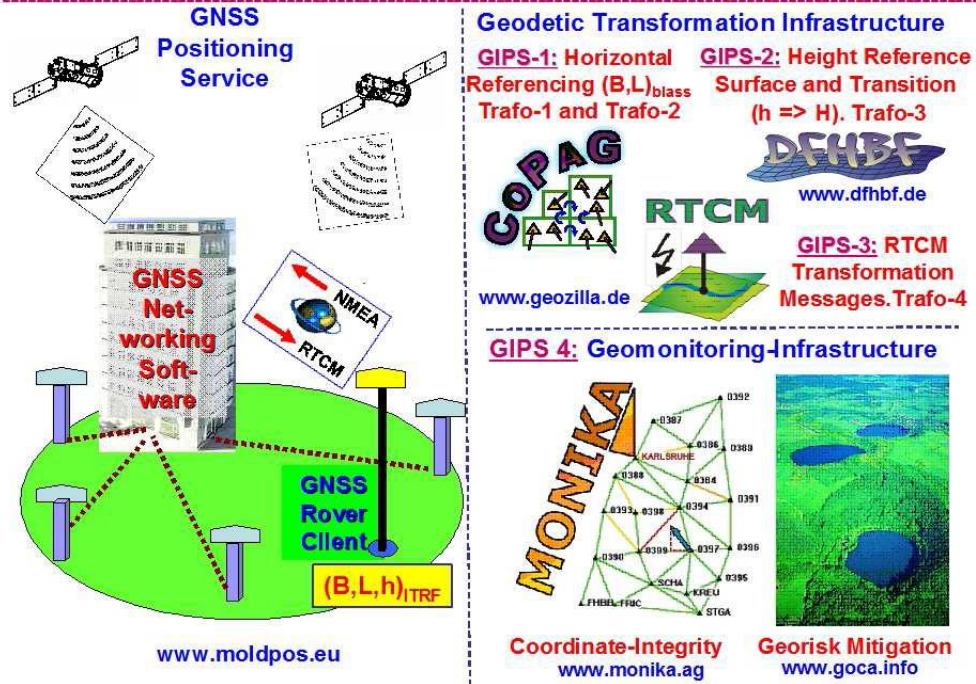
İndirgenmiş gözlemlenen yerçekimi gözlemi $\mathbf{g}_{red}^{LAV}$ 'in ana bileşeni, $\mathbf{g}_{grav}^{SCH}$ 'in üçüncü bileşeniyle ilişkilidir ve SCH ile dönüştürülmüş gözlem vektörünün $\mathbf{g}_{red}^{LAV}$ düşey bileşeninin doğruluğu, yukarıdaki indirgemelerden neredeyse hiç etkilenmez. Dolayısıyla, entegre DFHRS yaklaşımında, bir gravite gözlemi için aşağıdaki (4.6) gözlem denklemi elde edilmiş olur (Morozova vd, 2018).

$$\mathbf{g}_{grav}^{SCH} + W_g = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} \frac{(n+1)}{r} \sum_{m=0}^n (C_{nm} \cdot \cos m^\lambda + S_{nm} \cdot \sin m^\lambda) \cdot P_{nm}(\cos \theta) \quad (4.6)$$

4.3. Jeodezik Altyapı Olarak GIPS ve DFHRS

GNSS kullanımının tüm alanlarda mümkün olması için GNSS konumlandırma hizmetleri (GIPS)'ne yönelik jeodezik altyapıların kurulması, takibi ve bakımı dünya çapında zorunlu bir ihtiyaç olarak düşünülmelidir. GIPS mekânsal bilgi için sürekli GNSS altyapısıyla (kadastro, CBS, şehir planlama, hassas dış/iç mekan navigasyonu, inşaat, ulaşım, meteoroloji, arazi yönetimi, hassas tarım, vb.) ilgilidir. GIPS için yapılan altyapı çalışmalarını dört grupta inceleyebiliriz.

Geodetic Infrastructures for GNSS-Positioning Services (GIPS)



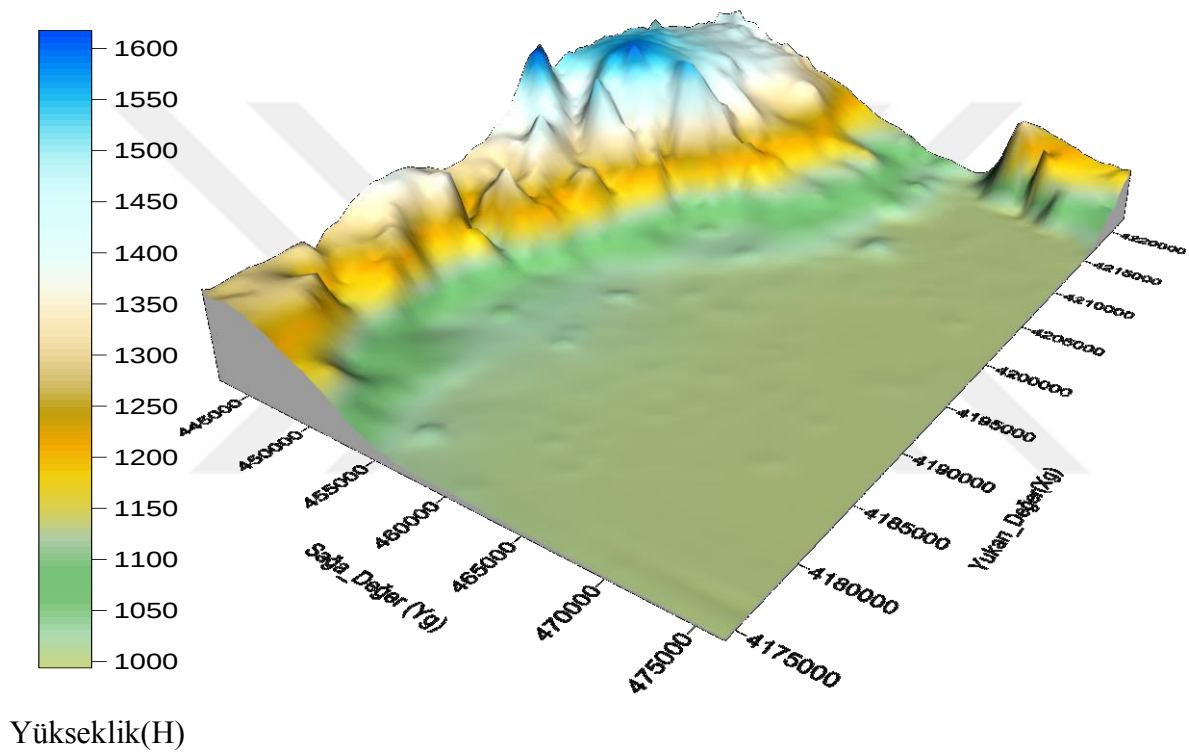
Şekil 4.3. GNSS Konumlandırma Hizmetleri için Jeodezik Altyapılar (Jäger vd, 2012).

- GIPS-1: Farklı modern bölgesel ITRF ile ilgili çerçeveler (örneğin Avrupa'da ETRF89, Güney Amerika'da SIRGAS vb.) ile mevcut klasik ulusal referans çerçeveleri arasındaki mekânsal nesnelerin coğrafi referanslanmasıyla ilgilidir. GIPS-1 ilgili yatay datum dönüşümü veri tabanlarının kurulmasını gerektirir.
- GIPS-2: HRS'nin hesaplanması için elipsoid GNSS yüksekliklerinin fiziksel ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesini sağlar. DFHRS bu nedenle GIPS-2 de hassas GNSS yükseklik konumlandırmayı mümkün kılan düşey datum dönüşüm bileşeni veri tabanı ve modern mekânsal altyapıdır.
- GIPS-3: Veritabanları RTCM dönüşüm mesajlarının kurulmasına imkan tanır ve her iki GIPS-1, GIPS-2 durumunda da GNSS konumlandırma hizmetleri için altyapı olarak GNSS kontrolörlerinde kullanılabilirler.
- GIPS-4: GNSS istasyonları için koordinat bütünlüğünü izleme, erken uyarı, afet zararlarını azaltma ve coğrafi izleme ağları olarak kullanılırlar.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

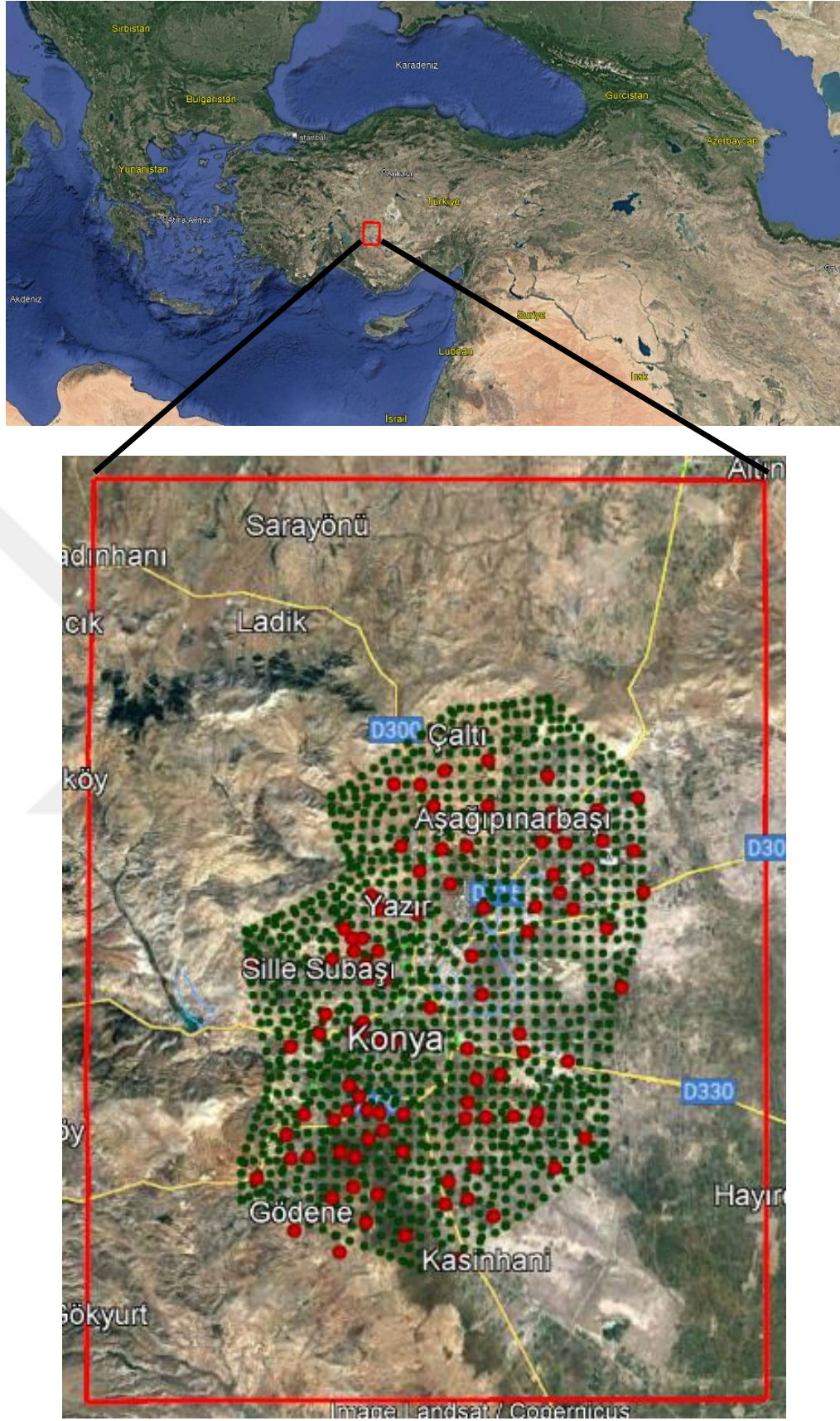
5.1. Çalışma Sahası

Çalışma sahası Konya ili şehir merkezi, 37.6° - 38.3° kuzey enlemleri ile 32.2° - 32.85° doğu boylamları arasındaki yaklaşık 4384 km^2 ($77 \text{ km} \times 57 \text{ km}$) yüzölçümüne sahip alanı kapsamaktadır. Çalışma sahasında kullanılan noktalar ITRF96 datumunda ve 2005.00 epoğundadır. Noktaların ortometrik yükseklikleri dikkate alındığında saha topoğrafyası 998.755 m ile 1635.343 m arasında değişim göstermektedir.

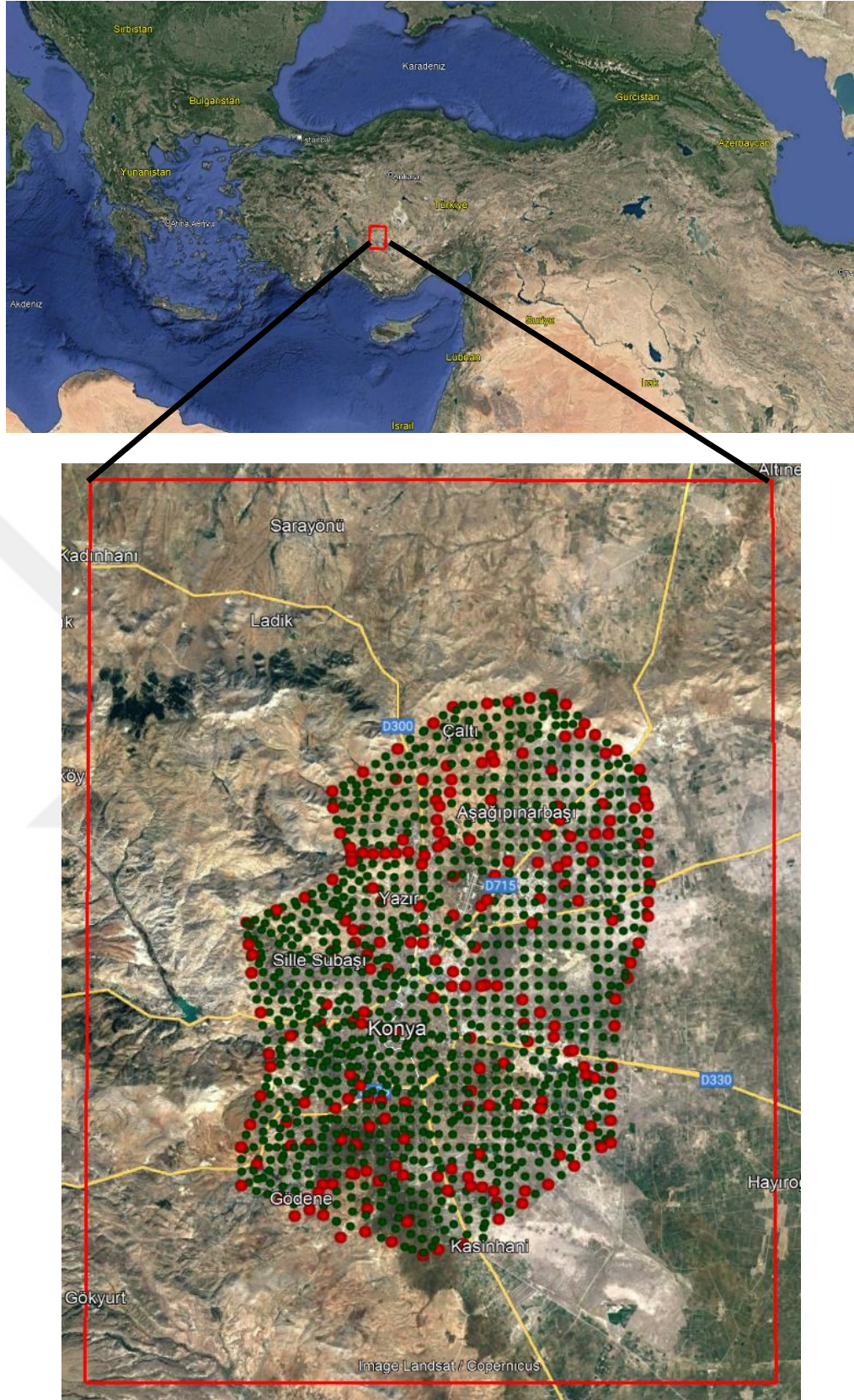


Şekil 5.1. Çalışma sahasının topoğrafik görünümü

Bu çalışma sahasında kullanılan verilerle iki farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. 1. uygulama için 98 adet dayanak (model) noktası C1, C2 nirengi noktaları, 1126 adet test noktası ise C3 nirengi noktaları dikkate alınarak seçilmiştir. 2. uygulama için 214 adet dayanak (model) noktası C1, C2 nirengi noktalarına ek olarak çalışma sahasının sınırlarını kapsayan ve olabildiğince homojen dağılım dikkate alınarak C3 nirengi noktalarından seçilmiş ve 1008 adet test noktası ise diğer C3 nirengi noktalarından oluşturulmuştur. 1.uygulama Şekil 5.2. de 2. uygulama Şekil 5.3. de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Çalışma sahasının 1. Uygulama noktalarının genel görünümü ve nokta dağılımı. Model noktaları kırmızı, test noktaları yeşil renktedir.



