

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Büyük Ölçekli Harita Üretim Çalışmalarında
Güncellenmiş Türkiye Jeoidi (TG-99A) ve
Yeni Türkiye Jeoidi (TG-03)'ün
Doğrudan Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Selçuk CEYLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ
ANABİLİM DALI
KONYA, 2007

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BÜYÜK ÖLÇEKLİ HARİTA ÜRETİM ÇALIŞMALARINDA GÜNCELLENMİŞ TÜRKİYE JEOİDİ (TG-99A) VE YENİ TÜRKİYE JEOİDİ (TG-03)'ÜN DOĞRUDAN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Selçuk CEYLAN

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Bayram TURGUT

2007, 64 Sayfa

Juri: Prof.Dr. Cevat İNAL

Yrd.Doç.Dr. Bayram TURGUT

Yrd.Doç.Dr. Aydın ÜSTÜN

GPS tekniği ile, jeodezik amaçlı konum belirlemede, nokta yükseklikleri sistemin referans elipsoidi, WGS84'e göre belirlenir. Ancak çoğu mühendislik çalışmalarında elipsoidal yükseklikler yerine jeoide göre tanımlanan ortometrik yüksekliklere gereksinim duyulur.

Bu çalışmada; büyük ölçekli harita üretim çalışmalarında Güncellenmiş Türkiye Jeoidi (TG-99A) ve Yeni Türkiye Jeoidi (TG-03) jeoit modellerinin, yer kontrol noktalarındaki elipsoit yüksekliklerinin ülke yükseklik sistemimize dönüştürülmesinde doğrudan kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda, Türkiye geneline dağılmış 162 noktada; TG-99A ve TG-03 jeoit modellerinden hesaplanan

jeoit yükseklikleri ile, bu noktaların GPS/Nivelman tekniği ile belirlenmiş jeoit yükseklikleri arasındaki farklar incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Jeoit, Jeoit Yüksekliği, Elipsoit Yüksekliği, Ortometrik Yükseklik, GPS

ABSTRACT

MS Thesis

**RESEARCH FOR THE DIRECTLY USE OF UPDATED
TURKISH GEOID (TG-99A) AND NEW TURKISH GEOID (TG-03)
IN LARGE SCALE MAP PRODUCTION WORKS**

Selçuk CEYLAN

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geodesy and Photogrammetry

Supervisor : Assist.Prof.Dr. Bayram TURGUT

2007, 64 Pages

Jury : Prof.Dr. Cevat İNAL

Assist.Prof.Dr. Bayram TURGUT

Assist.Prof.Dr. Aydın ÜSTÜN

In point positioning with geodetic purposes, the point heights are determined according to WGS84 reference ellipsoid of the system. However, in majority of the engineering projects, orthometric heights are required instead of GPS heights.

In this study, the directly use of ellipsoid heights of Updated Turkey Geoid (TG-99A) and New Turkey Geoid (TG-03) geoid models has been explored in converting into normal orthometrical height systems presently used in our country. In this regard, at 162 points dispersed in Turkey, differences between calculated geoid

heights of TG-99A and TG-03 geoid models and geoid heights determined with GPS/Leveling technique have been examined.

Key Words: Geoid, Geoid Height, Ellipsoid Height Orthometrical Height, GPS

ÖNSÖZ

“Büyük Ölçekli Harita Üretim Çalışmalarında Güncellenmiş Türkiye Jeoidi (TG-99A) ve Yeni Türkiye Jeoidi'nin (TG-03) Doğrudan Kullanılabilirliğinin Araştırılması” konulu bu çalışmamda tez yürütücülüğünü üstlenen ve çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren, bilgi ve deneyimlerini paylaşan değerli hocam Sayın Yrd. Doç.Dr. Bayram TURGUT'a şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışmamda, bana verilerinin kullanılmasına izin veren MSB Harita Genel Komutanlığına çok teşekkür ederim. Tüm çalışmam boyunca, bana destek olan eşime teşekkürlerimi sunarım.

Selçuk CEYLAN

Temmuz 2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER.....	ix
KISALTIMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TANIMLAR.....	3
2.1. Fiziksel Yeryüzü, Jeoit Ve Elipsoit.....	3
2.2. Yeryuvarı'nın Gravite Alanı.....	8
2.3. Yeryüzündeki Bir Noktanın Yüksekliği.....	15
2.3.1. Yeryüzündeki bir noktanın jeopotansiyel sayısı.....	16
2.3.2. Yükseklik sistemleri.....	17
3. TÜRKİYE ULUSAL DÜŞEY KONTROL AĞI-1999.....	22
3.1. TUDKA-99'un Oluşturulması.....	24
3.1.1. Ön İşlemler.....	24
3.1.2. TUDKA-99'un oluşturulması.....	25
4. TÜRKİYE JEOİT MODELLERİ.....	31
4.1. Türkiye Jeoidi – 1991 (TG-91).....	34
4.2. Türkiye GPS/Nivelman Jeoidi ve Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99).....	35
4.3 Güncellenmiş Türkiye Jeoidi (TG-99A).....	37

4.4 Yeni Türkiye Jeoidi-2003 (TG-03).....	41
5. ELİPSOİT YÜKSEKLİKLERİNDEN ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLERE DÖNÜŞÜM	45
5.1. Yükseklik Dönüşümünde TG-99A'nın Doğrudan Kullanılması.....	45
5.2. TG-99A'nın Yerel GPS/Nivelman Ölçüleriyle Geliştirilmesi.....	46
5.3 Elipsoit Ve Jeoit Yükseklik Farklarından Elde Edilen Ortometrik Yükseklik Farklarının Bir Nivelman Ağı Şeklinde Dengelenmesi.....	47
5.4. Yerel GPS/Nivelman Jeoit Modelinin Oluşturulması.....	47
5.5. TG-99A'nın Kullanılabilmesi İçin Ölçütler.....	48
6. SAYISAL UYGULAMA.....	50
6.1 Büyük Ölçekli Harita Üretim Çalışmalarında Güncellenmiş Türkiye Jeoidi'nin (TG-99A) Doğrudan Kullanılabilirliğinin Araştırılması.....	52
6.2 Büyük Ölçekli Harita Üretim Çalışmalarında Yeni Türkiye Jeoidi (TG-03)'ün Doğrudan Kullanılabilirliğinin Araştırılması.....	56
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
EKLER.....	63

SİMGELER

- N : Jeoit yüksekliği
H : Ortometrik yükseklik
h : Elipsoit yüksekliği
g : Gravite İvmesi
 θ : Çekül sapması
G : Çekim sabiti ($6673 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$)
b : Kütle çekim (gravitasyon) ivmesi
z : Merkezkaç İvme
r : Yermerkezine uzaklık
 ω : Yerin açısal hızı ($7292115 \times 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$)
 φ : Jeodezik enlem
 λ : Jeodezik boylam
 g_p : P yeryüzü noktasında ölçülen gravite
 γ_{45} : $\varphi=45^\circ$ için normal gravite
f : Basıklık
a,b : Elipsoidin büyük ve küçük yarı eksenleri
 γ : Ortalama yüzey gravite değeri
S (ψ) : Stokes fonksiyonu
 ψ : Hesap noktası ile ölçü noktası arasındaki jeosentrik açı
 Δg : Gravite anomalisi
 Δg_B : P yeryüzü noktasında tanımlı Bouguer anomalisi
 Δg_{FA} : Boşlukta gravite anomalisi
 Δg_r : Artık gravite anomalisi
 $d\sigma$: Birim küre üzerindeki yüzey elemanı
 $\bar{S}_{nm}, \bar{C}_{nm}$: Potansiyel anomalisinin tam normalleştirilmiş katsayıları
tc : Yerey düzeltmesi
U : Normal gravite potansiyeli
W : Gerçek gravite potansiyeli

KISALTMALAR

- BÖHYY : Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
EGM96 : Yer Jeopotansiyel Modeli-1996 (Earth Geopotential Model-1996)
EKKK : En Küçük Karelerle Kolokasyon
GPS : Global Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
GRS80 : Jeodezik Referans Sistemi 1980 (Geodetic Reference System 1980)
ITRF : Uluslararası Yersel Referans Ağı ((International Terrestrial Reference Frame)
ITRF96 : 1996 yılında güncellenmiş ITRF
NASA : Amerikan Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration)
NIMA : Ulusal Görüntü İşleme ve Haritacılık Ajansı (National Imagery and Mapping Agency)
NGA : Amerikan Milli Kuresel İstihbarat Teskilati (National Geospatial-Intelligence Agency)
RTM : Artık Yerey Model (Residual Terrain Model)
TUTGA : Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
TUTGA99A: Güncelleştirilmiş Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
TUDKA : Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı
TUDKA99 : 1999 yılında güncelleştirilen TUDKA
TUJK : Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu
TG-91 : Türkiye Jeoidi -1991 (TG-91)
TG-99A : Güncellenmiş Türkiye Jeoidi-1999
TG-03 : Yeni Türkiye Jeoidi-2003 (TG-03)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Farklı Δh 'lara sahip nivo yüzeyleri.....	5
Şekil 2.2	Dönel elipsoit.....	5
Şekil 2.3	Yeryüzü, jeoit ve kullanılan elipsoit.....	7
Şekil 2.4	Ortalama dünya elipsoidi.....	8
Şekil 2.5	Gravitasyon kuvveti.....	9
Şekil 2.6	\bar{g} gravite kuvveti ve bileşenleri.....	10
Şekil 2.7	Seviye yüzeyleri ve çekül eğrileri.....	13
Şekil 2.8	Jeoit ile jeopotansiyel sayı ilişkisi.....	16
Şekil 2.9	Ortometrik ve normal yükseklik.....	19
Şekil 3.1	Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999(TUDKA-99).....	24
Şekil 3.2	Helmert ortometrik yükseklikler ile Molodensky normal yükseklikleri arasındaki farklar (cm biriminde).....	27
Şekil 3.3	Helmert ortometrik yükseklikler ile Normal ortometrik yükseklikleri arasındaki farklar (cm biriminde).....	28
Şekil 3.4	Molodensky normal yükseklikler ile Normal ortometrik yükseklikleri arasındaki farklar (cm biriminde).....	28
Şekil 4.1	Üç Boyutlu Kartezyen Dik Koordinat Sistemi ve Elipsoit.....	31
Şekil 4.2	Elipsoit, jeoit ve yükseklikler.....	32
Şekil 4.3	TG-91 jeoit modeli (m).....	35
Şekil 4.4	GPS/Nivelman nokta dağılımı.....	36
Şekil 4.5	Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99).....	37
Şekil 4.6	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A).....	38
Şekil 4.7	TG-91 – GPS/Nivelman Jeoit Yükseklik Farkları (Ölçü) (cm) δN farkları.....	39

Şekil 4.8	Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi - 1999 (TG-99A).....	41
Şekil 4.9	EGM96 Jeoid Yüzeyi.....	43
Şekil 4.10	Türkiye Jeoidi-2003 (TG-03).....	44
Şekil 6.1	162 GPS/Nivelman Noktasının Türkiye'ye Dağılımı.....	51
Şekil 6.2	162 Noktada ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-99A}$) Fark Grafiği.....	53
Şekil 6.3	($N_{GPS/Niv} - N_{TG-99a}$) Farklarının Sıklık Tablosundaki (Çizelge-5.2) Ara Değerlerin (Sınıf Orta Değerlerin) Yüzde Cinsinden Değerleri...	54
Şekil 6.4	($N_{GPS/Niv} - N_{TG-99a}$) Farklarının Sıklık Tablosundaki (Çizelge-5.2) Ara Değerlerinin (Sınıf Orta Değerlerin) Tekrarlılık (Frekans) Değerleri.....	54
Şekil 6.5	($N_{GPS/Niv} - N_{TG-99A}$) Farklarının Türkiye'ye Dağılımı.....	55
Şekil 6.6	162 Noktada ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-03}$) Fark Grafiği.....	57
Şekil 6.7	($N_{GPS/Niv} - N_{TG-03}$) Farklarının Sıklık Tablosundaki (Çizelge-6.4) Ara Değerlerin (Sınıf Orta Değerlerin) Yüzde Cinsinden Değerleri...	58
Şekil 6.8	($N_{GPS/Niv} - N_{TG-03}$) Farklarının Sıklık Tablosundaki (Çizelge-6.4) Ara Değerlerinin (Sınıf Orta Değerlerin) Tekrarlılık (Frekans) Değerleri.....	58

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Referans Elipsoitlerinin a yarı eksen uzunlukları ile basıklık değerleri.....	6
Çizelge 3.1	Ortometrik, Normal ve Normal ortometrik yükseklikler arasındaki farklar.....	28
Çizelge-4.1	Ölçü noktalarında farklar (δN), trend (t) ve artık ölçülere (dN) ilişkin istatistikler (cm).....	40
Çizelge-4.2	(3'x3') grid köşe noktalarında trend ve artık ölçülere ilişkin istatistikler (cm).....	40
Çizelge 5.1	Referans noktaları için yönetmelik ölçütleri ve jeoit modelleri.....	48
Çizelge 6.1	162 GPS/Nivelman noktasında, ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-99A}$) farklarına ait istatistikler (cm).....	52
Çizelge 6.2	162 GPS/Nivelman noktasının ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-99A}$) fark verilerine ait "Sıklık Tablosu" (cm.).....	52
Çizelge 6.3	162 GPS/Nivelman noktasında, ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-03}$) farklarına ait istatistikler (cm).....	56
Çizelge 6.4	162 GPS/Nivelman noktasının ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-03}$) fark verilerine ait "Sıklık Tablosu" (cm.).....	56

1. GİRİŞ

Ülkemizde halen kullanımda olan yatay kontrol (nirengi) ağı, European Datum-1950 (ED-50) datumunda, düşey kontrol (nivelman) ağı ise, Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99) datumunda tanımlıdır. TUDKA-99'un düşey datumu, Antalya mareograf istasyonunda, 1936-1971 yıllarındaki anlık deniz seviyesi ölçülerinin, doğrudan aritmetik ortalaması ile belirlenmiştir (Ayhan ve Demir 1992). Datum farklılıkları nedenleriyle, GPS ile WGS-84/ITRF (World Geodetic Sistem-84/International Terrestrial Reference Frame) sisteminde elde edilmiş konum ve yükseklik değerlerinin ülke sistemine dönüştürülmesi işlemi; GPS teknolojisinin yaygın kullanımı ile birlikte jeodezinin güncel problemlerinden biri haline gelmiştir. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA-99A)'na dayalı GPS ölçmeleri ile belirlenen elipsoit yüksekliklerinin, Türkiye için tanımlı "Helmert Ortometrik Yükseklik Sistemi"ne en uygun biçimde dönüştürülmesi amacıyla ulusal bir jeoit modelinin tanımlanması gerekmektedir.

Bu kapsamda oluşturulan jeoit modellerinden, Güncellenmiş Türkiye Jeoidi-1999A (TG-99A); Türkiye Gravimetrik Jeoidi (TG-91) ile 197 noktadan hesaplanan GPS/Nivelman jeoidinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. GPS yöntemi ile hesaplanan elipsoit yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere dönüşümü için orta ve küçük ölçekli harita üretiminde TG99A'nın doğrudan kullanılabilceği önerilmektedir (Kılıçoğlu 2004).

Ayhan vd. (2002) ve Kılıçoğlu (2004) tarafından, ülke genelinde 122 GPS/Niv. Noktası kullanılarak ve bölgesel olarak da (Kılıçoğlu ve Fırat) (2003) tarafından, TG-99A'nın duyarlık ve doğruluğuna yönelik araştırmalar yapılmıştır. Kılıçoğlu (2004) tarafından TG-99A'nın ülke genelinde ± 10 cm iç duyarlığa ve ± 15 cm dış doğruluğa sahip olduğu belirtilmektedir.

Söz konusu amaca yönelik olarak oluşturulan jeoit modellerinden, Yeni Türkiye Jeoidi (TG-03); EGM96 yer potansiyel modeli, kara gravite ölçüleri, denizlerde uydu altimetre ölçülerinden elde edilen gravite anomalileri, sayısal arazi modelleri ve GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri birlikte kullanılarak en küçük karelerle kollakasyon (EKKK) yöntemi ile hesaplanmıştır. TG-03 modelinin iç duyarlılığı 1 cm ve doğruluğu 9 cm olarak belirlenmiştir (Kılıçoğlu vd, 2005).

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nde (BÖHBBÜY), GPS ile bulunan elipsoit yüksekliğinden ortometrik yüksekliğe dönüşüm için, Güncellenmiş Türkiye Jeoidi (TG-99A) veya yerel GPS nivelman jeoidinin kullanılması öngörülmüştür. Bu iki yöntemin kullanılabilmesi için, BÖHBBÜY'nde, referans noktaları için ölçütler verilmiştir.

Bu çalışmada; Türkiye genelinde homojen olarak dağılmış, mühendislik amaçlı olarak gerçekleştirilen çalışmalarda; tesisi, ölçüsü ve hesabı yapılmış 162 adet GPS/Nivelman noktası kullanılarak büyük ölçekli harita üretimi çalışmalarında TG-99A ve TG-03'ün doğrudan kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu maksatla, söz konusu 162 GPS/Nivelman noktasında; GPS/Nivelman gözlemleri sonucu elde edilen jeoit yükseklikleri ile bu noktaların söz konusu jeoit modellerinden hesaplanan jeoit yükseklikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların, BÖHBBÜY'ndeki ölçütleri Türkiye genelinde sağlayıp sağlamadığı incelenmiştir.

2. TANIMLAR

2.1. Fiziksel Yeryüzü, Jeoit ve Elipsoit

Jeodezinin önemli problemlerini çözebilmek için, yeryüzünün şeklinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Fiziksel veya görünen yeryüzü, katı veya sıvı yer kitlesinin, atmosfer ile olan sınırıdır. Katı kısım girinti ve çıkıntılardan dolayı düzgün bir yüzey değildir. Bu nedenle bu yüzeyin, basit bir matematik formülle açıklanması da olanaksızdır. Dolayısıyla üzerinde alınacak noktaların tek tek koordinatları bulunabilir.

Genel olarak, yüzeyleri ve onların matematiksel özelliklerini, normalleri yardımıyla inceleyebiliriz. Örneğin yüzey normalleri birbirine paralel doğrular ise yüzey bir düzlemdir. Normaller bir noktada kesişen doğrular şeklinde ise, yüzeyin küre yüzeyi şeklinde olduğu açıktır.

Yeryüzünün normallerinin doğrultuları, ağırlık kuvvetinin doğrultularıdır. Ağırlık kuvveti ise, çekim ve merkezkaç kuvvetlerinin bileşkesidir. Ağırlık kuvvetinin doğrultusunu pratikte çekül ile gösterebiliriz, işte sonsuz sayıda düşünülecek bu doğrultulara dik alınacak bu yüzey, dünyanın şekli olarak kabul edilebilir.

Bilindiği gibi, durgun her sıvı yüzeyi, ağırlık kuvvetine diktir. Yerküre sıvı bir kitle olsaydı her noktasında ağırlık kuvvetine dik ve düzgün bir şekil meydana gelirdi. O halde akıntıların, gel-git olayının, rüzgârın etkisinde olmayan deniz yüzeyi, karaların altından devam ettirilerek bulunacak yüzey, yeryuvarının matematiksel şekli olarak alınabilir. Bu yüzeye J.B. Listing, “Jeoit” adını vermiştir.

Klasik tanımlamalar jeoit yüzeyini eş potansiyelli ortalama deniz seviyesi olarak tanımlanmıştır. Fakat gerçekte yeterli bir tanımlama değildir. Çünkü ortalama deniz seviyesi okyanusları etkileyen çeşitli sebeplerden dolayı (sıcaklık vb.) eş potansiyelli yüzey değildir. Eş potansiyelli yüzey ile ortalama deniz yüzeyi arasındaki farklar bazı yerlerde iki metreyi bulmaktadır.

Çekül doğrultusunun ölçmelerdeki rolü çok önemlidir. Bilindiği gibi ölçü aletlerinin asal eksenleri, çekül doğrultusuna göre düzenlenir. Çekül doğrultusu veya

ağırlık kuvveti doğrultusuna çizilecek her dik ise, yatay bir doğrultudur. Bir noktadaki yatay doğrultuların tümü o noktadaki yatay düzlemi meydana getirirler.

Jeoidin denklemi, ağırlık kuvveti ve onun potansiyeli ile açıklanabilir. Kitle yoğunluğu sürekli olduğu sürece, jeoidin eğriliği sürekli dir. Yoğunluğun ani değişikliğe uğradığı yerlerde, jeoidin eğriliği de birden değişir. Bu nedenle jeoit üzerinde büyük bölgelerde analitik hesaplar yapmak imkansızlaşır. Dolayısıyla jeoit yüzeyi, hesap yüzeyi olarak kullanılmaya elverişli değildir. Jeodezik çalışmalarda, jeoit yüzeyine en yakın, denklemleri nispeten daha basit yüzeyler kullanılır. Düzlem ve küre yüzeyleri böyle yüzeylerdir. Nivo yüzeylerinin modellenmesini mümkün kılan kuvvet fonksiyonu, küresel fonksiyonlara göre açılır ve

$$W = U + T \quad (2.1)$$

şeklinde iki kısma ayrılabilir. Aynı potansiyel değerli $U = \text{sabit}$ yüzeyine nivo sferoidi denir.

Jeoidin denklemini bulurken dünyanın hidrostatik denge halinde bulunduğu göz önünde tutulur. Bu taktirde, mevcut dünya kitlesinden, hidrostatik durumun nasıl elde edileceği problemi ile karşılaşırız. $T = 0$ alınması halinde bulunacak nivo sferoidine normal sferoid denir. Normal sferoid dönel bir şekildir.

