



ICESat-2/ATLAS, Havasal LİDAR ve GNSS Verileri ile Lokal Geoit Yükseklik Hesaplamaları: Bergama Örneği

Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ali İhsan Daloğlu

ORCID 0000-0002-3274-0156

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Müge Ağca

Temmuz 2022

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Ali İhsan Daloğlu** tarafından hazırlanan **ICESat-2/ATLAS, Havasal LİDAR ve GNSS Verileri ile Lokal Geoit Yükseklik Hesaplamaları: Bergama Örneği** başlıklı bu çalışma tarafımızca okunmuş olup, yapılan savunma sınavı sonucunda kapsam ve nitelik açısından başarılı bulunarak jürimiz tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

ONAYLAYANLAR:

Tez Danışmanı: **Dr. Öğr. Müge Ağca**
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Zeynel Abidin Polat
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Müge Ağca
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Elif Özge Özdamar
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Savunma Tarihi: 20.07.2022

Yazarlık Beyanı

Ben, **Ali İhsan Daloğlu**, başlığı **ICESat-2/ATLAS, Havasal LİDAR ve GNSS Verileri ile Lokal Geoit Yükseklik Hesaplamaları: Bergama Örneği** olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim. Ayrıca:

- Bu çalışmanın bütünü veya esası bu üniversitede Yüksek Lisans derecesi elde etmek üzere çalıştığım süre içinde gerçekleştirilmiştir.
- Daha önce bu tezin herhangi bir kısmı başka bir derece veya yeterlik almak üzere bu üniversiteye veya başka bir kuruma sunulduysa bu açık biçimde ifade edilmiştir.
- Başkalarının yayımlanmış çalışmalarına başvurduğum durumlarda bu çalışmalara açık biçimde atıfta bulundum.
- Başkalarının çalışmalarından alıntıladığımda kaynağı her zaman belirttim. Tezin bu alıntılar dışında kalan kısmı tümüyle benim kendi çalışmamdır.
- Kayda değer yardım aldığım bütün kaynaklara teşekkür ettim.
- Tezde başkalarıyla birlikte gerçekleştirilen çalışmalar varsa onların katkısını ve kendi yaptıklarımı tam olarak açıkladım.

Tarih: 20.06.2022

ICESat-2/ATLAS, Havasal LİDAR ve GNSS Verileri ile Lokal Geoit Yükseklik Hesaplamaları: Bergama Örneği

ÖZ

Dünya üzerinde buz tabakalarından denizlere, denizlerden ormanlara kadar hemen hemen tüm yüzeylerde fiziksel değişimler yaşanmaktadır. Bilim insanları bu değişimlerin izlenebilmesi için anlık ve belirli aralıklarla düzenli olarak veri toplayabilen ICESat-2/ATLAS sistemini geliştirmiştir. Bu sistemler tarafından toplanan yatay konum bilgileri (X, Y) uygulamalarda direkt olarak kullanılabilirken düşey konum bilgisi (h) çalışma alanının gerçek durumunu yansıtmadığı için direkt olarak kullanılamamaktadır. Bu nedenle elipsoidal yüksekliklerin (h), çalışma alanının gerçek durumunu yansıtan ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın genel amacı ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerinden elde edilen zemin noktalarına ait geoit ve ortometrik yüksekliklerin TG20 veri seti ve lokal GPS nivelman noktaları yardımıyla hesaplanmasıdır. Alt amaçlar ise; (a) Çalışmada referans olarak kullanılan TG20 veri seti ve lokal GPS nivelman noktalarının çalışma alanını temsil etme doğruluğunun araştırılması, (b) ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerinden elde edilen zemin noktalarına ait ortometrik yükseklik değerleri arasındaki ilişkilerin incelenmesidir. Geoit yüksekliklerinin hesaplanmasında ilk veri seti olarak 12 adet lokal C1-C3 derece GPS nivelman noktası kullanılmıştır. İkinci referans veri seti olarak 5'× 5' çözünürlüğündeki yeni Türkiye Geoit Modeli 2020 (TG20) grid verisi kullanılmıştır. Son veri seti olarak ise TG20 geoit verilerinin, lokal GPS nivelman noktaları yardımıyla enterpolasyon yöntemleri kullanılarak iyileştirilmesiyle elde edilen veriler kullanılmıştır.

Çalışmada geoit yüksekliklerinin hesaplanabilmesi için Çakar tarafından windows tabanlı olarak C sharp programlama dilinde geliştirilen Lokal Geoit 1.0 programı ve çeşitli enterpolasyon (ağırlıklı aritmetik ortalama, kriging, multiküadratik, polinom) yöntemleri kullanılmıştır. Enterpolasyon hesaplarından elde edilen sonuçlara bakıldığı zaman üçüncü veri setinde polinom enterpolasyon yöntemiyle yapılan iyileştirme ($M_0 = 0.00$ cm) sonuçlarının daha iyi olduğu görülmüştür. Daha sonra belirlenen geoit yükseklikleri kullanılarak karşılaştırması yapılacak olan ortometrik yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Bu sistemler arasındaki karşılaştırmada kök ortalama kare hata (RMSE), ortalama kare hata (MSE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama hata (ME) ve determinasyon veya belirlilik katsayısı (R^2) gibi çeşitli analiz yöntemleri kullanılmıştır. Havasal LİDAR-ICESat-2 arasındaki ilişkinin (RMSE = 2.003 cm, MSE = 4.013 cm, MAE = 1.748 cm, ME = 0.004 cm), GNSS/CORS-ICESat-2/ATLAS arasındaki ilişki (RMSE = 3.091 cm, MSE = 9.558 cm, MAE = 2.723 cm, ME = 1.401, $R^2=1.00$) daha iyi olduğu görülmüştür. Sonucunda ise; ICESat-2/ATLAS sisteminden elde edilen ortometrik yükseklik değerlerinin, GNSS/CORS ve havadan LİDAR sistemleriyle benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: ICESat-2/ATLAS, LİDAR, CORS, geoit, ortometrik yükseklik

Local Geoid Height Calculations with ICESat-2/ATLAS, Airborne LIDAR and GNSS Data: The Case of Bergama

Abstract

Physical changes occur on almost all surfaces on Earth, from ice sheets to seas, from seas to forests. In order to monitor these changes, scientists have developed the ICESat-2/ATLAS system, which can collect data instantly and regularly at certain intervals. While the horizontal position information (X, Y) collected by these systems can be used directly in the applications, the vertical position information (h) cannot be used directly because it does not reflect the actual state of the work area. For this reason, ellipsoidal heights (h) need to be converted to orthometric heights that reflect the actual state of the study area. The general purpose of this study is to calculate geoid heights of ground points obtained from ICESat-2/ATLAS, aerial LIDAR and GNSS/CORS systems with the help of TG20 data set and local GPS leveling points. Sub-objectives; (a) Investigating the accuracy of representing the working area of the TG20 data set and local GPS leveling points used as a reference in the study, (b) Examining the relationships between orthometric height values of ground points obtained from ICESat-2/ATLAS, aerial LIDAR and GNSS/CORS systems. In the calculation of geoid heights, 12 local C1-C3 degree GPS leveling points were used as the first data set. The new Turkey Geoid Model 2020 (TG20) grid data with a resolution of 5'×5' was used as the second reference data set. As the last data set, the data obtained by improving the TG20 geoid data by using interpolation methods with the help of local GPS leveling points were used.

In order to calculate geoid heights, Local Geoid 1.0 program developed by Çakar in windows-based C sharp programming language and various interpolation (weighted arithmetic mean, kriging, multiquadratic, polynomial) methods were used in the study. When the results obtained from the interpolation calculations are examined, it is seen that the improvement ($M_0 = 0.00$ cm) results made by the polynomial interpolation method in the third data set are better. Then, using the determined geoid heights, the orthometric height values to be compared were calculated. In the comparison between these systems, various analysis methods such as root mean square error (RMSE), mean square error (MSE), mean absolute error (MAE), mean error (ME) and coefficient of determination or certainty (R^2) were used. The relationship between airborne LIDAR-ICESat-2 (RMSE = 2.003 cm, MSE = 4.013 cm, MAE = 1.748 cm, ME = 0.004 cm) than the relationship between GNSS/CORS-ICESat-2/ATLAS (RMSE = 3.091 cm, MSE = 9.558) cm, MAE = 2.723 cm, ME = 1.401, $R^2=1.00$) were found to be better. As a result; It has been observed that the orthometric height values obtained from the ICESat-2/ATLAS system give similar results with the GNSS/CORS and airborne LIDAR systems.

Keywords: ICESat-2/ATLAS, LIDAR, CORS, geoid, orthometric height

*Bu tez çalışması rahmetli dedem, ustam ve rehberim Ali İhsan Kaymakcioğlu'na
ithafen yazılmıştır.*

Teşekkür

Yüksek Lisans eğitimine adım attığım ilk günden itibaren gerek ders seçimlerimde gerekse bilimsel çalışmalarında tüm bilgi birikimi ve hoşgörüsüyle daima yanımda olan ve hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Müge Ağca'ya, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimi almama olanak sağlayan ve emekleri geçen değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitimim süresince saha çalışmalarında ihtiyacım olan tüm ekipmanları eksiksiz olarak sağlayan ve sunan değerli hocalarım Prof. Dr. Mevlüt Yetkin ve Öğr. Gör. Ömer Bilginer'e, gerek proje ödevlerinde gerekse yüksek lisans eğitim sürecinde desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli arkadaşlarım ve meslektaşlarım Harita Mühendisi Arzu Ece Atila ve Harita Mühendisi Esra Cesur'a teşekkür ederim. Tez çalışmam süresince ihtiyaç duyduğum tüm teknik bilgilerin edinilmesi ve gerekli adımların atılmasında desteklerini esirgemeyen Harita Yüksek Mühendisi Murat Çakar'a, yüksek lisans eğitimim için üniversiteye her gidişimde beni güler yüzüyle karşılayan ve motive eden Harita Teknikeri Fatma Şeyda Okur'a teşekkür ederim. Ayrıca maddi ve manevi her türlü desteği veren ve bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan babam Mehmet Daloğlu'na, annem Mukaddes Daloğlu'na, ağabim Ömer Hakan Daloğlu'na ve rahmetli dedem Ali İhsan Kaymakcıoğlu'na sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

İçindekiler

Yazarlık Beyanı	ii
Öz	iii
Abstract	v
İthaf	vii
Teşekkür	viii
Şekiller Listesi.....	xii
Tablolar Listesi.....	xiv
Kısaltmalar Listesi	xv
Semboller Listesi.....	xvii
1 Giriş	1
2 Yükseklik Kavramı ve Yükseklik Sistemleri	6
2.1 Yükseklik	6
2.2 Yükseklik Sistemleri.....	6
2.2.1 Jeopotansiyel Yükseklik	7
2.2.2 Dinamik Yükseklik (H^D)	9
2.2.3 Ortometrik Yükseklik (H)	10
2.2.4 Normal Yükseklik (H^N)	11
2.2.5 Geoit (N) ve Elipsoidal Yükseklik (h).....	13
3 Geoit Hesaplama Yöntemleri	18
3.1 Global Geoit Hesaplama Modelleri	19
3.2 Bölgesel Geoit Hesaplama Modelleri	19
3.2.1 Gravimetrik Yöntemler ile Geoit Yüksekliği Hesaplama	20

3.2.2	Astrojeodezik Yöntemler ile Geoit Yüksekliği Hesaplama	21
3.2.3	GPS-GNSS/Nivelman Yöntemi ile Geoit Yüksekliği Hesaplama ...	23
4	Geoit Yüksekliği Belirleme Yöntemleri.....	24
4.1	Ağırlıklı Aritmetik Ortalama ile Enterpolasyon Yöntemi	25
4.2	Polinom Enterpolasyon Yöntemi.....	26
4.3	Kriging Enterpolasyon Yöntemi.....	29
4.3.1	Ordinary ve Universal Kriging Enterpolasyon Yöntemi.....	30
4.4	Multiküadratik Enterpolasyon Yöntemi	35
5	Çalışmada Kullanılan Sistemler.....	37
5.1	Fotogrametrik Sistemler.....	37
5.1.1	Uzaysal Tabanlı LİDAR Sistemi (ICESat-2/ATLAS)	37
5.1.2	Havasal LİDAR Sistemi (Airborne LİDAR).....	41
5.2	Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS/GNSS).....	44
5.2.1	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı (TUSAGA-Aktif / CORS-TR).....	46
5.2.2	Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı (TUDKA)	51
5.2.3	Türkiye Ulusal Geoit Modeli 2020 (TG20).....	54
6	Uygulama	56
6.1	Çalışmanın Amacı.....	56
6.2	Çalışma Alanı.....	56
6.3	Materyal ve Metot.....	57
6.3.1	Havasal LİDAR Verileri ve Verilerin İşlenmesi	58
6.3.2	ICESat-2/ATLAS Verileri ve Verilerin İşlenmesi	60
6.3.3	GNSS/CORS Verileri ve Verilerin İşlenmesi	65
6.3.4	C1-C3 Derece Nivelman Noktaları ve Türkiye Geoit Modeli 2020 ile Bilinmeyen Noktaların Geoit ve Ortometrik Yüksekliklerinin Enterpolasyon Yöntemleri Kullanılarak Hesaplanması	67
6.3.4.1	Ağırlıklı Aritmetik Ortalama ile Enterpolasyon Yöntemi Kullanılarak Geoit Yüksekliklerin Hesaplanması	69

6.3.4.2	Kriging Enterpolasyon Yöntemi Kullanılarak Geoit Yüksekliklerin Hesaplanması.....	71
6.3.4.3	Multikuadratik Enterpolasyon Yöntemi Kullanılarak Geoit Yüksekliklerin Hesaplanması.....	72
6.3.4.4	Polinom Enterpolasyon Yöntemi Kullanılarak Geoit Yüksekliklerin Hesaplanması.....	73
6.3.5	Yükseklik Hesaplarının Doğruluk Analizi	75
6.4	Analiz ve Bulgular	77
6.4.1	GNSS/CORS – ICESat-2/ATLAS Doğruluk Analizi	79
6.4.2	Havasal LİDAR – ICESat-2/ATLAS Doğruluk Analizi	81
6.4.3	GNSS/CORS – Havasal LİDAR Doğruluk Analizi	82
7	Sonuç.....	86
	Kaynaklar	90
	Ekler	99
Ek A	ICESat-2/ATLAS – Havasal LİDAR – GNSS/CORS Sistemleri ile Toplanan Noktaların Yatay ve Düşey Koordinat Bilgileri.....	100
Ek B	Enterpolasyon Yöntemleri ile Hesaplanan Geoit Yükseklik Bilgileri ve Uyuşum Test Sonuçları	104
Ek C	C1-C3 Derece GPS Nivelman Noktaları ve Enterpolasyon Yöntemleri Kullanılarak İyileştirilmiş Türkiye Geoit Modeli 2020’den Alınan Sonuçlar	121
Ek D	Tezden Üretilmiş Yayınlar	130
	Özgeçmiş	131

Şekiller Listesi

Şekil 2.1	Jeopotansiyel yükseklik.....	8
Şekil 2.2	Ortometrik yükseklik.....	10
Şekil 2.3	Normal yükseklik	12
Şekil 2.4	Dönel elipsoit	14
Şekil 2.5	Ortalama dünya elipsoidi	16
Şekil 2.6	Geoit ve elipsoidal yükseklik	17
Şekil 3.1	Astrojeodezik çekül sapması.....	21
Şekil 3.2	Geoit 'deki diferansiyel değişim	22
Şekil 5.1	ICESat / GLAS sisteminin dünya yörüngesindeki hareketi	38
Şekil 5.2	ICESat-2 /ATLAS sisteminin dünya yörüngesindeki hareketi	39
Şekil 5.3	ATLAS cihazı ileri yönlendirme (+X).....	39
Şekil 5.4	ATLAS cihazı geri yönlendirme (-X)	40
Şekil 5.5	Havasal LİDAR sistemi	42
Şekil 5.6	Drone platformu altına monte edilmiş LİDAR sistemi.....	43
Şekil 5.7	LİDAR sistemleri a) Yersel lazer tarama sistemi b) Mobil lazer tarama sistemi.....	43
Şekil 5.8	GPS sistemi a) GPS uyduları b) GPS sistemi bileşenleri.....	45
Şekil 5.9	TUSAGA-Aktif istasyonları	46
Şekil 5.10	TUSAGA-Aktif genel merkez odası	47
Şekil 5.11	TUSAGA-Aktif istasyonları a) Beton yer pilyesi b) Çelik pilye	48
Şekil 5.12	TUSAGA-Aktif sisteminin çalışma prensibi	48
Şekil 5.13	FKP düzeltme tekniği.....	49
Şekil 5.14	VRS düzeltme tekniği	50
Şekil 5.15	MAC düzeltme tekniği	51
Şekil 5.16	Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99).....	52

Şekil 6.1	Çalışma alanı	57
Şekil 6.2	Havasal LİDAR topoğrafik verileri a) Filtrelemesi yapılmamış b) Filtrelemesi yapılmış	59
Şekil 6.3	Sayısal arazi modeli	60
Şekil 6.4	ICESat-2/ATLAS'ın ATL03 veri seti içerisindeki fotonlar a) Güçlü (Gt-2R) fotonlar b) Zayıf (Gt-2L) fotonlar	62
Şekil 6.5	ICESat-2/ATLAS'ın ATL08 veri seti içerisindeki fotonlar a) Güçlü (Gt-2R) fotonlar b) Zayıf (Gt-2L) fotonlar	63
Şekil 6.6	Çakıştırılmış topoğrafik veriler	65
Şekil 6.7	Türkiye Geoidi 2020 (TG20) (5'× 5' çözünürlüğünde)	68
Şekil 6.8	Lokal Geoit 1.0 programına eklenen referans noktaları.....	73
Şekil 6.9	Lokal Geoit 1.0 programında referans noktaları ve bilinmeyen enterpolasyon noktaları	74
Şekil 6.10	Lokal Geoit 1.0 programında enterpolasyon yöntemi ve katsayı tanımlama	74
Şekil 6.11	Güçlü ışın hattındaki yükseklik farkları	78
Şekil 6.12	Zayıf ışın hattındaki yükseklik farkları	78
Şekil 6.13	GNSS/CORS – ICESat-2/ATLAS noktasal analiz a) Güçlü fotonlar b) Zayıf fotonlar.....	80
Şekil 6.14	Havasal LİDAR – ICESat-2/ATLAS noktasal analiz a) Güçlü fotonlar b) Zayıf fotonlar.....	82
Şekil 6.15	Havasal LİDAR – GNSS/CORS noktasal analiz a) Güçlü fotonlar b) Zayıf fotonlar	83

Tablolar Listesi

Tablo 2.1	Bilimsel ve pratik yükseklik sistemleri	7
Tablo 2.2	Referans elipsoidlerinin yarı eksen ve basıklık değerleri	15
Tablo 3.1	Hesap elipsoidi ve gerçek gravite alanı.....	18
Tablo 5.1	ICESat-2 / ATLAS veri listesi	40
Tablo 6.1	LİDAR sistemi teknik zellikleri	58
Tablo 6.2	TOPCON GR-3 teknik zellikleri.....	66
Tablo 6.3	Dayanak noktalarına ait yatay ve dūşey koordinat bilgileri.....	68
Tablo 6.4	Enterpolasyon yöntemlerinin KOH değerleri	75
Tablo 6.5	İyileştirme işleminin öncesi ve sonrası KOH değerleri.....	76

Kısaltmalar Listesi

ATLAS	Gelişmiş Topografik Lazer Altimetre Sistemi (Advanced Topographic Laser Altimeter System)
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BLUE	Best Linear Unbiased Estimator
BÖHHBÜY	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
CMR+	Compact Measurement Record
CORS	Sürekli Çalışan Referans İstasyonları (Continuously Operating Reference Stations)
DEM	Digital Elevation Model – Sayısal Yükseklik Modeli
DGPS	Diferansiyel Küresel Konum Belirleme Sistemi (Differential Global Positioning System)
DRAGANN	Differential Regressive and Gaussian Adaptive Nearest Neighbor
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EGM96	Yer Jeopotansiyel Modeli 1996 (Earth Gravitational Model 1996)
EGM2008	Yer Jeopotansiyel Modeli 2008 (Earth Gravitational Model 2008)
EKKK	En Küçük Karelerle Kollokasyon
EUREF	Avrupa Bölgesel Referans Sistemi (Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe)
FKP	Flachen Korrektur Parameter
GLAS	Yer Bilimi Lazer Altimetre Sistemi (Geoscience Laser Altimeter System)
GNSS	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System)
GPS	Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
GPRS	Genel Paket Radyo Sistemi (General Packet Radio Service)
GRS80	Jeodezi Referans Sistemi (Geodetic Reference System-1980)
GSM	Mobil İletişim için Küresel Sistem (Global System for Mobile)

HGK	Harita Genel Komutanlığı
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
IAG	Uluslararası Jeodezi Birliği (International Association of Geodesy)
ICESat	Buz, Bulut ve Arazi Yükseklik Uydusu (Ice, Cloud and Land Elevation Satellite)
IMU	İnersiyal Ölçme Ünitesi (Inertial Measurement Unit)
ITRF96	1996 yılında güncellenmiş Uluslararası Yersel Referans Ağı (International Terrestrial Reference Frame 1996)
IGSN71	International Gravity Standardization Net 1971
KKTC	Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
LİDAR	Light Detection and Ranging
MAC	Master Auxiliary Concept
MAE	Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)
ME	Ortalama Hata (Mean Error)
MSE	Ortalama Kare Hata (Mean Squared Error)
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration)
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OSU91-A	Ohio State University Global Geoid Model 91 A
RMSE	Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error)
RTK	Gerçek Zamanlı Kinematik (Real Time Kinematic)
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı
TUDKA	Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
VRS	Virtual Reference Stations
WGS84	World Geodetic System 1984

Semboller Listesi

φ, λ	Coğrafik enlem ve boylam değeri
θ	Çekül sapması
ω	Yerin açısal dönme hızı [rad/s]
ζ	Yükseklik anomalisi (kuazigeoit)
$\bar{g}, \bar{\gamma}$	Ortalama gravite (ağırlık)
γ_{ij}	Yarı variogram değeri
γ	Referans noktalarına ait variogram değeri
σ_K^2	Kriging varyansı
σ_V	Ölçü farklarına ait standart sapma değeri
λ	Kriging sistemine ait Lagrange çarpanı
ξ, η	(Kuzey-Güney) ve (Doğu-Batı) yönündeki çekül sapması
Φ, Λ	Doğal koordinatlar değerleri
Δg	Ağırlık anomalisi
$S(\psi)$	Stokes fonksiyonu
a, b	Elipsoidin büyük ve küçük yarı eksenleri
C	Jeopotansiyel yükseklik sayısı [kgal·metre]
dh	İki nokta arasındaki düşey mesafe
dW	İki nivo yüzeyi arasındaki potansiyel fark
e	Dış merkezlik (eksantrisite)
f	Elipsoide ait basıklık değeri
$F_{1,f,1,1-\alpha 0}$	Dağılım tablosundan (F dağılımı) bakılması gereken değer
G, g	Ortalama gravite

h	Elipsoidal yükseklik
H	Ortometrik yükseklik
H^D	Dinamik yükseklik
H^N	Normal yükseklik
k	Newton çekim sabiti
M	Yerin kitlesi
N	Geoit yüksekliği (ondülasyonu)
T	Dolaylı bozucu potansiyel
U	Normal ağırlık (gravite) potansiyeli
W_0	Geoidin potansiyeli
W	Kriging ağırlık vektörü

Bölüm 1

Giriş

Geçmişten günümüze kadar fiziksel yeryüzü üzerinde, doğal veya yapay olarak adlandırabileceğimiz birçok fiziksel değişim yaşanmıştır. Meydana gelen değişimlerin izlenebilmesi ve analiz edilebilmesi için gerekli olan en önemli şeylerden biri topoğrafik verilerdir. Topoğrafik verilerin toplanmasında klasik yersel ölçüm yöntemleri, uydu sistemleri ve fotogrametrik yöntemler kullanılmaktadır [1]. GNSS sistemleri topoğrafik verilerin elde edilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Günümüzde mühendislik alanlarını ilgilendiren uygulamalarda hızlı elde edilebilen, yüksek doğruluğa sahip ve gerçek zamanlı konum bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla nokta konumlarını gerçek zamanlı olarak belirleyen Klasik RTK (Real Time Kinematic) ve Ağ-RTK yöntemleri geliştirilmiştir [1-3].

Klasik RTK yöntemi, Ağ RTK yöntemiyle kıyaslandığında bir takım dezavantajlara sahiptir. Bunlardan en bilineni ise Klasik RTK yönteminde ölçümler yalnızca bir referans istasyonuna bağlı olarak gerçekleştirilmekte ve istasyonla gezici arasındaki mesafenin Ağ RTK yöntemine göre kısıtlı olmasıdır. Ağ RTK yönteminde ise saha çalışmalarında yapılan ölçümlerde çok sayıda referans istasyonundan saha ile ilgili verilerden yararlanılmasına ve birbirini tekrar eden ölçümlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlanmaktadır. Günümüzde saha çalışmalarının büyük bir çoğunluğunda Ağ RTK (CORS - Continuously Operating Reference Stations) yöntemi GPS/GNSS teknolojisi ile birlikte kullanılmakta ve topoğrafya ile ilgili konum verilerine hızlı, kolay ve yüksek doğrulukta ulaşmamızı sağlamaktadır [1,3,4]. Saha çalışmalarında kullanılan GNSS teknolojisi hızlı, kolay ve yüksek doğruluğa sahip veriler sağlamasına rağmen bu verilerin tamamı uygulamalarda direkt olarak kullanılamamaktadır. Bunun nedeni GNSS/CORS teknolojisi yardımıyla elde edilen veriler yatay koordinatlar (X,Y), elipsoidal yükseklikler (h) ve zaman (t) oluşmaktadır.

Bu veriler içerisinde yatay koordinatlar ve zaman direkt olarak kullanılmasına rağmen elipsoidal yüksekliklerin fiziksel bir anlama sahip olmadığı için direkt olarak kullanılamamaktadır [5]. Bu sebeple elipsoidal yükseklik değerlerinin bir takım işlemlerden geçirilerek saha çalışmalarında fiziksel bir karşılığı olan ortometrik yüksekliklerin hesaplanması gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için ortalama deniz seviyesi ile kullanılan referans elipsoidi arasındaki yüksekliğin yani geoidin hesaplanması gerekmektedir [4,5].

Uydu teknolojileri ve yersel ölçüm teknikleri ile geoid yükseklikleri hesaplanabilmektedir [5-13]. Geoid yüksekliklerinin hesaplanması ile ilgili literatürdeki çalışmalara bakıldığında; Li ve Shen [6] Çin ve yakın bölgelerinde EGM2008 ve DEM kullanarak bölgesel geoid belirleme çalışmaları yapmışlardır. Pavlis ve diğ. [7] dünya yer çekimi modeli olan EGM 2008'in geliştirilmesi ve değerlendirilmesiyle alakalı çalışmışlardır. Chen ve diğ. [8] Çin'deki bazı il ve şehirlerde jeoid modelinin yüksek hassasiyet ve çözünürlükte incelemişler ve modelin uygulanmasına yönelik çalışmalarda bulunmuşlardır. Chen ve diğ. [9] yüksek çözünürlüğü ve doğruluğa sahip yeni bir Çin geoidinin oluşturulmasına yönelik çalışmalar yapmışlardır. Tuşat [10] GPS/GNSS teknolojisi ve geometrik nivelman ölçümleri yardımıyla çalışma alanına ait geoid profillerini oluşturmuşlardır. Manisa ve diğ. [11] GNSS teknolojileri yardımıyla elde edilen elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklerin doğruluğunu değerlendirmek için yeni bir geoid modelin geliştirilmesine yönelik araştırmalar yapmışlardır. Taktak ve Güllü [14] çalışma sahalarına tesis ettikleri 18 noktanın geoid yüksekliklerinin hesaplanması için 18 noktada gerçekleştirilen GPS ve nivelman ölçümleri yardımıyla lokal geoid yüksekliklerini hesaplamışlardır. GNSS teknolojisiyle elde edilen elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere geçiş yapılabilmesi için geoid yüksekliklerinin belirlenmesinde astrojeodezik, gravimetrik [15,16] ve GPS - GNSS / Nivelman gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanı ise bölgesel yöntemler içerisindeki GPS - GNSS / Nivelman yöntemidir. Bu yöntemin tercih edilmesinin en büyük nedeni yeryüzüne ait bilgilerin hızlı, kolay ve yüksek doğruluklu elde edilmesidir. GPS-GNSS/Nivelman yöntemi ile geoid yüksekliklerinin hesaplanması için çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır.

Literatürde GPS-GNSS/Nivelman yöntemi ile belirlenen elipsoidal yükseklikler ve ortometrik yüksekliklerden çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılarak bilinmeyen noktalara ait geoit yükseklikleri hesaplanmıştır [5,17,18]. Çakar [5] C sharp programlama dili yardımıyla windows tabanlı lokal geoit hesaplama programı geliştirmiş ve programın enterpolasyon yöntemlerini (polinom, ağırlıklı aritmetik ortalama, multiküadratik ve kriging enterpolasyonu) hesaplama performansı test edilmiştir. Yiğit [12] elipsoit yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere geçişte geoit yüksekliklerinin hesaplanmasında kullanılan enterpolasyon yöntemlerini (polinom, ağırlıklı aritmetik ortalama, multiküadratik, kriging enterpolasyonu ve en küçük karelerle kollokasyon) karşılaştırmıştır. Yurt [16] Lokal geoidin saptanması ve bu geoide ait yüzey modelinin oluşturulması için çeşitli enterpolasyon yöntemleri uygulamışlardır. Akiz ve Yerci [17] elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklerin hesaplanmasına yönelik kullanılan yöntemleri ve bu yöntemlere ilişkin elde edilen sonuçların doğruluklarını araştırmıştır. Akiz [18] çalışmasında Türkiye geoidi (TG03) ve GPS/nivelman ölçüleri ve bu iki verinin birleştirilmesiyle elde edilen veri yardımıyla ortometrik yükseklikler için gerekli geoidi hesaplamıştır. Yılmaz [19] çalışmasında geçmişten günümüze kadar kullanılan lokal ve global geoit modellerine ait yükseklik değerlerini çeşitli enterpolasyonlar yardımıyla hesaplamış ve elde edilen değerlerin karşılaştırmasını yapmıştır.

Günümüz teknolojisindeki gelişmelerle birlikte Havasal LİDAR sistemleri ortaya çıkmış ve pratik uygulamalarda aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca bu sistemlerden elde edilen verilerin bilimsel çalışmalara olan katkısı kendini kanıtlamış durumdadır. Havasal LİDAR sistemleri ile yeryüzüne ait bilgiler daha hızlı, tekrarlanabilir, güncel ve yüksek doğruluklu olarak elde edilebilmektedir [20,21]. Ayrıca, LİDAR sistemlerinden elde edilen haritaların hassasiyetinin, yersel ölçme yöntemlerinden elde edilen haritaların hassasiyetine çok yakın olduğu bilinmektedir. Havasal LİDAR sistemleri denizlerden ormanlara, ormanlardan kentsel alanlara kadar pek çok alanda kullanılmıştır. Ayrıca bu sistemler elipsoit, geoit ve ortometrik yüksekliklerin elde edilmesinde doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmıştır [22-28]. Varbla ve diğ. [22] havasal LİDAR sistemlerinden elde edilen veriler yardımıyla deniz geoit ve yüzey dalgalarının özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışma yapmıştır.

Kuak ve diğ. [23] havasal LİDAR sistemleri ve insansız hava araçları yardımıyla üretilen sayısal arazi modelleri yardımıyla geoid modellerini değerlendirmişlerdir. Hwang ve diğ. [24] adalar arasındaki veri bağlantıları ve havasal LİDAR verileriyle Tayvan'ın gravimetrik ve hibrit geoid modellerinin yükseklik modernizasyonunun araştırmışlardır. Forsberg ve diğ. [25] havasal LİDAR sistemlerinden elde edilen veriler yardımıyla Nepal geoidini araştırmışlardır. Won-Choon ve diğ. [27] havasal LİDAR verilerinden elde edilen elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliğe dönüştürülmesi için hassas geoid modelini kullanmışlardır.

ICESat-2 uydusu ile birlikte NASA tarafından geliştirilerek 15 Eylül 2018'de yörüngeye fırlatılan ATLAS, dünya üzerinde yoğun bir gözlem ağına ve çoklu foton sayma teknolojisine sahip ilk uzaysal tabanlı LİDAR cihazıdır [29]. ICESat-2/ATLAS sistemi dağ buzulu ve buz tabakalarındaki yükseklik değişimlerinin izlenmesi, arazi ve bitki örtüsü yükseklikleri, deniz yüzeyi yükseklikleri ve bulut katmanları hakkında bilgi sağlamaktadır. ICESat-2/ATLAS sisteminden elde edilen veriler, ormanlık alanlarda [29-32], göllerde [33], denizlerde [34,35], volkanik faaliyetlerin incelenmesi [36] ve zemin tespiti [37] gibi çeşitli çalışma alanlarında kullanılmıştır.

Xing ve diğ. [37] çalışmalarında ICESat-2/ATLAS sisteminin ormanlık arazideki zemin topoğrafyasını tahmin etme performansını LİDAR ve Hiperspektral verilerinden elde edilenlerle karşılaştırmıştır. Liu ve diğ. [38] çalışmalarında ICESat-2/ATLAS ve GEDI sistemlerinin eko iklim bölgelerindeki arazi ve kanopi yüksekliklerini tahmin etme performansını havasal LİDAR verilerinden elde edilenlerle karşılaştırmıştır. Malambo ve Popescu [39] çalışmalarında ICESat-2/ATLAS sisteminin ABD eko bölgelerindeki arazi ve kanopi yüksekliğini tahmin etme performansını havasal LİDAR verilerinden elde edilenlerle karşılaştırmıştır. Lao ve diğ. [40] çalışmalarında ICESat-2/ATLAS sisteminin kentsel alanlardaki bina yüksekliği tahmin etme performansını yersel LİDAR verilerinden elde edilenlerle karşılaştırmıştır. Zhao ve diğ. [41] çalışmalarında ICESat-2/ATLAS veri setinin kentsel alanlardaki zemin, bina ve kentsel orman alanlarına ait yükseklik bilgilerini tahmin etme performansını havasal LİDAR referans verileri yardımıyla karşılaştırmıştır.

Bu çalışmanın genel amacı ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerinden elde edilen zemin noktalarına ait geoit ve ortometrik yüksekliklerin TG20 veri seti ve lokal GPS nivelman noktaları yardımıyla hesaplanmasıdır. Alt amaçlar ise; (a) Çalışmada referans olarak kullanılan TG20 veri seti ve lokal GPS nivelman noktalarının çalışma alanını temsil etme doğruluğunun araştırılması, (b) ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerinden elde edilen zemin noktalarına ait ortometrik yükseklik değerleri arasındaki ilişkilerin incelenmesidir.

Bölüm 2

Yükseklik Kavramı ve Yükseklik Sistemleri

2.1 Yükseklik

Yeryüzü yapısı nedeniyle düz bir yüzeye sahip değildir. Bu doğrultuda fiziksel yeryüzü üzerinde birçok inceleme yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Bu incelemeler de yüzeye ait normallerin önemli bir rolü bulunmaktadır [5]. Bu durum birbirine bağlı iki önemli sebeple açıklanmaktadır. Birinci sebebi yeryüzü normallerinin yönünün aynı zamanda ağırlık kuvvetinide göstermesidir. İkinci sebebi ise pratikte kullanılan çekül doğrultusuna ait yönün, ağırlık kuvvetini ifade etmesidir [18,19].

Fiziksel yeryüzü üzerindeki herhangi noktanın yüksekliğinden bahsedebilmemiz için iki önemli bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. İlk olarak referans yüzeyinin bilinmesi gerekmektedir. İkinci olarak ise bu yüzeye düşey eksende tam dik açıyla gelen çekül doğrultularıdır. Bu durum göz önüne alındığında yükseklik, yeryüzü üzerindeki herhangi bir noktanın referans yüzeyi olarak kullanılan geoide olan uzaklığıdır [42-47].

2.2 Yükseklik Sistemleri

Dünya genelinde nivelman ağlarının oluşturulması ile ilgili uygulamalarda ortalama deniz seviyesi referans yüzeyi olarak kabul edilmiştir [5].

Bu doğrultuda da elde edilen nivelman ağlarının tek bir noktada birleştirilmesi düşünüldüğünde durumun tek bir deniz seviyesine göre hesaplanamayacağı anlaşılmıştır. Bunun nedeni referans yüzeyi olarak belirlenen deniz seviyelerinin her ülkede farklı yüksekliklere sahip olmasıdır. Bu doğrultuda ülkelerin, nivelman ağı çalışmalarını bireysel olarak oluşturmasının daha doğru olacağı sonucuna ulaşılmıştır [5,12]. Herhangi bir AB nivelman hattına ait yükseklik değerlerinden bahsedilmesi için iki ölçüm şartının eksiksiz yapılması gerekmektedir. İlk olarak AB nivelman hattı boyunca yükseklik farklarının ölçülmesidir. İkinci olarak da AB nivelman hattı boyunca ağırlık ölçümlerinin yapılmasıdır.

Fiziksel yeryüzüne ait herhangi bir noktanın konumu kullanılarak geoidin konumu tam olarak ifade edilememektedir. Bu durum çeşitli jeodezik araştırmaların başlangıcı olmuştur. Yükseklik sistemleri, bilimsel ve pratik yükseklik sistemleri olmak üzere iki ana sınıf altında toplanmaktadır (Tablo 2.1) [18,19,43].

Tablo 2.1: Bilimsel ve pratik yükseklik sistemleri

Bilimsel Yükseklikler	Pratik Yükseklikler
Jeopotansiyel Yükseklik	Normal Yükseklik
Dinamik Yükseklik	Elipsoidal Yükseklik
Ortometrik Yükseklik	

2.2.1 Jeopotansiyel Yükseklik

Fiziksel yeryüzü üzerindeki herhangi iki noktanın veya bu gruplar arasındaki yükseklik farkının belirlenmesinde kullanılan referans yüzeyinin geoide göre konumlarını gösteren potansiyel farklardır. Jeopotansiyel yükseklik (C) için kullanılan birim $1 \text{ g.p.u} = 1000 \text{ gal*metre}$ şeklinde tanımlanmıştır.

Jeopotansiyel yükseklikler dünyanın yoğunluk potansiyeli ile ilişkili fiziksel bir ifadedir. Fiziksel yeryüzü üzerindeki bir noktanın jeopotansiyel yüksekliği (2.1)'deki denklem yardımıyla hesaplanabilmektedir [5,19].

$$dW = -g \cdot dh \rightarrow \int_0^P dW = - \int_0^P g \cdot dh = W_0 - W_P = C_P [kgal \cdot m] \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'de geçen;

C_P : P noktasının jeopotansiyel yüksekliğini

W_0 : Geoidin potansiyeli

W_P : P noktasının potansiyeli

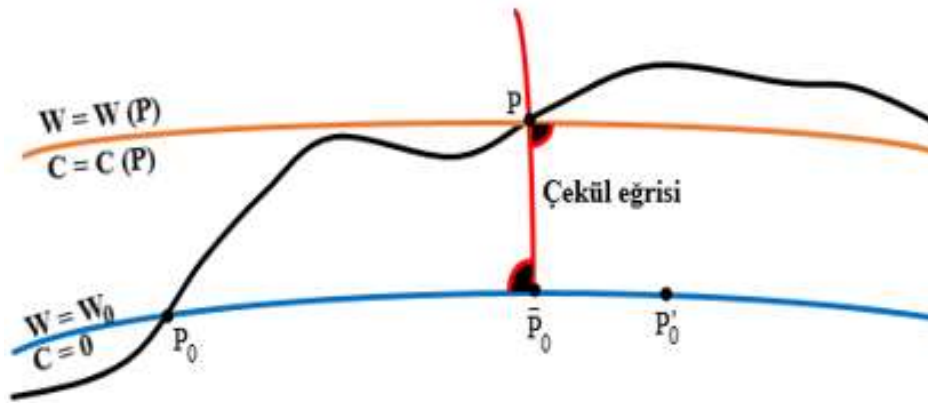
dW : İki nivo yüzeyi arasındaki potansiyel fark

dh : İki nokta arasındaki düşey mesafe

G, g : Nivo yüzeyi üzerindeki ortalama gravite değerlerini ifade etmektedir [18].