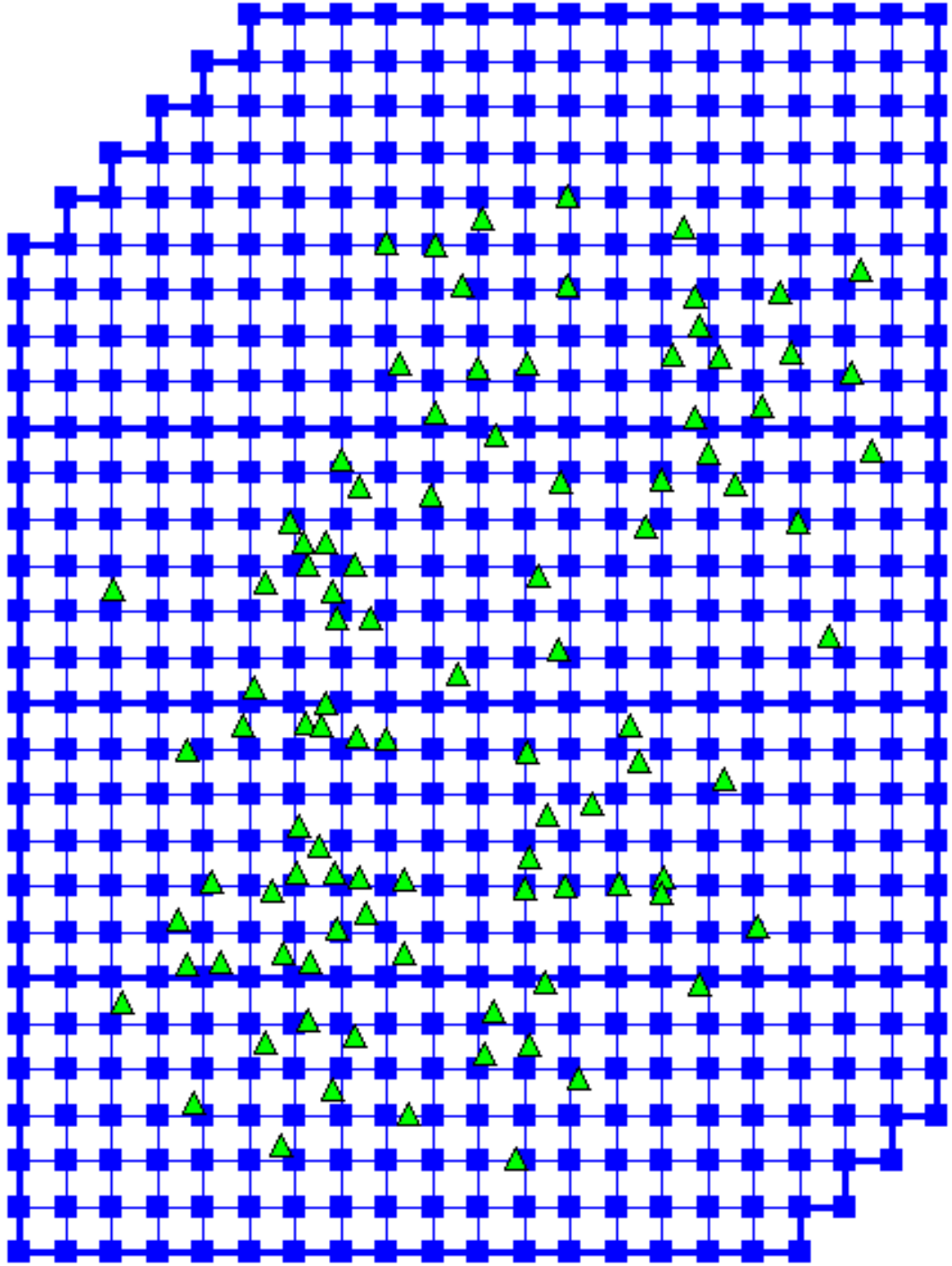
Şekil 5.3. Çalışma sahasının 2. Uygulama noktalarının genel görünümü ve nokta dağılımı. Model noktaları kırmızı, test noktaları yeşil renktedir.

5.2. Materyal ve Yöntemin Uygulanışı

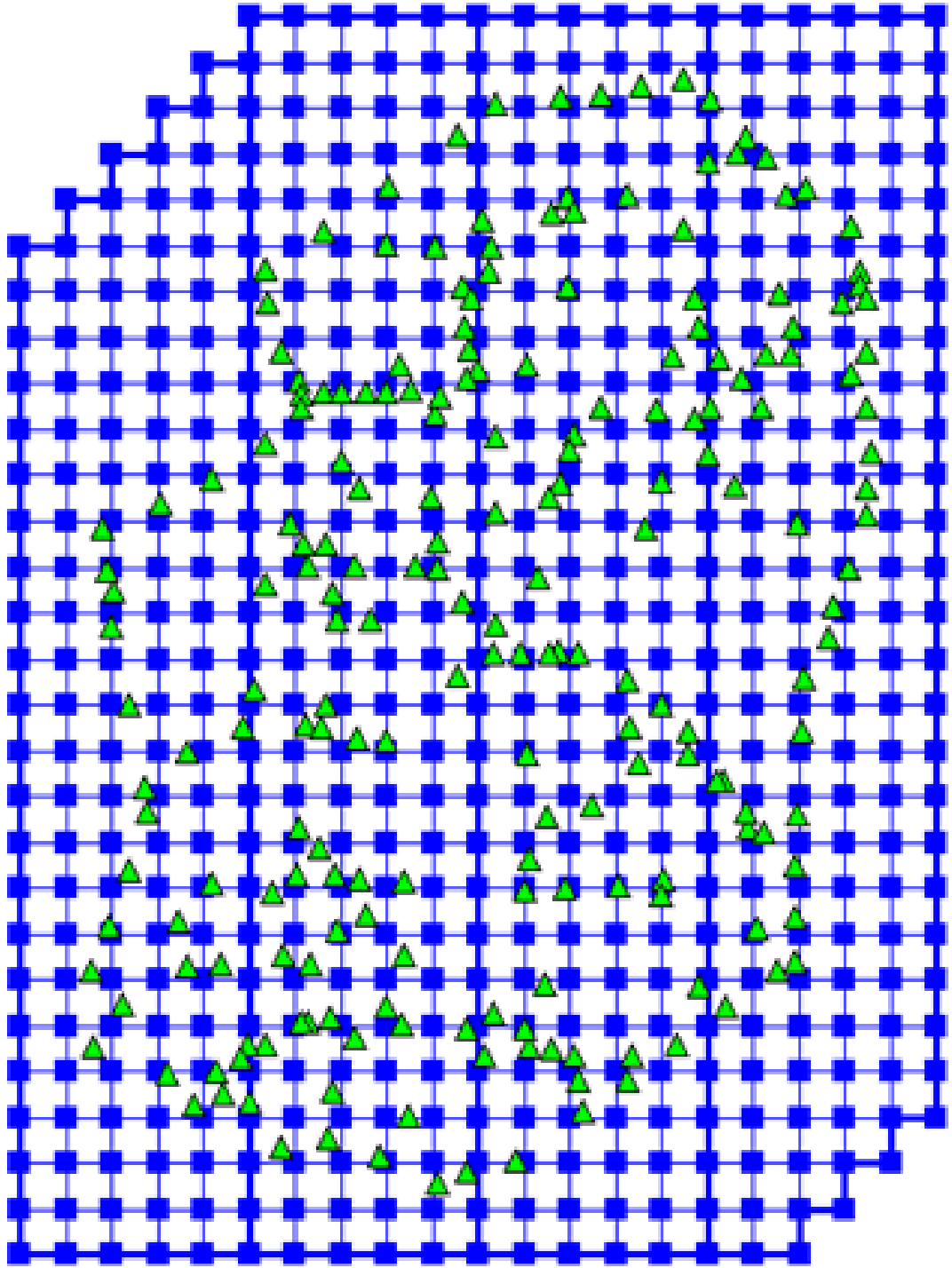
Bu tez çalışması kapsamında çalışma sahasının lokal jeoit modelinin belirlenmesinde sonlu elemanlar yöntemi seçilmiş ve DFHRS yazılımı kullanılmıştır. DFHRS yazılımına ilk olarak çalışma sahasının sınırları ve ardından oluşturulacak olan grid aralıklarının büyüklükleri tanıtılmıştır. Bu anlamda çalışma sahası 2x2, 5x5 ve 10x10 km büyüklüklerinde grid aralıkları tasarlanmış ve çalışma sahası kuzey-güney, doğu-batı olmak üzere dört ayrı alt bölgelere, parçalara ayrılmıştır. Ayrılan dört parçanın her bir parçası, sınırları içerisinde GNSS/Nivelman verilerinden oluşan en az dört adet dayanak noktasının bulunmasına dikkat edilerek oluşturulmuştur.

EGM2008, EGM96, EIGEN6C4, EIGEN04 global jeopotansiyel modelleri DFHRS yazılımı aracılığıyla ve GNSS/Nivelman verilerinden oluşan dayanak noktalar yardımıyla 48 adet iyileştirilmiş lokal jeoit modeli elde edilmiştir. Bu lokal jeoit modellerinin isimlendirilmesi grid aralıkları, kullanılan global jeopotansiyel model ve çalışma alanının dört ayrı parçasının yönü dikkate alınarak aşağıdaki gibi isimlendirilmiştir. Örneğin, 2X2EGM96DB, 5X5EGM2008KG, 10X10EIGEN6C4DB adlı iyileştirilmiş lokal jeoit modellerinin adlarının açılımı, grid ağı ve parça tasarımı şekilleri aşağıda verilmiştir.

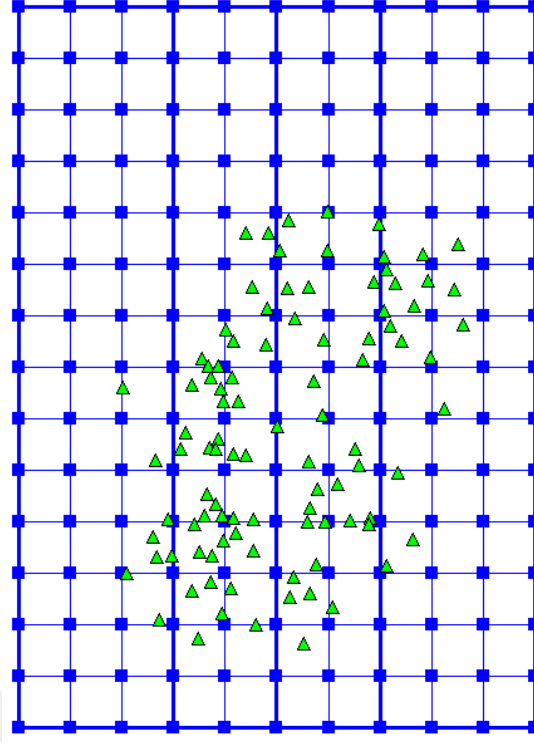
- Lokal jeoit modelinin adı: 2X2EGM96DB, 5X5EGM2008KG, 10X10EIGEN6C4DB
- 2X2, 5X5, 10X10: Grid aralığının büyüklüğü(km),
- EGM96, EGM2008, EIGEN6C4 Kullanılan global jeopotansiyel model,
- KG: Kuzey - Güney yönünde parçalı, DB: Doğu - Batı yönünde parçalı



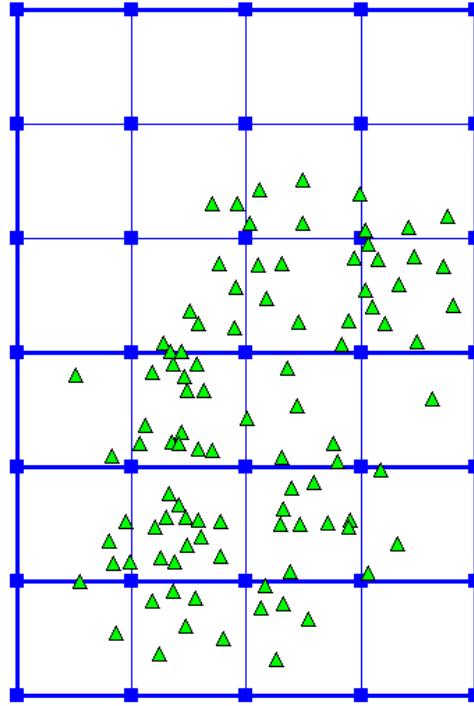
Şekil 5.4. 1. Uygulama noktaları kullanılan 2X2EGM96DB adlı lokal jeoit modelinin grid ağı ve parça tasarımı, yeşil üçgenler: dayanak noktaları



Şekil 5.5. 2. Uygulama noktaları kullanılan 2X2EGM96KG adlı lokal jeoit modelinin grid ağı ve parça tasarımı, yeşil üçgenler: dayanak noktaları

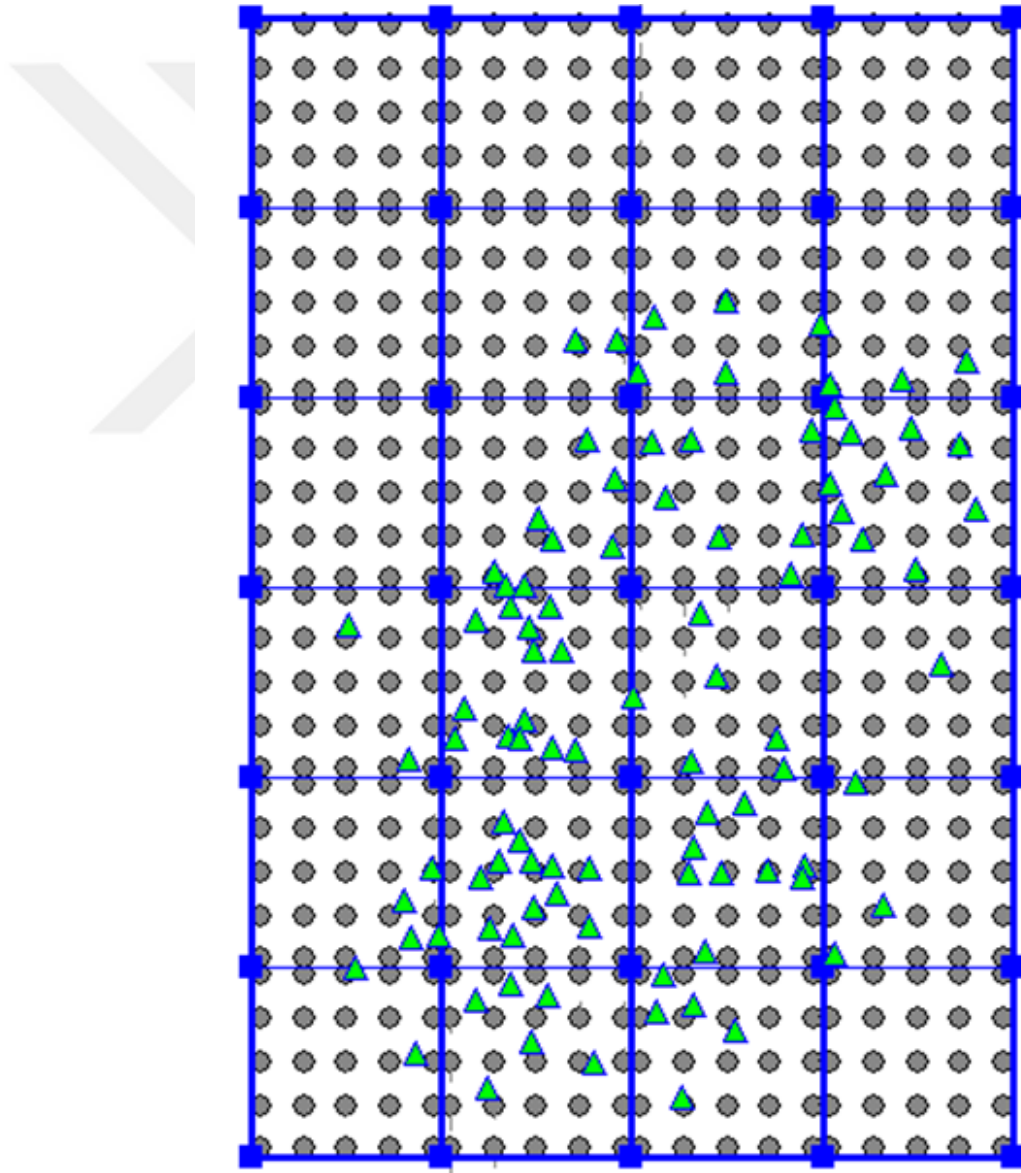


Şekil 5.6. 1. Uygulama noktaları kullanılan 5X5EGM2008KG adlı lokal jeoit modelinin grid ağı ve parça tasarımı, yeşil üçgenler: dayanak noktaları



Şekil 5.7. 1. Uygulama noktaları kullanılan 10X10EIGEN6C4DB adlı lokal jeoit modelinin grid ağı ve parça tasarımı, yeşil üçgenler: dayanak noktaları

Yukarıdaki şekillerde de gösterildiği üzere çalışma sahasının GNSS/Nivelman dayanak noktaları, grid ağı ve parça tasarımı DFHRS yazılımına tanıtılır. Tanıtma işleminden sonraki aşama kullanılacak olan global jeopotansiyel modelin yazılıma eklenmesidir. Global jeopotansiyel modelin yazılıma eklenmesiyle birlikte bünyesindeki gravite anomalileri, çekül sapması bileşenleri vb. fiziksel parametrelerde hesaba katılmış olacaktır. Böylece hesaplanacak olan DFHRS yaklaşımıyla lokal jeoit modelinin geometrik ve fiziksel parametreleri hibrit bir yaklaşımla HRS'nin modellenmesi sağlayacaktır. Şekil 5.8. de EIGEN6C4 global jeopotansiyel modelinin DFHRS yazılımına eklenmiş hali gösterilmiştir.



