T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAMPÜS NİVELMAN AĞINDA DEĞİŞİK BAZ UZUNLUKLARINA GÖRE NİVELMAN-ELİPSOİDAL YÜKSEKLİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

OĞUZ KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ

MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KONYA, 2006

T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAMPÜS NİVELMAN AĞINDA DEĞİŞİK BAZ UZUNLUKLARINA GÖRE NİVELMAN-ELİPSOİDAL YÜKSEKLİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

OĞUZ KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ

MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 23/06/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Y.Doç.Dr.Ayhan CEYLAN

(Danışman)

Y.Doç.Dr.Bayram TURGUT

(Üye)

Y.Doç.Dr.Özşen ÇORUMLUOĞLU

(Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAMPÜS NİVELMAN AĞINDA DEĞİŞİK BAZ UZUNLUKLARINA GÖRE NİVELMAN-ELİPSOİDAL YÜKSEKLİK FARKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

OĞUZ KAYA

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeodezi Ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Y.Doç.Dr. Ayhan CEYLAN

2006, 76 Sayfa

Juri: Y.Doç.Dr. Ayhan CEYLAN

İnsan hayatının her alanında büyük değişmeler meydana getiren teknolojik gelişmeler, harita bilgilerinin üretilmesinde kullanılan yöntem ve veri oluşturma biçimini de değiştirmiştir.

Son yıllarda yaygın olarak kullanılan uydu bazlı konum belirleme tekniklerinden olan GPS; ölçü işlerinin süresini ve maliyetini azaltmış, hassasiyetini artırmıştır. GPS' te konumlandırmalar mutlak veya rölatif olarak üç boyutlu jeosentrik koordinat sisteminde yapılmaktadır. Bu sistemde koordinatlar istenildiğinde bir referans elipsoit üzerine dönüşümü yapılmaktadır. GPS ile elde edilen elipsoidal yükseklik bilgileri geometrik anlamdadır. Elipsoidal yüksekliklerin pratik kullanımları için ortometrik yüksekliğe dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm için jeoit yüksekliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Jeoit yüksekliklerinin belirlenmesinde gravimetrik yöntem, astrojeodezik yöntem ve analitik yöntem (yüzey geçirme) uygulanmaktadır.

Jeoit tüm dünya yüzeyi için tam olarak modellendirilememektedir. Bu nedenle oluşan belirsizliklerin ortadan kaldırılması için çeşitli jeoit belirleme yöntemleri geliştirilmiştir. Ülkemizde Harita Genel Komutanlığınca belirlenen ve şu anda kullanımda olan TG–03 jeoidi hesaplamalarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kurulan test ağında klasik yöntem olarak isimlendirilen geometrik nivelman ve GPS ölçüleri yapılmıştır. Ayrıca HGK' dan test ağındaki noktalara ait TG-03 jeoid yükseklik değerleri satın alınmıştır. Noktaların ölçü değerleri sonucu bulunan jeoit yükseklikleri ve TG–03 jeoit yükseklikleri test ağındaki baz uzunluklarına göre karşılaştırması yapılmıştır. Aralarındaki değişimin kısa baz uzunlukları için anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Sonuç olarak elipsoidal yükseklik farkının nivelman yükseklik farkı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nivelman, GPS, Ortometrik Yükseklik, Elipsoidal Yükseklik, Jeoit Yüksekliği

ABSTRACT

Masters Thesis

COMPARE OF THE DİFFERANCES OBTINED FROM LEVELLING AND ELLIPSOIDAL HEIGHTS ACCORDING TO SEVERAL BASE DISTANCES IN CAMPUS NET

Oğuz KAYA

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geodesy and Photogrammetry

Supervisor : Assoc.Prof.Dr.Ayhan CEYLAN

2006, 76 Page

Jury: Assoc.Prof.Dr.Ayhan CEYLAN

Technological developments which make large changes in every field of human life have changed methods and forms of data producing used yielding map information.

GPS -used commonly- which is a positioning technique with the satellites, has reduced measuring time and cost, and increased precision recently. Positioning by GPS has been done in three dimension geocentric coordinate system as absolute or relative. At this system, coordinates may be transformed on the reference ellipsoid. The elevation information of GPS is geometrical meaning. In practice usage, elevations obtained from GPS are needed to transform into orthometric heights. For this transformation the geoid heights have to be determined. Gravimetric, Astrogeodetic and analytic (surface fitting) methods are applied to determine the geoid heights.

The geoid can't be exactly modeled for the whole surface of the earth. To get rid of indefiniteness occurred owing to this reason, a lot of the geoid determining methods have been developed. In our country TG-03 (Turkish Geoid 2003: now in usage) determined by **G**eneral **C**ommand of Mapping (GCM) has been used in computations.

In network established for this study, geometric leveling called as classic method and GPS measurements have been done. Also TG-03 geoid height values belong to test networks points have been bought from GCM. The geoid heights obtained from measurements and TG-03 geoid heights have been compared according to the baseline at test network. It is determined that changes between them are not significant for short baselines. Consequently, it is inferred that ellipsoidal height differences can be used as leveling height differences.

Keywords: Leveling, GPS, Orthometric Height, Ellipsoidal Height, Geoid Height.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda araştırma konusunu veren ve çalışma süresi içinde değerli fikirlerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Yrd. Doç Dr. Ayhan CEYLAN' a özellikle GPS ölçümlerinde büyük yardımları olan Yrd.Doç.Dr. İsmail ŞANLIOĞLU' na ve Arş.Grv. Cemal Özer YİĞİT ile Arş.Grv. Ramazan Alpay ABBAK' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Selçuk Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölüm öğretim üyelerine göstermiş oldukları yakın ilgi ve samimiyetlerinden dolayı; son olarak da çalışmam sırasında desteklerini esirgemeyen eşime ve oğluma sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

Özet i

Abstract iii

Teşekkür v

İçindekiler vi

Şekil listesi ix

Çizelge listesi xi

1 GİRİŞ 1

2 YÜKSEKLİK SİSTEMLERİ 3

2.1 Jeopotansiyel Yükseklikler (C) 4

2.2 Dinamik Yükseklikler (H^D) 5

2.3 Ortometrik Yükseklikler (H_O) 6

2.4 Normal Yükseklikler (H^N) 9

2.5 Elipsoit Yükseklik (h) 11

3 YÜKSEKLİK BELİRLEME YÖNTEMLERİ (NİVELMAN) 14

3.1 Geometrik Nivelman 14

3.1.1 Ana model 15

3.1.2 Fonksiyonel model 16

3.1.3 Geometrik nivelmanda önemli hata kaynakları 17
3.1.3.1 Aletsel hatalar 17
3.1.3.2 Dış ortamdan kaynaklanan hatalar 21
3.2 Trigonometrik Nivelman 24
3.2.1 Karşılıklı ve eşzamanlı trigonometrik nivelman 24
3.2.2 Ortadan (atlamalı) gözlemli trigonometrik nivelman 27
3.2.3 Trigonometrik nivelmanda hata kaynakları 31
3.2.3.1 Aletsel hatalar 31
3.3 Barometrik Yükseklik Belirlenmesi 34
4 GPS VE GPS NİVELMAN 35
4.1 GPS' in Bölümleri 36
4.1.1 Kullanıcı bölümü 36
4.1.2 Uzay bölümü 36
4.1.3 Kontrol bölümü 38
4.2 GPS' te Hata Kaynakları 39
4.2.1 Uydu ve alıcı saati hataları 40
4.2.2 Uydu efemeris hataları 40
4.2.3 İyonosferik gecikme(Ionospheric Delay) etkisi 42
4.2.4 Troposferik gecikme etkisi 45
4.2.5 Multipath etkisi 47
4.2.6 Alıcı anteni faz merkezi hatası 48

4.2.7 Seçimli doğruluk erişimi 49

4.2.8 Taşıyıcı dalda faz belirsizliği ve faz kesiklikleri 49

4.3 GPS ile Yüksekliklerin Belirlenmesi 51

4.3.1 GPS – ortometrik yükseklikleri 53

4.3.2 Jeoit belirlenmesi 53

4.3.2.1 Bozucu potansiyel ve jeoit yüksekliği 54

4.3.2.1.1 Global jeoit modeli 56

4.3.2.1.2 Bölgesel jeoit belirleme 58

4.3.2.1.3 Spektral analize dayalı yeni bir yöntem: nokta kitle yöntemi .. 59

4.3.2.1.4 Astrojeodezik yöntem 60

4.3.2.1.5 GPS / nivelman yöntemiyle (geometrik) jeoit belirleme 62

5 UYGULAMA 65

5.1 Arazi Çalışmaları 65

5.1.1 Geometrik nivelman ölçmeleri 65

5.1.2 GPS/nivelman ölçmeleri 69

5.2 Ölçülerin Değerlendirilmesi 70

6 SONUÇ 74

7 KAYNAKLAR 75

ŞEKİL LİTESİ

Şekil 2.1 Jeopotansiyel yükseklik 4

Şekil2.2 Ortometrik yükseklik 7

Şekil 2.3 Normal yükseklik..... 9

Şekil 2.4 Elipsoidal yükseklik..... 12

Şekil 2.5 Doğal büyüklük yöntemi 13

Şekil 2.6 Standart büyükler yöntemi..... 13

Şekil 3.2 Karşılıklı trigonometrik nivelman..... 25

Şekil 3.3 Ortadan trigonometrik nivelman..... 28

Şekil 4.1 İyonosferik gecikme..... 42

Şekil4.2 Multipath etkisi..... 47

Şekil 4.3 Referas elipsoidi üzerinde φ,λ,h 51

Şekil 4.4 Jeoit yüksekliği 52

Şekil 4.5 Jeoidin bir P noktasındaki gerçek ve normal gravite vektörleri 55

Şekil 4.6 Jeoidde diferansiyel değişim..... 61

Şekil 5.1 Nivelman test ağı 66

Şekil 5.2 Jeoit yükseklikleri 70

Şekil 5.3 Gps/nivelman ile TG-03 jeoit yükseklikleri arasındaki farklar 71

Şekil 5.4 Baz uzunluklarına göre ppm değerleri..... 72

Şekil 5.5 Baz uzunluğuna göre ppm değerleri (mutlak değer)..... 73

Şekil 5.6 ppm histogramı 73

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Tarihsel gelişim…….15

Çizelge 3.2 Açı ölçme hatası…… ……...33

Çizelge 4.1 Sistematik zorlamaların (bias) GPS'le ede edilen büyüklüklere etkileri……...50

Çizelge 4.2 Jeoit belirlemede kullanılan veri türleri ve kaynakları…….54

1 GİRİŞ

Haritacılık çalışmalarının temel amacı yeryüzündeki ayrıntı noktalarının tesis edilen sabit noktalara göre koordinatlandırılmasıdır. Bunun için kesin olarak tanımlanmış koordinat sistemine ihtiyaç duyulur. Koordinat sistemi, çalışma alanının büyüklüğüne göre seçilir. Dünya, ülke ve düzlem ölçmesi olarak çalışma alanları üç grupta incelenir. Dünya ölçmesi konusunda ilk önce jeodezinin tanımını incelememiz gerekir. Jeodezi: Dünyanın tümünün veya bir kısmının ölçülmesi ve bu ölçülerin matematiksel ve fiziksel esaslara göre değerlendirilerek dünyanın şeklinin boyutlarının, dış çekim alanlarının belirlenmesi ve yüzey noktalarının projeksiyonu ile uğraşan bilim dalıdır. Bu tanımda dünya ölçmeleri konusunda tüm dış çekim alanları dahil dünyanın şeklinin belirlenmesi amaç edinilir (Yerci 1996).

Ülke ölçmeleri; jeodezik ölçmelerde denir, yeterli sayıda kontrol noktaları yardımıyla ülke yüzeyi tanımlanır.

Düzlem ölçmeleri ise topoğrafik, kadastrol ve mühendislik ölçmeleri yardımıyla yeryüzünün detayları belirlenir.

Dünyanın şekli fiziksel ve matematiksel yeryüzü olarak iki tanımla belirlenir. Fiziksel yeryüzü; dünyanın katı ve sıvı yüzünü atmosferden ayıran yüzeydir. Bu yüzeyin karada kalan kısmı hiçbir kurala uymaz ve matematiksel olarak ifade edilemez. Fiziksel yeryüzünün kara kısmı noktaların yatay konum ve yükseklik değerleri yardımıyla belirlenir. Fiziksel yeryüzünün denizde kalan kısmı ise yaklaşık nivo yüzeyi olarak tanımlanır.

Nivo yüzeyi; gel-git $W(x,y,z) = C = \text{sabit}$, rüzgâr, sıcaklık farkı vb. etkilerden arındırılmış olarak düşünülen ideal okyanus yüzeyinin karaların altında da devam ettiği düşünülen, kapalı ve sürekli bir yüzey oluşturur. Bu yüzey Jeoit olarak adlandırılır. $W(x,y,z) = 0$

Denge durumundaki durgun su yüzeyleri her noktada çekül doğrultusuna dik olduğundan gerçek yatay düzlemdir. Uzaydaki her noktadan böyle bir yüzey geçeceği düşünürse sonsuz sayıda gerçek yatay yüzey elde edilir. Bunların her birine

nivo yüzeyi adı verilir. Ülke veya tüm yeryüzünde koordinat birliğinin sağlanabilmesi için nivo yüzeylerinden biri Referans Yüzeyi olarak seçilir ve nokta koordinatları bu yüzeye göre belirlenir.

Yükseklikler için referans yüzeyi olarak jeoit alınır. Jeoit, üzerinde hesap yapılabilecek düzgün bir yüzey olmadığından konum koordinatları için referans yüzeyi olarak jeoide en iyi uyan dönel bir elipsoit yüzeyi kullanılmaktadır.

Fiziksel yeryüzü noktalarının, belirlenen referans yüzeyi üzerine izdüşümü alınır. Hesaplar referans yüzeyi üzerinde yapılarak noktaların konum koordinatı belirlenir.

Noktaların yatay koordinatlarıyla uzaydaki yerleri kesin olarak tanımlanamaz. Fiziksel yeryüzü üzerindeki bir noktanın uzaydaki konumunun kesin olarak belirlenmesi için yatay koordinatları ile birlikte üçüncü koordinat bileşeni olan nokta yüksekliğinin bilinmesi gerekir.

Yükseklikler günümüzde GPS teknolojisi ile de belirlenebilmektedir. Ancak GPS ile belirlenen yükseklikler elipsoidal yükseklikler olup geometrik anlam taşımaktadır. Yüksekliklerin mühendislik hizmetleri için kullanılabilir hale getirilmesi için fiziksel anlamlı yükseklikler olarak tanımlanan ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm için birçok yöntem bulunmaktadır.

Bu çalışmada Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampüs alanında, içerisindeki nirengi noktalarına geometrik nivelman ve GPS (Global Positioning System) ölçüleri yapılarak elde edilen verilerle değişik baz uzunluklarına göre nivelman-elipsiodal yükseklik farkları karşılaştırılacaktır.

Bu çalışmanın amacı klasik yöntem olan geometrik nivelman ile uydu bazlı konum belirleme tekniği olan GPS'ten elde edilen yükseklikler arasındaki farklar incelenecektir.

2 YÜKSEKLİK SİSTEMLERİ

Yükseklik; fiziksel yeryüzündeki noktadan, başlangıç olarak kabul edilen sıfır yükseltili yüzeye çekül doğrultusunda inilen dikin boyu olarak tanımlanır. Fiziksel yeryüzündeki noktanın yüksekliğini tanımlayabilmek için bir başlangıç yüzeyi ve bu yüzeye dik olan doğruları tanımlamak gerekir. Bu şartın sağlanması için dünyanın şeklini nivo yüzeyi sistemi veya eş anlamda çekül doğruları sistemi ile tanımlanmaktadır. Karaların altında devam ettiği düşünülen denge halindeki deniz yüzeyi yeryüzü noktaları için sıfır doğrultulu yüzeydir. Bu yüzeye jeoit denir (Yanar 1999). Yeryüzündeki noktaların yükseklikleri, noktadan çekül doğrultusunda jeoide olan uzaklıklarıdır.