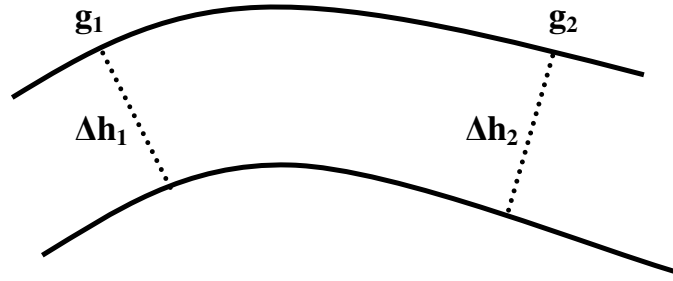
W 'nin farklı iki değerinin karşılığı W_1, W_2 nivo yüzeyleri olarak düşünülürse, bunların iki noktası arasındaki potansiyel farkı daima aynı ve

$$dW = W_2 - W_1 \quad (2.2)$$

olacağından,

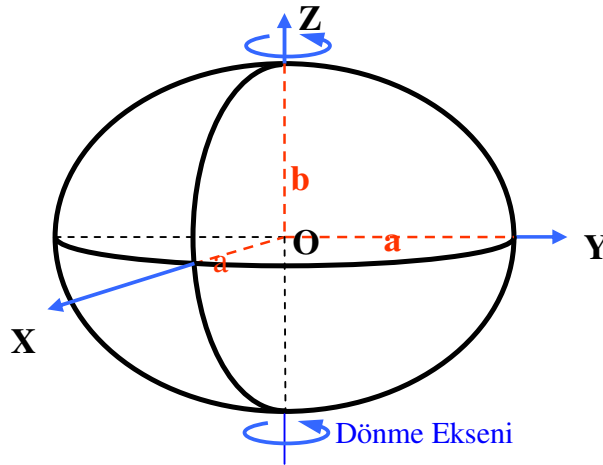
$$dW = -g_1 \Delta h_1 = -g_2 \Delta h_2 \quad (2.3)$$

bulunur ve Şekil 2.1'de görüldüğü üzere g 'ler birbirine eşit olmadıklarından Δh 'ların da farklı olacağını anlaşılr.



Şekil 2.1 Farklı Δh 'lara sahip nivo yüzeyleri

Büyük bölgelerdeki jeodezik çalışmalar için jeoit yerine dönел elipsoitten yararlanılır. Üzerinde jeodezik hesapların yapılacağı dönел elipsoide, Helmert; “Referans Elipsoidi” adını vermektedir. Elipsin küçük eksenini (kutuplar eksenini) etrafında dönmesiyle meydana gelen dönел elipsoit Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Dönел elipsoit

Elipsin ve dolayısıyla elipsoidin belirtilebilmesi için elipsin eksen büyüklüklerinin bilinmesi gerekir. Referans elipsoidinin dönme eksenini ile yeryuvarının dönme eksenini genellikle çakışmazlar. Ancak bunların paralel olmaları gerekir. Elipsoidin a ve b değerlerinin bulunması, yer ölçmesinin önemli bir konusudur. Yerküre elipsoidini belirlemek üzere çeşitli ölçü ve hesaplama yöntemleri kullanılarak a ve b yarı eksen uzunlukları bulunmuştur.

Çizelge 2.1’de bunlardan bazılarının a yarı eksen uzunlukları ile basıklık değerleri verilmiştir.

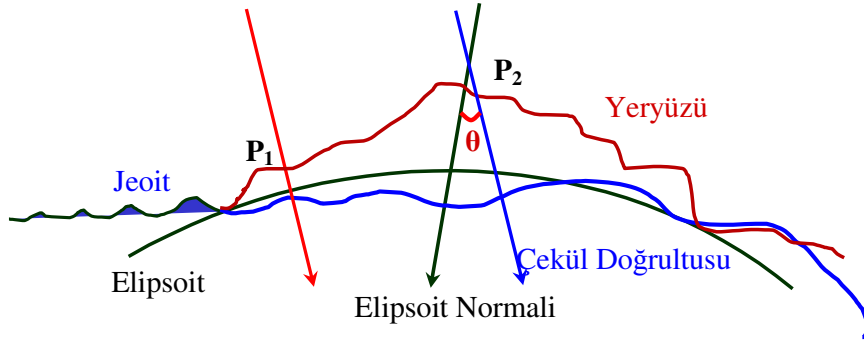
Çizelge 2.1 Referans elipsoidlerinin a yarı eksen uzunlukları ile basıklık değerleri

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

Dönel elipsoid yeryüzünü yaklaşık olarak belirtir. Elipsoidin normalleri ile çekül doğrultuları çakışmazlar. Bunlar arasındaki açılara çekül sapması (θ) denir.

Çekül sapmaları; elipsoid yarı-eksenleri a ve b, başlangıç noktasının enlem ve boylamı ile hedef doğrultusunun semtine ve elipsoidin nereye konumlandırıldığına göre değişir. Bu nedenle elde edilen çekül sapmalarına bağlı çekül sapmaları denir.

Referans elipsoidi çeşitli şekilde seçilebilir. Başlangıçta her ülkenin yaptığı iş, koordinat başlangıç noktasında elipsoid normali ile çekül doğrultusunu çakıştırmaktır. Bu ise o noktada, astronomik olarak elde edilen enlem, boylam ve semt değerlerini jeodezik değerlere eşitlemekle sağlanır. Şekil 2.3’de yeryüzü, jeoit ve kullanılan elipsoid gösterilmiştir.

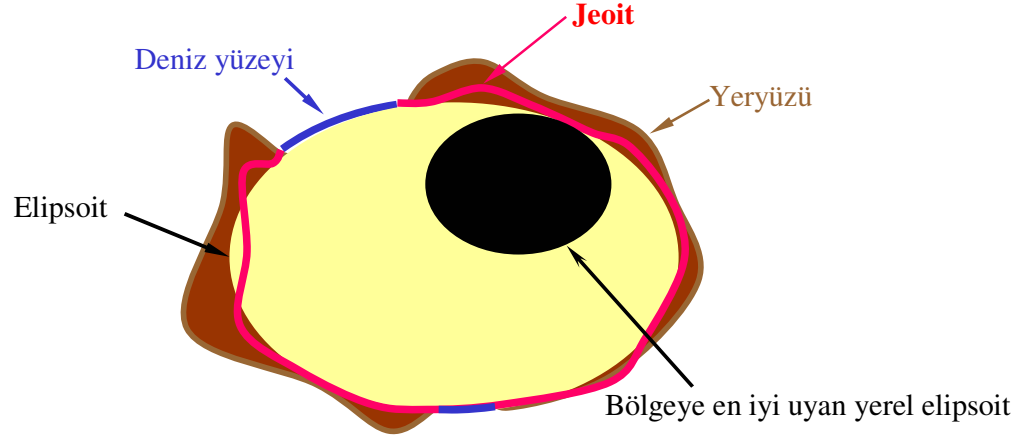


Şekil 2.3 Yeryüzü, jeoit ve referans elipsoidi

P₁ noktasında çekül doğrultusu ile elipsoit normali çakışık olduğu için çekül sapması sıfırdır. P₁'de çakışma dolayısıyla, θ çekül sapması görülmektedir.

Başlangıçta seçilen referans elipsoidinin, gerek parametrelerini gerekse konumunu değiştirerek, daha uygun elipsoidlerin bulunması, yer ölçmesinin temel problemidir. Bu nedenle, bir bölgeye en iyi uyan elipsoit ve ortalama yer elipsoidi kavramları ortaya çıkmaktadır. Ortalama yer elipsoidi, yerküreyi hacmen en iyi belirten elipsoittir (Şekil 2.4).

Kullanılacak elipsoidin a ve b yarı eksen uzunluklarının bulunmasında önceleri meridyen yaylarından yararlanılmıştır. Daha sonraları paralel daire yaylarının da kullanıldığı görülmüştür. İzlenen yöntemlere a ve b'nin bir eğri yardımıyla hesaplama yöntemleri denebilir. Bu yöntemlere “çizgisel yöntem” denebilir. Çeşitli meridyen ölçmelerinin çok farklı sonuçlar vermesi üzerine “yüzeysel yöntemler” uygulanmıştır. Yüzeysel yöntemler uygulanırken “jeoit yüksekliklerinin kareleri toplamı veya çekül sapmaları kareleri toplamının en küçük olması” gibi çeşitli kabuller yapılabilir (Yerci 2003).

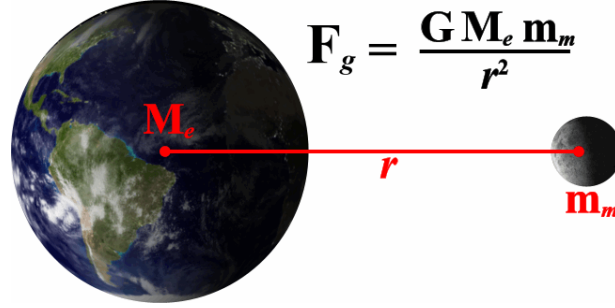


Şekil 2.4 Ortalama yer elipsoidi

Gravimetrik ölçmelerin denizlerde de yapılması olanaklarının ortaya çıkmasından sonra yeryuvarının sadece karaların yüzeyine göre çalışılması zorunluluğu kalmamıştır. Böylece yeryuvarının bir cisim olarak ele alınması ve seçilecek elipsoidin yeryuvarını en iyi şekilde belirtmesi koşulları belirlenebilmiştir. Seçilen elipsoit yataydaki konumun saptanmasında kullanılır. Yüksekliklerin belirtilmesinde ise jeoit yüzeyinden yararlanır (Kurt 1998). Bu durumda yatay ölçmeler ile yükseklik ölçmelerinin başlangıç (referans) yüzeylerinin farklı oldukları görülmektedir.

2.2. Yeryuvarı'nın Gravite Alanı

Newton'un çekim kanununa göre evrendeki bütün cisimler, büyüklüğü, bileşimi ve aralarındaki uzaklık ne olursa olsun birbirlerini çekerler. Herhangi iki cisim arasındaki bu çekim kuvveti onların kütleleri ile doğru orantılı, aralarındaki uzaklığın karesi ile de ters orantılı olup "gravitasyon" yani çekim diye adlandırılır. Bu, evrendeki temel kuvvetlerden biridir. Şekil 2.5'de görüldüğü üzere aralarındaki uzaklık r olan M_e ve m_m kitleleri,



Şekil 2.5 Çekim kuvveti

$$F_g = G \frac{M_e m_m}{r^2} \quad (2.4)$$

kuvveti ile birbirlerini çekerler. Burada “G” , Henry Cavendish tarafından 1798 tarihinde İngiltere’de burulma terazisi (torsion balance) deneyleri ile bulunan çekim sabiti olup “ $6.673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ ” değerindedir.

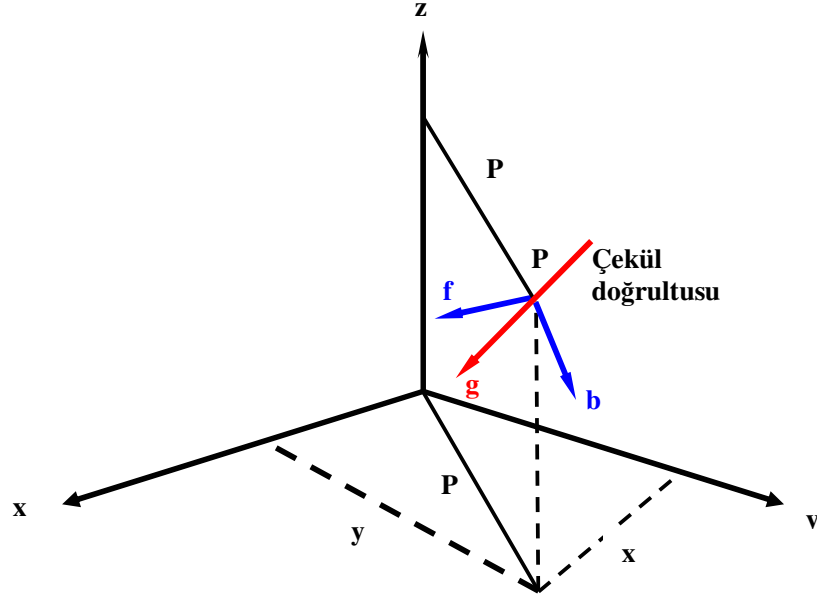
Yeryuvarının; kütlesi M, yeryuvarının ağırlık merkezinin birim kütleyle olan uzaklığı R olarak gösterilirse, yerin birim kütleyle uyguladığı çekim kuvveti ise yerçekimi ivmesine eşit olur.

$$F_g = G \frac{M.m}{r^2} \quad \text{ve} \quad F_g = m.b \quad , \quad m = 1 \quad \text{den}$$

$$b = G \cdot \frac{M}{r^2} \quad (2.5)$$

“Gravitasyon” ve “Gravite” genellikle eş anlamlıymış gibi kullanılmakta ve bu kullanım biçimi yanlışlığa neden olmaktadır.

Gravite, yerkürenin kendi eksenini etrafında ω açısal hızıyla dönmesinin meydana getirdiği merkezkaç kuvveti ile yeryuvarı kütlesinin oluşturduğu çekim kuvvetinin bileşkesi olan kuvvettir. Bu yön çekül doğrultusundadır.



Şekil 2.6 \vec{g} gravite kuvveti ve bileşenleri

\vec{b} : Kitle çekim (gravitasyon) ivmesi

\vec{f} : Merkezkaç ivme

\vec{g} : Gravite ivmesi

Yeryüzünde duran bir cisme etki eden kuvvet, kütle çekim kuvveti ile yer yuvarının kendi eksenini etrafında dönmesi ile oluşan merkezkaç kuvvetinin bileşkesidir.

Başlangıcı yer yuvarının ağırlık merkezinde olan ve z eksenini yine yer yuvarının ortalama dönme eksenini ile çakışan bir dik koordinat sistemi alınıp, x ve y eksenleri bir sağ el sistemi oluşturacak biçimde seçildiği varsayılır. Zorunlu olmamakla beraber uyum sağlamak için x eksenini ortalama Greenwich astronomik meridyen düzlemine paralel alınabilir.

Bir birim kitle üzerinde merkezkaç kuvvet f, yer yuvarının kendi eksenini etrafında dönüşünün açısal hızı ω ve kitlenin dönme ekseninden uzaklığı,

$$p = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2.7)$$

ile bellidir. Bu kuvvete ait \vec{f} ivmesi

$$\vec{p} = (x, y, 0) \quad (2.8)$$

vektörü ile aynı doğrultuda olup

$$\vec{f} = (\omega^2 x, \omega^2 y, 0) \quad (2.9)$$

şeklinde dir. Merkezkaç ivmesi aynı zamanda

$$\Phi = \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2) \quad (2.10)$$

şeklindeki bir potansiyelden de türetilir :

$$\vec{f} = \text{grad}\Phi \equiv \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x}, \frac{\partial\Phi}{\partial y}, \frac{\partial\Phi}{\partial z} \right) \quad (2.11)$$

Çekim ivmesi ile merkezkaç ivmesinin bileşkesi olan toplam ivmeye gravite denir. Gravitenin W potansiyeli, çekim kuvvetinin V potansiyeli ile merkezkaç kuvvetin Φ potansiyelin toplamına eşittir. Yani,

$$W = W(x, y, z) = V + \Phi = G \iiint_{\ell} \rho dv + \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2) \quad (2.12)$$

olup integral tüm yer yuvarını kapsamaktadır. Burada ρ yeryuvarını oluşturan birim kitlenin yoğunluğudur. (2.10)'un ikinci dereceden kısmi türevleri toplamı,

$$\Delta\Phi = \frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} = 2\omega^2 \quad (2.13)$$

eşitliğini verir. Eğer bu, V için olan Poisson denklemi ile ele alınırsa W gravite potansiyeli için

$$\Delta W = -4\pi G\rho + 2\omega^2 \quad (2.14)$$

olan genelleştirilmiş Poisson denklemi elde edilir. Φ bir analitik fonksiyon olduğundan W potansiyeline ait kesiklikler V'ye aittir. Bazı ikinci türevler yoğunluğun kesikli olduğu yerlerde sıçramalara sahiptirler. W'nin gradyen vektörü,

$$\vec{g} = \text{grad}W = \left(\frac{\partial W}{\partial x}, \frac{\partial W}{\partial y}, \frac{\partial W}{\partial z} \right) \quad (2.15)$$

olup,

$$g_x = \frac{\partial W}{\partial x} = - G \iiint_v \frac{x - x'}{\ell^3} \rho dv + \omega^2 x \quad (2.16)$$

$$g_y = \frac{\partial W}{\partial y} = - G \iiint_v \frac{y - y'}{\ell^3} \rho dv + \omega^2 y \quad (2.17)$$

$$g_z = \frac{\partial W}{\partial z} = - G \iiint_v \frac{z - z'}{\ell^3} \rho dv + \omega^2 z \quad (2.18)$$

bileşenleriyle gravite vektörü adını alır. Bir vektör olarak büyüklüğü ve doğrultusu vardır (Heiskanen ve Moritz, 1984).

Boyutu bir ivmenin fiziksel boyutu olup Gal ile ölçülür. Bu birime verilen ad Galileo Galilei'nin adından gelmektedir. g'nin sayısal değeri yaklaşık olarak ekvatorda 978 Gal kutuplarda 983 Gal'dir. Jeodezide daha uygun olarak miligal kullanılır (1 mGal=10⁻³ Gal).

W potansiyelinin sabit olduğu,

$$W(x,y,z)=W_o=\text{Sabit} \quad (2.19)$$

yüzelere eş potansiyelli yüzeyler ya da nivo yüzeyleri denir.

W=W(x,y,z) gravite potansiyelinin türevinin alınmasıyla

$$dW = \frac{\partial W}{\partial x} dx + \frac{\partial W}{\partial y} dy + \frac{\partial W}{\partial z} dz$$

bulunur. Vektör gösterimde bu, skalar çarpım kullanılarak,

$$dW = \text{grad}W \cdot \vec{dx} = \vec{g} \cdot \vec{dx} \quad (2.20)$$

şeklinde gösterilir. Burada;

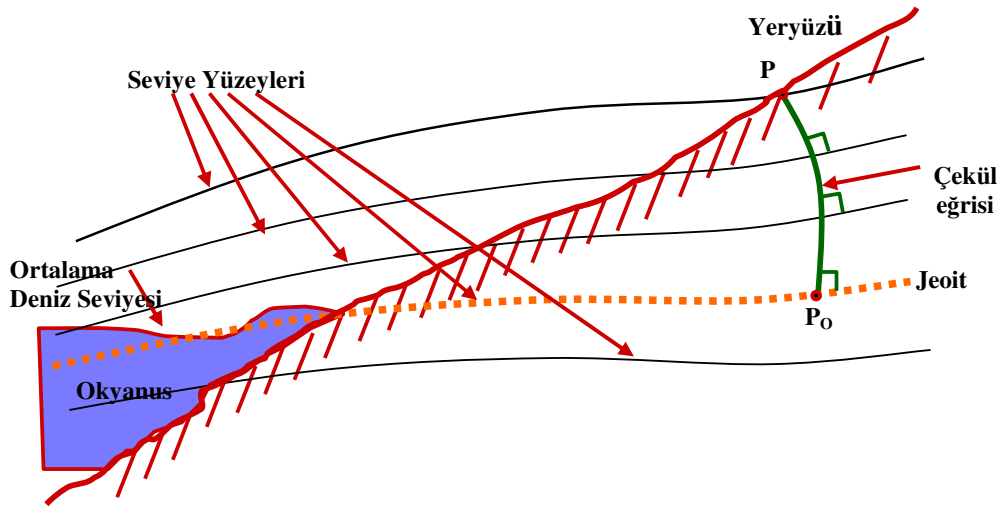
$$\vec{dx} = (dx, dy, dz) \quad (2.21)$$

ile belirlidir.

Eğer \vec{dx} yer değiştirme vektörü $W=W_0$ eşpotansiyeli yüzey boyunca alınırsa potansiyel sabit kalır ve $dW=0$ olur ve (2.20),

$$\vec{g} \cdot \vec{dx} = 0 \quad (2.22)$$

şekline girer. Eğer iki vektörün skalar çarpımı sıfıra eşitse, bu vektörler birbirinin normalidirler. Dolayısıyla bu eşitlik, gravite vektörünün (çekül eğrisinin doğrultusu) aynı noktadan geçen eşpotansiyelli yüzeye dik olduğunu ifade eder (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Seviye yüzeyleri ve çekül eğrileri

Eşpotansiyelli yüzeyler birbirini kesmeyen, birbirlerine paralel olmayan yüzeyler olduğundan çekül doğrultuları gerçekte doğru değil uzay eğrileridir. Bunlara kuvvet çizgileri ya da çekül eğrileri denir.

Bir noktann deniz yüzeyinden olan yüksekliği, jeoitden başlayarak çekül eğrisi boyunca ölçülür. Eğer \vec{dx} vektörü çekül eğrisi boyunca alınırsa bunun boyu,

$$|\vec{dx}| = dH$$

ve doğrultusu da \vec{g} gravite vektörünün ters yönü yukarıya doğru olacaktır. Böylece $d\vec{x}$ ile \vec{g} arasındaki açı 180° olur. Skalar çarpım tanımına göre,

$$\vec{g}d\vec{x} = g dH \cos(\vec{g}d\vec{x}) = g dH \cos 180^\circ = -g dH$$

olduğundan, (2.20) eşitliği

$$dW = -g dH \tag{2.23}$$

şeklini alır.

Yeryüzündeki bir noktanın jeoitden olan yüksekliği ile W potansiyeli arasındaki ilişkiyi kuran bu eşitlik yükseklik belirleme kuramı için temel olacaktır.