Şekil 5.7. 10X10EIGEN6C4KG'in hibrit gösterimi. Gri noktalar: EIGEN6C4'ün fiziksel parametreleri.

Kullanılacak global jeopotansiyel modelin yazılıma eklenmesinden sonra HRS'nin yani iyileştirilmiş lokal jeoit modelinin hesaplanması aşamasına geçilir. HRS'nin hesaplanmasında kullanılacak parametreler (enterpolasyon tipi, süreklilik koşulları vb.) seçilerek devam edilir.

HRS Computation.

Type of HRS: DFHBF

Interpolation type:
☐ Quadratic
☒ Qubic

Mesh size:
 x (km) y (km)

Continuity conditions:
☒ C0 - Continuity
☒ C1 - Continuity

Options:
☐ Show Residuals of Continuity
☐ Estimate Heights Scales as Polynomials
☐ Show Covariance matrix

Matrix Decomposition:
☐ Cholesky-Decomposition
☒ LU-Decomposition

Statistical Tests:
☒ a-priori max. Repro
☐ a-posteriori

Geoid Datum:
☒ Translations
☐ 1 Shift
☒ 3 Translations
☒ Rotation
☐ Scale
☒ Use Deflections of Vertical

a-priori Information:
s0
s - Geoid [m]
s - VerticalDef.[sec]
Geoid Scale +-
s_dmH

☐ HRS-Project Planning

Şekil 5.8. HRS'nin hesaplanmasında seçilen parametreler.

Şekil 5.8. den de görüleceği gibi DFHRS yazılımında HRS'nin hesaplanmasında enterpolasyon yöntemi olarak 3. dereceden polinomlarla enterpolasyon yöntemi olan

kübik yüzey geçirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece hesaplama işleminin sonunda .hbf uzantılı iyileştirilmiş lokal jeoit modeli dosyası elde edilmiştir. Bu dosya kullanılarak çalışma sahası kapsamındaki tek bir noktanın veya birden fazla noktanın jeoit yüksekliği kestirilebilir. Bu tez çalışmasında DFHRS yazılımı kullanılarak jeoit yüksekliğinin kestirilebileceği 48 adet lokal jeoit model hesaplanarak üretilmiştir. Üretilen iyileştirilmiş lokal jeoit modelleri aşağıda açıklanan model seçim kriterlerine tabi tutularak en iyi lokal jeoit modeli belirlenmeye çalışılmıştır.

5.3. İstatistiksel Verilerin Esasları ve Model Seçim Kriterleri

Bu bölümde, üretilen iyileştirilmiş lokal jeoit modellerin performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan model seçim kriterlerine ve istatistiksel verilerin esaslarına değinilmiştir. Bu anlamda çalışma sahasına en uygun modelin belirlenebilmesi için kullanılan model seçim kriterleri aşağıda açıklanmıştır. Kriterlerin açıklamasında kullanılan denklemlerde

u_i : GNSS/Nivelman yöntemiyle ölçülen jeoit yüksekliğini,

$\bar{u}$: GNSS/Nivelman yöntemiyle ölçülen jeoit yüksekliğinin aritmetik ortalamasını,

$\tilde{u}_i$: DFHRS yaklaşımıyla elde(tahmin) edilen jeoit yüksekliğini,

n : ölçü sayısını,

p : parametre sayısını temsil etmektedir.

- ESS (Sum of squared errors) : Karesel hataların toplamını [VV] ifade eder. Model seçiminde bu değerin minimum olması aranır.

$$ESS = \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 \quad (5.1)$$

- TSS (Total sum of squares) : Her bir ölçünün, ölçü grubu aritmetik ortalamasından farklarının kareleri toplamını ifade eder.

$$TSS = \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 \quad (5.2)$$

- KOH (RMSE: Root mean-squared error) : Karesel ortalama hata modellerin karşılaştırılmasında modellerin geçerlilik testinde kullanılır. Alt sınırı sıfırdır. Model verileriyle ölçümler arasında uyumu ifade eder.

$$KOH = \sqrt{\frac{ESS}{n-p}} \quad (5.3)$$

- R^2 (Coefficient of determination) : Belirleme katsayısı bir değişkende açıklanan varyans oranının ölçüsünü ifade eder. Modelin değişkenindeki toplam değişimin yüzdesini verir. 0 ile 1 arasında değer alır ve korelasyon katsayısının karesidir.

$$R^2 = 1 - \frac{ESS}{TSS} \quad (5.4)$$

R^2 kriter olarak tercih edildiğinde bazı sorunlarla karşılaşılır (Ucal, 2006). Bunlar; değerlerin tahmini ve gerçek benzerliğinin gelecekte de garantisinin olmayışı, R^2 'leri karşılaştırmak için modellerin ve tahmincilerin fonksiyonel yapılarının aynı olması gerektiği, modelin açıklayıcı değişken sayısı arttıkça R^2 değerinin de artması şeklinde sıralanabilir. Bu durumda R_{adj}^2 'nin kullanılması daha uygundur.

- R_{adj}^2 (Adjusted coefficient of determination) : Düzeltilmiş belirleme katsayısı açıklayıcı değişkenler bir modele eklendiğinde R^2 de meydana gelen otomatik ve sahte artışları (Tuşat, 2018) hesaba katmaya çalışır. R_{adj}^2 değerleri daima R^2 değerlerinden küçüktür. Model karşılaştırmalarında daima R_{adj}^2 değeri daha büyük olan model seçilir. Matematiksel ifadesi şu şekildedir.

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{ESS}{TSS} * \frac{n-1}{n-p} \quad (5.5)$$

- MAPE (Mean absolute percentage error) : Ortalama mutlak yüzde hatası model seçim kriterleri arasında temel kriterlerden biri olarak kabul edilir. Bağıl hatanın mutlak değerinin yüzdesidir. İdeali sıfıra yakın olanıdır. MAPE değerinin %10 dan küçük olması iyi, %10 dan büyük olması ise modelin seçiminde yeterli olmayabileceği anlamındadır.

$$MAPE = \frac{100}{n} * \sum_{i=1}^n \left| \frac{u_i - \bar{u}_i}{u_i} \right| \quad (5.6)$$

- D (Agreement index) : Uyum endeksi ölçülen verinin hesapla ulaşılan veri tarafından ne kadar doğru tahmin edildiğini ifade eder. Uyum endeksi, resmi anlamda bir korelasyon veya ilişki ölçüsü değil, daha ziyade bir modelin tahminlerinin hatasız olma derecesinin bir ölçüsüdür (Willmott, 1981). D endeksi 0 ve 1 arasında değer alır. 1 değeri tahmin edilen verilerle en iyi uyumu belirtirken 0 değeri uyumsuzluğu gösterir.

$$D = 1 - \frac{ESS}{\sum_{i=1}^n (|u_i - \bar{u}| + |\hat{u}_i - \bar{u}|)^2} \quad (5.7)$$

- C (The confidence index) : Güven endeksi, eşit ağırlıklar atadığı rastgele ve sistematik hataları bir araya getirerek model hatasının toplam niceliği olarak anlaşılabilir (Pandorfı vd, 2023). Güven endeksi modelin güvenilirliğini analiz etmek için hesaplanır. Bu endeks uyum endeksinin ve belirleme katsayısının bir fonksiyonudur.

$$C = D\sqrt{R^2} \quad (5.8)$$

Modellerin performansının güven endeksine göre yorumu çizelge 5.1. de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 1. Güven endeksinin yorumlanması (Camargo vd, 1997).

Güven endeksi	Performans
> 0.85	En iyi
0.76 - 0.85	Çok iyi
0.66 – 0.75	İyi
0.61 – 0.65	Orta
0.51 – 0.60	Kötü
0.41 – 0.50	Çok kötü
≤ 0.40	En kötü

- AIC (Akaike information criterion) : Akaike bilgi kriteri, basit ve çoklu doğrusal olan veya doğrusal olmayan, yuvalanmış veya yuvalanmamış (Tuşat, 2018) modellerin yeterliliğini karşılaştırmak için popüler bir yöntemdir. Değerlendirilen aday modeller arasında en iyi modelin seçilmesi için uygulanmaktadır. Kriter, Hirotugu Akaike (1973) tarafından "Bilgi Teorisi ve Maksimum Olabilirlik İlkesinin Genişletilmesi" adlı ufuk açıcı makalesinde tanıtılmıştır. Kriterin amacı, Kullback-Leibler bilgisi açısından üretici modele en yakın olan uygun aday modeli belirlemektir (Cavanaugh, 2019). AIC özellikle tahmine dayalı modelleme uygulamalarına çok uygundur. AIC değeri ne kadar küçükse modelin uygunluğu o kadar büyüktür. AIC eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$AIC = \begin{cases} \ln\left(\frac{ESS}{n}\right) + \frac{2p}{n}, & \frac{n}{p} > 40 \\ \ln\left(\frac{ESS}{n}\right) + \frac{2p}{n-(p+1)}, & \frac{n}{p} < 40 \end{cases} \quad (5.9)$$

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tez çalışması sırasında birçok istatistiksel veri elde edilmiştir. İstatistiksel verilerin elde edilmesinde en önemli kaynak DFHRS yaklaşımıyla elde edilen jeoit yüksekliklerinin GNSS/Nivelman jeoit yükseklikleriyle olan farklarıdır. Bu jeoit yükseklik farklarının incelenmesi, karşılaştırılması, yorumlanması, içeriğinde model seçim kriterlerinin de olduğu ve en iyi sonuçların araştırıldığı çizelgeler aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 6.1. EGM96 modeli kullanılarak 10X10 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	10X10 EGM96DB	10X10 EGM96KG	10X10 EGM96DB	10X10 EGM96KG
ORTALAMA(m)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0013	0.0004	-0.0005	-0.0023
MİNİMUM(m)	-0.2145	-0.2175	-0.2435	-0.2305
MAKSİMUM(m)	0.2158	0.2168	0.2818	0.2898
STD.S(m)	0.0445	0.0450	0.0368	0.0376
R²_{adj}	0.7551	0.7500	0.8556	0.8499
KOH(m)	0.0468	0.0473	0.0376	0.0384
MAPE(m)	0.0741	0.0765	0.0601	0.0609
D	0.9740	0.9724	0.9826	0.9820
C	0.8590	0.8550	0.9121	0.9087
AIC	-3.7039	-3.6832	-5.5230	-5.4846

Çizelge 6.2. EGM96 modeli kullanılarak 10X10 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	10X10 EGM96DB	10X10 EGM96KG	10X10 EGM96DB	10X10 EGM96KG
ORTALAMA(m)	0.0037	0.0054	0.0041	0.0047
ORTANCA(m)	0.0008	0.0018	0.0027	0.0025
MİNİMUM(m)	-0.7573	-0.7483	-0.7963	-0.7923
MAKSİMUM(m)	4.4268	4.4248	0.5638	0.5978
STD.S(m)	0.1540	0.1549	0.0607	0.0617
R²_{adj}	0.2036	0.1938	0.6449	0.6325
KOH(m)	0.1547	0.1556	0.0611	0.0621
MAPE(m)	0.1101	0.1190	0.0712	0.0737
D	0.9794	0.9771	0.9773	0.9765
C	0.4487	0.4372	0.7867	0.7786
AIC	-3.7238	-3.7115	-5.5814	-5.5471

Çizelge 6.3. EGM2008 modeli kullanılarak 10X10 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	10X10 EGM08DB	10X10 EGM08KG	10X10 EGM08DB	10X10 EGM08KG
ORTALAMA(m)	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0035	-0.0031	-0.0026	-0.0011
MİNİMUM(m)	-0.2095	-0.2035	-0.2365	-0.2235
MAKSİMUM(m)	0.2348	0.2338	0.2878	0.3008
STD.S(m)	0.0448	0.0444	0.0379	0.0378
R²_{adj}	0.7520	0.7573	0.8469	0.8480
KOH(m)	0.0471	0.0466	0.0388	0.0386
MAPE(m)	0.0773	0.0766	0.0628	0.0618
D	0.9733	0.9738	0.9819	0.9822
C	0.8568	0.8600	0.9071	0.9079
AIC	-3.6910	-3.7128	-5.4647	-5.4717

Çizelge 6.4. EGM2008 modeli kullanılarak 10X10 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	10X10 EGM08DB	10X10 EGM08KG	10X10 EGM08DB	10X10 EGM08KG
ORTALAMA(m)	-0.0053	-0.0054	0.0029	0.0032
ORTANCA(m)	-0.0046	-0.0039	0.0019	0.0015
MİNİMUM(m)	-0.7783	-0.7833	-0.7973	-0.7903
MAKSİMUM(m)	4.4428	4.4428	0.5668	0.5788
STD.S(m)	0.1562	0.1562	0.0608	0.0606
R^2_{adj}	0.1805	0.1805	0.6439	0.6463
KOH(m)	0.1569	0.1569	0.0612	0.0610
MAPE(m)	0.1199	0.1215	0.0729	0.0719
D	0.9790	0.9789	0.9770	0.9773
C	0.4234	0.4234	0.7859	0.7876
AIC	-3.6952	-3.6952	-5.5785	-5.5853

Çizelge 6.5. EIGEN04 modeli kullanılarak 10X10 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	10X10 EIGEN04DB	10X10 EIGEN04KG	10X10 EIGEN04DB	10X10 EIGEN04KG
ORTALAMA(m)	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0009	-0.0031	-0.0014	-0.0011
MİNİMUM(m)	-0.2205	-0.2035	-0.2435	-0.2295
MAKSİMUM(m)	0.2218	0.2338	0.2828	0.2928
STD.S(m)	0.0448	0.0444	0.0368	0.0377
R^2_{adj}	0.7527	0.7573	0.8555	0.8484
KOH(m)	0.0470	0.0466	0.0377	0.0386
MAPE(m)	0.0747	0.0766	0.0599	0.0613
D	0.9738	0.9738	0.9826	0.9819
C	0.8577	0.8600	0.9121	0.9078
AIC	-3.6940	-3.7128	-5.5228	-5.4746

Çizelge 6.6. EIGEN04 modeli kullanılarak 10X10 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	10X10 EIGEN04DB	10X10 EIGEN04KG	10X10 EIGEN04DB	10X10 EIGEN04KG
ORTALAMA(m)	0.0029	0.0024	0.0042	0.0050
ORTANCA(m)	-0.0012	0.0012	0.0026	0.0027
MİNİMUM(m)	-0.7455	-0.7553	-0.7953	-0.7923
MAKSİMUM(m)	4.4318	4.4268	0.5648	0.5998
STD.S(m)	0.1542	0.1548	0.0606	0.0617
R^2_{adj}	0.2024	0.1956	0.6455	0.6316
KOH(m)	0.1548	0.1555	0.0610	0.0622
MAPE(m)	0.1119	0.1169	0.0710	0.0744
D	0.9791	0.9778	0.9774	0.9764
C	0.4474	0.4395	0.7872	0.7780
AIC	-3.7223	-3.7137	-5.5831	-5.5446

Çizelge 6.7. EIGEN6C4 modeli kullanılarak 10X10 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	10X10 EIGEN6C4DB	10X10 EIGEN6C4KG	10X10 EIGEN6C4DB	10X10 EIGEN6C4KG
ORTALAMA(m)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0035	-0.0031	-0.0026	-0.0011
MİNİMUM(m)	-0.2095	-0.2035	-0.2365	-0.2235
MAKSİMUM(m)	0.2348	0.2338	0.2878	0.3008
STD.S(m)	0.0448	0.0444	0.0380	0.0378
R^2_{adj}	0.7519	0.7572	0.8467	0.8479
KOH(m)	0.0471	0.0466	0.0388	0.0386
MAPE(m)	0.0774	0.0766	0.0629	0.0618
D	0.9732	0.9738	0.9819	0.9822
C	0.8567	0.8599	0.9069	0.9079
AIC	-3.6908	-3.7121	-5.4632	-5.4716

Çizelge 6.8. EIGEN6C4 modeli kullanılarak 10X10 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistikî veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	10X10 EIGEN6C4DB	10X10 EIGEN6C4KG	10X10 EIGEN6C4DB	10X10 EIGEN6C4KG
ORTALAMA(m)	-0.0055	-0.0055	0.0029	0.0032
ORTANCA(m)	-0.0047	-0.0039	0.0019	0.0015
MİNİMUM(m)	-0.7783	-0.7843	-0.7973	-0.7903
MAKSİMUM(m)	4.4428	4.4438	0.5668	0.5788
STD.S(m)	0.1562	0.1562	0.0608	0.0606
R^2_{adj}	0.1804	0.1801	0.6438	0.6463
KOH(m)	0.1569	0.1570	0.0612	0.0610
MAPE(m)	0.1199	0.1215	0.0729	0.0719
D	0.9790	0.9789	0.9770	0.9773
C	0.4233	0.4230	0.7859	0.7876
AIC	-3.6951	-3.6948	-5.5782	-5.5854

Çizelge 6.1,2,3...8 incelendiğinde; 1 ve 2. uygulama için DB-KG yönünde parçalı ve farklı global jeopotansiyel modeller için istatistiksel veriler sunulmuştur. DFHRS yaklaşımıyla 10x10 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından **global jeopotansiyel modellere göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0468 m, MAPE değeri ± 0.0741 m, R^2_{adj} değeri 0.7551, D değeri 0.9740, C değeri 0.8590, AIC değeri -3.7039; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1547 m, MAPE değeri ± 0.1101 m, R^2_{adj} değeri 0.2036, D değeri 0.9794, C değeri 0.4487, AIC değeri -3.7238;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0466 m, MAPE değeri ± 0.0766 m, R^2_{adj} değeri 0.7573, D değeri 0.9738, C değeri 0,8600, AIC değeri -3.7128; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1569 m, MAPE değeri ± 0.1199 m, R^2_{adj} değeri 0.1805, D değeri 0.9790, C değeri 0.4234, AIC değeri -3.6952;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0466 m, MAPE değeri ± 0.0747 m, R^2_{adj} değeri 0.7573, D değeri 0.9738, C değeri 0,8600, AIC değeri -3.7128; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1548 m, MAPE değeri ± 0.1119 m, R^2_{adj} değeri 0.2024, D değeri 0.9791, C değeri 0.4474, AIC değeri -3.7223;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0466 m, MAPE değeri ± 0.0766 m, R^2_{adj} değeri 0.7572, D değeri 0.9738, C değeri 0,8599, AIC değeri -3.7121; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1570 m, MAPE değeri ± 0.1215 m, R^2_{adj} değeri 0.1804, D değeri 0.9790, C değeri 0.4233, AIC değeri -3.6951 bulunmuştur.