Uygulamada bir yükseklik sisteminden iki temel özellik beklenir. Bunlar; nivelman sonuçlarının, nivo yüzeylerinin paralel olmasından kaynaklanan yola bağlılık etkisinin elimine edilmesi özelliği ve ölçülen yükseklik farkına getirilen düzeltmelerin küçük derecede olma özelliğidir. Jeodezide bu özelliklere uygun pek çok yükseklik sistemi tanımlanmıştır. Bunlardan en önemlileri Jeopotansiyel, Dinamik, Ortometrik, Normal ve Elipsoidal yükseklik sistemleridir.

Bu yükseklik sistemleri içerisinden Jeopotansiyel ve Dinamik yükseklikler gerçek anlamda yükseklikleri ifade etmediklerinden pratik yükseklikler olarak kullanılmaya elverişli değildirler. Ortometrik yüksekliklere getirilecek düzeltmelerde pratik nivelman sonuçlarına düzeltme getirme zorunluluğu vardır. Pratik nivelman sonuçlarına düzelte getirme zorunluluğunu kaldırmak amacıyla küçük düzeltmeli yükseklik sistemleri aranmış ve sonuçta pratik yüksekliklerin dizisi olan Helmert, Neithammer, Bademüller, Baranow, Vanicek, Molodenski v.b. geliştirilmiştir.

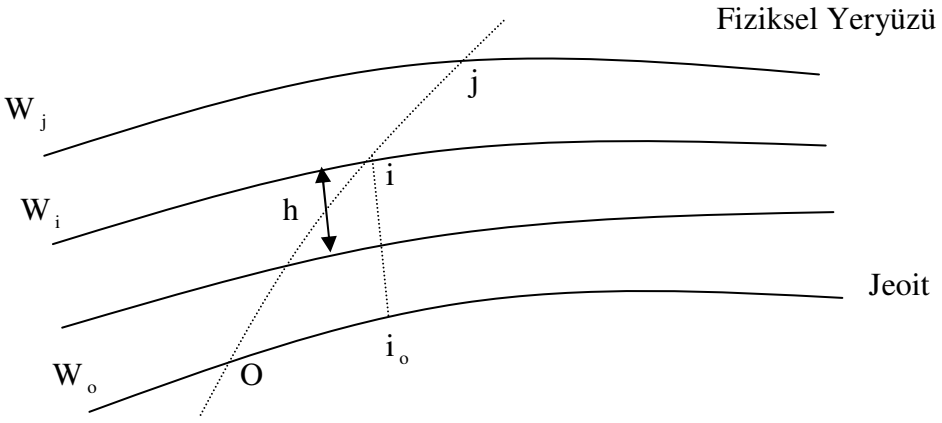
Temel olarak yükseklik:

$$\text{Yükseklik} = \frac{\text{Jeopotansiyel Sayı}(C)}{\text{Gravite}(G)} \qquad (2.1)$$

ifade edilir. Yükseklik sistemlerindeki farklılık gravite değerlerinin farklı alınmasından kaynaklanmaktadır.

2.1 Jeopotansiyel Yükseklikler (C)

Jeopotansiyel yükseklik; noktadan geçen nivo yüzeylerinin jeoide göre durumunu, jeoit ile bu yüzeyler arasında kgalm biriminde ifade edilen potansiyel farklar fiziksel anlamda bir büyüklüktür ve dünyanın gravite potansiyeliyle ilişkilidir. Bu büyüklüğe Jeopotansiyel Büyüklük, (C) denir.



Şekil 2.1 Jeopotansiyel yükseklik

Buna göre jeopotansiyel yükseklik

$$C_i\,(g.p.u.) = Wo - Wi = -\int_0^i dw = \int_0^i g\,dh \qquad (2.2)$$

Burada C_i : i noktasının jeopotansiyel kotu (1 g.p.u. = 1 kgal x metre = 10 m^2/sn^2 = 1000 gal x metre = 10^5 cm ² /sn ²) eşitliği ile hesaplanır.

W_O : Jeoidin potansiyeli

W_i : i noktasından geçen nivo yüzeyinin potansiyeli

d_w : Birbirine çok yakın iki nivo yüzeyi arasındaki potansiyel fark

dh: Diferansiyel anlamda yükseklik farkı

g: Diferansiyel anlamda yükseklik farkına karşılık yeryüzünde ölçülebilen gravite değeridir.

(2.2) eşitliğinde nivelman güzergahı boyunca gravite (g) sabit kabul edilirse,

$$C = \int_0^I g dh = g \int_0^i dh \cong g\,H \qquad (2.3)$$

Burada

g: i noktasının gravite değeri

H : i noktasının geometrik nivelman ölçümü ile bulunan geometrik yüksekliğidir.

i ve j noktalarının jeopotansiyel yükseklikleri arasındaki fark ΔC_{ij} ; ΔH nivelmanla bulunan yükseklik farkı ve $\bar{g}$, ΔH yükseklik farkını sıfırlayan noktalarda ölçülen gravite değerlerinin ortalaması ise;

$$C_j - C_i = \Delta C_{ij} = W_i - W_j = \int_i^j g dh \cong \sum_i^j \bar{g}\,\Delta H \qquad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir. Buradan kotu bilinen bir noktadan başlayıp, bütün diğer noktaların jeopotansiyel kotları

$$C_j = C_i + C_{ij}\,\Delta = C_i + \sum_i^j \bar{g}\,\Delta H \qquad (2.5)$$

şeklinde hesaplanması olasıdır. C' nin fiziksel boyutu metrik birimde olmadığından pratik uygulaması azdır (Yanar 1999).

2.2 Dinamik Yükseklikler (H^D)

Jeoit ile nivo yüzeyleri arasındaki jeopotansiyel farkın gravite ivmesine bölünmesi sonucunda Dinamik Yükseklikler elde edilir. Bu teori Helmert tarafından önerilmiştir. Teoride g_o, 50^g veya 45^o 'lik standart topoğrafik enlemde deniz yüzeyindeki ($g_o = \gamma_0^{50} = 0{,}9806294$ kGal) çekim değeridir. Buna göre dinamik yükseklik;

$H_i^D = Ci / g_o$ ve $H_j^D = Cj / g_o$ dır. (2.6)

C_i , C_j : i ve j noktalarının potansiyel kotları

go = $\gamma o = 50^o$enlemindeki gravite değeridir.

Burada Bouguer Gravite Redüksiyonu uygulanıp jeoidin dışında kalan kitlelerin tamamı kaldırılırsa i ve j noktalarının dinamik yükseklikleri arasındaki fark;

$$H_j^D - H_i^D = \Delta H_{ij}^D = \frac{C_j - C_i}{g_o} = \frac{\Delta C_{ij}}{g_o} = \frac{\Delta C_{ij}}{\gamma_o} \quad (2.7)$$

elde edilir.

Bir nivelman ağındaki tüm noktalar arasındaki dinamik yükseklik farkları hesaplanmış ise, dinamik yüksekliği bilinen bir başlangıç noktasına dayalı olarak dinamik yükseklikler;

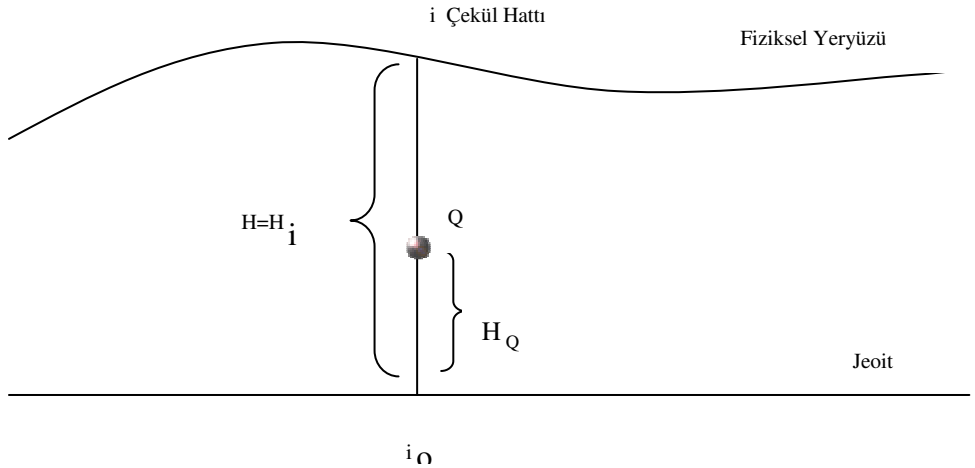
$$H_J^D = H_I^D + \Delta H_{IJ}^D \quad (2.8)$$

şeklinde hesaplanır.

Dinamik yüksekliklerin, geometrik yükseklik ve elipsoit yükseklik farkından yararlanılarak hesaplanır.

2.3 Ortometrik Yükseklikler (H_O)

Yeryüzündeki bir noktanın, çekül eğrisi boyunca jeoide olan uzaklığı o noktanın ortometrik yüksekliğidir. Yeryüzünün homojen bir yapıda olmaması nedeniyle jeoidin karaların altında gidişi bilinmediğinden yeryüzündeki bir noktanın ortometrik yüksekliği doğrudan ölçülemez. Buna karşılık jeoidden başlayarak geometrik nivelmanla bir yükseklik bulunur.



Şekil2.2 Ortometrik yükseklik

i noktasının jeopotansiyel sayısı C

$$C = W_o - W \tag{2.9}$$

ve çekül eğrisinin i_o ve i arasındaki parçasının uzunluğu H ortometrik yükseklik olmak üzere

$$C = \int_0^H g dH \tag{2.10}$$

ifadesinde H açık olarak belirlenmek istenirse,

$$dc = -dw = gdH \tag{2.11}$$

$$dH = -\frac{dw}{g} = \frac{dc}{g} \tag{2.12}$$

$$H = -\int_{wo}^{w} \frac{dw}{g} = \int_0^c \frac{dc}{g} \tag{2.13}$$

olur.($(dw = (r\text{-}v)\ \frac{\vec{g}_1 - \vec{g}_2}{2}$) nivelman noktaları arasındaki potansiyel farklar)

Eşitliğini pratik kullanımı fazla değildir. Eşitlik düzenlenirse;

$$C = \int_0^H g dH = H \frac{1}{H} \int_0^H g dH$$

$$C = \bar{g} H : \bar{g} = \frac{1}{H} \int_0^H g dH \qquad (2.14)$$

şekline dönüşür. Burada $\bar{g}$, io noktası (jeoit) ile i (yeryüzü) arasındaki çekül eğrisi boyunca gravitenin ortalama değeridir. Ortamla $\bar{g}$ değerinin bilinmesi koşuluyla H' için

$$H = \frac{C}{\bar{g}} \qquad (2.15)$$

ifadesi çıkar.

İki nokta arasındaki ortometrik yükseklik farkı,

$$\Delta H_{ij} = H_j - H_i = \frac{\Delta Cij}{g} \; ; \; g = \gamma_0^{50} \qquad (2.16)$$

ile elde edilmiş olur. Bir noktanın ortometrik yüksekliği ölçü verilerine göre iki şekilde hesaplanabilir.

- Geometrik yükseklik farkından yararlanılarak
- Elipsoidal yükseklik farkından yararlanılarak

Geometrik yükseklik farklarından yararlanılarak

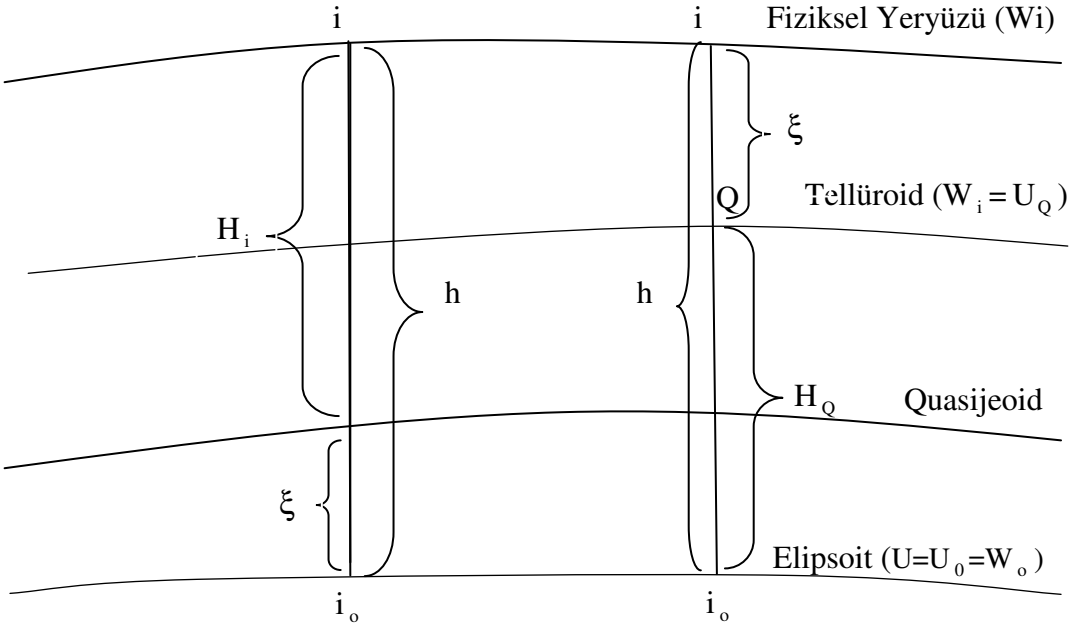
Ortometrik yükseklik belirlenmesinde geometrik yükseklik farkına ($\Delta H ij$) ortometrik düzeltme eklenerek elde elde edilir. Ortometrik düzeltme için ölçüm yapılan noktaların çekül eğrileri boyunca gravite dağılımı hakkında bilgiye ihtiyaç vardır. Bu nedenle ölçü bölgesinde gravite ölçümleri yapılarak ortometrik düzeltmeler hesaplanır.

Elipsoit yükseklik farkından yararlanılarak

Ortometrik yükseklik hesabı için jeoit ondülasyonlarına ihtiyaç vardır. Çekül eğrilerinin yeryüzü ile jeoit arasında kalan noktalarında ağırlıklarını ölçmek ya da $\vec{g}$ ortalama değerlerini ölçümle belirlemek olanaksız olduğundan gerçek ortometrik yükseklik hesaplanamamakta ancak yeryüzü ile jeoit arasında çekül eğrileri boyunca ağırlık değerlerinin dağılımına ilişkin varsayımla yaklaşık ortometrik (quasijeoide) göre yükseklikler elde edilebilmektedir.

2.4 Normal Yükseklikler (H^N)

Yeryuvarının gerçek gravite potansiyelinin normal gravite potansiyeline eşit olduğu, (W = U) yerin gerçek gravitesinin, normal graviteye eşit (g = ξ) ve dolayısıyla bozucu potansiyelin olmadığı (T= 0) varsayımına göre hesaplanmış yüksekliklerdir.