2.3. Yeryüzündeki Bir Noktanın Yüksekliği

Yeryüzündeki bir noktanın yüksekliğinden, nokta ile başka bir yüzey (genellikle jeoit) arasındaki ilişki (uzaklık) anlaşılır. Bu ilişki fiziksel ya da geometrik bir anlamda tanımlanabileceği gibi başka görüşlere uygun bir biçimde de belirtilebilir (Demirel, 1984). Çekül eğrilerinin yeryüzü noktaları ile jeoit arasında kalan parçalarının yay uzunlukları yüksekliklerin geometrik anlamda bir tanımıdır. Bu tür yüksekliklere ortometrik yükseklik adı verilmektedir. Noktaların ya da noktalardan geçen nivo yüzeylerinin jeoide göre durumları jeoit ile bu yüzeyler arasındaki potansiyel farklar yardımıyla da belirtilebilir. Bu farklar kilogalmetre biriminde gösterilirse jeopotansiyel sayılar elde edilir. Potansiyel farklar uygun biçimde seçilen sabit bir gravite değerine (genellikle γ_{45}) bölünürse metre biriminde ve ortometrik yükseklikler ile karşılaştırılabilir büyüklükte dinamik yükseklikler elde edilir. Jeopotansiyel sayılar ve onlardan belli bir oranda sapan dinamik yükseklikler fiziksel nitelikte büyüklükler olup bilimsel araştırmalar, büyük ağı dengelemeleri v.b. için uygun sistemlerdir. Nivelman ve gravite ölçüleri yardımıyla bir varsayıma gerek olmadan hesaplanabilirler. Oysa, ortometrik yüksekliklerin sadece yaklaşık değerleri elde edilebilmektedir. Uygulamanın gereksinimlerinden kaynaklanan başka yükseklik sistemleri için asıl tipi ortometrik yükseklikler oluşturmaktadır. Fiziksel ve geometrik bir anlamı olmayan, belli varsayımlara göre belirlenen bu tür yüksekliklere pratik yükseklikler denir. Bu sistemlerden her biri için jeoitten az ya da çok sapan, fiziksel olarak tanımlanamayan değişik sıfır yüzeyleri (kuasi jeoitler) geçerlidir.

Teori ve pratiğin gereksinimleri açısından büyük önem taşıyan ve genellikle sadece pratik yükseklikler arasında sayılan başka bir yükseklik türü de Molodenski'nin kuasi-jeoit yükseklikleri normal yüksekliklerdir. Bunlar da jeopotansiyel kotlar gibi bir varsayıma dayanmadan hesaplanabilmektedir.

Normal ortometrik yükseklikler, gravite değerlerini ölçmenin olanaksız ya da güç olduğu zamanlarda birçok ülke tarafından pratik yükseklikler olarak kullanılmıştır.

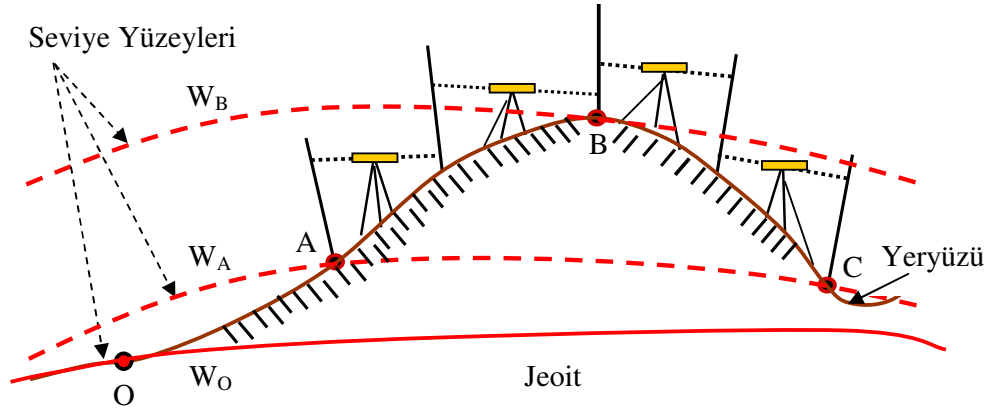
2.3.1. Yeryüzündeki Bir Noktanın Jeopotansiyel Sayısı

A ve B noktaları arasındaki potansiyel farklar nivelman yükseklikleri ve gravite ivmesinin ölçülen değerleri belirlenerek yapılan nivelmana “Jeopotansiyel Nivelman” denmektedir. Bu, ölçülen yükseklik farkları ile gravite ivmeleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Noktalardaki potansiyel farklar referans yüzeyi olarak alınan jeoit’den itibaren ele alınır ve bunlar “C” rumuzu ile gösterilip jeopotansiyel sayı olarak adlandırılırlar (Turgut 2001).

Bir B noktasından geçen nivo yüzeyinin W_B potansiyeli ile jeoidin W_0 potansiyeli arasında kilogalmetre biriminde verilen potansiyel farka o noktanın jeopotansiyel sayısı denir. Yeryüzü ile jeoidin bir kesişme noktası “O” ise bir B noktasının jeopotansiyel sayısı C_B için tanıma uygun biçimde,

$$C_B = W_0 - W_B = - \int_O^B dW = \int_O^B g dh \quad (2.24)$$

eşitliği yazılabilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Jeoit ile jeopotansiyel sayı ilişkisi

Buna göre jeoidin jeopotansiyel sayısı sifıra eşittir ve nivo yüzeylerinden her birine jeopotansiyel sayıların yalnız bir tek değeri karşılık gelir. Jeopotansiyel

sayılar, ölçülen yükseklik farkları ve gravite değerleri yardımıyla doğruya yakın bir incelikte hesaplanabilmektedir. Yükseklik farkı Δh ve bunu sınırlayan iki noktada ölçülen gravite değerleri ortalaması G ise jeopotansiyel sayı C_B , (2.24)'den

$$C_B = \sum_0^B Gdh \quad (2.25)$$

bulunur. A ve B noktalarının jeopotansiyel sayıları arasındaki fark, (2.24)'den

$$C_B - C_A = \Delta C_{AB} = W_A - W_B = \int_A^B gdh \approx \sum_A^B G\Delta h \quad (2.26)$$

elde edilir. Jeopotansiyel sayısı bilinen bir noktadan ya da mareograf istasyonundan başlanarak tün noktaların jeopotansiyel sayıları, jeopotansiyel sayı farkları yardımıyla,

$$C_B = C_A + \Delta C_{AB} = C_A + \sum_A^B G\Delta h \quad (2.27)$$

bulunur.

Uluslararası Jeodezi Komisyonu tarafından 1955 yılında yapılan toplantıda, Avrupa nivelman ağı için jeopotansiyel sayıların, Potsdam sistemine dayalı olarak kgalmetre biriminde (geo-potential units, g.p.u.) hesaplanması kararlaştırılmıştır.

2.3.2. Yükseklik Sistemleri

C jeopotansiyel sayı ve değişik biçimlerde tanımlanan G gravite değeri yardımıyla yükseklik sistemleri;

$$\text{Yükseklik} = \frac{C}{G} \quad (2.28)$$

genel formülü ile elde edilmektedir (Heiskanen ve Moritz 1984). G'nin seçimine bağlı olarak farklı yükseklik sistemleri tanımlanabilmektedir. Aşağıda dinamik, ortometrik ve normal yüksekliklere ilişkin G değerleri tanımlanmaktadır.

- $G = \gamma_{45}$: Dinamik Yükseklik: H^D
- $G = g_p + 0.0424 H$: Ortometrik Yükseklik (Helmert): H (2.29)
- $G = \gamma [1 - (1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi) \frac{H^*}{a} + (\frac{H^*}{a})^2]$: Normal Yükseklik (Molodensky): H^*

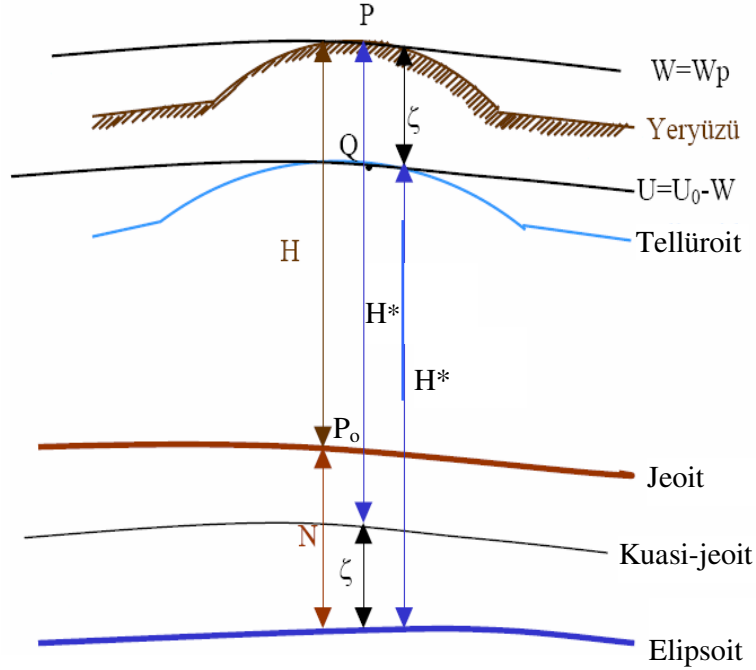
Burada;

- g_p : P yeryüzü noktasında ölçülen gravite
- γ : Elipsoit üzerinde normal gravite
- φ : Jeodezik enlem
- γ_{45} : $\varphi=45^\circ$ için normal gravite
- f : Referans elipsoidinin basıklığı
- $m = \frac{\omega^2 ab}{GM}$
- ω : Yerin açısal dönme hızı
- a, b : Elipsoidin büyük ve küçük yarı eksenleri
- GM : Newton çekim sabiti ile yerin kütesinin çarpımıdır

Fiziksel boyutu olan jeopotansiyel sayı, sabit bir sayı (γ_{45}) ile bölünerek metrik boyutu olan dinamik yüksekliklere dönüştürülür. Aynı eş potansiyelli yüzey üzerindeki noktaların dinamik yükseklikleri aynıdır. Geometrik nivelman ölçüsüne dinamik düzeltme getirilerek dinamik yükseklik farkları elde edilebilir. Dinamik düzeltme, özellikle dağlık bölgelerde büyük değerlere ulaştığından bu yükseklik sistemi uygulama açısından uygun değildir.

Ortometrik yüksekliklerin başlangıç yüzeyi jeoitir. Normal yüksekliklerin başlangıç yüzeyi ise okyanuslarda jeoit ile çakışan, ancak karalarda farklılık gösteren

kuasi-jeoit olup bu yükseklikler ve aralarındaki ilişkiler Şekil-2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Ortometrik ve Normal Yükseklik

Şekil-2.9'da:

H^N : Normal yükseklik (P noktasının normal çekül eğrisi boyunca kuasi-jeoide olan uzaklığı),

H^* : Ortometrik Yükseklik (P Noktasının gerçek çekül eğrisi boyunca jeoide olan uzaklığı),

ζ : Yükseklik anomolisini göstermektedir.

Ortometrik yükseklikler yerkağı yoğunluğu ile ilgili bazı varsayımlara dayanırken, normal yükseklikler için herhangi bir varsayım söz konusu değildir. Ayrıca her iki yükseklik sistemi tam diferansiyel ve tek anlamlıdır. Uygulamada, jeopotansiyel sayı hesabı için (2.24) integrali, toplam şekline dönüştürülür. P noktasının “jeopotansiyel sayısı”; P_0 'dan P' ye olan geçki üzerinde belirli aralıklı noktalar arasındaki “Jeopotansiyel Sayı” farkları (ΔC_k)'nın toplamıyla elde edilir.

$$C_p = \sum_{k=1}^k \Delta C_k, \Delta C_k = \bar{G}_k \delta n_k \quad (2.30)$$

Bu eşitlikte; δn_k iki nokta arasındaki geometrik nivelman ile bulunan yükseklik farkı, \bar{G}_k söz konusu iki yeryüzü noktası arasındaki ortalama gerçek gravitedir. Noktaların jeopotansiyel sayıları belirlendikten sonra (2.29) eşitlikleriyle noktalarının istenilen yükseklik sistemindeki yükseklikleri belirlenebilir. Ayrıca geometrik nivelman ölçülerine uygun düzeltmeler getirilerek (ortometrik düzeltme, normal düzeltme, dinamik düzeltme) düzeltmeye karşılık gelen yükseklik sisteminde noktalar arasındaki yükseklik farkları doğrudan elde edilebilmektedir (Ayhan ve Demir, 1992).

Gerçek gravite değerinin bilinmediği durumlarda, (2.30) eşitliğinde \bar{G}_k yerine ortalama normal gravite ($\bar{\gamma}$) alınarak $\Delta C_k'$ normal jeopotansiyel sayı farkı elde edilmekte ve

$$C'_p = \sum_{k=1}^k \Delta C'_k, \Delta C'_k = \bar{\gamma}_k \delta n_k \quad (2.31)$$

eşitliği ile normal jeopotansiyel sayı (C'_p) hesaplanmaktadır. Normal jeopotansiyel sayı (C'_p) yardımıyla normal ortometrik yükseklikler (H^{NO}); (2.28) eşitliğine benzer şekilde, $G = \gamma - 0.3086 (H^{NO} / 2)$ olmak üzere

$$H^{NO} = \frac{C'_p}{G} \quad (2.32)$$

eşitliği ile elde edilmektedir. Normal jeopotansiyel sayılar gerçek gravite alanına dayanmadığı için tam diferansiyel ve tek anlamlı değildir. Ölçülen geometrik yükseklik farklarına, normal graviteden yararlar normal ortometrik düzeltme getirilerek normal ortometrik yükseklik farkları elde edilebilmektedir. Normal ortometrik düzeltme (OC');

$$OC' = -2\bar{H}^{NO} \alpha \sin 2\bar{\varphi} \left[1 + \left(\alpha - \frac{2\beta}{\alpha} \right) \cos 2\bar{\varphi} \right] \Delta \bar{\varphi} \quad (2.33)$$

eşitliği ile hesaplanır (Ayhan ve Demir, 1992). Burada \bar{H}^{NO} ortalama yükseklik, α ve β sabit katsayılar, $\bar{\varphi}$ iki düşey kontrol noktasının ortalama enlemi, $\Delta \varphi$ ise

aralarındaki enlem farkıdır. Türkiye’de mevcut yükseklikler normal ortometrik yükseklik sistemi’nde olup ölçülen yükseklik farkları; (2.33) eşitliğinde $\alpha=0.002644$ ve $\beta=0.000007$ (Hayford Elipsoidi) alınarak hesaplanan normal ortometrik düzeltme ile normal ortometrik yükseklik farklarına dönüştürülmüştür.

Yeryüzündeki bir P noktasının ortometrik yüksekliği, bu noktadan çekül eğrisi boyunca jeoide kadar olan uzunluktur. Ortometrik yüksekliklerin özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Ortometrik yükseklikler, çekül eğrilerinin yeryüzü ile jeoit arasında kalan parçaları boyunca gravite değerlerinin dağılımına (kitle yoğunluğuna) ilişkin bir varsayım öngörülmezsizin belirlenemez, ancak gerçek değerlerden az ya da çok sapan bir yaklaşıklıkla elde edilebilir.

- Aynı bir nivo yüzeyinin değişik noktalarının ortometrik yükseklikleri genel olarak eşit değildir. Örneğin, yüksekte bulunan bir gölün durgun su yüzü nivo yüzeyinden bir parçadır. Her noktasının dinamik yükseklikleri eşit, ama ortometrik yükseklikleri değişkendir. Yalnız jeoide paralel yüzeylerle su yüzünün kesim noktalarının ortometrik yükseklikleri eşittir. Ortometrik yüksekliği büyük olan nokta yönünde suyun aktığı durumlarla karşılaşılabilmektedir.

- Ortometrik düzeltmeler, genellikle dinamik düzeltmelerden daha küçüktür. Bu nedenle ortometrik yükseklikler, nivelman yüksekliklerine dinamik yüksekliklerden daha çok yaklaşırlar.

- Ortometrik yükseklikler sisteminde ağ, trigonometrik nivelman ile sıklaştırılabilir.

3. TÜRKİYE ULUSAL DÜŞEY KONTROL AĞI-1999

Türkiye'de Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı ile ilgili çalışmalar 1935 yılında Antalya mareograf (deniz seviyesi ölçer) istasyonunun kurulması ile başlamıştır. Sonraki yıllarda ana karayolları boyunca oluşturulan 158 I. derece ve 87 II. derece geometrik nivelman geçkisinin ilk faz ölçüleri 1970 yılına kadar yapılarak düşey kontrol ağı tesis edilmiştir. I. ve II. derece ölçülerde gidiş-dönüş kapanması için sırasıyla $4\sqrt{S}$ mm ve $8\sqrt{S}$ mm (S km biriminde geçki uzunluğu) ölçütleri alınmıştır. Gravite ağı ile ilgili çalışmalar 1956 yılında başladığından 1970 yılına kadar düşey kontrol noktalarında gravite ölçülmemiştir. 1973 yılından itibaren ikinci faz geometrik nivelman ölçüleri başlatılmıştır. Bu kapsamda günümüze kadar sürdürülen çalışmalarda daha önce tesis edilen geçki ölçüleri yenilenmiş, alt yapı nedeniyle tahrip olan geçkiler yerine yenileri, gerek duyulan yerlerde ise yeni geçkiler tesis edilmiş ve düşey kontrol noktalarında gravite ölçülmüştür. 1993 yılına kadar gerçekleştirilen ölçü çalışmaları ile 151 I. derece ve 39 II. derece geçki ölçüsü yenilenmiş, 2 yeni II. derece geçki tesis edilerek ölçülmüştür.

1985-1992 yıllarında yapılan çalışmalarla, 1973-1991 yıllarında ölçüsü yenilenen 151 adet I. derece ve 35 adet II. derece geçki ile 1970 yılından önce ölçülen 5 adet I. derece geçkinin, gravite değerleri ile birlikte ilk değerlendirmesi yapılarak Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1992 (TUDKA-92) oluşturulmuştur. Ölçüsü yenilenmemiş 52 II. derece geçki bu değerlendirmeye alınmamıştır (Ayhan ve Demir 1992).

TUDKA-92 oluşturulurken dengeleme sonrası yapılan istatistik analizde üç adet geçkinin uyuşumsuz olduğu saptanmış ve bu geçkiler değerlendirme dışı bırakılmıştır. Sonraki yıllarda, uyuşumsuz bulunan üç geçkiden iki tanesi (biri tamamen diğerinin bir bölümü) ölçülmüştür. Ayrıca 1993 yılında dört eski ve iki yeni olmak üzere altı adet II. derece geçki ölçüsü yapılmıştır. Diğer taraftan daha önce değerlendirme dışı bırakılan 52 adet eski II. derece geçkiden 44'ünün ağa bağlantısı gerçekleştirilmiş ve bu geçkilerdeki noktaların tamamında gravite değerleri

prediksiyonla kestirilmiştir. Ağa bağlantısı sağlanamayan diğer 8 adet eski II. derece geçki değerlendirme dışında tutulmuştur. Daha sonra tüm geçkilerdeki noktalarının koordinatları (enlem ve boylam) 1/25000 ölçekli haritalardan sayısallaştırılarak elde edilmiş ve mevcut tüm veriler (gravite, enlem, boylam, geometrik yükseklik farkı, uzaklık) kontrol edilmiştir.

Yukarıda sözü edilen kontrol işlemleri tamamlandıktan sonra, yapılan ek ölçülerin de katılımı ile TUDKA dengelemesi yeniden yapılarak, TUDKA-99 oluşturulmuştur. Bu değerlendirmeye 1970 yılından sonra ölçülen **151** adet I. derece ve **41** adet II. derece ile 1970 yılından önce ölçülen **7** adet I. derece ve **44** adet II. derece geçki olmak üzere toplam **243** I ve II. derece geçki dahil edilmiştir.

TUDKA-99 'un oluşturulmasında izlenen adımlar aşağıda verilmiştir (Ayhan ve Demir 1992):

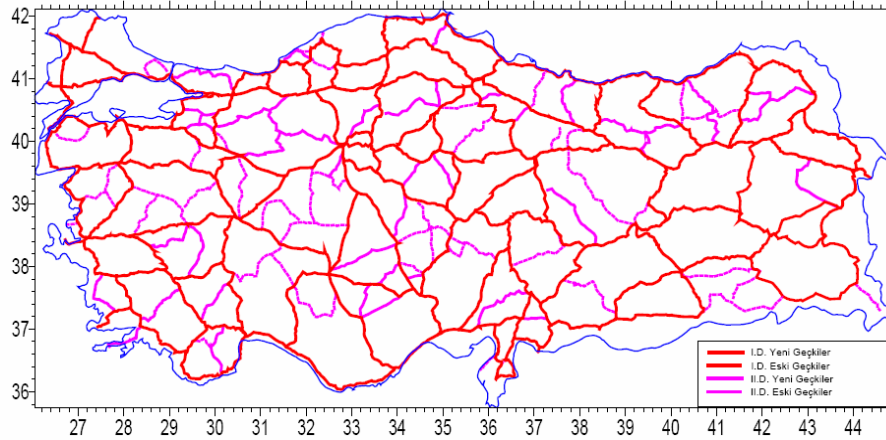
- Geometrik nivelman ve gravite ölçülerinin ön işlemi,
- Dengelemede ve uygulamada kullanılacak yükseklik sisteminin seçimi,
- Düşey datumun belirlenmesi,
- Düşey kontrol ağının dengelenmesi

Dengelemede kullanılacak yükseklik sistemine bağlı olan ön işlemler; ölçülen yükseklik farklarının, ölçü aleti (nivo), mira ve fiziksel çevre koşullarından kaynaklanan sistematik etkilerden arındırılmasını içerir. TUDKA'nın dengeleme aşamasında IAG (International Association of Geodesy)'nin UELN (United European Levelling Network) alt komisyonunca önerilen, tek anlamlı ve tam diferansiyel olan Jeopotansiyel sayılar yükseklik sistemi olarak seçilmiş ve IGSN71 (International Gravity Standardization Network-1971)'e yakın düzenlenmiş Potsdam datumundaki gravite değerleri kullanılmıştır. TUDKA için düşey datum Antalya mareograf istasyonunda 1936-1971 yıllarındaki anlık deniz seviyesi ölçülerinin doğrudan aritmetik ortalaması ile belirlenmiştir (Ayhan ve Demir 1992).