Yükseklik sistemleri, jeopotansiyel yükseklik (C) ve ortalama ağırlık değerleri yardımıyla (2.2)'deki genel denklem yardımıyla ifade edilmektedir.

$$H = \frac{C}{G} \quad (2.2)$$



Şekil 2.1: Jeopotansiyel yükseklik [5]

Fiziksel yeryüzü üzerinde yer alan bir P noktasının jeopotansiyel yüksekliği iki aşamalı olarak elde edilmektedir.

Çalışma alanında P_0 noktasından başlayarak ile P noktasına kadar düzenli olarak belirli mesafelerde yükseklik fark ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Elde edilen yükseklik farklarına (ΔC_i) ilişkin değerlerin birbiri ile toplanmasıyla jeopotansiyel yükseklik hesaplanmaktadır (Şekil 2.1) [5].

Yeryüzü üzerindeki noktaların istenilen yükseklik sisteminde belirlenebilmesi için jeopotansiyel yükseklikler büyük bir öneme sahiptir [5]. Bu yüksekliklerin belirlenebilmesi için yeryüzünün coğrafi yapısına göre farklılık gösteren bölgelerde ağırlık ivmesinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu ölçümler eğimin olmadığı bölgelerde 3-5 km, eğimin fazla olduğu bölgelerde 1-2 km, dağlık bölgelerde ise 0.5-1 km de bir tekrarlı olarak yapılmaktadır [18].

2.2.2 Dinamik Yükseklik (H^D)

Fiziksel yeryüzü üzerindeki noktaların jeopotansiyel kotlarının, sabit bir gravite değerine bölünmesiyle elde edilen metrik boyutlu yüksekliklere dinamik yükseklik adı verilmektedir. Fiziksel yeryüzü üzerindeki K ve L noktalarına ait dinamik yükseklikler denklem (2.3) yardımıyla elde edilmektedir [10,12].

$$H_K^D = \frac{C_K}{\gamma_0}, \quad H_L^D = \frac{C_L}{\gamma_0} \quad (2.3)$$

Dinamik yükseklikleri bilinen K ve L noktaları arasındaki yükseklik farkı (ΔH) ise denklem (2.4) yardımıyla elde edilmektedir.

$$\Delta H = \frac{1}{\gamma_0} (C_L - C_K) = \frac{1}{\gamma_0} \int_K^L g \cdot dh$$

ya da

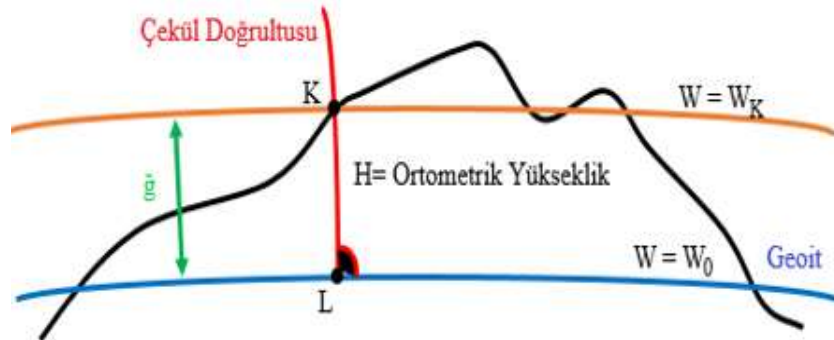
$$\Delta H = \frac{1}{\gamma_0} \int_K^L (g - \gamma_0 + \gamma_0) dh = \int_K^L dh + \int_K^L \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh \quad (2.4)$$

Ülke ölçmelerinde genellikle yükseklik farkları, geometrik nivelman yardımıyla elde edilen ölçülere dinamik düzeltme getirilmesiyle elde edilmektedir [18]. Geometrik bir anlama sahip değildir. Aynı zamanda bu yükseklik sisteminde geoidin dinamik yüksekliği sıfırdır.

Yükseklik farklarının hesabında anahtar rol oynayan gravite ivmesi ekvator dan kutuplara doğru gidildikçe artması sebebiyle yükseklik düzeltmelerini de olumsuz yönde etkilemektedir [18]. Bu yükseklikte düzeltme değerlerinin dağlık alanlarda çok büyük olması sebebiyle pratikte kullanım için uygun değildir. Ancak bilimsel çalışmaların yapılması ve büyük ağların dengelenmesi için elverişli bir yükseklik sistemidir [5].

2.2.3 Ortometrik Yükseklik (H)

Fiziksel yeryüzündeki bir K noktasının ortometrik yüksekliği (H), K noktasından geçen çekül doğrultusunun L noktasında bulunan geoide kadar olan düşey mesafe şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanıma uygun olarak ortometrik yükseklik şekil 2.2’de ayrıntılı olarak gösterilmektedir [18].



Şekil 2.2: Ortometrik yükseklik [5]

Ortometrik yüksekliklerin fiziksel bir anlamı vardır. Fiziksel yeryüzünün düz bir yapıya sahip olmaması sebebiyle geoidin kara parçalarının altındaki durumu bilinmemesi sebebiyle ortometrik yükseklikler direkt elde edilememektedir. Fiziksel yeryüzü üzerindeki noktaların ortometrik yükseklikleri birbiriyle aynı değildir. Pratikte yapılan çalışmalarda dinamik yüksekliklerin aksine ortometrik yükseklikler daha çok tercih edilmektedir. Bunun nedeni ortometrik yüksekliklere getirilen düzeltme miktarlarının az olmasıdır [5,43].

Geoit üzerindeki bir K_0 noktasından çekül doğrultusu boyunca fiziksel yeryüzü üzerindeki K noktasına kadar olan ortalama gravitenin (\bar{g}) bilinmesi koşuluyla K noktasının ortometrik yüksekliği (2.5)'te yer alan denklem yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$H_K = \frac{C_K}{\bar{g}} \quad (2.5)$$

Fiziksel yeryüzü ile geoit arasındaki noktaların çekül doğrultusu boyunca ağırlıklarının ölçülmesi imkansız olduğu için ortometrik yükseklikler direkt olarak elde edilememektedir [18]. Ancak ortalama gravite değeri çeşitli hesaplama yöntemleri yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu değer, Helmert'in yaklaşımına göre denklem (2.6) kullanılarak hesaplanmaktadır [19].

$$\bar{g}_K = g_K + 0.0424 \cdot H \text{ [km]} \quad (2.6)$$

Bu denklemde yer alan g_K , fiziksel yeryüzü üzerinde ölçülmüş olan gravite değeridir.

2.2.4 Normal Yükseklik (H^N)

Normal yükseklik üç farklı varsayımdan oluşan ortometrik yüksek değerleriyle ifade edilmektedir. Birinci varsayım, Fiziksel yeryüzünün gerçek ağırlık potansiyelinin (W), normal ağırlık potansiyeline (U) eşit olmasıdır. İkinci varsayım, indirekt bozucu potansiyelinin olmamasıdır. Üçüncü ve son varsayım ise gerçek ağırlığın (g) normal ağırlık (γ) ile aynı olmasıdır [12].

$$H^N = \frac{C}{\bar{\gamma}} \quad (2.7)$$

Bu denklem de yer alan ($\bar{\gamma}$), ortalama ağırlığı ifade etmektedir. Ayrıca (2.8) ve (2.9) bağıntıları yardımıyla elde edilmektedir.

$$m = \frac{\omega^2 \cdot a \cdot b}{kM} \quad (2.8)$$

2.2.5 Geoit (N) ve Elipsoidal Yükseklik (h)

İnsanoğlu varolduğu günden bugüne kadar dünyanın fiziksel yapısı ile ilgili birçok çalışma yapmıştır. Bu çalışmalarda, ilk olarak üzerinde yaşadığımız gezegenin şekline odaklanılmış ve ne olabileceği üzerine araştırmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, gelişen teknoloji ile birlikte doğru orantılı olarak ilerlemiştir. Dünya'nın şekli ilk olarak kare ve düzlem olarak ifade edilmiştir. Daha sonra araştırmalardan alınan başarılı sonuçların ardından dünyanın şekli sırasıyla elipsoit ve geoit olarak belirtilmiştir. Geoit kavramı ilk olarak Listing tarafından tanımlanmıştır [12,18,43]. En basit şekliyle geoit;

“Dalga, rüzgâr, sıcaklık değişimleri, med-cezir gibi çevresel faktörlerin etkileri göz ardı edilerek, ortalama okyanus yüzeyinin karaların altından da devam ettiği varsayılarak oluşturulan soyut kapalı bir denge yüzeyidir[12].”

şeklinde ifade edilmiştir [12].

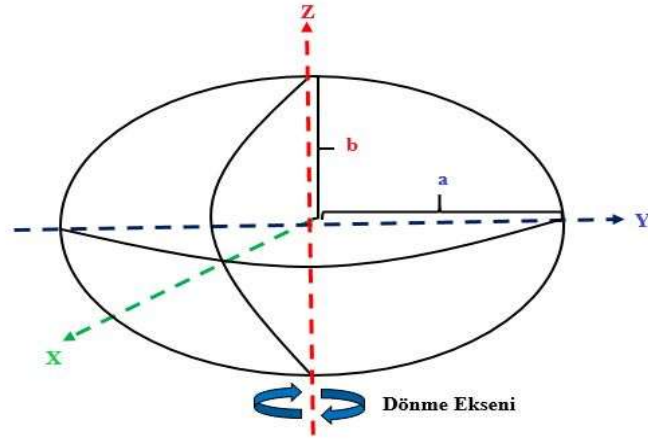
Bu yüzey fiziksel ve matematiksel olarak ifade edilebilmektedir. Aynı zamanda fiziksel bir denge yüzeyidir [18,19]. Geoit, jeodezi araştırmacıları tarafından eş potansiyelli yüzey olarak tanımlanmaktadır. Ölçüm uygulamalarında kullanılan düşey doğrultu, dünyanın her yerinde geoide dik olarak gelmektedir. Üzerinde yaşadığımız gezegende kitleler heterojen olarak dağılmıştır. Bu nedenle yeryüzündeki herhangi bir alandaki merkezkaç ve yerçekimi kuvvetleri birbiri ile aynı değildir. Günümüzde analitik hesaplamalar için çeşitli yüzeyler tercih edilmektedir. Bunlar sırasıyla düzlem, küre ve elipsoittir. Bu yüzeyler aynı zamanda geometrik hesap yüzeyleridir [18,19,43-45]. Geoit için kullanılan hesap yüzeyleri çalışma sahasının büyüklüğüne göre üç farklı sınıfa ayrılmaktadır.

Bu sınıflar;

- Düzlem: Çalışma sahasının 50 km^2 'den küçük olması durumunda
- Küre: Çalışma sahasının 5000 km^2 'den küçük olması durumunda

- Dönel Elipsoit: Ülke ölçmeleri gibi büyük çalışma sahalarının olması durumunda kullanılmaktadır.

Mevcut sınıflardan da görüleceği üzere ülke genelindeki çalışmalar için geoidin alternatifi olarak dönel elipsoit kullanılmaktadır. Dönel elipsoit, elipsin Z eksenini (küçük eksen=b) referans olarak onun çevresinde dönmesiyle oluşan bir yüzeydir (Şekil 2.4) [18,19].



Şekil 2.4: Dönel elipsoit [17]

Çalışmalarda kullanılan bu elipsoidin adı, Helmert tarafından referans elipsoidi olarak adlandırılmıştır. Günümüzde geoide en yakın boyutlara sahip referans elipsoidinin belirlenmesi jeodezinin önemli bir araştırma konusu olmuştur. Herhangi bir çalışmada referans elipsoidinin kullanılabilmesi için öncelikle elipsoit parametreleri bilinmelidir (Tablo 2.2)[45,46]. Bu eksen parametrelerinin belirlenebilmesi için birçok ölçü ve hesaplama yöntemleri geliştirilmiş. Bunun sonucunda da elipse ait büyük (a) ve küçük (b) yarı eksen uzunlukları elde edilmiştir [45,46]. Bir elipsoide ait a ve b yarı eksen değerlerine bağlı olarak elipsoidin dış merkezlik ve basıklık değerleri (2.10), (2.11), (2.12) denklemleri yardımıyla hesaplanabilmektedir [18].

$$\text{Elipsoidin basıklığı} = f = \frac{a-b}{a} \quad (2.10)$$

$$1. \text{ Dış merkezlik (Eksantrisite)} = e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (2.11)$$

$$2. \text{ Dış merkezlik (Eksantrisite)} = e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (2.12)$$

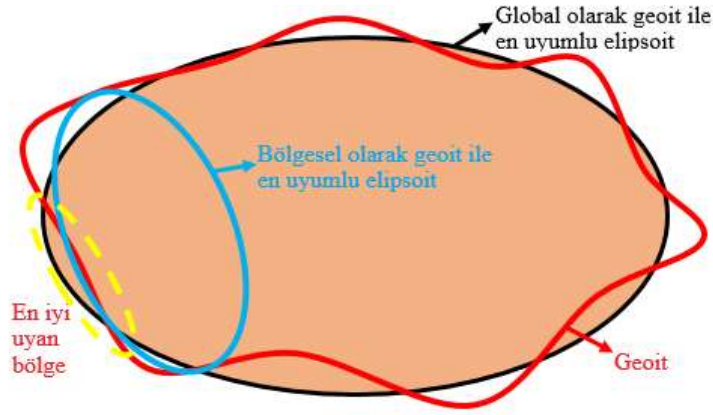
Tablo 2.2' de Referans elipsoidlerinin bazılarına ait büyük yarı eksen (a), küçük yarı eksen (b) ve basıklık (f) değerleri verilmiştir.

Tablo 2.2: Referans elipsoidlerinin yarı eksen ve basıklık değerleri

Referans Elipsoidi	Büyük yarı eksen (a)	Küçük yarı eksen (b)	Basıklık ($f = \frac{a-b}{a}$)
Bessel 1841	6377397.155	6356078.9629	1 / 299.1528128
Clarke 1866	6378206.4	6356583.8	1 / 294.9786982
International Hayford1924	6378388.0	6356911.9462	1 / 297.0
WGS-84	6378137.0	6356752.3142	1 / 298.257223563
GRS 1980	6378137.0	6356752.3141	1 / 298.257222101

Geçmişten günümüze kadar ki tarihsel süreç içerisinde teknolojik gelişmelerle birlikte birçok referans elipsoidi tanımlanmıştır. Hayford Elipsoidi bunlardan en sık kullanılanıdır. Ülkemizde gerçekleştirilen jeodezik çalışmalarda da bu elipsoid kullanılmıştır. Son yıllardaki GNSS teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte yerini WGS84 elipsoidine bırakmıştır [19,45]. Yeryüzünü yaklaşık olarak belirlemede kullanılan referans elipsoidine ait elipsoid normalleri, geoid normalleri ile tam olarak çakışmamaktadır. Aralarında “θ” kadarlık bir fark meydana gelmektedir. Bu farka düşey doğrultu sapması (θ) adı verilmektedir. Fiziksel yeryüzü üzerinde gerçekleştirilen geoid araştırmaları yeterli teknik donanım olmaması sebebiyle sadece karada yapılmaktadır. Ancak bu sınırlama yersel ölçmelerin denizlerde de yapılabilmesiyle ortadan kalkmıştır. Bu sayede dünya tam bir bütün olarak düşünülebilmektedir. Aynı zaman dünyanın şeklinin hacimsel olarak belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır [18,19].

Fiziksel yeryüzü üzerinde gerçekleştirilecek olan çalışmalarda en yüksek doğruluklu sonuçların ortalama dünya elipsoidleri yardımıyla alınabileceği şekil 2.5'te de net bir şekilde görülmektedir. Fiziksel yeryüzü üzerindeki işlemler için iki farklı referans yüzeyi kullanılmaktadır. Bu işlemler yatay ve düşey ekseninde gerçekleşmektedir. Yüzeyler ise referans elipsoidi ve geoittir. Referans elipsoidi, yeryüzündeki noktaların yatay konumlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır [19,44].



Şekil 2.5: Ortalama dünya elipsoidi [17]

Geoit ise yeryüzündeki noktaların düşey konumlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır [18]. Herhangi bir çalışma alanına ait referans elipsoidleri ile geoit yüzeylerinin düşey konumları birbirinden farklıdır. Bu farklar yüzeylerin durumuna göre pozitif veya negatif olarak değişmektedir. Bu iki yüzey arasındaki fark geoit yüksekliğini (N) ifade etmektedir (Şekil 2.6). Şekil 2.6'daki yüzeylerin görevlerinin ve birbirleri arasındaki ilişkinin anlaşılabilmesi için yükseklik ve yükseklik sistemlerinin bilinmesi gerekmektedir [18,42,43,46].

Fiziksel yeryüzü üzerindeki bir ölçü noktasından başlayıp referans elipsoidine kadar uzanan, yerin çekim alanından tamamen bağımsız olan yüksekliklere elipsoidal yükseklik (h) adı verilmektedir. Elipsoidler yeryuvarının modellenmesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle elipsoidal yüksekliklerin fiziksel ifade değildir [5]. Günümüzde elipsoidal yükseklikler, GNSS sistemleri yardımıyla pratik, düşük maliyetli ve yüksek doğrulukta elde edilebilmektedir.

Ancak günümüz uygulamalarında elipsoidal yükseklikler yerine ortometrik yükseklikler kullanılmaktadır. Elipsoidal yükseklikler ile ortometrik yükseklikler arasındaki ilişki denklem (2.13) yardımıyla ifade edilmektedir (Şekil 2.6) [12].

$$h = H + N \quad (2.13)$$

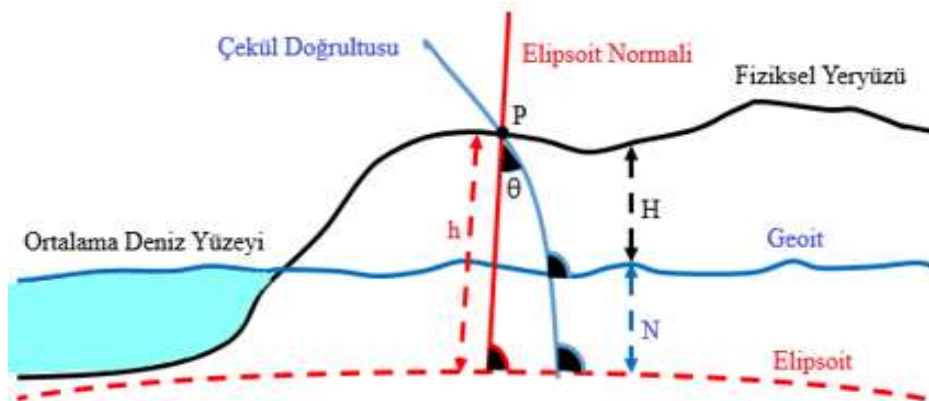
Bu denklem de yer alan

H: Elipsoidal yüksekliği,

H: Ortometrik yüksekliği

N: Geoit yüksekliği'dir.

Hâlihazırda kullanılan GNSS sistemlerinin performansının geometrik nivelman kadar olamayacağı bilinmektedir. Ancak her iki yöntemle elde edilen yüksekliklerin karşılaştırılabilmesi için geoidin hassas bir şekilde bilinmesi gerekmektedir [18]. GNSS sistemleri ile yapılan çalışmalarda gerek elipsoidal yüksekliklerin belirlenmesi gerekse geoit yüksekliklerinin hesaplanması her iki durumdan elde edilecek doğruluk ortometrik yükseklik değerinin hassasiyeti ile doğru orantılıdır. GNSS çalışmalarından elde edilen yüksekliklerin direkt olarak uygulanabilmesi için en önemli şart yerel bir geoidin kullanılmasıdır [19].



Şekil 2.6: Geoit ve Elipsoidal yükseklik [5]

Bölüm 3

Geoit Hesaplama Yöntemleri

Fiziksel yeryüzünde yapılan çalışmalarda kullanılmak üzere birçok geoit modeli geliştirilmiştir. Bu modellerde veri seti, sahaya uygulanabilirlik, kullanılan yöntem ve elipsoit gibi çeşitli etkenlerden dolayı farklılıklar görülmektedir. Geoit yükseklikleri iki farklı yol izlenerek bulunabilmektedir [5,12]. Bunlardan birincisi, farklı verileri setleri veya matematiksel hesaplamaların birbirinden bağımsız olarak kullanılmasıdır. İkincisi ise uygun veri setleri ve matematiksel hesaplamaların eş zamanlı olarak kullanılmasıdır. Uygulamalarda geoit yüksekliklerinin elde edilebilmesi için çeşitli parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler elipsoit ve gravite alanı olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır (Tablo 3.1). Elipsoit ve gravite alanına ait parametrelerin taraf tarafa çıkarılmasıyla üç önemli sonuç elde edilmektedir [19].

Bunlar;

- Geoit yüksekliği (N)
- Gravite anomalisi (Δg)
- Çekül sapmasıdır (η, ξ)'dir.

Tablo 3.1: Hesap elipsoidi ve gerçek gravite alanı

Hesap Elipsoit	Gerçek Gravite Alanı
Elipsoit Yüksekliği (h)	Ortometrik Yükseklik (H)
Normal Gravite Değeri (γ)	Gravite (g)
Coğrafik Enlem ve Boylam Değeri (φ, λ)	Gravite Potansiyeli Değeri (W)
Normal Potansiyel Değeri (U)	

Geoit yüksekliği belirleme yöntemleri, global ve bölgesel geoit belirleme yöntemleri olarak 2 ana başlık altında toplanmaktadır.

3.1 Global Geoit Hesaplama Modelleri

Günümüzde dünya çapındaki geoit modelleri, tüm ülkelerin sağladığı veri desteği sonucunda oluşmaktadır. Bu veriler ülkelerin sahip olduğu en az bir veya daha çok baz istasyonu tarafından toplanmaktadır. Bu istasyonlar düzenli olarak gravite ölçümleri gerçekleştirmektedir. Elde edilen verilerin bir araya getirilmesi sonucunda tüm dünyayı temsil eden bir geoit model elde edilmektedir [5]. İlk zamanlarda gravite ölçümleri için Postdam referans sistemi kullanılmaktaydı. Yerini zamanla International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71) bırakmıştır. Bu nedeni, Postdam'ın sarkaç ölçümlerini referans almasıdır [12,18].

Stokes'in 1849'da bulmuş olduğu denklem (3.1) yardımıyla gravite ölçülerinden geoit değerleri elde edilebilmektedir.

$$N = \frac{R}{4\pi G} \iint_{\sigma} \Delta g S(\psi) d\sigma \quad (3.1)$$

R: Dünya yarıçapı

G: Ortalama gravite

Δg : Serbest hava gravite anomalisi

$S(\psi)$: Stokes fonksiyonunu ifade etmektedir.

Bu denklem, geoidin dış kısmında bulunan nesnelere göre hazırlanmıştır. Burada geoidin dış yapısı sınır kabul edilmektedir. Daha sonra dışarıda bulunan nesnelere geoidin iç kısmına alındığı düşünülmektedir. Gerçekleştirilen ağırlık indirgemelerinin temel sebebi de bu düşünceye dayanmaktadır. EGM96 ve OSU91-A, EGM2008 yukarıdaki potansiyel katsayılar kullanılarak hesaplanan geoit yükseklik modellerine örnek olarak gösterilebilir [5,19,48].

3.2 Bölgesel Geoit Hesaplama Modelleri

Dünya üzerinde her bir ülkenin topoğrafik koşulları birbirine göre farklılık göstermektedir [5]. Bu duruma bağlı olarak kullanmış oldukları bölgesel geoit modelleri de birbirinden farklıdır. Bu modellerin elde edilmesinde kullanılacak olan hesaplama yöntemi denklem (3.2)'deki Stokes integraline dayanmaktadır [5,12].

$$N = N_{GM} + \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} (\Delta g - \Delta g_{GM}) S(\psi) d\sigma \quad (3.2)$$

Burada;

N: Geoit Yüksekliği

N_{GM} : Global Model referans alınarak hesaplanan geoit yüksekliği

R: Dünyanın yarıçapı

γ : Normal gravite

Δg : Gravite anomalisi

Δg_{GM} : Global Model referans alınarak hesaplanan gravite anomalisi

σ : İntegrasyonun kapsadığı global aralık

$S(\psi)$: Stokes fonksiyonu ifade etmektedir.

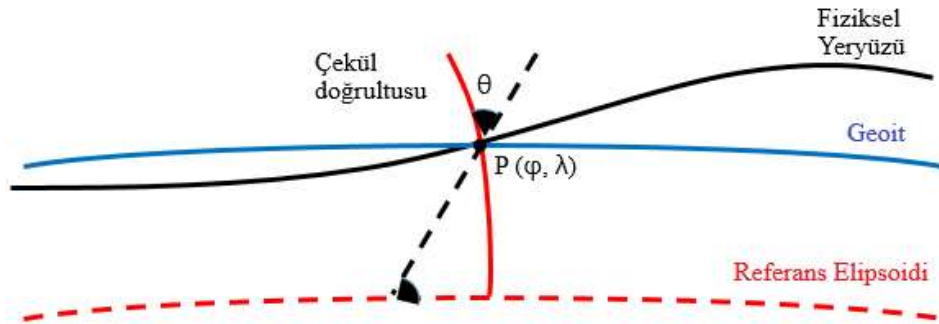
3.2.1 Gravimetrik Yöntemler ile Geoit Yüksekliği Hesaplama

Fiziksel yer kürede doğal veya yapay birçok değişim meydana gelmektedir. Bu değişimlere kara ve okyanus seviyelerindeki hareketlilik, fay hareketleri sonucunda oluşan depremler, su kaynaklarında yaşanan değişimler örnek verilebilir. Bu değişimler dünya üzerindeki kütle dağılımlarını önemli ölçüde etkilemekte ve düşey doğrultuda sapmaların olmasına neden olmaktadır. Bu durumla bağlantılı olarak elde edilen sapmaların indirgenmesi sonucunda ise gravite anomalisi elde edilmektedir [12]. Bu değerlerin bilinmesi halinde hem geoit yüksekliği (N) hem de çekül sapmaları bulunabilmektedir.

Gravimetrik yöntemler çoğunlukla, geoit değerlerinin elde edilmesine yönelik çalışmalar yapılan bölgelerde, jeodezik eşik değerine ait sorunların giderilmesinde kullanılmaktadır. Bu sorunların giderilmesinde kullanılan matematiksel formül ise Stokes integralidir [10].

3.2.2 Astrojeodezik Yöntemler ile Geoit Yüksekliği Hesaplama

Çalışma alanında coğrafi koordinat sistemlerinde gerçekleştirilen ölçümlerden alınan sonuçlar çekül doğrultusuyla bağlantılıdır [5]. Bu duruma göre iki boyutlu ağlarda, ölçümlerden elde edilen sonuçların, elipsoit gibi referans yüzeyleri üzerinden daha kolay ifade edilebilmesi için iki önemli parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar geoit yükseklikleri ve çekül sapma değerleridir. Bu parametrelerin, üç boyutlu ağlarda kullanılması durumunda ise iki önemli değer arasındaki durum ortaya çıkmaktadır. Bu değerler, astronomik ve jeodezik değerler olarak ifade edilmektedir [12]. Topoğrafya üzerinde seçilen bir yerin doğal koordinatları (Φ , Λ) astronomik ölçümler sonucunda elde edilebilmektedir. Bu koordinatlar, referans elipsoidinin enlem ve boylam değerleri ile kıyaslandığı zaman, çekül sapması değerlerine (ξ , η) ulaşılmaktadır [48,49].



Şekil 3.1: Astrojeodezik çekül sapması [5,12]

Bu bileşenler (3.3) ve (3.4) denklemleri yardımıyla hesaplanmaktadır.

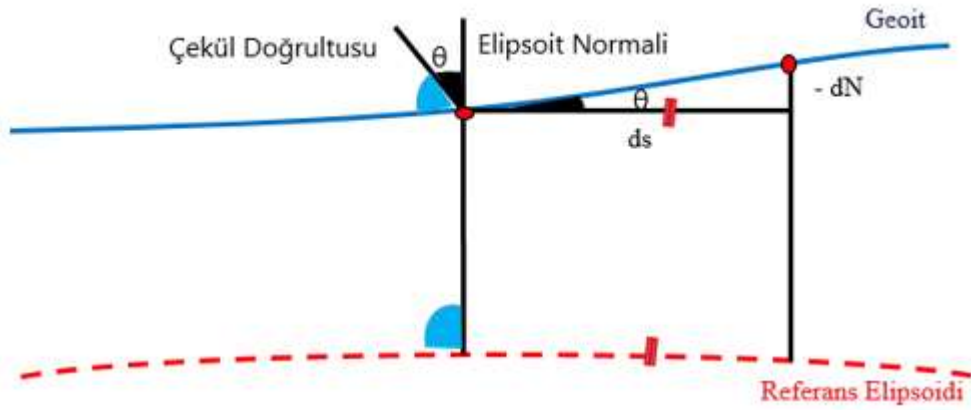
$$\xi = \Phi - \varphi \quad (3.3)$$

$$\eta = (\Lambda - \lambda) \cos \varphi \quad (3.4)$$

Herhangi bir noktanın β semti düşey doğrultusunda meydana gelen sapma miktarı

$$\theta = \xi \cos \beta + \eta \sin \beta \quad (3.5)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmaktadır. Herhangi bir geoit yüzeyindeki, düşey doğrultuda meydana gelen değişimlerin etkisi şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Geoit 'deki diferansiyel değişim [5,12]

Diferansiyel anlamda geoit yüksekliğinde meydana gelen (dN) kadarlık değişim denklem (3.6)'te gösterilmektedir.

$$dN = \theta ds \quad (3.6)$$

Geoit üzerinde seçilen \overline{AB} bazında, A noktasının (N_A) geoit yüksekliğinin bilinmesi durumunda, \overline{AB} bazı boyunca N değeri denklem (3.7) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$N_B - N_A = - \int_A^B \theta ds \quad (3.7)$$

Yiğit [12]'e göre, geoit yüksekliklerinin elde edilmesinde kullanılacak olan bu denkleme ortometrik iyileştirme uygulanmalıdır. Diğer bir alternatif ise, geoitte düşey doğrultudaki sapma miktarının bulunabilmesi için astronomik ölçülerin geoid referans yüzeyine indirgenmesi gerekmektedir [12].

3.2.3 GPS - GNSS / Nivelman Yöntemi ile Geoit Yüksekliği Hesaplama

GPS/GNSS sistemleri hayatımızın hemen hemen pek çok noktasında aktif bir rol oynamaktadır. Bu teknolojiyen önce yapılan ölçüm uygulamalarında birçok şartın yerine getirilmesi gerekmektedir. Örneğin eskiden yapılan ölçümlerde noktaların coğrafi konum ve mesafelerinin aralarında gözlem yapılabilecek şekilde olması gerekmektedir [5]. Ancak GPS/GNSS teknolojileri ile birlikte tüm bu gereksinimler ortadan kalkmıştır. Bu sistemler sayesinde yeryüzündeki herhangi bir noktanın konumu kolaylıkla 3 boyutlu olarak elde edilebilmektedir. GPS/GNSS teknolojisi öncesinde yükseklikler nivo ölçü aletleri yardımıyla direkt elde edilebilmekteydi. Ancak GPS/GNSS teknolojisinde aynı durum söz konusu değildir. GPS/GNSS sistemleriyle yapılan ölçümlerde herhangi bir yerin yüksekliği, ölçüm esnasında tanımlı olan referans yüzeyine dayalı olarak elde edilmektedir. Elde edilen bu değerler elipsoidal yüksekliklerdir [12,18]. Ülkemizde bazı bölgelerin gravite değerleri bilinmemektedir. Bu durumda, ilk olarak GPS/GNSS ile noktaların elipsoidal yükseklikleri ölçülmektedir. Daha sonra ise nivelman yardımıyla ortometrik yükseklikler ölçülmektedir. GPS/GNSS ve nivelman ölçümlerine ait sonuçlar bir araya getirilerek uygulamalarda kullanılmaktadır. GPS/GNSS sistemleriyle ölçülen noktaların ortometrik yükseklik değerlerinin bulunabilmesi için ilk olarak çalışma alanına yakın ve tüm yükseklik bilgileri (elipsoit ve ortometrik) bilinen referans noktalarına ihtiyaç vardır. İkinci olarak, referans noktaları çalışma alanına homojen olarak dağılmalıdır. Elipsoidal yükseklik ile ortometrik yükseklik arasındaki matematiksel formül denklem (2.13)'te gösterilmektedir [49,50].

Bölüm 4

Geoit Yüksekliği Belirleme Yöntemleri

Geçmişten günümüze teknolojik anlamda birçok gelişme yaşanmıştır. Bu gelişmelerle birlikte geoit yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılan aletler ve bu aletler yardımıyla toplanan verilerde de gelişim gözlenmiştir. Geoit yüksekliklerinin tespitinde kullanılan en eski yöntem astrojeodezik yöntemlerdir. Daha sonraki dönemlerde ise geoit yüksekliklerinin tespiti için jeopotansiyel modellerin kullanılmaya başlandığı görülmektedir [5,51]. Bu modellerin yapısı teknoloji ile birlikte doğru orantılı olarak geliştirilmiş ve modellerin geoit yükseklik tespitindeki hassasiyetleri bir üst seviyeye taşınmıştır. Uydu teknolojilerinin hayatımıza girmesi ile birlikte GPS/GNSS sistemlerinin çalışmalardaki kullanım sıklığı günden güne artmıştır. Bu kullanım sıklığı, geoit yüksekliklerinin tespit edilmesine yönelik yapılan çalışmalara olumlu bir şekilde yansımıştır. Bu sistemler sayesinde önceki dönemlerde oluşturulan jeopotansiyel modeller geliştirilmiştir. Bu durum daha geniş ölçekte ve dünyayı bir bütün olarak temsil edebilecek modellerin tasarlanmasına olanak sağlamıştır [12,52,53].

Yeryüzünün herhangi bir bölgesinde, geoit yükseklikleri bilinmeyen noktaların, yüksekliklerinin hesaplanabilmesi için sırasıyla uygulanan işlem adımları şu şekildedir. İlk olarak bölgeden, C3 derece ve üzerinde bir ağa ait olan referans noktalarının tespit edilmesi gerekmektedir. Daha sonra seçilen noktaların saha ölçümleri yapılarak elipsoidal yükseklik değerleri elde edilmektedir. Seçilen referans noktalarının ortometrik yükseklik değeri ise ilgili kamu kurumlarından temin edilmektedir. Daha sonra kurumdan alınan yükseklik değerleri ile arazide ölçülerek elde edilen yükseklik değerleri arasındaki farklar alınarak referans noktalarına ait geoit yükseklik değerleri hesaplanmaktadır [54].

Son olarak bilinmeyen noktaların geoit yükseklik değerleri ise bu noktaların coğrafi konumları, referans noktalarının coğrafi konumu ve geoit yükseklikleri yardımıyla çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu yöntemleri aőağıdaki şekilde sıralayabiliriz [54].

- Ağırlıklı Aritmetik Ortalama ile Enterpolasyon
- Polinomlarla Enterpolasyon
- Multikvadratik Enterpolasyon
- Kriging Enterpolasyon
- Sonlu Elemanlar Yöntemi
- Bulanık Çıkarım Sistemleri
- Radyal Tabanlı Fonksiyonlar ile Yüzey Modelleme Yöntemi

4.1 Ağırlıklı Aritmetik Ortalama ile Enterpolasyon Yöntemi

Ağırlık aritmetik ortalama ile enterpolasyon yönteminde bilinmeyen noktaların yükseklikleri, çalışma alanında bulunan referans noktalarının yükseklikleri yardımıyla ağırlıklı şekilde hesaplanmaktadır. Bu yöntemde her bir referans noktasının bilinmeyen noktalara olan mesafesi geoit hesaplamaları için önemli bir paya sahiptir. Bunun nedeni referans ve bilinmeyen noktalar arasındaki mesafenin arttıkça ağırlık değerinin etkisinin azalmasıdır [5, 56].

Çalışma alanındaki herhangi bir A noktasının N_A geoit yükseklik değeri, A noktasının çevresinde bulunan n tane referans noktalarına ait geoit ve ağırlık parametrelerinin, (4.1) denkleminde yerine yazılmasıyla hesaplanmaktadır [54].

$$N_A = \frac{\sum_{i=1}^n N_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (4.1)$$

Burada denklem (4.1)'e bakıldığında;

N_A : Geoit yükseklikleri bilinmeyen enterpolasyon noktalarının geoit yüksekliği

N_i : Çalışma sahasındaki referans noktalarının geoit yüksekliği

P_i : Referans noktalarına ait belirlenecek ağırlık değerleri

n : Bilinmeyen enterpolasyon noktalarının geoit yüksekliğinin hesaplanmasında kullanılacak referans noktası sayısını ifade etmektedir.

Çalışma sahasındaki referans noktalarının yardımıyla bilinmeyen enterpolasyon noktalarına ait geoit yüksekliklerinin hesaplanmasında kullanılan ağırlıklar denklem (4.2) veya (4.3) kullanılarak hesaplanmaktadır [54,55,57].

$$P_i = \frac{1}{d_i^k} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (4.2)$$

$$P_i = \frac{1}{d_i^{(a_i^2/k^2)}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad k = 3, 4, 5 \quad (Gauss) \quad (4.3)$$

Ağırlıkların hesaplanmasında kullanılan (4.2) ve (4.3) denklemindeki k değeri; ağırlık formüllerine ait güç parametrelerini ifade etmektedir. Bu denklemlerde d_i değeri; çalışma sahasındaki referans noktaları (X_i, Y_i) ile bilinmeyen noktalar (X_A, Y_A) arasındaki mesafeyi ifade etmekte ve denklem (4.4) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$d_i = \sqrt{(X_i - X_A)^2 + (Y_i - Y_A)^2} \quad (4.4)$$

Bu yöntemde enterpolasyon noktalarına ait geoit değerlerinin doğruluğu k fonksiyon güç parametresi ile ters orantılıdır. Bu nedenle yöntem, en yakın komşuluklu enterpolasyon ile benzerlik göstermektedir [12,54]. Aynı zamanda ağırlık hesaplamalarında kullanılan k güç parametresinin katsayısının büyüdükçe elde edilecek sonuçların belirli bir seviyeden sonra benzerlik göstereceği belirtilmektedir [12].

4.2 Polinom Enterpolasyon Yöntemi

Polinom enterpolasyon yöntemi herhangi bir çalışma alanına ait yüzey modellerinin meydana getirilmesinde en sık tercih edilen yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemin sık kullanılmasının önemli sebeplerinden bir tanesi çalışma alanının sadece bir fonksiyon yardımıyla tanımlanabilmesidir [5,12].

Polinom enterpolasyon yönteminde ortometrik yükseklik değerleri bilinen referans noktalarına ait yatay (X,Y) ve düşey koordinatları (Z) yardımıyla çalışma alanını tanımlayan polinomun parametreleri hesaplanabilmektedir. Bu yöntem yardımıyla meydana getirilecek olan yüzey modelleri, çalışma alanındaki fiziksel değişimlere göre belirlenmektedir. Çalışma alanına ait yüzey modelleri ortogonal ve ortogonal olmayan polinomlar sırasıyla (4.5) ve (4.6) denklemleri kullanılarak hesaplanmaktadır [5,53].

$$N(X, Y) = \sum_{k=0}^n \sum_{\substack{j=k-i \\ i=0}}^k a_{ij} X^i Y^j \quad (4.5)$$

$$N(X, Y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} X^i Y^j \quad (4.6)$$

Çalışma alanına ait yüzey modellerine ait (4.5) ve (4.6) denklemlerindeki;

X,Y: çalışma alanındaki yatay koordinat değerlerini

n: Çalışma alanını temsil eden polinomun derecesi

a_{ij} : Yüzey modeline ait polinom katsayılarını ifade etmektedir.

Çalışma alanına ait herhangi bir A noktasının geoit yükseklik değerlerinin hesaplanabilmesi için meydana getirilen yüzey modelinin polinom katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Bu bilinmeyen katsayıların hesaplanmasında en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır [54].