Bütün modellerde ortalama ve ortanca değerler sifıra yakın olduğundan modellendirmelerde sistematik kayıklık olmadığı görülmüştür. Ayrıca tüm istatistiksel sonuçların kendi cinsleri içinde birbirlerine çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0466 m ile EGM08, EIGEN04,EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0741 m ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7573 ile EGM08 ve EIGEN04 modellerinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9794 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8600 ile EGM08 ve EIGEN04 modellerinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -3.7238 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 10x10 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **doğu-batı yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0468 m, MAPE değeri ± 0.0741 m, R^2_{adj} değeri 0.7551, D değeri 0.9740, C değeri 0.8590, AIC değeri -3.7039; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1547 m, MAPE değeri ± 0.1101 m, R^2_{adj} değeri 0.2036, D değeri 0.9794, C değeri 0.4487, AIC değeri -3.7238;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0471 m, MAPE değeri ± 0.0773 m, R^2_{adj} değeri 0.7520, D değeri 0.9733, C değeri 0,8568, AIC değeri -3.6910; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1569 m, MAPE değeri ± 0.1199 m, R^2_{adj} değeri 0.1805, D değeri 0.9790, C değeri 0.4234, AIC değeri -3.6952;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0470 m, MAPE değeri ± 0.0747 m, R^2_{adj} değeri 0.7527, D değeri 0.9738, C değeri 0,8577, AIC değeri -3.6940; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1548 m, MAPE değeri ± 0.1119 m, R^2_{adj} değeri 0.2024, D değeri 0.9791, C değeri 0.4474, AIC değeri -3.7223;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0471 m, MAPE değeri ± 0.0774 m, R^2_{adj} değeri 0.7519, D değeri 0.9732, C değeri 0,8567, AIC değeri -3.6908; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1569 m, MAPE değeri ± 0.1199 m, R^2_{adj} değeri 0.1804, D değeri 0.9790, C değeri 0.4233, AIC değeri -3.6951 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0468 m ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0741 m ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7551 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9794 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8590 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -3.7039 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 10x10 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0473 m, MAPE değeri ± 0.0765 m, R^2_{adj} değeri 0.7500, D değeri 0.9724, C değeri 0.8550, AIC değeri -3.6832; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1556 m, MAPE değeri ± 0.1190 m, R^2_{adj} değeri 0.1938, D değeri 0.9771, C değeri 0.4372, AIC değeri -3.7115;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0466 m, MAPE değeri ± 0.0766 m, R^2_{adj} değeri 0.7573, D değeri 0.9738, C değeri 0,8600, AIC değeri -3.7128; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1569 m, MAPE değeri ± 0.1215 m, R^2_{adj} değeri 0.1805, D değeri 0.9789, C değeri 0.4234, AIC değeri -3.6952;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0466 m, MAPE değeri ± 0.0766 m, R^2_{adj} değeri 0.7573, D değeri 0.9738, C değeri 0,8600, AIC değeri -3.7128; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1555 m, MAPE değeri ± 0.1169 m, R^2_{adj} değeri 0.1956, D değeri 0.9778, C değeri 0.4395, AIC değeri -3.7137;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0466 m, MAPE değeri ± 0.0766 m, R^2_{adj} değeri 0.7572, D değeri 0.9738, C değeri 0,8599, AIC değeri -3.7121; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1570 m, MAPE değeri ± 0.1215 m, R^2_{adj} değeri 0.1801, D değeri 0.9789, C değeri 0.4230, AIC değeri -3.6948 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0466 m ile EGM08, EIGEN04 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0765 m ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7573 ile EGM08 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9789 ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8600 ile EGM08 ve EIGEN04 modellerinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -3.7128 ile EGM08 ve EIGEN04 modellerinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 10x10 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller ve doğu-batı, kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde DB yönündeki EGM96 modeli öne çıksa da KG yönündeki modellerle karşılaştırıldığında belirgin bir değişiklik görülmemiştir. Ayrıca 10x10 km grid aralıklı global jeopotansiyel modeller değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlara göre bir birleriyle hemen hemen aynı sonuçlar verdikleri görülmüştür.

DFHRS yaklaşımıyla 10x10 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından **global jeopotansiyel modellere göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0376 m, MAPE değeri ± 0.0601 m, R^2_{adj} değeri 0.8556, D değeri 0.9826, C değeri 0.9121, AIC değeri -5.5230; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0611 m, MAPE değeri ± 0.0712 m, R^2_{adj} değeri 0.6449, D değeri 0.9773, C değeri 0.7867, AIC değeri -5.5814;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0386 m, MAPE değeri ± 0.0618 m, R^2_{adj} değeri 0.8480, D değeri 0.9822, C değeri 0,9079, AIC değeri -5.4717; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0610 m, MAPE değeri ± 0.0719 m, R^2_{adj} değeri 0.6463, D değeri 0.9773, C değeri 0.7876, AIC değeri -5.5853;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0377 m, MAPE değeri ± 0.0599 m, R^2_{adj} değeri 0.8555, D değeri 0.9826, C değeri 0,9121, AIC değeri -5.4746; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0610 m, MAPE değeri ± 0.0710 m, R^2_{adj} değeri 0.6455, D değeri 0.9774, C değeri 0.7872, AIC değeri -5.5831;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0386 m, MAPE değeri ± 0.0618 m, R^2_{adj} değeri 0.8479, D değeri 0.9822, C değeri 0,9079, AIC değeri -5.4716; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0610 m, MAPE değeri ± 0.0719 m, R^2_{adj} değeri 0.6463, D değeri 0.9773, C değeri 0.7876, AIC değeri -5.5854 bulunmuştur.

Bütün modellerde ortalama ve ortanca değerler sıfıra yakın olduğundan modellendirmelerde sistematik kayıklık olmadığı görülmüştür. Ayrıca tüm istatistiksel sonuçların kendi cinsleri içinde birbirlerine çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0376 m ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0599 m ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8556 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9826 ile EGM96 ve EIGEN04 modellerinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9121 ile EGM08 ve EIGEN04 modellerinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -5.5230 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 10x10 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **doğu-batı yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0376 m, MAPE değeri ± 0.0601 m, R^2_{adj} değeri 0.8556, D değeri 0.9826, C değeri 0.9121, AIC değeri -5.5230;

test sonuçları için KOH değeri ± 0.0611 m, MAPE değeri ± 0.0712 m, R^2_{adj} değeri 0.6449, D değeri 0.9773, C değeri 0.7867, AIC değeri -5.5814;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0388 m, MAPE değeri ± 0.0628 m, R^2_{adj} değeri 0.8469, D değeri 0.9819, C değeri 0,9071, AIC değeri -5.4647; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0612 m, MAPE değeri ± 0.0729 m, R^2_{adj} değeri 0.6439, D değeri 0.9770, C değeri 0.7859, AIC değeri -5.5785;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0377 m, MAPE değeri ± 0.0599 m, R^2_{adj} değeri 0.8555, D değeri 0.9826, C değeri 0,9121, AIC değeri -5.5228; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0610 m, MAPE değeri ± 0.0710 m, R^2_{adj} değeri 0.6455, D değeri 0.9774, C değeri 0.7872, AIC değeri -5.5831;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0388 m, MAPE değeri ± 0.0629 m, R^2_{adj} değeri 0.8467, D değeri 0.9819, C değeri 0,9069, AIC değeri -5.4632; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0612 m, MAPE değeri ± 0.0729 m, R^2_{adj} değeri 0.6438, D değeri 0.9770, C değeri 0.7859, AIC değeri -5.5782 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0376 m ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0599 m ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8556 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9826 ile EGM96 ve EIGEN04 modellerinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9121 ile EGM96 ve EIGEN04 modellerinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -5.5230 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 10x10 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0384 m, MAPE değeri ± 0.0609 m, R^2_{adj} değeri 0.8499, D değeri 0.9820, C değeri 0.9087, AIC değeri -5.4846;

test sonuçları için KOH değeri ± 0.0621 m, MAPE değeri ± 0.0737 m, R^2_{adj} değeri 0.6325, D değeri 0.9765, C değeri 0.7786, AIC değeri -5.5471;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0386 m, MAPE değeri ± 0.0618 m, R^2_{adj} değeri 0.8480, D değeri 0.9822, C değeri 0,9079, AIC değeri -5.4717; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0610 m, MAPE değeri ± 0.0719 m, R^2_{adj} değeri 0.6463, D değeri 0.9773, C değeri 0.7876, AIC değeri -5.5853;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0386 m, MAPE değeri ± 0.0613 m, R^2_{adj} değeri 0.8484, D değeri 0.9819, C değeri 0,9078, AIC değeri -5.4746; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0622 m, MAPE değeri ± 0.0744 m, R^2_{adj} değeri 0.6316, D değeri 0.9764, C değeri 0.7780, AIC değeri -5.5446;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0386 m, MAPE değeri ± 0.0618 m, R^2_{adj} değeri 0.8479, D değeri 0.9822, C değeri 0,9079, AIC değeri -5.4716; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0610 m, MAPE değeri ± 0.0719 m, R^2_{adj} değeri 0.6463, D değeri 0.9773, C değeri 0.7876, AIC değeri -5.5854 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0384 m ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0609 m ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8499 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9822 ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9087 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -5.4846 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 10x10 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller ve doğu-batı, kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde DB yönündeki EGM96 ve EIGEN04 modeli öne çıksa da KG yönündeki modellerle karşılaştırıldığında belirgin bir değişiklik görülmemiştir. Ayrıca 10x10 km grid aralıklı global jeopotansiyel modeller değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlara göre birbirleriyle hemen hemen aynı sonuçlar verdikleri görülmüştür.

Çizelge 6.9. EGM96 modeli kullanılarak 5X5 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	5X5 EGM96DB	5X5 EGM96KG	5X5 EGM96DB	5X5 EGM96KG
ORTALAMA(m)	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0014	-0.0005	-0.0012	-0.0012
MİNİMUM(m)	-0.1955	-0.2045	-0.2295	-0.2275
MAKSİMUM(m)	0.2058	0.1998	0.2538	0.2448
STD.S(m)	0.0434	0.0461	0.0356	0.0375
R^2_{adj}	0.7673	0.7382	0.8653	0.8500
KOH(m)	0.0456	0.0484	0.0364	0.0384
MAPE(m)	0.0743	0.0820	0.0600	0.0650
D	0.9732	0.9687	0.9824	0.9801
C	0.8644	0.8459	0.9168	0.9070
AIC	-3.7547	-3.6370	-5.5925	-5.4854

Çizelge 6.10. EGM96 modeli kullanılarak 5X5 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	5X5 EGM96DB	5X5 EGM96KG	5X5 EGM96DB	5X5 EGM96KG
ORTALAMA(m)	0.0065	0.0095	0.0053	0.0061
ORTANCA(m)	0.0002	0.0026	0.0026	0.0033
MİNİMUM(m)	-0.7605	-0.7465	-0.7843	-0.7793
MAKSİMUM(m)	4.4208	4.4048	0.5738	0.6138
STD.S(m)	0.1543	0.1560	0.0627	0.0664
R^2_{adj}	0.2000	0.1809	0.6199	0.5726
KOH(m)	0.1550	0.1569	0.0632	0.0670
MAPE(m)	0.1121	0.1266	0.0808	0.0923
D	0.9782	0.9745	0.9733	0.9699
C	0.4444	0.4219	0.7685	0.7363
AIC	-3.7193	-3.6957	-5.5134	-5.3959

Çizelge 6.11. EGM2008 modeli kullanılarak 5X5 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	5X5 EGM08DB	5X5 EGM08KG	5X5 EGM08DB	5X5 EGM08KG
ORTALAMA(m)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0052	-0.0041	-0.0019	-0.0031
MİNİMUM(m)	-0.1865	-0.1825	-0.2145	-0.2135
MAKSİMUM(m)	0.2268	0.2258	0.2688	0.2698
STD.S(m)	0.0430	0.0432	0.0365	0.0366
R^2_{adj}	0.7721	0.7699	0.8581	0.8573
KOH(m)	0.0451	0.0453	0.0373	0.0374
MAPE(m)	0.0749	0.0759	0.0617	0.0623
D	0.9743	0.9745	0.9823	0.9823
C	0.8677	0.8669	0.9132	0.9127
AIC	-3.7757	-3.7661	-5.5408	-5.5352

Çizelge 6.12. EGM2008 modeli kullanılarak 5X5 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	5X5 EGM08DB	5X5 EGM08KG	5X5 EGM08DB	5X5 EGM08KG
ORTALAMA(m)	-0.0044	-0.0073	0.0028	0.0021
ORTANCA(m)	-0.0015	-0.0045	0.0016	0.0005
MİNİMUM(m)	-0.7743	-0.7793	-0.7933	-0.7903
MAKSİMUM(m)	4.4488	4.4468	0.5718	0.5688
STD.S(m)	0.1577	0.1574	0.0619	0.0618
R^2_{adj}	0.1647	0.1670	0.6314	0.6324
KOH(m)	0.1584	0.1582	0.0622	0.0621
MAPE(m)	0.1263	0.1260	0.0774	0.0779
D	0.9779	0.9785	0.9755	0.9757
C	0.4048	0.4078	0.7772	0.7779
AIC	-3.6761	-3.6789	-5.5440	-5.5469

Çizelge 6.13. EIGEN04 modeli kullanılarak 5X5 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	5X5 EIGEN04DB	5X5 EIGEN04KG	5X5 EIGEN04DB	5X5 EIGEN04KG
ORTALAMA(m)	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0024	0.0015	-0.0012	-0.0020
MİNİMUM(m)	-0.1965	-0.2015	-0.2285	-0.2245
MAKSİMUM(m)	0.2088	0.2088	0.2558	0.2508
STD.S(m)	0.0436	0.0465	0.0354	0.0375
R^2_{adj}	0.7654	0.7328	0.8666	0.8505
KOH(m)	0.0458	0.0489	0.0362	0.0383
MAPE(m)	0.0752	0.0834	0.0586	0.0645
D	0.9730	0.9681	0.9829	0.9804
C	0.8633	0.8427	0.9179	0.9075
AIC	-3.7466	-3.6165	-5.6021	-5.4888

Çizelge 6.14. EIGEN04 modeli kullanılarak 5X5 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	5X5 EIGEN04DB	5X5 EIGEN04KG	5X5 EIGEN04DB	5X5 EIGEN04KG
ORTALAMA(m)	0.0052	0.0060	0.0052	0.0068
ORTANCA(m)	-0.0011	0.0010	0.0026	0.0033
MİNİMUM(m)	-0.7585	-0.7455	-0.7833	-0.7813
MAKSİMUM(m)	4.4228	4.4098	0.5768	0.6198
STD.S(m)	0.1544	0.1558	0.0625	0.0666
R^2_{adj}	0.1997	0.1844	0.6223	0.5698
KOH(m)	0.1551	0.1565	0.0630	0.0672
MAPE(m)	0.1119	0.1231	0.0795	0.0918
D	0.9783	0.9756	0.9739	0.9705
C	0.4442	0.4263	0.7704	0.7351
AIC	-3.7189	-3.7000	-5.5197	-5.3895