3.1. TUDKA-99'un Oluşturulması

3.1.1. Ön İşlemler

1936-1970 yıllarında yapılan geometrik nivelman ölçüleriyle 19800 km uzunluğunda 158 adet I. derece ve 8900 km uzunluğunda 87 adet II. derece geçkiden oluşan düşey kontrol ağı fiilen tesis edilmiştir. Bu ağı iyileştirmek amacıyla 1973 yılında başlayan ikinci faz geometrik nivelman ölçülerinde bugüne kadar, 151 I. derece ve 41 II. derece olmak üzere toplam 23077 km geçki ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Ölçüsü yenilenen toplam 190 I ve II. derece geçki ve yeni tesis edilen 2 II. derece geçki ile ölçüsü yenilenmeyen 7 I. derece ve 44 II. derece geçkinin değerlendirilmesi tamamlanarak, **243** geçkiden oluşan **25680** noktalı TUDKA-99 (Şekil 3.1) oluşturulmuştur (Demir, 1999).



Şekil 3.1 Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999(TUDKA-99).

Geometrik nivelman ölçülerinde Wild N3 ve Zeiss Ni002 (1988 yılından itibaren) nivoları kullanılmış, ikinci faz ölçülerde ölçü öncesi ve ölçü sonrasında miralar komparator ile kalibre edilerek mira ölçek ve sıcaklık düzeltmesi getirilmiştir. Geometrik nivelman ölçülerinde fiziksel çevre koşullarından kaynaklanan düzeltmeler (refraksiyon, astronomik, magnetik ve yer kabuğu hareketleri) ek parametrelerin ölçülmesi veya bilinmesini gerektirdiğinden I ve II. derece geometrik nivelman ölçülerine getirilmemiştir.

1973 yılında başlayan ikinci faz geometrik nivelman ölçüleri sırasında düşey kontrol noktalarında gravite ölçülmüştür. Değişik nedenlerle gravite ölçülmeyen ve 1970 öncesi ölçülen 6 I. derece ve 44 II. derece geçkinin tamamında olmak üzere toplam **4112** düşey kontrol noktasının gravite değeri, çevresindeki 3-5 km. sıklıkta gravite noktalarından yararlı ± 3 mGal doğrulukla kestirilmiştir (Ayhan ve Alp 1988). Böylece düşey kontrol noktalarında, IGSN71 sistemine yakın Düzenlemiş Potsdam Gravite Datumunda gravite belirlenmiştir.

TUDKA'da her geçki için ayrı olarak hazırlanan veri dosyalarında, noktalar arasındaki geometrik yükseklik farkı ve uzaklık bilgileri, gravite değeri, noktanın tarifi ve 1/25000 ölçekli haritalardan derece saniyesi (") doğruluğunda sayısallaştırılan konum bilgileri (enlem, boylam) yer almaktadır.

3.1.2. TUDKA-99'un Oluşturulması

TUDKA'nın dengelemesi aşamasında jeopotansiyel sayılar yükseklik sistemi olarak seçilmiş ve noktalar arasındaki jeopotansiyel sayı farkları geometrik nivelman ve gravite ölçülerinden hesaplanmıştır. Düşey kontrol ağında nokta sayısı (bilinmeyen sayısı) çok fazla olduğu için ağın topluca dengelenmesi yerine aynı sonuçların elde edilmesini sağlayan iki aşamalı bir hesaplama modeli uygulanmıştır. İlk aşamada düğüm noktaları (I. ve II. derece geçkilerin kesişim noktaları) ve aralarındaki geçkilerden oluşan düşey kontrol ağı dengelenmiştir. i ve j düğüm noktaları arasındaki ΔC_{ij} jeopotansiyel sayı farkı (2.4) eşitliği ile ölçü ağırlıkları ise,

$$P_i = \frac{200}{t^2 S_i} \quad (3.1)$$

ile hesaplanmıştır (Kok vd. 1980; Ehrnsperger vd. 1981). Burada t , 1 km lik nivelmanda bulunan yükseklik farkının standart sapması, S_i nivelman geçkisinin uzunluğudur (km). Nivelman ölçülerinde gidiş-dönüş ölçülerindeki kapanma hatası

için $w = (2.828 t \sqrt{S})$ mm eşitliği geçerlidir (Kok 1983). Türkiye'de I. ve II. derece geçkilerde gidiş-dönüş ölçüleri arasındaki ölçüt sırasıyla $4\sqrt{S}$ mm ve $8\sqrt{S}$ mm alındığından verilen formülden I. derece geçkiler için $t=1.414$ mm, II. derece geçkiler için $t=2.828$ mm olmaktadır. Bu değerlerin (3.1) eşitliğinde yerine konmasıyla I ve II nci derece geçkiler için ağırlıklar belirlenmiştir.

Düğüm noktalarının C jeopotansiyel sayıları bilinmeyen, düğüm noktalarını birleştiren geçkiler boyunca ΔC jeopotansiyel sayı farkları ölçü alınarak en küçük kareler yöntemine göre (Kok vd. 1980) dengeleme ile düğüm noktalarının jeopotansiyel sayı ve duyarlılığı hesaplanmıştır. Ağın düşey datumu Antalya mareograf istasyonunda 1936-1971 yıllarındaki anlık deniz seviyesi ölçülerinin doğrudan aritmetik ortalaması ile belirlenmiştir. Anlık deniz seviyesi ölçüleri uygun yöntemlerle sistematik etkilerden arındırılmadığı ve ortalama deniz seviyesi ile jeoit arasında deniz yüzeyi topografyası olarak adlandırılan fark bilinmediği için düşey datumda sistematik bir kayıklık beklenmektedir. Ancak bu etki tüm noktalarda aynı miktarda olduğundan, tüm nokta değerlerinde sabit bir değer eklenmesini veya çıkarılmasını gerektirmektedir.

Bu dengeleme tek noktaya dayalı (minimum zorlamalı) olarak yapıldığından aynı zamanda uyumsuz ölçüleri ortaya çıkarmak için Data snooping (Kavouras 1982, Kok 1983) uygulanmıştır. Bu işlem sonunda doğu Karadeniz bölgesinde bulunan II nci derece bir geçki ölçüsü uyumsuz bulunarak atılmış ve dengeleme tekrar edilmiştir.

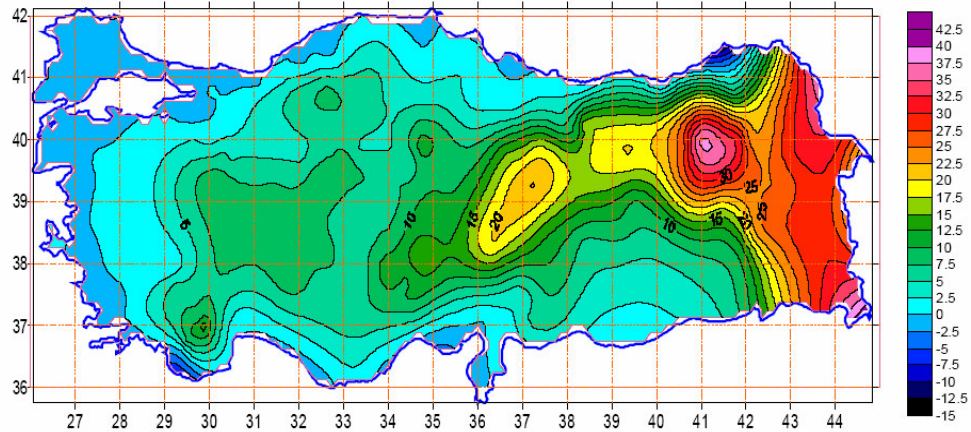
İkinci aşamada ise düğüm noktalarının hesaplanan jeopotansiyel sayı ve duyarlıklarından yararlanılarak geçkiler boyunca düşey kontrol noktalarının jeopotansiyel sayı ve duyarlıkları hesaplanmıştır. i ve j düğüm noktalarının hesaplanan jeopotansiyel sayıları C_i ve C_j , varyansları σ_i^2 , σ_j^2 , kovaryansı σ_{ij}^2 ve aralarındaki geçki uzunluğu S_{ij} olmak üzere; i ve j düğüm noktalarını birleştiren geçki üzerinde i noktasından başlayarak S_{im} mesafedeki bir m . düşey kontrol noktasının C_m jeopotansiyel sayısı ve duyarlılığı, $q=S_{im}/S_{ij}$ olmak üzere,

$$C_m = (1 - q)(C_i + \sum_{k=1}^{m-1} \Delta C_k) + q(C_j - \sum_{k=m}^{M-1} \Delta C_k) \quad (3.2)$$

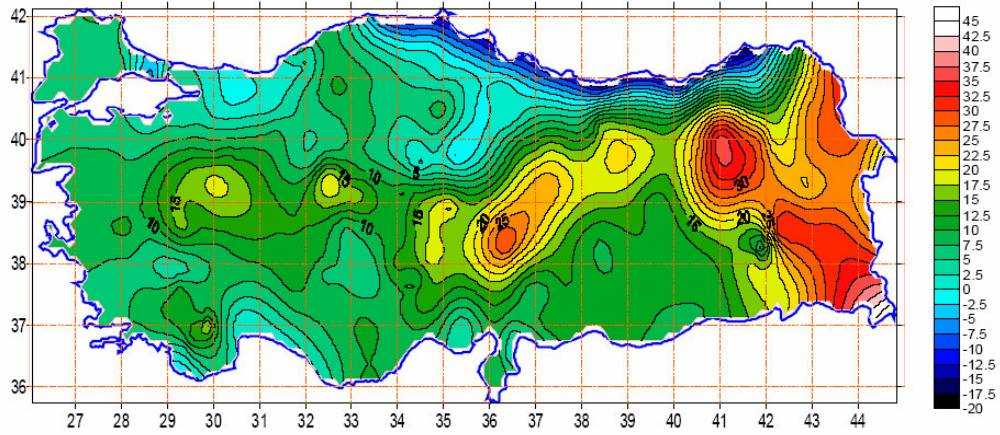
$$\hat{\sigma}_m^2 = (1-q)^2 \hat{\sigma}_i^2 + 2q(1-q)\hat{\sigma}_{ij} + q^2 \hat{\sigma}_j^2 + q(1-q)\hat{\sigma}_{\Delta Cij}^2 \quad (3.3)$$

ile hesaplanmıştır. Burada M , i ve j noktaları dahil geçkideki toplam nokta sayısı, $\hat{\sigma}_{\Delta Cij}^2$ i ve j noktaları arasındaki jeopotansiyel sayı farkının varyansdır (Vanicek ve Krakiwsky 1982). Böylece düşey kontrol noktalarının jeopotansiyel sayıları duyarlılıkları ile birlikte hesaplanarak TUDKA-99'nın oluşturulması tamamlanmıştır. Ayrıca noktaların tamamında (2.29) eşitlikleri kullanılarak Helmert ortometrik yükseklik ve Molodensky normal yükseklikleri standart sapmaları ile birlikte hesaplanmıştır.

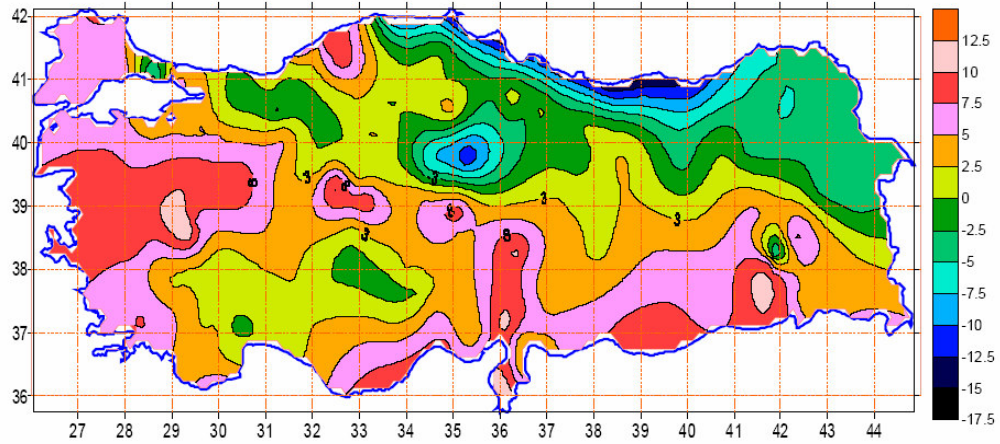
Yükseklik sistemleri arasında karşılaştırma yapmak amacıyla ölçüsü yenilenen (1973'ten sonra ölçülen) I. ve II. derece düğüm ve ara düğüm noktalarının hesaplanan Helmert ortometrik yükseklikleri, Molodensky normal yükseklikleri ve halen mevcut normal ortometrik yükseklikleri arasındaki farklar Çizelge 3.1'de verilmiş, ayrıca Şekil 3.2-4'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Helmert ortometrik yükseklikler ile Molodensky normal yükseklikleri arasındaki farklar (cm biriminde)



Şekil 3.3: Helmert ortometrik yükseklikler ile normal ortometrik yükseklikleri arasındaki farklar (cm biriminde)



Şekil 3.4 : Molodensky normal yükseklikler ile normal ortometrik yükseklikleri arasındaki farklar (cm biriminde)

Çizelge 3.1 Helmert Ortometrik, Molodensky normal ve normal ortometrik yükseklikler arasındaki farklar

Farklar	Min (cm)	Max (cm)	Ort. (cm)	Standart Sapma (cm)
Ortometrik - Normal	- 0.7	+38.0	+ 7.0	± 8.1
Ortometrik - Normal Ort.	- 14.0	+36.9	+ 9.5	± 8.4
Normal - Normal Ort.	-14.0	+11.6	+ 2.5	± 5.0

Çizelge 3.1'den normal yükseklikler ile normal ortometrik yükseklikler arasındaki farkların ortalamasının 2.5 cm olduğu görülmektedir. Ayrıca sözü edilen iki yükseklik arasında Şekil 3.4'te verilen fark haritası incelendiğinde farkların genel olarak küçük olmakla birlikte bazı bölgelerde anomaliler gözlenmektedir. Benzer anomaliler ortometrik yükseklikler ile normal ortometrik yükseklikler arasındaki farkların gösterildiği Şekil 3.3'de göze çarpmaktadır. Bunun mevcut yüksekliklerin hesaplanmasında izlenen yöntem nedeniyle oluşan ağ distorsiyonundan kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Uluslararası Jeodezi Birliği (IAG)'nin Avrupa alt komisyonunca (EUREF); kuzey ve batı Avrupa ülkeleri ile orta ve doğu Avrupa ülkelerince farklı iki düşey datum ve farklı yükseklik sistemi (ortometrik, normal) benimsenerek oluşturulan iki düşey kontrol ağının, jeopotansiyel sayılar kullanılarak tek bir düşey datumda birleştirilmesi gerçekleştirilmiş olup bu ağın genişletilmesi çalışmalarını sürdürülmektedir. Bu birleştirme sonucunda Avrupa ülkeleri için jeopotansiyel sayı biriminde yükseklik düzeltmeleri hesaplanmıştır. Ancak, Avrupa alt komisyonunca, Avrupa ülkelerinin uygulamada hangi yükseklik sistemini kullanması yönünde herhangi bir önerisi bulunmamaktadır.

Düğüm ve ara noktalarında yapılan hesaplamalar sonunda; normal yükseklikler ile ortometrik yükseklikler arasındaki farkların, ortometrik yükseklikler ile normal ortometrik yükseklikler arasındaki farklara nazaran daha küçük değerler almaktadır. Ancak ortometrik yükseklik ile normal yükseklik uygulama açısından birbirlerine göre belirgin üstünlükleri bulunmamaktadır. Ortometrik yüksekliklerin olumsuz yanı, yer yoğunluğu ile ilgili bazı varsayımlara dayanmasıdır. Normal yükseklikler ise kullanılan elipsoide bağlıdır. Ancak seçilen normal gravite alanına bağlı olarak değişim çok küçük (1-2 cm) düzeyindedir. Bu yükseklik sistemlerinin seçiminde etken olan faktör başlangıç yüzeylerinin (jeoit, kuasi-jeoit) tanımlanması olarak ifade edilebilir. Türkiye'de yüksekliklerin başlangıç yüzeyi olarak jeoit alındığından, uygulamada yükseklik sistemi olarak ortometrik yüksekliklerinin kullanılması benimsenmiştir.

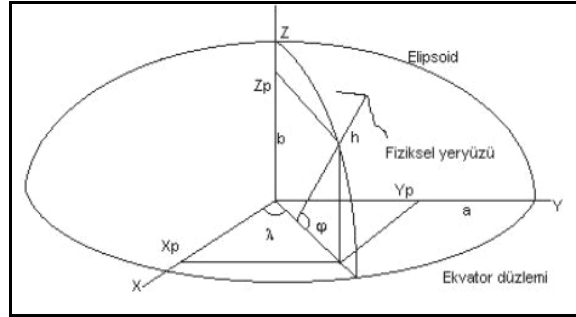
Ortometrik yüksekliklerin uygulamaya geçirilmesi açısından bu yükseklik sistemi ile halen kullanımda olan normal ortometrik yükseklikleri arasındaki farkların analitik fonksiyonlarla ifade edilmesi ve konuma bağlı olarak mevcut

yüksekliklere getirilecek düzeltme miktarlarının hesaplanması öngörülmüştür. Bunun için öncelikle Helmert ortometrik - Normal ortometrik yükseklik farklarının yükseklikle korelasyonu giderilmiş olup elde edilen indirgenmiş farkların rms değeri ± 4.9 cm bulunmuştur. İndirgenmiş fark değerlerinin konuma bağlı değişimlerinin belirlenebilmesi amacıyla, yüzey polinomu ve 4 parametrelili trigonometrik yüzey polinomu modeli kullanılarak yapılan uygulamalar sonucunda pratik uygulanması kolay kapalı bir fonksiyon elde edilememiştir. Bunun büyük oranda mevcut yüksekliklerdeki olumsuzlardan kaynaklandığı, bunun yanısıra farkların analitik fonksiyonlarla uygun şekilde temsil edilebilecek sistematik karakterde olamaması ve farklar içinde geometrik büyüklük olarak kabul edilebilecek yüksekliklerin haricinde, gravite değişimi gibi fiziksel etkilerin de bulunduğu değerlendirilmektedir.

Bu nedenle mevcut yüksekliklere getirilecek düzeltmelerin Şekil 3.3 ve 3.4’de verilen fark haritaları yardımıyla hesaplanabileceği gibi, daha hassas hesaplamalar için düğüm ve ara düğüm noktalarındaki fark değerleri 15'x15' grid aralıklı olarak hesaplanmıştır.

4. TÜRKİYE JEOİT MODELLERİ

Yeryüzündeki bir P noktasının ortometrik yüksekliği (H), bu noktadan geçen çekül eğrisi boyunca jeoide kadar ölçülen uzunluktur. P noktasının elipsoid yüksekliği (h), P noktasından elipsoid yüzeyine inilen dikin uzunluğu olup elipsoidin boyutları ve datum tanımı ile ilişkilidir. Elipsoid yüksekliği tamamen geometrik bir değer olup yerin gerçek gravite alanı ile ilgili olmayıp fiziksel bir özellik taşımaz (Şekil 4.1).

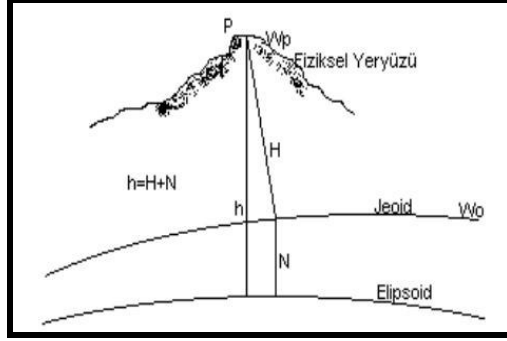


Şekil 4.1: Üç boyutlu kartezyen dik koordinat sistemi ve elipsoid

Türkiye’de pratik haritacılıkta, geometrik nivelman ve gravite ölçülerine dayalı olarak hesaplanan ortometrik yükseklikler kullanılır. GPS ile; üç boyutlu, yer merkezli bir koordinat sisteminde, seçilen başlangıç elipsoidine göre elipsoid yüksekliği (h) belirlenmekte olup elipsoid yüksekliği ile ortometrik yükseklik arasında,

$$h = H + N \quad (4.1)$$

eşitliği ile bilinen bir ilişki vardır. Buradaki N (jeoit yüksekliği) jeoit ile elipsoid arasındaki uzaklıktır. Ortometrik yükseklik, elipsoid yüksekliği, jeoit yüksekliği, jeoit ve başlangıç elipsoidi arasındaki ilişkiler Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Elipsoid, jeoit ve yükseklikler

Ülkemizde hâlen kullanılan yükseklik sistemi; referans elipsoidine dayalı olarak hesaplanan normal gravite değeri ve geometrik nivelman ölçülerinin birlikte kullanıldığı kuasi-jeoide göre tanımlanan normal ortometrik yükseklik sistemidir. Bu nedenle, GPS ile elde edilen elipsoid yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere dönüştürülebilmesi için uygun jeoit modellerinin belirlenmesi ve kullanıma sunulması gerekmektedir.

İlk jeoit belirlemelerinde bir noktadaki astronomik enlem ve boylam ile aynı noktadaki jeodezik enlem ve boylam arasındaki farkı kullanarak jeoit belirlemeye dayanan astrojeodezik yöntem kullanılmıştır. 1970'li yılların başlarında bilgisayarın hesaplarda kullanılmaya başlamasıyla birlikte düşük dereceli jeopotansiyel modeller geliştirilmiş ve jeoit belirlenmiştir. 1980'li yıllarda gravite verilerinin elde edilmesi ve bilgisayarlar sayesinde hızlı Fourier transformasyonu kullanılarak jeoit belirlenmiştir. Yine bu yıllarda jeopotansiyel model katsayılarının derece ve seviyeleri artırılmış ($n=m=180$ ile OSU81; $n=m=360$ ile OSU86F gibi) ve jeoit belirlemedeki hassasiyet de böylece iyileştirilmiştir. 1990'lı yıllara geldiğimizde artık uydulardan konum belirleme yöntemleri sivil kullanımda da yaygınlaşmış ve GPS/nivelman yöntemi ile jeoit belirleme yöntemi daha fazla kullanılmaya

başlanmıştır. Ayrıca gravite verileri de uydular yardımı ile hem karada hem de denizde ve kutup bölgelerinde oldukça fazla miktarda elde edilmeye başlanmıştır. Bu da gravimetrik jeoit belirleme yöntemlerinin doğruluğunu artırmıştır. Bunlara ek olarak yüksek dereceli jeopotansiyel modeller bütün dünyayı kapsayacak şekilde geliştirilmiştir. Son yıllarda GPS veri miktarının artması ile jeoit herhangi bir bölge için çok parametrelili polinom katsayıları ile belirlenebilir ve bu bölge içinde enlem ve boylamı belli olan bir noktanın jeoit yüksekliği de elde edilen polinom katsayıları kullanılarak hesaplanabilir. Jeoit belirleme yöntemleri, kullanılan veriler ve modeller dikkate alınarak aşağıda sınıflandırılmıştır;

- a. Astro-jeodezik yöntemle jeoit belirleme.
- b. Gravite değerlerine göre jeoit belirleme.
- c. Sayısal yoğunluk yöntemine göre jeoit belirleme.
- ç. Kombine yöntemle jeoit belirleme (kaldır – yerine koy).
- d. GPS/Nivelman yöntemine göre jeoit belirleme.