Bu yöntemde;

L_T : (N_1, N_2, \dots, N_n) ölçü vektörü

A: Katsayılar matrisi

X: Polinom katsayı vektörü olmak üzere (4.7) denkleminde ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} N &= A^T A \\ n &= A^T L \\ X &= N^{-1} n \end{aligned} \quad (4.7)$$

Çalışma alanına ait yüzey modelinin ortogonal ve ortogonal olmayan polinomlara ait fonksiyonlar matematiksel anlamda birbirlerine göre farklılıklar göstermektedir. Ortogonal polinomlara ait matematiksel ifadeler, kullanılacak olan yüzey modelinin derecesine uygun olarak (4.8), (4.9) ve (4.10) denklemleri şeklinde yazılmaktadır [5,12].

$$N(X, Y) = a_0 + a_1y + a_2x \quad n = 1 \quad (4.8)$$

$$N(X, Y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \quad n = 2 \quad (4.9)$$

$$N(X, Y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + a_6x^3 + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9y^3 \quad n = 3 \quad (4.10)$$

Ortogonal olmayan polinomlara ait matematiksel ifadeler, kullanılacak olan yüzey modelinin derecesine uygun olarak (4.11), (4.12) ve (4.13) denklemleri şeklinde yazılmaktadır.

$$N(X, Y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3xy \quad n = 1 \quad (4.11)$$

$$N(X, Y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3xy + a_4y^2 + a_5xy^2 + a_6x^2 + a_7x^2y + a_8x^2y^2 \quad n = 2 \quad (4.12)$$

$$N(X, Y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3xy + a_4y^2 + a_5xy^2 + a_6x^2 + a_7x^2y + a_8x^2y^2 + a_9y^3 + a_{10}xy^3 + a_{11}x^2y^3 + a_{12}x^3 + a_{13}x^3y + a_{14}x^3y^2 + a_{15}x^3y^3 \quad n = 3 \quad (4.13)$$

Ortogonal olmayan polinom enterpolasyon yöntemine ait denklemlere bakıldığında polinom katsayılarının, ortogonal polinom enterpolasyonu yöntemine ait polinom katsayılarından fazla olduğu görülmektedir. Bu durum hesaplamalarda kullanılması gereken referans noktası sayıları ile doğru orantılıdır. Yöntemlere ait polinom katsayılarının derecelerinin artmasının doğruluk üzerinde pozitif bir etkisi yoktur. Bu durum aksine hesaplamada gereksiz verilerin kullanılmasına veya uygun olmayan enterpolasyonun uygulanmasına yol açabilmektedir [12,18,54].

4.3 Kriging Enterpolasyon Yöntemi

Bu yöntem Daniel Gerhardus Kriging tarafından geliştirilmiştir. Kriging yöntemi ilk olarak maden araştırmalarında, bu bölgelerdeki değişimlerin tahminlerinde kullanılmıştır. Kriging yöntemi birçok çalışmada olumlu sonuçlar ortaya koyarak kendisini kanıtlamıştır [5]. Kriging enterpolasyon yöntemi, enlem, boylam, ortometrik yükseklik ve elipsoidal yükseklik değerleri bilinen referans noktaları yardımıyla hesaplanacak noktaların optimum değerlerini tahmin edebilmektedir. Bu yöntemde tahmin edilecek parametrelerin temeli bir varsayıma dayandırılmaktadır. Bu varsayımda parametreler lokal değişkenler olarak alınmaktadır [12,18]. Bu sayede konumsal olarak ölçümü bilinen yakın noktalar yardımıyla ölçümü bilinmeyen noktaların ağırlıklı ortalama değerleri belirlenerek yapılmaktadır. Buradan da anlaşılacağı üzere bilinmeyen değişkenlerin tahmininde kullanılacak referans noktalarının konumu çok önemlidir. Değişkenler arasındaki bu konumsal ilişki, variogram veya kovaryans fonksiyonları yardımıyla sağlanmaktadır [12,18].

Kriging yönteminin en önemli özelliklerinden birisi de ağırlıkların, yapılacak tahminin hatası minimum olacak şekilde belirlenmesidir. Bu sayede ağırlıklar yansız olarak belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntem, yeryüzü üzerine yapılan araştırmalar için en sağlam lineer yansız hesaplayıcı (BLUE - Best Linear Unbiased Estimator) olarak da bilinmektedir. Kriging yöntemi yardımıyla, bilinmeyen noktalara ait geoit yüksekliklerinin hesaplanmasında kullanılan genel denklem (4.14)'te verilmektedir [12,53,54].

$$H(X_A) = \sum_{i=1}^n W_i H(X_i) \quad (4.14)$$

$H(X_A)$: X_A noktasının hesaplanacak geoit değeri

W_i : X_A 'nın hesaplanmasında kullanılacak $H(X_i)$ ' ye karşılık gelen ağırlık değerleri

H_i : X_A 'nın hesaplanmasında kullanılan referanslara ait ondülasyon değerleri

n : X_A 'nın hesaplanmasında kullanılan nokta sayısıdır.

Kriging yöntemleri çeşitli çalışma alanı ve mevcut verilerin yapısına bağlı olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Bu yöntemler;

- Simple Kriging
- Ordinary (Punctual) Kriging
- Universal Kriging
- Block Kriging
- Indicator Kriging
- Disjunctive Kriging
- Co- Kriging yöntemleri olarak sıralanmaktadır [5].

4.3.1 Ordinary ve Universal Kriging Enterpolasyon Yöntemi

Ordinary kriging enterpolasyon yöntemi; bir çalışma alanındaki ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkı minimum seviyeye getiren doğrusal kestirim metodudur. Bu yöntem doğrusal dağılımın olduğu ve dönüşüme ihtiyaç olmayan dağılımlar için kullanılmaktadır. Bu yöntem en sağlam doğrusal yansız kestirim yöntemi olarak da bilinmektedir. Doğrusal kestirim, ağırlık değerlerinin elimizde bulunan bilinmeyen değerleri ve elde edilen kestirim değerlerine direkt olarak uygulanması olarak bilinmektedir [5]. Kriging enterpolasyon yönteminde, W_i ağırlıklarının uygun şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu ağırlıklar;

$$\text{Var}[\hat{H}(X_A) - H(X_A)] \quad (4.15)$$

koşuluna bağlı olarak denklem (4.16) elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + \dots W_n\gamma(h_{1n}) &= \gamma(h_{1A}) \\ W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + \dots W_n\gamma(h_{2n}) &= \gamma(h_{2A}) \\ \vdots & \\ \vdots & \\ \vdots & \\ W_1\gamma(h_{n1}) + W_2\gamma(h_{n2}) + \dots W_n\gamma(h_{nn}) &= \gamma(h_{nA}) \end{aligned} \quad (4.16)$$

Ağırlık matrisleri lineer denklemler yardımıyla hesaplanmakta ve matrisler (4.17) denklemiyle ifade edilebilmektedir.

Çalışmalar da bilinmeyen noktalara uygulanacak olan enterpolasyonun tarafsız olabilmesi için denklem (4.17)'deki ağırlık toplamlarının 1'e eşit olması durumunda (4.15) denklemi, (4.18)'e dönüşmektedir [5].

$$\gamma W = \gamma_0 \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + \dots + W_n\gamma(h_{1n}) &= \gamma(h_{1A}) \\ W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + \dots + W_n\gamma(h_{2n}) &= \gamma(h_{2A}) \\ \vdots & \\ W_1\gamma(h_{n1}) + W_2\gamma(h_{n2}) + \dots + W_n\gamma(h_{nn}) &= \gamma(h_{nA}) \\ W_1 + W_2 + \dots + W_n &= 1 \end{aligned} \quad (4.18)$$

Denklem (4.17)'deki γ ; dayanak noktalarına ait variogram değerleri, W ; ağırlık bilinmeyenleri, γ_0 ; enterpolasyona girecek noktalar ile referans noktaları arasındaki variogram değerlerini ifade etmektedir.

$\text{Var}[H(X_A)] = \text{Var}[\hat{H}(X_A)]$ koşulu ile variogram fonksiyonu olarak denklem (4.19) elde edilmektedir. Denklem (4.19) dikkate alındığında ise denklem (4.20) elde edilmektedir.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[H(X_A) - H(X_A + h)]^2 \quad (4.19)$$

Tarafsızlık koşuluna göre, (4.19) denkleminin minimizasyonu, bir optimizasyon sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sorun Lagrange çarpanları yönteminin kullanılması ile sağlıklı bir şekilde ortadan kaldırılmaktadır. Buna göre bilinmeyen sayısının n olduğu düşünülürse ve bu sayının +1 fazlası kadar denkleme ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sonucunda denklem (4.20)'deki kriging sistemi elde edilmektedir [5].

$$\begin{aligned} E \left[H(X_A) - \sum_{i=1}^n W_i H(X_i) \right]^2 &= - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_i W_j \gamma(X_i - X_j) + \\ &2 \sum_{j=1}^n W_j \gamma(X_A - X_j) \end{aligned} \quad (4.20)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i \gamma(X_i - X_j) + \lambda = \gamma(X_A - X_j); j = 1, 2, \dots, n; \sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (4.21)$$

Denklem (4.21)'deki λ ifadesi Kriging sistemine ait çözümün tarafsız gerçekleşmesi için kullanılan Lagrange çarpanını temsil etmektedir. $\gamma(X_A - X_j)$ ifadesi ise X_A ve X_j noktalarının birbirine olan mesafeleriyle ilişkili olarak yarı variogramı (γ_{ij}) temsil etmektedir. Kriging sistemine ait bilinmeyen ve denklem sayılarının aynı olmasını sağlamak için hesaplamaya Lagrange çarpanları ilave edilmektedir. Bu çarpan sayesinde, gerçekleştirilen tüm gözlemleri ve mevcut şartların temsil edilmesinde bilinmeyen değer olarak ilave edilen eşitliklerdir. Bu duruma göre (4.18) denklemi (4.22)'deki gibi olmaktadır [12,18].

$$\begin{aligned} W_1 \gamma(h_{11}) + W_2 \gamma(h_{12}) + \dots + W_n \gamma(h_{1n}) + \lambda &= \gamma(h_{1A}) \\ W_1 \gamma(h_{21}) + W_2 \gamma(h_{22}) + \dots + W_n \gamma(h_{2n}) + \lambda &= \gamma(h_{2A}) \\ \vdots & \\ \vdots & \\ \vdots & \\ W_1 \gamma(h_{n1}) + W_2 \gamma(h_{n2}) + \dots + W_n \gamma(h_{nn}) + \lambda &= \gamma(h_{nA}) \\ W_1 + W_2 + \dots + W_n &= 1 \end{aligned} \quad (4.22)$$

Denklem (4.22) matris olarak ifade edilmek istendiğinde, denklem (4.23) şeklinde yazılabilmektedir.

$$\gamma W = \gamma_0 \quad (4.23)$$

Bu denklemde;

$$\gamma = \begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \dots & \gamma(h_{1n}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \dots & \gamma(h_{2n}) & 1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \\ \gamma(h_{n1}) & \gamma(h_{n2}) & \dots & \gamma(h_{nn}) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_A \\ \lambda \end{bmatrix} \quad \gamma_0 = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1A}) \\ \gamma(h_{2A}) \\ \vdots \\ \gamma(h_{nA}) \\ 1 \end{bmatrix}$$

olmak üzere bilinmeyenlerin ağırlık vektörü (W) (4.25) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$W = \gamma^{-1}\gamma_0 \quad (4.25)$$

Bu yöntemde kestirim hatalarına ait değerler hesaplanabilmektedir. Bu değerler kriging varyansının kullanılmasıyla elde edilmektedir. Kriging varyansı, kullanılan verinin miktarı ve sahadaki yeri ile ilişkilidir. Ancak gerçek değerden bağımsızdır. Bu nedenle varyans değeri, mevcut noktaların değerlendirilip, uygun noktaların tanımlanması için kullanılmaktadır [5,12]. Kriging yönteminde ağırlık değerlerinin bilinmesi durumunda, yeryüzündeki bir A noktasının geoit yüksekliği denklem (4.14) yardımıyla hesaplanabilmektedir [12,54]. Kriging yönteminde ağırlıklar iki şekilde hesaplanmaktadır. Bunlardan birincisi kovaryans fonksiyonlarıdır. İkincisi ise variogram fonksiyonlarıdır. Ağırlıkların hesaplanmasında genellikle variogram fonksiyonları kullanılmaktadır. Kriging yönteminde ağırlıklar ve referans noktalarının miktarı birbiri ile ilişkilidir. Bunun nedeni, ağırlıkların her nokta için elde edilmesidir [12,54]. Çalışma alanında konumları aynı olmayan A ve B noktalarının ağırlık değerleri birbirinden farklıdır. Bu durumun referans noktalarının aynı yada farklı olması ile hiçbir bağlantısı bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışma alanında ortometrik yükseklik değerleri belirlenecek olan noktalarda ayrı ayrı ağırlık hesaplanmalıdır.

Saha çalışmalarında bölgesel değişkenlerin aynı olmadığı görülebilmektedir. Bu duruma ek olarak değişkenlerin genel bir trende sahip olduğu görülebilmektedir. Mevcut verileri genel bir trende sahip olması ve bu durum dikkate alınarak sorunun Kriging yöntemi kullanılarak giderilmesi Universal Kriging yöntemi olarak ifade edilmektedir. Bu yöntemde model yüzeyi iki farklı şekilde tanımlanabilmektedir. Bu yüzeyin tanımlanmasında ilk olarak fourier serisi tercih edilmektedir. İkinci olarak polinomlar (1. veya 2. derece) tercih edilmektedir. Universal kriging enterpolasyon yöntemi iki farklı şekilde uygulanmaktadır [5,12].

İlk olarak, çalışma alanından bölge ile uyumlu olarak bir eğilim yüzeyi oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu yüzeye ait eğilim parametreleri elde edilmektedir. Daha sonra bu yüzey referans kabul edilerek ölçü değerleri ile geoit yüksekliklerine ait değerler arasındaki fark alınmaktadır. Elde edilen kalan farklar yardımıyla variogram modeli oluşturulmaktadır. Aynı zamanda bu fonksiyona ait bilinmeyen değerler bulunmaktadır. Daha sonra ordinary kriging enterpolasyon yöntemi uygulanmaktadır.

Sonuçta da en doğru yüzeyin elde edilebilmesi için eğilim değerleri ordinary kriging enterpolasyon yönteminden elde edilen sonuçlara eklenmektedir [5,53,58].

İkinci olarak ise çalışma alanında bilinmeyen eğilim parametreleri ordinary kriging enterpolasyon yöntemine sınırlandırıcı denklem olarak dahil edilmektedir. Bu sınırlandırıcı denklem drift modeli olarak ifade edilmektedir. Bu model eğilim yüzeyi ile benzerdir. Drift modelleri için genellikle (4.26) ve (4.27)'de bulunan polinom ifadeleri kullanılmaktadır [5].

$$D_A = a_1 y_i + a_2 x_i \quad (1. \text{ Derece}) \quad (4.26)$$

$$D_A = a_1 y_i + a_2 x_i + a_3 y_i x_i + a_4 y_i^2 + a_5 x_i^2 \quad (2. \text{ Derece}) \quad (4.27)$$

Mevcut polinomlar içerisinde birinci dereceden drift model kullanılacak olursa matrisler denklem (4.28)'deki gibi olmaktadır.

$$\gamma = \begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \dots & \gamma(h_{1n}) & 1 & y_1 & x_1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \dots & \gamma(h_{2n}) & 1 & y_2 & x_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma(h_{n1}) & \gamma(h_{n2}) & \dots & \gamma(h_{nn}) & 1 & y_n & x_n \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 \\ y_1 & y_2 & \dots & y_n & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & x_2 & \dots & x_n & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_A \\ \lambda \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad \gamma_0 = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1n}) \\ \gamma(h_{2n}) \\ \vdots \\ \gamma(h_{nA}) \\ 1 \\ y_A \\ X_A \end{bmatrix}$$

Ağırlıklara ilişkin bilinmeyenler matrisi denklem (4.29) yardımıyla hesaplanmaktadır. Tahmini yapılacak olan bir A noktasının, tahmini geoit değerine ait hatanın varyansı, (4.30) denklemi yardımıyla hesaplanmaktadır [5,58].

$$W = \gamma^{-1} \gamma_0 \quad (4.29)$$

$$\begin{aligned}\sigma_K^2 &= 2 \sum_{i=1}^n W_i \gamma(X_A - X_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_i W_j \gamma(X_i - X_j) \\ &= \sum_{i=1}^n W_i \gamma(X_A - X_i) + \lambda\end{aligned}\quad (4.30)$$

Son olarak çalışma alanındaki herhangi bir A noktasının enterpolasyon değeri denklem (4.14) yardımıyla hesaplanabilmektedir [5].

4.4 Multiküadratik Enterpolasyon Yöntemi

Günümüz çalışmalarında bilinmeyen noktalara ait geoit yüksekliklerinin hesaplanmasında bu yöntem sıklıkla kullanılmıştır. Yöntem 1971’de Hardy tarafından tavsiye edilmiştir [5,12].

Bu teknikte çalışma alanındaki tüm referans noktalarının kullanılmasıyla oluşturulacak bir eşitlik yardımıyla çalışma alanının en uygun şekilde tanımlanması amaçlanmaktadır. Bu yöntemde kringing yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Bu nedenle ilk olarak eğilim yüzeyinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu yüzeylerin elde edilmesinde bilinmeyen noktalara yakın referans noktaları tercih edilmektedir. Model yüzeyi için polinomlar (1. ve 2. derece) tercih edilmektedir [12,18,54]. Çalışma alanındaki herhangi bir noktaya ait koordinatlar kullanılarak geoit yükseklik değerleri (4.31) denklemi yardımıyla elde edilmektedir.

$$N(X, Y) = N_{trend} + \sum_{i=1}^n C_i [(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 \delta^2]^{1/2} \quad (4.31)$$

Denklem (4.31)’ de yer alan;

C_i : Bilinmeyen katsayı değerlerini

n : Dayanak noktalarının toplamını

δ : Geometrik parametreye ait bilgileri ifade etmektedir.

C_i : bilinmeyenlerin katsayı değerlerinin hesaplanmasında denklem (4.32) kullanılmaktadır [5].

Bölüm 5

Çalışmada Kullanılan Sistemler

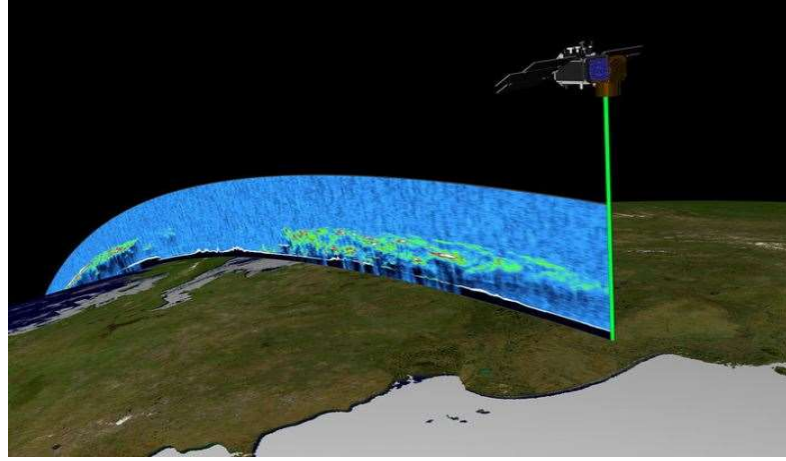
Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan ölçüm sistemlerine (ICESat-2/ATLAS, Havasal LİDAR, GNSS/CORS) ait genel bilgilerden bahsedilmektedir. Mevcut sistemlerin veri yapısı ve sistemlerin işleyiş prensiplerine ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

5.1 Fotogrametrik Sistemler

5.1.1 Uzaysal Tabanlı LİDAR Sistemi (ICESat-2/ATLAS)

Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından geliştirilen ilk uzaysal tabanlı LİDAR sistemi ICESat/GLAS (Geoscience Laser Altimeter System)'dir. Bu sistem tek dalga formu olma özelliğine sahiptir. ICESat/GLAS sisteminin asıl misyonu, buz tabakalarının izlenmesidir. Ayrıca bu duruma ek olarak, bitki örtüsü ve topoğrafya ya ait verilerde toplamıştır. Bu sistem yardımıyla, 1064'nm lik lazer enerji dalga formları, 40 Hz tekrarlama frekansına sahip ve çapı 70 metreye yaklaşan ayak izi şeklinde veri setleri elde edilmiştir. ICESat/GLAS sisteminin dünya yörüngesindeki hareketi şekil 5.1'de gösterilmektedir [59-61].

2003 yılında kurulmuş olan bu sistem 2009 yılına kadar görevini başarıyla tamamlamıştır. Ardından yerini halefi ICESat-2 / ATLAS (Advanced Topographic Laser Altimeter System) LİDAR sistemine bırakmıştır. ICESat-2 / ATLAS sistemi Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi tarafından 15 Eylül 2018' de yörüngeye gönderilmiştir. ICESat-2 / ATLAS LİDAR sistemi, bilim insanlarına buzullar, deniz buzu, ormanlar ve çok daha fazla alandan 3 boyutlu veriler sağlamaktadır. Bu sayede arazi üzerinde meydana gelen değişimler izlenmektedir [59,61].



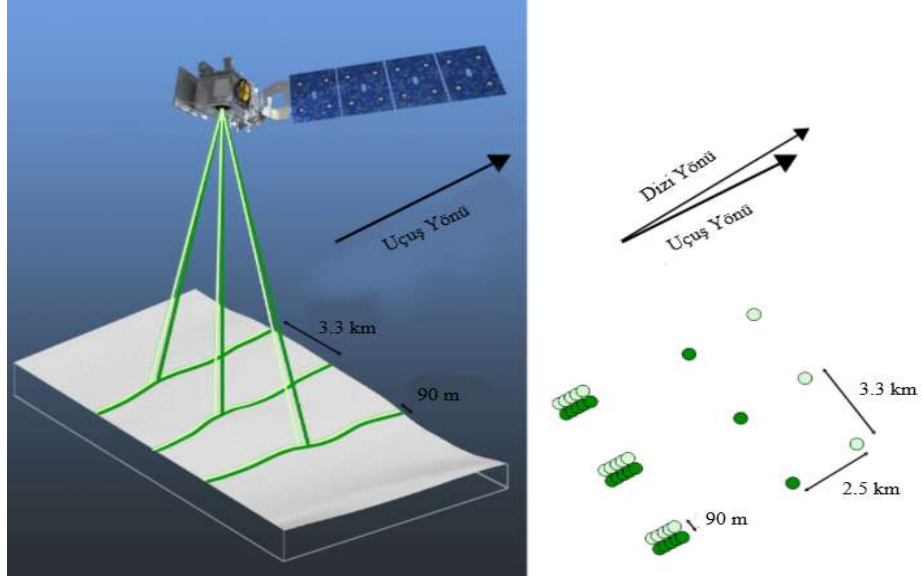
Şekil 5.1: ICESat / GLAS sisteminin dünya yörüngesindeki hareketi [62]

ICESat-2 uydusunun kendisine ait dört bilimsel görevi bulunmaktadır [60,61].

ICESat-2 uydusuna ait bu görevler;

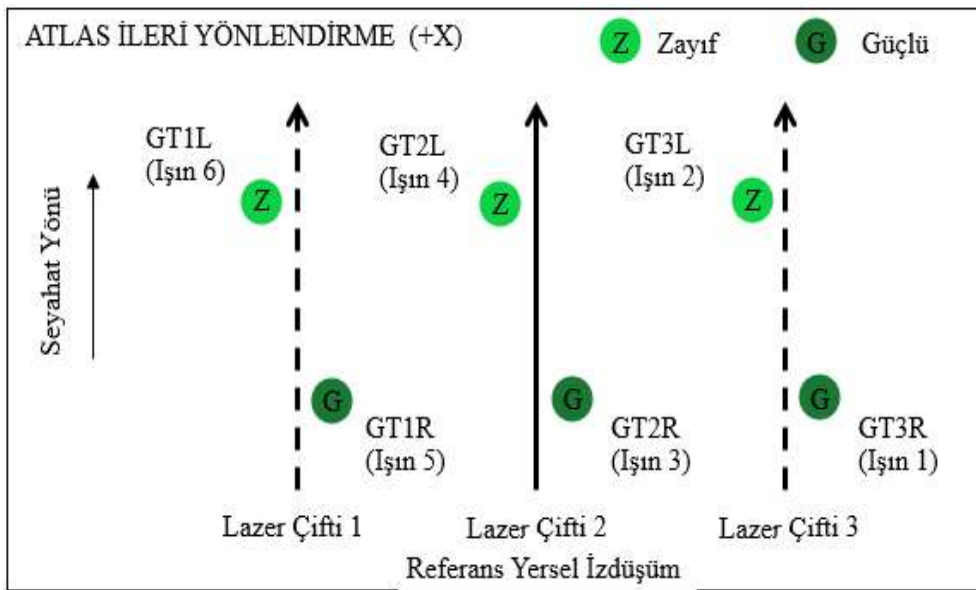
- Eriyen buz tabakalarını ölçmek ve bu durumun deniz seviyesindeki yüksekliğe olan etkisini araştırmak
- Buz tabakalarının ve buzullar da meydana gelen kütle değişimlerini ölçmek ve araştırmak
- Deniz buzundaki kalınlığı ölçmek ve araştırmak
- Dünya çapındaki ormanların ve ekosistemi oluşturan diğer bitki örtüsüne ait yükseklikleri ölçmek olarak sıralanmaktadır.

ICESat-2 uydusu ATLAS adı verilen tekli foton sayma sistemi ile donatılmıştır. Bu sistem, 532 nm dalga boyunda ve 10 kHz tekraralama hızına sahiptir. ATLAS cihazının tekli foton sayma özelliği sayesinde, bir fotonun ATLAS cihazından Dünya'ya gidiş-dönüş süresi ölçülebilmekte ve fotona ait jeodezik enlem ve boylam değerleri elde edilmektedir. ATLAS cihazı dünyanın yörüngesindeki hareketi sırasında 17 m genişliğinde sağ ve sol olmak üzere üç çift lazer darbesi göndermektedir. Her bir lazer ışın çifti arasında 3.3 km ve her çift kendi içinde 90 m' lik mesafedir. Her bir lazer ışını bulunduğu konuma göre isimlendirilmektedir. Lazer darbeleri içerisinde en solda olan (GT1L) ve en sağda olana (GT3R) ismi verilmektedir. ICESat-2 / ATLAS sistemi ve bu sistemin dünya yörüngesindeki hareketi şekil 5.2' de gösterilmektedir [61,63,64].



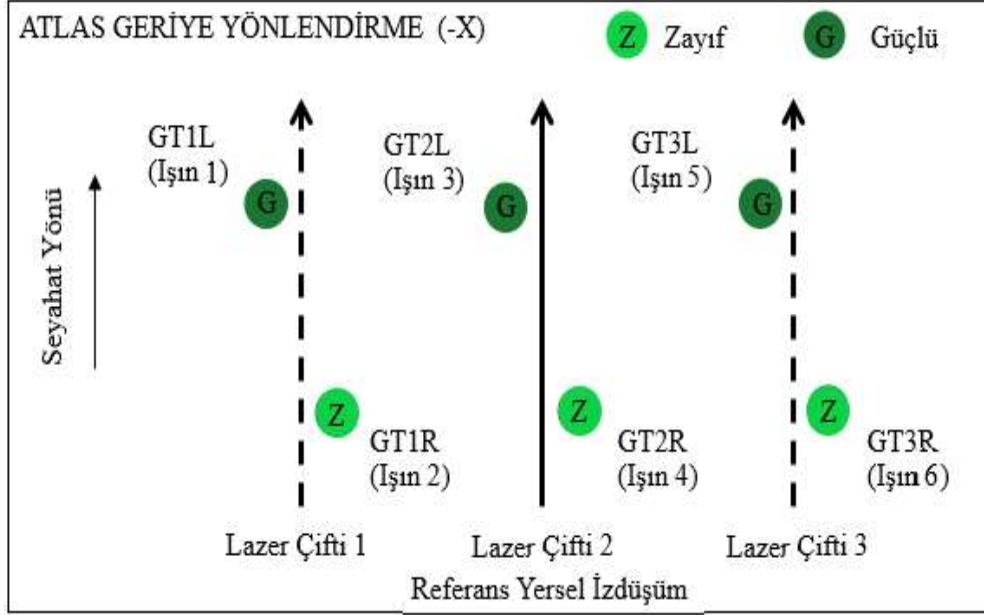
Şekil 5.2: ICESat-2 /ATLAS sisteminin dünya yörüngesindeki hareketi [64]

ATLAS cihazının sahip olduğu ışın çiftleri, güçlü ve zayıf ışıklardan oluşmaktadır. Zayıf ışınlarla güçlü ışınlar arasında 1:4' lük bir oran söz konusudur. Güçlü ve zayıf ışın çiftleri, hareket yönlerine (İleri – Geriye) göre birbirlerine öncülük etmektedir. ATLAS cihazı ileri yönlendirmede, +x koordinatı boyunca hareket etmektedir. Bu yönlendirmede, zayıf ışınlar güçlü ışıklara şekil 5.3'deki gibi öncülük etmektedir [63,64].



Şekil 5.3: ATLAS cihazı ileri yönlendirme (+X) [64]

ATLAS cihazı geriye yönlendirmede, -x koordinatı boyunca hareket etmektedir. Bu yönlendirmede, güçlü ışınlar zayıf ışınlar şekil 5.4'deki gibi öncülük etmektedir [64].



Şekil 5.4: ATLAS cihazı geri yönlendirme (-X) [64]

ATLAS cihazı tarafından gönderilen ışının, dünya ya geliş ve gidiş süreleri, ICESat-2 uydusunun durumu ve ışının dünya üzerinde deyip yansıdığı yüzey bilgileri birleştiğinde yeryüzü hakkında enlem, boylam, elipsoidal yükseklik ve zaman gibi değerli bilgiler sunmaktadır [61,64].

Tablo 5.1: ICESat-2 / ATLAS veri listesi [61]

Veri Kodu	Veri İçeriği
ATL00	Telemetri Verileri
ATL01	Yeniden Formatlanmış Telemetri
ATL02	Bilimsel Birime Dönüştürülmüş Telemetri
ATL03	Global Coğrafi Konumlu Foton Verileri
ATL04	Ayarlanmamış Geri Yansıma Profilleri
ATL06	Arazi Buz Yüksekliği

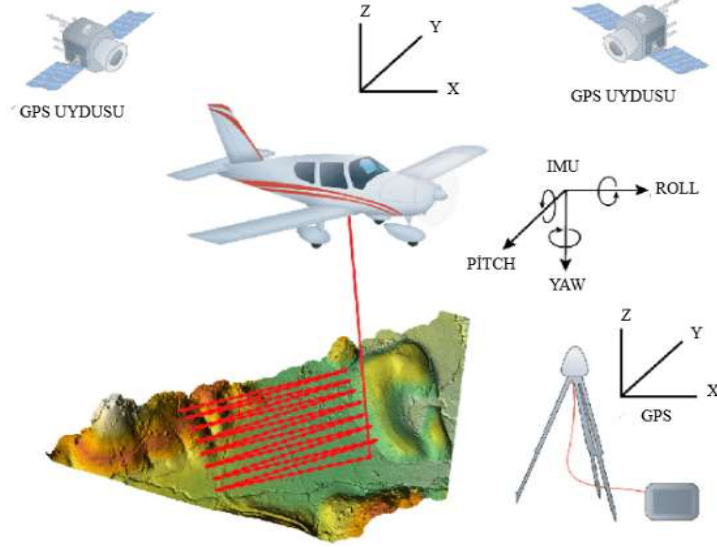
Tablo 5.1 (devamı): ICESat-2 / ATLAS veri listesi [61]

ATL07	Arktik / Antarktika Deniz Buz Yüksekliği
ATL08	Arazi Su Bitki Örtüsü Yüksekliği
ATL09	Kalibre Edilmiş Geri Yansıma ve Bulut Özellikleri
ATL10	Arktik / Antarktika Deniz Buzulları Tam Yüksekliği
ATL11	Antarktika / Grönland Buz Tabakası H(t) Serisi
ATL12	Okyanus Yüksekliği
ATL13	İç Suların Yüksekliği
ATL14	Antarktika / Grönland Buz Tabakası H(t) Gridli
ATL15	Antarktika / Grönland Buz Tabakası dh / dt Gridli
ATL16	ATLAS Haftalık Atmosfer
ATL17	ATLAS Aylık Atmosfer
ATL18	Gridli Arazi / Kanopi
ATL19	Ortalama Deniz Yüzeyi (MSS)
ATL20	Arktik / Antarktika Gridli Deniz Buzu Tam Yüksekliği
ATL21	Kuzey Kutbu / Antarktika Gridli Deniz Yüzeyi Yüksekliği

ICESat-2 / ATLAS sisteminin dünya yörüngesindeki hareketi sırasında topladığı tüm veriler Global Coğrafi Konumlu Foton Veri (ATL03) setinde toplanmaktadır. Bu veri seti, ICESat-2 uydusuna ait parametreleri ve tüm foton verilerini kapsamaktadır. Ayrıca, dünya üzerinden verilerin toplanması sırasında gerekli olmayan (gürültü fotonları vb.) veriler de bu veri seti içerisinde bulunmaktadır. Tablo 5.1’de verilen tüm veri grupları ATL03 veri seti içerisindeki dağılımı göstermektedir [59-64].

5.1.2 Havasal LİDAR Sistemi (Airborne LİDAR)

LİDAR, lazer ışınları yardımıyla fiziksel yeryüzü üzerindeki bir yüzey veya yüzey üzerindeki bir cismin mesafesinin ölçülmesinde kullanılmaktadır [65]. İlk LİDAR sistemi 1960’ların sonlarında keşfedilmiştir. Ancak bu sistem ilk olarak şekil 5.5’ deki gibi hava araçlarına monte edilmiştir. Ancak 1980’lere kadar etkin bir şekilde kullanılamamıştır.



Şekil 5.5: Havasal LİDAR sistemi [73]

1980’lerde teknolojiye yaşanan önemli gelişmelerle birlikte Küresel Konumlama Sistemi (GPS) ve Ataletsel Ölçüm Birimi (IMU) keşfedilmiştir. Keşfedilen bu sistemler, LİDAR sistemlerine entegre edilerek birlikte kullanılmıştır. Bu entegrasyon sayesinde, ölçümde kullanılan platformun GPS ile konumları kaydedilirken, IMU ile uçağın havadaki durumu göz önünde bulundurularak ölçülen objenin konumu hesaplanmaktadır. Bu üç sistemin entegrasyonunun sonucunda ise yüksek doğrulukta veriler elde edilmektedir [65,66].

Bu teknoloji sayesinde, dünya yüzeyine lazer ışınları gönderilmekte ve bu duruma bağlı olarak yüzey hakkında 3 boyutlu (X,Y,Z) bilgiler elde edilmektedir. LİDAR sistemi, bu verileri basit bir ölçme prensibine göre elde etmektedir. Bu ölçme prensibi, dünya üzerine gönderilen lazer ışınlarının gidiş ve dönüş sürelerinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Lazer ışınlarının, hareketleri sırasında geçen süre ise uçuş süresi olarak ifade edilmektedir[67-72].

LİDAR sistemleri, fonksiyonel olarak havasal ve yersel olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Havasal LİDAR sistemleri, uçak, helikopter ve drone gibi hava araçlarına monte edilmektedir [67,71]. Bu sistemler ile aktif ölçüm yapılırken, sistemden gönderilen lazer ışınlarının ölçülen yüzeye gidiş – dönüşü süresince gittiği mesafenin ölçüm değerini vermektedir. Drone platformu altına monte edilmiş LİDAR sistemi şekil 5.6’da gösterilmektedir [67,71].



Şekil 5.6: Drone platformu altına monte edilmiş LİDAR sistemi [73]

Yersel LİDAR sistemleri ise, havasal LİDAR sistemlerinden farklı olarak yeryüzündeki verileri toplamak için sabit tesisler veya hareketli platformlar (araba vb.) üzerine kurulmaktadır. Bu sistemlerin veri toplama prensibi havasal LİDAR sistemleri ile aynıdır. İki sistem arasındaki tek fark LİDAR cihazlarının monte edildiği platformlardır. Sabit ve hareketli platformlar üzerine monte edilmiş LİDAR sistemleri şekil 5.7(a) ve şekil 5.7(b)'de gösterilmektedir [69,70,73].



(a)



(b)

Şekil 5.7: LİDAR sistemleri, a) Yersel lazer tarama sistemi [74], b) Mobil lazer tarama sistemi [75].

LİDAR sistemleri, diğer ölçüm sistemi ile kıyaslandığı zaman çok önemli avantajlara sahiptir. Bu avantajları hız, doğruluk, esneklik ve güvenlik olarak sıralanmaktadır. LİDAR sistemleri, saniyede milyonlarca veri toplayabilme kabiliyetine sahiptir.

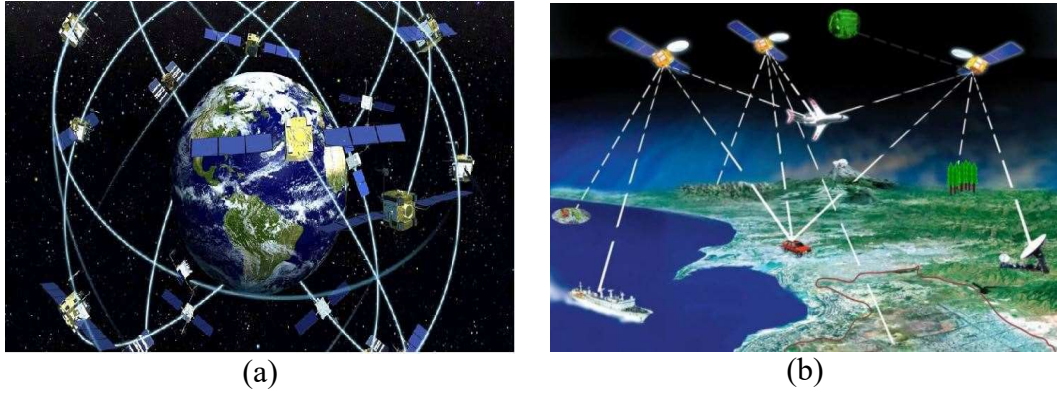
Bu sayede büyük ölçekli alanlardan veri toplama işlemleri çok daha kısa sürmektedir. LİDAR sistemleri gönderdiği noktalar arasındaki yoğunluğu arttırarak daha sık veriler toplamaktadır. Bu durum elde edilen sonuçların hassasiyetinin yüksek düzeyde olmasına kolaylık sağlamaktadır [65-67]. Bu sistemler, arazi ölçümleri sırasında ölçümü yapılacak yüzeyin coğrafi yapısına uygun olacak şekilde kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca bu sistemler gündüz ya da gecenin herhangi bir saatinde veri toplamaya uygun şekilde tasarlanmıştır. Geçmişte LİDAR sistemleri uçak ve helikopter tipi platformlara entegre edilerek kullanılmaktaydı. Ancak yüksek maliyetleri sebebiyle çok fazla talep görmüyordu. Günümüz teknolojisi ile birlikte bu sistemler daha kompakt ve hafif olarak geliştirilmiştir. Bu durum, yüksek maliyetleri azalmasına ve havasal LİDAR sistemlerine olan talebin artmasına olanak sağlamıştır [67-71]. Hava LİDAR sistemleri, günümüz ihtiyaçları doğrultusunda pek çok alanda etkili olarak kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; altyapı, tarım, ormancılık, madencilik, inşaat mühendisliği araştırmaları ve çevresel araştırmalar olarak sıralanmaktadır [67-71].

Literatürde bu sistemlerin kullanımına ilişkin çalışmalara bakıldığında; Baltsaviyas [68]'da coğrafi şartların zorlu ve GNSS ölçme sistemleri ile yerinde ölçüm yapmanın mümkün olmadığı ağaç popülasyonunun fazla olduğu bir bölgeden havasal LİDAR sistemleri yardımıyla veriler toplanmış ve bu verileri kullanarak bölgeye ilişkin yükseklik modellerini hazırlamıştır. Hodgson [69]'da orman ekosisteminde yapmış olduğu çalışmasında havasal LİDAR sistemleri kullanarak veriler toplanmış ve ağaç popülasyonuna ait türleri gruplandırmıştır. Raber ve diğ [70] ile Meng ve diğ. [71] orman ekosistemlerindeki vejetasyona ait yükseklik değerleri yardımıyla bölgeyle alakalı hacim hesapları yapmışlardır. Havasal LİDAR sistemleri kullanılarak coğrafi şartların zorlu olduğu engebeli bir alandaki yükseklik değişimleri araştırılmıştır [72]. Sonuç olarak geçmişten günümüze kadar olan yapılan çalışmaların birçoğunda havasal LİDAR sistemlerinin performans, hız, zaman ve yüksek doğruluk gibi sahip olduğu avantajlar sayesinde daha fazla tercih edildiği görülmektedir.

5.2 Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS/GNSS)

Gps sistemi, uydulardan gönderilen sinyaller yardımıyla, yeryüzündeki herhangi bir noktanın konumu hakkında detaylı bilgiler sunan bir sistemdir.