Şekil 2.3 Normal yükseklik

i noktasının gerçek potansiyeli W_i ve belli bir U_i normal gravite potansiyeli vardır. Genelde $W_i \neq U_i$ dir. i' nin normal çekül hattında normal gravite potansiyeli $U_Q = W_i$ olarak şekilde oluşan noktaların geometrik yerine Tellüroid denir. i noktasına karşılık tellüroid üzerindeki Q noktasından geçen normal gravite alanındaki çekül eğrisi boyunca, Q dan elipsoide kadar ölçülen uzaklık i noktasının Normal Yüksekliğidir. i' nin elipsoidden olan yüksekliği h ile normal yükseklikler

arasındaki fark yükseklik anomalisi (ξ) olarak tanımlanır. Yine normal gravite alanının çekül eğrisi boyunca fiziksel yeryüzünden normal yüksekliğe eşit uzaklıktaki noktaların geometrik yerine Quasijeoid, jeoide benzeyen ancak jeoidden birkaç dm sapan bir yüzeydir. Bir nivo yüzeyi değildir. Jeoidin aksine fiziksel bir önemi yoktur.

$$H = \xi + H_Q \neq H_l + \xi \tag{2.17}$$

Bu ifade de H (H_i , H_Q) yerine ortometrik yüksekliği (H), ξ yerine jeoit yüksekliğini (N) koymakla geometrik (Elipsoit Yüksekliği) çıkarılabilir. Ortometrik yükseklikler için çıkarılan ifadeler normal gravite alanında

$$Wo - W = C = \int_0^H \gamma dH \tag{2.18}$$

$$H = \int_0^C \frac{dc}{\gamma} \tag{2.19}$$

$$C = \bar{\gamma} H \tag{2.20}$$

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{H} \int_0^H \gamma dH \tag{2.21}$$

şeklinde olur. Burada $\bar{\gamma}$ ile çekül doğrusu boyunca ortalama normal gravite ifade edilmektedir. Uygulamada kolayca kullanılabilecek şekilde normal gravitenin yüksekliğe bağlı değişimi,

$$\gamma\ (H) = \gamma_0 \left[1 - \frac{2}{a}(1 + f + m - 2f \sin^2 \Phi)H + \frac{3}{a^3} H^2 \right] \tag{2.22}$$

$$\gamma_{o,i} = 978{,}0490 \left[1 + 0052884 \sin^2 \varphi_i - 0{,}0000059 \sin^2 2\varphi_i \right]$$

ile ortalama normal gravite,

$$\bar{\gamma} = \gamma_0 \left[1 - (1 + f + m - 2f \sin^2 \Phi) \frac{H}{a} + \frac{H^2}{a^2} \right] \qquad (2.23)$$

dolayısıyla normal yükseklik,

$$H = \frac{C}{\bar{\gamma}} \qquad (2.24)$$

ile hesaplanır (Yanar 1999).

Bu ifade de,

a: elipsoit yarı eksenini

f: basıklık oranını

$m = \frac{W^2 a}{\gamma_a}$; W: yerin açısal dönme hızı

γ_a : $\frac{KM}{ab}\left[1 - \frac{3}{2}m - \frac{3}{14}e'^2 m\right]$ ile belirlenen ekvatordaki normal gravitedir.

e' : ikinci eksentrisite

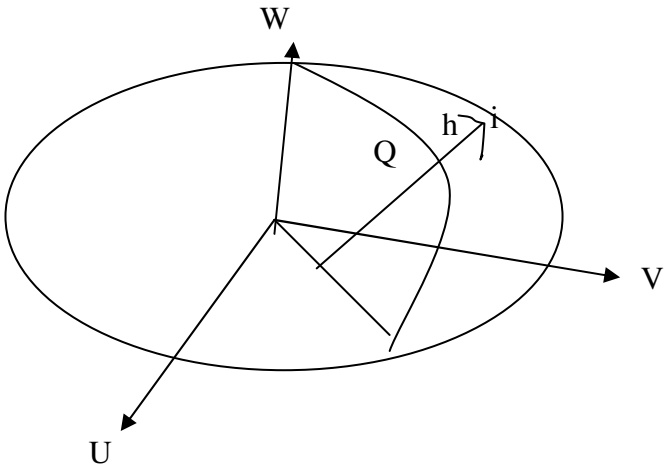
γ_0 : elipsoit üzerindeki gravite (ilgili Φ enleminde)

γ (H) : elipsoidden H kadar yükseklikteki normal gravite (ilgili Φ enleminde)dir (Yanar 1999).

Noktanın normal yüksekliği, geometrik ve elipsoidal yükseklik farklarından yararlanılarak iki şekilde bulunur.

2.5 Elipsoit Yükseklik (h)

Elipsoit yüksekliği; fiziksel yeryüzündeki bir P noktasının elipsoit normali boyunca elipsoit üzerindeki izdüşümü arasındaki uzaklıktır.



Şekil 2.4 Elipsoidal yükseklik

Elipsoit yüksekliğinin; dünyanın gravite alanıyla hiçbir ilişkisi olmayıp, kullanılan elipsoit parametreleriyle ve üzerinde tanımlanan jeodezik koordinat sistemi ile bağıntılıdır.

i noktasının elipsoit üzerindeki iz düşümü Q noktasıdır. Bu iz düşümü elipsoit yüksekliği h ile gösterilir. Elipsoit yüksekliği elde mevcut büyüklüklere göre (Jeoit Yüksekliği, Yükseklik Anomalisi) iki yöntemle elde edilir.

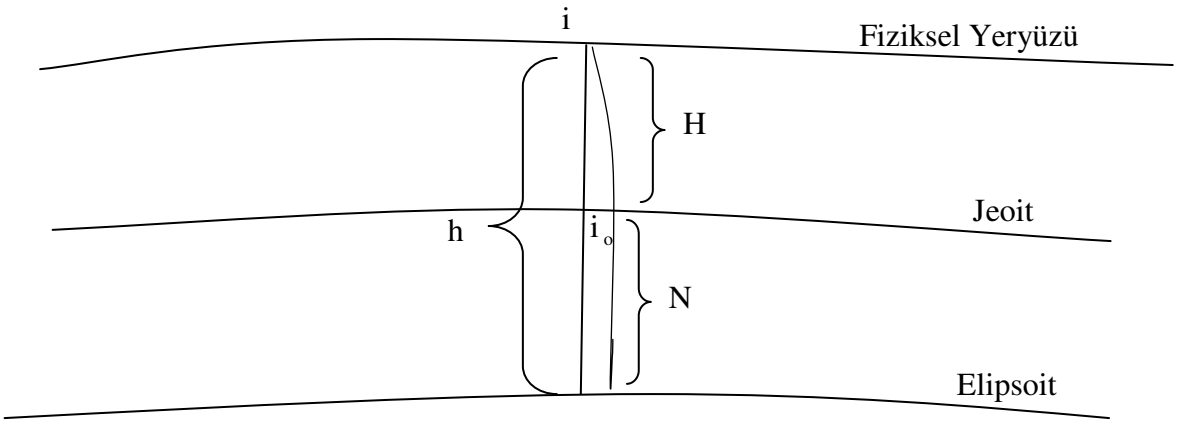
Doğal büyüklük yöntemi

Bu yöntemde elipsoit yüksekliği (h), jeoit yüksekliği (N) ve ortometrik yüksek

lik (H) olmak üzere

$$h \cong H + N$$

eşitliğinden elde edilir.



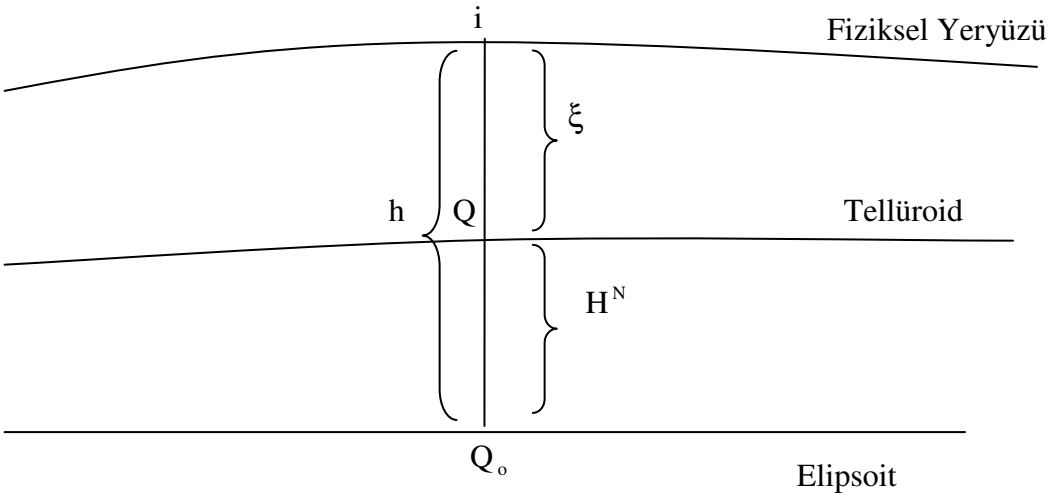
Şekil 2.5 Doğal büyüklük yöntemi

Standart büyüklükler yöntemi

Bu yöntemde elipsoit yüksekliği, yükseklik anomalisi (ξ) ve normal yükseklik (H^N) olmak üzere

$$h \cong H^N + \xi \qquad (2.27)$$

eşitliğinden elde edilmektedir.



Şekil 2.6 Standart büyükler yöntemi

3 YÜKSEKLİK BELİRLEME YÖNTEMLERİ (NİVELMAN)

Günümüzde, gerek bilimsel amaçlı gerekse mühendislik hizmetlerine yönelik uygulamalarda, noktaların yüksekliklerinin veya noktalar arası yükseklik faklarının belirlenmesi istenmektedir.

Yükseklik belirlenmesi için 1850'li yıllara kadar trigonometrik nivelman kullanılmıştır. Trigonometrik nivelmandaki refraksiyon hatası nedeniyle bu yöntem yerini geometrik nivelmana bırakmıştır.

20. yüzyılın başlarına kadar geometrik nivelmanda sadece silindirik düzeçli nivolar kullanılmakta iken daha sonraları kompansatörlü nivoların geliştirilmesiyle 1950'li yıllardan sonra bu tip nivolar kullanılmıştır. Kompansatörlü nivolardan sonra lazer ve elektronik nivolar geliştirilmiştir.

Prof. PESCEL tarafından 1962'de motorize geometrik nivelman tekniği geliştirilerek $\pm 2 \sim \pm 4$ mm$\sqrt{\text{km}}$ 'lik doğruluğa ulaşılmıştır.

1970'lerde Bahnert, gözleme uzunluklarını birkaç yüz metre ve açılar eş zamanlı karşılıklı olarak ölçülmesi, uzunluklarında elektronik uzunluk ölçerle kullanılması şartı ile trigonometrik nivelman tekniğini tekrar gündeme getirmiştir.

1936'lı yıllarda Hollanda'da Hidrostatik nivelman kullanılmıştır. Hidrostatik nivelman geliştirilerek hidrodinamik nivelmanda kullanılmıştır.

Günümüzde ise uydu bazlı konum belirleme tekniği olan GPS yaygın olarak kullanılmaktadır.

Aşağıdaki çizelgede yükseklik belirleme tekniklerinin tarihsel gelişimi çizelge 3.1 de verilmiştir (Ceylan 1993).

3.1 Geometrik Nivelman

Geometrik nivelmanın ölçme modeli, ölçü yüzeyi üzerinde oluşturulan; bölüm çizgileri oluşturulmuş yatay bir düzlemden olan düşey uzaklıkların ölçülmesi esasına

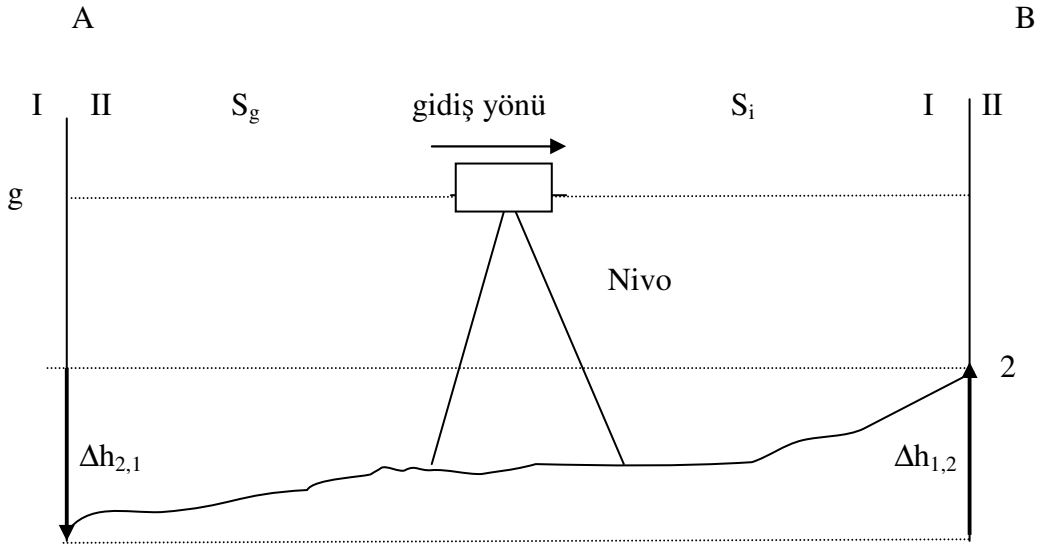
dayanır. Burada yatay düzlem için nivo aleti, düşey uzaklıkların ölçülmesi için ise miralar kullanılır.

Çizelge 3.1 Tarihsel gelişim

1850	1900	1950	1960	1970	1980	1990
Trigonometrik Yük. Bel	Sadece Dağlık Alanlarda				Trigonometrik Nivelman	
	Geometrik Niv		Kompansatörlü		Motorize	
						GPS
	Hidrostataik Nivelman					
	Hidrodinamik Nivelman					

3.1.1 Ana model

Geometrik nivelmanın ana modeli şekil 3,1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Geometrik nivelman ana modeli

Geometrik nivelman modeli oluşturulurken bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller:

- Yükseklik farkı belirlenecek noktalardan geçen nivo yüzeyleri ile nivonun gözleme düzlemi birbirine paralel düzlemlerdir.
- Bu noktalardan geçen düşey doğrular ile yatay düzlemler birbirine diktir.
- Nivelman ölçüleri sırasında miralar daima düşey konumdadır.
- Mira bölüm çizgilerinde, kesin olarak tanımlanmış uzunluk birimlerinden hiçbir sapma yoktur ve herhangi bir etki nedeniyle böyle bir sapma ortaya çıkmamaktadır.
- Herhangi iki nokta arasındaki yükseklik farkı bir vektördür. Bu vektörün doğrultusu düşey doğrultu ile çakışıktır. Yönü ise gidiş yönüne göre seçilir.

$\overrightarrow{\Delta h_{12}} \geq 0$ ise $\overrightarrow{\Delta h_{21}} \leq 0$

veya

$\overrightarrow{\Delta h_{12}} \leq 0$ ise $\overrightarrow{\Delta h_{21}} \geq 0$

- İki nokta arasındaki yükseklik farkı, söz konusu iki noktadan geçen nivo yüzeyleri arasındaki düşey uzaklığa eşittir.
- A ve B gibi birbirinden uzak iki sabit nokta arasındaki yükseklik farkını belirlemek için

$$\Delta H_{AB} = \Delta h_{A1} + \Delta h_{12} + \Delta h_{23} + ... + \Delta h_{nB} = \sum \Delta h \qquad (3.1)$$

yazılır.

3.1.2 Fonksiyonel model

Fonksiyonel model, bir istasyon noktasında yapılan geri okuma (g), ileri okuma (i); nivelman kenarında gidiş ölçmesi (G), dönüş ölçmesi (D) indisleriyle gösterilirse şekilden,

$$\Delta h_{12} = (g - i)_G \tag{3.2}$$

yazılır. Gidiş ölçmeleri için;

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_G = \sum \Delta h_G = \sum g_G - \sum i_G \tag{3.3}$$

Dönüş ölçmeleri için

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_D = \sum \Delta h_D = \sum g_D - \sum i_D \tag{3.4}$$

yazılır. Gidiş ve dönüş ölçmeleri arasında

$$\Delta H_G = -\Delta H_D \tag{3.5}$$

bağıntısı geçerlidir.