Türkiye'de jeoit belirleme çalışmalarının geçmişi 1970'li yıllara uzanmaktadır. Astro-jeodezik jeoidi çekül sapmalarından hesaplamak amacıyla iki çalışma yapılmıştır (Ayan 1978). Ancak bu çalışmalarda kullanılan çekül sapmaları heterojen olup yeterli sayı ve sıklıkta olmadığından belirlenen jeoitler güncel jeodezik ihtiyaçları karıştırmaktan uzaktır. Doppler çalışmaları ile birlikte nivelman noktalarında yapılan doppler ölçülerinden yararlanarak doppler jeoidini belirleme çalışmaları yapılmıştır. Ancak doğruluğu yeterli olmaması nedeniyle doppler jeoidi belirleme çalışmalarına ara verilmiştir. 1980'li yılların sonuna doğru duyarlı jeoit belirlemek için veri toplama ve düzenleme çalışmalarına başlanıp hız verilmiştir. Bu amaçla Türkiye topografyası 450 m x 450 m sıklıkta sayısallaştırılmış ve 1956 yılında başlanan gravite ölçüleri düzenlenerek geçici ulusal gravite kütüğü hazırlanmıştır. Yükseklik ve gravite verilerinin derlenmesinden hemen sonra GPM2 yer potansiyeli katsayıları Türkiye koşullarına uygun bölgesel geliştirilip GPM2-T1 yer potansiyel modeli oluşturularak Türkiye jeoidi hesaplama çalışmaları başlamıştır. Mevcut veri ve yazılım ile öncelikle Ankara yakınında seçilen test bölgesinde; GPM2-T1 yer potansiyeli, gravite ve yükseklik ölçüleri en küçük karelerle kollokasyon (EKKK) yöntemiyle değerlendirilip bir yerel jeoit

bulunmuştur. Test bölgesinde elde edilen sonuçlar göz önünde tutularak aynı çalışma Türkiye için gerçekleştirilmiş ve Türkiye Jeoidi-1991 (TG-91) hesaplanmıştır.

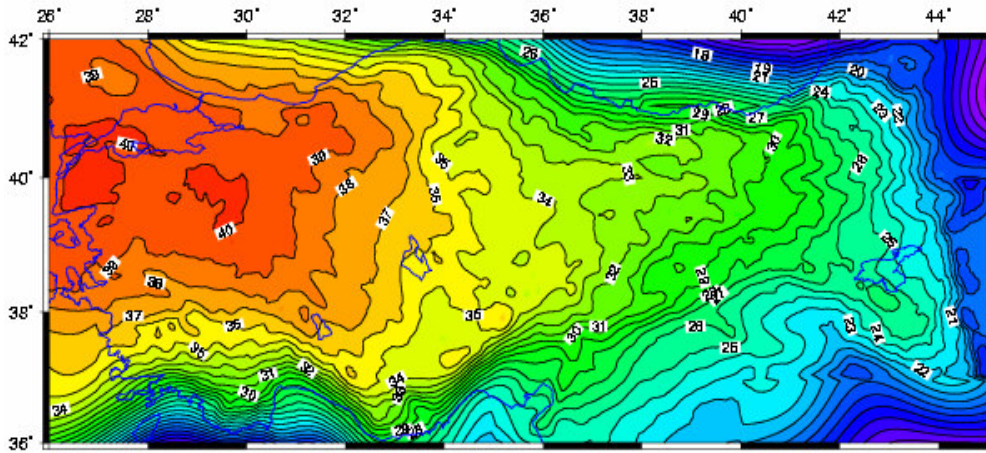
4.1. Türkiye Jeoidi – 1991 (TG-91)

Türkiye Jeoidi–1991 (TG-91) adı ile bilinen gravimetrik jeoit, GPM2-T1 yer potansiyel katsayıları, topoğrafik yükseklikler ve gravite ölçüleri değerlendirilerek hesaplanmıştır (Ayhan 1992). Mevcut yer potansiyel modellerinin oluşturulmasında Türkiye'deki gravite ölçüleri kullanılmadığından, GPM2 yer potansiyel modeli Türkiye'deki gravite ölçüleri ile geliştirilip GPM2-T1 modeli oluşturulmuştur. Ulusal Gravite Kütüğü (UGK), düzenlenmiş Potsdam gravite datumunda, 34.5° - 42.5° enlem ve 25.5° - 45.0° boylamları arasında kalan bölgede, 3-5 km sıklıkla 62250 noktada gravite ölçüsünü kapsamaktadır. UGK'de komşu ülkeler ile denizler için gravite ölçüleri yoktur. Topoğrafik yükseklik olarak Türkiye ve yakın çevresindeki kara alanlarını kapsayan bölgede, 15"x20" (450 x 450 m) grid köşelerinde yükseklikler 1:25000 ölçekli haritalar üzerinden sayısallaştırılmış, ayrıca topoğrafik indirgemelerde kullanılmak amacıyla 5'x5', 15'x15' ve 30'x30' grid hücrelerinde ortalama yükseklikler hesaplanmıştır.

Türkiye Jeoidi-1991 (TG-91); yer potansiyel modeli, topoğrafik yükseklikler ve nokta gravite ölçülerinin “kaldır-yerine koy” (remove–restore) tekniği kullanılarak En Küçük Karelerle Kollokasyon (EKKK) yöntemiyle değerlendirilmesi ile GRS-80 elipsoidine göre belirlenmiştir. $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ boyutlu alt bölgelerde, 3'x3' grid köşelerinde GEOCOL yazılımı kullanılarak jeoit yükseklikleri hesaplanmış ve ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$) alt bölgeler birleştirilerek tüm Türkiye için TG-91 jeoit yükseklikleri grid kütüğü oluşturulmuştur. Enlem ve boylamı bilinen herhangi bir noktada jeoit yüksekliği prediksyonu için değişik yöntem ve yazılımlar mevcuttur.

Şekil 4.3'de gösterilen TG-91 jeoit modeli yaklaşık jeosentrik olup global koordinat sistemlerine (örn/1 ITRF96) bağlı olarak tanımlanan jeosentrik (mutlak)

jeoit ile arasında kayıklık ve eğim olması beklenmektedir. GPS ile global koordinat sistemlerine bağlı olarak oluşturulan jeodezik ağlarda elipsoit yükseklikleri hesaplandığından, ortometrik yüksekliklerin $h=H+N$ eşitliği ile hesabında TG-91 jeoit yüksekliklerinin doğrudan kullanılması uygun olmamakta, TG-91'in kayıklık ve eğimini belirlemek, varsa yerel bozukluklarını gidermek amacıyla GPS/Nivelman jeoit yüksekliklerinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.3 TG-91 jeoit modeli (m)

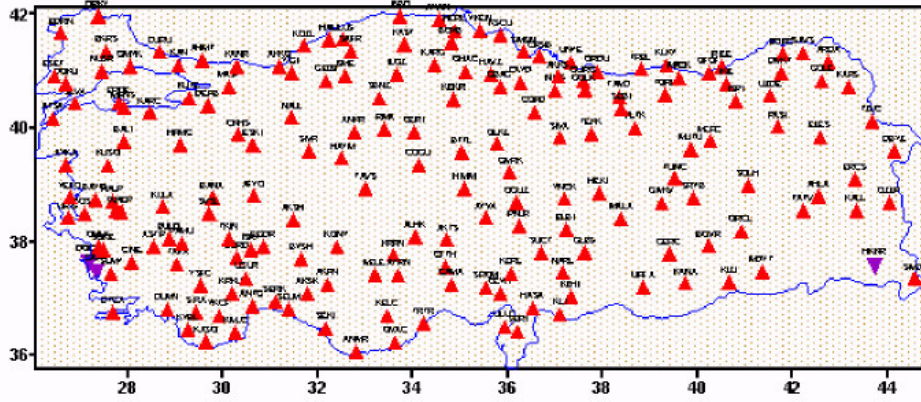
Küçük bölgelerde; GPS ile elde edilen elipsoit yüksekliklerinden TG-91 jeoidi kullanılarak ortometrik yükseklik hesaplamak için değişik yöntemler mevcut olup çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılmıştır.

Ancak elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin doğrudan hesabı için tüm Türkiye'yi kapsayan bölgede GPS/nivelman jeoit yükseklikleri belirlenmeli ve GPS/nivelman jeoidi ile TG-91 arasındaki sistematik farklılıklar belirlenerek TG-91 mutlak jeoidine dönüştürülmelidir (Ayhan ve Demir 1992).

4.2. Türkiye GPS/Nivelman Jeoidi ve Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99)

GPS ile yer merkezli üç boyutlu bir koordinat sisteminde noktaların elipsoit yükseklikleri hesaplandığından, noktaların ortometrik yüksekliklerinin $h = H + N$ eşitliği

ile hesaplanmasında TG-91 jeoit yüksekliklerinin doğrudan kullanılması uygun olmamakta, TG-91'in kayıklık ve eğimini belirlemek varsa yerel bozukluklarını gidermek amacıyla GPS/Nivelman jeoit yüksekliklerinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, bugüne kadar GPS ölçüsü yapılan Şekil 4.4'de gösterilen nivelman noktalarından yararlanılarak ülkemize özgü GPS/nivelman jeoidi belirlenmiştir.



Şekil 4.4 GPS/Nivelman nokta dağılımı

Türkiye içinde uygun dağılımda, jeoidin hızlı değiştiği bölgelerde daha sık olmak üzere seçilen 187 adet TUTGA-99 noktası geometrik nivelman ölçüleriyle TUDKA-99'a bağlanarak Türkiye GPS/nivelman jeoidi belirlenmiştir. Nivelman bağlantısı yapılan TUTGA-99 noktalarındaki elipsoit yükseklikleri ITRF-96 koordinat sisteminde (epok=1998.0) ve GRS-80 elipsoidine göre tanımlıdır.

TG-91 ile GPS/Nivelman jeoidinin birleştirilmesi için GPS/Nivelman jeoit yüksekliği bilinen 187 noktada TG-91 ile GPS/Nivelman jeoidi arasındaki jeoit yükseklik farkları

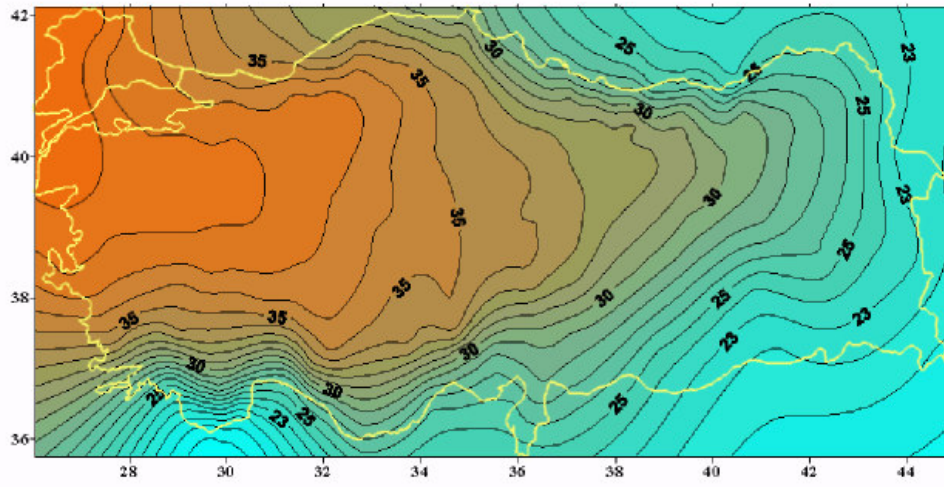
$$\delta N = N_{TG91} - N_{GPS} \quad (4.2)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Daha sonra, fark ölçülerinden (δN), üçüncü dereceden iki boyutlu bir polinom ile trend (t) alınmıştır. Bilinmeyen parametreler en küçük kareler yöntemi ile belirlendikten sonra her noktada hesaplanan trend, fark ölçülerinden

çıkarılmış ve artık ölçüler dN, bulunmuştur. Daha sonra, grid köşelerinde bilinen TG-91 jeoit yüksekliği (N_{TG91}), trend değeri (t) ve artık ölçü (dN) toplanarak o noktadaki yer merkezli (jeosentrik, mutlak) jeoit yüksekliği N_M ,

$$N_M = N_{TG91} - t - dN \quad (4.3)$$

eşitliği ile hesaplanmış ve Türkiye'nin tamamı için 3'x3' aralıklı grid köşelerinde mutlak jeoit yükseklikleri (4.3) eşitliği ile hesaplanarak Şekil 4.5'deki Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99) oluşturulmuştur.



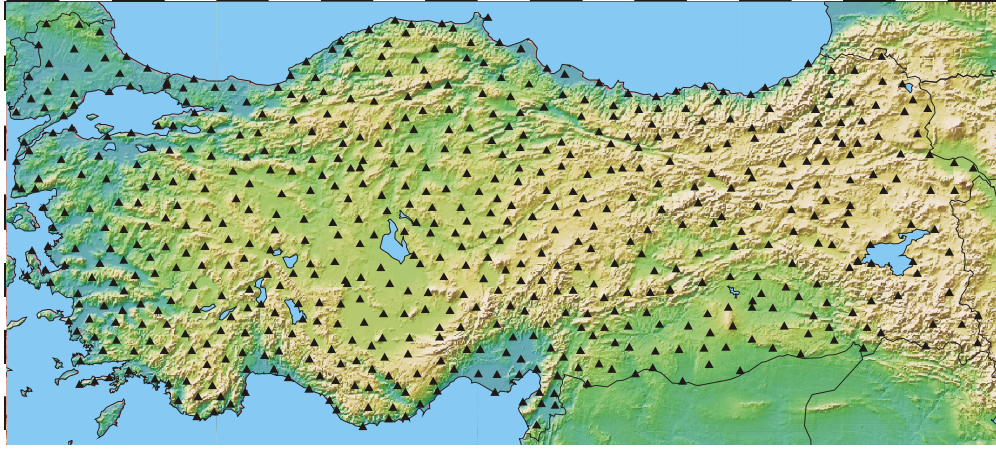
Şekil 4.5 Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99)

4.3. Güncellenmiş Türkiye Jeoidi-1999A (TG-99A)

TUTGA-99A noktalarında (Şekil 4.6), üç boyutlu yermerkezli koordinat sistemi olan ITRF-96'da, GRS80 başlangıç elipsoidine göre elipsoit yüksekliği (h) bilinmektedir. P noktasından elipsoit yüzeyine inilen dikin uzunluğu olan elipsoit yüksekliği (h_p) elipsoidin boyutları ve datum tanımı ile ilişkili geometrik bir değerdir. Türkiye'de uygulamada kullanılan TUDKA-99 ortometrik yükseklikleri (H) geometrik nivelman ve gravite ölçüleri ile hesaplanmış olup elipsoit yüksekliği ile arasında,

$$h_{TUTGA-99A} = H_{TUDKA-99} + N \quad (4.4)$$

ilişkisi mevcuttur. Burada N; jeoit ile elipsoit arasındaki yükseklik farkı olan jeoit yüksekliğidir. Elipsoit yüksekliği ve ortometrik yükseklik arasında dönüşümün yapılabilmesi için, TUTGA-99A ve TUDKA-99 ile uyumlu jeoit yüksekliği bilinmelidir.



Şekil 4.6 Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A)

TG-91 ile yapılan uygulamalarda bu jeoidin GPS/Nivelman jeoit yüksekliklerine göre kayık ve eğimli olduğu, yerel farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir (Yıldırım, 2000). Ayrıca karalarda ve denizlerde ek gravite ölçüleri, deniz dibi yükseklik (batimetri) bilgileri, komşu ülkelere ilişkin topoğrafik yükseklikler elde edilmiş, uydu altimetre ölçülerinden denizlerde gravite anomalileri hesaplanmış, 2001 yılında yapılan ölçüler ile GPS/Nivelman jeoit yüksekliği bilinen yeni noktalar tesis edilmiş olduğundan TG-99'un güncelleştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla TG-91 ve 187 noktada bilinen GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri En Küçük Karelerle Kollokasyon (EKKK) yöntemi ile birleştirilerek Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99) hesaplanmış (Yıldırım, 2000) ve bu jeoit TUTGA-99 tanımında kullanılmıştır (Ayhan vd. 2001).

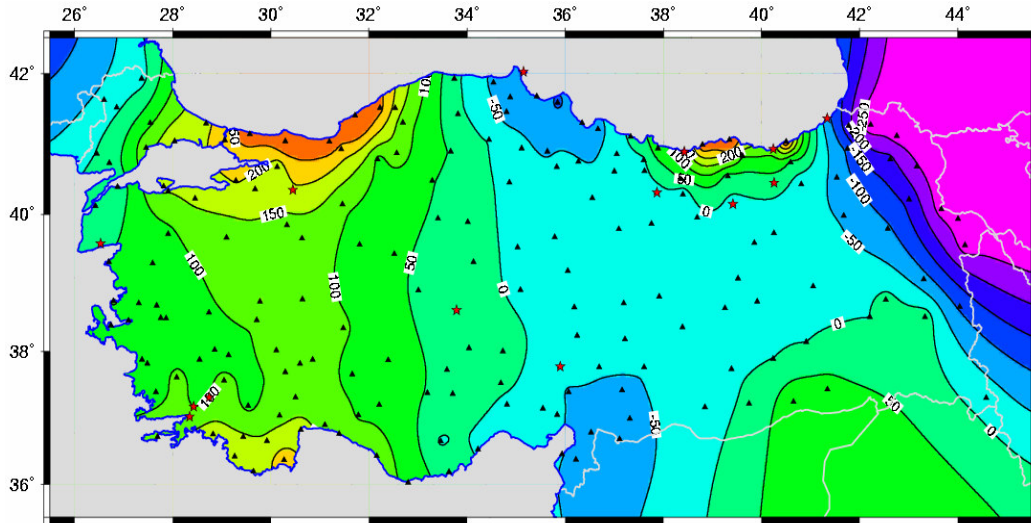
TG-91 ve GPS/Nivelman jeoidini birleştirmek için GPS/Nivelman jeoit yüksekliği bilinen 197 noktada TG-91 jeoit yükseklikleri, TG-91 grid kütüğünden

(3'x3') enterpole edilmiştir. GPS/Nivelman jeoit yüksekliği bilinen noktalar yeterli sıklıkta olmadığından, TG-91 referans yüzeyi alınmış ve GPS/Nivelman jeoidi ile arasındaki farklar modellenerek herhangi bir noktada farkların enterpolasyonu öngörülmüştür.

TG-99'un oluşturulmasında 187 nokta kullanılmış olup artık ölçüler EKKK yöntemi ile modellenmiştir. 2001 yılında bu 187 noktadan üçünde kontrol ölçüsü yapılmış ve 10 adet yeni GPS/Nivelman jeoit yükseklik noktası tesis edilerek nokta sayısı 197'ye çıkarılmıştır. Noktaların TUTGA-99A koordinatları ile söz konusu 197 noktada TG-91 jeoit yükseklikleri (N_{TG91}) 3'x3' grid kütüğünden hesaplanmış ve

$$\delta N = N_{TG91} - N_{GPS} \quad (4.5)$$

eşitliği ile ortak noktalardaki jeoit yükseklik farkları (δN) hesaplanmıştır (Ayhan vd. 2002). Bu farklar Şekil 4-7'de, istatistikler Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.7'de verilen δN değerlerinin incelenmesinden TRBL isimli nokta uyuşumsuz bulunarak çıkarılmış ve uygulamalarda 196 nokta kullanılmıştır.



parametrelili çözüm 3. dereceden bir yüzeydir. Bu çalışmada (4.6) eşitliğinde 1, 4, 6 ve 10 parametrelili modeller alınarak rasgele dağılmış 196 noktadaki fark ölçüleri için en küçük karelerle çözüm yapılmış, her noktada hesaplanan trend değerleri(t_i) fark ölçülerinden çıkarılarak,

$$dN_i = \delta N_i - t_i \quad (4.7)$$

artık ölçüler (dN) hesaplanmıştır.

Çizelge-4.1: Ölçü noktalarında farklar (δN), trend (t) ve artık ölçülere (dN) ilişkin istatistikler (cm).