Bu sistemler tüm hava ve coğrafi şartlar altında çalışma özeliğine sahiptir. Aynı zamanda bu sistemler kullanıcılara hız ve zaman bilgisi sunabilmektedir [1-3]. GPS sistemi birçok avantaja sahiptir. Bu avantajlardan en önemlisi sistemin maliyetinin çok uygun olmasıdır. Sistemin diğer önemli avantajı ise, arazideki ölçümü yapılacak noktalar arasında mesafe kısıtlamasının olmamasıdır [4,5,12]. Bu sistemlerin toplam uydu ağı sayısı 24'tür. Uydular 6 yörüngeye, en az 4 uydu ile bağlantı kurulabilecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5.8(a)). Uyduların dünya yüzeyine olan mesafeleri ortalama 20200 km'dir [5,12]. GPS sistemleri üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümüdür (Şekil 5.8(b)).



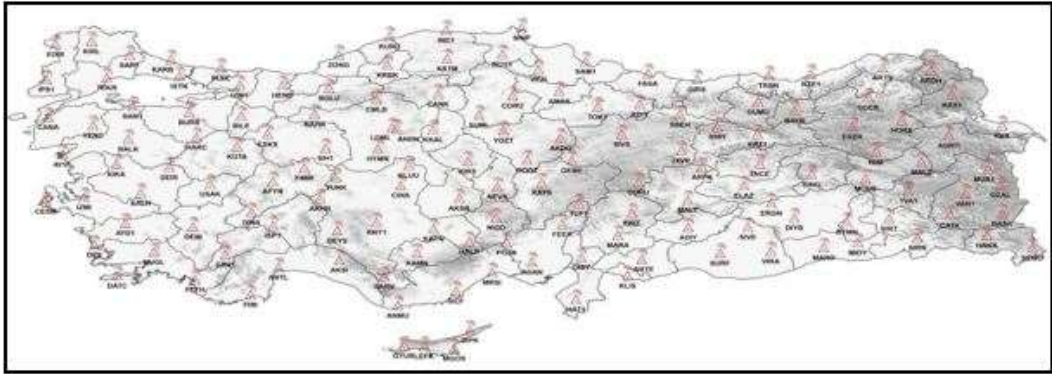
Şekil 5.8: GPS sistemi, a) GPS uyduları, b) GPS sistemi bileşenleri [56].

İlk zamanlarda askeri amaçlı kullanılan bu sistem artık hayatımızın hemen hemen her alanında yer almaktadır. Acil durum hizmetleri gibi hayati alanlarda ya da özel ve kamu sektörlerine ait çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu teknoloji özellikle haritacılık faaliyetlerinde vazgeçilmez olmuştur [1]. Önceleri GPS teknolojisinde, Klasik RTK yöntemi kullanılmıştır. Bu sayede nokta konumları cm mertebesi gibi yüksek doğrulukta belirlenebilmektedir [1,3]. Ancak bu doğruluğun Klasik RTK yönteminin dezavantajı olan mesafe ile ters orantılı olduğu görülmüştür. Bu nedenle yöntemin uygulanmasında mesafe limitinin maksimum 10 km olması gerektiği belirtilmiştir [3,4]. Klasik RTK yönteminin mesafe dezavantajına sahip olması, serbest bir yöntem olan çoklu sabit istasyon kurulum düşüncesini ortaya çıkarmıştır [3,5].

Bu durum, jeodezik çalışmalarda yüksek doğruluklu veriler toplayabilecek ve anlık konum belirlemede kullanılacak TUSAGA-Aktif (CORS-TR) sisteminin diğer adıyla Ağ-RTK (Net-RTK)'nin ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur [3,5]. Ağ-RTK sistemiyle referans istasyonu ile gezici arasındaki mesafe problemi ortadan kalkmıştır. Sistemin sahip olduğu çoklu referans istasyonu sayesinde, çalışma alanından elde edilen verilerden atmosferik modelleme yapılabilmektedir. Bu sayede, GPS sistemleri tarafından elde edilen verileri önemli ölçüde etkileyen iyonosfer ve troposfer hataları en aza indirgenmektedir [3].

5.2.1 Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı (TUSAGA-Aktif / CORS-TR)

TUSAGA-Aktif sistemi, kamu kurumlarının ortak çalışması sonucunda oluşturulan ancak yönetimi TKGM'de bulunan aktif bir CORS ağıdır. Bu sistem 2008 yılında kurulmuştur. Sistemde durmaksızın gözlem yapan referans istasyon sayısı 158'dir. Bu sayı aynı zamanda Türkiye ve KKTC'deki toplam istasyon sayısını ifade etmektedir. Bu sistemin kontrolü iki ayrı merkez yardımıyla sağlanmaktadır [77]. Türkiyede referans istasyonları, aralarında 80-100 km'lik mesafeler olacak şekilde tesis edilmiştir (Şekil 5.9) [3,77]. 2008 yılında hayata geçirilen bu sistem, 2014 yılında tüm teknik donanımlarıyla birlikte yenilenmiştir. TUSAGA-Aktif sistemi kurulduğu günden bugüne kadar özel veya kamu alanında yapılan pek çok uygulamada aktif olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.9: TUSAGA-Aktif istasyonları [77]

TUSAGA-Aktif sistemi kapsamında kurulan kontrol merkezleri, genel ve yardımcı merkezler olmak üzere 2 sınıfa ayrılmıştır. Genel merkez, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne tesis edilmiştir (Şekil 5.10). Yardımcı merkezler ise Harita Genel Müdürlüğünde olacak şekilde tesis edilmiştir [77,78].



Şekil 5.10: TUSAGA-Aktif genel merkez odası

TUSAGA-Aktif istasyonlarının kurulacağı bölgelerin seçiminde çeşitli kriterler dikkate alınmaktadır. Öncelikle kurulacak zemin kesinlikle sağlam olmalıdır. İstasyonun çalışabilmesi için bölgenin gerekli elektrik altyapısına sahip olması gerekir. Referans istasyonunun alıcı ve genel merkez ile iletişiminin sağlanabilmesi için yeterli telefon veya internet altyapısına sahip olması gerekmektedir. Referans istasyonu ve bu istasyona bağlı ekipmanların her türlü çevresel etkiye karşı korunabilmesi için korunaklı bir mekana sahip olması gerekmektedir. Son olarak referans istasyonlarına her türlü bakım ve onarım hizmetlerinin sağlanabilmesi için ulaşımına müsait bölgelerin seçilmesi gerekmektedir [77,78].

TUSAGA-Aktif istasyonları, coğrafi koşullara uygun olarak iki farklı zemin üzerine tesis edilmiştir. Birincisi, toprak zemin üzerinde bulunan beton yer pilyeleridir (Şekil 5.11(a)). İkincisi, genellikle bina çatı ve teraslarında bulunan dış yapısı galvaniz kaplı çelik pilyelerdir (Şekil 5.11(b)) [77].



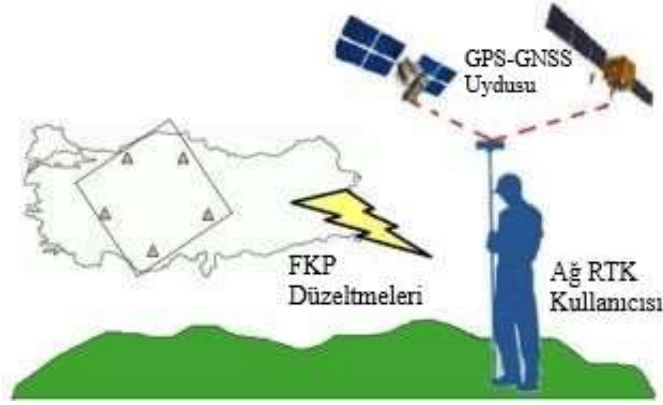
Şekil 5.11: TUSAGA-Aktif istasyonları a) Beton yer pilyesi, b) Çelik pilye [77]

Fiziksel uygulamalarda sahadaki herhangi bir noktanın koordinat ve zaman bilgisi TUSAGA yardımıyla elde edilmektedir. Bu işlemde ilk olarak arazi kullanıcısının istediği noktanın konum ve zaman bilgileri, çalışma alanına en yakın referans istasyonları yardımıyla belirlenmektedir. İstasyonlar topladıkları bu bilgileri genel merkezdeki ana sisteme göndermekte ve düzeltme değerleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan düzeltme miktarları referans istasyonlarından toplanan konum ve zaman verilerine uygulanmaktadır. Daha sonra elde edilen sonuçlar güncel iletişim kanalları yardımıyla konum ve zaman bilgilerini arazi kullanıcısı ile paylaşmaktadır. TUSAGA-Aktif sisteminin çalışma prensibi şekil 5.12’de detaylı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.12: TUSAGA-Aktif sisteminin çalışma prensibi [77]

CORS-Tr sistemiyle, nokta konumlarının gerçek zamanlı olarak belirlenebilmesi için üç düzeltme tekniği kullanılmaktadır. Bu teknikler FKP (Flachen Korrektur Parameter), VRS (Virtual Reference Stations) ve MAC (Master Auxiliary Concept) olarak sıralanmaktadır. FKP düzeltme tekniği, CORS ağları içerisinde yer alan her bir referans istasyonuna ait atmosferik ve taşıyıcı faz düzeltmelerinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen düzeltme değerleri gezici tarafından kullanılabilir. Bu yöntem iki önemli kolaylığı beraberinde getirmiştir. Birincisi, kullanıcı sayısının az ya da fazla olması önemli değildir. İkincisi ise; bu yöntemde geziciye ait konum bilgilerinin herhangi bir önemi olmamasıdır. FKP düzeltme tekniğinin çalışma prensibi şekil 5.13’de gösterilmektedir [3,77].

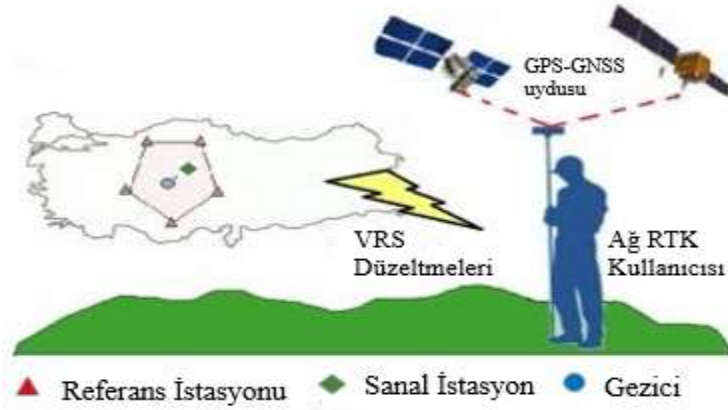


Şekil 5.13: FKP düzeltme tekniği [3]

FKP düzeltme tekniğinde, her bir referans istasyonundan elde edilen veriler hesap merkezinde toplanmaktadır. Ek olarak, toplanan tüm verilerin analiz işlemleri bu merkezde yapılmaktadır. Hesap merkezlerinden yayınlanan referans verileri ve iyonosferik düzeltme değerleri tek yönlü bir iletişim yardımıyla gezicilere iletilmektedir. Gezici, düzeltme değerlerini referans istasyonlarının herhangi birinden almaktadır. Ayrıca çift taraflı haberleşme yardımıyla seçilen referans istasyonu merkez olarak kabul edilmektedir [3,77,78].

VRS düzeltme tekniğinde, gezici ile CORS ağındaki kontrol merkezi arasında çift taraflı iletişim bulunmaktadır. Gezici tarafından toplanan yaklaşık koordinatlar kontrol merkezine gönderilmektedir. Merkezde toplanan tüm bilgiler değerlendirilerek gezicinin konum bilgileri için VRS referans bilgileri elde edilmektedir.

Bu yöntemde geziciye yakın bir noktada sanal referans istasyonu oluşmaktadır. Bu sayede, düzeltme verileri geziciye gönderilmektedir [3]. VRS düzeltme tekniği çok önemli bir avantaja sahiptir. Bu sistemde, CORS ağı içerisinde herhangi bir referans istasyonunda problem olması durumunda, sistem herhangi bir sekteye uğramadan düzeltme değerleri diğer referans istasyonlarına ait veriler yardımıyla hesaplanmaktadır. Şekil 5.14'te VRS tekniği gösterilmektedir [3,58,79].



Şekil 5.14: VRS düzeltme tekniği [3]

MAC düzeltme tekniğinde, CORS ağı içerisinde yer alan referans istasyonlarından birisi merkez istasyon ve diğer referans istasyonlarının yardımcı istasyon olarak kabul edilerek gezicinin konumunun belirlenmesine dayanmaktadır. Gezici ile merkez istasyon arasındaki mesafenin hiçbir önemi yoktur. Bu yöntemde asıl önemli olan unsur gözlemlerde aynı uyduların kullanılmasıdır. Merkez istasyonunun düzeltme hesaplamalarında hiçbir rolü bulunmamaktadır. Asıl görevi, yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen düzeltmelerin yayınlanmasıdır [58,77]. MAC tekniğinde belirlenen merkez istasyonda herhangi bir problem oluşması durumunda, görevini diğer yardımcı istasyonlardan birisi tamamlamaktadır. Şekil 5.15'de MAC tekniği gösterilmektedir [3]. Sonuç olarak; bu üç düzeltme tekniği içerisinde en uygun olan yöntem VRS düzeltme tekniğidir. Bu durumun en önemli sebebi, FKP ve MAC düzeltme tekniklerinin sahip oldukları dezavantajlardır. Bunlardan birincisi, FKP düzeltme tekniğinde iyonosferik etkiden dolayı ortaya çıkan hata parametrelerinin hesaplanmasında olanaklarının sınırlı olmasıdır [79-81].

İkincisi ise, MAC düzeltme tekniğinde iyonosfer ve troposferden kaynaklanan hata parametrelerinin belirlenmesinde 15 dakika veya daha uzun sürmesidir [79-81].

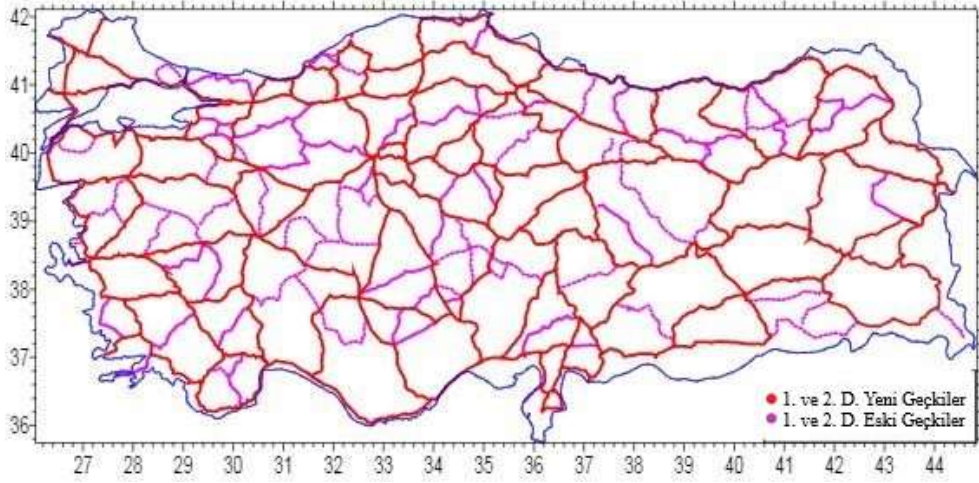


Şekil 5.15: MAC düzeltme tekniği [3]

5.2.2 Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı (TUDKA)

Ülkemizde geçmişten günümüze kadar pek çok nivelman ağı oluşturulmuştur. Bu nivelman ağlarının en sonuncusu TUDKA-99'dur. TUDKA-99'un oluşturulmasına ilişkin düşünceler, geçmişte kurulan ağların zarar görmesi ya da kullanılmayacak durumda olması sebebiyle ortaya çıkmıştır. TUDKA-99 saha ve ofis uygulamaları olmak üzere iki farklı çalışma sonucunda oluşturulmuştur. Saha çalışmalarında güncel nivelman ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlere ek olarak yeni geçkiler oluşturulmuştur. Ofis uygulamalarında, yapılan ölçümler ve oluşturulan geçkiler TUDKA-99'dan önceki ağ olan TUDKA-92'ye ilave edilmiştir. Yapılan tüm işlemler bilgisayar ortamının kontrol edilmiştir. Eski TUDKA-92'ye ilave edilen tüm veriler kullanılarak dengeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda TUDKA-99 oluşturulmuştur (Şekil 5.16). Ağın oluşturulması sırasında yapılan dengelemelerde herhangi bir hata yaşanmaması için bazı önlemler alınmıştır. İlk olarak, geçkilerde gerçekleştirilen ölçümler sırasında kullanılan ölçüm makinaları ve doğal koşullardan dolayı oluşabilecek problemlerin önüne geçilmesine dikkat edilmiştir. [47,82].

İkinci olarak, ağıdaki noktalara ait yüksekliklerin hangi referans yüzeyine göre belirleneceğine karar verilmiştir. Çalışmada ölçüm makinalarından doğabilecek problemlere karşı düzeltme miktarları hesaplanmıştır. Ancak bu durum doğal koşullardan dolayı oluşabilecek problemler için geçerli olmamıştır. Bunun en önemli sebebi olarak fazladan veri ve bu verilerin toplanmasında daha fazla ölçüme gerek duyulmuş olmasıdır [82,83].



Şekil 5.16: Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99) [47]

TUDKA'nın dengelenmesinde jeopotansiyel yükseklik değerlerinden elde edilen farklar kullanılmıştır. Ancak bu farkların elde edilebilmesi için iki farklı ölçüme ait değerlerin bilinmesi gerekmektedir. İlk olarak geçkiler arasında nivo yardımıyla ölçülen yükseklik değerleri bilinmelidir. İkinci olarak bu geçkilerde gerçekleştirilen gravite ölçümlerine ait değerler bilinmelidir. Nivelman geçkilerini birbirine bağlayan noktalar içerisinde herhangi A ve B noktaları arasındaki jeopotansiyel sayı farkları (5.1) denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu noktalara ait ağırlık değerlerinin hesaplanmasında ise denklem (5.2) kullanılmaktadır [47].

$$\Delta C_A = \sum_{k=1}^K \Delta C_K \quad , \Delta C_K = \bar{g}_k \delta n_k \quad (5.1)$$

Burada;

ΔC_A : A noktasındaki jeopotansiyel sayı

ΔC_K : Jeopotansiyel sayı farkları toplamı

\bar{g}_k : Fiziksel yeryüzünde bulunan A ve B noktaları arasındaki ortalama gerçek gravite değeri

δn_k : Fiziksel yeryüzü üzerindeki iki noktanın yükseklik farkını (geometrik nivelman) ifade etmektedir.

$$P_L = \frac{200}{t^2 S_L} \quad (5.2)$$

Burada;

P_L : L noktasındaki ağırlık değeri

t: Nivelman geçkisindeki noktaların yükseklik farklarının standart sapma değeri (1km)

S_L : Nivelman geçkisinin uzunluğudur. (km)

TUDKA'da gerçekleştirilen ölçüm çalışmalarında başlangıç verisi olarak için düşey datum verileri kullanılmıştır. Bu veriler Antalya ilindeki mareograf istasyonundan temin edilmiştir.

Çalışmada kullanılacak değerler bu istasyondaki 36 yıllık verilerin ortalamasının alınmasıyla elde edilmiştir. Yapılan ölçümler sırasında kullanılan başlangıç verilerinden dolayı bir takım sapmaların olabileceği dikkate alınmıştır. Aynı zamanda sapmaların ölçümü yapılan noktalara da yansıtacağı bilinmektedir. Bu sebeple noktalardaki sapma miktarları belirlenmiştir. Daha sonra noktalara sapma miktarları kadar düzeltme getirilmiştir [47,83].

Avrupada yüksekliklerin kontrolü için iki farklı yükseklik ağı oturulmuştur. Bu ağların oluşturulmasında iki farklı yükseklik sistemi tercih edilmiştir. Bunlardan birincisi normal yüksekliklerdir. İkinci olarak bizim ülkemizde de kullanılan ortometrik yüksekliklerdir. Türkiyede yüksekliklerin belirlenmesinde referans olarak geoit kullanılmaktadır [47,82,83].

5.2.3 Türkiye Ulusal Geoid Modeli 2020 (TG20)

Türkiye geoidi 2020 (TG20), HGM önderliğinde ülkemizdeki pek çok resmi kurumun ortak çalışması sonucunda 2015 yılında başlanmış ve 2020 yılının bitimine yakın bir dönemde başarılı bir şekilde oluşturulmuştur [84]. TG20'nin oluşturulmasının temel sebepleri şu şekilde sıralanmaktadır.

- TUDKA'ya ait yükseklik noktalarının zarar görmesi ve birçoğunun zamanla kullanılamaz durumda olması
- Yeryüzünde meydana gelen doğal veya yapay değişimler sebebiyle yaşanan mevcut yükseklik (nivelman) noktalarına ait konum bilgilerinin değişmesi
- Türkiyede oluşturulan geoid modellerinin ve bu modellerin oluşturulmasında kullanılan verilerin (gravite ve GNSS/Nivelman) yeterli doğruluk ve çözünürlüğe sahip olmaması
- Günümüzde resmi ya da özel sektör uygulamalarında TUDKA'dan elde edilen sonuçlarda sorunların yaşanması ve olumsuz geri dönüşlerin alınması
- TUDKA sisteminin günümüz çalışmalarında etkin bir role sahip TUSAGA-Aktif gibi sistemlerle eş zamanlı olarak çalışmaması [84]

TG20 referans verisinin oluşturulmasında üç farklı veri setinden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. İlk veri seti için gerekli bilgiler, yeryüzü üzerinde güncel olarak yapılan GPS nivelman ölçümleri sonucunda elde edilmiştir. Aynı zamanda bu noktalarda gravite ölçümleride yapılmıştır. İkinci veriseti olarak global jeopotansiyel modellerden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Üçüncü ve son olarak bölge için yeni oluşturulmuş sayısal yükseklik modellerinden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Tüm işlemler sonucunda elde edilen veriler bir araya getirilerek TG20 oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan geoid modelin doğruluğu test edilmiştir.

Güncel gravite ölçümlerinden elde edilen verilerin kalitesinin oldukça yüksek olması sayesinde, önceki dönemlerde elde edilmiş olan ölçümlerdeki farkların belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır [84-86]. Mevcut gravimetrik geoid modeline ait hesaplamaların yapılmasında EKKK ve Stokes formülünden yararlanılmıştır. Ayrıca önceki dönemlere ait GPS-GNSS/Nivelman verileri parametrelili olarak düzgün bir şekilde hibrit model elde edilmiş ve yedi değişik GPS-GNSS/Nivelman veriseti üzerinde kontrol edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında ise doğruluğun 1,2 – 6,3 cm arasında değiştiği ve kullanılan resmi geoite göre daha iyi sonuçlar verdiği görölmüştür. Aynı zamanda sonuçların mutluluk verici olduğu ve önceki modellere ait eksikliklerin kapatılması ve geliştirilmesinde etkili olduğu görölmüştür [84,85].

Bölüm 6

Uygulama

Bu bölümde, kentsel alanlardaki sayısal arazi yüksekliğinin ICESat-2 verisi ile belirlenmesine, ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemleri ile toplanan noktalara ait geoit yüksekliklerinin Türkiye Geoidi 2020 (TG20) ve C1-C3 derece GPS nivelman noktaları yardımıyla hesaplanmasına ilişkin yapılan çalışmalar, kullanılan materyaller ve metotlara, yapılan analizlere ve bu analizlerden elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

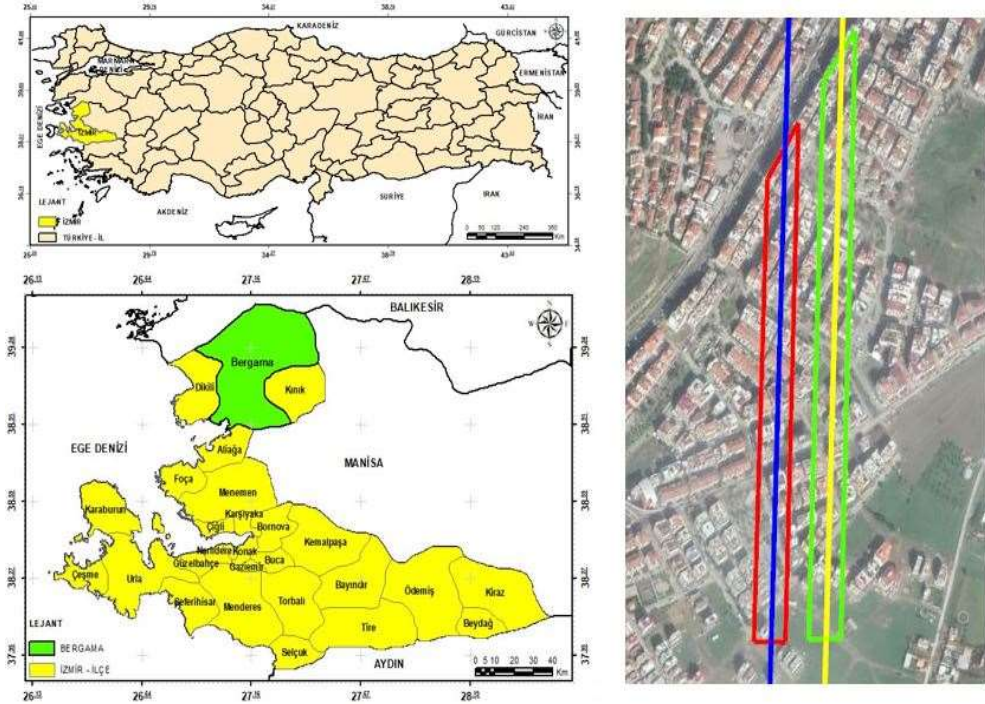
6.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın genel amacı ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerinden elde edilen zemin noktalarına ait geoit ve ortometrik yüksekliklerin TG20 veri seti ve lokal GPS nivelman noktaları yardımıyla hesaplanmasıdır. Alt amaçlar ise; (a) Çalışmada referans olarak kullanılan TG20 veri seti ve lokal GPS nivelman noktalarının çalışma alanını temsil etme doğruluğunun araştırılması, (b) ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerinden elde edilen zemin noktalarına ait ortometrik yükseklik değerleri arasındaki ilişkilerin incelenmesidir.

6.2 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin İzmir iline bağlı Bergama ilçesi seçilmiştir (Şekil 6.1). Çalışma alanı Ege Bölgesi'nin kuzeybatısında olup, $39^{\circ}06'13.02''$ - $39^{\circ}5'45.38''$ kuzey enlemlerinde ve $27^{\circ}9'58.11''$ - $27^{\circ}9'55.40''$ doğu boylamlarında yer almaktadır. Çalışma alanının deniz seviyesinden yüksekliği 68 metredir. Buranın çalışma alanı olarak seçilmesinin ana sebebi, Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) temin edilen havasal LİDAR verilerinin kullanıma hazır bir şekilde elimizde bulunmasıdır.

Çalışma alanı içerisinde tarım arazisi, otoparklar, ağaç popülasyonunun fazla olduğu park alanları, çok katlı yapılar, yollar ve binalar ile çevrili arsalar gibi çeşitli alanlar bulunmaktadır. Çalışmada bilinmeyen noktalara ait geoid yüksekliklerinin hesaplanması için çalışma alanından referans olarak C1-C3 derece GPS nivelman noktaları seçilmiştir.



Şekil 6.1: Çalışma alanı

6.3 Materyal ve Metot

Bu çalışmada ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerinden elde edilen üç farklı veri seti kullanılarak çalışma alanındaki bilinmeyen noktalara ait geoid yükseklikleri çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılarak hesaplanmış ve kullanılan enterpolasyon yöntemleri içerisinde en yüksek doğruluğa sahip olanı tespit edilmiştir. Aynı zamanda en yüksek doğruluğa sahip geoid yükseklikleri kullanılarak ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerine ait ortometrik yükseklikler hesaplanmıştır. Hesaplamalar üç farklı referans verisine göre yapılmıştır.

İlk olarak bölgede önceden tesis edilmiş olan C1-C3 derece GPS nivelman noktaları kullanılmıştır. İkinci olarak Harita Genel Müdürlüğü tarafından kullanıcılara ücretsiz olarak sunulan 5'x 5' çözünürlüğündeki TG20 geoit yükseklik kestirim değerleri kullanılmıştır. Üçüncü olarak ise TG20 veri setinden elde edilmiş geoit yüksekliklerinin lokal GPS nivelman noktaları ile iyileştirilmesi sonucunda elde edilen geoit yükseklik değerleri kullanılmıştır.

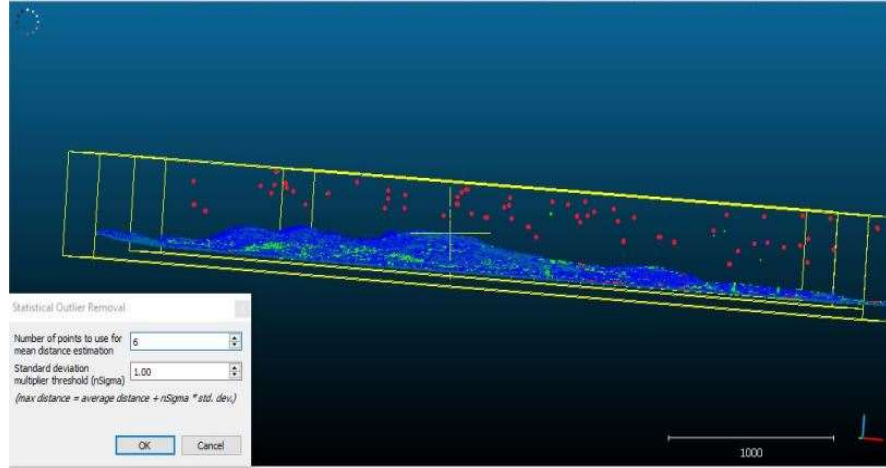
6.3.1 Havasal LİDAR Verileri ve Verilerin İşlenmesi

LİDAR, fiziksel yeryüzüne gönderdiği lazer ışınları sayesinde, mesafeleri ölçebilen ve gönderildiği yüzeyi hassas bir şekilde örnekleyebilen ve sonucunda yüksek doğrulukta X, Y, ve Z verileri üretebilen bir uzaktan algılama teknolojisidir [65,66]. Bu çalışma kapsamında kullanılan havasal LİDAR verileri, Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) temin edilmiştir. Bu çalışmadaki verilerin toplanmasında RIEGL LMS-Q1560 LİDAR sistemi kullanılmıştır. Bu LİDAR sistemine ait teknik özellikler tablo 6.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Hava LİDAR verileri 1200 m yükseklikten, %50 bindirmeli, 35° tarama açısıyla, metrekaareye en az 8 nokta ve 29 kolon olacak şekilde toplanmıştır. Havasal LİDAR verileri, WGS84 koordinat sisteminde olmak üzere yaklaşık olarak 100 km²'lik bir alandan toplanmıştır. Bu veri seti Bergama ilçesini de kapsayacak şekilde çok daha büyük bir alanı kapsamaktadır. Bu nedenle çalışma alanı dışında kalan tüm alanlar uygulama dışında bırakılarak sadece 24 km²'lik bir alandaki lidar verileri kullanılmıştır.

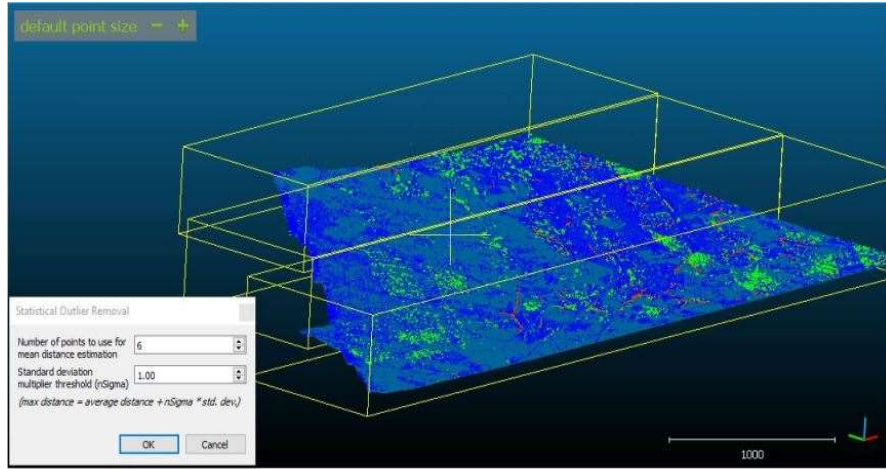
Tablo 6.1: LİDAR sistemi teknik özellikleri

Uçuş Yüksekliği	400 - 4700 m
Efektif Lazer Frekansı	200 - 800 kHz
Tarama Açısı	58/60°
Doğruluk	2 cm (250 metrede)
Tarama Mekanizması	Döner

Uygulama için ilk adım olarak çalışmada kullanılacak olan havasal LİDAR verilerine, Cloud Compare v.2.6.3 yazılımı kullanılarak gürültü filtrelemesi işlemi yapılmıştır. Bunun nedeni HGM tarafından elde edilen ham veri setindeki noktalardan bazılarının çeşitli çevresel faktörlerden dolayı olması gerektiği yerin dışında olduğunun görülmesidir. Gürültü filtrelemesi yapılmış olan LİDAR verileri Cloud Compare v.2.6.3 yazılımı kullanılarak (. las/laz) formatında kaydedilmiştir (Şekil 6.2). Daha sonra temizlenmiş veri setinin sınıflandırılması işlemine geçilmiştir. Bu çalışma kapsamında sadece zemin noktaları kullanılacağı için sınıflandırma işlemi, GLOBAL MAPPER v.20.0 yazılımı kullanılarak zemin ve zemin dışı olarak iki sınıf şeklinde yapılmıştır. Sınıflandırma işlemi sonucunda elde edilen zemin dışı noktalar uygulama dışında bırakılmıştır.



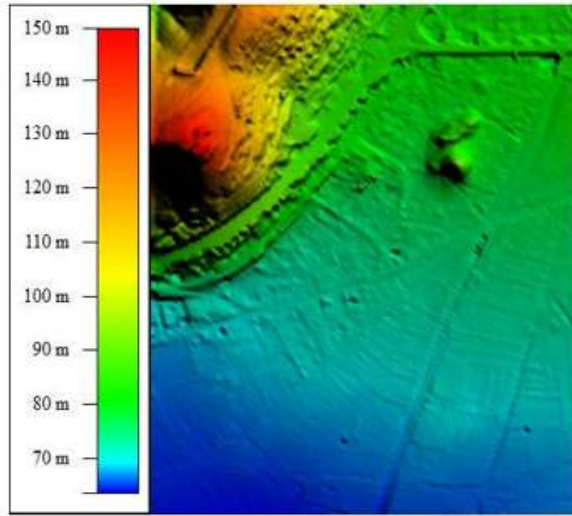
(a)



(b)

Şekil 6.2: Havasal LİDAR topoğrafik verileri a) Filtrelemesi yapılmamış, b) filtrelemesi yapılmış.

Bu çalışmada Havasal LİDAR verileri çok yüksek nokta yoğunluğuna sahip olduğu için ICESat-2/ATLAS ve GNSS/CORS zemin nokta yüksekliklerinin ile belirlenebilmesinde referans veri olarak kullanılmıştır. Bunun sebebi havasal lidar sistemlerinin sahip olduğu yoğun nokta bulutu sayesinde kentsel alanlardaki her türlü detayı çok iyi yansıtmasıdır. Havasal lidar verileri Universal Transverse Mercator (UTM) 27 DOM'de (Dilim Orta Meridyeni) World Geodetic System 1984 sistemindedir. Havasal lidar verilerinin ilerleyen aşamalarda referans veri olarak kullanılabilmesi ve bu veriler yardımıyla analiz işlemlerinin rahatlıkla yapılabilmesi veri seti raster formatına dönüştürülmüştür. Bu işlem için havasal lidar verileri kullanılarak sayısal arazi modeli (SAM-DTM) oluşturulmuştur [30,41,63]. Sayısal arazi modellerinin oluşturulmasında GLOBAL MAPPER v.20.0 yazılımı ve zemin noktaları kullanılmıştır. SAM'e ait hücre boyutları referans verisinin nokta yoğunluğuna bağlı olarak 0,1 m × 0,1 m olarak belirlenmiştir (Şekil 6.3). Ardından ICESat-2/ATLAS verilerinin elde edilmesi ve işlenmesi aşamasına geçilmiştir.



Şekil 6.3: Sayısal arazi modeli

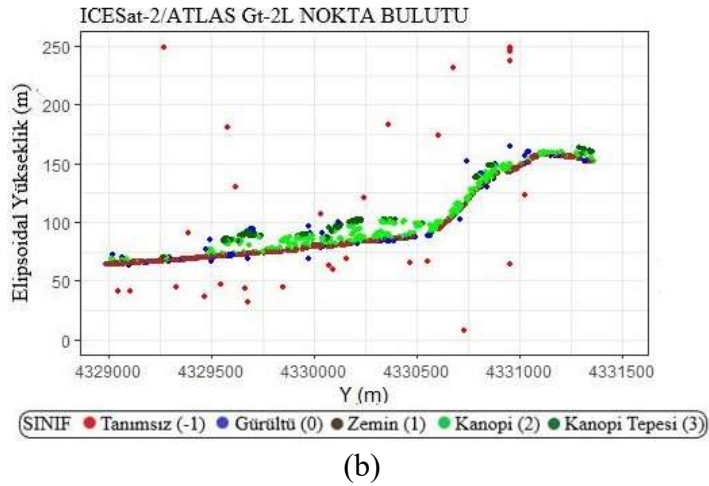
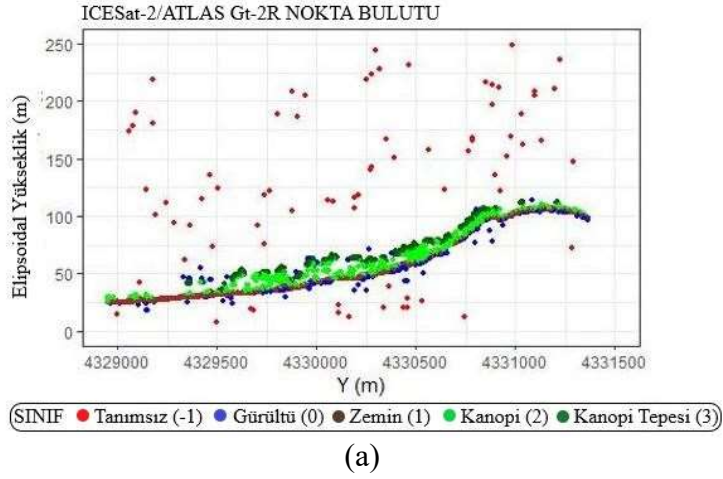
6.3.2 ICESat-2/ATLAS Verileri ve Verilerin İşlenmesi

Bu çalışma kapsamında 14 Mart 2020'de kullanıma sunulan ICESat-2/ATLAS veri setlerinin (V003) sürümünden elde edilen veriler kullanılmıştır.

Çalışma kentsel alanda yapıldığı için Global Coğrafi Konumlu Foton Veri (ATL03_20200314010644_11960606_003_01) seti ve buna bağlı olan Arazi Su Bitki Örtüsü Yüksekliği (ATL08_20200314010644_11960606_003_01) veri setinden yararlanılmıştır. Çalışma da kullan veri setleri OPENALTIMETRY (Advanced Discovery, Processing, and Visualization Services for ICESat and ICESat-2 Altimeter Data) web sitesinden (.csv) ve (hdf5, H5) formatlarında indirilmiştir. ATL03 veri seti, ICESat-2 / ATLAS ürünlerinin ihtiyaç duyduğu zaman, yükseklik, enlem ve boylam gibi temel bilgileri içermektedir. Bu nedenle veri setlerine ait foton sınıflarının belirlenmesinde herhangi bir rolü bulunmamaktadır [63,64]. ATL08 veri setleri ise hem yeryüzündeki topoğrafyaya hem de kanopi yüzeyine ait bilgileri içermektedir. Bu nedenle ATL08 veri seti, elde edilen sinyal fotonlarının hangi yüzeye ait olduklarının belirlenmesinde etkin bir şekilde kullanılmıştır [63,64]. ATL08 veri setlerine ait tüm bilgiler, ATLAS cihazı tarafından otomatik olarak gerçekleştirilen, filtreleme ve sınıflandırma işlemleri sonucunda elde edilmektedir. ATLAS cihazı bu işlemler için Diferansiyel, Gerileyen ve Gauss Uyarlamalı En Yakın Komşu (DARGANN) algoritmasını kullanmaktadır [64,87,88].