Çizelge 6.15. EIGEN6C4 modeli kullanılarak 5X5 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	5X5 EIGEN6C4DB	5X5 EIGEN6C4KG	5X5 EIGEN6C4DB	5X5 EIGEN6C4KG
ORTALAMA(m)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0047	-0.0041	-0.0021	-0.0030
MİNİMUM(m)	-0.1865	-0.1825	-0.2145	-0.2135
MAKSİMUM(m)	0.2268	0.2258	0.2698	0.2698
STD.S(m)	0.0430	0.0432	0.0366	0.0366
R^2_{adj}	0.7719	0.7699	0.8576	0.8574
KOH(m)	0.0451	0.0453	0.0374	0.0374
MAPE(m)	0.0749	0.0760	0.0617	0.0622
D	0.9742	0.9745	0.9823	0.9824
C	0.8676	0.8669	0.9129	0.9128
AIC	-3.7746	-3.7659	-5.5369	-5.5358

Çizelge 6.16. EIGEN6C4 modeli kullanılarak 5X5 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	5X5 EIGEN6C4DB	5X5 EIGEN6C4KG	5X5 EIGEN6C4DB	5X5 EIGEN6C4KG
ORTALAMA(m)	-0.0046	-0.0074	0.0028	0.0021
ORTANCA(m)	-0.0015	-0.0046	0.0020	0.0005
MİNİMUM(m)	-0.7753	-0.7803	-0.7933	-0.7903
MAKSİMUM(m)	4.4488	4.4468	0.5728	0.5688
STD.S(m)	0.1577	0.1574	0.0619	0.0618
R^2_{adj}	0.1648	0.1671	0.6313	0.6327
KOH(m)	0.1584	0.1582	0.0622	0.0621
MAPE(m)	0.1260	0.1259	0.0774	0.0778
D	0.9780	0.9785	0.9755	0.9757
C	0.4050	0.4079	0.7771	0.7781
AIC	-3.6763	-3.6790	-5.5438	-5.5476

Çizelge 6.9,10,11...16 incelendiğinde; 1 ve 2. uygulama için DB-KG yönünde parçalı ve farklı global jeopotansiyel modeller için istatistiksel veriler sunulmuştur. DFHRS yaklaşımıyla 5x5 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından **global jeopotansiyel modellere göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0456 m, MAPE değeri ± 0.0743 m, R^2_{adj} değeri 0.7673, D değeri 0.9732, C değeri 0.8644, AIC değeri -3.7547;

test sonuçları için KOH değeri ± 0.1550 m, MAPE değeri ± 0.1121 m, R^2_{adj} değeri 0.2000, D değeri 0.9782, C değeri 0.4444, AIC değeri -3.7193;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0451 m, MAPE değeri ± 0.0749 m, R^2_{adj} değeri 0.7721, D değeri 0.9745, C değeri 0,8677, AIC değeri -3.7757; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1582 m, MAPE değeri ± 0.1260 m, R^2_{adj} değeri 0.1670, D değeri 0.9785, C değeri 0.4078, AIC değeri -3.6789;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0458 m, MAPE değeri ± 0.0752 m, R^2_{adj} değeri 0.7654, D değeri 0.9730, C değeri 0,8633, AIC değeri -3.7466; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1551 m, MAPE değeri ± 0.1119 m, R^2_{adj} değeri 0.1997, D değeri 0.9783, C değeri 0.4442, AIC değeri -3.7189;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0451 m, MAPE değeri ± 0.0749 m, R^2_{adj} değeri 0.7719, D değeri 0.9745, C değeri 0,8676, AIC değeri -3.7746; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1582 m, MAPE değeri ± 0.1260 m, R^2_{adj} değeri 0.1671, D değeri 0.9785, C değeri 0.4079, AIC değeri -3.6790 bulunmuştur.

Bütün modellerde ortalama ve ortanca değerler sifıra yakın olduğundan modellendirmelerde sistematik kayıklık olmadığı görülmüştür. Ayrıca tüm istatistiksel sonuçların kendi cinsleri içinde birbirlerine çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0451 m ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0743 m ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7721 ile EGM08 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9745 ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8677 ile EGM08 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -3.7757 ile EGM08 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 5x5 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **doğu-batı yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0456 m, MAPE değeri ± 0.0743 m, R^2_{adj} değeri 0.7673, D değeri 0.9732, C değeri 0.8644, AIC değeri -3.7547; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1550 m, MAPE değeri ± 0.1121 m, R^2_{adj} değeri 0.2000, D değeri 0.9782, C değeri 0.4444, AIC değeri -3.7193;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0451 m, MAPE değeri ± 0.0749 m, R^2_{adj} değeri 0.7721, D değeri 0.9743, C değeri 0,8647, AIC değeri -3.7757; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1584 m, MAPE değeri ± 0.1263 m, R^2_{adj} değeri 0.1647, D değeri 0.9779, C değeri 0.4048, AIC değeri -3.6761;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0458 m, MAPE değeri ± 0.0752 m, R^2_{adj} değeri 0.7654, D değeri 0.9730, C değeri 0,8633, AIC değeri -3.7466; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1551 m, MAPE değeri ± 0.1119 m, R^2_{adj} değeri 0.1997, D değeri 0.9783, C değeri 0.4442, AIC değeri -3.7189;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0451 m, MAPE değeri ± 0.0749 m, R^2_{adj} değeri 0.7719, D değeri 0.9742, C değeri 0,8676, AIC değeri -3.7746; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1584 m, MAPE değeri ± 0.1260 m, R^2_{adj} değeri 0.1648, D değeri 0.9780, C değeri 0.4050, AIC değeri -3.6763 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0451 m ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0743 m ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7721 ile EGM08 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9743 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8676 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -3.7757 ile EGM08 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 5x5 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0484 m, MAPE değeri ± 0.0820 m, R^2_{adj} değeri 0.7382, D değeri 0.9687, C değeri 0.8459, AIC değeri -3.6370; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1569 m, MAPE değeri ± 0.1266 m, R^2_{adj} değeri 0.1809, D değeri 0.9745, C değeri 0.4219, AIC değeri -3.6957;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0453 m, MAPE değeri ± 0.0759 m, R^2_{adj} değeri 0.7699, D değeri 0.9745, C değeri 0,8669, AIC değeri -3.7661; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1582 m, MAPE değeri ± 0.1260 m, R^2_{adj} değeri 0.1670, D değeri 0.9785, C değeri 0.4078, AIC değeri -3.6789;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0489 m, MAPE değeri ± 0.0834 m, R^2_{adj} değeri 0.7328, D değeri 0.9681, C değeri 0,8427, AIC değeri -3.6165; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1565 m, MAPE değeri ± 0.1231 m, R^2_{adj} değeri 0.1844, D değeri 0.9756, C değeri 0.4263, AIC değeri -3.7000;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0453 m, MAPE değeri ± 0.0760 m, R^2_{adj} değeri 0.7699, D değeri 0.9745, C değeri 0,8669, AIC değeri -3.7659; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1582 m, MAPE değeri ± 0.1259 m, R^2_{adj} değeri 0.1671, D değeri 0.9785, C değeri 0.4079, AIC değeri -3.6790 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0453 m ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0759 m ile EGM08 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7699 ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9745 ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8669 ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -3.7661 ile EGM08 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 5x5 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller ve doğu-batı, kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde DB ve KG yönündeki modeller arasındaki küçük farklarla DB yönündeki modeller daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca 5x5 km grid aralıklı global

jeopotansiyel modeller değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlara göre bir birleriyle hemen hemen aynı sonuçlar verdikleri görülmüştür.

DFHRS yaklaşımıyla 5x5 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından **global jeopotansiyel modellere göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0364 m, MAPE değeri ± 0.0600 m, R^2_{adj} değeri 0.8653, D değeri 0.9824, C değeri 0.9168, AIC değeri -5.5925; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0632 m, MAPE değeri ± 0.0808 m, R^2_{adj} değeri 0.6199, D değeri 0.9733, C değeri 0.7685, AIC değeri -5.5134;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0373 m, MAPE değeri ± 0.0617 m, R^2_{adj} değeri 0.8581, D değeri 0.9823, C değeri 0,9132, AIC değeri -5.5408; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0621 m, MAPE değeri ± 0.0774 m, R^2_{adj} değeri 0.6324, D değeri 0.9757, C değeri 0.7779, AIC değeri -5.5469;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0362 m, MAPE değeri ± 0.0586 m, R^2_{adj} değeri 0.8666, D değeri 0.9829, C değeri 0,9179, AIC değeri -5.6021; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0630 m, MAPE değeri ± 0.0795 m, R^2_{adj} değeri 0.6223, D değeri 0.9739, C değeri 0.7704, AIC değeri -5.5197;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0374 m, MAPE değeri ± 0.0617 m, R^2_{adj} değeri 0.8576, D değeri 0.9824, C değeri 0,9129, AIC değeri -5.5369; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0621 m, MAPE değeri ± 0.0774 m, R^2_{adj} değeri 0.6327, D değeri 0.9757, C değeri 0.7781, AIC değeri -5.5476 bulunmuştur.

Bütün modellerde ortalama ve ortanca değerler sıfıra yakın olduğundan modellendirmelerde sistematik kayıklık olmadığı görülmüştür. Ayrıca tüm istatistiksel sonuçların kendi cinsleri içinde birbirlerine çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0362 m ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0586 m ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8666 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D

değeri 0.9829 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9179 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -5.6021 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 5x5 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **doğu-batı yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0364 m, MAPE değeri ± 0.0600 m, R^2_{adj} değeri 0.8653, D değeri 0.9824, C değeri 0.9168, AIC değeri -5.5925; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0632 m, MAPE değeri ± 0.0808 m, R^2_{adj} değeri 0.6199, D değeri 0.9733, C değeri 0.7685, AIC değeri -5.5134;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0373 m, MAPE değeri ± 0.0617 m, R^2_{adj} değeri 0.8581, D değeri 0.9823, C değeri 0,9132, AIC değeri -5.5408; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0622 m, MAPE değeri ± 0.0774 m, R^2_{adj} değeri 0.6314, D değeri 0.9755, C değeri 0.7772, AIC değeri -5.5440;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0362 m, MAPE değeri ± 0.0586 m, R^2_{adj} değeri 0.8666, D değeri 0.9829, C değeri 0,9179, AIC değeri -5.6021; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0630 m, MAPE değeri ± 0.0795 m, R^2_{adj} değeri 0.6223, D değeri 0.9739, C değeri 0.7704, AIC değeri -5.5197;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0374 m, MAPE değeri ± 0.0617 m, R^2_{adj} değeri 0.8576, D değeri 0.9823, C değeri 0,9129, AIC değeri -5.5369; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0622 m, MAPE değeri ± 0.0774 m, R^2_{adj} değeri 0.6313, D değeri 0.9755, C değeri 0.7771, AIC değeri -5.5438 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0362 m ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0586 m ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8666 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9829 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en

yüksek C değeri 0.9179 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -5.6021 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 5x5 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0384 m, MAPE değeri ± 0.0650 m, R^2_{adj} değeri 0.8500, D değeri 0.9801, C değeri 0.9070, AIC değeri -5.4854; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0670 m, MAPE değeri ± 0.0923 m, R^2_{adj} değeri 0.5726, D değeri 0.9699, C değeri 0.7363, AIC değeri -5.3959;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0374 m, MAPE değeri ± 0.0623 m, R^2_{adj} değeri 0.8573, D değeri 0.9823, C değeri 0,9127, AIC değeri -5.5352; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0621 m, MAPE değeri ± 0.0779 m, R^2_{adj} değeri 0.6324, D değeri 0.9757, C değeri 0.7779, AIC değeri -5.5469;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0383 m, MAPE değeri ± 0.0645 m, R^2_{adj} değeri 0.8505, D değeri 0.9804, C değeri 0,9075, AIC değeri -5.4888; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0672 m, MAPE değeri ± 0.0918 m, R^2_{adj} değeri 0.5698, D değeri 0.9705, C değeri 0.7351, AIC değeri -5.3895;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0374 m, MAPE değeri ± 0.0622 m, R^2_{adj} değeri 0.8574, D değeri 0.9824, C değeri 0.9128, AIC değeri -5.5358; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0621 m, MAPE değeri ± 0.0778 m, R^2_{adj} değeri 0.6327, D değeri 0.9757, C değeri 0.7781, AIC değeri -5.5476 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0374 m ile EGM08 ve EIGEN6c4 modellerinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0622 m ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8574 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9824 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9128 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir.

AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -5.5358 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 5x5 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller ve doğu-batı, kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde DB yönündeki en iyi sonuç veren model EIGEN04 modeli olmuştur. KG yönündeki modeller karşılaştırıldığında ise EIGEN6C4 modeli en iyi sonucu vermiştir. Ancak DB ve KG karşılaştırılırsa DB yönündeki modeller küçük farklarla öne çıktığı görülmüştür. Ayrıca 5x5 km grid aralıklı global jeopotansiyel modeller değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlara göre bir birleriyle hemen hemen aynı sonuçlara ulaşmakla birlikte EIGEN04 modeli küçük farklarla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Çizelge 6.17. EGM96 modeli kullanılarak 2X2 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistikî veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	2X2 EGM96DB	2X2 EGM96KG	2X2 EGM96DB	2X2 EGM96KG
ORTALAMA(m)	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0036	0.0009	-0.0030	0.0021
MİNİMUM(m)	-0.1785	-0.2155	-0.2025	-0.2235
MAKSİMUM(m)	0.2098	0.1968	0.2248	0.2078
STD.S(m)	0.0438	0.0510	0.0364	0.0433
R²_{adj}	0.7637	0.6788	0.8593	0.8005
KOH(m)	0.0459	0.0536	0.0372	0.0442
MAPE(m)	0.0784	0.0951	0.0666	0.0843
D	0.9719	0.9620	0.9804	0.9733
C	0.8614	0.8098	0.9120	0.8754
AIC	-3.7394	-3.4324	-5.5490	-5.2002

Çizelge 6.18. EGM96 modeli kullanılarak 2X2 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	2X2 EGM96DB	2X2 EGM96KG	2X2 EGM96DB	2X2 EGM96KG
ORTALAMA(m)	0.0041	0.0119	0.0048	0.0080
ORTANCA(m)	-0.0009	0.0061	0.0042	0.0092
MİNİMUM(m)	-0.7665	-0.7445	-0.7725	-0.7543
MAKSİMUM(m)	4.4218	4.3798	0.5658	0.6378
STD.S(m)	0.1545	0.1578	0.0648	0.0740
R^2_{adj}	0.1984	0.1595	0.5939	0.4680
KOH(m)	0.1552	0.1589	0.0653	0.0748
MAPE(m)	0.1186	0.1440	0.0930	0.1227
D	0.9771	0.9701	0.9684	0.9579
C	0.4422	0.3955	0.7486	0.6586
AIC	-3.7173	-3.6698	-5.4471	-5.1770

Çizelge 6.19. EGM2008 modeli kullanılarak 2X2 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	2X2 EGM08DB	2X2 EGM08KG	2X2 EGM08DB	2X2 EGM08KG
ORTALAMA(m)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0042	-0.0035	-0.0010	-0.0026
MİNİMUM(m)	-0.1885	-0.1835	-0.1985	-0.1915
MAKSİMUM(m)	0.2308	0.2208	0.2428	0.2328
STD.S(m)	0.0439	0.0435	0.0383	0.0379
R^2_{adj}	0.7628	0.7666	0.8443	0.8470
KOH(m)	0.0460	0.0457	0.0391	0.0387
MAPE(m)	0.0778	0.0779	0.0698	0.0700
D	0.9736	0.9743	0.9800	0.9804
C	0.8625	0.8650	0.9040	0.9058
AIC	-3.7354	-3.7517	-5.4479	-5.4656

Çizelge 6.20. EGM2008 modeli kullanılarak 2X2 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	2X2 EGM08DB	2X2 EGM08KG	2X2 EGM08DB	2X2 EGM08KG
ORTALAMA(m)	-0.0078	-0.0087	0.0016	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0079	-0.0093	0.0020	-0.0004
MİNİMUM(m)	-0.7883	-0.7853	-0.7993	-0.7953
MAKSİMUM(m)	4.4568	4.4488	0.5688	0.5658
STD.S(m)	0.1586	0.1577	0.0647	0.0642
R^2_{adj}	0.1538	0.1628	0.5976	0.6041
KOH(m)	0.1595	0.1586	0.0650	0.0645
MAPE(m)	0.1331	0.1302	0.0923	0.0912
D	0.9772	0.9778	0.9706	0.9717
C	0.3915	0.4026	0.7525	0.7574
AIC	-3.6631	-3.6738	-5.4563	-5.4726

Çizelge 6.21. EIGEN04 modeli kullanılarak 2X2 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	2X2 EIGEN04DB	2X2 EIGEN04KG	2X2 EIGEN04DB	2X2 EIGEN04KG
ORTALAMA(m)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
ORTANCA(m)	-0.0029	0.0014	-0.0034	0.0013
MİNİMUM(m)	-0.1825	-0.2115	-0.2045	-0.2185
MAKSİMUM(m)	0.2138	0.2078	0.2288	0.2228
STD.S(m)	0.0439	0.0516	0.0362	0.0425
R^2_{adj}	0.7622	0.6720	0.8605	0.8081
KOH(m)	0.0461	0.0541	0.0370	0.0434
MAPE(m)	0.0791	0.0958	0.0656	0.0804
D	0.9719	0.9617	0.9808	0.9746
C	0.8607	0.8060	0.9130	0.8805
AIC	-3.7330	-3.4116	-5.5581	-5.2390

Çizelge 6.22. EIGEN04 modeli kullanılarak 2X2 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	2X2 EIGEN04DB	2X2 EIGEN04KG	2X2 EIGEN04DB	2X2 EIGEN04KG
ORTALAMA(m)	0.0025	0.0080	0.0046	0.0089
ORTANCA(m)	-0.0045	0.0009	0.0039	0.0079
MİNİMUM(m)	-0.7645	-0.7435	-0.7695	-0.7613
MAKSİMUM(m)	4.4238	4.3878	0.5698	0.6468
STD.S(m)	0.1547	0.1576	0.0645	0.0737
R^2_{adj}	0.1974	0.1643	0.5980	0.4706
KOH(m)	0.1553	0.1585	0.0650	0.0746
MAPE(m)	0.1193	0.1370	0.0913	0.1186
D	0.9772	0.9719	0.9694	0.9603
C	0.4411	0.4019	0.7518	0.6621
AIC	-3.7160	-3.6756	-5.4572	-5.1821

Çizelge 6.23. EIGEN6C4 modeli kullanılarak 2X2 grid aralığında DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait istatistiki veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	2X2 EIGEN6C4DB	2X2 EIGEN6C4KG	2X2 EIGEN6C4DB	2X2 EIGEN6C4KG
ORTALAMA(m)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0042	-0.0031	-0.0015	-0.0026
MİNİMUM(m)	-0.1875	-0.1825	-0.1985	-0.1905
MAKSİMUM(m)	0.2308	0.2218	0.2428	0.2328
STD.S(m)	0.0439	0.0435	0.0383	0.0379
R^2_{adj}	0.7627	0.7670	0.8440	0.8475
KOH(m)	0.0460	0.0456	0.0391	0.0387
MAPE(m)	0.0780	0.0776	0.0698	0.0700
D	0.9735	0.9744	0.9800	0.9804
C	0.8624	0.8653	0.9038	0.9060
AIC	-3.7353	-3.7534	-5.4458	-5.4686

Çizelge 6.24. EIGEN6C4 modeli kullanılarak 2X2 grid aralığında DFHRS ile elde edilen modelin test sonuçlarına ait istatistik veriler.