	δN	1 par. çözüm (ortalama yüzey)		4 par. çözüm (bilineer yüzey)		6 par. çözüm (kuadratik yüzey)		10 par. çözüm (3° polinom)	
		t	dN	t	dN	t	dN	t	dN
Minimum	377.4	37.8	339.5	144.1	409.1	118.7	409.0	195.6	444.6
Maksimum	-289.5	37.8	-327.4	-106.1	-196.2	-145.8	-173.8	-221.6	-194.6
Ortalama	37.3	37.8	-0.6	34.2	3.1	33.2	4.1	32.7	4.6
Standart Sapma	112.1	0	112.1	69.7	88.6	72.3	87.2	82.2	80.3
rms	117.9	37.8	111.9	77.4	88.4	79.4	87.1	88.2	80.2

Çizelge-4.2 : (3'x3') grid köşe noktalarında trend ve artık ölçülere ilişkin istatistikler (cm)

	Fark ölçüleri	1 par. çözüm (ortalama)		4 par. çözüm (bilineer yüzey)		6 par. çözüm (kuadratik yüzey)		10 par. çözüm (3° polinom)	
		Trend	Artık ölçü	Trend	Artık ölçü	Trend	Artık ölçü	Trend	Artık ölçü
Minimum	373.4	27.9	345.5	243.2	415.3	230.9	395.7	250.5	370.5
Maximum	-430.9	27.9	-458.9	-217.0	-284.0	-229.3	-271.7	-420.0	-254.9
Ortalama	27.9	27.9	0	27.9	0	27.9	0	27.9	0
RMS	128.1	27.9	125.1	87.4	93.7	91.5	89.6	102.2	77.6
std.sp.	125.1	0	125.1	82.8	93.7	87.2	89.6	98.3	77.6

Artık ölçülerin modellenmesinde, en küçük eğrilik yöntemi kullanılarak, 35°-43° enlemleri ve 25°-46° boylamları ile sınırlı bölgede, 3'x3' grid köşelerinde artık ölçüler hesaplanmıştır (Smith ve Wessel, 1990). Güncellenmiş Türkiye Jeoidi-1999, Türkiye Jeoidi-1999A (TG-99A) olarak isimlendirilmiş olup herhangi bir noktada TG-99A jeoit yükseklik değeri (N_{TG-99A}), o noktadaki TG-91 jeoit yüksekliği (N_{TG91}), trend (t) ve artık ölçü (dN) olmak üzere,

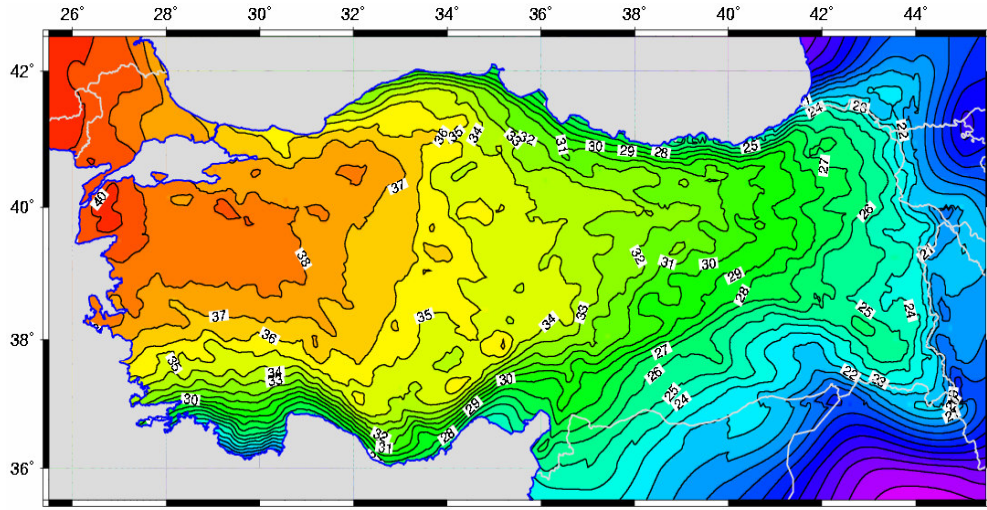
$$N_{TG-99A} = N_{TG-91} - t - dN \quad (4.8)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır (Kılıçoğlu, 2004).

TG-91 jeoit yükseklikleri, trend ve artık ölçü değerleri aynı (3'x3') grid köşe noktalarında belirli olduğundan bu üç grid veri (4.8) eşitliğinde verildiği gibi

birleştirilerek Güncellenmiş Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99A) yükseklikleri hesaplanmaktadır.

Güncellenmiş Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99A)'un gravimetrik jeoit (TG-91) ile 197 noktadan hesaplanan GPS/Nivelman jeoidinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. TG-99A yaklaşık ± 10 cm iç duyarlığa ve ± 15 cm doğruluğa sahiptir. GPS yöntemi ile hesaplanan elipsoit yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere dönüştürülerek orta ve küçük ölçekli coğrafi materyal üretiminde doğrudan kullanılabilceği belirtilmektedir (Kılıçoğlu, 2004) (Şekil-4.8).



Şekil 4.8 Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi - 1999 (TG-99A) (m) (Kılıçoğlu ve Fırat 2003; Kılıçoğlu, 2004).

4.4. Yeni Türkiye Jeoidi 2003 (TG-03):

GPS ile elde edilen elipsoit yüksekliklerinin, ortometrik yüksekliklere dönüştürülebilmesi için, global jeosentrik datuma dayalı bir jeoit modeline ihtiyaç duyulur. Türkiye Jeoidi-2003 (TG-03), kaldır - yerine koy yöntemi ve heterojen data (kara gravite ölçüleri, denizlerde uydu altimetre ölçülerinden elde edilen gravite anomalileri, sayısal arazi modelleri ve GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri) kullanılarak en küçük karelerle kollokasyon yöntemi ile gravimetrik jeoit olarak hesaplanmıştır.

Söz konusu yöntemde global yer potansiyel modeli olarak, Yeryuvarının Gravitasyonel Modeli-1996 (EGM96) referans olarak alınmış ve bundan olan farklar modellendirilmiştir. Jeoit yükseklikleri uzun, orta ve kısa dalga boylu parçaların bir toplamı şeklinde modellenmiş ve her parça ayrıca hesaplanarak sonuç jeoit modeli belirlenmiştir. Bu çalışmada asıl olarak jeoit yükseklikleri yerine yükseklik anomalisi (kuasi-jeoit) hesaplanmış olup uygulamada kullanılmak üzere jeoit yüksekliğine dönüştürülmüştür.

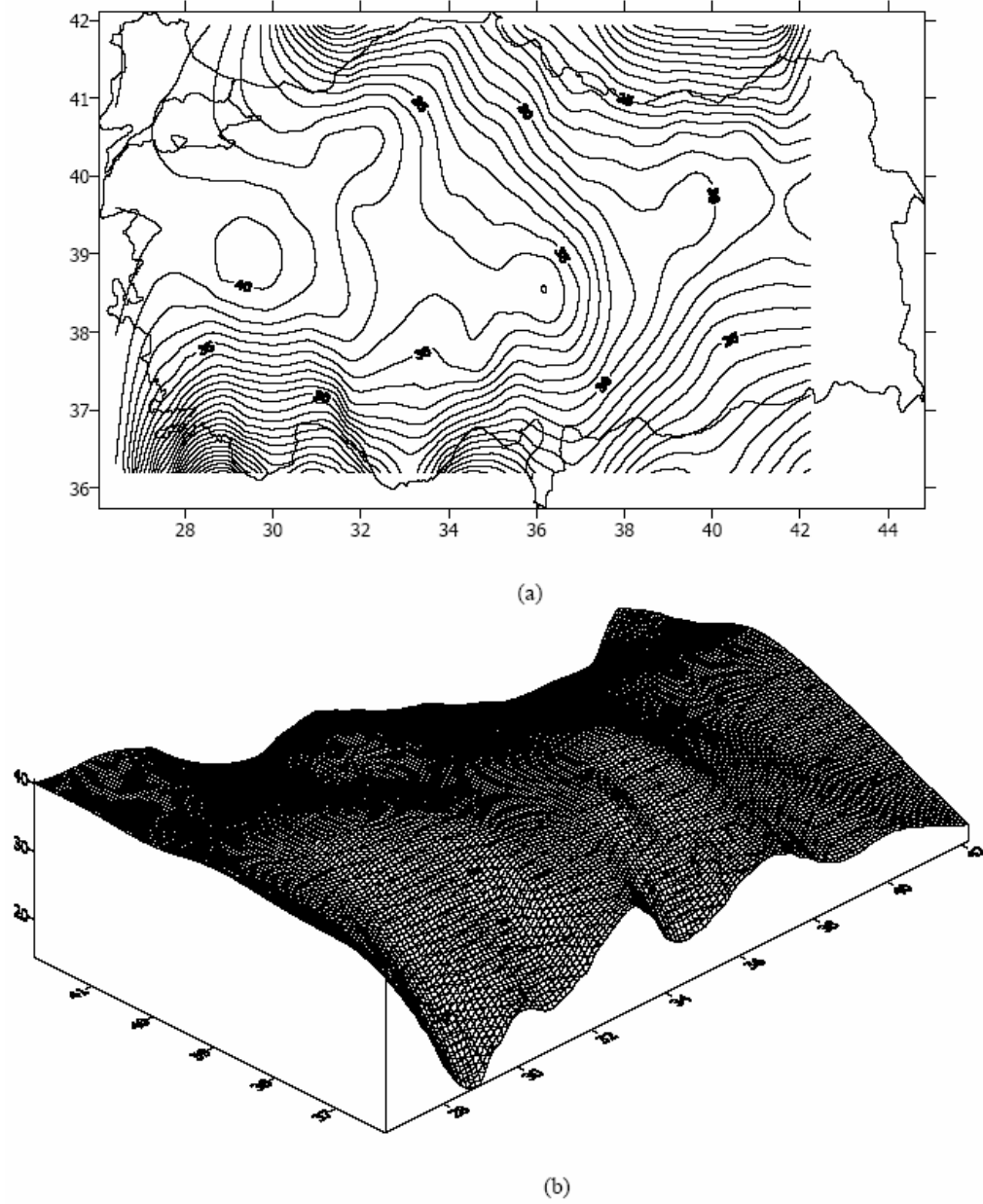
EGM96; Amerikan Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), Ulusal Görüntü İşleme ve Haritacılık Ajansı (NIMA) ve Ohio State Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir (Şekil 4.9). Geliştirilen bu model sayesinde, aşağıda parametreleri verilen WGS84 datumunda enlem ve boylamı bilinen bir noktanın jeoit yüksekliği Fortran Programlama Dilinde yazılmış F477.F programı ile hesaplanabilmektedir. Söz konusu programın yeni versiyonu, http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/new_egm/new_egm.html site adresinden indirilebilir.

$a = 6378137.0$ metre elipsoidin büyük yarı eksen

$f = 1/298.2572235630$ WGS-84 elipsoidinin basıklığı

$GM = 0.3986004418 \times 10^{15} \text{ m}^3/\text{s}^2$ çekim sabiti

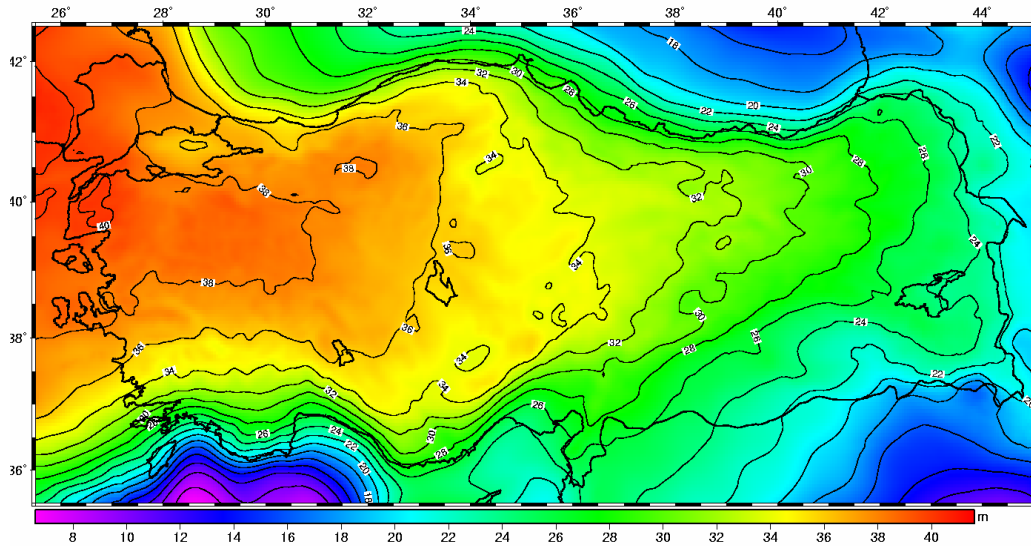
$w = 7292115 \times 10^{-11}$ radyan/saniye yerin açısal dönme hızı



Şekil 4.9 Türkiye EGM96 Jeoid Yüzeyi

Kullanılan veriler; yüzey nokta gravite anomalileri, ERS1, ERS2 ve TOPEX/POSEIDON altimetre verilerinden elde edilen gravite anomalileri, GPS/nivelman jeoit yükseklikleri ve topoğrafik yüksekliklerden oluşmaktadır. Yüzey nokta gravite değerleri, Uluslararası Standart Gravite Ağı-1971 (IGSN71) datumunda ve serbest hava anomalileri GRS80 sisteminde hesaplanmıştır. Türkiye sınırları dışında yüzey gravite değeri mevcut olmadığından kullanılamamış, topoğrafik

yükseklikler GTOPO30 global topografya verisinden alınmıştır. Topografyanın artık yerey modeli (RTM) etkisi yüksek çözünürlüklü bir sayısal arazi modeli (SAM450m) kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan DTM, Türkiye sınırları içindeki yüksek çözünürlüklü topoğrafik yükseklikler ve kıyı hattına yakın yoğun batimetri verilerinden oluşmaktadır. GPS elipsoit yükseklikleri ile uyumlu sonuç jeoidin hesabında Türkiye'ye düzgün dağılmış GPS/nivelman yükseklikleri kullanılmıştır. GPS/Nivelman noktalarının elipsoidal yükseklikleri, ITRF96'da tanımlı Türkiye Ulusal GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A)'na ve ortometrik yükseklikler, başlangıç yüzeyi Antalya ortalama deniz seviyesi olan Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99)'na dayalıdır. Bu çalışmada esas olarak jeoit yükseklikleri yerine, yükseklik anomalisi (kuasi-jeoit) hesaplanmış olup, uygulamada kullanılmak üzere 197 noktada GPS/nivelman ile elde edilen yükseklik anomalileriyle birleştirildikten sonra jeoit yüksekliğine dönüştürülmüştür. Ölçü noktalarında yapılan testte TG-03'ün iç doğruluğu ± 1 cm bulunmuştur. Ayrıca hesaplamalarda kullanılmamış olan 106 GPS/nivelman noktasında yapılan test sonucunda; jeoidin dış doğruluğu, veri dağılımı ve yoğunluğuna göre değişmek üzere, ± 10 cm içerisinde bulunmuştur. Hesaplamalarda GRAVSOFIT ve Generic Mapping Tools (GMT) yazılım paketleri kullanılmıştır (Kılıçoğlu vd. 2005).



Şekil 4.10 Türkiye Jeoidi-2003 (TG-03)

5. ELİPSOİT YÜKSEKLİKLERİNDEN ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLERE DÖNÜŞÜM

Bu bölümde, GPS ölçüleri ile belirlenen elipsoit yüksekliklerinin ortometrik yükseklik sistemine dönüştürülmesi amacıyla yönelik, aşağıda belirtilen dört yöntem incelenmiştir. Bunlar;

- TG-99A jeoidinin doğrudan kullanılması,
- TG-99A jeoidinin yerel GPS/Nivelman ölçüleriyle güncelleştirerek kullanılması,
- Baz vektörlerinde elipsoit ve TG-99A jeoit yükseklik farklarından elde edilen ortometrik yükseklik farklarının bir nivelman ağı şeklinde dengelenmesi,
- Yerel GPS/Nivelman jeoit modelinin oluşturulmasıdır.

Son olarak büyük ölçekli haritaların üretimine ilişkin 15 Temmuz 2005 tarihli 25876 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nde yer alan, söz konusu amaç için kullanılacak yöntemler ve ölçütler incelenmiştir.

5.1. Yükseklik Dönüşümünde TG-99A' nın Doğrudan Kullanılması

Üzerinde GPS ölçüsü yapılan bir noktanın ortometrik yüksekliği; noktanın GPS ölçüsü ile hesaplanan elipsoit yüksekliği ve bu noktanın, TG-99A jeoidinden doğrudan enterpolasyon yapılarak hesaplanan jeoit yüksekliği (N_M) olmak üzere,

$$H = h - N_M \quad (5.1)$$

eşitliği ile bulunur. Ancak, kıyı bölgeler ile TG-99A'un modellenmesinde az noktanın kullanıldığı bölgelerde, noktanın enlem ve boylamına bağlı olarak hesaplanabilen, TG-99A jeoit yüksekliklerinin doğruluğu birkaç desimetre civarında olabilmektedir.

5.2. TG-99A'nın Yerel GPS/Nivelman Ölçüleriyle Geliştirilmesi

Jeoidin hızlı değiştiği bölgeler, kıyılar ve modellemede az noktanın kullanıldığı bölgelerde, TG-99A'nın kullanımının neden olduğu sakıncaların önüne geçerek, yüksek doğruluklu jeoit yüksekliği hesaplamak amacıyla, çalışma bölgesinde önceden oluşturulan yerel jeoit ile TG-99A'nın geliştirilerek kullanılması uygun bir yöntemdir. Ortometrik yüksekliği bilinen nivelman noktalarında GPS ölçüsü yapmak ve GPS ölçülerinin ITRF-96 koordinat sisteminde dengelenmesi suretiyle nivelman noktalarının GPS/Nivelman jeoit yüksekliklerini ($N_{GPS/Niv}$);

$$N_{GPS/Niv} = h - H \quad (5.2)$$

eşitliğinden hesaplamak mümkündür. Nivelman noktalarının TG-99A jeoit yükseklikleri (N_{TG-99A}), noktaların ITRF-96 datumundaki koordinatlarının bir fonksiyonu olarak hesaplanabilmektedir.

TG-99A jeoit yüksekliklerinin iyileştirilmesi genel olarak üç adımda gerçekleştirilebilir. Birinci adımda; nivelman noktalarının arazide GPS ölçüsü ile hesaplanan yerel jeoit yüksekliklerinden ($N_{GPS/Niv}$), yine aynı noktaların enlem ve boylam değerlerine göre grid kütüğünden yararlanılarak hesapla bulunan TG-99A jeoit yüksekliklerinin (N_{TG-99A}) çıkarılarak bölgedeki jeoidin değişim miktarı,

$$d\hat{N} = N_{GPS/Niv} - N_{TG-99A} \quad (5.3)$$

eşitliği ile hesaplanır. İkinci adımda, nivelman noktalarında hesaplanan jeoit değişim miktarı ($d\hat{N}$)'ndan yararlanarak uygun bir algoritma ile bir yüzey tanımlanır ve

$$\hat{N} = N_{TG-99A} + d\hat{N} \quad (5.4)$$

eşitliği ile bölge için geliştirilmiş bir yerel jeoit belirlenir. Üçüncü adımda da, (5.4) eşitliği ile hesaplanan geliştirilmiş yerel jeoit yüksekliği kullanılarak, noktaların geliştirilmiş ortometrik yükseklikleri (\hat{H}),

$$\hat{H} = h - \hat{N} \quad (5.5)$$

eşitliği ile hesaplanır.

5.3. Elipsoit ve Jeoit Yükseklik Farklarından Elde Edilen Ortometrik Yükseklik Farklarının Bir Nivelman Ağı Şeklinde Dengelenmesi

Bu yöntem, jeodezik ağda seçilen baz vektörlerine ait ortometrik yükseklik farklarının, ölçü olarak alınarak, nivelman nokta yüksekliklerine dayalı olarak dengelenmesi şeklinde tanımlanabilir. Her iki ucunda da GPS ölçüsü yapılmış herhangi bir baz vektöründe ortometrik yükseklik farkı;

$$\Delta H_{ij} = (h_j - h_i) - (N_j - N_i) \quad (5.6)$$

veya

$$\Delta H_{ij} = \Delta h_{ij} - \Delta N_{ij} \quad (5.7)$$

ile hesaplanabilir.

Burada;

ΔH_{ij} : Bazvektörünün i ve j noktaları arasındaki ortometrik yükseklik farkı,
 h_i, h_j : i ve j noktalarında elipsoit yüksekliği,
 N_i, N_j : i ve j noktalarında enterpolasyonla hesaplanan TG-99A jeoit yüksekliğidir.

5.4. Yerel GPS/Nivelman Jeoit Modelinin Oluşturulması

Bu yöntemde, çalışma bölgesinde yeterli sayı ve dağılımda olacak şekilde seçilmiş ve geometrik nivelman ölçüleri ile ortometrik yükseklikleri hesaplanan GPS noktalarında, GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri ($N=h-H$) hesaplanır. Daha sonra, bu noktalardaki GPS/Nivelman jeoit yüksekliklerine uygun bir matematik yüzey geçirilerek bölge için jeoit yükseklikleri modellendirilir.

5.5. TG-99A'nın Kullanılabilmesi İçin Ölçütler

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nde (BÖHHBÜY), GPS yardımıyla elde edilen elipsoit yüksekliklerini kullanarak ortometrik yüksekliklerin hesaplanması konusunda kullanılacak yöntemler belirtilmektedir. Söz konusu yönetmelik bu amaç için, TG99A ve yerel GPS/Nivelman jeoit yüksekliklerinin kullanılmasını öngörmektedir. Yönetmelikte belirtilen yöntemler Çizelge 5.1'deki gibidir.

Çizelge 5.1 Referans noktaları için yönetmelik ölçütleri ve jeoit modelleri

Jeoit Modeli	Referans Noktaları İçin Yönetmelik Ölçütleri		
	Nokta/km ²	Uyuşum testi	Ağ derecesi
Mevcut TG99A'nın test edilmesi	1 nokta / 200 km ² *	$\Delta H_{[mm]} \leq 12 \text{ mm } S_{[km]}$ **	C1 derece doğrulukta ölçülür ve ulusal düzey kontrol ağına geometrik nivelman ile bağlantısı yapılarak ortometrik yükseklikleri belirlenir.
Lokal GPS/Nivelman Jeoit hesabı	1 nokta / 15 km ² ***	NGPS/Nivelman uyuşumu yüksekliklerin doğrulukları dikkate alınarak test edilir. $1 - \alpha = 0.95$ alınır ve Uyuşum doğruluğu (σ) ± 5 cm'den daha iyi olmalıdır.	C1, C2 ve C3**** dereceli GPS ağı ile ana ve ara nivelman ağının ortak noktaları alınmalıdır.

* TG99A modelinin çalışma alanında test edilmesi için 200 km² ye kadar en az 4 nokta ve sonrasında her 200 km² ye 1 nokta şeklinde açıklanmaktadır.