Nivelman yapılan noktaların yüksekliklerinin bulunabilmesi için en az bir noktanın yüksekliğinin bilinmesi gereklidir. Diğer noktaların yüksekliği ise;

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} = H_A + \Delta H_G \tag{3.6}$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

3.1.3 Geometrik nivelmanda önemli hata kaynakları

Nivelman ölçmelerindeki model hataları, yükseklik farkları ve buna bağlı olarak doğruluk kriterlerini etkilemektedir.

Nivelmanda oluşabilecek model hataları iki bölümde incelenebilir. Bunlar:

- Aletsel (Nivo ve Mira) Hatalar
- Çevresel Koşullardan Kaynaklanan Hatalar

3.1.3.1 Aletsel hatalar

Miralardan kaynaklanan hatalar

Nivelman ölçmelerinde ölçeklendirme elemanı olan miralardan kaynaklanan hataların nivelman sonuçlarına etkisi önemlidir. Miralardan kaynaklanan hataları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Miranın eğik tutulması hatası
- Mira çifti sıfır konum hatası
- Mira tabanının düzlem olmaması hatası
- Mira bölümlendirme hatası

Miranın eğik tutulması hatası

Nivelman ölçülerindeki ana modelde de olduğu gibi miralar daima düşey doğrultuda olması gerekir. Uygulamada ise mira üzerindeki küresel düzecin eksen şartının düzensizliği, rüzgarın şiddeti, miracının yorgunluğu veya dikkatsizliği v.b. nedenlerle mira düşey doğrultudan sapabilir. Miranın gözleme doğrultusundan ε kadar eğik olması her mira okumasında işareti daima pozitif olan bir hatanın oluşmasına neden olur. Bu hata formülü elde edilir.

$$dh = \frac{1}{2}\varepsilon^2 .M \qquad (3.7)$$

M: mira okuması, ε : miranın gözleme doğrultusunda düşeyden sapma açısıdır. Bu hatayı en aza indirmek için mira düzeci sık sık kontrol edilmelidir.

Mira çifti sıfır konum hatası

Miralara ait bölümlendirme çizgilerinin sıfır çizgilerinin farklı olması veya mira tabanının farklı aşınmaları nedeniyle mira tabanlarından değişik uzunlukta olmalarından kaynaklanmaktadır.

Mira çifti sıfır konum hatasının sabit olması durumunda nivelman kenarı ölçmelerinde istasyon noktası sayısı çift alınarak bu hatanın etkisi ortadan kaldırılabilir.

Mira tabanının düzlem olmaması hatası

Nivelmanda kullanılan miraların tabanı düzlem olmalıdır. Aksi taktirde nivelman ölçüleri sırasında mira tabanını rasgele konulması durumunda değişken sıfır konum hatası ortaya çıkar. Bu sebeple mira tabanının düzlem olmasına dikkat edilmelidir.

Mira bölümlendirme hatası

Mira bölüm çizgilerinin standart uzunluk birimlerinden olan sapmalarına mira bölümlendirme hatasını oluşturulur.

Mira bölümlendirilmesinde genellikle püskürtme boyama tekniği, kazıma tekniği, lazer- interferans komparatörü kullanılmaktadır. Püskürtme boyama tekniğinde kullanılan şablonların uç uca çakıştırılması ve her bir bölümlendirme sonucunda şablon üzerindeki boyaların temizlenmesi sırasında şablonun yıpranması nedeniyle, kazıma tekniğinde ise bölümlendirmede kullanılan frezenin adım genişliğinin 1 m olması ve kazıcı uçtaki düzensizlikler nedeniyle mira bölümlendirme hataları ortaya çıkmaktadır.

Mira üzerindeki her bir bölüm çizgisi için;

$$t_i = \overline{t_i} + e_i$$

yazılabilir. Burada:

t_i : bölümlendirme çizgisinin kesin değeri

$\overline{t_i}$: bölümlendirme çizgisinin okunan değeri

e_i : bölümlendirme hatası (düzetme)

Mira bölümlendirme hatası e_i için

$$e_i = a_o + a_1 t_1 + \text{diğer hata terimleri} + r_i$$

yazılabilir (Ceylan 1993).

Burada:

a_o : sıfır konum hatası

a_1 : ölçek hatası

r_i : rastlantısal bölümlendirme hatası

Bu hatanın ölçülere etkisi önemsiz kılmanın en güvenilir yolu her bir mira bölüm çizgisine ait e_i bölümlendirme hatasının belirlenmesi ve mira okumalarının

düzeltilmesidir. e_i bölümlendirme hataları laser-interferans komparatörü ile ve $\pm$4-5 μm doğrulukla belirlenebilmektedir.

Nivolardan kaynaklanan hatalar

Nivelman ölçmelerinde kabul edilen ana modeldeki varsayımlardan biriside nivo gözleme ekseninin yatay bir düzlem oluşturması ve bunun bir istasyon noktasında sabit kalmasıdır. Eğer gözleme ekseni yataydan sapar veya dürbün geri doğrultudan ileri doğrultuya döndürülürken gözleme ekseninde bir sıçrama meydana getirirse hatalı ölçüler yapılmış olur.

Nivolardan kaynaklanan hataları aşağıdaki ana başlıklar halinde sıralanabilir.

- Nivo gözleme ekseni şartının düzensizliği
- Kompansatörlü nivolarda artık kompansazyon hatası
- Küresel düzeç ekseni şartının düzensizliği

Nivo gözleme ekseni şartının düzensizliği

Nivolarda yatay gözlemeyi sağlayan donatımlar nivoyu gözleme eksenine paralelliğini tam olarak sağlamalıdır. Bu durum silindirik düzeçli nivolarda silindirik düzeç ile kompansatörlü nivolarda küresel düzecin ortalanmasıyla kompansatör tarafından sağlanır.

Bu şart sağlanmazsa nivo ile yapılan ölçmelerdeki mira okumaları eğik gözleme doğrultusunda yapılmış olur ve düzenli hata etkisi taşır.

Bir mira okumasındaki hata;

$P = S \frac{\gamma}{\rho}$ ile ifade edilir.

γ : gözleme ekseninin yataydan sapma açısı

S: gözleme uzaklığı

P: hata miktarıdır

Bu hatayı en aza indirmek için geri ve ileri okumaları eşit alınmalı ve nivo gözleme eksenleri şartı sık sık kontrol edilmelidir.

Kompansatörlü nivolarda artık kompansazyon hatası

Kompansatörlü nivolarda yatay gözleme şartı kompansatör ile sağlanır. Ancak kompasatörün dürbün içindeki konumunun zamanla değişmesi, kompansatör olarak görev yapan optik elemanları taşıyan telin zamanla yorulması, değişik gözleme uzaklıklarında netleştirme nedeniyle analitik noktanın, dolayısıyla yatayının değişmesi ve trafik, rüzgar v.b. dış etkiler nedeniyle kompansatör tam olarak çalışmaz ve gözleme ekseni düzensizliği olur.

Gözleme ekseni düzensizliği uygun yöntemlerle giderilebilir. Fakat geriye tek bir mira okumasında fark edilemeyen, kompansatörlü nivonun yapısında meydana gelen ve eksen kontrolleri ile giderilemeyen tek taraflı hata kalır. Bu hataya artık kompansazyon hatası veya eğik ufuk hatası denir. Bu hata schwartz veya kırmızı pantolon gözleme tekniği uygulanmak suretiyle giderilebilir.

Küresel düzeç eksen şartının düzensizliği

Nivolarda küresel düzeç eksen düzlemi asal eksene dik olmalıdır. Bu şart sağlanmazsa kullanılan nivonun türüne göre farklı hatalar oluşur. Silindirik düzeçli nivolarda yatay gözleme fenklaj vidası ile sağlandığından pek fazla etkili olmayabilir. Silindirik düzeç kabarcığına ortalamak güçleşir ve zaman kaybına neden olur. Kompansatörlü nivolarda ise kompasatörün tam olarak çalışması için asal eksen eğikliğinin belli bir değerden küçük olması gerekir. Aksi durumda kompansatör tam olarak görevini yapmaz ve gözleme düzlemi eğikliği ortaya çıkar. Diğer bir sakıncası da dürbünün geri doğrultusundan ileri mira doğrultusuna (veya tersi) döndürülürken gözleme doğrultusunda yükseklik sıçramasının ortaya çıkmasıdır. Kullanılan aletlerde küresel düzeç duyarlığı yüksek olanlar tercih edilmeli ve bu şart sık sık kontrol edilmelidir.

3.1.3.2 Dış ortamdan kaynaklanan hatalar

Nivelman ölçülerinde dış ortamın fiziksel parametrelerdeki değişmeler ölçmelerde hatalara neden olur. Bu hatalar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Nivo ve miranın çökmesi

- Sıcaklığın nivoya etkisi
- Sıcaklığın miraya etkisi
- Geomağnetik alanın kompansatörlü nivoya etkisi
- Gel – git etkisi
- Gravite alanının etkisi

Nivo ve miranın çökmesi hatası

Nivelman ölçmeleri sırasında alet kurulan veya mira tutulan zeminin fiziksel özellikleri, istasyon noktalarındaki ölçme ve istasyon noktası değiştirmede kullanılan mira tipi veya uygulanan gözleme sırasına bağlı olarak nivo ve miralar düşey yönde hareket edebilir. Bu düşey hareketlerin tamamı çökme hatasını oluşturur.

Çökme hatasının ölçme sonuçlarına etkisi kesin olarak belirlenemez. Bu hatanın en aza indirmenin yolu hatayı oluşturan nedenleri belirlemek bunların etkilerinin araştırılıp bu hataya karşı etkili uygun ölçme planı hazırlanmaktır.

Sıcaklığın nivoya etkisi

Sıcaklık değişmelerine bağlı olarak cisimler boyut değiştirirler. Bu durum nivolardaki optik ekseni etkiler. Bu etki iki grup altında incelenir.

- Ortam sıcaklığının ani değişiminin etkisi
- Güneş ışığının tek taraflı ve direk olarak nivoya gelmesi etkisi

Ani sıcaklık değişmeleri nivo gözleme doğrultusunda eğikliğe neden olur. Geri ve ileri gözleme uzaklıkları eşit alınması durumunda sapma açısı her iki yönde aynı olur ve etki kendiliğinden ortadan kalkar.

Güneş ışığının tek taraflı direk olarak nivoya gelmesi sonucu nivo gözleme doğrultusunu etkiler. Bu etki gözleme doğrultusu ile güneş ışığının doğrultusu arasındaki farka bağlıdır. Sıcaklığın etkisini azaltmak için nivo bir şemsiye ile korunur ve ölçüler hızlıca yapılır (Ceylan 1993).

Sıcaklığın miraya etkisi

Miralara sıcaklığın etkisi iki faklı türdedir. Mira kalibrasyon sıcaklığı ile nivelman sırasındaki miraların sıcaklığı arasındaki farktan dolayı oluşan hatadır. İkinci hata ise nivelman ölçmeleri sırasında güneş ışığı miraların birinin ön yüzüne diğer miranın arka yüzüne etkilerse birinci mira güneş ışığına doğrudan maruz kalırken diğer miranın bölümlendirme çizgileri gölgede kalmaktadır ve miralar arasında sıcaklık farkı oluşmaktadır.

Bu etkiyi azaltmak için genleşme katsayıları yeterli doğrulukta belirlenmeli ve düzeltme olarak getirilmelidir.

Geomağnetik alanın kompanstörlü nivoya etkisi

Kompansatörlü nivolarda sarkaç salınımı gravite etkisiyle düşey doğrultuda denge konumuna gelir. Nivo gözleme ekseni sarkaç ile dik açı yapacak şekilde bağlanmıştır. Bunun anlamı ise diğer hatalar ihmal edilerek gözleme ekseni tam olarak yataylanır. Fakat sarkaç gravite etkisiyle birlikte geomağnetik alandan da etkilenir . Bu ise kompanstörün hata yapmasına neden olur. Hatanın büyüklüğü ve yönü kompanstörün yapısına ve yapısını oluşturan materyalin özelliklerine bağlıdır. Geomağnetik alanın yatay bileşeni ile nivonun gözleme doğrultusu paralel olduğunda sapma maksimum olur (Ceylan 1993).

Bu hatanın giderilmesi kolay olmamaktadır. Çünkü gözleme doğrultusunun mağnetik kuzeyle yapmış olduğu açıya bağlı olarak değişmektedir. Bu hatadan uzaklaşmanın en etkili yolu geomağnetik alanda etkilenmeyen (nonmağnetik) kompansatörlü nivolar kullanılır.

Gel – git etkisi

Nivolarda yatay gözleme silindirik düzeç veya kompanstör yardımıyla sağlanır ve gözlem ekseni çekül doğrultusuna dik konuma getirilir. Çekül doğrultusu güneş ve ay kütlelerinin ortaya çıkardığı ve zamanla değişim gösteren gel-git kuvveti etkisi altındadır. Bu nedenle çekül doğrultusu küçük bir açısal sapma gösterir. Dolayısıyla ölçüler o istasyon noktasına ait gerçek gravite vektörüyle yürütülemez.

Düşey refraksiyonun etkisi

Nivelmanda gözleme ışını farklı kırılma indislerine sahip atmosfer tabakalarından geçerken bilinen kırılma kanunlarına bağlı olarak ışın yolu eğrilerek nivoya ulaşır. Fiziksel yapı faklılığı gösteren düz bir nivelman kenarında refraksiyonun etkisi tüm mira okumalarında yaklaşık aynı büyüklüktedir. Dolayısıyla yükseklik farkının bu hatalardan etkilenmesi rasgele özelliği taşır. Sabit eğimli arazilerde ise nivelman kenarında yapılan ölçmelerde yere yakın mira okumaları yerden uzakta olanlara göre refraksiyon hatasından çok daha fazla etkilenir. Bu nedenle büyük ölçüde hata birikimi oluşur. Ölçüler genellikle sıcaklığın düşey değişiminin $(dt / dh < 0)$ negatif olduğu zamanlarda yapıldığından, pozitif yükseklik farkları olması gerekenden daha küçük, negatif yükseklik farklarında ise daha büyük olarak bulunur. Bu nedenle bu hata benzer atmosfer koşullarında yapılan gidiş – dönüş ölçüleriyle ortadan kaldırılamaz. Bu hata etkisi ölçülere sonradan düzeltme getirilerek giderilebilir. Ancak pratik uygulamalarda ölçülere sonradan hesapla düzeltme getirme yerine dönüş ölçüleri sıcaklığın düşey dağılımının ters işaretli olduğu farklı atmosfer koşullarında yapılarak bu hata giderilmektedir.

3.2 Trigonometrik Nivelman

Trigonometrik nivelmanda düşey açı gözlemleri ve yatay uzunluklar kullanılarak iki nokta arasındaki yükseklik farkı hesaplanır. Düşey açı gözlemleri için teodolit, yatay uzunluklar elektronik uzaklık ölçerler kullanılır.