KRİTERLER	1.UYGULAMA		2.UYGULAMA	
	2X2 EIGEN6C4DB	2X2 EIGEN6C4KG	2X2 EIGEN6C4DB	2X2 EIGEN6C4KG
ORTALAMA(m)	-0.0079	-0.0088	0.0016	0.0001
ORTANCA(m)	-0.0081	-0.0092	0.0020	-0.0006
MİNİMUM(m)	-0.7903	-0.7863	-0.8003	-0.7963
MAKSİMUM(m)	4.4578	4.4498	0.5688	0.5658
STD.S(m)	0.1586	0.1577	0.0647	0.0642
R^2_{adj}	0.1538	0.1627	0.5977	0.6041
KOH(m)	0.1595	0.1586	0.0650	0.0645
MAPE(m)	0.1328	0.1300	0.0922	0.0911
D	0.9773	0.9778	0.9706	0.9717
C	0.3917	0.4025	0.7527	0.7574
AIC	-3.6632	-3.6737	-5.4566	-5.4725

Çizelge 6.17,18...24 incelendiğinde; 1 ve 2. uygulama için DB-KG yönünde parçalı ve farklı global jeopotansiyel modeller için istatistiksel veriler sunulmuştur. DFHRS yaklaşımıyla 2x2 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından **global jeopotansiyel modellere göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0459 m, MAPE değeri ± 0.0784 m, R^2_{adj} değeri 0.7637, D değeri 0.9719, C değeri 0.8614, AIC değeri -3.7394; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1552 m, MAPE değeri ± 0.1186 m, R^2_{adj} değeri 0.1984, D değeri 0.9771, C değeri 0.4422, AIC değeri -3.7173;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0457 m, MAPE değeri ± 0.0778 m, R^2_{adj} değeri 0.7666, D değeri 0.9743, C değeri 0,8650, AIC değeri -3.7517; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1586 m, MAPE değeri ± 0.1302 m, R^2_{adj} değeri 0.1628, D değeri 0.9778, C değeri 0.4026, AIC değeri -3.6738;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0461 m, MAPE değeri ± 0.0791 m, R^2_{adj} değeri 0.7622, D değeri 0.9719, C değeri 0,8607, AIC değeri -3.7330; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1553 m, MAPE değeri ± 0.1193 m, R^2_{adj} değeri 0.1974, D değeri 0.9772, C değeri 0.4411, AIC değeri -3.7160;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0456 m, MAPE değeri ± 0.0776 m, R^2_{adj} değeri 0.7670, D değeri 0.9744, C değeri 0,8653, AIC değeri -3.7534; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1586 m, MAPE değeri ± 0.1300 m, R^2_{adj} değeri 0.1627, D değeri 0.9778, C değeri 0.4025, AIC değeri -3.6737 bulunmuştur.

Bütün modellerde ortalama ve ortanca değerler sifıra yakın olduğundan modellendirmelerde sistematik kayıklık olmadığı görülmüştür. Ayrıca tüm istatistiksel sonuçların kendi cinsleri içinde birbirlerine çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0456 m ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0776 m ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7670 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9744 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8653 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -3.7534 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 2x2 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **doğu-batı yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0459 m, MAPE değeri ± 0.0784 m, R^2_{adj} değeri 0.7637, D değeri 0.9719, C değeri 0.8614, AIC değeri -3.7394; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1552 m, MAPE değeri ± 0.1186 m, R^2_{adj} değeri 0.1984, D değeri 0.9771, C değeri 0.4422, AIC değeri -3.7173;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0460 m, MAPE değeri ± 0.0778 m, R^2_{adj} değeri 0.7628, D değeri 0.9736, C değeri 0,8625, AIC değeri -3.7354; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1595 m, MAPE değeri ± 0.1331 m, R^2_{adj} değeri 0.1538, D değeri 0.9772, C değeri 0.3915, AIC değeri -3.6631;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0461 m, MAPE değeri ± 0.0791 m, R^2_{adj} değeri 0.7622, D değeri 0.9719, C değeri 0,8607, AIC değeri -3.7330; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1553 m, MAPE değeri ± 0.1193 m, R^2_{adj} değeri 0.1974, D değeri 0.9772, C değeri 0.4411, AIC değeri -3.7160;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0460 m, MAPE değeri ± 0.0780 m, R^2_{adj} değeri 0.7627, D değeri 0.9735, C değeri 0,8624, AIC değeri -3.7353; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1595 m, MAPE değeri ± 0.1328 m, R^2_{adj} değeri 0.1538, D değeri 0.9773, C değeri 0.3917, AIC değeri -3.6632 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0459 m ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0778 m ile EGM08 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7637 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9736 ile EGM08 modelinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8625 ile EGM08 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -3.7394 ile EGM96 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 2x2 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0536 m, MAPE değeri ± 0.0951 m, R^2_{adj} değeri 0.6788, D değeri 0.9620, C değeri 0.8098, AIC değeri -3.4324; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1589 m, MAPE değeri ± 0.1440 m, R^2_{adj} değeri 0.1595, D değeri 0.9701, C değeri 0.3955, AIC değeri -3.6698;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0457 m, MAPE değeri ± 0.0779 m, R^2_{adj} değeri 0.7666, D değeri 0.9743, C değeri 0,8650, AIC değeri -3.7517; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1586 m, MAPE değeri ± 0.1302 m, R^2_{adj} değeri 0.1628, D değeri 0.9778, C değeri 0.4026, AIC değeri -3.6738;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0541 m, MAPE değeri ± 0.0958 m, R^2_{adj} değeri 0.6720, D değeri 0.9617, C değeri 0,8060, AIC değeri -3.4116; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1585 m, MAPE değeri ± 0.1370 m, R^2_{adj} değeri 0.1643, D değeri 0.9719, C değeri 0.4019, AIC değeri -3.6756;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0456 m, MAPE değeri ± 0.0776 m, R^2_{adj} değeri 0.7670, D değeri 0.9744, C değeri 0,8653, AIC değeri -3.7534; test sonuçları için KOH değeri ± 0.1586 m, MAPE değeri ± 0.1300 m, R^2_{adj} değeri 0.1627, D değeri 0.9778, C değeri 0.4025, AIC değeri -3.6737 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0456 m ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0776 m ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7670 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9744 ile EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8660 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -3.7534 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 2x2 km grid aralığında 1. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller ve doğu-batı, kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde DB ve KG yönündeki modeller arasındaki çok küçük farklarla KG yönündeki EIGEN6C4 modeller DB yönündeki EGM96 ve EGM08 modellerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca 2x2 km grid aralıklı global jeopotansiyel modeller değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlara göre birbirleriyle yakın sonuçlar verseler de EIGEN6C4 modelinin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

DFHRS yaklaşımıyla 2x2 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından **global jeopotansiyel modellere göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0372 m, MAPE değeri ± 0.0666 m, R^2_{adj} değeri 0.8593, D değeri 0.9804, C değeri 0.9120, AIC değeri -5.5490; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0653 m, MAPE değeri ± 0.0930 m, R^2_{adj} değeri 0.5939, D değeri 0.9684, C değeri 0.7486, AIC değeri -5.4471;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0387 m, MAPE değeri ± 0.0698 m, R^2_{adj} değeri 0.8470, D değeri 0.9800, C değeri 0,9040, AIC değeri -5.4656;

test sonuçları için KOH değeri ± 0.0645 m, MAPE değeri ± 0.0912 m, R^2_{adj} değeri 0.6041, D değeri 0.9717, C değeri 0.7574 AIC değeri -5.4726;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0370 m, MAPE değeri ± 0.0656 m, R^2_{adj} değeri 0.8605, D değeri 0.9808, C değeri 0,9130, AIC değeri -5.5581; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0650 m, MAPE değeri ± 0.0913 m, R^2_{adj} değeri 0.5980, D değeri 0.9694, C değeri 0.7518, AIC değeri -5.4572;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0387 m, MAPE değeri ± 0.0698 m, R^2_{adj} değeri 0.8475, D değeri 0.9804, C değeri 0,9060, AIC değeri -5.4686; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0645 m, MAPE değeri ± 0.0911 m, R^2_{adj} değeri 0.6041, D değeri 0.9717, C değeri 0.7574, AIC değeri -5.4725 bulunmuştur.

Bütün modellerde ortalama ve ortanca değerler sifıra yakın olduğundan modellendirmelerde sistematik kayıklık olmadığı görülmüştür. Ayrıca tüm istatistiksel sonuçların kendi cinsleri içinde birbirlerine çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0370 m ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0656 m ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8605 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9808 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9130 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -5.5581 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 2x2 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **doğu-batı yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0372 m, MAPE değeri ± 0.0666 m, R^2_{adj} değeri 0.8593, D değeri 0.9804, C değeri 0.9120, AIC değeri -5.5490; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0653 m, MAPE değeri ± 0.0930 m, R^2_{adj} değeri 0.5939, D değeri 0.9684, C değeri 0.7486, AIC değeri -5.4471;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0391 m, MAPE değeri ± 0.0698 m, R^2_{adj} değeri 0.84431, D değeri 0.9800, C değeri 0,9040, AIC değeri -5.4479; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0650 m, MAPE değeri ± 0.0923 m, R^2_{adj} değeri 0.5976, D değeri 0.9706, C değeri 0.7525, AIC değeri -5.4563;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0370 m, MAPE değeri ± 0.0656 m, R^2_{adj} değeri 0.8605, D değeri 0.9808, C değeri 0,9130, AIC değeri -5.5581; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0650 m, MAPE değeri ± 0.0913 m, R^2_{adj} değeri 0.5980, D değeri 0.9694, C değeri 0.7518, AIC değeri -5.4572;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0391 m, MAPE değeri ± 0.0698 m, R^2_{adj} değeri 0.8440, D değeri 0.9800, C değeri 0,9038, AIC değeri -5.4458; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0650 m, MAPE değeri ± 0.0922 m, R^2_{adj} değeri 0.5977, D değeri 0.9706 C değeri 0.7527, AIC değeri -5.4566 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0370 m ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0656 m ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8605 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9808 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9130 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -5.5581 ile EIGEN04 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 2x2 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller **kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde;**

EGM96'nın model sonuçları için KOH değeri ± 0.0442 m, MAPE değeri ± 0.0843 m, R^2_{adj} değeri 0.8005, D değeri 0.9733, C değeri 0.8754, AIC değeri -5.2002; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0748 m, MAPE değeri ± 0.1227 m, R^2_{adj} değeri 0.4680, D değeri 0.9579, C değeri 0.6586, AIC değeri -5.1770;

EGM2008'in model sonuçları için KOH değeri ± 0.0387 m, MAPE değeri ± 0.0700 m, R^2_{adj} değeri 0.8470, D değeri 0.9804, C değeri 0,9058, AIC değeri -5.4656; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0645 m, MAPE değeri ± 0.0912 m, R^2_{adj} değeri 0.6041, D değeri 0.9717, C değeri 0.7574 AIC değeri -5.4726;

EIGEN04'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0434 m, MAPE değeri ± 0.0804 m, R^2_{adj} değeri 0.8081, D değeri 0.9746, C değeri 0,8805, AIC değeri -5.2390; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0746 m, MAPE değeri ± 0.1186 m, R^2_{adj} değeri 0.4706, D değeri 0.9603, C değeri 0.6621, AIC değeri -5.1821;

EIGEN6C4'ün model sonuçları için KOH değeri ± 0.0387 m, MAPE değeri ± 0.0700 m, R^2_{adj} değeri 0.8475, D değeri 0.9804, C değeri 0.9060, AIC değeri -5.4686; test sonuçları için KOH değeri ± 0.0645 m, MAPE değeri ± 0.0911 m, R^2_{adj} değeri 0.6041, D değeri 0.9717, C değeri 0.7574, AIC değeri -5.4725 bulunmuştur.

KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0387 m ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0700 m ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8475 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9804 ile EGM08 ve EIGEN6C4 modellerinde elde edilmiştir. C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9060 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir. AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -5.4686 ile EIGEN6C4 modelinde elde edilmiştir.

DFHRS yaklaşımıyla 2x2 km grid aralığında 2. uygulama verileri açısından global jeopotansiyel modeller ve doğu-batı, kuzey-güney yönünde parçalı durumlarına göre farklar incelendiğinde çok küçük farklarla DB yönündeki EIGEN04 modeli KG yönündeki EIGEN6C4 modeline göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca 2x2 km grid aralıklı global jeopotansiyel modeller değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlara göre bir birleriyle yakın sonuçlar vermekle birlikte EIGEN04 modelinin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Çizelge 6.25. 1. uygulama verileri kullanılarak DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait en iyi istatistiki veriler.

KRİTERLER	EN İYİ SONUÇLAR
ORTALAMA(m)	0.0000
ORTANCA(m)	0.0004
MİN(m)	-0.2205
MAKS(m)	0.2348
STD.S(m)	0.0430
R^2_{adj}	0.7721
KOH(m)	0.0451
MAPE(m)	0.0741
D	0.9745
C	0.8677
AIC	-3.7757

Çizelge 6.26. 1. uygulama verileri kullanılarak DFHRS ile elde edilen modellerin test sonuçlarına ait en iyi istatistiki veriler.

KRİTERLER	EN İYİ SONUÇLAR
ORTALAMA(m)	0.0024
ORTANCA(m)	0.0002
MİN(m)	-0.7903
MAKS(m)	4.4578
STD.S(m)	0.1540
R^2_{adj}	0.2036
KOH(m)	0.1547
MAPE(m)	0.1101
D	0.9794
C	0.4487
AIC	-3.7238

Çizelge 6.27. 2. uygulama verileri kullanılarak DFHRS ile elde edilen model sonuçlarına ait en iyi istatistiki veriler.

KRİTERLER	EN İYİ SONUÇLAR
ORTALAMA(m)	0.0000
ORTANCA(m)	0.0005
MİN(m)	-0.2435
MAKS(m)	0.3008
STD.S(m)	0.0354
R^2_{adj}	0.8666
KOH(m)	0.0362
MAPE(m)	0.0586
D	0.9829
C	0.9179
AIC	-5.6021

Çizelge 6.28. 2. uygulama verileri kullanılarak DFHRS ile elde edilen modellerin test sonuçlarına ait en iyi istatistiki veriler.

KRİTERLER	EN İYİ SONUÇLAR
ORTALAMA(m)	0.0000
ORTANCA(m)	0.0004
MİN(m)	-0.8003
MAKS(m)	0.6468
STD.S(m)	0.0606
R^2_{adj}	0.6463
KOH(m)	0.0610
MAPE(m)	0.0710
D	0.9774
C	0.7876
AIC	-5.5854

Çizelgelerin tamamı birlikte incelenerek DFHRS yaklaşımıyla 1. uygulama verileri açısından 10x10, 5x5, 2x2 km grid aralığında, DB ve KG yönünde parçalı modellere göre farklar incelendiğinde;

EGM96 model sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0456 m ile 5X5EGM96DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0741 m ile 10X10EGM96DB,

- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7673 ile 5X5EGM96DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9740 ile 10X10EGM96DB,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8644 ile 5X5EGM96DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -3.7547 ile 5X5EGM96DB;

Test sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.1547 m ile 10X10EGM96DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.1101 m ile 10X10EGM96DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.2036 ile 10X10EGM96DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9794 ile 10X10EGM96DB,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.4487 ile 10X10EGM96DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -3.7238 ile 10X10EGM96DB modeli bulunmuştur.