** $\Delta H[mm] = H_{\text{Nivelman}} - H_{\text{TG99A+GPS}}$ ölçmesi.

*** Lokal GPS/nivelman jeoit modelinin hesaplanması için nokta yoğunluğu 20 km² ye kadar 6 nokta ve sonrasında her 15 km² ye 1 noktadır.

**** C1 Derece Ağlar ve Noktalar : Üst derecedeki ağlara dayalı, baz uzunluğu 15-20 km olan ağ ve noktalarıdır.

C2 Derece Ağlar ve Noktalar: Üst derecedeki ağlara dayalı, ortalama kenar uzunluğu 5 km olan ağ ve noktalarıdır.

C3 Derece Ağlar ve Noktalar: Üst derecedeki ağlara dayalı, en büyük baz uzunluğu 3 km olan ağ ve noktalarıdır.

GPS yüksekliklerinden nokta ortometrik yüksekliklerinin üretilmesinde mevcut TG99A jeoit modelinin kullanılması durumunda, yeni noktaların Helmert ortometrik yüksekliklerinin;

✓ Noktalar arası, elipsoit yükseklik farkları Δh ve jeoit yükseklik farkları ΔN olmak üzere; $\Delta H = \Delta h - \Delta N$ ortometrik yükseklik farkları bir nivelman ağı dengelemesinde ölçü alınarak ve ortometrik yükseklikleri nivelman ile elde edilmiş olan noktalara dayalı dengeleme hesabı ile,

✓ GPS/nivelman dayanak noktalarında $h - H = N$ temel ifadesine göre hesaplanan jeoit yükseklikleri ($N_{GPS/Nivelman}$) ile TG99A jeoit yükseklikleri (N_{TG99A}) arasındaki farkların ($\delta N = N_{GPS/Nivelman} - N_{TG99A}$) analitik bir eşitlik ile düzeltme yüzeyi olarak modellenmesi ve yeni noktalardaki hesaplanan $\delta N'$ düzeltme değerlerinin TG99A jeoit yüksekliği değerine eklenmesi sonucu $H = h - (N_{TG99A} + \delta N')$ ifadesi ile, hesaplanması söz konusu olmaktadır.

Sözü edilen her iki yöntemde de TG99A jeoit modelinin, katkı veren referans noktaları ile iyileştirilmesi söz konusudur.

6. SAYISAL UYGULAMA

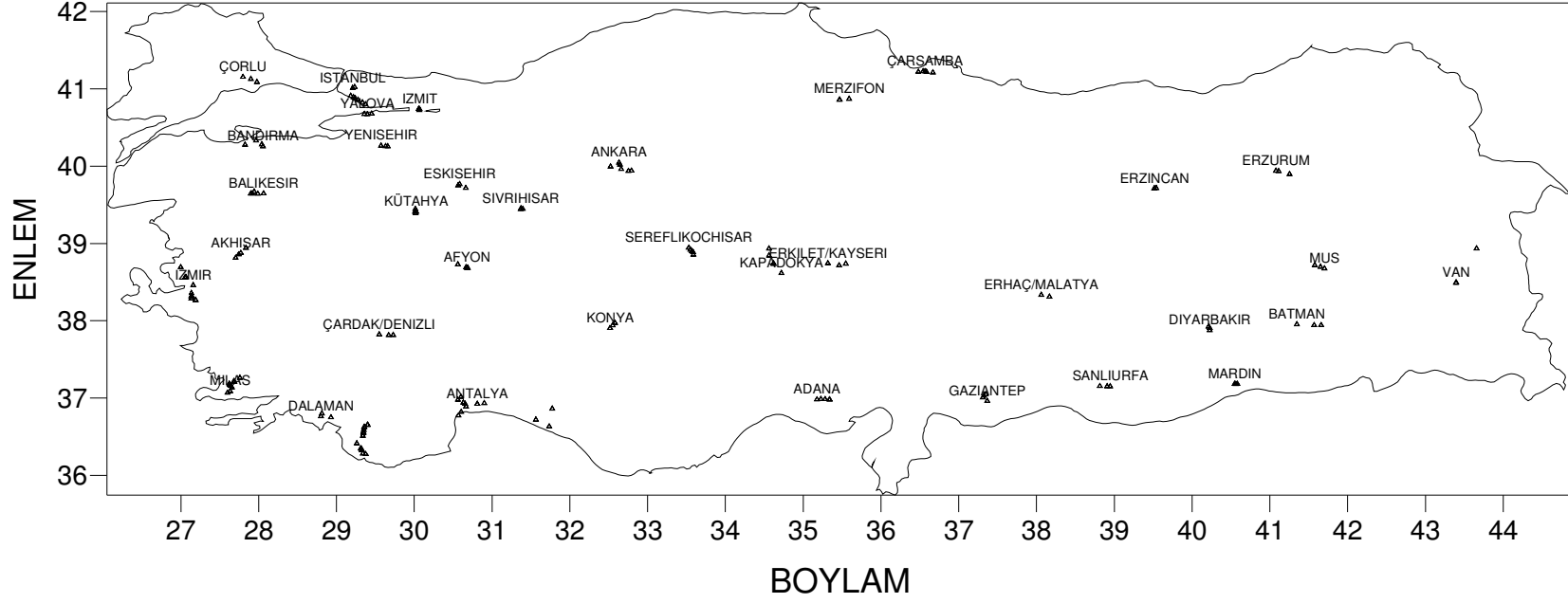
Bu çalışmada; büyük ölçekli harita üretim çalışmalarında, arazide hiç nivelman ölçüsü yapmadan, GPS ölçüleri ile elde edilen elipsoit yüksekliklerinin, doğrudan ortometrik yükseklik sistemine dönüştürülmesinde, TG-99A ve TG-03'ün doğrudan kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu kapsamda; sayısal uygulamalarda, Türkiye genelinde mühendislik amaçlı tesisi, ölçüsü ve hesabı gerçekleştirilen 162 adet GPS/Nivelman noktası (Şekil-6.1) kullanılmıştır. Bu noktalarda ve TUTGA-99A noktalarında yapılan GPS ölçüleri, Trimble GPSurvey 2.35 (TGS, 1999) ticari GPS ölçü değerlendirme yazılımı ile TUTGA-99A noktalarına dayalı olarak dengelenmiş ve dengeleme sonucunda her bir nivelman noktasının; GRS-80 elipsoidini referans alan elipsoidal yüksekliği hesaplanmıştır.

(4.1) eşitliği;

$$N_{\text{GPS/Niv}} = h_{\text{TUTGA-99A}} - H_{\text{TUDKA-99}} \quad (6.1)$$

şeklinde düzenlenerek, 162 GPS/Nivelman noktasında $N_{\text{GPS/Niv}}$ jeoit yüksekliği hesaplanmıştır. Noktaların ortometrik yükseklikleri ($H_{\text{TUDKA-99}}$) TUDKA-99 datumunda, elipsoit yükseklikleri ($h_{\text{TUTGA-99A}}$) ise TUTGA-99A datumundadır.



Şekil-6.1: 162 adet GPS/Nivelman noktasının Türkiye'ye dağılımı.

6.1 Büyük Ölçekli Harita Üretim Çalışmalarında Güncellenmiş Türkiye Jeoidi'nin (TG-99A) Doğrudan Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Çalışmada kullanılan GPS/Nivelman noktalarının N_{TG-99A} jeoit yükseklikleri, bu noktaların ITRF-96 koordinatları yardımıyla, TG-99A'dan enterpolasyonla elde edilmiştir. Daha sonra, ölçümlerden hesaplanan $N_{GPS/Niv.}$ jeoit yüksekliği ile TG-99A'dan elde edilen N_{TG-99A} jeoit yüksekliği karşılaştırılmıştır.

Ölçümlerden hesaplanan jeoit yükseklikleri ($N_{GPS/Niv.}$) ile TG-99A'dan enterpolasyonla elde edilen jeoit yükseklikleri (N_{TG-99A}) arasındaki farklar (ΔN);

$$\Delta N = N_{GPS/Niv.} - N_{TG-99A} \quad (6.2)$$

eşitliği ile çıkarılmıştır.

162 adet GPS/Nivelman noktasında hesaplanan ΔN farklarına ait istatistikler Çizelge 6.1'de, fark verilerine ait "Sıklık Tablosu" Çizelge 6.2'de, farkların noktalara göre dağılımı grafik olarak Şekil-6.2'de gösterilmiştir.

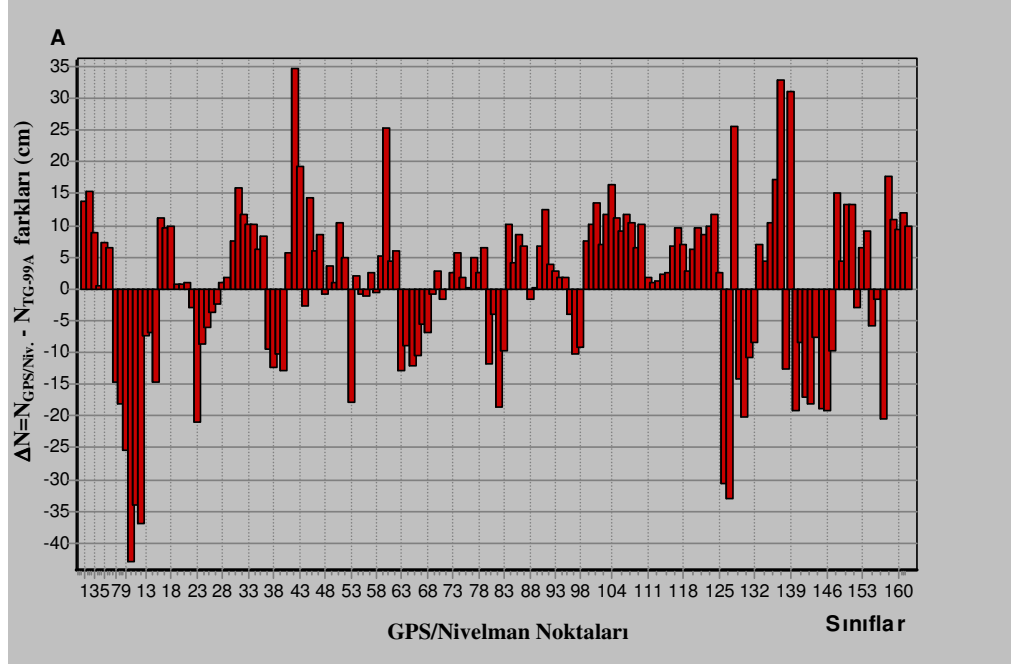
Çizelge 6.1 : 162 GPS/Nivelman noktasında, ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-99A}$) farklarına ait istatistikler (birim:cm)

Farkların en küçüğü	-42.89
Farkların en büyüğü	34.71
Farkların standart hatası	± 0.99
Farkların ortalaması	0.85
Farklara ait standart sapma	± 12.64

Çizelge 6.2 : 162 GPS/Nivelman noktasının ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-99A}$) fark verilerine ait "Sıklık Tablosu" (birim:cm.)

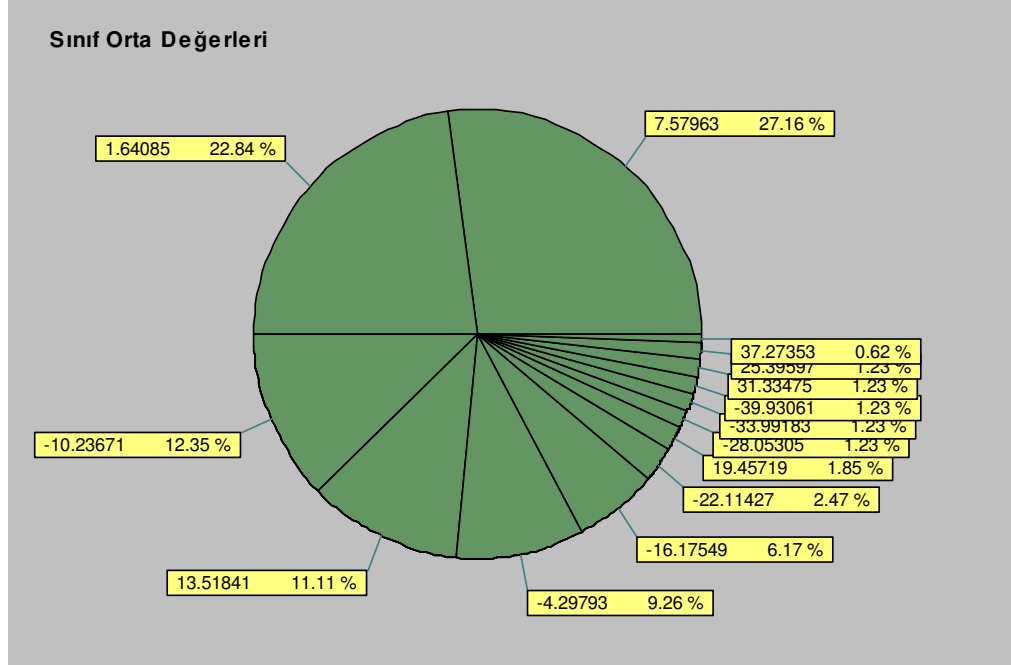
Sınıf No	Alt Değer	Üst Değer	Ara Değer	Frekans
1	-42.9	-37.0	-39.9	2
2	-37.0	-31.0	-34.0	2
3	-31.0	-25.1	-28.1	2
4	-25.1	-19.1	-22.1	4
5	-19.1	-13.2	-16.2	10
6	-13.2	-7.3	-10.2	20
7	-7.3	-1.3	-4.3	15
8	-1.3	4.6	1.6	37
9	4.6	10.5	7.6	44
10	10.5	16.5	13.5	18
11	16.5	22.4	19.5	3
12	22.4	28.4	25.4	2
13	28.4	34.3	31.3	2
14	34.3	40.2	37.3	1
			Toplam	162

Çizelge-6.2'den görüldüğü gibi noktaların %89'sine karşılık gelen 144 adet GPS/Nivelman noktasındaki farklar (ΔN) 10.5 cm ile -13.2 cm arasında dağılım göstermektedir.

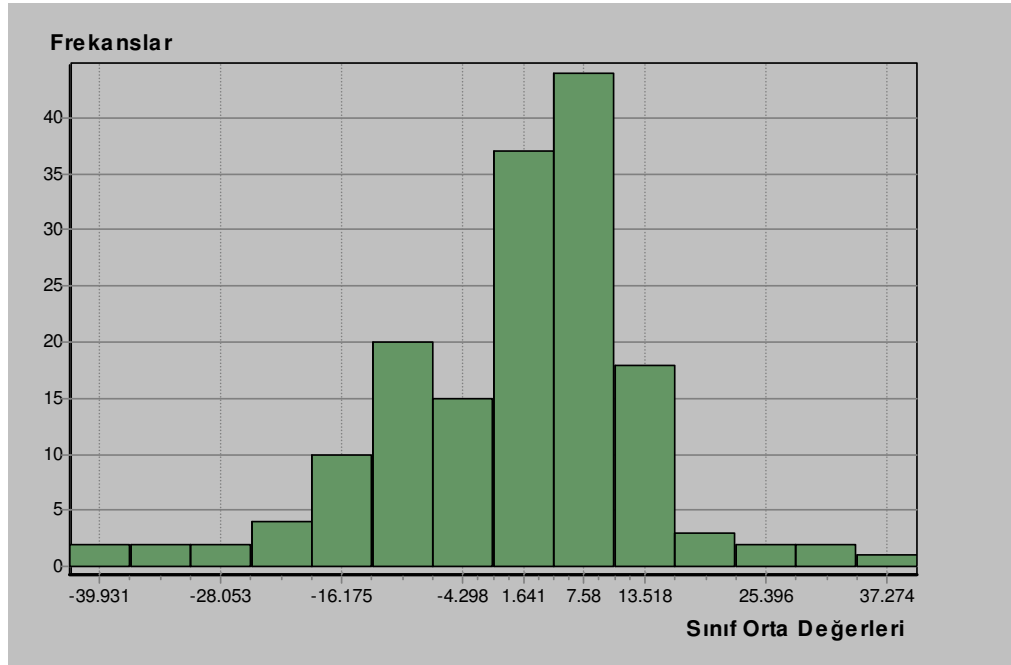


Şekil-6.2: 162 Noktada ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-99A}$) Fark Grafiği

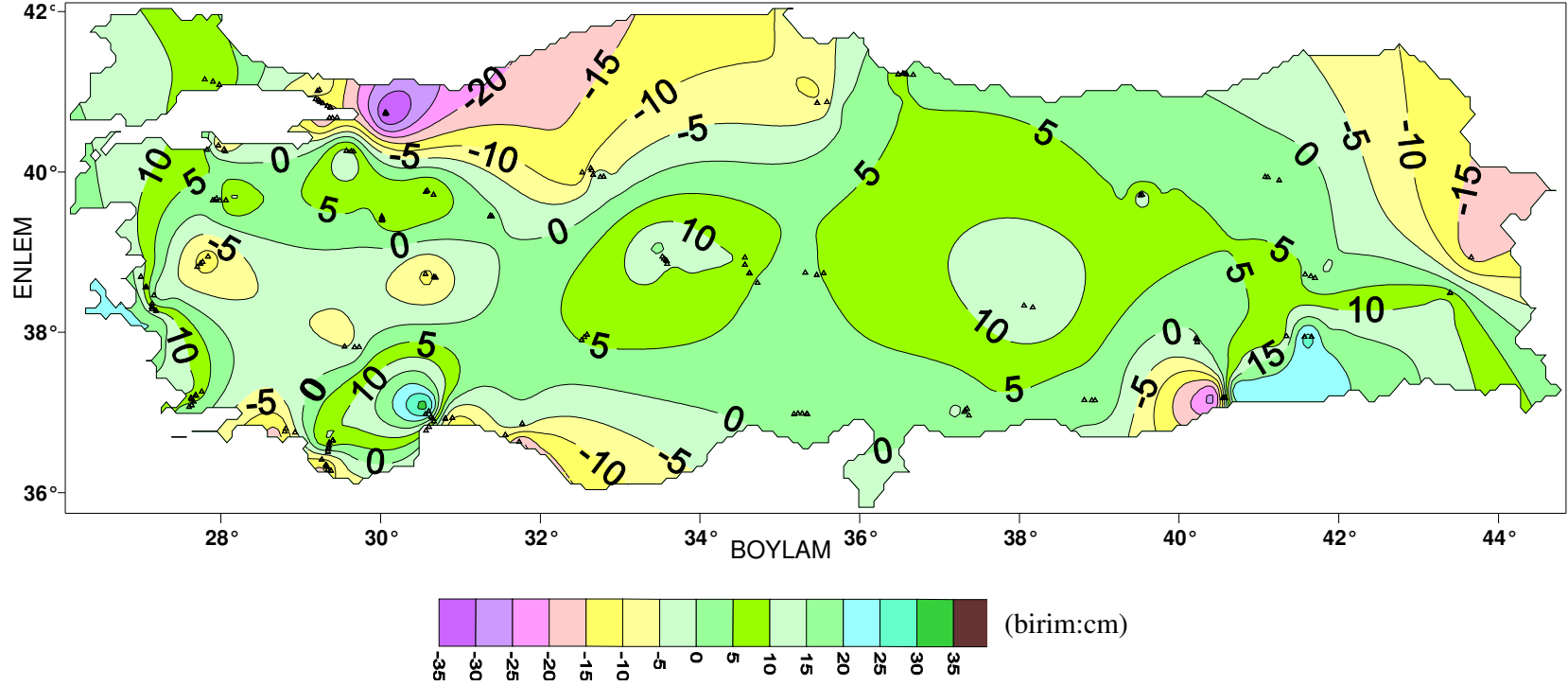
162 adet GPS/Nivelman noktasında hesaplanan ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-99A}$) farklarına ait sıklık tablosundaki (Çizelge-6.2) ara değerlerinin (sınıf orta değerlerine) yüzdelik ve tekrarlılık cinsinden değerleri, grafik olarak Şekil-6.3 ve Şekil-6.4'de gösterilmiştir. Son olarak Şekil-6.5'de 162 GPS/Nivelman noktasındaki ΔN farkları Türkiye haritası üzerinde grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil-6.3: $(N_{GPS/Niv} - N_{TG-99A})$ Farklarının Sıklık Tablosundaki (Çizelge-6.2) Ara Değerlerin (Sınıf Orta Değerlerin) Yüzde Cinsinden Değerleri



Şekil-6.4: $(N_{GPS/Niv} - N_{TG-99A})$ Farklarının sıklık tablosundaki (Çizelge-6.2) ara değerlerinin (Sınıf Orta Değerlerin) tekrarlılık (frekans) değerleri



Şekil-6.5: $N_{GPS/Niv} - N_{TG-99A}$ farklarının Türkiye'ye dağılımı

6.2 Büyük Ölçekli Harita Üretim Çalışmalarında Yeni Türkiye Jeoidi (TG-03)'ün Doğrudan Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Çalışmada kullanılan GPS/Nivelman noktalarının N_{TG-03} jeoit yükseklikleri, bu noktaların ITRF-96 koordinatları yardımıyla, TG-03'den enterpolasyonla elde edilmiştir. Daha sonra, ölçümlerden hesaplanan $N_{GPS/Niv.}$ jeoit yüksekliği ile TG-03'den elde edilen N_{TG-03} jeoit yüksekliği karşılaştırılmıştır.

Ölçümlerden hesaplanan jeoit yükseklikleri ($N_{GPS/Niv.}$) ile TG-03'den enterpolasyonla elde edilen jeoit yükseklikleri (N_{TG-03}) arasındaki ΔN farkları;

$$\Delta N = N_{GPS/Niv.} - N_{TG-03} \quad (6.2)$$

çıkarılmıştır.

162 adet GPS/Nivelman noktasında hesaplanan ΔN farklarına ait istatistikler Çizelge 6.3'de, fark verilerine ait "Sıklık Tablosu" Çizelge 6.4'de, farkların noktalara göre dağılımı grafik olarak Şekil-6.6'de gösterilmiştir.