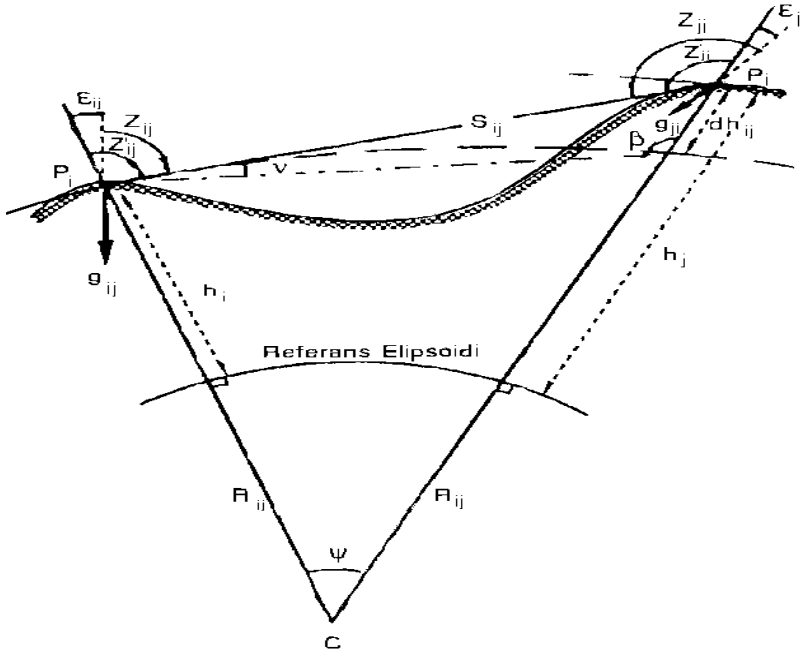
Trigonometrik nivelmanda kullanılan yöntemler iki başlık altında incelenir.

1. Karşılıklı ve eş zamanlı gözlemler ile trigonometrik nivelman
2. Atlamalı (Ortadan) gözlemler ile trigonometrik nivelman

3.2.1 Karşılıklı ve eşzamanlı trigonometrik nivelman

Düşey açı gözlemlerinin her iki yönde aynı anda yapıldığı ve teodolit üzerine hedef levhalarının monte edildiği ayrıca eğik uzunlukların ölçülmesi için de elektronik uzaklık ölçerler ve yansıtıcının da monte edilmesine olanak verecek özel

donanımlara gerek vardır. Karşılıklı trigonometrik nivelmanın ölçme modeli şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Karşılıklı trigonometrik nivelman

Şekil 3.2'de;

Z_{ij} ve Z_{ji} : İstasyon noktalarından yere indirilen düşey açılar.

Z'_{ij} ve Z'_{ji} : Elipsoidal düşey açılar.

S_{ij} : Eğik uzaklığı

ε_{ij} ve ε_{ji} : Çekül sapmaları

g_{ij} ve g_{ji} : Gravite vektörlerini

R_{ij} : Referans elipsoidin eğrilik yarı çapı

dh_{ij} elipsoidal yükseklik farkı için P_i ve P_j' ye yapılan gözlemler yardımıyla

$$dh_{ij} = S_{ij} \cos Z'_{ij} + \frac{S^2_{ij} \sin^2 Z'_{ij}}{2(R_{ij} + h_i)} \qquad (3.8)$$

P_j' den P_i' ye yapılan gözlemlerden

$$dh_{ij} = - dh_{ji} = -S_{ij}\cos Z'_{ji} - \frac{S^2_{ij}\sin^2 Z'_{ji}}{2(R_{ij} + h_j)} \qquad (3.9)$$

yazılabilir (Ceylan 1993).

Yeterli bir yaklaşımla; $\sin^2 Z'_{ji} \cong \sin^2 Z'_{ij}$ kabul edilir ve (3,9) yerine konursa

$$dh_{ij} = -S_{ij}\cos Z'_{ji} - \frac{S^2_{ij}\sin^2 Z'_{ij}}{2(R_{ij} + h_j)} \qquad (3.10)$$

(3.8) ve (3.9) bağıntısının ortalaması alınarak

$$dh_{ij} = \frac{S_{ij}}{2}(\cos Z'_{ij} - \cos Z'_{ji}) + \frac{S^2_{ij}\sin^2 Z'_{ij}}{4}\left(\frac{1}{R_{ij} + h_i} - \frac{1}{R_{ij} + h_j}\right) \qquad (3.11)$$

elde edilir.

(3.11) bağıntısının ikinci terimin ihmali S_{ij} = 3000 m ve dh_{ij} = 1000 m için 0.1 mm den daha az bir hataya neden olmaktadır. Buna göre

$$dh_{ij} = \frac{S_{ij}}{2}(\cos Z'_{ij} - \cos Z'_{ji}) \qquad (3.12)$$

olur.

Şekilden elipsoidal düşey açılar;

$$Z'_{ij} = Z_{ij} + \varepsilon_{ij} \qquad (3.13)$$

$$Z'_{ji} = Z_{ji} - \varepsilon_{ji}$$

yazılabilir.

(3.15)bağıntısı (3.14) de yerine konulursa;

$$dh_{ij} = \frac{S_{ij}}{2}(\cos Z_{ij} - \cos Z_{ji}) - \frac{Sij\sin Z_{ij}}{2}(\varepsilon_{ij} + \varepsilon_{ij}) \qquad (3.14)$$

olur.

Yeterli bir yaklaşımla $\sin Z_{ij} \cong \sin Z_{ji}$ kabul edilir ve (3.14) de yerine konulursa;

$$dh_{ij} = dH^{K}_{ij} - \frac{S^{2}_{ij} \sin Z_{ij}}{2} (\varepsilon_{ij} + \varepsilon_{ji}) \qquad (3.15)$$

olur.

(3.15) bağıntısındaki, dH^{K}_{ij} normal yükseklik farkı,

$$dH^{K}_{ij} = \frac{S^{2}_{ij}}{2} (\cos Z_{ij} - \cos Z_{ji}) \qquad (3.16)$$

olur (Ceylan 1993).

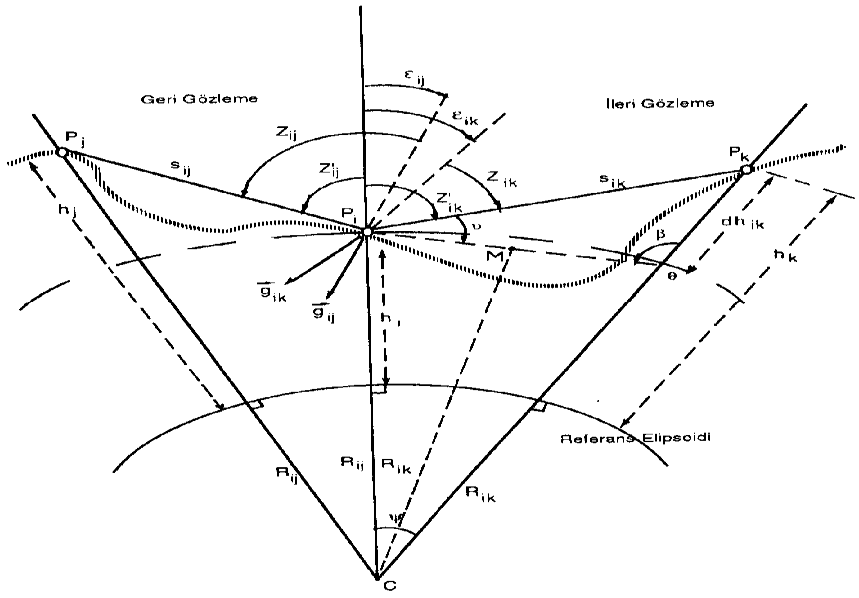
3.2.2 Ortadan (atlamalı) gözlemli trigonometrik nivelman

Geometrik nivelmana benzer bir şekilde alet geri ve ileri hedeflerin arasına kurulur. Bu teknikte kullanılan nivelman miralarının üzerine, düşey açı gözlemleri ve uzaklık ölçmeleri için yansıtıcı ve hedef levhaları yerleştirilmelidir. Ortadan trigonometrik nivelmanın ölçme modeli şekil 3.3'de gösterilmiştir.

Şekil 3,3'de;

Z_{ij} ve Z_{ik} : P_i istasyon noktasından P_j ve P_k noktasında gözlenen yere indirgenen düşey açıları,

S_{ij} ve S_{ik} : P_i istasyon noktasından P_j ve P_k noktalarına ölçülen eğik uzunlukları,



Şekil 3.3.Ortadan trigonometrik nivelman

g_{ij} : P_i ve P_j noktalarına ait bileşke gravite vektörünü

g_{ik} : P_i ve P_k noktalarına ait bileşke gravite vektörönü

ε_{ij} ve ε_{ik} : Bileşke çekül sapmalarını

Z'_{ij} ve Z'_{ik} : Elipsoidal düşey açıları

h_i, h_j ve h_k : P_i, P_j ve P_k noktalarının elipsoidal yüksekliğini

R_{ij} ve R_{ik} : Elipsoidal eğrilik yarıçaplarını göstermektedir.

Şekilden P_iMC üçgeninden

$$\nu = \frac{\pi}{2} + \frac{\psi}{2} - Z'_{ik}$$

QMC üçgeninden

$$\beta = \frac{\pi}{2} + \frac{\psi}{2}$$

QP_iP_k üçgeninden sinüs teoremine göre;

$$dh_{ik} = S_{ik} \cos Z'_{ik} + \frac{S_{ik} \sin \frac{\psi}{2} \sin Z'_{ik}}{\cos \frac{\psi}{2}} \qquad (3.17)$$

yazılabilir (Ceylan 1993).

Kısa uzaklıklı trigonometrik nivelmanda gözleme uzaklıkları 1000 m' yi geçmediğine göre $\frac{\psi}{2}$ açısı çok küçük değerde olacaktır. Buna göre yeterli bir yaklaşıklıkla,

$$\sin \frac{\psi}{2} \cong \frac{\psi}{2}$$

ve

$$\cos \frac{\psi}{2} \cong 1 \qquad (3.18)$$

kabul edilir. Bu kabulden dolayı 5000 m'lik bir uzunluk için maksimum hata 0,2 mm den küçük olmaktadır.

(3.18) deki kabul (3.17) de yerine konulursa

$$dh_{ik} = S_{ik} \cos Z'_{ik} + S_{ik} \frac{\psi}{2} \sin Z'_{ik} \qquad (3.19)$$

olur. Ayrıca $P_i CP_k$ üçgeninden

$$\sin \psi = \frac{S_{ik}}{R_{ik} + h_k} \sin Z'_{ik} \qquad (3.20)$$

yazılabilir.

$\sin \psi \cong \psi$ alınması 5000 m'lik bir uzunluk için 10^{-3} den daha az bir hataya neden olmaktadır. Ayrıca $(R_{ik} + h_k)$ ve $(R_{ik} + h_j)$ yerine R_m Gauss eğrilik yarıçapı alınabilir. Bu kabulle (3.20) bağıntısı,

$$\psi \cong \frac{S_{ik}}{R_m} \sin Z'_{ik} \tag{3.21}$$

şeklinde olur. (3.21) bağıntısı (3.19) bağıntısında yerine konulursa;

$$dh_{ik} = S_{ik} \cos Z'_{ik} + \frac{S^2_{ik} \sin^2 Z'_{ik}}{2R_m} \tag{3.22}$$

olur. Benzer şekilde geri gözlem için de

$$dh_{ij} = S_{ij} \cos Z'_{ij} + \frac{S^2_{ij} \sin^2 Z'_{ij}}{2R_m} \tag{3.23}$$

yazılır.

P_j ve P_k noktaları arasındaki dh_{jk} elipsoidal yükseklik farkı;

$$dh_{ij} = dh_{ji} + dh_{ik}$$

olur.

$dh_{ji} = -dh_{ij}$ olduğu dikkate alınarak (3.22) ve (3.23) den

$$dh_{jk} = (S_{ik} \cos Z'_{ik} - S_{ij} \cos Z'_{ik}) + \frac{1}{2R_m}(S^2_{ik} \sin^2 Z'_{ik} - S^2_{ij} \sin^2 Z'_{ij}) \tag{3.24}$$

bulunur.

Şekil 3.3 ten

$$Z'_{ik} = Z_{ik} + \varepsilon_{ik} \tag{3.25}$$

$$Z'_{ij} = Z_{ij} - \varepsilon_{ij}$$

yazılabilir.

(3.25) bağıntısı (3.24) bağıntısında yerine konulursa;

$$dh_{jk} = (S_{ik}\cos Z_{ik} - S_{ij}\cos Z_{ij}) - (S_{ik}\sin Z_{ik}\,\varepsilon_{ik} + S_{ij}\sin Z_{ij}\,\varepsilon_{ij}) + \frac{1}{2R_m}(S^2{}_{ik}\sin^2 Z_{ik} - S^2{}_{ij}\sin^2 Z_{ij}) \quad (3.26)$$

olur.

Uygulamada (3.26) bağıntısı

$$dh_{jk} = dH^A_{jk} - (S_{ik}\sin Z_{ik}\,\varepsilon_{ik} + S_{ij}\sin Z_{ij}\,\varepsilon_{ij}) \quad (3.27)$$

şeklinde yazılır. Burada;

$$dH^A_{jk} = S_{ik}\cos Z_{ik} - S_{ij}\cos Z_{ij} + \frac{1}{2Rm}(S^2{}_{ik}\sin^2 Z_{ik} - S^2{}_{ik}\,ij\sin^2 Z_{ij}) \quad (3.28)$$

(3.28) bağıntısındaki birinci terim normal yükseklik farkı, ikinci terim ise yer eğriliği düzeltmesidir. Sik $\cong$ Sij için bu düzeltme çok küçük bir değerdir ve ihmal edilebilir.

(3.27) bağıntısındaki ikinci terim çekül sapmalarının gözleme doğrultusundaki bileşenlerin sonuca etkisini gösterir. Uygulamada εij ve εik çekül sapması bileşenleri çoğu kez bilinmez. Bu nedenle (3.27) bağıntısındaki ikinci terim hesaplanamaz ve önemli bir düzenli hata kaynağı ortaya çıkar (Ceylan 1993).

3.2.3 Trigonometrik nivelmanda hata kaynakları

Trigonometrik nivelmanda hata kaynakları iki grupta toplanabilir. Bunlar:

1. Aletsel Hata Kaynakları
2. Diğer Hatalar

3.2.3.1 Aletsel hatalar

- Uzunluk ölçmelerindeki hatalar
- Düşey açı gözlemlerindeki hatalar
- Miralardan kaynaklanan hatalar

biçiminde sıralanır.

Uzunluk ölçmelerindeki hatalar

Uzunluk ölçümünde, trigonometrik nivelmanda kullanılan kısa mesafeli elektro-optik uzaklık ölçerlerdeki hatalar incelenir. Bu aletlerde uzunluktan bağımsız ve uzunluğa bağımlı etkilerin toplamı olarak bir uzunluk ölçmesinin karesel ortalama hatası;

$$ms = \pm \sqrt{a^2 + b^2.S^2}$$

a : uzunluktan bağımsız hataların toplamı

b : uzunluğa bağlı hataların toplamı

S : ölçülen uzunluk

Kısa mesafe elektro-optik uzaklık ölçmelerindeki hatalar dört ana grupta incelenir.

Düzenli ölçek hataları

Uzunluktan bağımsız düzenli hatalar

Uzunluğa bağımlı periyodik olmayan düzenli hatalar

Uzunluğa bağımlı periyodik olmayan düzenli hatalar

şeklinde sıralanır.

Düşey açı gözleme hataları

Düşey açı gözleme hataları ise üç grupta incelenir.

- Uygun gözleme yöntemleriyle elimine edilebilen veya minimuma indirilebilen düzenli hatalar
- Kalibrasyonla giderilebilen düzenli hatalar
- Giderilemeyen rastlantısal hatalar

- Düşey açı gözlemlerinde teodolitten kaynaklanan hatalar ve özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.2 Açı ölçme hataları

Hata Kaynakları	Etkisi	Hataya Karşı Etkili Method
Gözleme çizgisinin eğikliği	Düzenli	Ölçülerin hep ayını kişi tarafından ve yatay gözleme çizgilerinin aynı noktası ile yapılması
Düşey kolimasyon hatası	Düzenli	Dürbünün 1. ve 2. durumun da gözlem yapma
Muylu eksenin eğikliği	Düzenli	Dürbünün 1. ve 2. durumunda gözlem yapmak
Optik mikrometre büyütmeme hatası	Düzenli	Kalibrasyon
Cyclıc hatası	Düzenli	Kalibrasyon
Düşey daire bölümlendirmesi uzun periyodik hata	Düzenli	Kalibrasyon
Kısa periyodik hata	Düzenli	Kalibrasyon

Miralardan kaynaklanan hatalar

Miralardan kaynaklanan hatalar, ortadan trigonometrik nivelmanda kullanılan her iki mira üzerine düşey açı gözlemleri için hedef levhaları ve uzaklık ölçmeleri içinde yansıtıcı monte edilir. Burada mira ile ilgili iki düzenli hata kaynağından söz edilir.