EGM08 model sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0451 m ile 5X5EGM08DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0749 m ile 5X5EGM08DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7721 ile 5X5EGM08DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9745 ile 5X5EGM08KG,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8677 ile 5X5EGM08DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -3.7757 ile 5X5EGM08DB;

Test sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.1569 m ile 10X10EGM08DB/KG,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.1199 m ile 10X10EGM08DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.1805 ile 10X10EGM08DB/KG,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9790 ile 10X10EGM08DB,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.4234 ile 10X10EGM08DB/KG,

- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -3.6952 ile 10X10EGM08DB/KG modeli bulunmuştur.

EIGEN04 model sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0458 m ile 5X5EIGEN04DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0747 m ile 10X10EIGEN04DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7654 ile 5X5EIGEN04DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9738 ile 10X10EIGEN04DB/KG,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8633 ile 5X5EIGEN04DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -3.7466 ile 5X5EIGEN04DB;

Test sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.1548 m ile 10X10EIGEN04DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.1119 m ile 5X5EIGEN04DB ve 10X10EIGEN04DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.2024 ile 10X10EIGEN04DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9791 ile 10X10EIGEN04DB,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.4474 ile 10X10EIGEN04DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -3.7223 ile 10X10EIGEN04DB modeli bulunmuştur.

EIGEN6C4 model sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0451 m ile 5X5EIGEN6C4DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0749 m ile 5X5EIGEN6C4DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.7719 ile 5X5EIGEN6C4DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9745 ile 5X5EIGEN6C4KG,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.8676 ile 5X5EIGEN6C4DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -3.7746 ile 5X5EIGEN6C4DB;

Test sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.1569 m ile 10X10EIGEN6C4DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.1199 m ile 10X10EIGEN6C4DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.1804 ile 10X10EIGEN6C4DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9790 ile 10X10EIGEN6C4DB,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.4233 ile 10X10EIGEN6C4DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -3.6951 ile 10X10EIGEN6C4DB modeli bulunmuştur.

Çizelgelerin tamamı birlikte incelenerek DFHRS yaklaşımıyla 2. uygulama verileri açısından 10x10, 5x5, 2x2 km grid aralığında, DB ve KG yönünde parçalı modellere göre farklar incelendiğinde;

EGM96 model sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0364 m ile 5X5EGM96DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0600 m ile 5X5EGM96DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8653 ile 5X5EGM96DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9826 ile 10X10EGM96DB,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9168 ile 5X5EGM96DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -5.5925 ile 5X5EGM96DB;

Test sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0611 m ile 10X10EGM96DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0712 m ile 10X10EGM96DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.6449 ile 10X10EGM96DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9773 ile 10X10EGM96DB,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.7867 ile 10X10EGM96DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -5.5814 ile 10X10EGM96DB modeli bulunmuştur.

EGM08 model sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0373 m ile 5X5EGM08DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0617 m ile 5X5EGM08DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8581 ile 5X5EGM08DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9823 ile 5X5EGM08DB/KG,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9132 ile 5X5EGM08DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -5.5408 ile 5X5EGM08DB;

Test sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0610 m ile 10X10EGM08KG,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0719 m ile 10X10EGM08KG,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.6463 ile 10X10EGM08KG,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9773 ile 10X10EGM08KG,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.7876 ile 10X10EGM08KG,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -5.5853 ile 10X10EGM08KG modeli bulunmuştur.

EIGEN04 model sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0362 m ile 5X5EIGEN04DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0586 m ile 5X5EIGEN04DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8666 ile 5X5EIGEN04DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9829 ile 5X5EIGEN04DB,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9179 ile 5X5EIGEN04DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -5.6021 ile 5X5EIGEN04DB;

Test sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0610 m ile 10X10EIGEN04DB,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0710 m ile 10X10EIGEN04DB,

- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.6455 ile 10X10EIGEN04DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9774 ile 10X10EIGEN04DB,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.7872 ile 10X10EIGEN04DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -5.5831 ile 10X10EIGEN04DB modeli bulunmuştur.

EIGEN6C4 model sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0374 m ile 5X5EIGEN6C4DB/KG,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0617 m ile 5X5EIGEN6C4DB,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8576 ile 5X5EIGEN6C4DB,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9824 ile 5X5EIGEN6C4KG,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9129 ile 5X5EIGEN6C4DB,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -5.5369 ile 5X5EIGEN6C4DB;

Test sonuçları için

- KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0610 m ile 10X10EIGEN6C4KG,
- MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0719 m ile 10X10EIGEN6C4KG,
- R^2_{adj} değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.6463 ile 10X10EIGEN6C4KG,
- D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9773 ile 10X10EIGEN6C4KG,
- C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.7876 ile 10X10EIGEN6C4KG,
- AIC değerleri açısından en küçük AIC değeri -5.5854 ile 10X10EIGEN6C4KG modeli bulunmuştur.

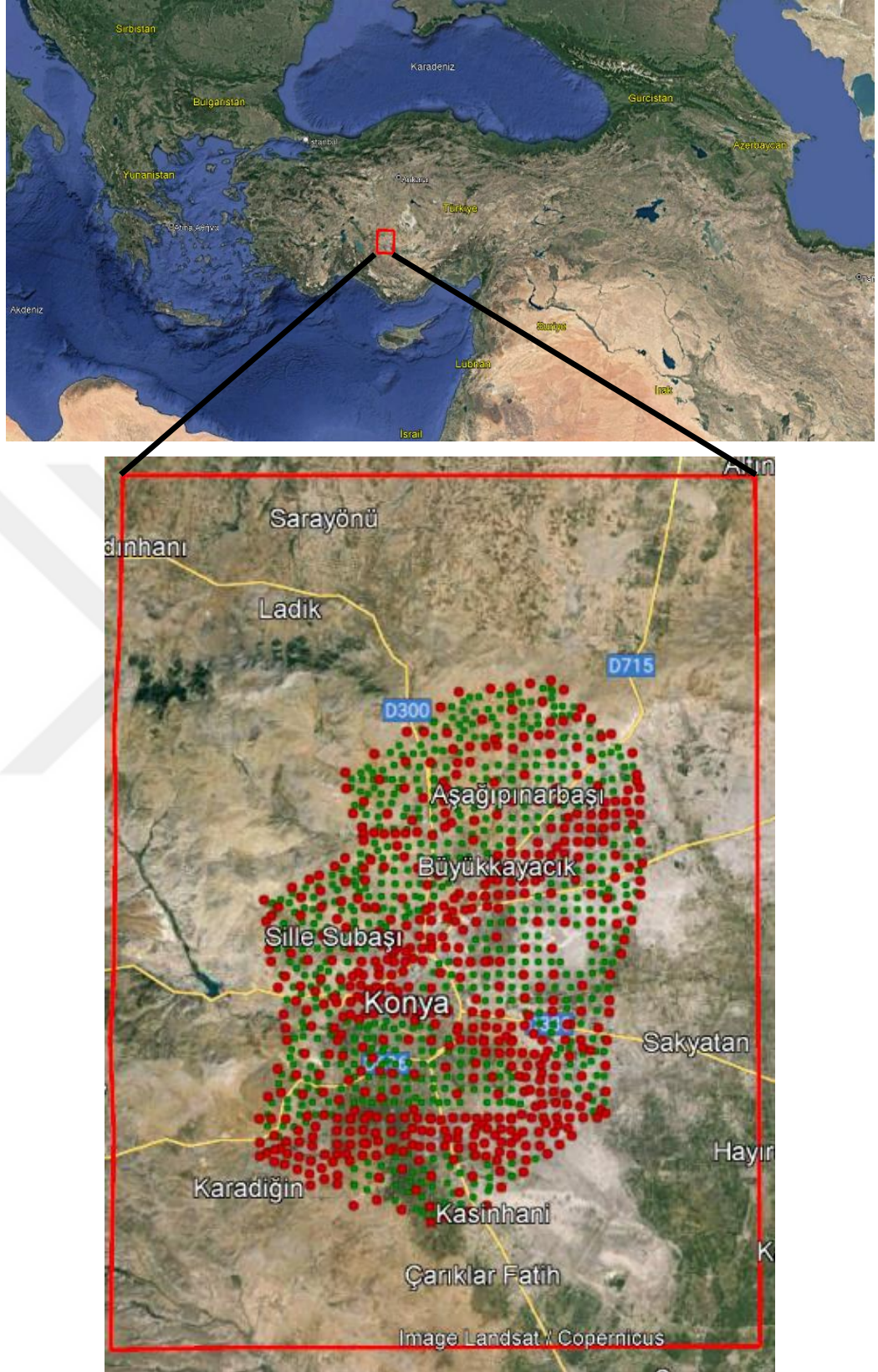
Yukarıda açıklanan 1 ve 2. uygulama verileri birlikte değerlendirildiğinde lokal jeoit modellerin sonuçlarına grid aralıklarının büyüklükleri açısından bakıldığında 5x5 km grid aralıklı modellerin 2x2 km ve 10x10 km grid aralıklı modellere göre ve DB yönünde parçalı modellerin KG yönünde parçalı modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu anlamda DFHRS yaklaşımıyla iyileştirilmiş 48 adet lokal jeoit modeli arasından en iyi sonucu KOH değerleri açısından en küçük KOH değeri ± 0.0362 m, MAPE değerleri açısından en küçük MAPE değeri ± 0.0586 m, R^2_{adj}

değerleri açısından en yüksek R^2_{adj} değeri 0.8666, D değerleri açısından en yüksek D değeri 0.9829, C değerleri açısından en yüksek C değeri 0.9179, AIC değerleri açısından en düşük AIC değeri -5.6021 ile 2. uygulama verileri kullanılarak elde edilen 5X5EIGEN04DB lokal jeoit modeli vermektedir.

1 ve 2. uygulamada kullanılan verilerin istatistiksel sonuçları karşılaştırıldığında ise 2. uygulamanın tüm istatistiksel parametrelerde ve model seçim kriterlerinde belirgin şekilde daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu durum model oluşturmada kullanılan dayanak noktaları seçiminin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur.

6.1. 5X5EIGEN04DB Modeli

2. uygulama verileri kullanılarak elde edilen en iyi model olan 5X5EIGEN04DB lokal jeoit modeli, tez çalışma sahası için jeoit yüksekliği bilgisine erişebileceğimiz bir model olarak karşımıza çıkmıştır. Artık elipsoit yüksekliği bilinen herhangi bir noktanın DFHRS yazılımı aracılığıyla 5X5EIGEN04DB lokal jeoit modelinden kestirim yapılarak pratikte kullanılacak olan ortometrik yüksekliğe geçiş yapılabilmesi mümkündür. Ancak 5X5EIGEN04DB modelinden daha iyi sonuçlar elde etmek adına yeni bir uygulama yapılması düşünülmüş olup bu yeni uygulama için 554 adet dayanak (model) 622 adet test noktası seçilmiş ve dayanak noktalarının seçiminde jeoitin değişim gösterdiği yerler dikkate alınmıştır. 3. uygulama noktalarının çalışma sahasındaki dağılımı Şekil 6.1. de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Çalışma sahasının 3. uygulama noktalarının genel görünümü ve nokta dağılımı. Model noktaları kırmızı, test noktaları yeşil renktedir.

3. uygulamanın model seçim kriterleri ve istatistiksel sonuçları aşağıdaki Çizelge 6.29 ve Çizelge 6.30 da sunulmuştur.

Çizelge 6.29. 3. uygulama verileri kullanılarak DFHRS ile elde edilen 5X5EIGEN04DB modelinin sonuçlarına ait istatistiksel veriler.

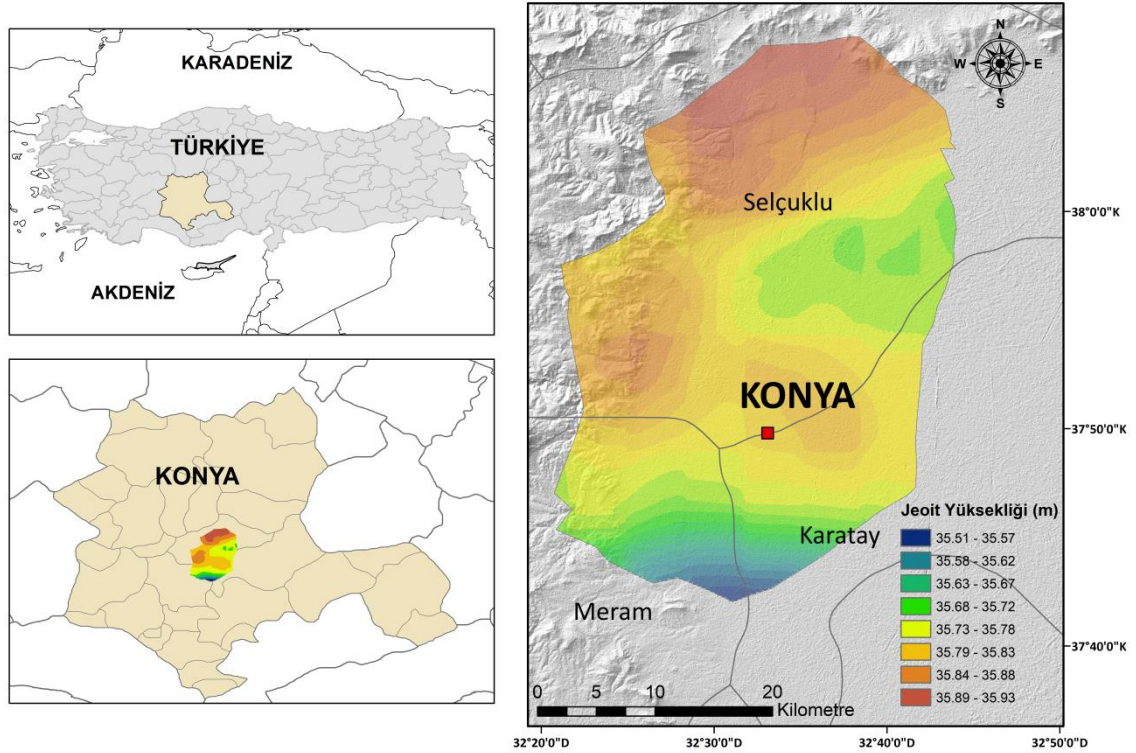
KRİTERLER	5X5 EIGEN04DB
ORTALAMA(m)	0.0000
ORTANCA(m)	-0.0012
MİN(m)	-0.0502
MAKS(m)	0.0920
STD.S(m)	0.0191
R^2_{adj}	0.9441
KOH(m)	0.0193
MAPE(m)	0.0398
D	0.9840
C	0.9565
AIC	-7.8768

Çizelge 6.30. 3. uygulama verileri kullanılarak DFHRS ile elde edilen 5X5EIGEN04DB modelinin test sonuçlarına ait istatistiksel veriler.

KRİTERLER	5X5 EIGEN04DB
ORTALAMA(m)	0.0015
ORTANCA(m)	0.0007
MİN(m)	-0.0782
MAKS(m)	0.1039
STD.S(m)	0.0216
R^2_{adj}	0.9448
KOH(m)	0.0218
MAPE(m)	0.0435
D	0.9868
C	0.9596
AIC	-7.6335

Tez çalışmasının ve 5X5EIGEN04DB lokal jeoit modelinin amacına yönelik olarak Konya ili şehir merkezi ve çevresi için bir jeoit haritası hazırlanılması düşünülmüş ve bunun için 500 m grid aralıklı olacak şekilde 13859 adet nokta oluşturulmuştur. 13859 adet noktanın tamamı DFHRS yazılımı aracılığıyla

5X5EIGEN04DB lokal jeoit modelinden kestirim yapılarak jeoit yüksekliği hesaplanmıştır. Hesaplanan jeoit yüksekliği verileri ArcGIS yazılımı kullanılarak Şekil 6.2 deki jeoit haritası elde edilmiştir. Çalışma sahası için üretilen Şekil 6.2 deki jeoit haritasındaki jeoit yükseklik değerleri maksimum 35.93 m ile minimum 35.51 m aralığında gerçekleşmiştir.



Şekil 6.2. 3. uygulama noktalarıyla üretilen 5X5EIGEN04DB lokal jeoit modelinden 500 m grid aralıklı noktalar kestirilerek elde edilen jeoit haritası.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uygulamadaki fiziksel anlamlı ortometrik yükseklikler ortalama deniz seviyesi baz alınarak belirlenir ve bu anlamda düşey datumu ifade eder. Ancak çok yüksek doğruluk beklenen veya istenen çalışmalarda bu düşey datum yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple çalışma sahasına özel jeoit belirleme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. DFHRS yaklaşımıyla lokal jeoit belirlemede hibrit bir yaklaşımla geometrik ve fiziksel gözlem bileşenleriyle yükseklik referans yüzeyinin yani jeoitin çok yüksek doğrulukta belirlenmesi mümkündür. DFHRS yazılımı veri tabanında geometrik gözlemler olarak GNSS/Nivelman verilerinden, fiziksel gözlemler olarak zenit kameralar tarafından gözlemlenerek elde edilen çekül sapması verilerinden, gravimetrelerle ölçümü gerçekleştirilen gravite verilerinden ve uydu misyonları tarafından elde edilen veriler doğrultusunda üretilen global jeopotansiyel modellerden söz edilebilir. Küresel harmonik katsayılarla ifade edilen global jeopotansiyel modeller, Dünya'nın gravite alanının belirlenmesinde kullanılır. Bu katsayılar uydu gradyometre, uydu izleme ve denizlerdeki uydu altimetre verilerinden elde edilmiştir. DFHRS veri tabanındaki EGM96, EGM2008, EIGEN04, EIGEN6C4 global jeopotansiyel modelleri örnek olarak gösterilmekle birlikte DFHRS veri tabanındaki çekül sapması verileri de bu tez çalışması kapsamında kullanılmış olup tez çalışma verileri içerisinde herhangi bir gravimetrik gözlem verisi bulunmamaktadır.