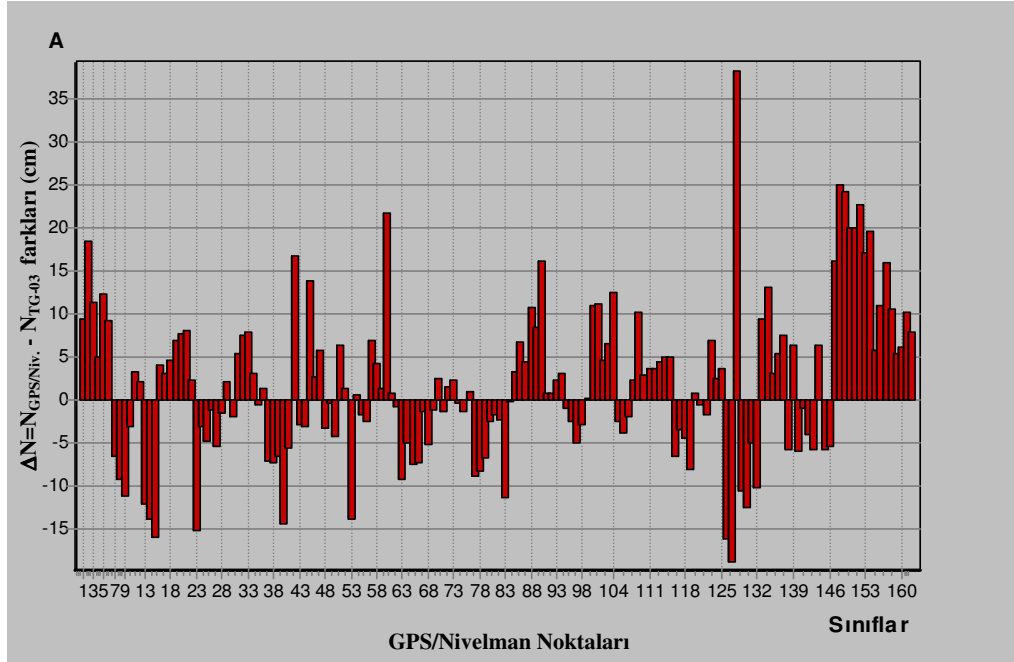
Çizelge 6.3 : 162 GPS/Nivelman noktasında, ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-03}$) farklarına ait istatistikler (cm).

Farkların En Küçüğü (cm)	-18.76
Farkların En Büyüğü (cm)	38.19
Farkların Standart Hatası (cm)	± 0.7041
Farkların Ortalaması (cm)	1.818
Farklara Ait Standart Sapma (cm)	± 8.961

Çizelge 6.4 : 162 GPS/Nivelman noktasının ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-03}$) fark verilerine ait "Sıklık Tablosu" (cm.).

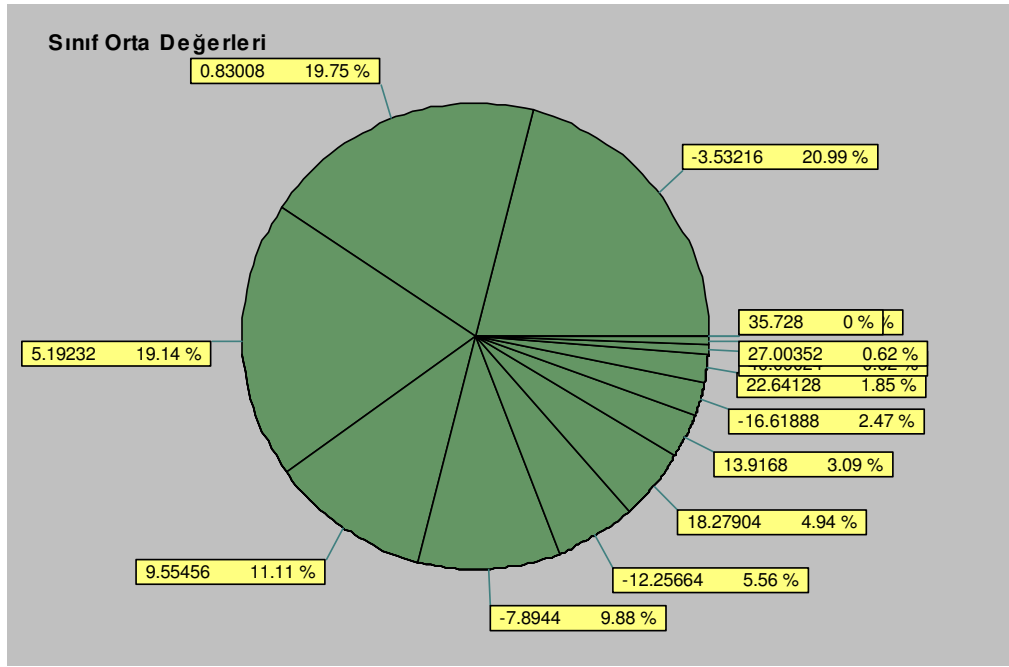
Sınıf No	Alt Değer	Üst Değer	Ara Değer	Frekans
1	-18.8	-14.4	-16.6	4
2	-14.4	-10.1	-12.3	9
3	-10.1	-5.7	-7.9	16
4	-5.7	-1.4	-3.5	34
5	-1.4	3.0	0.8	32
6	3.0	7.4	5.2	31
7	7.4	11.7	9.6	18
8	11.7	16.1	13.9	5
9	16.1	20.5	18.3	8
10	20.5	24.8	22.6	3
11	24.8	29.2	27.0	1
12	29.2	33.5	31.4	0
13	33.5	37.9	35.7	0
14	37.9	42.3	40.1	1
			Toplam	162

Çizelge-6.4'den görüldüğü gibi noktaların %89'sine karşılık gelen 144 adet GPS/Nivelman noktasındaki farklar (ΔN) 3.0 cm ile -14.4 cm arasında dağılım göstermektedir.

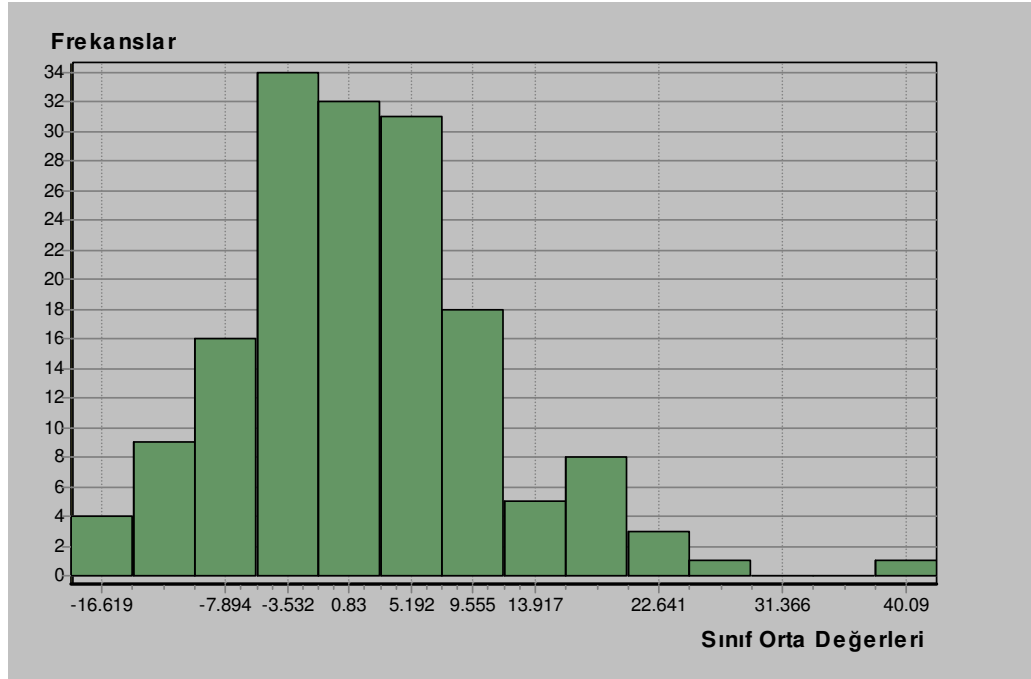


Şekil-6.6: 162 Noktada ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-03}$) Fark Grafiği

162 adet GPS/Nivelman noktasında hesaplanan ($N_{GPS/Niv.} - N_{TG-03}$) farklarına ait sıklık tablosundaki (Çizelge-6.4) ara değerlerinin (sınıf orta değerlerine) yüzdelik ve tekrarlılık cinsinden değerleri, grafik olarak Şekil-6.7 ve Şekil-6.8'de gösterilmiştir.



Şekil-6.7: ($N_{GPS/Niv} - N_{TG-03}$) Farklarının Sıklık Tablosundaki (Çizelge-6.4) Ara Değerlerin (Sınıf Orta Değerlerin) Yüzde Cinsinden Değerleri



Şekil-6.8: ($N_{GPS/Niv} - N_{TG-03}$) Farklarının Sıklık Tablosundaki (Çizelge-6.4) Ara Değerlerinin (Sınıf Orta Değerlerin) Tekrarlılık (Frekans) Değerleri

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

GPS ile belirlenen elipsoit yüksekliklerinin, ülke yükseklik sistemine dönüştürülmesinde uygun jeoit modeline ihtiyaç duyulur. Ülkemizde bu maksatla oluşturulmuş jeoit modellerinden Güncellenmiş Türkiye Jeoidi-1999A'nın (TG-99A) yaklaşık ± 10 cm iç duyarlılığa ve ± 15 cm doğruluğa sahip olduğu belirlenmiş, orta ve küçük ölçekli harita üretiminde kullanılabileceği (Kılıçoğlu 2004)'te belirtilmiştir. Yeni Türkiye Jeoidi'nin (TG-03) ise, iç doğruluğunun ± 1 cm ve dış doğruluğunun ± 9 cm olarak belirlenmiştir (Kılıçoğlu vd. 2005).

Bu tez çalışmasında, büyük ölçekli harita üretimlerinde, GPS ile elde edilen elipsoit yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesinde, TG-99A ve TG-03'ün doğrudan kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda, 162 adet test noktasında; bu noktaların, TG-99A'dan elde edilen jeoit yükseklikleri (N_{TG-99A}) ve TG-03'den elde edilen jeoit yükseklikleri (N_{TG-03}) ile GPS/Nivelman ölçümlerinden yararlanarak hesaplanan jeoit yükseklikleri ($N_{GPS/Niv}$) karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, Türkiye geneline dağılmış 162 adet GPS/Nivelman noktasında;

a. GPS/Nivelman ölçümlerinden elde edilen jeoit yükseklikleri ($N_{GPS/Niv}$) ile TG-99A jeoit yükseklikleri (N_{TG-99A}) arasındaki ΔN farkların; en küçüğünün -42,9 cm, en büyüğünün 34,7 cm, ortalamasının 0,48 cm, standart sapmasının ise $\pm 12,7$ cm olduğu belirlenmiştir. Söz konusu farklar, TG-99A'nın;

- (1) Birkaç desimetre doğrulukta bir jeoit olduğunu,
- (2) Türkiye genelinde yapılacak büyük ölçekli harita yapım çalışmalarını için,
 - (a) Tüm bölgelerde istenen yükseklik doğruluğu (± 10 cm) sağlamadığını,
 - (b) Türkiye'nin yaklaşık % 59'sını kaplayan iç bölgelerde ± 10 cm civarında doğruluk sağladığını,
 - (c) Deniz ve ülke sınırlarına yakın bölgeler ile dağlık bölgelerde ± 10 cm'den daha az doğrulukta jeoit yükseklik bilgisi sağladığını,
- (3) 1/5000'den daha küçük ölçekli harita üretimlerinde, noktalarının ortometrik yüksekliklerinin belirlenmesinde doğrudan kullanılabileceğini göstermektedir.

TG-99A'nın 1/5000 ve daha büyük ölçekli çalışmalarda kullanılabilmesi maksadıyla; önce uygun sayı ve dağılımdaki GPS/Nivelman noktaları ile yerel GPS/Nivelman jeoidi (yerel jeoit) oluşturulmalı, daha sonra bu çalışmada açıklanan "TG-99A'nın geliştirilmesi yöntemi" ile TG-99A'nın güncelleştirilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

b. GPS/Nivelman ölçümlerinden elde edilen jeoit yükseklikleri ($N_{GPS/Niv.}$) ile TG-03 jeoit yükseklikleri (N_{TG-03}) arasındaki ΔN farklarının; en küçüğünün -18.7 cm., en büyüğünün 38.19 cm., ortalamasının 1.82 cm. ve standart sapmasının ± 9 cm. olduğu belirlenmiştir. Söz konusu farklar, TG-03'ün;

- (1) Desimetre doğrulukta bir jeoit olduğunu,
- (2) Türkiye genelinde yapılacak büyük ölçekli harita yapım çalışmaları için, tüm bölgelerde istenen yükseklik doğruluğu (± 10 cm) sağlamadığını,
- (3) 1/5000'den daha küçük ölçekli harita üretimlerinde, noktalarının ortometrik yüksekliklerinin belirlenmesinde doğrudan kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu nedenle TG-03 jeoidinin büyük ölçekli harita üretimi için doğrudan kullanılmasının uygun olmayacağı değerlendirilmektedir.

1/5000 ve daha büyük ölçekli harita ve harita bilgilerinin üretimi ile mühendislik amaçlı çalışmalarda personel, zaman ve para tasarrufu sağlamak üzere, santimetre doğrulukta bir jeoide olan ihtiyaç günümüzde giderek artmaktadır. Türkiye jeoidinin santimetre doğrulukta hesaplanacağı zamana kadar geçecek sürede, büyük ölçekli harita üretimlerinde, nokta yüksekliklerinin istenen doğrulukta belirlenmesi için; BÖHKBÜY'nde belirtilen iki yöntemde de öngörüldüğü gibi, TG-99A jeoit modelinin, katkı veren referans noktaları ile (yerel GPS/nivelman jeoidi ile) iyileştirilerek kullanılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Ayan, T. 1978. 1976 Türkiye Geoidi, Harita Dergisi, Sayı 85, Sayfa 5-17, Ankara.
- Ayhan, M.E, Alp, O. 1988. Serbest Hava Anomali Kestirim Yöntemleri ve Yöntemlerin Karşılaştırılması. Harita Dergisi, Sayı 101.
- Ayhan, M.E., C. Demir, O. Lenk, A. Kılıçoğlu, B. Aktuğ, M. Açıköz, O. Fırat, Y.S. Şengün, A. CİNGÖZ, M.A. Gürdal, A.İ. Kurt, M. Ocak, A. Türkezer, H. Yıldız, N. Bayazıt, M. Ata, Y. Çağlar, A. Özerkan. 2002. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A). Harita Dergisi, Özel Sayı 16.
- Ayhan, M.E., C. Demir. 1992. Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı-1992 (TUDKA-92). Harita Dergisi, Sayı 109.
- Ayhan, M.E., O. Lenk, C. Demir, A. Kılıçoğlu, M. Kahveci, A. Türkezer, M. Ocak, M. Açıköz, A. Yıldırım, B. Aktuğ, Y.S. Şengün, A.İ. Kurt, O. Fırat. 2001. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 (TUTGA-99) Teknik Rapor. İç Rapor, Hrt.Gn.K.lığı, Ankara.
- Demir, C. 1999. Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA99), Teknik Rapor, Harita Genel Komutanlığı, Ankara
- Ehrnsperger, W., Kok, J.J. , Mierlo V. J. 1981. Status and Provisional Results of the 1981 Adjustment of the United European Levelling Network- UELN-73. Proc:Int.Sym.on Geodetic Networks and Computations, Munich, pp. 25-44.
- Heiskanen, WA., Moritz, H. 1984. Fiziksel jeodezi, KTÜ Matbaası, Çeviren: Gürkan O, Trabzon, 491s.
- Kavouras, M. 1982. On the Detection of Outliers and the Determination of Reliability in Geodetic Networks, University of New Brunswick, Frediction, N.B. Canada, Technical Report No.87.
- Kılıçoğlu, A. 2004. Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi (TG-99A) [http://www.hgk.mil.tr/\(Haritalar ve Projeler/ bildiriler/ jeodezi\)](http://www.hgk.mil.tr/(Haritalar%20ve%20Projeler/bildiriler/jeodezi)).
- Kılıçoğlu, A., Demir, C., Fırat, O. 2005. Yeni Türkiye Jeoidi (TG-03)'nin Hesabında Kullanılan Ölçüler ve Yöntemler, TUJK Jeoit ve Düşey Datum Çalıştay Bildiri Kitabı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Sayfa 53-76.
- Kılıçoğlu, A., Fırat, O. 2003. Büyük Ölçekli Harita Üretiminde Ortometrik Yükseklik Belirlemeye Yönelik Jeoit Modelleme ve Uygulamalar, TUJK Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştay, 27-34, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Kok, J. J. 1983. On Testing and Reliability in Levelling Networks. (In: H.Pelzer, W Niemeier (Eds.), Precise Levelling, Dümmler Verlag, Bonn).
- Kok, J.J., Ehrnsperger, W., Rietveld, H. 1980. The 1979 Adjustment of the United European Levelling Network (UELN) and ist Analysis of Precision and Reliability. Proc. Second Int. Sym. On Problems Related to the Redefinition of North American Vertical Geodetic Networks (NAD 1980), Ottawa, Canada.

Kurt, A.İ. 1998. EKKK Yöntemiyle Bölgesel Gravimetrik Jeodin Belirlenmesi, Araştırma Çalışması, Harita Teknik Yüksek Okulu, Ankara, [http://www.hgk.mil.tr/\(Hrt.Yük.Tek.Okulu/Eğitim/Öğretim/Bitirme/Tezleri\)](http://www.hgk.mil.tr/(Hrt.Yük.Tek.Okulu/Eğitim/Öğretim/Bitirme/Tezleri))

Smith, W.H.F., P. Wessel 1990. Gridding With Continuous Curvature Splines in Tension. *Geophysics*, 55, 293-305.

TGS 1999. Trimble GPSurvey, Trimble Navigation Limited. 645 North Mary Avenue Sunny..., CA 940864SA, www.trimble.com.

Turgut, B. 2001. Bayram Turgut , Jeopotansiyel Sayılar Ve Yükseklikler, Selçuk-Teknik Online Dergisi, 0, 0, 0 - 0, 2001, http://alaeddin.cc.selcuk.edu.tr/~tekbil/EKIM2000/bayram_turgut.htm

Turgut, B., İnal, C., Yiğit, C. Ö. 2002. EGM96 Jeopotansiyel Modeli, TG99 Türkiye Jeoidi ve GPS/Nivelman ile Elde Edilen Jeoit Ondülasyonlarının Karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya.

Vanicek, P., Krakiwsky, E. J. 1982. *Geodesy: The Concept*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York.

Yerci, M. 2003. Jeodezi 1 Ders Notları, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yayın No:17, Konya.

Yıldırım, A. 2000. Türkiye Mutlak Jeoidinin (TG-2000) Belirlenmesi. HGK İç Rapor No:JE0F-NİV-1-02, Ankara.

JEOİT YÜKSEKLİK FARKLARI

NOKTA NUMARASI	NGPS/NIV.-NTG99A (cm.)	NGPS/NIV.-NTG03 (cm.)	NOKTA NUMARASI	NGPS/NIV.-NTG99A (cm.)	NGPS/NIV.-NTG03 (cm.)
1	14	9	56	-1	-2
2	15	19	57	2	7
3	9	11	58	-1	4
4	0	5	59	5	1
5	7	12	60	25	22
6	7	9	61	5	1
7	-15	-7	62	6	-1
8	-18	-9	63	-13	-9
9	-26	-11	64	-9	-5
10	-43	-3	65	-12	-7
11	-34	3	66	-11	-7
12	-37	2	67	-5	-1
13	-7	-12	68	-7	-5
14	-7	-14	69	-1	-1
15	-15	-16	70	3	3
16	11	4	71	-1	-1
17	10	3	72	0	1
18	10	5	73	3	2
19	1	7	74	6	0
20	1	8	75	2	-1
21	1	8	76	0	1
22	-3	2	77	5	-9
23	-21	-15	78	3	-8
24	-9	-3	79	7	-7
25	-6	-5	80	-12	-3
26	-4	-1	81	-4	-2
27	-2	-5	82	-19	-2
28	1	-2	83	-10	-11
29	2	2	84	10	0
30	8	-2	85	4	3
31	16	5	86	9	7
32	12	8	87	7	5
33	10	8	88	-2	11
34	10	3	89	0	9
35	6	-1	90	7	16
36	8	1	91	12	1
37	-9	-7	92	4	1
38	-12	-7	93	3	2
39	-10	-7	94	2	3
40	-13	-14	95	2	-1
41	6	-6	96	-4	-2
42	35	17	97	-10	-5
43	19	-3	98	-9	-3
44	-3	-3	99	7	0
45	14	14	100	10	11
46	6	3	101	14	11
47	9	6	102	7	5
48	-1	-3	103	12	7
49	4	0	104	16	13
50	1	-4	105	11	-3
51	10	6	106	9	-4
52	5	1	107	12	-2
53	-18	-14	108	10	2
54	2	0	109	6	10
55	-1	-2	110	10	3

JEOİT YÜKSEKLİK FARKLARI

NOKTA NUMARASI	$N_{GPS/NIV.} - N_{TG99A}$ (cm.)	$N_{GPS/NIV.} - N_{TG03}$ (cm.)
111	2	4
112	1	4
113	1	5
114	2	5
115	2	5
116	7	-6
117	9	-4
118	7	-4
119	3	-8
120	6	1
121	10	0
122	9	-2
123	10	7
124	12	3
125	2	4
126	-31	-16
127	-33	-19
128	25	38
129	-14	-10
130	-20	-12
131	-11	-5
132	-8	-10
133	7	9
134	4	13
135	11	3
136	17	5
137	33	7
138	-13	-6
139	31	6
140	-19	-6
141	-8	-1
142	-17	-4
143	-18	-6
144	-8	6
145	-19	-6
146	-19	-5
147	-10	16
148	15	25
149	4	24
150	13	20
151	13	20
152	-3	23
153	7	17
154	9	20
155	-6	6
156	-2	11
157	-20	16
158	18	11
159	11	5
160	9	6
161	12	10
162	10	8