Çalışma alanına ait konum ve yüzey bilgilerinden anlamlı ve tek bir veri seti oluşturulabilmesi için ATL03 ve ATL08 veri setlerinin birbirleriyle ilişkilendirilmesi gerekmektedir [29-31]. Bu işlem için her bir ATL08 fotonunun, ATL03 veri seti içerisindeki karşılığı bulunarak ATL03 ve ATL08 veri setleri birbirleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu işlem PhoREAL v3.12 ve Python v3.7 yazılımları yardımıyla, ATL08 veri setindeki kentsel alan bilgisi (urban_flag) ve foton sınıflandırma parametreleri (classed_pc_flag, classed_pc_idx, ph_segment_id) kullanılarak yapılmıştır. Bu ilişkilendirme işlemi sonucunda, çalışma alanındaki fotonlara ait zaman (Delta_time), enlem (lat_ph), boylam (lon_ph), elipsoidal yükseklik(h_ph), cross_track (m), along_track (m), sinyal güvenilirliği (signal_confidence) ve sınıflandırma (classification) parametreleri elde edilmiştir. ATL03 ve ATL08 veri setlerinin ilişkilendirilmesiyle oluşan toplu veri seti, farklı foton sınıfları (zemin=1, kanopi= 2, kanopi tepesi=3) ve sinyal güvenilirlik seviyelerinden (0= Gürültü, 1=Arka plan, 2=Düşük, 3= Orta, 4= Yüksek) oluşmaktadır [30]. Bu uygulamada, çalışma alanımıza ait ATL03 veri setindeki tüm gürültü fotonları PhoREAL v3.12 yazılımı yardımıyla temizlenmiş ve sadece sinyal fotonları seçilmiştir [30].

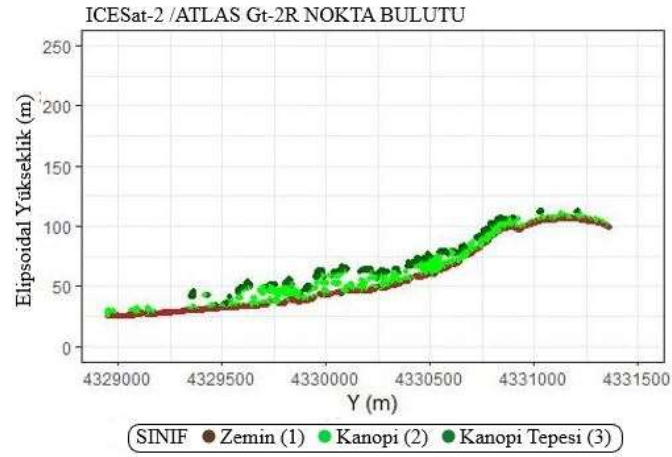
Şekil 6.4(a) ve Şekil 6.4(b)'de ATL03 veri setindeki tüm foton sınıflarını (gürültü, zemin, kanopi ve kanopi tepesi) göstermektedir. Elde edilen veri seti R programı kullanılarak şekil 6.4' deki gibi görselleştirilmiştir.



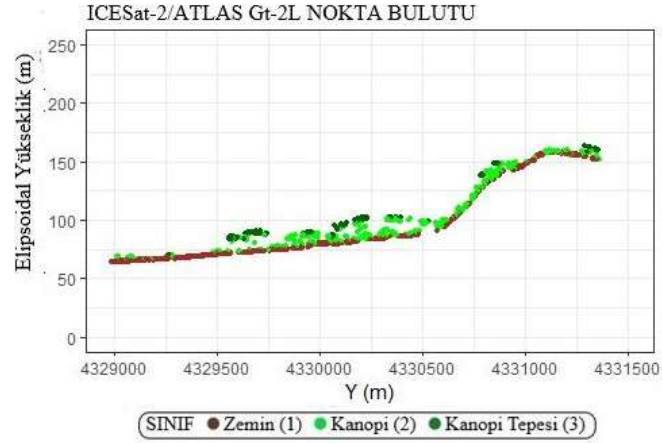
Şekil 6.4: ATL03 veri seti içerisindeki fotonlar, a) Güçlü (Gt-2R) fotonlar, b) Zayıf (Gt-2L) fotonlar.

Şekil 6.5(a) ve şekil 6.5(b) ise ATL03 veri setindeki tüm gürültü fotonlarından temizlenerek oluşturulmuş, ATL08 veri setindeki foton sınıflarını (zemin, kanopi ve kanopi tepesi) göstermektedir. Elde edilen veri seti R programı kullanılarak şekil 6.5' deki gibi görselleştirilmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda uygulamada kullanılacak veri setinin iki önemli kritere sahip olması gerekmektedir. Birincisi sadece zemin sınıfına (classed_pc_flag = ground = 1) ait fotonlardan oluşmasıdır.

İkincisi ise bu fotonların yüksek sinyal güven seviyesine (signal_confidence = 4 = Yüksek) sahip olması gerekmektedir. Bu doğrultuda mevcut veri setinde, ilgili kriterler göz önünde bulundurularak filtreleme işlemi uygulanmıştır. Filtreleme işlemi mevcut toplu veri seti içerisinde güven seviyesi kodu (signal_confidence = 4 = Yüksek) kullanılarak yapılmıştır. Bu işlem ICESat-2/ATLAS sistemine ait güçlü (gt2r) ve zayıf (gt2l) lazer ışınları için ayrı ayrı uygulanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 6.5: ATL08 veri seti içerisindeki fotonlar, a) Güçlü (Gt-2R) fotonlar, b) Zayıf (Gt-2L) fotonlar.

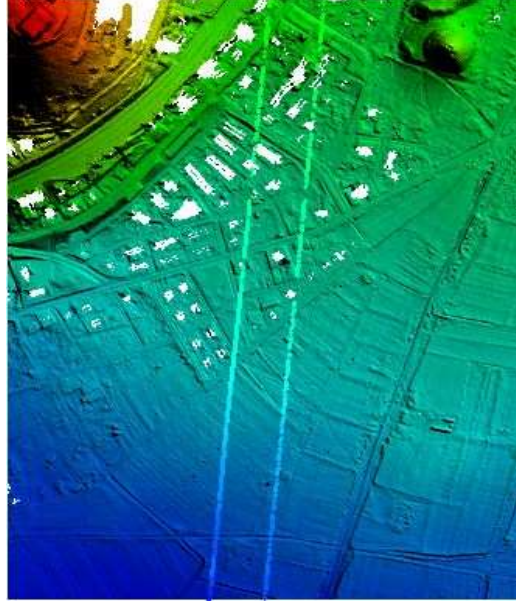
Literatürde ICESat-2 ile havasal lidar sistemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalara bakıldığında ICESat-2/ATLAS verileri ile havasal LİDAR sistemine ait veriler arasında yatay ve düşey koordinat eksenleri doğrultusunda bir takım kaymalar meydana geldiği belirtilmiştir.

Bu kaymaların miktarının hesaplanmasında [29-31,41,63] tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır [41]. ATLO3 içerisindeki ATLO8 veri seti Universal Transverse Mercator (UTM) 27 DOM'de (Dilim Orta Meridyeni) ve World Geodetic System 1984 sistemindedir. ATLO8 fotonları önceki aşamada havasal LİDAR sisteminden üretilmiş SAM ile üst üste karşılaştırılmıştır. Daha sonra her bir foton, ICESat-2/ATLAS'ın sahip olduğu konum belirleme doğruluğu nedeniyle X ve Y koordinat eksenleri doğrultusunda 6,5 m kaydırılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda ATLO8 ile SAM arasındaki yükseklik farkları hesaplanmış ve Z değerine ilişkin minimum fark elde edilmiştir [30,41,63]. Aynı zamanda minimum fark yardımıyla ATLO8 ile SAM'i karşılaştırmak için gerekli olan yatay ve düşey koordinat eksenlerindeki kayma miktarları hesaplanmıştır. Bunun sonucunda ATLO8 verilerinin yatay koordinat eksenindeki kayma miktarı ($X= +1,25$ m, $Y= -1,25$ m), düşey koordinat eksenindeki kayma miktarı ise ($Z= -0.05$ m) olarak hesaplanmıştır. Bu işlem sonucunda ATLO8 ve SAM tam olarak üst üste karşılaştırılmıştır (Şekil 6.6). Zemin yüzeyi yüksekliğinin karşılaştırılmasına ilişkin yapılan çalışmaların aksine bu çalışmada daha küçük bir alanda noktasal baz da bir çalışma yapılmıştır.

Çalışmada kullanılacak olan zemin noktaları, karşılaştırılmış ATLO8 ve SAM yardımıyla belirlenmiştir. Noktalar ICESat-2/ATLAS hattı boyunca ve farklı topoğrafik bölgelerden seçilmiştir. Bu seçim işlemi Global MAPPER v.20 yazılımı yardımıyla karşılaştırılan veriler üzerinden ICESat-2/ATLAS hattı boyunca kesitler alınarak yapılmıştır. Ardından havasal LİDAR ve ICESat-2/ATLAS sistemlerine ait 52 adet ortak zemin noktalarının yatay ve coğrafi koordinatları (X, Y, ϕ, λ) ile elipsoidal yükseklik (h) değerleri, ortometrik yükseklik bilgilerinin hesaplanmasında kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

Çalışmada kullanılacak zemin fotonlarına ait elipsoidal yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanabilmesi için zemin fotonlarının koordinat sistemi ile hesaplamada kullanılacak dayanak noktalarının koordinat sistemi aynı olmalıdır. Bu sebeple Geodezik Yazılımlar 2.5 yazılımı yardımıyla, WGS84 koordinat sistemindeki zemin fotonlarına koordinat dönüşüm işlemi uygulanmıştır. Bu işlem için çalışma alanı etrafındaki sabit referans istasyonlarına ait yatay ve düşey koordinat değerleri (X, Y, Z) referans olarak kullanılmıştır.

Sonucunda zemin fotonlarının koordinat değerleri, ITRF96 datumunda ve 2005.00 referans epoğunda hesaplanmıştır.



şekil 6.6: akıştırılmış topoğrafik veriler

6.3.3 GNSS/CORS Verileri ve Verilerin İşlenmesi

GNSS (Global Navigation Satellite Systems) sistemleri nesne konumlarını yüksek doğruluk ve duyarlıklılı olarak belirleme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca bu sistemlerin her türlü hava şartlarında, global koordinat sisteminde, ekonomik, anında ve sürekli konumla birlikte hız ve zaman belirlenmesi gibi avantajları vardır [1,2,3]. Bu alışma kapsamında gerçekleştirilen GNSS lmleri, TUSAGA AKTİF (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı- AKTİF) sistemine bağlanılarak, VRS düzeltme tekniği kullanılarak Ağ-RTK (CORS-TR) lmleri yapılmıştır. Ağ RTK lmlerinde İzmır Kâtip elebi niversitesine ait “TOPCON GR-3” GNSS alıcısı ile “TOPCON FC-250 el kontrol nitesi” kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan GNSS alıcısına ait teknik özellikler tablo 6.2’ de ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Çalışma sahasında, Ağ RTK lmleri yapılacak olan yer kontrol noktaları, havasal LİDAR ve ICESat-2/ATLAS sistemlerinden elde edilen ortak zemin noktaları baz alınarak belirlenmiştir. Baz alınan zemin noktaları için, çalışma sahasına gidilerek zeminde yerleri tespit edilmiş ve ölçümleri yapılmıştır.

Sahada tespit edilen 52 noktaya ilişkin GNSS/CORS ölçümleri iki kriter dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak ölçümler, havasal LİDAR ve ICESat-2/ATLAS sistemleriyle aynı koordinat sistemi olan ITRF96 koordinat sisteminde, GRS80 referans elipsoidinde ve 2005.00 referans epogun da olacak şekilde yapılmıştır. İkinci olarak ise her bir nokta 10'ar epok ölçü esasına göre yapılmıştır. Son olarak, GNSS/CORS sistemine ait 52 adet ortak zemin noktalarının yatay ve coğrafi koordinatları (X, Y, ϕ , λ) ile elipsoidal yükseklik (h) değerleri, ortometrik yükseklik bilgilerinin hesaplanmasında kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

Tablo 6.2: TOPCON GR-3 teknik özellikleri

İZLEME İSTASYONU	
Kanal Sayısı	72 Evrensel Kanal
İzlenen Sinyal	GPS L1, L2 ve L5, carrier, CA, L1 P, L2 P, L2 C GLONASS L1, L2 ve L5, carrier, L1CA, L2CA, L1 P, L2 P / GALILEO E2-L1-E1, E5
WAAS/EGNOS	
WAAS/EGNOS	Yes
DOĞRULUK	
RTK	H: 10 mm + 1 ppm / V: 15 mm + 1 ppm
Statik/Hızlı Statik	H: 3 mm + 0.5 ppm / V: 5 mm + 0.5 ppm
HABERLEŞME ARACI	
Opsiyonel Radyo Tipi	Entegre UHF TX/RX veya 410-470 MHz Yayılı Spektrum
Baz Radyo Çıkışı	250 - 1.0 Watt kullanıcı tarafından seçilebilir
Hücrel İletişim	Entegre GSM/GPRS
Kablosuz Bağlantılar	Entegre Bluetooth versiyonu 1.1
VERİ & HAFIZA	
Hafıza	Dahili, Çıkarılabilir SD Hafıza Kartı
Veri Güncelleme/Çıkış Hızı	1Hz - 20 Hz Seçilebilir
Gerçek Zamanlı Veri Çıkışı	TPS, RTCMSC104, CMR, CMR+
ASCII Çıkışı	NMEA 0183 versiyon 3.0

6.3.4 C1-C3 Derece Nivelman Noktaları ve Türkiye Geoit Modeli 2020 ile Bilinmeyen Noktaların Geoit ve Ortometrik Yüksekliklerinin Enterpolasyon Yöntemleri Kullanılarak Hesaplanması

Çalışma kapsamında seçimi yapılan ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR noktaları ve çalışma sahasından elde edilen GNSS/CORS ölçülerine ait yükseklik değerleri elipsoidal yükseklik değerleridir. Elde edilen 52 noktanın elipsoidal yükseklik değerleri Ek A'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Fiziksel yeryüzünde yapılan bina, köprü ve yol gibi tüm fiziksel çalışmalarda ortometrik yükseklikler kullanılmaktadır. Bu nedenle ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerine ait verilerden elde edilen elipsoidal yüksekliklerin, 52 nokta için ayrı ayrı hesaplanan geoit yükseklik değerleri kullanılarak ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekmektedir.

Çalışmada geoit ve ortometrik yükseklik değerlerinin elde edilmesi için gereken tüm işlemler, Çakar [5] tarafından windows tabanlı olarak C sharp programlama dilinde geliştirilen Lokal Geoit 1.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Geoit yükseklik değerleri çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılarak üç farklı veri seti kullanılarak hesaplanmıştır.

Birinci veri seti, çalışma alanında önceden bulunan 12 adet GPS nivelman noktalarından (C1-C3 derece) oluşmaktadır (Tablo 6.3). Dayanak noktalarının sayısı

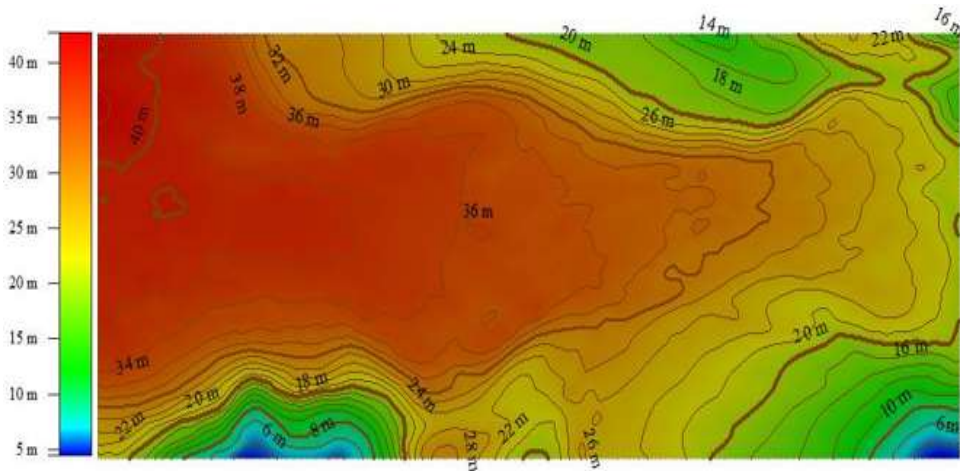
“Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nin 43. maddesinin 1. fıkrasının c bendine göre en az nokta yoğunluğu; 20 km²'ye kadar 6 nokta ve bundan sonraki her 15 km²'ye 1 nokta alınmalıdır [89].”

ibaresine uygun olacak şekilde belirlenmiştir [89].

Tablo 6.3: Dayanak noktalarına ait yatay ve düşey koordinat bilgileri

N.N	Y(m)	X(m)	h(m)	H(m)	DÜŞÜNCELER
J181H001	520016.6945	4332018,5125	102,2327	63,6970	AN.8
J181H002	512882.9717	4329097.4225	64.9106	26.3310	AN.13
J183H015	511322.5202	4329465.2896	116.4764	77.8220	AN.1
J183H016	511952.9103	4330626.9889	261.9027	223.1200	AN.2
J183H017	513545.5759	4331792.4380	270.4895	231.7220	AN.3 - TK. 7
J183H018	514553.4099	4333245.3420	294.3836	255.5860	AN.4
J183H020	516420.9739	4332603.2751	130.2826	91.6410	AN.6
J183H021	518439.1349	4332172.5364	109.9508	71.3590	AN.7 - TK.13
J183H022	516836.8569	4331295.8471	104.9506	66.3560	AN.10
J183H023	515646.8868	4330087.6490	111.4016	72.7960	AN.11
J183H024	514938.2648	4330626.1700	112.3086	73.6990	RN.8
J183H025	514044.4969	4330008.7631	150.5726	111.9300	

İkinci veri seti olarak; Türkiye için yeni geliştirilmiş olan ve HGM tarafından ücretsiz olarak kullanıma sunulan 5'× 5' çözünürlüğündeki geoit yükseklik grid veri seti kullanılmıştır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7: Türkiye Geoidi 2020 (TG20) (5'× 5' çözünürlüğünde)

Üçüncü veri seti olarak, TG20 verileri yardımıyla hesaplanmış olan geoit yükseklik değerlerine bölgedeki 12 adet referans noktası yardımıyla çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılarak yapılan iyileştirme işlemi sonucunda hesaplanmış değerler kullanılmıştır.

Çalışmada TG20 referans veri seti sadece enlem, boylam ve geoit yükseklik değerlerini (φ , λ , N) içerdiği için bilinmeyen noktaların geoit yükseklik değerleri, Çakar [5] tarafından geliştirilen Lokal Geoit 1.0 programında TG20 grid verisine dayalı olarak doğrudan elde edilmiştir (Ek B.11).

Birinci referans verileri yardımıyla bilinmeyen noktalarının geoit yüksekliklerinin hesaplanabilmesi için 12 adet GPS nivelman noktasına ait geoit yükseklik değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle dayanak noktalarının elipsoidal yükseklik değerlerinden ortometrik yükseklik değerleri arasındaki farklar alınarak dayanak noktalarının geoit yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra bilinmeyen 52 noktanın geoit ve ortometrik yükseklik değerlerinin hesaplanmasında ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon, polinom enterpolasyonu, kriging enterpolasyonu ve multiküadratik enterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır.

TG20 ile hesaplanan geoit yüksekliklerinin iyileştirilmesinde ise birinci veri setinde kullanılan enterpolasyon yöntemleri içerisinde karesel ortalama hata değeri $M_0 = \pm 5$ cm'den daha iyi sonuçlar elde edilen enterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır. Bu limit BÖHHÜY'nin 43. Maddesinin 1. fıkrasının f bendine göre M_0 değeri ± 5 cm veya daha iyi olmalı koşuluna uygun olarak belirlenmiştir.

6.3.4.1 Ağırlıklı Aritmetik Ortalama ile Enterpolasyon Yöntemi Kullanılarak Geoit Yüksekliklerinin Hesaplanması

Çalışma sahasındaki 12 adet dayanak noktası yardımıyla bilinmeyen enterpolasyon noktalarına ait geoit yüksekliklerinin hesaplanmasında kullanılan ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon yönteminde, ağırlıkların hesaplanmasında önemli bir rolü bulunan (4.2) denklemindeki k güç parametreleri ($k=1, 2, 3, 4$) belirlenmiştir. Daha sonra her bir noktadaki ağırlık değerlerinin hesaplanabilmesi için referans noktaları ile bilinmeyen noktalar arasındaki d mesafe değerleri (4.4) denklemi yardımıyla hesaplanmıştır.

Aynı zamanda (4.2) denklemini yardımıyla noktaların ağırlık değerleri (P) hesaplanmıştır. Son olarak referans noktalarının geoit yükseklikleri ve hesaplanan ağırlık değerleri (4.1) denkleminde yerine yazılarak bilinmeyen noktaların geoit yükseklik değerleri hesaplanmıştır (Tablo B.1- Tablo B.5). Daha sonra yöntemin geoit yüksekliklerini hesaplama hassasiyeti belirlenmesi işlemine geçilmiştir. Bu nedenle ilk olarak referans noktalarında τ (tau) dağılımına göre uyuşumsuz bir nokta olup olmadığının test edilebilmesi için (6.1) ve (6.2) denklemleri dikkate alınarak uyum testleri yapılmıştır. Bu işlem, her bir k değeri sonucunda hesaplanan geoit yükseklikleri için ayrı ayrı uygulanmıştır. Uyuşum testleri, α_0 testi seviyesindeki herhangi bir X_i ölçüsüne ait V_i düzeltmesinin (6.1) denklemindeki şartı sağlaması gerekmektedir. Aksi takdirde X_i ölçüsü yapılan hesaplamalar ile uyuşumsuz kabul edilmektedir.

$$\frac{V_i}{\sigma_{Vi}} < Tau(f, 1 - \frac{\alpha_0}{2}) \quad (6.1)$$

Bu denklemdeki V_i değeri yapılan ölçüye ait düzeltme değerini, σ_{Vi} değeri yapılan ölçülere ait düzeltme değerlerinin standart sapma değerini ve f değeri serbestlik derecesini göstermektedir. Denklem (6.1)'deki $Tau(f, 1 - \frac{\alpha_0}{2})$ ifadesi denklem (6.2) yardımıyla hesaplanmıştır. Denklem (6.2)'deki $F_{1,f-1,1-\alpha_0}$ ifadesi F dağılımından elde edilmesi gereken değere ve α_0 ifadesi ise $0.05/n$ (n: yapılan ölçü sayısı) karşılık gelmektedir.

$$Tau\left(f, 1 - \frac{\alpha_0}{2}\right) = \sqrt{\frac{f F_{1,f-1,1-\alpha_0}}{f - 1 + F_{1,f-1,1-\alpha_0}}} \quad (6.2)$$

Yapılan uyum testleri sonucunda dayanak noktalarının (6.1) denklemindeki şartı sağladığı ve uyumlu oldukları görülmüştür. Ardından yöntemin dayanak noktaları yardımıyla geoit yüksekliklerinin ve çalışma alanını temsil etme hassasiyetinin belirlenebilmesi için her bir k değerine karşılık karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır (Tablo 6.4).

Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon yöntemindeki her bir k değerine karşılık M_0 değerleri ± 5 cm'den büyük olduğu için bu yöntem, TG20 ile hesaplanmış geoit yükseklik değerlerinin iyileştirilmesi işleminde kullanılmamıştır.

6.3.4.2 Kriging Enterpolasyon Yöntemi Kullanılarak Geoit Yüksekliklerinin Hesaplanması

Bu çalışmada bilinmeyen noktalara ait geoit yükseklik değerlerinin hesaplanmasında universal kriging enterpolasyon yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemde ilk olarak model yüzeyinin (trend yüzeyi) tanımlanması gerekmektedir. Bu nedenle model yüzeyinin polinomu 2. dereceden kuadratik yüzey seçilmiştir. Ardından referans (dayanak) noktalarına bağlı olarak EKK (En Küçük Kareler) yöntemi yardımıyla trend yüzey modeli oluşturulmaktadır. Oluşturulan trend yüzey modeline ait yükseklik değerleri ile referans (dayanak) noktalarına ait yükseklik değerleri arasındaki farklar alınarak artık değerler hesaplanır. Ardından artık değerler kullanılarak lineer variogram modeli oluşturulmaktadır. Seçilen variogram fonksiyonuna ait değerler (4.19) denklemi yardımıyla hesaplanmaktadır. Daha sonra yüzeye (4.17) ve (4.18) denklemleri kullanılarak ordinary kriging enterpolasyon yöntemi uygulanmış ve geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Son olarak gerçeğe en yakın yüzeye ulaşabilmek için en başta ki trend değerleri bulunan geoit değerlerine eklenmektedir. Daha sonra referans noktalarında τ (tau) dağılımına göre uyumsuz bir nokta olup olmadığının test edilebilmesi için (6.1) ve (6.2) denklemleri dikkate alınarak uyum testleri yapılmıştır. Yapılan uyum testleri sonucunda noktaların uyumlu oldukları sonucuna ulaşılmıştır (Tablo B.6). Modelin bilinmeyen noktaları tahmin etme duyarlılığı için karesel ortalama hata değeri hesaplanmıştır (Tablo 6.4).

Kriging enterpolasyon yöntemi ile elde edilen M_0 değeri ± 2.60 cm'dir. Bu değer belirtilen ± 5.00 cm den daha iyi olduğu için kriging enterpolasyon yöntemi ile hesaplanan TG20 değerlerine 12 adet GPS nivelman noktası yardımıyla iyileştirme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem için ilk olarak dayanak noktalarının bilinen elipsoit yükseklik değerlerinden ortometrik yükseklik değerleri çıkarılarak geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Daha sonra dayanak noktalarının geoit yükseklikleri ile TG20'den hesaplanan geoit yükseklik değerleri arasındaki fark değerleri hesaplanmıştır. Mevcut farklar denklem (4.9)'daki 2. dereceden 6 katsayılı (kuadratik) yüzey polinomu yardımıyla modellenmiş ve çalışma alanındaki her bir nokta için düzeltme (trend) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan düzeltme değerleri, fark değerlerinden çıkarılarak noktalara ilişkin artık değerler hesaplanmıştır.

TG20 ile hesaplanan geoit yüksekliklerine $dN_{\text{düzeltme}}$ ve $dN_{\text{artık}}$ değerleri eklenerek iyileştirilmiş geoit yükseklikleri elde edilmiştir (Tablo C.3).

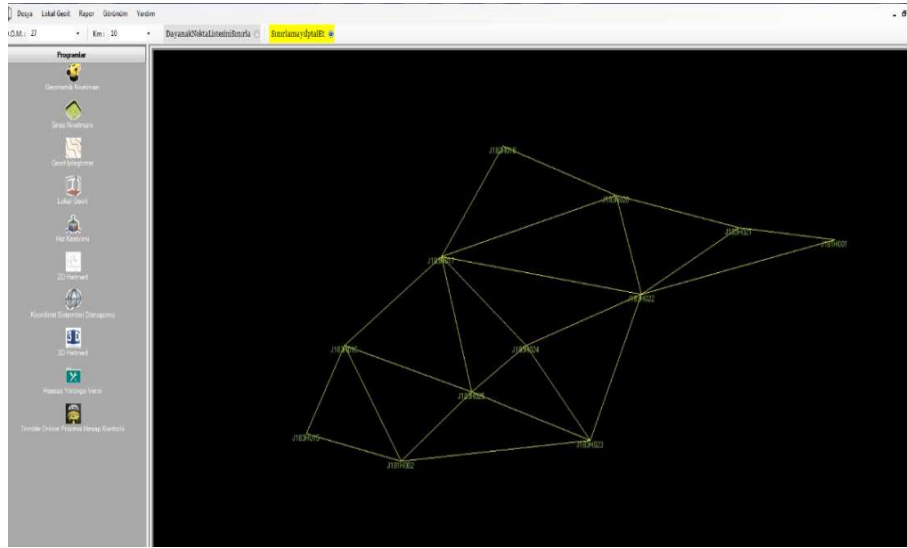
6.3.4.3 Multiküadratik Enterpolasyon Yöntemi Kullanılarak Geoit Yüksekliklerinin Hesaplanması

Bu yöntemde ilk olarak model yüzeyinin (trend yüzeyi) tanımlanması gerekmektedir. Yöntem kringing yöntemi ile benzerlik göstermektedir. Bu nedenle model yüzeyinin polinomu 2. dereceden 6 katsayılı kuadratik yüzey seçilmiştir. Ardından yüzeye ait artık (kalan) geoit fark değerleri elde edilmiştir. Elde edilen fark değerleri kullanılarak bilinmeyen noktaların geoit yükseklik değerleri denklem (4.31) yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra yöntemin geoit yüksekliklerini hesaplama hassasiyeti belirlenmiştir. İlk olarak referans noktalarında τ (tau) dağılımına göre uyuşumsuz bir nokta olup olmadığının test edilebilmesi için (6.1) ve (6.2) denklemleri dikkate alınarak uyum testleri yapılmıştır. Yapılan uyum testleri sonucunda noktaların uyumlu oldukları sonucuna ulaşılmıştır (Tablo B.7). Modelin bilinmeyen noktaları tahmin etme duyarlılığı için karesel ortalama hata değeri hesaplanmıştır (Tablo 6.4).

Multiküadratik enterpolasyon yöntemi ile elde edilen M_0 değeri ± 1.40 cm dir. Bu değer belirtilen ± 5.00 cm den daha iyi olduğu için multiküadratik enterpolasyon yöntemi ile hesaplanan TG20 değerlerine 12 adet GPS nivelman noktası yardımıyla iyileştirme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem için ilk olarak dayanak noktalarının bilinen elipsoit yükseklik değerlerinden ortometrik yükseklik değerleri çıkarılarak geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Daha sonra dayanak noktalarının geoit yükseklikleri ile TG20'den hesaplanan geoit yükseklik değerleri arasındaki fark değerleri hesaplanmıştır. Mevcut farklar denklem (4.9)'daki 2. dereceden 6 katsayılı (kuadratik) yüzey polinomu yardımıyla modellenmiş ve çalışma alanındaki her bir nokta için düzeltme(trend) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan düzeltme değerleri, fark değerlerinden çıkarılarak noktalara ilişkin artık değerler hesaplanmıştır. TG20 ile hesaplanan geoit yüksekliklerine $dN_{\text{düzeltme}}$ ve $dN_{\text{artık}}$ değerleri eklenerek iyileştirilmiş geoit yükseklikleri elde edilmiştir (Tablo C.2).

6.3.4.4 Polinom Enterpolasyon Yöntemi Kullanılarak Geoit Yüksekliklerinin Hesaplanması

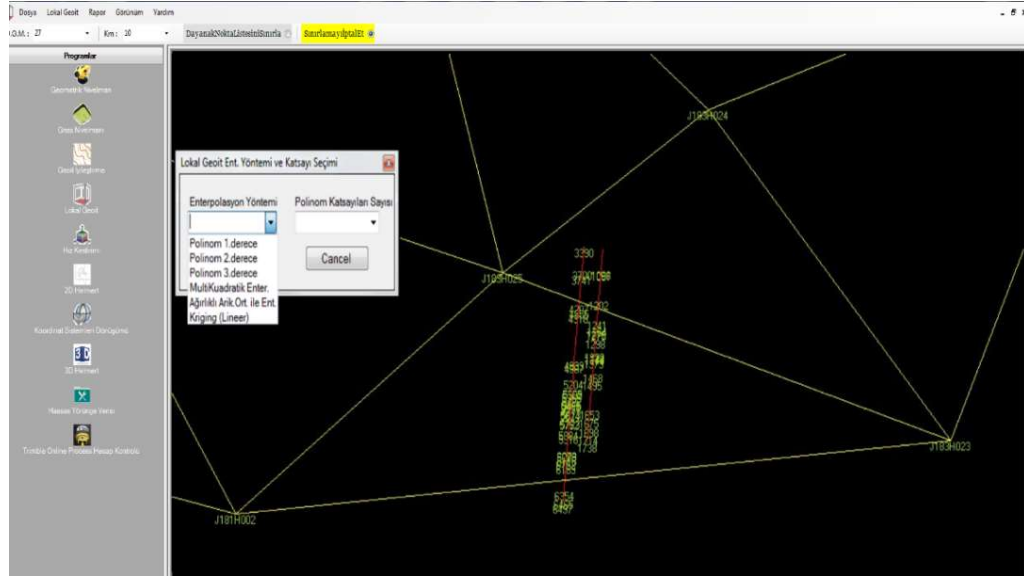
Polinom enterpolasyonu ile bilinmeyen noktadaki geoit yüksekliklerini hesaplamak için çalışma alanını en iyi temsil eden polinom bulunmuştur. Bu noktaların koordinatları, ITRF96 datumunda (Uluslararası Yersel Referans Ağı, 1996'da güncellenmiştir) ve 2005.00 referans epoğundadır. Referans noktalarının ortometrik yükseklikleri, TUDKA noktalarının bir fonksiyonu olarak geometrik nivelman ve en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmıştır. Öncelikle yatay koordinatları (x_i , y_i), elipsoit yükseklikleri (h) ve Helmert ortometrik yükseklikleri HGM tarafından önceden ölçülen ve önceden belirlenmiş C1-C3 dereceli 12 noktanın hesaplanan geoit yükseklikleri grid verisi olarak düzenlenmiş ve çalışma alanının geoit yüzeyi belirlenmiştir (Şekil 6.8).



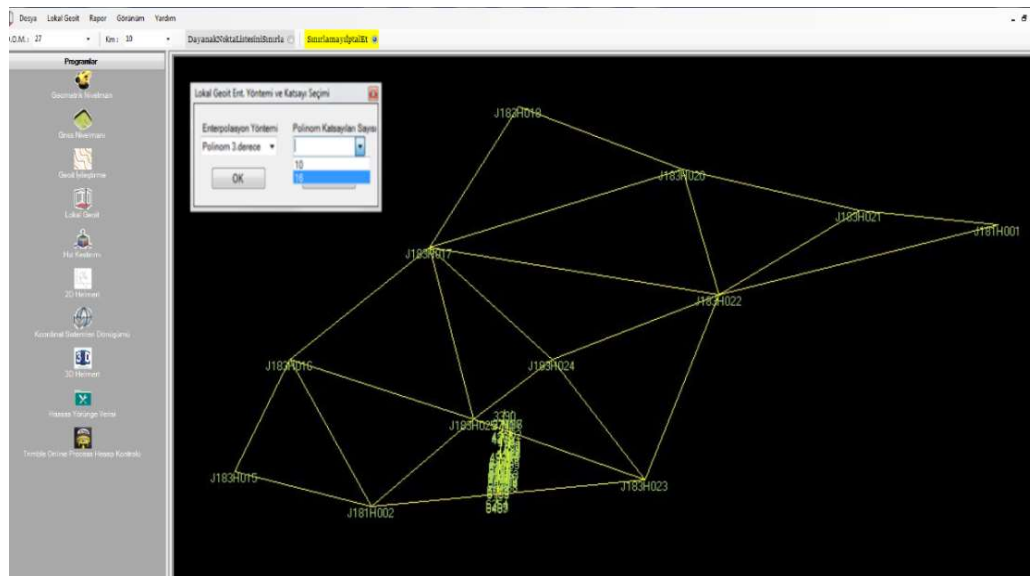
Şekil 6.8: Lokal Geoit 1.0 programına eklenen referans noktaları

Çalışmada geoit yükseklikleri hesaplanacak olan 52 nokta programa eklenmiştir (Şekil 6.9). Geoidin hesaplanmasında kullanılacak olan polinomun yüzey polinom katsayıları programda tanımlanmış ve en küçük kareler yöntemi yani denklem (4.7) ile hesaplanmıştır. Ardından çalışma alanının topoğrafyası dikkate alınarak 3. dereceden kübik 10 katsayılı ortogonal polinom enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır (Şekil 6.10).

Bu enterpolasyon yöntemiyle geoit yükseklik değerleri denklem (4.5) ve (4.10) yardımıyla hesaplanmıştır. Yöntemin geoit yüksekliklerini hesaplama hassasiyetinin belirlenebilmesi için ilk olarak referans noktalarında τ (tau) dağılımına göre uyumsuz bir nokta olup olmadığının test edilebilmesi için (6.1) ve (6.2) denklemleri dikkate alınarak uyşum testleri yapılmıştır.



Şekil 6.9: Lokal Geoit 1.0 programında referans noktaları ve bilinmeyen enterpolasyon noktaları



Şekil 6.10: Lokal Geoit 1.0 programında enterpolasyon yöntemi ve katsayı tanımlama

Yapılan uyuşum testleri sonucunda noktaların uyuşumlu oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Modelin bilinmeyen noktaları tahmin etme duyarlılığı, karesel ortalama hata değeri hesaplanmıştır (Tablo 6.4). Yapılan hesaplamalara ilişkin sonuçlar tablo B.8’ de detaylı olarak verilmiştir. Polinom enterpolasyon yöntemi ile elde edilen M_0 değeri ± 0.70 cm’dir. Bu değer belirtilen ± 5.00 cm den daha iyi olduğu için polinom enterpolasyon yöntemi ile hesaplanan TG20 değerlerine 12 adet GPS nivelman noktası yardımıyla iyileştirme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem için dayanak noktalarına ait geoit yükseklik değerleri ile TG20 den hesaplanan geoit değerleri kullanılmıştır. Bu işlem için bölgeyi en iyi temsil eden polinom 3. derece 10 katsayılı (Kübik) yüzey kullanılmıştır. İyileştirme yüzey formülü olarak denklem (4.10)’dan yararlanılmıştır. Sonuç olarak bu denklemler yardımıyla çalışma alanındaki noktalara ait düzeltme değerleri hesaplanmıştır. Son olarak TG20’den hesaplanan geoit yükseklik değerlerine düzeltme değerleri eklenerek iyileştirilmiş noktaların geoit yükseklikleri hesaplanmıştır (Tablo C.1).

6.3.5 Yükseklik Hesaplarının Doğruluk Analizi

Çalışmanın bu bölümünde referans olarak kullanılan C1-C3 derece GPS nivelman noktaları yardımıyla bilinmeyen noktaların geoit yüksekliklerinin hesaplanmasında kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin hata miktarlarına bakılmıştır. Yöntemlere ilişkin hata miktarlarının belirlenmesinde her bir dayanak noktası test verisi olarak bilinmeyen değerler ile birlikte hesaba katılmıştır. Bunun için çalışmada kullanılan her bir yönteme (ağırlıklı aritmetik ortalama enterpolasyonu, kriging enterpolasyonu, multikvadratik enterpolasyon ve polinom enterpolasyonu) ait karesel ortalama hata (KOH) değerleri hesaplanmıştır (Tablo 6.4).

Tablo 6.4: Enterpolasyon yöntemlerinin KOH değerleri

No	Enterpolasyon Yöntemi	Karesel Ortalama Hata (cm)
1	Ağırlıklı Aritmetik Ortalama	k=1 için
		k=2 için
		k=3 için

Tablo 6.4 (devamı): Enterpolasyon yöntemlerinin KOH değerleri

		k=4 için	±8.50
2	Kriging	Ordinary - Universal	±2.60
3	Multiküadratik	Küadratik	±1.40
4	Ortogonal Polinom	3. derece Kübik	±0.70

İkinci aşamada ise bilinmeyen 52 noktanın 5'×5' çözünürlüğündeki TG20 referans veri setinden elde edilen geoit yüksekliklerinin çalışma alanımızdaki duyarlılığı test edilmiştir. Bu işlem için C1-C3 dereceli 12 dayanak noktası test verisi olarak bilinmeyen 52 nokta ile birlikte hesaplamanın içerisine dahil edilmiştir. Dayanak noktalarının TG20 veri setiyle hesaplanan değerleri ve gerçek değerleri kullanılarak TG20'nin çalışma alanımızdaki karesel ortalama hata değeri hesaplanmış ve $M_0 = \pm 4.30$ cm olarak bulunmuştur. Hesaplama sonucunda elde edilen hata değeri ± 5.00 cm'den küçük ve çalışmada direkt olarak kullanılabilceğini kanıtlamıştır.