Tez çalışması kapsamında Konya ili şehir merkezini de kapsayan $37,6^0$ - $38,3^0$ kuzey enlemleri ile $32,2^0$ - $32,85^0$ doğu boylamları arasındaki yaklaşık 4384 km^2 ($77 \text{ km} \times 57 \text{ km}$) yüzölçümündeki saha çalışma sahası olarak belirlenmiştir. Çalışma sahasında yer alan TUTGA'ya ve TUDKA'ya bağlı C1, C2, C3 derece nirengi noktalarının GNSS/Nivelman verilerinden oluşan 1. uygulamada 98 adet dayanak ve 1126 adet test, 2. uygulamada 214 adet dayanak ve 1008 adet test, 3. uygulamada 554 adet dayanak ve 622 adet test noktası kullanılmıştır. DFHRS yaklaşımıyla lokal jeoit belirlemede çalışma sahası kuzey - güney ve doğu - batı olmak üzere dört ayrı parçaya ayrılmıştır. DFHRS yazılımının veri tabanındaki global jeopotansiyel modeller ile yazılıma yüklenen GNSS/Nivelman verileriyle (dayanak noktalarıyla) birleştirilerek 48 adet iyileştirilmiş lokal jeoit modeller elde edilmiştir. Çalışma sahası için DFHRS yaklaşımıyla belirlenen iyileştirilmiş lokal jeoit modellerden en iyi sonucu verecek lokal jeoit modelleri araştırılmıştır.

DFHRS yaklaşımıyla belirlenen iyileştirilmiş lokal jeoit modellerden hesaplanan jeoit yükseklikleriyle GNSS/Nivelman verilerinden hesaplanan jeoit yükseklikleri arasındaki farklar kullanılarak istatistiksel veriler oluşturulmuş ve aday lokal jeoit modelleri model seçim kriterlerine tabi tutularak karşılaştırmalar ve değerlendirmeler yapılmıştır. Lokal jeoit modeller arasında yapılan bu karşılaştırmalar ve değerlendirmeler ışığında elde edilen sonuçların genel olarak uygulamaların kendi aralarında birbirlerine oldukça yakın olduğu anlaşılmakla birlikte 2.uygulamanın 1. uygulama sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Modellere grid aralıkları açısından bakıldığında birbirlerine yakın olmakla birlikte 5x5 km grid aralığındaki modeller 2x2 km ve 10x10 km grid aralıklı modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği ve modellere DB-KG yönünde parçalı olarak bakıldığında ise DB yönündeki parçalı modellerin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 2.uygulamanın 1. uygulamaya göre daha iyi sonuçlar vermesinin nedeni dayanak nokta seçiminde çalışma sahasını 2. uygulama dayanak noktaların daha iyi temsil etmesidir. 5x5 km grid aralığındaki modellerin özellikle 2x2 km grid aralığındaki modellere göre daha iyi sonuç vermesinin nedeni çalışma sahasında jeoitin 5x5 km altındaki grid aralıklarında çok fazla değişiklik göstermediği şeklinde yorumlanabilir. DB yönünde parçalı modellerin KG yönünde parçalı modellere göre daha iyi sonuçlar vermesi ise Türkiye jeoit haritası (TG-20) incelendiğinde kütle değişimine paralel olarak jeoitin DB yönünde daha uyumlu değişim göstermesiyle açıklanabilir.

İstatistiksel verilerin ve model seçim kriterlerinin değerlendirilmesi sonucunda 48 adet model arasından $\pm 3,62$ cm KOH, $\pm 5,86$ cm MAPE, $0,8666 R^2_{adj}$, $0,9829 D$, $0,9179 C$, $-5,6021 AIC$ değerleriyle en iyi sonuçları veren 2. uygulama verilerinin kullanıldığı 5X5EIGEN04DB iyileştirilmiş lokal jeoit modeli olduğu ortaya çıkmıştır. Böylece DFHRS yaklaşımıyla elde edilen 5X5EIGEN04DB lokal jeoit modeli kullanılarak çalışma sahası içerisinde istenilen nokta ya da noktaların jeoit yüksekliği kestirilebilir duruma gelmiştir. Ancak uyuşumsuz noktaların hesaptan çıkartılarak ve dayanak nokta sayısının artırılarak doğruluğun daha da artırılabilceği düşüncesiyle bir 3. uygulama yapılmıştır. Bu 3. uygulama 554 dayanak 622 test noktasıyla 5X5EIGEN04DB modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 3. uygulamanın istatistiksel sonuçları $\pm 1,93$ cm KOH, $\pm 3,98$ cm MAPE, $0,9441 R^2_{adj}$, $0,9840 D$, $0,9565 C$, $-7,8768 AIC$ değerleri itibariyle düşünülen en iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

Literatürde jeoit belirlemeyle ilgili çok sayıda çalışmalar bulunmakta olup tezin çalışma sahası özelinde değerlendirildiğinde (Türen, 2010; Abbak, 2011; Demir, 2018; Olgun, 2023) DFHRS yaklaşımıyla gerçekleştirilen bu çalışmanın doğruluğunun daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun yanısıra DFHRS kapsamında tez çalışma sahasından bağımsız yurtiçi ve yurtdışı bazı araştırmaların (Jäger vd, 2012; Janpaul vd, 2013; Ghadi, 2013; Ameti vd, 2016; Morozova vd, 2018; Kahveci vd, 2019; Morozova, 2022) sonuçları karşılaştırıldığında ise tez çalışma sonucunun üzerinde ya da yakın doğrulukların elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışma sahası jeoitinin belirlenmesi amacıyla yönelik olarak Konya ili şehir merkezi ve çevresi için 3. uygulama dayanak noktaları ile elde edilen 5X5EIGEN04DB lokal jeoit modeli kullanılarak DFHRS yazılımı ile 500 m grid aralıklı 13859 noktanın kestirilmesi sonucu Şekil 6.2. de gösterilen jeoit haritası üretilmiştir.

Bu tez çalışması sonucunda elde edilen 5X5EIGEN04DB iyileştirilmiş lokal jeoit modeli kullanılarak Şekil 6.2 de gösterilen jeoit haritası, Konya ili şehir merkezi ve çevresi için jeoit yüksekliği verisinin ihtiyaç duyulduğu mühendislik, altyapı çalışmaları, coğrafi bilgi sistemleri ve planlama aşamasındaki çalışmalarda kullanılabilecek doğruluğu sağladığı değerlendirilmektedir. Ayrıca GNSS konumlandırma hizmetleri altyapısına katkıda bulunarak GNSS kullanıcılarının yararlanmasına imkân sağlanabileceği düşünülmektedir. DFHRS yaklaşımıyla jeoit belirlemenin ülke genelinde yapılabilirliği düşünüldüğünde; Türkiye topoğrafyasının karakteristiği de göz önüne alınarak dayanak nokta seçimi ve sıklığının yeterli sayıda olması, DFHRS ağ-parça tasarımının 5x5 km grid aralıklarından daha küçük aralıklarla ülke jeoitinin iyileştirilmesi noktasında daha iyi sonuçlar elde edilebileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbak, A., 2011. Global Yerpotansiyel Modellerinin Spektral Yöntemlerle Değerlendirilmesi Ve Jeoit Belirleme İçin Yerel Olarak İyileştirilmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Abbak, A., 2021. Fiziksel Jeodezi Teori Uygulama Kitabı. Atlas Akademi Yayınevi 4.Basım
- Akçalı, M., 2018. Jeoit Tespiti için Güncel Global Jeopotansiyel Modellerin GNSS/Nivelman Verileriyle Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Ameti, P. Jäger, R., 2016. DFHRS Yaklaşımı İle Seçilmiş Bir Alan Üzerinde Yükseklik Referans Yüzeylerinin Tanımı Üzerine, Araştırma Makalesi, Geodesy and Cartography, 2016, 42(4): 115–121
- Arslan, E. Yılmaz, M., 2005. Geoit Belirleme Yöntemleri, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara
- Aşık, E., 2013. Lokal Jeoit Belirlemede Yapay Sinir Ağları Ve Kriging Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Avşar, B., 2009. Global Jeopotansiyel Modeller İçin Yüksek Dereceli Legendre Fonksiyonlarının Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 237497
- Ayar, A., 2009. Non-Sibson Enterpolasyon Yöntemiyle Yerel Geoit Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 252436.
- Bolat, S., 2013. Lokal Jeoit Belirleme Yöntemleri Samsun İli Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 334905.
- Camargo, AP. Sentelhas, PC., 1997. Performance Evaluation of Different Potential Evapotranspiration Estimating Methods in the State of Sao Paulo, Brazil, Rev Brasileira Agrometeorol 5:89-97
- Cavanaugh, J. Neath, A., 2019. The Akaike Information Criterion: Background, Derivation, Properties, Application, Interpretation, and Refinements, WIREs Comput Stat. 2019;11:e1460.
- Çepni, M.S., Konak, H. ve Kurt, O., 2007. Sonlu Elemanlarla Modellenen Yerel Jeoitler Yardımıyla Yer Kabuğu Hareketlerindeki Düşey Bileşenlerin İrdelenmesi, International Earthquake Symposium, Ekim, Kocaeli, Bildiriler Kitabı, 257-264.
- Çiftçi, M., 2019. Lokal Jeoit Belirlemede Kullanılan Çeşitli Enterpolasyon Yöntemlerinin Farklı Alanlardaki Uygulamalarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Entitüsü, Konya, 570229.

- Demir, S. Abbak, A. İl. T., 2018. Global Yerpotansiyel Modellerin Gravimetrik Jeoit Belirlemeye Katkısı, Araştırma Makalesi, Geomatik Dergisi, DOI: 10.29128/geomatik.403776 2018; 3(3);213-224.
- Doğanalp, S. Selvi, HZ., 2015. Local Geoid Determination İn Strip Area Projects By Using Polynomials, Least-Squares Collocation And Radial Basis Functions, Measurement 73 (2015) 429–438.
- Doğdu, F. Abbak, A., vd., 2021. Kabuk Yoğunluğu Değişiminin Gravimetrik Jeoit Belirlemeye Etkisi, Araştırma Makalesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2021; 10(1); 202-208.
- Fidancı, Y., 2019. Yapay Sinir Ağları İle Yerel Jeoit Belirleme, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 549243.
- Förste, C, Schmidt. R, Stubenvoll. R, Flechtner. F, Meyer. U, König. R, Neumayer. H, Biancale. R, Lemoine. JM, Bruinsma. S, Loyer. S, Barthelmes. F, Esselborn. S, 2008. The GeoForschungsZentrum Potsdam / Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale Satellite-only and Combined Gravity Field Models: EIGEN-GL04S1 and EIGEN-GL04C. Journal of Geodesy, 82, 6, 331-346, DOI 10.1007/s00190-007-0183-8
- Ghadi, Y., 2013. Regional Gravity Field Modeling with Adjusted Spherical Cap Harmonics in an Integrated Approach, PhD, Darmstadt Technical University, Department of Civil and Environmental Engineering, November 2013.
- Gökçe, G., 2018. Türkiye İçin Güncel Global Jeopotansiyel Modellerin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 513967.
- Halıcıoğlu, K., 2015. Sayısal Zenit Kamera Sistemi ile Astro-jeodezik Çekül Sapmalarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jäger, R., 2012. Baltıc Qgeoid Computation as Height Component ofthe Geodetic Infrastructure for GNSS Positioning Services in the Baltıc States, Araştırma Makalesi, Letonya Fizik ve Teknik Dergisi, Ocak 2012.
- Janpaule, I. Jäger. R, Ghadi, Y. Kaminskis, J. Zariņš, A., 2013. Dfhrs-Based Computation Of Quasi-Geoid Of Latvia, Geodesy and Cartography, 2013, 39(1): 11–17.
- Kahveci, M. Tuşat.E, Yıldız. F, Sarı. F, Mikailsoy. F., 2019. Ankara-Yozgat Hattında Mühendislik ve CBS Amaçlı Yaklaşık-Jeoit Hesabı, Araştırma Makalesi, Geomatik Dergisi, 2019; 4(2); 92-100.
- Karcı, M., 2022. Bulanık Mantık Yöntemi İle Yerel Jeoit Belirleme: Şanlıurfa İli Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Şanlıurfa, 748726.
- Kartal, A., 2001. GPS ile Yükseklik Belirlemede İnterpolasyon Yöntemlerine Ait Bir Uygulama, Araştırma Makalesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 1.

- Kuru, B., 2018. Lokal Jeoit Jelirlemede Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 511103.
- Morozova, K. Jäger, R. Balodis, J. Zarins, A. Rubans A., 2017. Digital Zenith Camera's Results and Its Use in DFHRS v.4.3 Software for Quasi-geoid Determination, 978-1-5090-6040-5/17 \$31.00 © 2017 IEEE DOI 10.1109/BGC.Geomatics.2017.74
- Morozova, K. Jäger, R. Balodis, J. Kaminks. J., 2018. Ulaanbaatar Qgeoid Computation, Parameter Estimation And Optimization Concepts For Gravity Field Determination, Araştırma Makalesi, <https://www.researchgate.net/publication/328388415>.
- Morozova, K. Jäger, R. Zarins, A. Balodis, J. Varna, I. Silabriedis, G., 2021. Evaluation of quasi-geoid model based on astrogeodetic measurements: case of Latvia, J. Appl. Geodesy 2021; 15(4): 319–327
- Morozova, K., 2022. Parameter Estimation on Hybrid Zenith Camera and Gravimeter Data for Integrated Gravity Field and Geoid Determination based on Spherical-Cap-Harmonics Modelling, PhD, Riga Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Geomatics.
- Olgun, S. Abbak, A. İl. T., 2023. Gravimetrik Jeoit Belirlemede Topoğrafik Etkilerin Araştırılması Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, Kocaeli Ünivesitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 823517.
- Pandorfi, H. Sobrinho, AT. Oliveira, VS. Guiselini, C. Almeida, GLP. Oliveira, MEG. Melo, MVN. Silva, MV. 2023. Prediction of an Occupational Comfort Index for Agricultural Tractor Operation in Sugarcane Cultivation, Sugar Tech (May–June 2023) 25(3):630–637.
- Simav, M. Akpınar, İ. Akdoğan, YA. Yıldız, H., 2021. Türkiye’de Güncel Yersel Gravimetri Çalışmaları, Araştırma Makalesi, Harita Dergisi, Temmuz 2021; 166: 10-24.
- Şişman, Y. Elevli, B., 2018. En Küçük Kareler Kollokasyon ve Kriging Yöntemleri ile Lokal Jeoid Belirleme, Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 8(2), 106-118, 2018. DOI: 10.31466/kfbd.447658
- Turgut, B., İnal, C., Yiğit, C Ö., 2002. EGM96 Jeopotansiyel Modeli,TG99 Türkiye Jeoidi Ve Gps/Nivelman İle Elde Edilen Jeoit Ondülasyonlarının Karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu,16-18 Ekim 2002, Konya
- Tuşat, E. Mikailsoy, F., 2018. An Investigation of the Criteria Used to Select The Polynomial Models Employed In Local GNSS/leveling Geoid Determination Studies, Arabian Journal of Geosciences, 11:801, Aralık, 2018
- Türen, Y., 2010. Astrojeodezik Nivelman ile Yerel Jeoit Belirleme: Konya Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 251415.

- Ucal, M., 2006. Ekonometrik Model Seçim Kriterleri Üzerine Kısa Bir İnceleme, C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 7, Sayı 2, 2006
- Willmott, CJ., 1981. On the Validation of Models. Physical Geography, 2: 184–194, 1981.
- Yılmaz, N., 2011. Türkiye İçin Farklı Yöntem Ve Verilerle Belirlenen Jeoidlerin Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 275494.
- Yılmaz, M., Turgut, B., Güllü, M., Yılmaz, G. 2017: The Evaluation of High-Degree Geopotential Models for Regional Geoid Determination in Turkey, Akü Femübid 17 (2017) 015501 (147-153).
- Yiğit, C.Ö., 2003. Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliklere Dönüşümünde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 134151.
- Yurt, K., 2006. Geometrik ve Gravimetrik Metotlarla Lokal jeoit Belirleme ve Modelleme: Trabzon ili Örneği, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 182957.

İNTERNET KAYNAKLARI

- URL-1: International Centre for Global Earth Models (ICGEM), Web Adresi: <http://icgem.gfz-potsdam.de/home>, [Erişim Tarihi: 10.01.2024].