- Miranın eğik tutulması
- Miranın sıcaklıklı genleşmesi

3.2.3.2 Diğer Hata Kaynakları

Çekül sapmasının etkisi ve atmosferik refraksiyon etkisi diğer hata kaynaklarını oluşturmaktadır.

Çekül sapması, gözleme istasyonlarındaki çekül sapmaları biliniyorsa elipsoidal yükseklik farkları hesaplanabilir. Çoğu zaman çekül sapmaları bilinmez ve bu nedenle de hesaplamalarda dikkate alınmaz. Bu durumda, düzeltilmiş trigonometrik farkların indirgenmemiş geometrik nivelmana eşit olması istenir. Bu nedenle geometrik nivelman ve trigonometrik nivelmanın fiziksel özellikleri incelenir.

Ortadan atlamalı ve karşılıklı trigonometrik nivelman ile geometrik nivelmanın incelenmesi sonucu elde edilen hata büyüklüklerinin eşit çıkmasından sonuç üzerinde olumsuz bir etki oluşturmadığı anlaşılır.

Atmosferik refraksiyon etkisinin incelenmesi sonucu $S \leq 200$ m' lik gözleme uzaklıklarında karşılıklı ve eş zamanlı trigonometrik nivelmanın düzenli refraksiyon hatasından etkilenmediği, atlamalı yöntemde ise hatanın ihmal edilecek kadar küçük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1.5 m ve 4.5 m arası değişen hedef yüksekliklerinde ve farkı atmosfer koşullarında yapılan ölçmeler sonucunda refraksiyon hatasının rastlantısal olması için en uygun zaman günün 10.00 ile 16.00 saatleri arasında olduğu belirlenmiştir (Ceylan 1993).

3.3 Barometrik Yükseklik Belirlenmesi

Barometrik yükseklik belirlemesi, yüksekliğe çıkıldıkça hava basıncının düşmesi esasına dayanır. Barometreler civalı ve aneroid (medeni) olmak üzere iki çeşittir.

Civalı barometrelerde basınç, havası boşaltılmış bir boru içerisinde bulunan civa sütunu ile madeni barometrelerle ise havası boşaltılmış bir madeni kutunun hava basıncı altındaki hareketleri yardımıyla ölçülür.

Deniz seviyesindeki hava basıncı 760 mm lık civa sütununa eşittir. Yükseklere çıkıldıkça hava basıncı ve civa seviyesi düşer. Deniz seviyesinde ve 20 derecelik ısıda yaklaşık olarak her 11 metre yükseklik için civa düzeyi 1 mm düşer. Ancak yükseklere çıkıldıkça bu miktar değişir. 3000 metrede civa sütununun 1 mm düşmesi için yaklaşık olarak 14 metre yüksekliğe çıkmak gerekir.

4 GPS VE GPS NİVELMAN

Uydu bazlı konum belirleme tekniği olan GPS (Global Positioning System) ABD tarafından geliştirilmiştir. 04 Ekim 1957 tarihinde ilk yapay uydu olan SPUTNİK–1' in uzaya fırlatılmasıyla, uzay jeodezisi, jeodezi bilimi içerisinde önemli bir yer almaya başlamıştır. 1960'lı yıllarda günümüz modern konum belirleme teknolojisi kurulmaya başlanmıştır ve TRANSIT olarak sistem adlandırılmıştır. TRANSİT sistemi, ABD silahlı kuvvetleri tarafından geliştirilmiş olup uçak ve askeri araçların koordinatlarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. 1967 yılından sonra sistem sivil kullanıcılara açılmış ve bu tarihten sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.1980'li yıllarda uzay çalışmaları ve hesaplama tekniğindeki hızlı gelişmeler GPS' in günlük yaşama girmesini sağlamıştır.

GPS, TRANSİT sisteminin bazı zayıf yönlerini ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. TRANSİT sisteminde, bir uydunun aynı enlemde iki geçişi arasında yaklaşık 90 dakikalık zaman farkı vardı, bu nedenle ölçücü uydunun iki geçişi arasındaki zaman için enterpole yapmak zorundaydı. Ayrıca TRANSİT sistemi navigasyon bilgisi konusunda yetersiz kalmaktaydı. Bir kaç günlük doppler ölçüsü yapılarak ancak desimetre mertebesinde doğruluk elde edilmekteydi. TRANSİT sistemindeki eksikliklerin giderilmesi ve her türlü hava koşullarında sürekli gözlem yapılabilecek ve anlık konum bilgisiyle, doğru konum belirlemeyi sağlayacak bir sistem oluşturulması gereksinimi ile GPS kurulmuştur.

GPS, her türlü hava koşulunda, gece ve gündüz ayrımı olmadan, global bir koordinat sisteminde, yüksek duyarlılıkta anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine olanak veren bir radyo navigasyon sistemidir.

GPS ile kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, jeodezik ve jeodinamik amaçlı ölçmeler, araç takip sistemleri, uçakların olumsuz hava şartlarında iniş ve kalkışları, CBS verilerinin geliştirilmesi, kadastrol ölçmeler, kinematik GPS destekli fotogrametrik çalışmalar v.b. pek çok kullanım alanı vardır.

GPS' in eksik yönü ise alıcı antenin bir engel ile kapanmasıdır. GPS sinyalleri radyo sinyalleri gibi kuvvetli olmadığından kapalı yerlerde, çok sık ağaçlı bölgelerde ve madenlerde kullanılamaz.

4.1 GPS' in Bölümleri

GPS üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar uyduların bulunduğu uzay bölümü, sistemin yönetildiği kontrol bölümü ve alıcıların bulunduğu kullanıcı bölümüdür.

4.1.1 Kullanıcı bölümü

Kullanıcı bölümü, GPS sinyallerini konum bilgisine dönüştürmek için gerekli aletlerden (alıcı+anten sistemi) oluşturmaktadır. GPS sistemi karada, havada, denizde ve uzayda kullanılabilen alıcı (receiver) setleriyle sınırsız sayıda kullanıcıya hizmet verebilmektedir. Bu alıcı seti genel olarak alıcı anteni, alıcı, ekran ünitesi (control display unıt), veri işlemcisi (data processor) ve güç kaynağı bölümlerinden oluşur.

Günümüzde çok çeşitli ve değişik amaçlı alıcılar mevcut olup, bunlara, TI–4100, ROGUE, ASTECH, TRIMBLE 4000 SERİES, WM 101/102, WILD GPS SYSTEM–200, MACROMETER V–1000 SURVEYOR, MINIMAC 2816 AT örnek verilebilir.

4.1.2 Uzay bölümü

GPS sistemi farklı 6 düzlemdeki (Düzlemler arası faz farkı 40°) yörüngelerde dönen 24 uydudan oluşmaktadır. Uydular, eğikliği (inclination) 55° olan dairesel yörüngeler üzerinde hareket etmektedir. Periyotları 12 saat ve yükseklikleri yaklaşık 20000 km' dir. Bu uyduların tasarımdaki yaşam süresi yaklaşık 5–7 yıldır (Eren ve Uzel 1995).

Bu bölüm, modülasyonlu L1 ve L2 frekanslarında sinyal yayınlayan uydulardan oluşmaktadır. Her bir uydu, senkronize zaman ve tüm diğer uydulara ait (x^s, y^s, z^s, t^s) konum bilgilerini, yörünge parametrelerine ilişkin bilgileri iki taşıyıcı frekans (L_1, L_2) üzerinde kodlanmış olarak yayınlamaktadır.

NAVSTAR GPS uyduları genel olarak iki şekilde tanımlanmakta olup birinci şekilde, her bir uyduya belirli bir PRN (Pseudo Random Noise) numarası verilmiştir. Bu kod, alıcının uyduları izlerken birbirinden ayırt edilmesine yaramaktadır. İkincisinde ise her bir uyduya yörüngeye oturtulduğu sırayı gösteren bir rakam verilmiştir. Örneğin NAVSTAR 1 yörüngeye oturtulan ilk uydu, NAVSTAR 8 yörüngeye 8. sırada oturtulan uyduyu göstermektedir.

PRN sayıları haftalık (GPS haftası) rakamlar olup, örneğin PRN 13'ün anlamı "13 numaralı uydu PRN kodunun 13. haftasına ait bilgileri yayınlamaktadır" demektir. Ancak PRN numarası atanmamış haftalara ait bilgiler ise yer istasyonlarından alınmaktadır.

GPS uyduları, 11 adetten oluşan Blok-I uyduları 1978–1985 döneminde, 28 adet Blok-II uyduları 1989–1995 döneminde, 20 adet Blok-IIR (yenileme) ve IIR-M uyduları 1996-2005 döneminde ve ortalama 10 adet Blok-IIF (Folow-on) uydusu 2006 ve sonrasında insanlı ve insansız uzay araçları ile yörüngeye konulmuştur.

GPS uydularının yeni serisinin (Blok-III) 2011/2012 yıllarında yörüngeye konulması planlanmıştır (HGK 2006).

BLOK-II uydularının yaklaşık 7.5yıl, BLOK-IIR uydularının ise yaklaşık 10 yıl ömrü vardır. Uyduların blok ve numaraları aşağıdaki gibidir (Eren ve Uzel 1995).

Blok-I: 1,2,3,4,5,6,7,8,9

Blok-II: 12,13,14,15,16,17,18,19, 20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,31

BLOK-II uydularının BLOK-I uydularından farkı,

180 günlük navigasyon mesajını kapsamaları

S/A (selectivite aviilability) ve A-S (anti spoofing) imkanına sahip olmaları

Belirli hata durumlarını otomatik olarak tespit edebilme özelliklerine sahip olmalarıdır.

BLOK-II uydularının yörünge düzlemleri ekvator ile 55°lik açı yapmakta ve yörüngeler 60° aralıklardadır. BLOK II uyduları yörünge düzlemine öyle

yerleştirilmişlerdir ki, böylece yeryüzünün her hangi bir yerinde en az 4 uydu izlenebilme olanağı sağlanmış olmaktadır (Kahveci 1993).

BLOK-IIR uydularının da BLOK-II uydularına göre bazı üstünlükleri vardır. Bunlar,

Daha duyarlı automatik saatlerin (hydrogen masers) olması

Uydudan uyduya izleme ve haberleşme olanaklarının olmasıdır.

Uydular yörüngeyi $11^h\ 58^m\ 0^s$ de tamamlamaktadır. Bunun sonucu olarak yeryüzündeki bir gözlemci hergün aynı uyduyu yaklaşık 4^m erken gözleyecektir. Bunun nedeni ise söz konusu $11^h\,58^m$ lik süre yıldız zamanı (sideral time) olup, yıldız zamanından (solar time) yaklaşık 4^m ($3^m\,55.9^s$) daha kısa olmasıdır (Kahveci 1993).

4.1.3 Kontrol bölümü

Kontrol birimi (OCS-operational control system), uyduların ve sistemin tümüyle çalışmasını sağlamak ve izlemek için kurulan yer istasyonlarından oluşturmaktadır. Amerika Askeri Harita Kurumu (DMA) (Defence Mapping Agency) tarafından geliştirilen sistem, 1985 yılında çalışmaya başlamıştır. Sistem aşağıda belirtilen birimlerden oluşmaktadır.

İzleme istasyonları (MS-monitor station): GPS uydularını sürekli izlemek üzere, Kwajalein (Doğu Avusturalya), Diegü Garcia (Doğu Afrika), Ascennsion (Batı Afrika), Hawaii ve Falcon Air Force istasyonları (ABD) uyduları sürekli izleyerek yörüngelerini hesaplayan 5 yer istasyonudur. Her istasyon 1.5^s aralıklarla yaptıkları pseudorange ölçülerini, iyonosferik ve meteorolojik verilerle biraraya getirir ve hepsini ana kontrol istasyonuna gönderir.

Ana kontrol istasyonu (MCS-master control station): İzleme istasyonlarından gelen verileri toplar. Yeni uydu yörünge elemanları (efemeris ve saat bilgileri) her bir GPS uydusuna tekrar yüklenmek üzere, ana kontrol istasyonları tarafından yer kontrol istasyonlarına gönderilir.

Yer istasyonları (GA-ground antennas): GPS uydularından gelen bilgileri toplayan ve ana kontrol istasyonundan gelen bilgeleri her saatte bir uydulara yükleyen ve 3 antenden oluşan S-Band tesisleridir.

4.2 GPS' te Hata Kaynakları

GPS ölçülerini etkileyen sapmalar (bias)ve sistematik hatalar genel olarak 4 grup altında incelenmekte olup bunlar:

1-Uydulara bağımlı sapmalar

- Yörünge modellendirmedeki sapmalar
- Uydu saati modellendirilmesindeki hatalar

2-Ölçü noktasına bağlı sapmalar

- Alıcı saati sapmaları
- Ölçü noktası koordinatlarından kaynaklanan sapmalar

3-Ölçülere bağımlı sapmalar

- İyonosferik gecikme etkisi
- Troposferik gecikme etkisi
- Taşıyıcı dalga faz başlangıç bilinmeyeni

4-Diğer sapmalar

- Faz sıçramaları (cycle slips)
- Sinyal yansımaları (multipath)
- Alıcı anten faz merkezi kayıklığı
- Seçimli doğruluk erişimi
- Taşıyıcı dalga faz belirsizliği ve faz kesikliği
- Ölçülerin tesadüfî hataları

Burada söz konusu sapma ve hatalardan yalnızca çok büyük etkiye sahip olanlar açıklanacak ve bunların sonuç, koordinat ve bazlara etkisi özet olarak konusu sonunda tablo 4.1'de verilecektir.

4.2.1 Uydu ve alıcı saati hataları

Bilindiği gibi uydular kodlanmış mesajlarla birlikte zaman bilgisi de yayınlamaktadır. Uydu ile alıcı arasındaki uzaklık, sinyalin uydudan çıkıp alıcıya ulaştığı anda itibaren arada geçen zamanın ışık hızı (c) ile çarpılması sonucu hesaplanmaktadır. Burada, uydu ve alıcı saatlerinin belirli bir sınır içerisinde aynı zamanı gösterdikleri kabul edilmektedir. Oysa zamanda meydana gelebilecek herhangi bir kayıklık ise doğrudan doğruya uydu-alıcı uzaklığında bir sapmaya neden olacaktır. Örneğin uydu ve alıcı saatleri arasındaki 1 mikrosaniyelik senkronizasyon hatası uydu-alıcı uzaklığında 300 m' lik bir uzunluk hatasına neden olmaktadır.

Uydularda Rubidyum, Cesium, Hydrogen Masers gibi atomik saatlerin kullanılmasına rağmen, bu çok hassas saatler bile zamanla bazı düzenli ve düzensiz değişimlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle uydu saatleri yer kontrol istasyonlarından sürekli olarak kontrol edilmekte ve en az yılda bir kez her bir uyduya saat düzeltmesi mesajları yüklenmektedir.

GPS uyduları arasındaki senkronizasyon 20 nanosaniye, GPS zamanı ile UTC (Universal Time Coordinated) zamanı arasındaki senkronizasyon ise 100 nanosaniye mertebesindedir.