Üçüncü aşamada ise TG20 değerlerine, C1-C3 derece 12 adet dayanak noktası entegre edilerek, çalışma alanındaki bilinmeyen 52 noktanın geoit iyileştirme sonuçlarının doğruluğu test edilmiştir. İyileştirme işleminden elde edilen sonuçların gözlemlenebilmesi için 12 adet dayanak noktası (C1-C3 derece) yardımıyla, birinci aşamada 52 noktaya ait hesaplanan enterpolasyon verilerinden en iyi sonucu veren üç yönteme (polinom, multiküadratik, kriging) ait veriler kullanılmıştır (Tablo 6.5). Sonuçların net bir şekilde görülebilmesi için değerlendirme işlemi, TG20'den hesaplanan geoit yükseklik değerlerine iyileştirme işlemi yapılmadan öncesi ve sonrası şeklinde gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme işlemi için karesel ortalama hata değerlerine bakılmış ve elde edilen sonuçlar tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.5: İyileştirme işlemi öncesi ve sonrası KOH değerleri

	TG20_Önce (cm)	TG20_İyileştirme_Sonra		
		Kriging N_TG20 (cm)	Multiküadratik N_TG20 (cm)	Polinom N_TG20 (cm)
Polinom Enterpolasyon	2.04	1.35	1.30	0.00

Tablo 6.5 (devamı): İyileştirme işlemi öncesi ve sonrası KOH değerleri

Kriging	2.62	0.70	0.60	0.40
Enterpolasyon				
Multiküadratik	3.08	0.39	0.24	0.67
Enterpolasyon				

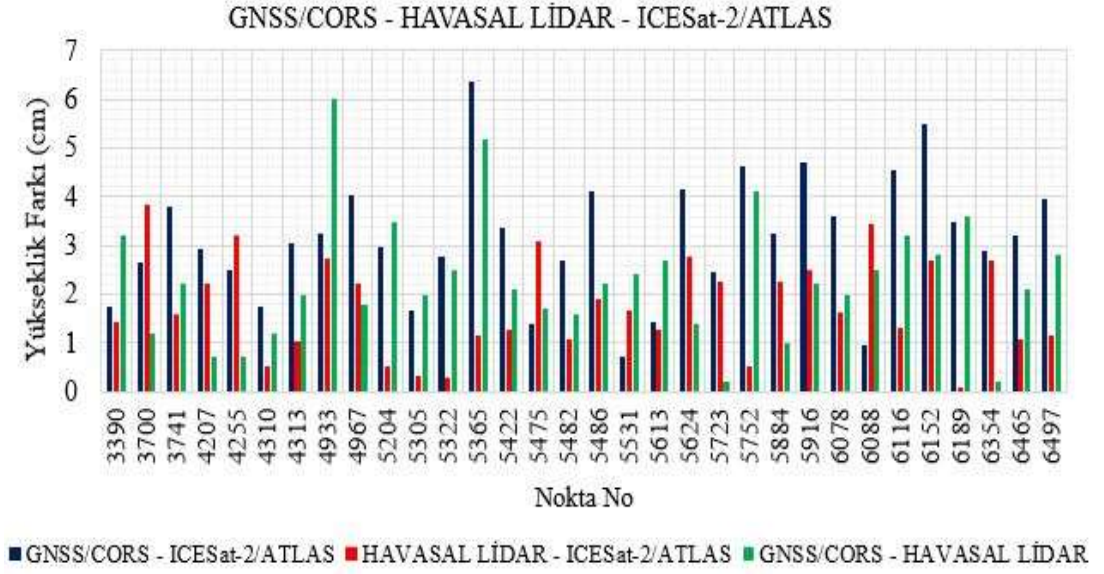
6.4 Analiz ve Bulgular

Bu çalışmada, ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerinden elde edilen yer noktalarının ortometrik yükseklik değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Veri setlerinin ortometrik yüksekliklerinin hesaplanmasında kullanılan geoit yükseklik değerleri, lokal C1-C3 derece nivelman noktaları yardımıyla polinom enterpolasyon yöntemi kullanılarak iyileştirilmiş TG20 verilerinden alınmıştır (Tablo C.4). Ortometrik yükseklikler ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerine ait elipsoidal yükseklik değerlerinden iyileştirilmiş TG20 geoit değerlerinin çıkarılması ile hesaplanmıştır (Tablo C.5).

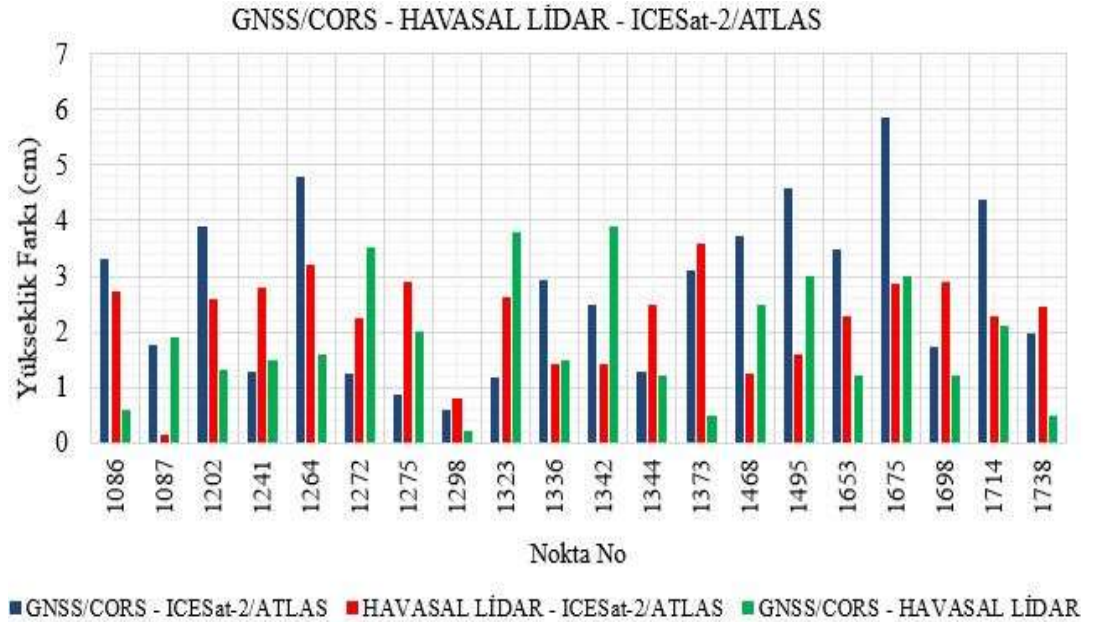
Çalışmada sırasıyla havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemlerinin hesaplanan ortometrik yükseklik değerleri referans veri olarak kullanılmıştır. Bilindiği üzere ICESat-2/ATLAS, dünya yüzeyi hakkında bilgi toplamak için güçlü ve zayıf ışın hatlarından 3 çift ışın hattı kullanmaktadır. Bu ışın çiftleri kendi içerisinde birbirlerine 90 m mesafede ve farklı foton sayılarından oluşmaktadır. Bu nedenle analizler, ICESat-2/ATLAS'ın güçlü ve zayıf lazer ışın hatlarındaki ortak zemin noktaları için ayrı ayrı yapılmıştır. Analiz işlemleri GNSS/CORS – ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR – ICESat-2/ATLAS ve GNSS/CORS – havasal LİDAR arasında ikili gruplar oluşturularak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak mevcut çiftler arasındaki ortometrik yükseklik farkları alınarak şekil 6.11 ve şekil 6.12'de gösterilmiştir.

GNSS/CORS – ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR – ICESat-2/ATLAS ve GNSS/CORS – havasal LİDAR' dan elde edilen zemin noktalarının ortometrik yükseklik değerlerinin doğruluğunun nicel olarak değerlendirilebilmesi için hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), hata kareler ortalaması (MSE), hatanın mutlak ortalaması (MAE), ortalama hata (ME), belirleme katsayısı (R^2) olmak üzere 5 farklı istatistiksel değişken hesaplanmıştır.

Tüm istatistiksel hesaplamalar, çiftler (GNSS/CORS – ICESat-2/ATLAS, Havasal LİDAR – ICESat-2/ATLAS ve GNSS/CORS – Havasal LİDAR) için güçlü (gt-2r) ve zayıf (gt-2l) ışın hatlarında ve RStudio yazılımı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 6.11: Güçlü ışın hattındaki yükseklik farkları



Şekil 6.12: Zayıf ışın hattındaki yükseklik farkları

6.4.1 GNSS/CORS – ICESat-2/ATLAS Doğruluk Analizi

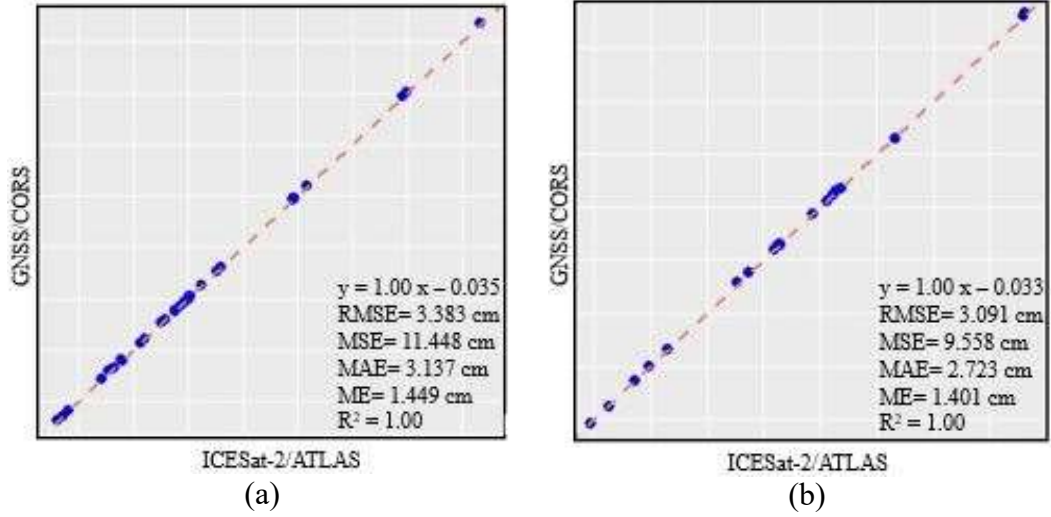
GNSS/CORS – ICESat-2/ATLAS ikilisi arasındaki yükseklik farklarına ait sınırların görülebilmesi için maksimum ve minimum yükseklik farkları (min=0.72 cm, max=6.37 cm) hesaplanmıştır.

Güçlü ışın hattındaki GNSS/CORS-ICESat-2/ATLAS ölçümlerine ait zemin noktaları arasındaki ilişki göz önüne alındığında, 5365 ve 6152'nolu noktalar için sırasıyla 6.37 ve 5.50 cm'lik büyük farkların olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu noktaların çalışma alanındaki çevresel şartları araştırılmıştır. 5365'nolu noktanın yoğun çim bitki örtüsünün olduğu bir alanda ve 3 katlı bir binanın yakınında olduğu tespit edilmiştir. 6152'nolu noktanın ise 3 katlı bir binaya 1 m mesafede olduğu tespit edilmiştir.

Noktaların konumları ve çevresel şartları dikkate alındığında, farklılıklar için iki olasılık göz önünde bulundurulmuştur. Birincisi, kentsel alanlarda çok katlı binaların yakınında GNSS/CORS ölçümlerinde bazı farklılıkların olabileceği bilinmektedir. Bu nedenle çok katlı yapılara yakın nokta konumlarına ait CORS ölçümleri sırasında çevresel etkenlerin GNSS referans istasyonları ile bağlantıyı engelleyerek birtakım farklılıklara neden olduğu düşünülmüştür.

İkinci olarak, ICESat-2'nin yüksek foton sayısı sayesinde yoğun çim bitki örtüsüne sahip zemin türleri için toprak yapısını ve çim bitki örtüsünü doğru bir şekilde sınıflandırdığı bulunmuştur. Ancak, zemin ile çimen bitki örtüsü arasındaki yükseklik farkının büyük olmadığı ve fotonların geliş açıları da dikkate alındığında yüksekliklerde farklılıkların olabileceği düşünülmektedir. Ardından güçlü ışın hattındaki GNSS/CORS-ICESat-2 ikilisine ait doğruluğun görülebilmesi için nicel hesaplamalar yapılmıştır.

Sonuç olarak, GNSS/CORS – ICESat-2/ATLAS arasındaki doğruluk değerleri (RMSE = 3.383 cm, MSE = 11.448 cm, MAE = 3.137 cm, ME = 1.449, R²=1.00) olarak bulunmuştur (Şekil 6.13(a)).



Şekil 6.13: GNSS/CORS-ICESat-2/ATLAS noktasal analiz a) Güçlü fotonlar b) Zayıf fotonlar

Zayıf ışın hattındaki bölgelere bakıldığında, GNSS/CORS-ICESat-2/ATLAS arasındaki maksimum ve minimum yükseklik farkları (min = 0.60 cm, max = 5.85 cm) olarak hesaplanmıştır. Zayıf ışın hattında GNSS/CORS-ICESat-2/ATLAS ölçümlerine ait zemin noktaları arasındaki ilişkiyi incelediğimizde, 1675' nolu noktada 5,85 cm'lik büyük bir fark olduğu görülmektedir. Bu nedenle noktanın çalışma alanındaki konumu ve topoğrafyası araştırılmıştır. Noktanın 3 katlı bir binanın yanındaki otoparka düştüğü belirlenmiştir. Bu durumun, güçlü ışın hattındaki GNSS/CORS-ICESat-2/ATLAS ölçümlerine ait zemin noktaları arasındaki ilişkiyi incelerken karşılaşılan problemlere benzer olduğu belirlenmiştir. Ardından zayıf ışın hattındaki GNSS/CORS-ICESat-2/ATLAS ikilisine ait doğruluğun görülebilmesi için nicel hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda GNSS/CORS – ICESat-2/ATLAS arasındaki doğruluk değerleri (RMSE = 3.091 cm, MSE = 9.558 cm, MAE = 2.723 cm, ME = 1.401, $R^2=1.00$) olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.13(b)).

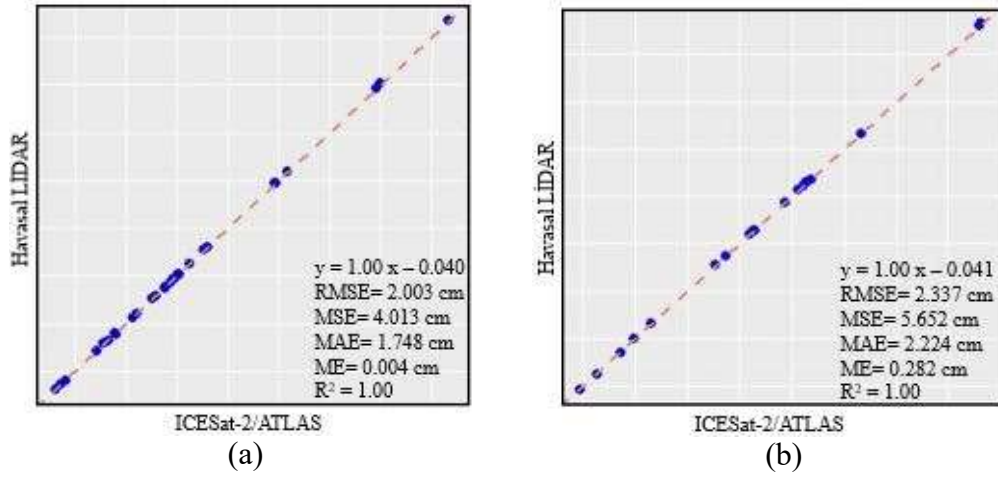
Güçlü ve zayıf ışın hatlarındaki benzer problemler nedeniyle GNSS/CORS-ICESat-2 ölçümlerine ait diğer zemin noktaları (5624-5752-5916-6116-1264-1495-1714) kullanılarak güçlü ve zayıf ışın hatları arasındaki farklılıkların nedenleri araştırılmıştır. İncelemeler sonucunda, çok katlı binaların yakınında ve bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerdeki GNSS/CORS - ICESat-2/ATLAS ölçümlerine ait yükseklik farklarının diğer zemin noktalarındaki yükseklik farklarına göre artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Bu bölgelerden uzaklaştıkça yollar, tarlalar gibi daha basit alanlara doğru gidildikçe farkların azaldığı görülmüştür. Bunun nedeninin yol veya tarla gibi daha basit alanlarda yapılan ölçümlerde GNSS referans istasyonları ile bağlantıyı engelleyecek bir dış etkinin olmaması ve istasyonlarla kurulan bağlantının kalitesinin maksimum seviyeye ulaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu bölgelerdeki ICESat-2/ATLAS ölçümlerinde dünyaya gönderilen fotonların yer ile doğrudan temas kurması ve ardından fotonun herhangi bir engelle karşılaşmadan geriye dönmesi nedeniyle farklılıkların azaldığı düşünülmektedir.

6.4.2 Havasal LİDAR – ICESat-2/ATLAS Doğruluk Analizi

Havasal LİDAR – ICESat-2/ATLAS ikilisi arasındaki yükseklik farklarına ait sınırların görülebilmesi için maksimum ve minimum yükseklik farkları (min = 0.10 cm, max = 3.84 cm) hesaplanmıştır. Güçlü ışın hattındaki Havasal LIDAR-ICESat-2 ölçümlerine ait zemin noktaları arasındaki yükseklik farklarına bakıldığında bazı noktalarda (3700, 4255, 5475 ve 6088) sırasıyla 3.84, 3.19, 3.09 ve 3.44 cm'lik benzer farkların olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra bu noktaların çalışma alanındaki konumları ve topografyaları incelenmiştir. Noktaların, ağaç popülasyonunun fazla olduğu otoparklar, yollar, tarım alanları ve binaların çevrelediği boş arazilere düştüğü tespit edilmiştir. Ardından güçlü ışın hattındaki havasal LİDAR - ICESat-2 ikilisine ait doğruluğun görülebilmesi için nicel hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda havasal LİDAR - ICESat-2/ATLAS arasındaki doğruluk değerleri (RMSE = 2.003 cm, MSE = 4.013 cm, MAE = 1.748 cm, ME = 0.004 cm, $R^2=1.00$) olarak bulunmuştur (Şekil 6.14(a)).

Zayıf ışın hattındaki bölgelere bakıldığında, havasal LİDAR-ICESat-2/ATLAS arasındaki maksimum ve minimum yükseklik farkları (min = 0.15 cm, max = 3.59 cm) olarak hesaplanmıştır. Zayıf ışın hattındaki Havasal LİDAR-ICESat-2/ATLAS ölçümlerine ait zemin noktaları arasındaki ilişki incelendiğinde, 1264 ve 1373'nolu noktalarda sırasıyla 3.20 ve 3.59 cm'lik benzer farklılıkların olduğu bulunmuştur. Bu noktaların çalışma alanındaki konumu ve topoğrafyası dikkate alındığında, noktaların ağaç popülasyonunun fazla olduğu bir park alanında ve %3 eğimli bir yolun ortasında yer aldığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.14: Havasal LİDAR-ICESat-2/ATLAS noktasal analiz a) Güçlü fotonlar b) Zayıf fotonlar

Ardından zayıf ışın hattındaki havasal LİDAR - ICESat-2/ATLAS ikilisine ait doğruluğun görülebilmesi için nicel hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda havasal LİDAR - ICESat-2/ATLAS arasındaki doğruluk değerleri (RMSE = 2.377 cm, MSE = 5.652 cm, MAE = 2.224 cm, ME = 0.282 cm, $R^2=1.00$) olarak bulunmuştur (6.14(b)). Havasal LİDAR-ICESat-2/ATLAS ölçümlerinin güçlü ve zayıf ışın hatlarındaki noktaların yükseklik farkları ve topografyası dikkate alındığında, diğerleriyle benzer bölgelere düştüğü tespit edilmiştir. Güçlü ve zayıf ışın hatlarına ait bölgelerdeki doğruluk değişimlerinin sebebi olarak ATLAS sisteminin güçlü ve zayıf foton yoğunluğunun farklılık göstermesi olarak düşünülmüştür.

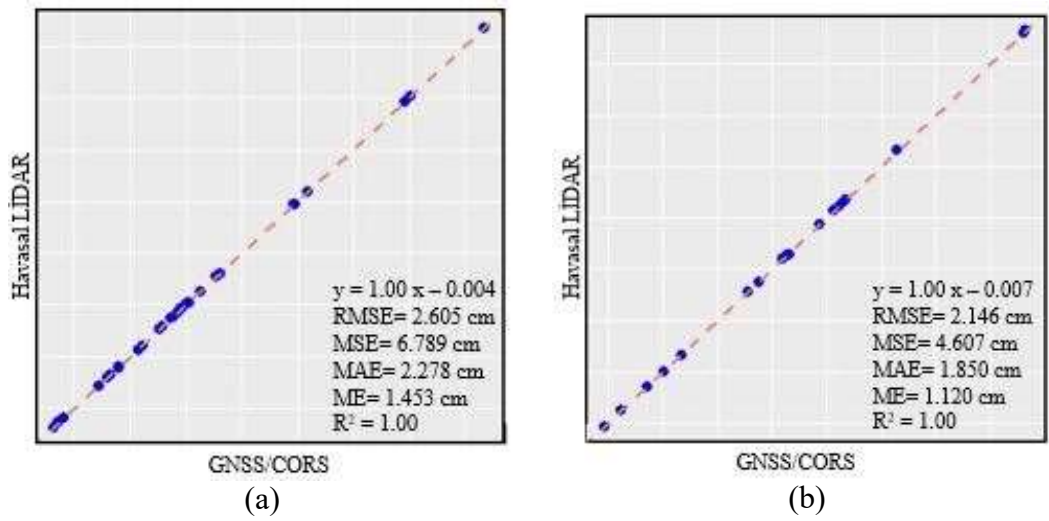
6.4.3 GNSS/CORS - Havasal LİDAR Doğruluk Analizi

GNSS/CORS - Havasal LİDAR ikilisi arasındaki yükseklik farklarına ait sınırların görülebilmesi için maksimum ve minimum yükseklik farkları (min = 0.20 cm, max = 6.00 cm) hesaplanmıştır. Çalışmada referans veri olarak kullanılan GNSS/CORS - Havasal LİDAR çiftinin güçlü ışın hattındaki zemin noktaları arasındaki yükseklik farklılıklarına bakıldığında, bazı noktalarda (3390, 4933, 5204, 5365, 5752, 6189) sırasıyla 3.20, 6.00, 3.50, 5.20, 4.10, 3.60 cm'lik gözle görülür farklılıkların olduğu görülmektedir. Bu noktaların çalışma alanındaki konumları ve topografyaları incelendiğinde, noktaların bina ve ağaçlıkların yaygın olduğu bir alana, yol üzerinde ve boş tarım arazisi üzerine düştüğü tespit edilmiştir.

Ardından güçlü ışın hattındaki GNSS/CORS - Havasal LİDAR ikilisine ait doğruluğun görülebilmesi için nicel hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda GNSS/CORS - havasal LİDAR arasındaki doğruluk değerleri (RMSE = 2.605 cm, MSE = 6.789 cm, MAE = 2.278 cm, ME = 1.453 cm, $R^2=1.00$) olarak bulunmuştur (Şekil 6.5(a)).

Zayıf ışın hattındaki bölgelere bakıldığında, GNSS/CORS - Havasal LİDAR arasındaki maksimum ve minimum yükseklik farkları (min = 0.20 cm, max = 3.90 cm) olarak hesaplanmıştır. Zayıf ışın hattındaki GNSS/CORS – Havasal LİDAR çiftinin zemin noktaları arasındaki yükseklik farklılıklarına baktığımızda, bazı noktalarda (1272, 1323, 1342, 1495) sırasıyla 3.50 cm, 3.80 cm, 3.90 cm ve 3.00 cm gibi dikkate değer farklılıkların olduğu görülmüştür. Bu noktaların çalışma alanındaki konumu ve topoğrafyası incelendiğinde otopark, yol, tarım arazisi ve binalarla çevrili boş arazilere düştüğü tespit edilmiştir.

Ardından zayıf ışın hattındaki GNSS/CORS - Havasal LİDAR ikilisine ait doğruluğun görülebilmesi için nicel hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda GNSS/CORS - havasal LİDAR arasındaki doğruluk değerleri (RMSE = 2.146 cm, MSE = 4.607 cm, MAE = 1.850 cm, ME = 1.120 cm, $R^2=1.00$) olarak bulunmuştur (Şekil 6.15(b)).



Şekil 6.15: Havasal LİDAR-GNSS/CORS noktasal analiz a) Güçlü fotonlar b) Zayıf fotonlar

Zhao ve diğ. [41] havasal LİDAR (2013-2014) verileri yardımıyla kentsel alanlardaki ATL08 ve ATL03 (2020) verilerinin performansını değerlendirmek için çalışma alanı olarak tüm New York'u (NYC) almışlardır. Ancak seçilen çalışma alanı ile kullanılan ICESat-2/ATLAS ve havasal LİDAR verileri arasında uzun bir zaman olduğu görülmektedir. Bu durum NYC çalışma alanında 2014-2020 yılları arasında meydana gelebilecek değişimlerin izlenmesini güçleştirmektedir. Bu çalışmada, mevcut veri setleri arasındaki yükseklik farklarının doğal veya yapay değişimlerden minimum seviyede etkilenmesi için çalışma alanı bazı kriterlere göre belirlenmiştir. Bu nedenle çalışma alanı seçiminde 2016-2020 yılları arasındaki doğal veya yapay fiziksel değişimlerin en az olduğu ve yapılaşmanın en eski olduğu Dandabathula ve diğ.[90] gibi lokal bir bölge seçilmiştir. Zhao ve diğ [41] elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere geçiş için Earth Gravitational Model 2008'i kullanmışlardır.

Ancak bu çalışmada ortometrik yüksekliklerin hesaplanması için yeni oluşturulmuş Türkiye Geoit Modeli 2020 (TG20) ve C1-C3 derece lokal nivelman noktalarının entegre edildiği bir referans verisi kullanılmıştır. TG'20 geoit modeli Zhao ve diğ [41] kullandığı Earth Gravitational Model 2008'e göre daha yüksek doğrulukta sonuçlar vermektedir. Bunun nedeni TG'20'nin güncel olarak elde edilmiş 3 farklı veri setinin birleştirilmesi ile oluşturulmuş olmasıdır. Bu veri setinde ilk olarak, güncel ölçümlerle elde edilmiş GPS/Nivelman verileri kullanılmıştır. Bu veri setine ayrıca ölçülmüş yerçekimi verileride ilave edilmiştir. İkinci veri seti olarak EGM2008 gibi yeni global geoit modelleri kullanılmıştır. Üçüncü ve son veri seti ise güncel olarak hazırlanmış sayısal yükseklik modelleri kullanılmıştır. Çalışmada geoit yüksekliklerinin hesaplamasında, Zhao ve diğ. [41]'nin aksine lokal bir hesaplama metodu gerçekleştirilmiştir. Bunun en önemli sebebi bina, yol veya köprü gibi çalışmalarda geoit hesaplamaları için lokal hesaplama yöntemlerinin kullanılıyor olmasıdır. Bunun nedeni ise referans noktalarının, bilinmeyen noktalara olan mesafesinin geoit yüksekliklerinin hesaplanmasında kritik bir öneme sahip olmasıdır. Çünkü Zhao ve diğ. [41] kullanmış oldukları geoit referans yüzeyi küresel ölçekte olması sebebiyle günümüz uygulamaları için gerekli doğruluğu sağlamaya elverişli değildir. TG20 ve lokal GPS nivelman noktalarının (C1-C3 derece) entegrasyonu sırasında çeşitli enterpolasyon yöntemleri (ağırlıklı aritmetik ortalama enterpolasyonu, kriging enterpolasyonu, multiküadratik enterpolasyonu, polinom enterpolasyonu) denenmiş ve sonuçlardan en az hata payına sahip polinom enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada analizler diğer çalışmaların [33-40] aksine daha küçük ölçekte ve noktasal bazda gerçekleştirilmiştir. Kentsel ve Orman alanlarındaki zemin yükseklik tahminlerine ilişkin sonuçlara bakıldığında Zhao ve diğ. [41] 1.89 m, Neuenschwander ve diğ. [63] 0.53 m ve 0.60, Wang ve diğ. [91] 1.96 m'lik sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışmada zemin yüksekliklerinin belirlenmesinde (güçlü ışınlarda RMSE = 2.003 cm ve zayıf ışınlarda RMSE = 2.377 cm) daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. GNSS/CORS - ICESat-2/ATLAS ikilisine baktığımızda, performansının hem güçlü hem de zayıf ışın hatlarında havasal LİDAR - ICESat-2/ATLAS ve GNSS/CORS - havasal LİDAR çiftlerinin gerisinde kaldığı görülmüştür. İnal ve diğ. [3] Ağ RTK ölçülerinin doğruluğunun test edilmesine yönelik yaptıkları çalışmalarında GNSS/CORS sistemleriyle yapılan kentsel alan ölçümlerinde kent yapılarının GNSS sinyallerini zayıflattığını belirtmiştir.

Bu durum yerleşim alanlarındaki çok katlı binaların ve ağaçların referans alıcısıyla olan görüş alanını sınırladığı, referans alıcısından gelen sinyalleri zayıflattığı ve GNSS alıcısına ulaşan aralıklı sinyallerin ölçüm doğruluğunu azalttığı düşüncesini pekiştirmiştir. Güçlü ışın hattındaki çiftlerin istatistiksel sonuçlarına baktığımızda, Havasal LİDAR – ICESat-2/ATLAS (RMSE = 2.003 cm, MSE = 4.013 cm, MAE = 1.748 cm, ME = 0.004 cm) arasındaki ilişkinin en iyisi olduğu görülmüştür. Bu, ICESat-2'nin güçlü foton sınıfları ve Havasal LİDAR sistemlerinin yoğun nokta bulutları ile açıklanmaktadır. Çünkü bu sistemler, sağladıkları yoğun nokta bulutlarını kullanarak, büyük binaların ve ağaç örtüsünün olduğu alanlarda zemin verilerinin elde edilmesinde avantaj sağlamaktadır.

Zayıf ışın hattındaki çiftlerin istatistiksel sonuçları incelediğimizde ise GNSS/CORS – Havasal LİDAR (RMSE = 2.146 cm, MSE = 4.607 cm, MAE = 1.850 cm, ME = 1.120 cm) arasındaki ilişkinin en iyi olduğu görülmektedir. Zayıf ışın hattındaki GNSS/CORS – Havasal LİDAR ölçümlerinin bu sonucu nispeten tahmin edilmekteydi. Bunun nedeni olarak zayıf ışın hattındaki ICESat-2/ATLAS fotonlarının sayısının, güçlü ışın hattındaki ICESat-2/ATLAS fotonların sayısından 4:1 oranında daha az olduğunun bilinmesidir [37, 38]. Çalışma sırasında yapılan yükseklik farkları ve istatistiksel hesaplamaların da gösterdiği gibi, ICESat-2'nin zemin noktası yüksekliklerini santimetre hassasiyetinde belirleyebildiği görülmüştür.

Bölüm 7

Sonuç

Günümüzde GNSS sistemleri yardımıyla dünya üzerindeki bir noktanın X, Y ve Z kartezyen koordinatları, enlem, boylam ve elipsoidal yükseklikleri kolayca belirlenebilmektedir. Havasal LİDAR sistemlerinin ise fiziksel yeryüzüne ait zemin, bina ve bitki örtüsü gibi çeşitli çalışma bölgelerine ait yüksekliklerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Ancak uzaysal tabanlı ICESat-2/ATLAS sisteminin bu tür alanlardaki performansı yeteri kadar bilinmemektedir. Bu çalışmada, ICESat/ATLAS verilerinin geoit ve ortometrik yükseklik değerleri C1-C3 derece nivelman noktaları ve 5'× 5' çözünürlüğündeki yeni Türkiye Geoit Modeli 2020 verileri yardımıyla çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu duruma ek olarak ICESat-2/ATLAS verilerinin ortometrik yükseklik tahminindeki performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışma alanlarına ait ortometrik yüksekliklerin doğru hesaplanması jeodezi, jeofizik, oşinografi gibi pek çok disiplin için oldukça önemlidir. Bu disiplinlere ait yapılan çalışmalarda analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için ortometrik yükseklik değerlerinin yüksek doğrulukta hesaplanması gerekmektedir.

Bu çalışmada ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS ölçümlerinden elde edilen elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere geçiş yapılabilmesi için geoit yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplama işlemi için ilk etapta iki farklı veri seti kullanılmıştır. Birinci veri seti olarak C1-C3 derece 12 adet GPS nivelman noktaları kullanılmıştır. Bu nivelman noktaları yardımıyla ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS ölçümlerinden elde edilen 52 bilinmeyen noktaya enterpolasyon yöntemleri uygulanarak geoit yükseklik değerleri Çakar [5] tarafından C sharp programlama dilinde geliştirilmiş olan windows tabanlı lokal Geoit 1.0 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Enterpolasyon yöntemi olarak ağırlıklı aritmetik ortalama, kriging, multikuadratik ve polinom enterpolasyon yöntemleri uygulanmıştır.

Daha sonra enterpolasyon yöntemlerinde kullanılan dayanak noktalarının sahayı temsil etme ve bu sonuçların doğruluklarının test edilmesi için uyuşum testleri yapılmış ve karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır.

Bu yöntemler ve karesel ortalama hata değerleri, polinom enterpolasyonu için $M_0 = \pm 0.70$ cm, multiküadratik enterpolasyonu için $M_0 = \pm 1.40$ cm ve kriging enterpolasyonu için $M_0 = \pm 2.60$ cm, ağırlıklı aritmetik ortalama enterpolasyonu için $k=1$ $M_0 = \pm 6.30$ cm, $k=2$ $M_0 = \pm 6.00$ cm, $k=3$ $M_0 = \pm 7.80$ cm ve $k=4$ $M_0 = \pm 8.50$ cm olarak sıralanmıştır. Mevcut enterpolasyon yöntemlerden elde edilen karesel ortalama hata değerlerine bakıldığında ağırlıklı aritmetik ortalama enterpolasyon yöntemine ait sonuçların ± 5 cm den yüksek olduğu görülmüş ve bundan sonraki işlem adımları için uygulama dışında bırakılmıştır.

İkinci veri seti olarak HGM tarafından ücretsiz olarak kullanıma sunulan $5' \times 5'$ çözünürlüğündeki yeni Türkiye Geoit Modeli 2020'ye ait veriler kullanılmıştır. Bu veriler sadece enlem, boylam ve geoit yükseklik bilgilerinden oluştuğu için 52 bilinmeyen noktaya ait veriler bu grid veri üzerinden hesaplanmıştır.

TG20 veri setinin çalışma alanımızı temsil etme doğruluğunun hesaplanabilmesi için hesaplamalara birinci veri seti içerisindeki 12 adet dayanak noktası da dahil edilmiştir. Dayanak noktalarının olması gereken değerleri ve TG20'ye göre hesaplanan değerleri kullanılarak KOH değeri hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda $M_0 = \pm 4.30$ cm olarak bulunmuştur. Bu sonuç BÖHHÜY'ne göre ± 5 cm'den küçük bir değer verdiği için uygulamada direkt olarak kullanılması uygundur. Ancak çalışmadaki geoit hesaplamalarına ait hassasiyetin artırılması için 52 noktanın N_TG'20 değerlerine birinci veri seti içerisindeki 12 adet dayanak noktası kullanılarak geoit iyileştirme işlemi uygulanmıştır.

Enterpolasyon yöntemi olarak birinci veri seti içerisinde en iyi KOH değerlerine sahip polinom, multiküadratik ve kriging enterpolasyon yöntemleri seçilmiştir. Yapılan iyileştirme işlemleri sonucunda 52 bilinmeyen noktaya ait iyileştirilmiş geoit yükseklik değerleri ile birinci veri seti yardımıyla 52 bilinmeyen nokta için hesaplanmış geoit değerleri arasındaki KOH değerleri hesaplanmıştır.

Bu yöntemlerden elde edilen sonuçlara bakıldığında en iyi sonucun Polinom enterpolasyonu ile iyileştirilmesi yapılmış polinom N_TG20 ($M_0 = \pm 0.00$ cm, $M_0 = \pm 0.40$ cm, $M_0 = \pm 0.67$ cm) değerleri olduğu görülmüştür. ICESat-2/ATLAS sisteminin karmaşık alanlardaki zemin topografyasını ve yüksekliğini tahmin etmek için elipsoidal yükseklik değerlerinden iyileştirilmiş N_TG20 değerleri arasındaki farklar alınarak bilinmeyen noktalara ait ortometrik yükseklik değerleri hesaplanmıştır.

Daha sonra ICESat-2/ATLAS, havasal LİDAR ve GNSS/CORS sistemleri arasında ikili gruplar oluşturularak aralarındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Analizler tüm ikili gruplar için ICESat-2/ATLAS'ın güçlü ve zayıf ışın hatları için ayrı ayrı yapılmıştır. Nicel gözlemler için hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), hata kareler ortalaması (MSE), hatanın mutlak ortalaması (MAE), ortalama hata (ME), belirleme katsayısı (R^2) olmak üzere 5 farklı analiz yöntemi seçilmiştir. Yapılan analiz işlemleri sonucunda güçlü ışın hattındaki en iyi sonucu veren ikilinin Havasal LİDAR – ICESat-2/ATLAS (RMSE = 2.003 cm, MSE = 4.013 cm, MAE = 1.748 cm, ME = 0.004 cm) olduğu ve zayıf ışın hattındaki en iyi sonucu veren ikilinin GNSS/CORS – Havasal LİDAR (RMSE = 2.146 cm, MSE = 4.607 cm, MAE = 1.850 cm, ME = 1.120 cm) arasında olduğu görülmüştür. Çalışmada GNSS/CORS - ICESat-2/ATLAS ikilisine baktığımızda, performansının havasal LİDAR – ICESat-2/ATLAS ikilisinin gerisinde kaldığı görülmüştür. Bu durumun sebebinin GNSS ile referans istasyonu arasındaki frekansın engellenmeye müsait olduğu bölgelerden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. ICESat-2/ATLAS'ın zayıf ışın hattındaki performansının düşük olduğu ve bununla zayıf ışın hattındaki foton sayısının güçlü ışın hattındaki foton sayısına göre 4:1 oranında daha az olmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Bu çalışma, ICESat-2/ATLAS sisteminin kentsel alanlardaki zemin topografyasını ve yüksekliğini tahmin etmek için değerli bilgiler sağlayabileceğini göstermektedir. Elbette, ICESat-2/ATLAS sisteminin GNSS/CORS ve havasal LİDAR gibi yüksek hassasiyetli sistemlerin yerini alması beklenmemektedir. Ancak mevcut sistemler için iyi bir yardımcı veya tamamlayıcı sistem olabileceğini göstermektedir. Birçok çalışmada, güçlü lazer ışını yoğunluğu ile elde edilen sonuçların, zayıf lazer ışını yoğunluğundan daha iyi olduğu bulunmuştur. Ancak çalışmamızda her iki lazer ışını yoğunluğunun paralel sonuçlar verdiği ve çok az farklılıkların olduğu görülmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ayrıca yerel verilerle kıyaslanan ve oldukça başarılı sonuçlar veren ICESat-2/ATLAS sisteminin özellikle ulaşılması ve girilmesi zor olan alanlarda bu tür araştırmalarda kullanılabileceğini göstermektedir. Mevcut farklılıkların çalışma alanından çalışma alanına değişiklik gösterebileceği bilinmektedir. Ancak ICESat-2'nin gelişmekte olan bir sistem olduğu unutulmamalıdır. Bu çalışmanın sonuçları, ICESat-2/ATLAS sisteminin performansı hakkında yeni araştırmaların yolunu açacaktır.

Kaynaklar

- [1] Arslanoğlu, M. Gerçek zamanlı kinematik GPS'in kent bilgi sistemlerinde kullanılabilirliğinin araştırılması (yüksek lisans tezi). Zonguldak: Bülent Ecevit Üniversitesi; 2002. <https://tez.yok.gov.tr/>
- [2] Rizos C. Network RTK research and implementation: A Geodetic Perspective. Journal of Global Positioning Systems 2002; 1(2): 144-150. doi.org/10.5081/jgps.1.2.144
- [3] İnal C, Bülbül S, Yıldırım Ö. Ağ RTK ölçülerinin tekrarlanabilirliği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2014; 14: 1-7. doi.org/10.5578/fmbd.8548
- [4] Raquet, J. Development of a method for kinematic GPS carrier-phase ambiguity resolution using multiple reference receivers (doktora tezi). Kanada: Calgary Üniversitesi; 1998.
- [5] akar, M. Lokal geoid üzerine C sharp programlama dilinde uygulama (yüksek lisans tezi). Aksaray: Aksaray Üniversitesi; 2016. <https://tez.yok.gov.tr/>
- [6] Li J, Shen WB, Zhou X. Direct regional quasi-geoid determination using EGM2008 and DEM: A case study for Mainland China and its vicinity areas. Geodesy and Geodynamics 2015; 6(6): 437-443. doi.org/10.1016/j.geog.2015.12.002
- [7] Pavlis NK, Holmes SA, Kenyon SC, Factor JK. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). Journal of Geophysical Research: Solid Earth 2012; 117: B04406. doi.org/10.1029/2011JB008916
- [8] Chen J, Li J, Ning J, Chao D. Study and implementation of geoid model with high precision and resolution in China and its some provinces and cities. Geomatics and Information Science of Wuhan University 2006; 31(4): 283-288.
- [9] Chen J, Li J, Ning J, Chao D, Zhang Y, Zhang J. A new Chinese geoid with high resolution and high accuracy. Geomatics and Information Science of Wuhan University 2001; 26(4): 283-289.