GPS alıcıları ise genellikle kristal quartz saatlerle donatılmıştır. Düşük doğruluklu çalışmalar için bu saat hataları ihmal edilebilmekle birlikte uygulamada genellikle koordinat bilinmeyenleri ile birlikte çözülmektedirler. Bununla birlikte söz konusu hataların ±1 ppm' in altında tutulabilmesi için alıcı saatleri UTC ile yaklaşık 7 ms mertebesinde uyumlu olmalıdır. Ayrıca alıcı saatleri arasındaki uyum ise 3 mikrosaniye mertebesinde tutularak bu hataların ±1cm' nin altında kalması sağlanmaktadır.

4.2.2 Uydu efemeris hataları

GPS' in jeodezide ve elde edilen doğruluk atmosferik etkiler, uydu ve alıcı saatleri hataları, sinyal yansımaları gibi birçok faktöre bağlı olup bunlardan en zor modellendirilebileni efemeris hatalarıdır. Çünkü saat hataları çeşitli şekillerde

örneğin daha hassas(atomik) saatler kullanılarak en aza indirilebilmektedir. Oysa efemeris hataları uydu yörüngelerinin daha iyi hesabını gerektirmektedir. Söz konusu hesaplama işlemi ise uydulara etki eden kuvvetlerin yer izleme istasyonlarından doğrudan ve yeterli derecede ölçülememesi nedeni ile hassas olmamaktadır.

Söz konusu efemeris hataları hesaplanacak olan bazın uzunluğu ile orantılı olarak ;

$$\frac{\partial b}{b} = \frac{\partial r}{\rho_R^S} \qquad (4.1)$$

b : Baz uzunluğu

ρ_R^S :Uydu-Alıcı uzaklığı

∂r :Efemeris hatası(Uydu konum hatası)

∂b :Baz uzunluğu hatası

eşitliği ile verilmektedir (Kahvesi 1993). Böylece ρ_R^S ≅20200 km için aşağıdaki değerler elde edilir.

$\frac{\partial b}{b}$ (ppm)	∂r (m)
5	100
1	20
0.1	2

Birkaç km' lik bir baz için söz konusu efemeris hataları oldukça küçük değerler vermektedir. Ancak bazı uzunlukların birkaç yüz km' yi bulduğu durumlarda efemeris hatalarının etkisi oldukça ciddi boyutlarda oluşmakta, bu ise GPS' in yüksek doğruluk isteyen jeodezik çalışmalarda ve sıklaştırma çalışmalarında kullanılmasında sorun oluşturmaktadır.

Efemeris hataları, yukarıda açıklanan nedenlerden olabildiği gibi, GPS mesajlarında kasıtlı olarak da arttırılabilmektedir. Günümüzde ±10–20 m doğruluğa sahip olan

yayın(broadcast) efemerisi kullanılarak göreli konum belirlemede 0.5 ppm ile 1 ppm arasında değişen doğruluklar elde edilebilmektedir. Bununla birlikte Amerikan Savunma Dairesi(DOD) tarafından iki şekilde kontrol altında tutulmaktadır.

a) Selective Availability(S/A) : Uydu konum bilgilerinin (yayın efemerisi) doğruluğu kasıtlı olarak azaltılır.
b) Uydu saat bilgilerine yapay hatalar yüklenir (clock dithering).

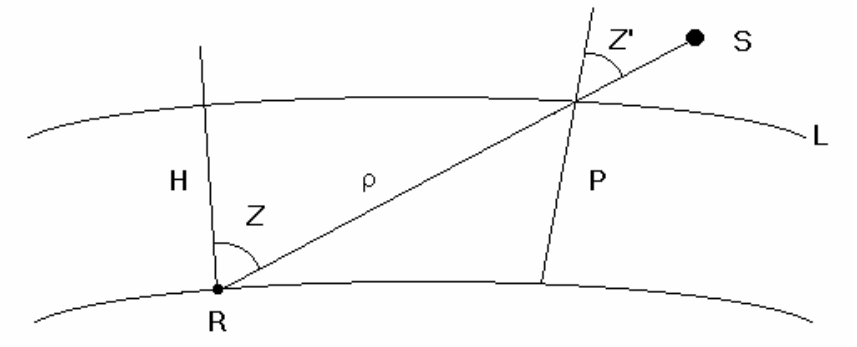
S/A Etkisi yalnızca Blok-II uydular için geçerli olup Nisan 1990 tarihinden beri farklı doğruluk seviyelerinde uygulanmaktadır (Kahveci 1993).

P-kod kullanılması ile her iki bozucu etkiden korunulabilir. P-kod ile üç boyutta(%95 istatistik güven ile konumlama (navigasyon) doğruluğu ±16 m C/A kod ile (SPS)barış zamanlarında iki boyutta(%95 istatistik güven ile) konumlama doğruluğu ±100 m ve üç boyutta ±156 m olarak ifade edilmektedir.

Söz konusu hatalar gözlenen uydu sayısını artırarak ve fark gözlemleri oluşturarak bir ölçüye kadar kontrol altında tutulabilir.

4.2.3 İyonosferik gecikme(Ionospheric Delay) etkisi

İyonosfer genel olarak, elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyebilecek kadar serbest elektron yoğunluğuna (konsantrayonuna) sahip üst atmosfer tabakası (70–300 km arası) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 İyonosferik gecikme

S : Uydu

R : Alıcı

L : Sonsuz ince (infinitesinde) kalınlıktaki iyonosfer

H : İyonosfer tabakasının yüksekliği

Z : Alıcı –uydu zenit uzaklığı

Z': Sinyal yolunun iyonosfer tabakası ile kesiştiği noktadan uyduya olan zenit uzaklığıdır.

Elektromanyetik dalgalar iyonosfer tabakasından geçerken birçok etkiye maruz kalmakta olup bunlardan en önemlisi iyonosferik gecikme etkisidir. Söz konusu etki faz gözlemleri için birinci dereceden bir eşitlikle;

$$V = \frac{41}{f_i^2} X \frac{E}{\cos Z_{ion}} \qquad (4.2)$$

Şeklinde verilmektedir. Burada

E : Uydu ve alıcı arasındaki toplam elektron miktarı

Fi : Frekans (i= 1, 2)

Z_{ion} : Gözlenen uydunun zenit uzaklığıdır.

(4.2) eşitliğinden de görüleceği gibi iyonosferik etki frekans bağımlı olduğundan L1 ve L2 frekanslarından yararlanarak (çift frekanslı aletlerde) iyonosferden bağımsız L3 lineer kombinasyonu,

$$L_3 = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} L_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} L_2 \qquad (4.3)$$

Eşitliği ile verilmektedir. Ya da L3 lineer kombinasyonu

$$\rho_R^S(L_3) = \alpha \rho_R^S(L_1) - \beta \rho_R^S(L_2) \tag{4.4}$$

$$\alpha = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} = 2.54573 \qquad \beta = \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} = 1.54573$$

Şeklinde de verilmektedir (Kahveci 1993).

(4.3) eşitliğinden yararlanarak iyonosferin elektromanyetik dalgalar üzerindeki etkisi büyük ölçüde giderilmektedir. Öte yandan bu eşitlik, eğer GPS ağındaki baz uzunluklar ve 100 km ve daha büyükse iyonosferik etkinin elimine edilmesinde en etkili yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak küçük ölçekli ağlar için aynı oranda etkili sonuçlar verdiği söylenemez. Çünkü L3 frekansının gürültüsü (noise) L1 ve L2 nin herbirinden daha fazladır. Bu nedenle küçük ölçekli ağlarda L3 lineer konbinasyonu yerine L1 ve L2 gözlemlerinin kullanılması daha duyarlı sonuçlar vermektedir.

İyonosferik etkinin göz ardı edilmesi ise GPS sonuçlarını ölçek faktörü olarak etkileyecektir. Yani iyonosferik etkinin dikkate alınmadığı bazlarda, hesaplanan bazı uzunlukları gerçek değerinden daha küçük olacaktır. Diğer yandan küçük ölçekli bazlar için iyonosferik etkinin neden olduğu bu ölçek faktörünün etkisini görmek oldukça zordur. Örneğin 1 ppm, 1 km' lik bazda 1 mm' ye karşılık gelmektedir.

Hesaplamalarda L3 (iyonosfer-bağısız) gözlem tipinin (çift frekanslı aletler için) kullanılması durumunda iyonosfer etkisi doğrudan elimine edilmiş olacağından söz konusu faz gözlemleri yalnızca alıcı ve uydu saat hataları ile troposferik gecikme etkisi için düzeltme almalıdır.

4.2.4 Troposferik gecikme etkisi

Troposferik gecikme deyimi ile genel olarak iyonize olamamış (nonionospheric) atmosferin uydu sinyalleri üzerindeki kırılma etkisi ifade edilmektedir.

Troposferin 40 km' ye kadar olan kısmı uydu sinyalleri üzerindeki esas atmosferik etkiye sebep olmaktadır. Atmosferin 40 ile 80 km arasındaki kısmının etkisi ise göz ardı edilebilecek kadar azdır.

Tropsferik etki uydu ile konum belirlemede oldukça önemli bir hata kaynağını oluşturmakta olup hata diğerleri (örneğin, iyonosferik etki, uydu-alıcı saat hataları vb.) gibi çift frekans yöntemi (L1 ve L2' nin herhangi bir kombinasyonu) ile giderilememektedir. Troposferik gecikme etkisi ısı, nem ve basıncın bir fonksiyonu olup ölçü noktasının yüksekliğine bağlı olarak değişim göstermektedir.

Toplam troposfer reaksiyonunun %90'nının sebebi kuru kısmıdır. Yeryüzündeki sıcaklık ve basınç ölçülerini kullanarak kuru kısım %95 - %98 duyarlılığında modellendirilebilir. Neticede ± 0.1m ile ± 0.45m arsında olur.

Su buharının dağılımı hassas bir şekilde bulunamadığından, toplam troposfer reaksiyonunun %10'nu oluşturan yaş kısmı modellendirmek oldukça zordur. Yaş bileşen kıtaların orta enlemlerinde yaklaşık 0.05-0.3 m civarındadır. 2-5 cm mertebesine kadar modellendirilebilir. Su buharı ölçmeleri ile 1-2 cm civarında ilave bir azaltma getirilebilir.

GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde troposferik gecikme etkisi esas olarak iki şekilde dikkate alınmaktadır.

Birinci durumda (lokal model), GPS ölçüsü yapılan her bir noktada 15 ya da 30 dakika aralıklarla ısı (T°C) , basınç (P) ve nem (H) değerleri de ölçülmekte ve bu değerler formülde yerine konarak troposferik düzeltme değeri hesaplanmaktadır (Kahveci 1993).

$$\tau_{trop} = [0.002277 / (C \times \cos Z)]\{P + [(1255 / T) + 0.05)]e - \tan^2 Z\} \qquad (4.5)$$

Z: Uydunun zenit açısı

P: mbar olarak atmosfer basıncı

e : mbar olarak su buharının kısmi basıncı

C : m/sn olarak ışığın boşluktaki hızı

T : Kelvin olarak sıcaklık (°C + 273.16)

Eğer GPS ölçüsü yapılan noktalarda atmosferik parametreler ölçmemişse bu durumda global modelden söz edilir ve burada ekstrapolasyonla elde edilmiş meteorolojik parametreler kullanılmaktadır.

h_u yüksekliğindeki bir nokta için ekstrapole edilmiş parametreler

$$T_u = T_o - 0.0065\, h_u$$

$$P_u = P_o\, (1 - 0.000226.h_u)^{5,225}$$

$$H_u = H_o \exp(-0.0006396\, h_u)$$

$$h_u = h - h_o$$

$$T_0 = 18°C$$

$$P_0 = 1013.25 \text{ mbar}$$

$$H_0 = \%50$$

$$h_0 = 0 \text{ m}$$

şeklinde verilmektedir (Kahveci 1993).

Standart deniz seviyesi değerleri kullanılarak (global model) elde edilen T_u, P_u ve H_u parametreleri (4.5) formülünde yerine konarak troposferik gecikme etkisi hesaplanmaktadır.

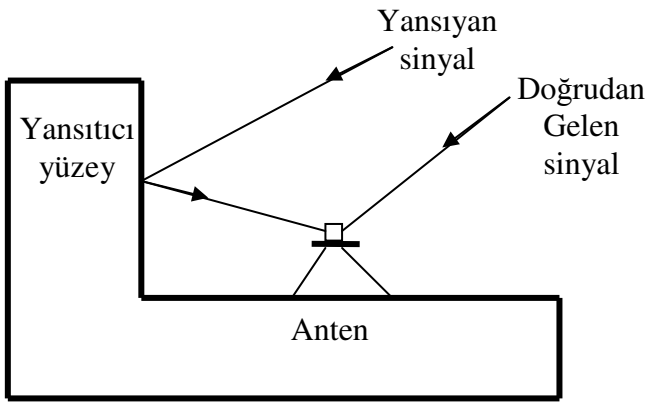
Lokal model (gözlenmiş atmosferik parametreler) GPS ağları için oldukça sorunludur. Çünkü, öncelikle söz konusu atmosferik parametrelerin ölçülmesinde kullanılan standart meteorolojik aletler yeterli duyarlılığa sahip değildir. Ayrıca, GPS

noktalarında ölçülen atmosferik parametreler noktanın üzerindeki atmosferi iyi temsil edememektedir. Bu nedenle özellikle küçük ölçekli (~5 km x 15 km) GPS ağlarındaki hesaplamalar GPS noktalarında ölçülen atmosferik parametreleri doğrudan kullanma genelde tercih edilmemektedir. Çünkü küçük ölçekli ağlarda milimetre mertebesindeki doğruluklarla uğraşılmaktadır. Oysa, kullanılan standart meteorolojik aletlerin küçük sistematik hataları standart atmosferik modelin kullanılmasıyla gelebileceklerden daha büyük sapmalara neden olmaktadır. Eğer küçük ölçekli bir GPS ağında noktalar arasında yükseklik farkı 100 m' den fazla ise bu durumdan söz konusu standart formüller yeterli doğruluğu sağlamayacaktır. Bu durumlarda troposferik gecikme daha dikkatli olarak ele alınmalıdır.

Lokal modelin büyük ölçekli GPS ağlarında(100 km ve daha büyük) kullanılması daha uygun olacaktır. Örneğin 1 cm' lik bir sapma 1 km' lik bir baz uzunluğunda ± 10 ppm'e karşılık gelmektedir. Ayrıca büyük ölçekli ağlarda, söz konusu standart troposfer modellerinde su buharı radyometreleri kullanılarak elde edilecek olan gözlenmiş atmosferik parametrelerin kullanılması daha da hassas sonuçlar verecektir.

4.2.5 Multipath etkisi

Multipath, adından da anlaşılacağı gibi uydudan gönderilen sinyalin birden fazla yol izleyerek alıcıya ulaşmasıdır. (Şekil 4.2)



Şekil4.2 Multipath etkisi

Multipath etkisinin birinci derecede nedeni, alıcı anteni civarındaki (yaklaşık 30 m içerisinde)yansıtma özelliğine sahip olan yüzeyler, ikinci derecede ise uydu antenlerinden gelen yansımalar oluşturmaktadır.

Kısaca multipath, uydu sinyalinin alıcı antenine ulaşmadan önce anten çevresindeki arazi ya da çeşitli cisimler nedeniyle yansımayla oluşmaktadır. Sözkonusu Multipath'ın kod ve faz gözlemleri üzerindeki etkisi alıcı anteninin etrafındaki arazi yapısına, anten yüksekliğine ve anten dizaynına bağlıdır.

Multipath, pseudorange kod ölçmelerini faz ölçülerine göre daha fazla etkilemekte olup bu etkinin büyüklüğü pseudorange gözlemleri için yaklaşık 10m,faz gözlemleri için ise genel olarak birkaç cm'yi geçmemekte ve uygun anten düzenleri ile bu değer birkaç mm'ye düşürülebilmektedir (Kahveci ve Yıldız 2001).