- [10] Tuşat, E. GPS gözlemleri ve yersel gözlemler yardımıyla jeoid profilinin çıkarılması (yüksek lisans tezi). Konya: Selçuk Üniversitesi; 2000. <https://tez.yok.gov.tr/>
- [11] Manisa M, Das RK, Segobye M, Maphale L. Developing local geoid model to assess accuracy of orthometric heights from GPS-based ellipsoidal heights in Botswana. *Spatial Information Research* 2016; 24: 607-616. doi.org/10.1007/s41324-016-0057-3
- [12] Yiğit, CÖ. Elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüşümünde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması (yüksek lisans tezi). Konya: Selçuk Üniversitesi; 2003. <https://tez.yok.gov.tr/>
- [13] Mammam G, Ben Ahmed Daho SA, Messaoud H. Description and validation of the new data to determine a geoid model in Algeria. *Energy Procedia* 2019; 157: 254-260. doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.188
- [14] Taktak F, Güllü M. Afyonkarahisar'da GPS gözlemleri ve nivelman ölçüleri yardımıyla yerel jeoid profilinin çıkarılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2007; 7(2): 166-180.
- [15] Ben Ahmed Daho SA, Kahlouche S, Fairhead JD. A procedure for modelling the differences between the gravimetric geoid model and GPS/levelling data with an example in the north part of Algeria. *Computers & Geosciences* 2006; 32(10): 1733-1745. doi.org/10.1016/j.cageo.2006.04.003
- [16] Yurt, K. Geometrik ve gravimetrik metodlarla lokal jeoid belirleme ve modelleme: Trabzon ili örneği (doktora tezi). Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi; 2006.
- [17] Akiz E, Yerci M. Jeoit kullanarak elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yükseklik belirleme yöntemlerinin doğruluk araştırması. *Harita Dergisi* 2009; 75(141): 13-25.
- [18] Akiz, E. Jeoit kullanarak elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yükseklik belirleme yöntemlerinin doğruluk araştırması (yüksek lisans tezi). Konya: Selçuk Üniversitesi; 2007. <https://tez.yok.gov.tr/>
- [19] Yılmaz, N. Türkiye için yöntem ve verilerle belirlenen geoitlerin karşılaştırılması (doktora tezi). Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi; 2011. <https://tez.yok.gov.tr/>

- [20] Ağca M, Gültekin NY, Kaya E. İnsansız hava aracından elde edilen veriler ile kaya düşme potansiyelinin değerlendirilmesi: Adam Kayalar örneği, Mersin. Geomatik Dergisi 2020; 5(2): 134-145.
- [21] Sefercik UG, Glennie C, Ateşoğlu A. Hava Kaynaklı Lazer Tarama Nokta Bulutları Kullanılarak 3B Meşcere Yükseklik Haritası Üretimi, Houston Örneği. TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu; 2015 Mayıs 21-23; Konya, Türkiye.
- [22] Varbla S, Ellmann A, Delpeche-Ellmann N. Applications of airborne laser scanning for determining marine geoid and surface waves properties. European Journal of Remote Sensing 2021; 54(1): 557-567. doi.org/10.1080/22797254.2021.1981156
- [23] Kuçak RA, Erol S, Özögel E, Erol B. İHA ve hava LİDAR verilerinden üretilen SAM ile geoid modellerinin değerlendirilmesi üzerine bir inceleme. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı; 2019 Nisan 25-27; Ankara, Türkiye.
- [24] Hwang C, Hsu HJ, Featherstone WE, Cheng CC, Yang M, Huang W, ve diğ. New gravimetric-only and hybrid geoid models of Taiwan for height modernisation, cross-island datum connection and airborne LİDAR mapping. Journal of Geodesy 2020; 94(9): 83. doi.org/10.1007/s00190-020-01412-5
- [25] Forsberg R, Olesen AV, Einarsson I, Manandhar N, Shreshta K. Geoid of Nepal from Airborne Gravity Survey. Earth on the Edge: Science for a Sustainable Planet 2014; 139: 521-527. doi.org/10.1007/978-3-642-37222-3_69
- [26] Julge K, Ellmann A, Gruno A. Performance analysis of freeware filtering algorithms for determining ground surface from airborne laser scanning data. Journal of Applied Remote Sensing 2014; 8(1): 083573. doi.org/10.1117/1.JRS.8.083573
- [27] Won-Choon L, Gwang-Jae W, Tae-Jun J, Oh-Seob K. Utilizing precise geoid model for conversion of airborne LİDAR data into orthometric height. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 2011; 29(4): 351-357. doi.org/10.7848/ksgpc.2011.29.4.351
- [28] Navruz M. Airborne LİDAR Ve Dted2 verilerinde yükseklik (H) karşılaştırması. Geomatik Dergisi 2017; 2(3): 112-117. doi.org/10.29128/geomatik.319270

- [29] Narine LL, Popescu S, Neuenschwander A, Zhou T, Srinivasan S, Harbeck K. Estimating aboveground biomass and forest canopy cover with simulated ICESat-2 data. *Remote Sensing of Environment* 2019; 224: 1-11. doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.037
- [30] Neuenschwander AL, Magruder LA. Canopy and terrain height retrievals with ICESat-2: A First Look. *Remote Sensing* 2019; 11(14): 1721. doi.org/10.3390/rs11141721
- [31] Narine LL, Popescu SC, Malambo L. Synergy of ICESat-2 and Landsat for mapping forest aboveground biomass with Deep Learning. *Remote Sensing* 2019; 11(12): 1503. doi.org/10.3390/rs11121503
- [32] Narine LL, Popescu S, Zhou T, Srinivasan S, Harbeck K. Mapping forest aboveground biomass with a simulated ICESat-2 vegetation canopy product and Landsat data. *Annals of Forest Research* 2019; 62(1). doi.org/10.15287/afr.2018.1163
- [33] Zhang G, Chen W, Xie H. Tibetan Plateau's lake level and volume changes from NASA's ICESat/ICESat-2 and Landsat missions. *Geophysical Research Letters* 2019; 46(22): 13107-13118. doi.org/10.1029/2019GL085032
- [34] Ma Y, Xu N, Liu Z, Yang B, Yang F, Wang XH, ve diğ. Satellite-derived bathymetry using the ICESat-2 LIDAR and Sentinel-2 imagery datasets. *Remote Sensing of Environment* 2020; 250(4): 112047. doi.org/10.1016/j.rse.2020.112047
- [35] Pang X, Chen Y, Ji Q, Li G, Shi L, Lan M, ve diğ. An Improved algorithm for the retrieval of the Antarctic Sea Ice Freeboard and Thickness from ICESat-2 Altimeter Data. *Remote Sensing* 2022; 14(5): 1069. doi.org/10.3390/rs14051069
- [36] Simurda C, Magruder LA, Markel J, Garvin JB, Slayback DA. ICESat-2 Applications for investigating emerging volcanoes. *Geosciences* 2022; 12(1): 40. doi.org/10.3390/geosciences12010040
- [37] Xing Y, Huang J, Gruen A, Qin L. Assessing the performance of ICESat-2/ATLAS Multi-Channel photon data for estimating ground topography in forested terrain. *Remote Sensing* 2020; 12(13): 2084. doi.org/10.3390/rs12132084

- [38] Liu A, Cheng X, Chen Z. Performance evaluation of GEDI and ICESat-2 laser altimeter data for terrain and canopy height retrievals. *Remote Sensing of Environment* 2021; 264(10): 112571. doi.org/10.1016/j.rse.2021.112571
- [39] Malambo L, Popescu SC. Assessing the agreement of ICESat-2 terrain and canopy height with airborne LIDAR over US ecozones. *Remote Sensing of Environment* 2021; 266: 112711. doi.org/10.1016/j.rse.2021.112711
- [40] Lao J, Wang C, Zhu X, Xi X, Nie S, Wang J, ve diğ. Retrieving building height in urban areas using ICESat-2 photon-counting LIDAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2021; 104(1): 102596. doi.org/10.1016/j.jag.2021.102596
- [41] Zhao Y, Wu B, Shu S, Yang L, Wu J, Yu B. Evaluation of ICESat-2 ATL03/08 surface height in urban environments using airborne LIDAR point cloud data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 2022; 19: doi.org/10.1109/LGRS.2021.3127540
- [42] Yerci M. Jeodezi 1 Ders Notları, 17. baskı. Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi; 2003, Konya.
- [43] Heiskanen WA, Moritz H. Physical geodesy. *Bulletin Geodesique* 1967; 86: 491-492. doi.org/10.1007/BF02525647
- [44] Kuru, B. Lokal jeoid belirlemede kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması (yüksek lisans tezi). Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi; 2018.
- [45] Ulusoy E. Matematiksel Geodezi, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları, Kutulmuş Matbaası; 1977.
- [46] Aksoy A, Güneş İH. Jeodezi I ve II, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası; Gümüşsuyu 1990.
- [47] Demir C. Düşey Datumun Belirlenmesi ve Uygulamada Kullanımı, TUJK 2005 yılı Bilimsel Toplantısı Jeoid ve Düşey Datum Çalıştay; 2005 Eylül 22-24; Trabzon, Türkiye. 78-83.
- [48] Kartal, A. GPS yöntemi ile yükseklik belirlenirken enterpolasyon yöntemlerinin kullanılması (yüksek lisans tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi; 1998.
- [49] Üstün, A. Bölgesel ve global yükseklik sistemlerinin oluşturulmasında GPS'in katkısı üzerine bir inceleme: Antalya – Samsun mareograf istasyonları arasında GPS nivelmanı örneği (doktora tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi; 2002.

- [50] Acar M, Turgut B. Astrojeodezik çekül sapması: Selçuk Üniversitesi GPS test ağı örneği. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisler Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı; 2005 Mart 28 – Nisan 1; Ankara, Türkiye. https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/AU8S_139_ek.pdf.
- [51] Yanar, R. Jeodezik yükseklik sistemleri üzerine bir araştırma (doktora tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi; 1999.
- [52] Akçın, H. Jeoid kavramı ve belirleme teknikleri üzerine bir inceleme. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2001; 4(1): 37-50.
- [53] Çakır, L. Ortometrik yüksekliklerin dolaylı olarak GPS gözlemlerinden elde edilmesinde kullanılan yöntemlerin irdelenmesi (doktora tezi). Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi; 2012.
- [54] Saka, K. Jeoid yüksekliklerinin belirlenmesinde konumsal enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması (yüksek lisans tezi). Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi; 2018.
- [55] Güler A. Sayısal arazi modellerinde enterpolasyon yöntemleri. Harita Dergisi 1978; 85: 53-71.
- [56] Zhan-Ji, Y. Precise determination of local geoid and its geophysical interpretation (doktora tezi). Hong Kong: Hong Kong Polytechnic University; 1998.
- [57] Yanalak M. Yön ve ters uzaklık ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon. Harita Dergisi 2002; 127: 55.
- [58] İnal C, Yiğit CÖ. Elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliğe dönüşümünde enterpolasyon yöntemlerinin kullanılabilirliği, Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 2004; 19(1): 73-83.
- [59] Nie S, Wang C, Xi X, Luo S, Li G, Tian J, ve diğ. Estimating the vegetation canopy height using micro-pulse photon-counting LIDAR data. Optics Express 2018; 26(10): A520-A540. doi.org/10.1364/OE.26.00A520
- [60] Markus T, Neumann T, Martino A, Abdalati W, Brunt K, Csatho B, ve diğ. The Ice, Cloud, and land Elevation Satellite-2 (ICESat-2): Science requirements, concept, and implementation. Remote Sensing of Environment 2017; 190: 260-273. doi.org/10.1016/j.rse.2016.12.029
- [61] Ağca M. PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 lazer sistemleri ve kullanım alanları. Geomatik Dergisi 2020; 5(1): 27-35. doi.org/10.29128/geomatik.560344

- [62] National Snow & Ice Data Center. ICESat/GLAS Overview [Internet]. Colorado USA; 2021 [erişim tarihi 11.10.2021]. <https://nsidc.org/data/icesat>.
- [63] Neuenschwander AL, Magruder LA. The potential impact of vertical sampling uncertainty on ICESat-2/ATLAS terrain and canopy height retrievals for multiple ecosystems. *Remote Sensing* 2016; 8(12): 1039. doi.org/10.3390/rs8121039
- [64] Neumann TA, Brenner A, Hancock D, Robbins J, Saba J, Harbeck K, ve diğ. ATLAS/ICESat-2 L2A Global Geolocated Photon Data, Version 5. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center 2021; Colorado USA. <https://doi.org/10.5067/ATLAS/ATL03.005>.
- [65] Liu X. Airborne LIDAR for DTM generation: Some critical issues. *Progress in Physical Geography* 2008; 32(1): 31-49. doi.org/10.1177/0309133308089496
- [66] Petzold B, Reiss P, Stössel W. Laser scanning-surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 1999; 54(2-3): 95-104. doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00005-2
- [67] Polat, N. Farklı fitreleme yöntemleri ile lidar nokta bulutlarından sayısal yükseklik modeli üretimi (yüksek lisans tezi). Afyonkarahisar: Afyon Kocatepe Üniversitesi; 2014.
- [68] Baltsavias EP. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 1999; (54): 83–94.
- [69] Hodgson ME, Jensen J, Raber G, Tullis J, Davis BA, Thompson G, ve diğ. An evaluation of LiDAR-derived elevation and terrain slope in leaf-off condition. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 2005; 71: 817-823.
- [70] Raber GT, Jensen JR, Schill SR, Schuckman K. Creation of Digital Terrain Models using an adaptive LiDAR vegetation point removal process. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 2002; 68: 1307-1316.
- [71] Meng X, Wang L, Silván-Cárdenas JL, Currit N. A multi-directional ground filtering algorithm for airborne LIDAR. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2009; 64(1): 117-124.
- [72] Lin Y, Mills JP. Factors influencing pulse width of small footprint, full waveform airborne laser scanning data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 2010; 76: 49-59.

- [73] Shih K, Balachandran A, Nagarajan K, Holland B, Slatton C, George A. Fast Real-Time LIDAR Processing on FPGAs. NSF Center for High-Performance Reconfigurable Computing (CHREC) 2008; 231-237.
- [74] Zeybek M, Şanlıoğlu İ, Genç A. Yüksek çözünürlüklü yersel lazer tarama verilerinin filtrelenmesi ve filtrelemelerin heyelan izlemeye etkisi. Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi 2015; 1(1-2): 11-20.
- [75] Koyuncu Lidar Harita ve Mühendislik. Mobil Lazer Tarama Sistemi fotoğraf [İnternet]. Konya; 2021 [erişim tarihi 15.10.2021]. <http://www.lidarharita.com/hizmetler-mobil.php>.
- [76] Inside GNSS (Global Navigation Satellite Systems). GNSS uydu fotoğrafı [İnternet]. New Jersey USA; 2020 [erişim tarihi 15.10.2021]. <https://insidegnss.com/beidou-completes-inter-satellite-link-testing-only-gnss-with-this-accuracy-improving-feature/>.
- [77] İlbey A. Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı Aktif. Dünya CBS Günü Kongre ve Sergi [İnternet]. Ankara; 2015 [erişim tarihi 15.10.2021]. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbsgunu/webmenu/webmenu15781.pdf>.
- [78] Ateş, HB. TUSAGA – Aktif GPS ağ verileri ile bölgesel iyonosferik modelin oluşturulması (yüksek lisans tezi). Gebze: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü; 2011.
- [79] Wanninger L. Virtual reference stations for centimeter - level kinematic positioning, Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation; 2002 Eylül 24-27; Portland, Oregon, USA. 1400-1407.
- [80] Wei E, Chai H, An Z, Liu J. VRS Virtual Observations Generation Algorithm, Journal of Global Positioning Systems 2006; 5(1-2): 76-81.
- [81] Kahveci M. Gerçek zamanlı ulusal sabit GNSS (CORS) ağları ve düşündükleri, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi 2009; 1(100).
- [82] Demir C, Cingöz A. Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı-1999 (TUDKA-99). Ed.; Gürkan O. TUJK 2002 yılı Bilimsel Toplantısı, Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı Bildiriler ve Konuşma Tutanakları Kitabı; 2002 Ekim 10-12; İznik. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma

- Enstitüsü Jeodezi Anabilim Dalı; 2004; İstanbul. ISBN:975-6786-10-8. 139-153.
- [83] Ayhan ME, Demir C, Lenk O, Kılıçoğlu A, Aktuğ B, Açıkgöz M ve diğ. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A). Harita Dergisi Özel Sayı 2002; (16): 1-73.
- [84] Yıldız H, Simav M, Sezen E, Akpınar I, Akdoğan YA, Cingöz A ve Akabalı OA. Determination and validation of the Turkish Geoid Model-2020 (TG-20). Bulletin of Geophysics and Oceanography 2021; 62(3): 495-512. doi.org/10.4430/bgta0345
- [85] Simav M, Yıldız H. Evaluation of EGM2008 and latest GOCE-based satellite-only global gravity field models using densified gravity network: a case study in south-western Turkey. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata 2019; 60(1): 49-68. doi.org/10.4430/bgta025549.
- [86] Yıldız H, Forsberg R, Ågren J, Tscherning CC, Sjöberg LE. Comparison of remove-restore and least squares modification of Stokes's formula techniques to quasi geoid determination over the Auvergne test area. Journal of Geodetic Science 2012; 2(1): 53-64.
- [87] Neuenschwander A, Pitts K. The ATL08 land and vegetation product for the ICESat-2 mission. Remote Sensing of Environment 2019; 221: 247-259. doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.005
- [88] Narine LL, Popescu SC, Malambo L. Using ICESat-2 to estimate and map forest aboveground biomass: A First Example. Remote Sensing 2020; 12(11): 1824. doi.org/10.3390/rs12111824
- [89] T.C. Resmi Gazete. Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliği [İnternet]. 2018 [erişim tarihi 17.05.2021]. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/3.5.201811962.pdf>
- [90] Dandabathula G, Sitiraju SR, Jha CS. Retrieval of building heights from ICESat-2 photon data and evaluation with field measurements. Environmental Research: Infrastructure and Sustainability 2021; 1(1).
- [91] Wang C, Zhu X, Nie S, Xi X, Li D, Zheng W, ve diğ. Ground elevation accuracy verification of ICESat-2 data: A case study in Alaska. Optics Express 2019; 27(26): 38168–38179. doi.org/10.1364/OE.27.038168

Ekler

Ek A

ICESat-2/ATLAS – Havasal LİDAR – GNSS/CORS Sistemleri ile Toplanan Noktaların Yatay ve Düşey Koordinat Bilgileri

Tablo A.1: ICESat-2/ATLAS yatay ve düşey koordinat bilgileri

Datum	ITRF96	Dilim Orta Meridyeni	27	Gt-2r (Güçlü Lazer ışınlarına ait noktalar)				
Epok	2005.00	Dilim Genişliği	3	Gt-2l (Zayıf Lazer ışınlarına ait noktalar)				
N.N	X (m)	Y (m)	Elipsoidal Yükseklik (m)	N.N	X (m)	Y (m)	Elipsoidal Yükseklik (m)	Lazer ışın türü
3390	514396.868	4330106.712	84.494	5486	514341.986	4329525.730	70.920	Güçlü
3700	514388.726	4330021.183	81.142	5531	514340.815	4329513.719	70.767	Güçlü
3741	514386.996	4330003.471	80.914	5613	514338.799	4329493.233	70.543	Güçlü
4207	514376.171	4329892.185	76.558	5624	514338.520	4329490.408	70.498	Güçlü
4255	514374.575	4329875.343	75.908	5723	514335.395	4329459.327	70.072	Güçlü
4310	514372.923	4329857.793	75.975	5752	514334.887	4329454.381	69.905	Güçlü
4313	514372.725	4329855.687	75.950	5884	514330.843	4329414.793	69.118	Güçlü
4933	514356.384	4329678.894	72.607	5916	514329.492	4329401.347	68.915	Güçlü
4967	514355.461	4329668.934	72.418	6078	514323.388	4329338.269	68.074	Güçlü
5204	514349.695	4329607.105	71.715	6088	514322.950	4329333.292	68.094	Güçlü
5305	514346.518	4329573.106	71.213	6116	514321.653	4329318.356	67.743	Güçlü

Tablo A.1 (devamı): ICESat-2/ATLAS yatay ve düşey koordinat bilgileri

5322	514346.184	4329569.568	71.197	6152	514320.499	4329304.840	67.513	Güçlü
5365	514345.044	4329557.541	71.168	6189	514318.939	4329286.342	67.141	Güçlü
5422	514343.692	4329543.399	71.153	6354	514310.350	4329186.249	65.667	Güçlü
5475	514342.260	4329528.556	70.961	6465	514307.250	4329153.784	65.391	Güçlü
5482	514342.055	4329526.436	70.889	6497	514305.738	4329138.269	65.159	Güçlü
1086	514472.435	4330019.301	80.063	1342	514442.868	4329702.198	73.554	Zayıf
1087	514472.242	4330017.185	80.012	1344	514442.614	4329699.349	73.395	Zayıf
1202	514462.041	4329906.440	76.606	1373	514441.468	4329686.535	73.504	Zayıf
1241	514455.043	4329832.908	75.168	1468	514436.556	4329631.776	72.718	Zayıf
1264	514452.672	4329808.105	75.008	1495	514434.103	4329604.810	72.414	Zayıf
1272	514451.391	4329794.628	74.942	1653	514423.425	4329491.748	70.567	Zayıf
1275	514451.122	4329791.789	74.791	1675	514420.434	4329459.974	70.052	Zayıf
1298	514448.318	4329761.963	74.402	1698	514417.490	4329427.409	69.699	Zayıf
1323	514443.570	4329710.030	73.536	1714	514414.820	4329397.656	69.003	Zayıf

Tablo A.2: Havasal LİDAR yatay ve düşey koordinat bilgileri

Datum	ITRF96	Dilim Orta Meridyeni		27	Güçlü = Gt2r= ICESat-2/ATLAS noktalarıyla çakışan havasal LİDAR noktaları			
Epok	2005.00	Dilim Genişliği		3	Zayıf = Gt2l= ICESat-2/ATLAS noktalarıyla çakışan havasal LİDAR noktaları			
Nokta no	X (m)	Y (m)	Elipsoidal Yükseklik (m)	Nokta no	X (m)	Y (m)	Elipsoidal Yükseklik (m)	Lazer ışın türü
3390	514396.857	4330106.681	84.480	5486	514341.978	4329525.756	70.900	Güçlü
3700	514388.757	4330021.178	81.180	5531	514340.793	4329513.730	70.750	Güçlü
3741	514386.986	4330003.440	80.930	5613	514338.785	4329493.220	70.530	Güçlü
4207	514376.155	4329892.214	76.580	5624	514338.545	4329490.412	70.470	Güçlü
4255	514374.590	4329875.401	75.940	5723	514335.406	4329459.311	70.050	Güçlü
4310	514372.903	4329857.764	75.980	5752	514334.880	4329454.350	69.910	Güçlü
4313	514372.714	4329855.663	75.960	5884	514330.851	4329414.793	69.140	Güçlü
4933	514356.406	4329678.862	72.580	5916	514329.514	4329401.365	68.940	Güçlü
4967	514355.450	4329668.924	72.440	6078	514323.379	4329338.260	68.090	Güçlü

Tablo A.2 (devamı): Havasal LİDAR yatay ve düşey koordinat bilgileri

5204	514349.718	4329607.130	71.710	6088	514322.951	4329333.322	68.060	Güçlü
5305	514346.518	4329573.106	71.210	6116	514321.645	4329318.357	67.730	Güçlü
5322	514346.157	4329569.548	71.200	6152	514320.523	4329304.816	67.540	Güçlü
5365	514345.063	4329557.564	71.180	6189	514318.929	4329286.337	67.140	Güçlü
5422	514343.694	4329543.424	71.140	6354	514310.345	4329186.225	65.640	Güçlü
5475	514342.271	4329528.527	70.930	6465	514307.237	4329153.813	65.380	Güçlü
5482	514342.026	4329526.421	70.900	6497	514305.718	4329138.278	65.170	Güçlü
1086	514472.429	4330019.308	80.090	1342	514442.851	4329702.187	73.540	Zayıf
1087	514472.222	4330017.200	80.010	1344	514442.612	4329699.350	73.420	Zayıf
1202	514462.051	4329906.416	76.580	1373	514441.438	4329686.516	73.540	Zayıf
1241	514455.035	4329832.909	75.140	1468	514436.549	4329631.782	72.730	Zayıf
1264	514452.704	4329808.084	75.040	1495	514434.115	4329604.802	72.430	Zayıf
1272	514451.420	4329794.611	74.920	1653	514423.419	4329491.735	70.590	Zayıf
1275	514451.153	4329791.765	74.820	1675	514420.438	4329459.947	70.080	Zayıf
1298	514448.325	4329761.958	74.410	1698	514417.492	4329427.418	69.670	Zayıf
1323	514443.546	4329710.024	73.510	1714	514414.834	4329397.643	68.980	Zayıf
1336	514442.977	4329703.627	73.480	1738	514412.049	4329367.166	68.510	Zayıf

Tablo A.3: GNSS/CORS yatay ve düşey koordinat bilgileri

Datum	ITRF96	Dilim Orta Meridyeni		27	Güçlü =Gt2r= ICESat-2/ATLAS noktalarında ölçülen GNSS/CORS noktaları			
Epok	2005.00	Dilim Genişliği		3	Zayıf = Gt2l= ICESat-2/ATLAS noktalarında ölçülen GNSS/CORS noktaları			
Nokta no	X (m)	Y (m)	Elipsoidal Yükseklik (m)	Nokta no	X (m)	Y (m)	Elipsoidal Yükseklik (m)	Lazer ışın türü
3390	514396.887	4330106.691	84.512	5486	514342.011	4329525.723	70.879	Güçlü
3700	514388.723	4330021.186	81.168	5531	514340.811	4329513.701	70.774	Güçlü
3741	514387.003	4330003.449	80.952	5613	514338.783	4329493.257	70.557	Güçlü
4207	514376.18	4329892.19	76.587	5624	514338.52	4329490.378	70.456	Güçlü
4255	514374.565	4329875.315	75.933	5723	514335.377	4329459.304	70.048	Güçlü
4310	514372.931	4329857.798	75.992	5752	514334.902	4329454.353	69.951	Güçlü

Tablo A.3 (devamı): GNSS/CORS yatay ve düşey koordinat bilgileri

4313	514372.741	4329855.697	75.980	5884	514330.853	4329414.767	69.150	Güçlü
4933	514356.373	4329678.896	72.640	5916	514329.487	4329401.359	68.962	Güçlü
4967	514355.482	4329668.92	72.458	6078	514323.411	4329338.255	68.110	Güçlü
5204	514349.696	4329607.106	71.745	6088	514322.936	4329333.297	68.085	Güçlü
5305	514346.518	4329573.105	71.230	6116	514321.64	4329318.329	67.698	Güçlü
5322	514346.184	4329569.568	71.225	6152	514320.5	4329304.826	67.568	Güçlü
5365	514345.032	4329557.561	71.232	6189	514318.926	4329286.329	67.176	Güçlü
5422	514343.691	4329543.4	71.119	6354	514310.379	4329186.253	65.638	Güçlü
5475	514342.242	4329528.554	70.947	6465	514307.249	4329153.797	65.359	Güçlü
5482	514342.051	4329526.417	70.916	6497	514305.727	4329138.249	65.198	Güçlü
1086	514472.417	4330019.33	80.096	1342	514442.86	4329702.219	73.579	Zayıf
1087	514472.226	4330017.172	80.029	1344	514442.644	4329699.325	73.408	Zayıf
1202	514462.014	4329906.415	76.567	1373	514441.448	4329686.55	73.535	Zayıf
1241	514455.013	4329832.879	75.155	1468	514436.539	4329631.755	72.755	Zayıf
1264	514452.676	4329808.078	75.056	1495	514434.084	4329604.826	72.460	Zayıf
1272	514451.385	4329794.615	74.955	1653	514423.401	4329491.732	70.602	Zayıf
1275	514451.134	4329791.761	74.800	1675	514420.455	4329459.95	70.110	Zayıf
1298	514448.306	4329761.984	74.408	1698	514417.519	4329427.392	69.682	Zayıf
1323	514443.563	4329710.056	73.548	1714	514414.852	4329397.635	68.959	Zayıf
1336	514443.003	4329703.596	73.495	1738	514412.07	4329367.198	68.515	Zayıf

Ek B

Enterpolasyon Yöntemleri ile Hesaplanan Geoit Yükseklik Bilgileri ve Uyuşum Test Sonuçları

Tablo B.1: Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon yöntemi uyumu testleri
k=1

k=1	M ₀ =	0,063	m			
N.N	N (Ölçü)	N(Hesap)	V(m)	Test Değeri	Sınır	Sonuç
J181H001	38.5357	38.6041	-0.0684	1.077	1.719	UYUŞUMLU
J181H002	38.5796	38.6749	-0.0953	1.502	1.719	UYUŞUMLU
J183H015	38.6544	38.7168	-0.0624	0.983	1.719	UYUŞUMLU
J183H016	38.7827	38.7197	0.0630	0.992	1.719	UYUŞUMLU
J183H017	38.7675	38.7040	0.0635	1.001	1.719	UYUŞUMLU
J183H018	38.7976	38.6755	0.1221	1.706	1.719	UYUŞUMLU
J183H020	38.6416	38.6080	0.0336	0.529	1.719	UYUŞUMLU
J183H021	38.5918	38.5907	0.0011	0.018	1.719	UYUŞUMLU
J183H022	38.5946	38.5996	-0.0050	0.079	1.719	UYUŞUMLU
J183H023	38.6056	38.6138	-0.0082	0.129	1.719	UYUŞUMLU
J183H024	38.6096	38.6523	-0.0427	0.672	1.719	UYUŞUMLU
J183H025	38.6426	38.6684	-0.0258	0.406	1.719	UYUŞUMLU

Tablo B.2: Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri
k=2

k=2	M ₀ =	0,06	m			
N.N	N (Ölçü)	N(Hesap)	V(m)	Test Değeri	Sınır	Sonuç
J181H001	38.5357	38.5794	-0.0637	1.063	1.606	UYUŞUMLU
J181H002	38.5796	38.6556	-0.0960	1.603	1.606	UYUŞUMLU
J183H015	38.6544	38.7041	-0.0697	1.165	1.606	UYUŞUMLU
J183H016	38.7827	38.7084	0.0543	0.907	1.606	UYUŞUMLU
J183H017	38.7675	38.7538	0.0637	1.064	1.606	UYUŞUMLU
J183H018	38.7976	38.7399	0.1077	1.598	1.606	UYUŞUMLU
J183H020	38.6416	38.6563	0.0353	0.590	1.606	UYUŞUMLU
J183H021	38.5918	38.5890	0.0028	0.047	1.606	UYUŞUMLU
J183H022	38.5946	38.5988	-0.0042	0.071	1.606	UYUŞUMLU
J183H023	38.6056	38.6137	-0.0081	0.136	1.606	UYUŞUMLU
J183H024	38.6096	38.6412	-0.0316	0.527	1.606	UYUŞUMLU
J183H025	38.6426	38.6616	-0.0190	0.318	1.606	UYUŞUMLU

Tablo B.3: Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri
k=3

k=3	M ₀ =	0,078	m			
N.N	N (Ölçü)	N(Hesap)	V(m)	Test Değeri	Sınır	Sonuç
J181H001	38.5357	38.6123	-0.0766	0.987	1.734	UYUŞUMLU
J181H002	38.5796	38.6526	-0.0730	0.941	1.734	UYUŞUMLU
J183H015	38.6544	38.7168	-0.0624	0.804	1.734	UYUŞUMLU
J183H016	38.7827	38.6944	0.0883	1.139	1.734	UYUŞUMLU
J183H017	38.7675	38.7059	0.0616	0.794	1.734	UYUŞUMLU
J183H018	38.7976	38.6246	0.1730	1.731	1.734	UYUŞUMLU
J183H020	38.6416	38.6111	0.0305	0.393	1.734	UYUŞUMLU
J183H021	38.5918	38.6008	-0.0090	0.116	1.734	UYUŞUMLU

Tablo B.3 (devamı): Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri k=3

J183H022	38.5946	38.6024	-0.0078	0.100	1.734	UYUŞUMLU
J183H023	38.6056	38.6022	0.0034	0.044	1.734	UYUŞUMLU
J183H024	38.6096	38.6800	-0.0704	0.908	1.734	UYUŞUMLU
J183H025	38.6426	38.7018	-0.0592	0.763	1.734	UYUŞUMLU

Tablo B.4: Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri k=4

k=4	$M_0 =$	0,085	m			
N.N	N (Ölçü)	N(Hesap)	V(m)	Test Değeri	Sınır	Sonuç
J181H001	38.5357	38.6087	-0.0730	0.854	1.346	UYUŞUMLU
J181H002	38.5796	38.6199	-0.0403	0.472	1.346	UYUŞUMLU
J183H015	38.6544	38.7380	-0.0836	0.979	1.346	UYUŞUMLU
J183H016	38.7827	38.6791	0.1036	1.213	1.346	UYUŞUMLU
J183H017	38.7675	38.7106	0.0569	0.666	1.346	UYUŞUMLU
J183H018	38.7976	38.6017	0.1959	1.323	1.346	UYUŞUMLU
J183H020	38.6416	38.6103	0.0313	0.366	1.346	UYUŞUMLU
J183H021	38.5918	38.6053	-0.0135	0.158	1.346	UYUŞUMLU
J183H022	38.5946	38.6046	-0.0100	0.118	1.346	UYUŞUMLU
J183H023	38.6056	38.5931	0.0125	0.146	1.346	UYUŞUMLU
J183H024	38.6096	38.6640	-0.0544	0.637	1.346	UYUŞUMLU
J183H025	38.6426	38.7406	-0.0980	1.148	1.346	UYUŞUMLU

Tablo B.5: Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon yöntemiyle hesaplanan
geoit yükseklik değerleri

Ağırlıklı Aritmetik Ortalama ile Enterpolasyon Yöntemiyle Hesaplanan Geoit Yükseklikleri									
Nokta no	k=1	k=2	k=3	k=4	Nokta no	k=1	k=2	k=3	k=4
3390	38.5911	38.6522	38.5864	38.5829	5486	38.5852	38.5068	38.5785	38.5832
3700	38.5309	38.5799	38.5859	38.5533	5531	38.4487	38.3494	38.5225	38.4996
3741	38.6119	38.6160	38.5907	38.6120	5613	38.5954	38.5254	38.5932	38.5923
4207	38.6225	38.6350	38.6631	38.6478	5624	38.6275	38.6307	38.6129	38.6174
4255	38.6559	38.5536	38.6493	38.6540	5723	38.6165	38.6168	38.6115	38.6138
4310	38.6307	38.4738	38.7045	38.6817	5752	38.5850	38.5883	38.6057	38.5966
4313	38.6355	38.5429	38.6332	38.6324	5884	38.6534	38.6999	38.6416	38.6256
4933	38.6234	38.6325	38.6088	38.6132	5916	38.7079	38.6685	38.6356	38.6745
4967	38.6142	38.6163	38.6092	38.6115	6078	38.6955	38.6878	38.6908	38.6900
5204	38.5924	38.5900	38.6131	38.6041	6088	38.5645	38.6321	38.6194	38.6239
5305	38.5871	38.6530	38.5753	38.5593	6116	38.6205	38.5852	38.5993	38.6015
5322	38.6532	38.6612	38.5809	38.6198	6152	38.5589	38.5517	38.5995	38.5905
5365	38.6530	38.6977	38.6484	38.6448	6189	38.6113	38.4892	38.6046	38.5886
5422	38.5913	38.6418	38.6463	38.6137	6354	38.4912	38.5198	38.5650	38.6039
5475	38.6618	38.6595	38.6406	38.6618	6465	38.5720	38.5816	38.5697	38.5662
5482	38.5245	38.5441	38.5651	38.5499	6497	38.6518	38.6407	38.6372	38.6046
1086	38.5139	38.5135	38.5346	38.5193	1342	38.5545	38.6222	38.6095	38.5935
1087	38.6175	38.5340	38.6058	38.6104	1344	38.6362	38.6010	38.6150	38.6539
1202	38.6951	38.4497	38.6228	38.6000	1373	38.5372	38.5300	38.5778	38.5742
1241	38.6227	38.5526	38.6204	38.6196	1468	38.5887	38.4667	38.5821	38.5495
1264	38.6288	38.6320	38.6142	38.6186	1495	38.5755	38.6041	38.6493	38.6705
1272	38.6558	38.6561	38.6508	38.6531	1653	38.6402	38.6498	38.6379	38.6226
1275	38.6244	38.6277	38.6451	38.6443	1675	38.7086	38.6976	38.6940	38.6987
1298	38.7131	38.7596	38.7013	38.7058	1698	38.6270	38.6104	38.6219	38.5991
1323	38.7010	38.6616	38.6287	38.6310	1714	38.5808	38.5804	38.6015	38.6007
1336	38.6135	38.6059	38.6089	38.5998	1738	38.6132	38.5804	38.6014	38.6059

Tablo B.6: Kriging enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri

KRİĞİNG ENTERPOLASYON YÖNTEMİYLE ORTOMETRİK YÜKSEKLİK HESABI VE FARKLAR	
Nokta Sayısı	12
Serbestlik Derecesi	3
Test Sınır Değeri	2.442
Enterpolasyon Yöntemi	Kriging
Kriging Yöntemi	Universal
Variogram Modeli	Lineer
Karesel Ortalama Hata (Mo)	0.026 (m)

Ortometrik Yüksekliği Bilinen Noktalar

Nokta Adı	SAĞA DEĞER(m)	YUKARI DEĞER(m)	ELİPSOİD YÜK.(m)	ORTOMETRİK YÜK.(m)	GEOİT YÜK.(m)
J181H001	520016.6945	4332018.51	102.2327	63.697	38.5357
J181H002	512882.9717	4329097.42	64.9106	26.331	38.5796

Ortometrik Yüksekliği Bilinen Noktalar (devamı)

J183H015	511322.5202	4329465.29	116.4764	77.822	38.6544
J183H016	511952.9103	4330626.99	261.9027	223.12	38.7827
J183H017	513545.5759	4331792.44	270.4895	231.722	38.7675
J183H018	514553.4099	4333245.34	294.3836	255.586	38.7976
J183H020	516420.9739	4332603.28	130.2826	91.641	38.6416
J183H021	518439.1349	4332172.54	109.9508	71.359	38.5918
J183H022	516836.8569	4331295.85	104.9506	66.356	38.5946
J183H023	515646.8868	4330087.65	111.4016	72.796	38.6056
J183H024	514938.2648	4330626.17	112.3086	73.699	38.6096
J183H025	514044.4969	4330008.76	150.5726	111.93	38.6426

KRİĞİNG Enterpolasyon Yöntemiyle Hesaplanan Dayanak Noktalarının
Ortometrik Yükseklik(H) ve Geoit Yüksekliği(N)

Nokta Adı	SAĞA DEĞER(m)	YUKARI DEĞER(m)	ELİPSOİD YÜK.(m)	ORTOMETRİK YÜK.(m)	GEOİT YÜK.(m)
J181H001	520016.695	4332018.51	102.2327	63.6973	38.5354
J181H002	512882.972	4329097.42	64.9106	26.3497	38.5609
J183H015	511322.52	4329465.29	116.4764	77.8129	38.6635

Tablo B.6 (devamı): Kriging enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri

J183H016	511952.91	4330626.99	261.9027	223.1345	38.7682
J183H017	513545.576	4331792.44	270.4895	231.7073	38.7822
J183H018	514553.41	4333245.34	294.3836	255.5899	38.7937
J183H020	516420.974	4332603.28	130.2826	91.6369	38.6457
J183H021	518439.135	4332172.54	109.9508	71.3624	38.5884
J183H022	516836.857	4331295.85	104.9506	66.3419	38.6087
J183H023	515646.887	4330087.65	111.4016	72.7931	38.6085
J183H024	514938.265	4330626.17	112.3086	73.7606	38.5480
J183H025	514044.497	4330008.76	150.5726	111.8726	38.7000

Tablo B.6 (devamı): Kriging enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri

Lokal Geoit Uyuşum Testi						
Nokta Adı	N(Orto.)	N(Yüzey)	V(m)	Test Değeri	Sınır	Sonuç
J181H001	38.5357	38.5354	0.0003	0.010	2.442	UYUŞUMLU
J181H002	38.5796	38.5609	0.0187	0.621	2.442	UYUŞUMLU
J183H015	38.6544	38.6635	-0.0091	0.302	2.442	UYUŞUMLU
J183H016	38.7827	38.7682	0.0145	0.479	2.442	UYUŞUMLU
J183H017	38.7675	38.7822	-0.0147	0.488	2.442	UYUŞUMLU
J183H018	38.7976	38.7937	0.0039	0.128	2.442	UYUŞUMLU
J183H020	38.6416	38.6457	-0.0041	0.135	2.442	UYUŞUMLU
J183H021	38.5918	38.5884	0.0034	0.112	2.442	UYUŞUMLU
J183H022	38.5946	38.6087	-0.0141	0.467	2.442	UYUŞUMLU
J183H023	38.6056	38.6085	-0.0029	0.097	2.442	UYUŞUMLU
J183H024	38.6096	38.5480	0.0616	2.040	2.442	UYUŞUMLU
J183H025	38.6426	38.7000	-0.0574	1.902	2.442	UYUŞUMLU

Tablo B.6 (devam): Kriging enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri

Nokta Adı	H (Ölçü)	H (Kriging)	Fark (m)
J181H001	63.6970	63.697	0.000
J181H002	26.3310	26.350	-0.019
J183H015	77.8220	77.813	0.009
J183H016	223.1200	223.135	-0.014
J183H017	231.7220	231.707	0.015
J183H018	255.5860	255.590	-0.004
J183H020	91.6410	91.637	0.004
J183H021	71.3590	71.362	-0.003
J183H022	66.3560	66.342	0.014
J183H023	72.7960	72.793	0.003
J183H024	73.6990	73.761	-0.062
J183H025	111.9300	111.873	0.057

Tablo B.7: Multiküadratik enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri

MULTİKÜADRATİK ENTERPOLASYON YÖNTEMİYLE ORTOMETRİK YÜKSEKLİK HESABI VE FARKLAR					
Nokta Sayısı	12				
Serbestlik Derecesi	6				
Test Sınır Değeri	2.235				
Polinom Derecesi	2. derece				
Polinom Katsayıları Sayısı	6				
Karesel Ortalama Hata (Mo)	0.014 (m)				
Yüzey Oluşturmak İçin Kullanılan ve Ortometrik Yüksekliği Bilinen Noktalar					
Nokta Adı	SAĞA DEĞER(m)	YUKARI DEĞER(m)	ELİPSOİD YÜK.(m)	ORTOMETRİK YÜK.(m)	GEOİT YÜK.(m)
J181H001	520016.6950	4332018.5130	102.2327	63.6970	38.5357
J181H002	512882.9720	4329097.4230	64.9106	26.3310	38.5796
J183H015	511322.5200	4329465.2900	116.4764	77.8220	38.6544
J183H016	511952.9100	4330626.9890	261.9027	223.1200	38.7827

Tablo B.7 (devamı): Multikuadratik enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri

J183H017	513545.5760	4331792.4380	270.4895	231.7220	38.7675
J183H018	514553.4100	4333245.3420	294.3836	255.5860	38.7976
J183H020	516420.9740	4332603.2750	130.2826	91.6410	38.6416
J183H021	518439.1350	4332172.5360	109.9508	71.3590	38.5918
J183H022	516836.8570	4331295.8470	104.9506	66.3560	38.5946
J183H023	515646.8870	4330087.6490	111.4016	72.7960	38.6056
J183H024	514938.2650	4330626.1700	112.3086	73.6990	38.6096
J183H025	514044.4970	4330008.7630	150.5726	111.9300	38.6426

Tablo B.7 (devamı): Multikuadratik enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri

MULTİ-KUADRATİK Enterpolasyon Yöntemi İle Hesaplanan Ortometrik Yükseklik(H) ve Geoit Yüksekliği(N)					
Nokta Adı	SAĞA DEĞER(m)	YUKARI DEĞER(m)	ELİPSOİD YÜK.(m)	ORTOMETRİK YÜK.(m)	GEOİT YÜK.(m)
J181H001	520016.6950	4332018.5130	102.2327	63.6870	38.5460
J181H002	512882.9720	4329097.4230	64.9106	26.3300	38.5800
J183H015	511322.5200	4329465.2900	116.4764	77.8100	38.6670
J183H016	511952.9100	4330626.9890	261.9027	223.1380	38.7650
J183H017	513545.5760	4331792.4380	270.4895	231.7160	38.7740
J183H018	514553.4100	4333245.3420	294.3836	255.5860	38.7980
J183H020	516420.9740	4332603.2750	130.2826	91.6360	38.6460
J183H021	518439.1350	4332172.5360	109.9508	71.3840	38.5670
J183H022	516836.8570	4331295.8470	104.9506	66.3450	38.6060
J183H023	515646.8870	4330087.6490	111.4016	72.8050	38.5970
J183H024	514938.2650	4330626.1700	112.3086	73.6740	38.6350
J183H025	514044.4970	4330008.7630	150.5726	111.9490	38.6240

Tablo B.7 (devam): Multiküadratik enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri

Lokal Geoit Uyuşum Testi						
Nokta Adı	N(Orto.)	N(Yüzey)	V(m)	Test Değeri	Sınır	Sonuç
J181H001	38.5357	38.5458	-0.0101	0.4960	2.2350	UYUŞUMLU
J181H002	38.5796	38.5804	-0.0008	0.0420	2.2350	UYUŞUMLU
J183H015	38.6544	38.6667	-0.0123	0.6080	2.2350	UYUŞUMLU
J183H016	38.7827	38.7649	0.0178	0.8790	2.2350	UYUŞUMLU
J183H017	38.7675	38.7738	-0.0063	0.3100	2.2350	UYUŞUMLU
J183H018	38.7976	38.7976	0.0000	0.0000	2.2350	UYUŞUMLU
J183H020	38.6416	38.6463	-0.0047	0.2310	2.2350	UYUŞUMLU
J183H021	38.5918	38.5666	0.0252	1.2430	2.2350	UYUŞUMLU
J183H022	38.5946	38.6059	-0.0113	0.5600	2.2350	UYUŞUMLU
J183H023	38.6056	38.5967	0.0089	0.4380	2.2350	UYUŞUMLU
J183H024	38.6096	38.6348	-0.0252	1.2440	2.2350	UYUŞUMLU
J183H025	38.6426	38.6238	0.0188	0.9290	2.2350	UYUŞUMLU

Tablo B.7 (devam): Multiküadratik enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri

Nokta Adı	ORTOMETRİK YÜK.	ORTO. YÜK. (YÜZEY)	FARK(m)
J181H001	63.6970	63.6870	0.010
J181H002	26.3310	26.3300	0.001
J183H015	77.8220	77.8100	0.012
J183H016	223.1200	223.1380	-0.018
J183H017	231.7220	231.7160	0.006
J183H018	255.5860	255.5860	0.000
J183H020	91.6410	91.6360	0.005
J183H021	71.3590	71.3840	-0.025
J183H022	66.3560	66.3450	0.011
J183H023	72.7960	72.8050	-0.009
J183H024	73.6990	73.6740	0.025
J183H025	111.9300	111.9490	-0.019

Tablo B.7 (devam): Multiküadratik enterpolasyon yöntemi uyumu testleri

MULTİ-KUADRATİK Enterpolasyon Yöntemiyle Artık Geoit Ondülasyon Değerinin Hesabı						
Nokta Adı	N (Orto.)	N (Yüzey)	Fark (Nort.- Nyüz.)	deltaN (Multi- Kuad.)	N(Yüz.)+deltaN	Kontrol
J181H001	38.5357	38.5458	-0.010	-0.010	38.5357	0.0000
J181H002	38.5796	38.5804	-0.001	-0.001	38.5796	0.0000
J183H015	38.6544	38.6667	-0.012	-0.012	38.6544	0.0000
J183H016	38.7827	38.7649	0.018	0.018	38.7827	0.0000
J183H017	38.7675	38.7738	-0.006	-0.006	38.7675	0.0000
J183H018	38.7976	38.7976	0.000	0.000	38.7976	0.0000
J183H020	38.6416	38.6463	-0.005	-0.005	38.6416	0.0000
J183H021	38.5918	38.5666	0.025	0.025	38.5918	0.0000
J183H022	38.5946	38.6059	-0.011	-0.011	38.5946	0.0000
J183H023	38.6056	38.5967	0,009	0.009	38.6056	0.0000
J183H024	38.6096	38.6348	-0.025	-0.025	38.6096	0.0000
J183H025	38.6426	38.6238	0.019	0.019	38.6426	0.0000

Tablo B.8: Polinom enterpolasyon yöntemi uyumu testleri

YÜZEY POLİNOMU ENTERPOLASYON YÖNTEMİYLE ORTOMETRİK YÜKSEKLİK HESABI VE UYUŞUM TESTİ					
Nokta Sayısı			12		
Serbestlik Derecesi			2		
Test Sınır Değeri			2,389		
Polinom Derecesi			3.derece		
Polinom Katsayıları Sayısı			10		
Karesel Ortalama Hata (Mo)			0.007 (m)		
Yüzey Oluşturmak İçin Kullanılan ve Ortometrik Yüksekliği Bilinen Noktalar					
Nokta Adı	SAĞA DEĞER(m)	YUKARI DEĞER(m)	ELİPSOİD YÜK.(m)	ORTOMETRİK YÜK.(m)	GEOİT YÜK.(m)
J181H001	520016.6950	4332018.5130	102.2327	63.6970	38.5357
J181H002	512882.9720	4329097.4230	64.9106	26.3310	38.5796

Tablo B.8 (devamı): Polinom enterpolasyon yöntemi uyumu testleri

J183H015	511322.5200	4329465.2900	116.4764	77.8220	38.6544
J183H016	511952.9100	4330626.9890	261.9027	223.1200	38.7827
J183H017	513545.5760	4331792.4380	270.4895	231.7220	38.7675
J183H018	514553.4100	4333245.3420	294.3836	255.5860	38.7976
J183H020	516420.9740	4332603.2750	130.2826	91.6410	38.6416
J183H021	518439.1350	4332172.5360	109.9508	71.3590	38.5918
J183H022	516836.8570	4331295.8470	104.9506	66.3560	38.5946
J183H023	515646.8870	4330087.6490	111.4016	72.7960	38.6056
J183H024	514938.2650	4330626.1700	112.3086	73.6990	38.6096
J183H025	514044.4970	4330008.7630	150.5726	111.9300	38.6426

Tablo B.8 (devamı): Polinom enterpolasyon yöntemi uyumu testleri

KÜBİK (3.Dereceden 10 Bilinmeyenli) Yüzey Polinomu İle Hesaplanan Ortometrik Yükseklik (H) ve Geoit Yüksekliği (N)					
Nokta Adı	SAĞA DEĞER(m)	YUKARI DEĞER(m)	ELİPSOİD YÜK.(m)	ORTOMETRİK YÜK.(m)	GEOİT YÜK.(m)
J181H001	520016.6950	4332018.5130	102.2327	63.6963	38.5364
J181H002	512882.9720	4329097.4230	64.9106	26.3267	38.5839
J183H015	511322.5200	4329465.2900	116.4764	77.8241	38.6523
J183H016	511952.9100	4330626.9890	261.9027	223.1158	38.7869
J183H017	513545.5760	4331792.4380	270.4895	231.7269	38.7626
J183H018	514553.4100	4333245.3420	294.3836	255.5852	38.7984
KÜBİK (3.Dereceden 10 Bilinmeyenli) Yüzey Polinomu İle Hesaplanan Ortometrik Yükseklik (H) ve Geoit Yüksekliği (N) (devamı)					
J183H020	516420.9740	4332603.2750	130.2826	91.6403	38.6423
J183H021	518439.1350	4332172.5360	109.9508	71.3602	38.5906
J183H022	516836.8570	4331295.8470	104.9506	66.3594	38.5912
J183H023	515646.8870	4330087.6490	111.4016	72.7964	38.6052
J183H024	514938.2650	4330626.1700	112.3086	73.6827	38.6259
J183H025	514044.4970	4330008.7630	150.5726	111.9450	38.6276

Tablo B.8 (devamı): Polinom enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri

Lokal Geoit Uyuşum Testi						
Nokta Adı	N(Orto.)	N(Yüzey)	V(m)	Test Değeri	Sınır	Sonuç
J181H001	38.5357	38.5364	-0.0007	0.0438	2.3890	UYUŞUMLU
J181H002	38.5796	38.5839	-0.0043	0.2569	2.3890	UYUŞUMLU
J183H015	38.6544	38.6523	0.0021	0.1267	2.3890	UYUŞUMLU
J183H016	38.7827	38.7869	-0.0042	0.2493	2.3890	UYUŞUMLU
J183H017	38.7675	38.7626	0.0049	0.2889	2.3890	UYUŞUMLU
J183H018	38.7976	38.7984	-0.0008	0.0481	2.3890	UYUŞUMLU
J183H020	38.6416	38.6423	-0.0007	0.0391	2.3890	UYUŞUMLU
J183H021	38.5918	38.5906	0.0012	0.0703	2.3890	UYUŞUMLU
J183H022	38.5946	38.5912	0.0034	0.2019	2.3890	UYUŞUMLU
J183H023	38.6056	38.6052	0.0004	0.0230	2.3890	UYUŞUMLU
J183H024	38.6096	38.6259	-0.0163	0.9636	2.3890	UYUŞUMLU
J183H025	38.6426	38.6276	0.0150	0.8899	2.3890	UYUŞUMLU

Tablo B.8 (devam): Polinom enterpolasyon yöntemi uyuşum testleri

Nokta Adı	H (Ölçü)	H (Yüzey)	Fark (m)	Nokta Adı	H (Ölçü)	H (Yüzey)	Fark (m)
J181H001	63.6970	63.6963	0.001	J183H020	91.6410	91.6403	0.001
J181H002	26.3310	26.3267	0.004	J183H021	71.3590	71.3602	-0.001
J183H015	77.8220	77.8241	-0.002	J183H022	66.3560	66.3594	-0.003
J183H016	223.1200	223.1158	0.004	J183H023	72.7960	72.7964	0.000
J183H017	231.7220	231.7269	-0.005	J183H024	73.6990	73.6827	0.016
J183H018	255.5860	255.5852	0.001	J183H025	111.9300	111.9450	-0.015

Tablo B.9: 12 adet dayanak noktası ile bilinmeyen noktaların enterpolasyon yöntemlerine göre geoit yükseklikleri

C1- C3 Derece GPS nivelman noktaları ile Bilinmeyen Noktaların Enterpolasyon Yöntemlerine Göre Geoit Yükseklikleri				
Nokta no	Ağırlıklı Aritmetik Ortalama k=2	Kriging	Multiküadratik	Polinom
3390	38.6522	38.6286	38.6274	38.6247
3700	38.5799	38.6258	38.6245	38.6224
3741	38.6160	38.6252	38.6238	38.6219
4207	38.6350	38.6209	38.6192	38.6189
4255	38.5536	38.6202	38.6184	38.6185
4310	38.4738	38.6195	38.6176	38.6180
4313	38.5429	38.6194	38.6175	38.6180
4933	38.6325	38.6112	38.6081	38.6133
4967	38.6163	38.6108	38.6076	38.6131
5204	38.5900	38.6077	38.6040	38.6114
5305	38.6530	38.6060	38.6019	38.6105
5322	38.6612	38.6059	38.6017	38.6105
5365	38.6977	38.6053	38.6010	38.6101
5422	38.6418	38.6046	38.6001	38.6098
5475	38.6595	38.6038	38.5992	38.6094
5482	38.5441	38.6037	38.5991	38.6093
5486	38.5068	38.6037	38.5991	38.6093
5531	38.3494	38.6031	38.5983	38.6090
5613	38.5254	38.6020	38.5971	38.6084
5624	38.6307	38.6019	38.5969	38.6084
5723	38.6168	38.6003	38.5950	38.6076
5752	38.5883	38.6001	38.5947	38.6074
5884	38.6999	38.5981	38.5922	38.6064
5916	38.6685	38.5974	38.5914	38.6060
6078	38.6878	38.5943	38.5873	38.6043

Tablo B.9 (devamı): 12 adet dayanak noktası ile bilinmeyen noktaların enterpolasyon yöntemlerine göre geoit yükseklikleri

6088	38.6321	38.5940	38.5870	38.6042
6116	38.5852	38.5933	38.5861	38.6038
6152	38.5517	38.5926	38.5852	38.6034
6189	38.4892	38.5917	38.5840	38.6029
6354	38.5198	38.5868	38.5775	38.6002
6465	38.5816	38.5852	38.5753	38.5993
6497	38.6407	38.5845	38.5743	38.5989
1086	38.5135	38.6218	38.6204	38.6211
1087	38.5340	38.6218	38.6204	38.6210
1202	38.4497	38.6180	38.6162	38.6183
1241	38.5526	38.6152	38.6131	38.6165
1264	38.6320	38.6142	38.6119	38.6159
1272	38.6561	38.6137	38.6113	38.6156
1275	38.6277	38.6136	38.6112	38.6155
1298	38.7596	38.6123	38.6098	38.6148
1323	38.6616	38.6101	38.6076	38.6135
1336	38.6059	38.6098	38.6069	38.6134
1342	38.6222	38.6097	38.6068	38.6134
1344	38.6010	38.6096	38.6066	38.6133
1373	38.5300	38.6091	38.6060	38.6130
1468	38.4667	38.6066	38.6030	38.6117
1495	38.6041	38.6054	38.6016	38.6110
1653	38.6498	38.6001	38.5952	38.6083
1675	38.6976	38.5986	38.5933	38.6075
1698	38.6104	38.5971	38.5914	38.6067
1714	38.5804	38.5956	38.5900	38.6060
1738	38.5804	38.5942	38.5886	38.6053

Tablo B.10: Türkiye Geoit Modeli 2020 ile Hesaplanmış Dayanak Noktalarına ait Geoit Yükseklikleri

NOKTA NO	SAĞA DEĞER	YUKARI DEĞER	ELİP. YÜK.(h)	ORTO. YÜK. (H)	N_Dayanak	N_TG20
J181H001	520016.6945	4332018.5125	102.2327	63.6970	38.5357	38.5720
J181H002	512882.9717	4329097.4225	64.9106	26.3310	38.5796	38.6500
J183H015	511322.5202	4329465.2896	116.4764	77.8220	38.6544	38.6900
J183H016	511952.9103	4330626.9889	261.9027	223.1200	38.7827	38.7180
J183H017	513545.5759	4331792.4380	270.4895	231.7220	38.7675	38.7130
J183H018	514553.4099	4333245.3420	294.3836	255.5860	38.7976	38.7330
J183H020	516420.9739	4332603.2751	130.2826	91.6410	38.6416	38.6650
J183H021	518439.1349	4332172.5364	109.9508	71.3590	38.5918	38.6100
J183H022	516836.8569	4331295.8471	104.9506	66.3560	38.5946	38.6200
J183H023	515646.8868	4330087.6490	111.4016	72.7960	38.6056	38.6230
J183H024	514938.2648	4330626.1700	112.3086	73.6990	38.6096	38.6480
J183H025	514044.4969	4330008.7631	150.5726	111.9300	38.6426	38.6490

Tablo B.11: Türkiye Geoit Modeli 2020 ile hesaplanan 52 noktanın geoit yükseklikleri

NOKTA NO	SAĞA DEĞER	YUKARI DEĞER	ELİP. YÜK. (h)	N_TG20
3390	514396.8680	4330106.7120	84.4940	38.6430
3700	514388.7260	4330021.1830	81.1420	38.6410
3741	514386.9960	4330003.4710	80.9140	38.6410
4207	514376.1710	4329892.1850	76.5580	38.6380
4255	514374.5750	4329875.3430	75.9080	38.6380
4310	514372.9230	4329857.7930	75.9750	38.6370
4313	514372.7250	4329855.6870	75.9500	38.6370
4933	514356.3840	4329678.8940	72.6070	38.6330
4967	514355.4610	4329668.9340	72.4180	38.6320
5204	514349.6950	4329607.1050	71.7150	38.6310

Tablo B.11 (devamı): Türkiye Geoit Modeli 2020 ile hesaplanan 52 noktanın geoit yükseklikleri

5305	514346.5180	4329573.1060	71.2130	38.6310
5322	514346.1840	4329569.5680	71.1970	38.6310
5365	514345.0440	4329557.5410	71.1680	38.6300
5422	514343.6920	4329543.3990	71.1530	38.6300
5475	514342.2600	4329528.5560	70.9610	38.6300
5482	514342.0550	4329526.4360	70.8890	38.6300
5486	514341.9860	4329525.7300	70.9200	38.6300
5531	514340.8150	4329513.7190	70.7670	38.6300
5613	514338.7990	4329493.2330	70.5430	38.6290
5624	514338.5200	4329490.4080	70.4980	38.6290
5723	514335.3950	4329459.3270	70.0720	38.6290
5752	514334.8870	4329454.3810	69.9050	38.6290
5884	514330.8430	4329414.7930	69.1180	38.6280
5916	514329.4920	4329401.3470	68.9150	38.6280
6078	514323.3880	4329338.2690	68.0740	38.6270
6088	514322.9500	4329333.2920	68.0940	38.6270
6116	514321.6530	4329318.3560	67.7430	38.6270
6152	514320.4990	4329304.8400	67.5130	38.6270
6189	514318.9390	4329286.3420	67.1410	38.6260
6354	514310.3500	4329186.2490	65.6670	38.6250
6465	514307.2500	4329153.7840	65.3910	38.6240
6497	514305.7380	4329138.2690	65.1590	38.6240
1086	514472.4350	4330019.3010	80.0630	38.6400
1087	514472.2420	4330017.1850	80.0120	38.6400
1202	514462.0410	4329906.4400	76.6060	38.6370
1241	514455.0430	4329832.9080	75.1680	38.6350
1264	514452.6720	4329808.1050	75.0080	38.6340
1272	514451.3910	4329794.6280	74.9420	38.6340
1275	514451.1220	4329791.7890	74.7910	38.6340

Tablo B.11 (devamı): Türkiye Geoit Modeli 2020 ile hesaplanan 52 noktanın geoit yükseklikleri

1298	514448.3180	4329761.9630	74.4020	38.6330
1342	514442.8680	4329702.1980	73.5540	38.6320
1344	514442.6140	4329699.3490	73.3950	38.6320
1373	514441.4680	4329686.5350	73.5040	38.6310
1468	514436.5560	4329631.7760	72.7180	38.6300
1495	514434.1030	4329604.8100	72.4140	38.6290
1653	514423.4250	4329491.7480	70.5670	38.6280
1675	514420.4340	4329459.9740	70.0520	38.6270
1698	514417.4900	4329427.4090	69.6990	38.6270

Ek C

C1-C3 Derece GPS Nivelman Noktaları ve Enterpolasyon Yöntemleri Kullanılarak İyileştirilmiş Türkiye Geoit Modeli 2020'den Alınan Sonuçlar

Tablo C.1: Polinom enterpolasyonu ile iyileştirilmiş TG20 ve düzeltme değerleri

Grid Yöntem		Polinom Enterpolasyonu	
Yüzey Tanımı	Polinom 3.Derece 10 Katsayılı (Kübik) yüzey		
İyileştirme Yüzey Formülü	$Z(X,Y) = A_0 + A_1Y + A_2X + A_3X^2 + A_4XY + A_5Y^2 + A_6X^3 + A_7X^2Y + A_8XY^2 + A_9Y^3$		
NOKTA NO	N_TG20	DÜZELTME MİKTARI	İYİLEŞTİRİLMİŞ N_TG20
3390	38.6430	-0.0212	38.6218
3700	38.6410	-0.0219	38.6191
3741	38.6410	-0.0221	38.6189
4207	38.6380	-0.0231	38.6149
4255	38.6380	-0.0232	38.6148
4310	38.6370	-0.0234	38.6136
4313	38.6370	-0.0234	38.6136
4933	38.6330	-0.0251	38.6079

Tablo C.1 (devamı): Polinom enterpolasyonu ile iyileştirilmiş TG20 ve düzeltme değerleri

4967	38.6320	-0.0252	38.6068
5204	38.6310	-0.0258	38.6052
5305	38.6310	-0.0262	38.6048
5322	38.6310	-0.0262	38.6048
5365	38.6300	-0.0263	38.6037
5422	38.6300	-0.0265	38.6035
5475	38.6300	-0.0267	38.6033
5482	38.6300	-0.0267	38.6033
5486	38.6300	-0.0267	38.6033
5531	38.6300	-0.0268	38.6032
5613	38.6290	-0.0271	38.6019
5624	38.6290	-0.0271	38.6019
5723	38.6290	-0.0275	38.6015
5752	38.6290	-0.0275	38.6015
5884	38.6280	-0.0280	38.6000
5916	38.6280	-0.0282	38.5998
6078	38.6270	-0.0290	38.5980
6088	38.6270	-0.0291	38.5979
6116	38.6270	-0.0292	38.5978
6152	38.6270	-0.0294	38.5976
6189	38.6260	-0.0297	38.5963
6354	38.6250	-0.0311	38.5939
6465	38.6240	-0.0316	38.5924
6497	38.6240	-0.0318	38.5922
1086	38.6400	-0.0216	38.6184
1087	38.6400	-0.0217	38.6183
1202	38.6370	-0.0224	38.6146
1241	38.6350	-0.0230	38.6120
1264	38.6340	-0.0231	38.6109

Tablo C.1 (devamı): Polinom enterpolasyonu ile iyileştirilmiş TG20 ve düzeltme değerleri

1272	38.6340	-0.0233	38.6107
1275	38.6340	-0.0233	38.6107
1298	38.6330	-0.0235	38.6095
1323	38.6320	-0.0235	38.6085
1336	38.6320	-0.0240	38.6080
1342	38.6320	-0.0240	38.6080
1344	38.6320	-0.0240	38.6080
1373	38.6310	-0.0241	38.6069
1468	38.6300	-0.0246	38.6054
1495	38.6290	-0.0248	38.6042
1653	38.6280	-0.0259	38.6021
1675	38.6270	-0.0262	38.6008
1698	38.6270	-0.0265	38.6005
1714	38.6270	-0.0265	38.6005
1738	38.6260	-0.0162	38.6098

Tablo C.2: Multiküadratik enterpolasyonu ile iyileştirilmiş TG20 ve düzeltme değerleri

Grid Yöntem		Multiküadratik Enterpolasyon		
Multiküadratik Yüzey		Kernel Dairesel Dik Koni Yüzeyi		
Geoit İyileştirme Trend Yüzeyi		Polinom 2. derece 6 katsayılı (Kuadratik) Yüzey		
Geoit İyileştirme Trend Yüzey Formülü		$Z(X,Y) = A_0 + A_1Y + A_2X + A_3X^2 + A_4XY + A_5Y^2$		
NOKTA NO	N_TG20	DÜZELTME MİKTARI	dN-Artık(m)	İYİLEŞTİRİLMİŞ N_TG20
3390	38.6430	-0.0248	0.0071	38.6253
3700	38.6410	-0.0278	0.0091	38.6224
3741	38.6410	-0.0284	0.0095	38.6221
4207	38.6380	-0.0323	0.0113	38.6170
4255	38.6380	-0.0329	0.0115	38.6166

Tablo C.2 (devamı): Multiküadratik enterpolasyonu ile iyileştirilmiş TG20 ve düzeltme değerleri

4310	38.6370	-0.0335	0.0116	38.6151
4313	38.6370	-0.0336	0.0117	38.6151
4933	38.6330	-0.0399	0.0125	38.6056
4967	38.6320	-0.0403	0.0125	38.6042
5204	38.6310	-0.0426	0.0125	38.6010
5305	38.6310	-0.0438	0.0125	38.5997
5322	38.6310	-0.0440	0.0125	38.5995
5365	38.6300	-0.0444	0.0125	38.5981
5422	38.6300	-0.0449	0.0124	38.5975
5475	38.6300	-0.0455	0.0124	38.5969
5482	38.6300	-0.0456	0.0124	38.5968
5486	38.6300	-0.0456	0.0124	38.5968
5531	38.6300	-0.0460	0.0124	38.5963
5613	38.6290	-0.0468	0.0123	38.5945
5624	38.6290	-0.0469	0.0123	38.5944
5723	38.6290	-0.0481	0.0122	38.5931
5752	38.6290	-0.0483	0.0122	38.5929
5884	38.6280	-0.0498	0.0120	38.5903
5916	38.6280	-0.0503	0.0120	38.5897
6078	38.6270	-0.0527	0.0117	38.5860
6088	38.6270	-0.0529	0.0116	38.5858
6116	38.6270	-0.0534	0.0116	38.5851
6152	38.6270	-0.0539	0.0115	38.5846
6189	38.6260	-0.0547	0.0114	38.5827
6354	38.6250	-0.0585	0.0108	38.5773
6465	38.6240	-0.0598	0.0107	38.5749
6497	38.6240	-0.0604	0.0106	38.5742
1086	38.6400	-0.0281	0.0069	38.6188
1087	38.6400	-0.0281	0.0069	38.6188

Tablo C.2 (devamı): Multiküadratik enterpolasyonu ile iyileştirilmiş TG20 ve düzeltme değerleri

1202	38.6370	-0.0319	0.0090	38.6142
1241	38.6350	-0.0344	0.0100	38.6107
1264	38.6340	-0.0352	0.0103	38.6091
1272	38.6340	-0.0357	0.0104	38.6087
1275	38.6340	-0.0358	0.0105	38.6087
1298	38.6330	-0.0368	0.0107	38.6069
1323	38.6320	-0.0386	0.0109	38.6043
1336	38.6320	-0.0388	0.0110	38.6042
1342	38.6320	-0.0389	0.0111	38.6042
1344	38.6320	-0.0390	0.0111	38.6041
1373	38.6310	-0.0395	0.0112	38.6027
1468	38.6300	-0.0414	0.0114	38.6000
1495	38.6290	-0.0424	0.0115	38.5981
1653	38.6280	-0.0464	0.0115	38.5931
1675	38.6270	-0.0476	0.0115	38.5909
1698	38.6270	-0.0488	0.0114	38.5897
1714	38.6270	-0.0494	0.0114	38.5890
1738	38.6260	-0.0507	0.0114	38.5867

Tablo C.3: Kriging enterpolasyonu ile iyileştirilmiş TG20 ve düzeltme değerleri

Grid Yöntem		Kriging Enterpolasyon		
Geoit İyileştirme Trend Yüzeyi		Polinom 2. derece 6 katsayılı (Kuadratik) Yüzey		
Geoit İyileştirme Trend Yüzey Formülü		$Z(X,Y) = A_0 + A_1Y + A_2X + A_3X^2 + A_4XY + A_5Y^2$		
NOKTA NO	N_TG20	DÜZELTME MİKTARI	dN- Artık(m)	İYİLEŞTİRİLMİŞ N_TG20
3390	38.6430	-0.0253	0.0072	38.6249
3700	38.6410	-0.0287	0.0082	38.6205
3741	38.6410	-0.0288	0.0078	38.6200

Tablo C.3 (devamı): Kriging enterpolasyonu ile iyileştirilmiş TG20 ve düzeltme değerleri

4207	38.6380	-0.0331	0.0089	38.6138
4255	38.6380	-0.0338	0.0091	38.6133
4310	38.6370	-0.0344	0.0092	38.6118
4313	38.6370	-0.0345	0.0092	38.6117
4933	38.6330	-0.0415	0.0111	38.6026
4967	38.6320	-0.0418	0.0111	38.6013
5204	38.6310	-0.0442	0.0117	38.5985
5305	38.6310	-0.0456	0.0121	38.5975
5322	38.6310	-0.0456	0.0120	38.5974
5365	38.6300	-0.0460	0.0121	38.5961
5422	38.6300	-0.0465	0.0122	38.5957
5475	38.6300	-0.0471	0.0123	38.5952
5482	38.6300	-0.0471	0.0123	38.5952
5486	38.6300	-0.0472	0.0123	38.5951
5531	38.6300	-0.0476	0.0124	38.5948
5613	38.6290	-0.0483	0.0125	38.5932
5624	38.6290	-0.0484	0.0125	38.5931
5723	38.6290	-0.0496	0.0128	38.5922
5752	38.6290	-0.0497	0.0128	38.5921
5884	38.6280	-0.0512	0.0131	38.5899
5916	38.6280	-0.0517	0.0132	38.5895
6078	38.6270	-0.0542	0.0138	38.5866
6088	38.6270	-0.0543	0.0138	38.5865
6116	38.6270	-0.0548	0.0139	38.5861
6152	38.6270	-0.0553	0.0140	38.5857
6189	38.6260	-0.0561	0.0142	38.5841
6354	38.6250	-0.0599	0.0151	38.5802
6465	38.6240	-0.0612	0.0154	38.5782
6497	38.6240	-0.0618	0.0155	38.5777

Tablo C.3 (devamı): Kriging enterpolasyonu ile iyileştirilmiş TG20 ve düzeltme değerleri

1086	38.6400	-0.0280	0.0070	38.6190
1087	38.6400	-0.0281	0.0070	38.6189
1202	38.6370	-0.0322	0.0080	38.6128
1241	38.6350	-0.0350	0.0087	38.6087
1264	38.6340	-0.0359	0.0089	38.6070
1272	38.6340	-0.0364	0.0090	38.6066
1275	38.6340	-0.0365	0.0090	38.6065
1298	38.6330	-0.0375	0.0092	38.6047
1323	38.6320	-0.0362	0.0089	38.6047
1336	38.6320	-0.0397	0.0097	38.6020
1342	38.6320	-0.0397	0.0097	38.6020
1344	38.6320	-0.0398	0.0097	38.6019
1373	38.6310	-0.0403	0.0098	38.6005
1468	38.6300	-0.0422	0.0102	38.5980
1495	38.6290	-0.0432	0.0104	38.5962
1653	38.6280	-0.0476	0.0115	38.5919
1675	38.6270	-0.0487	0.0117	38.5900
1698	38.6270	-0.0499	0.0120	38.5891
1714	38.6270	-0.0498	0.0119	38.5891
1738	38.6260	-0.0507	0.0118	38.5884

Tablo C.4: Enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen iyileştirilmiş N_TG20 değerleri

İYİ N_TG2 0	POLİNO M	MULTİ KUADR ATİK	KRİGİNG	POLİNO M	MULTİ KUADR ATİK	KRİGİNG	
NOKT A NO	İYİ N_TG20	İYİ N_TG20	İYİ N_TG20	NOKT A NO	İYİ N_TG20	İYİ N_TG20	İYİ N_TG20
3390	38.6218	38.6253	38.6249	5486	38.6033	38.5968	38.5951
3700	38.6191	38.6224	38.6205	5531	38.6032	38.5963	38.5948
3741	38.6189	38.6221	38.6200	5613	38.6019	38.5945	38.5932

Tablo C.4 (devamı): Enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen iyileştirilmiş
N TG20 değerleri

4207	38.6149	38.6170	38.6138	5624	38.6019	38.5944	38.5931
4255	38.6148	38.6166	38.6133	5723	38.6015	38.5931	38.5922
4310	38.6136	38.6151	38.6118	5752	38.6015	38.5929	38.5921
4313	38.6136	38.6151	38.6117	5884	38.6000	38.5903	38.5899
4933	38.6079	38.6056	38.6026	5916	38.5998	38.5897	38.5895
4967	38.6068	38.6042	38.6013	6078	38.5980	38.5860	38.5866
5204	38.6052	38.6010	38.5985	6088	38.5979	38.5858	38.5865
5305	38.6048	38.5997	38.5975	6116	38.5978	38.5851	38.5861
5322	38.6048	38.5995	38.5974	6152	38.5976	38.5846	38.5857
5365	38.6037	38.5981	38.5961	6189	38.5963	38.5827	38.5841
5422	38.6035	38.5975	38.5957	6354	38.5939	38.5773	38.5802
5475	38.6033	38.5969	38.5952	6465	38.5924	38.5749	38.5782
5482	38.6033	38.5968	38.5952	6497	38.5922	38.5742	38.5777
1086	38.6184	38.6188	38.6190	1342	38.6080	38.6042	38.6020
1087	38.6183	38.6188	38.6189	1344	38.6080	38.6041	38.6019
1202	38.6146	38.6142	38.6128	1373	38.6069	38.6027	38.6005
1241	38.6120	38.6107	38.6087	1468	38.6054	38.6000	38.5980
1264	38.6109	38.6091	38.6070	1495	38.6042	38.5981	38.5962
1272	38.6107	38.6087	38.6066	1653	38.6021	38.5931	38.5919
1275	38.6107	38.6087	38.6065	1675	38.6008	38.5909	38.5900
1298	38.6095	38.6069	38.6047	1698	38.6005	38.5897	38.5891
1323	38.6085	38.6043	38.6047	1714	38.6005	38.5890	38.5891
1336	38.6080	38.6042	38.6020	1738	38.6098	38.5867	38.5884

Tablo C.5: Polinom N_TG20 değerlerinden hesaplanan ortometrik yükseklikler

POLİNOM ENTERPOLASYONU İYİLEŞTİRME ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLER (H)							
NOKTA NO	ICESat- 2/ATLAS (H)	HAVAS AL LİDAR (H)	GNSS/ CORS (H)	NOKTA NO	ICESat- 2/ATLAS (H)	HAVAS AL LİDAR (H)	GNSS/C ORS (H)
3390	45.8722	45.8582	45.8902	5486	32.3167	32.2967	32.2757
3700	42.5229	42.5609	42.5489	5531	32.1638	32.1468	32.1708
3741	42.2951	42.3111	42.3331	5613	31.9411	31.9281	31.9551
4207	37.9431	37.9651	37.9721	5624	31.8961	31.8681	31.8541
4255	37.2932	37.3252	37.3182	5723	31.4705	31.4485	31.4465
4310	37.3614	37.3664	37.3784	5752	31.3035	31.3085	31.3495
4313	37.3364	37.3464	37.3664	5884	30.5180	30.5400	30.5500
4933	33.9991	33.9721	34.0321	5916	30.3152	30.3402	30.3622
4967	33.8112	33.8332	33.8512	6078	29.4760	29.4920	29.5120
5204	33.1098	33.1048	33.1398	6088	29.4961	29.4621	29.4871
5305	32.6082	32.6052	32.6252	6116	29.1452	29.1322	29.1002
5322	32.5922	32.5952	32.6202	6152	28.9154	28.9424	28.9704
5365	32.5643	32.5763	32.6283	6189	28.5447	28.5437	28.5797
5422	32.5495	32.5365	32.5155	6354	27.0731	27.0461	27.0441
5475	32.3577	32.3267	32.3437	6465	26.7986	26.7876	26.7666
5482	32.2857	32.2967	32.3127	6497	26.5668	26.5778	26.6058
1086	41.4446	41.4716	41.4776	1342	34.9460	34.9320	34.9710
1087	41.3937	41.3917	41.4107	1344	34.7870	34.8120	34.8000
1202	37.9914	37.9654	37.9524	1373	34.8971	34.9331	34.9281
1241	36.5560	36.5280	36.5430	1468	34.1126	34.1246	34.1496
1264	36.3971	36.4291	36.4451	1495	33.8098	33.8258	33.8558
1272	36.3313	36.3093	36.3443	1653	31.9649	31.9879	31.9999
1275	36.1803	36.2093	36.1893	1675	31.4512	31.4792	31.5092
1298	35.7925	35.8005	35.7985	1698	31.0985	31.0695	31.0815
1323	34.9275	34.9015	34.9395	1714	30.4025	30.3795	30.3585
1336	34.8577	34.8720	34.8870	1738	29.9247	29.9002	29.9052

Ek D

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Konferans Bildirileri

1. Ağca M, Daloğlu Aİ. Kentsel alanlarda farklı yükseklik bilgilerinin ICESat-2/ATLAS verilerinden elde edilmesi – Bergama örneği. Karadeniz 9th International Conference on Applied Science; 2022 Haziran 25-26; Artvin, Türkiye. 80. Abstract Book. ISBN: 978-625-8151-16-9. www.karadenizkongresi.org. (sözlü sunum)

Özgeçmiş

Adı Soyadı: Ali İhsan Daloğlu

Eğitim:

2008–2010 İzmir Kipa 10. Yıl Anadolu Lisesi, Fen Bilimleri (Lise)
2011–2016 Konya Selçuk Üniversitesi, Harita Mühendisliği (Lisans)
2018- İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Harita Mühendisliği (Yüksek Lisans)

İş Deneyimi:

2017–2017 Harmas Mühendislik Müşavirlik Tic. Ltd. Şti. (Ankara)
2017-2018 15040-070 Nolu Lisanslı Harita ve Kadastro Mühendislik Bürosu (Burdur)
2018-2019 Gül Mühendislik Harita Taahhüt ve Emlak Tic. Ltd. Şti. (Ankara)
2021-2022 Girişim Elektrik A.Ş. & Europower Enerji A Ş. (Ankara)