4.2.6 Alıcı anteni faz merkezi hatası

Alıcı anteni faz merkezi GPS sinyallerinin antene ulaştığı nokta olup bu nokta genellikle geometrik faz merkezinden farklıdır. GPS anteninin faz merkezi, antene ulaşan sinyalin geliş doğrultusundan bağımsız olması gerekir. Uygulamada ise uydu sinyalinin azimut ve yükseklik açısına bağlı olarak jeodezik antenin faz merkezinde küçük değişimler gözlenmektedir. Ayrıca L1 ve L2 sinyalleri için faz merkezi birbirinden farklı olup üretici firmanın laboratuar koşullarında belirlemiş olduğu geometrik faz merkezinden de farklıdır.

Anten faz merkezi değişim miktarı her anten ve modeli için farklı olduğundan modellendirilmesi oldukça zordur. Bu etki aynı yapı ve modeldeki antenler kullanarak ve antenler aynı doğrultuya yönlendirilerek bu etki en aza indirilmektedir.

Anten faz merkezi kayıklığı uydular için de söz konusu olup, L1 ve L2 için anten faz merkezilerinin aynı olduğu, uydu anteninin genelde yer merkezine yönlendirilmesi nedeniyle uydu alıcı doğrultusuna bağlı bir değişimin söz konusu olmadığı kabul edilmektedir.

4.2.7 Seçimli doğruluk erişimi

Seçimli doğruluk erişimi yetkisiz kullanıcıların GPS' in sağladığı doğruluklara ulaşması engellenerek konum belirleme doğruluklarının ABD tarafından kasıtlı olarak kötüleştirilmesidir.

Uygulama 25 Mart 1990 başlamış ve 1 Mayıs 2000 tarihinde sona erdirilmiştir (Kahveci ve Yıldız 2001)

4.2.8 Taşıyıcı dalda faz belirsizliği ve faz kesiklikleri

GPS alıcısı uydu sinyali ile alıcı sinyali arasındaki fazı ölçer. Alıcı açıldığı anda devreye giren bir sayaç uydu alıcı fazı 0 ile2Π arasında değiştiğinde +1 veya -1 tam sayı artar veya azalır. Böylece ilk ölçü epok'undan itibaren fazdaki tam sayı dalda boyu değişimi belirlenmiş olur.

Ancak ilk epok için uydu-alıcı arasındaki taşıyıcı dalga fazının kaç tane tam dalga içerdiği bilinmemektedir. Bu bilinmeyene 'taşıyıcı dalga faz başlangıcı belirsizliği yada kısaca faz belirsizliği (ambiguity) adı verilmektedir. Faz belirsizliği genel olarak N ile gösterilmekte olup, GPS alıcıları gözlenen her uyduya hiçbir ölçü eksikliği olmadan gözlemlerini sürdürmelidir. Sinyal kesikliği olmadığı sürece N sabit olacaktır.

GPS gözlemi devam ederken uydu sinyalinin alınmamasından karşılaşılacak herhangi bir problem nedeniyle meydana gelecek sinyal kesikliklerine faz kesikliği yada faz kayıklığı adı verilmektedir. Bu durumda sinyal kesikliği oluştuğu andan itibaren sonraki gözlemlere oluşan kayma miktarı kadar düzeltilmelidir.

Faz kesikliği nedenleri genel olarak,

- Uydu ile alıcı anteni arasındaki ağaç, bina, köprü gibi engeller
- Kötü iyonosferik şartlar nedeniyle sinyallerin bozulması
- Sinyal yansıma etkisi (multipath)
- Alıcı yazılımında oluşabilecek arızalar sayılabilir.

Faz belirsizliği bilinmeyeninin çözümü için birçok yöntem mevcut olup bunlar;

- Klasik yöntem
- P kod destekli yöntem
- Anten yer değiştirmesi yöntemi
- Modern yöntemler

Faz belirsizliğinin çözümü için daha önceleri en az bir saatlik veri toplamak gerekirken günümüzde özellikle OTF (On The Fly) tekniği sayesinde birkaç saniyelik veri kaydı yapılarak faz belirsizliği çözümü olanaklı hale gelmiştir.

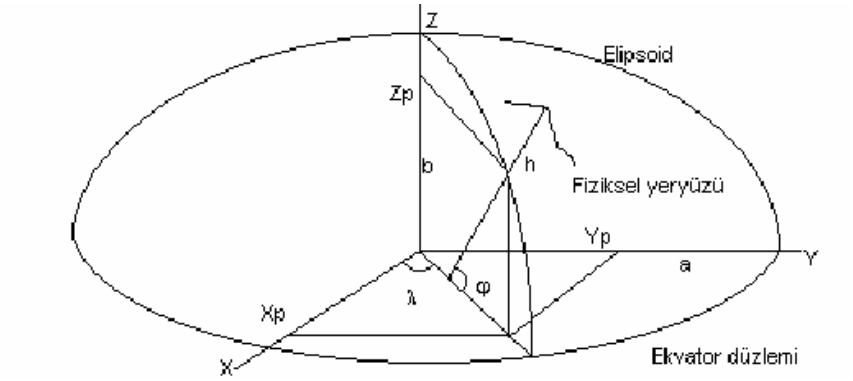
Çizelge 4.1 Sistematik zorlamaların (bias) GPS'le elde edilen büyüklüklere etkileri (Kahveci 1993)

ETKİ EDEN KAYNAK	ADI	ETKİLENEN PARAMETRELERİN BÜYÜKLÜĞÜ
Troposfer (Göreli)	Yükseklik	Troposferik düzeltmenin zenit doğrultusundaki 1mm'lik bir sapma (bias), sonuç yükseklikte 2.9 mm'lik bir hataya neden olmaktadır.
Troposfer (Mutlak)	Ölçek	Troposferik düzeltmenin zenit doğrultusundaki 1m'lik bir sapma 0.4 ppm'lik ölçek hatasına neden olmaktadır (Eğer troposferik etki gözardı edilirse bazlar daha uzun olacaktır.)
İyonosfer	Ölçek	Eğer zenit doğrultusunda 10^17 elektron / m2 lik bir elektron yoğunluğu ihmal edilirse, GPS ağı yaklaşık olarak 0.6 ppm kadar küçülecektir.
GM- Değeri	Ölçek	GM değerinin 1 ppm artırılması GPS ağı ölçeğinin 0.05 ppm kadar büyümesine neden olacaktır.
Nokta yüksekliğinin sabit olarak alınması	Ölçek	Yükseklikte yapılacak 10 m'lik bir hata 0.4 ppm'lik bie ölçek değişimine neden olacaktır.(Nokta yüksekliği çok büyükse ölçek değişim etkisi çok az olacaktır.)
Yatay koordinatların sabit olarak alınması	Dönüklük	Yatay koordinatlardaki 1" lik kadar bir hata GPS ağının yatay eksen etrafında 0".1 kadar dönmesine neden olacaktır.

4.3 GPS ile Yüksekliklerin Belirlenmesi

GPS, başlangıcı yeryuvarının ağırlık merkezi ile çakıştığı varsayılan üç boyutlu bir kartezyen koordinat sisteminde, bir alıcının X, Y, Z koordinatlarını verir. WGS84 (yerel) koordinat sistemindeki bu dik koordinatlar, aynı sistemde tanımlanmış bir elipsoide ilişkin jeodezik koordinatlara (φ, λ, h) dönüştürülebilir.

GPS' den elde edilen sonuçlar üç boyutlu olsa da konum belirlemede yatay ve düşey bileşenlerinden söz edilir. Yeryüzündeki bir noktanın yüksekliği, noktanın iz düşürüldüğü yüzey üzerindeki konumu ve aynı ya da başka bir yüzeyden uzaklığı ile tanımlanır.

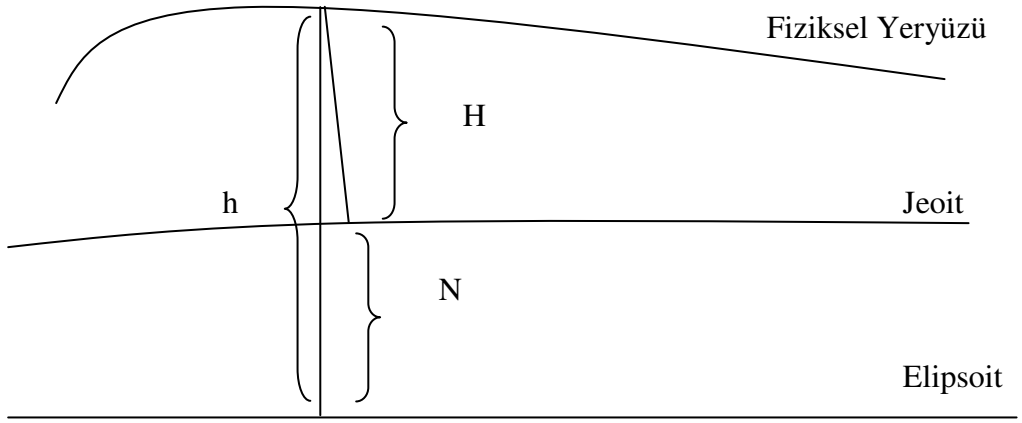


Şekil 4,3 Referas elipsoidi üzerinde φ,λ,h

Fiziksel bir yüzey olan jeoide oldukça yaklaşan ortalama deniz yüzeyi, yükseklikler için pratiğe elverişli bir referans yüzeyin tanımlanmasına kolaylık sağlar. Bu tanıma uyan ortometrik yükseklikler uygulamada en çok kullanılan yüksekliklerdir. GPS yükseklikleri ise referans elipsoidi olarak dönel elipsoide aittir. GPS yüksekliklerinin mühendislik hizmetleri için kullanılabilir hale getirilebilmesi için ortometrik yüksekliğe dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm işlemi iki yüzey arasındaki yükseklik farkına gelen jeoit yüksekliği kullanılarak yapılır.

$$H = h - N \qquad (4.6)$$

H: Ortometrik yükseklik, h : Elipsoidal yükseklik, N : Jeoit yüksekliğidir.



Şekil 4.4 Jeoit yüksekliği

h elipsoidal yüksekliklerin GPS ölçülerinden elde edilmesi, GPS nivelman kavramını gündeme getirir.

Geometrik nivelmanla belirlenen yükseklik farkı gravite ölçüleriyle birleştirilirse, ortometrik yükseklik ya da diğer yükseklik sistemlerine geçiş yapılır. GPS' in yüksek doğruluğu ve ekonomik olması avantajları nedeniyle düşey kontrol ağlarının güncelleştirilmesi ve ulusal yükseklik sistemleri v.b. çalışmalarda GPS' in önemi göz ardı edilemez.

GPS ile belirlenen elipsoidal yüksekliklerinden başka referans sistemlerine dönüştürülmesinde en önemli adımı doğruluğu yüksek bir jeoidin belirlenmesi oluşturur. Kullanılan veri türleri ve kalitesi, çalışma bölgesinin genişliği ve yapısı, teknolojik olanaklar belirlenecek jeoit ile doğrudan ilgilidir. Geçmişte astrojeodezik, gravimetrik ve bunların kombinasyonlarıyla bölgesel uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Günümüzde ise konum bilgileri ve yeryuvarının ağırlık alanına ilişkin değerler daha hassas bir şekilde belirlenebilmekte ve jeodezik teknikler (uydular, taşınabilir zenit ve CCD kameralar v.b.) yardımıyla hızlı bir şekilde toplanabilmektedir. Böylece veri sayısı artırılmış ve doğruluğun yükseltilmesinde jeoiden belirlenmesi çözümü hız kazanmıştır. Heterojen verilerin kullanıldığı ve gravimetrik jeoit modelleriyle doğruluk daha da artırılmıştır.

GPS ile belirlenen elipsoidal yüksekliklerinden yerel yükseklik sistemine dönüştürülmesinde henüz istenilen doğruluğa ulaşılamamıştır. Bunun nedeni olarak

GPS' ten elde edilen yükseklik bilgilerinden ve jeoit modellerinden kaynaklanan hatalar neden olur. GPS' te oluşan hatalar en aza indirgenebilmekteyse de jeoit belirleme sorunlardan kaynaklanan jeoit yüksekliği hatası büyük değerlerde kalmaktadır. GPS yükseklerinin ortometrik yüksekliğe dönüşümdeki asıl problem jeoit doğruluğudur.

4.3.1 GPS – ortometrik yükseklikleri

Yeryüzündeki bir P noktasının ortometrik yüksekliği (4.6) bağıntısı kullanılarak elipsoit ve jeoit yüksekliğinden dönüştürülebilir. Ardışık iki nokta arasındaki ortometrik yükseklik farkı (4.6) bağıntısına bağlı olarak;

$$\Delta H_{12} = \Delta h_{12} - \Delta N_{12} \qquad (4.\ 7)$$

Yükseklik bilgilerinden ikisi biliniyorsa üçüncüsü (4,7) eşitliğinden elde edilebilir. Buna göre;

- GPS elipsoidal ve jeoit yükseklikleri, ortometrik yüksekliklerin

belirlenmesinde ya da jeoit modeli doğruluğu analizinde

- GPS elipsoidal yükseklikleri ve ortometrik yükseklikler bir jeoit

modelinin hesaplanmasında ya da iyileştirilmesinde kullanılabilir (Üstün,2001)

4.3.2 Jeoit belirlenmesi

Jeoit, yoğunluğun bir fonksiyonudur ve jeoit belirlemede kullanılan veriler yeryuvarı içindeki kitle yoğunluğunun dağılımını yansıtır. Gravite, bu yoğunluk dağılımının en iyi ifade eden büyüklüktür. Yersel gözlemlerin çoğu, yoğunluk etkisindeki ağırlık alanında gerçekleştirilmektedir. Jeoit modellendirmede temel yaklaşım, elipsoidal normal ağırlık alanı parametreleriyle yeryuvarının ağırlık alanının parametrelerinin karşılaştırılması esasına dayanır. Aşağıdaki çizelgede jeoit belirlemede kullanılan parametreleri göstermektedir. Bu verilerin değişik kombinasyonu ile bölgesel (gravimetrik) ve yerel (geometrik) jeoit belirlemede 1 dm' nin altında doğruluk elde edilir.

Çizelge 4.2 Jeoit belirlemede kullanılan veri türleri ve kaynakları

Veri türleri	Kaynak
Uydu yörünge analizleri	-Dinamik -Geometrik
Küresel harmonik katsayılar	-Jeopotansiyel model
Gravite anomalileri	-Yersel gravite ölçülerinden (karalar için) -Altımetre verilerinden (denizler için) -Jeopotansiyel model katsayılarından (eksik bölgeler için)
Topoğrafik yükseklik bilgileri	-Sayısal Arazi Modeli (SAM) veya Sayısal Yükseklik modeli (SYM)
Topoğrafik kitlelerin yoğunluk değişimi, kabuk-manto sınırında yoğunluk sıçraması (Mohorovicic süreksizliği)	-Kitle yoğunluk modelleri -Yeryuvarının gravite alanı bilgisine dayalı ters gravimetrik çözüm
Nokta kitle modeli	-GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri ($N_{GPS/Niv}$) -Gravite anomalileri -Global jeopotansiyel model -Sayısal arazi modeli
Yersel jeodezik ölçmeler	-Astrojeodezik veriler ($\Phi, \Lambda, A, \eta, \zeta$) -Geometrik nivelman -Presizyonlu trigometrik nivleman
Uydu konum belirleme Teknikleriyle türetilen 3B konum bilgileri (φ, λ, h)	-SLR -GPS -DOPPLER

4.3.2.1 Bozucu potansiyel ve jeoit yüksekliği

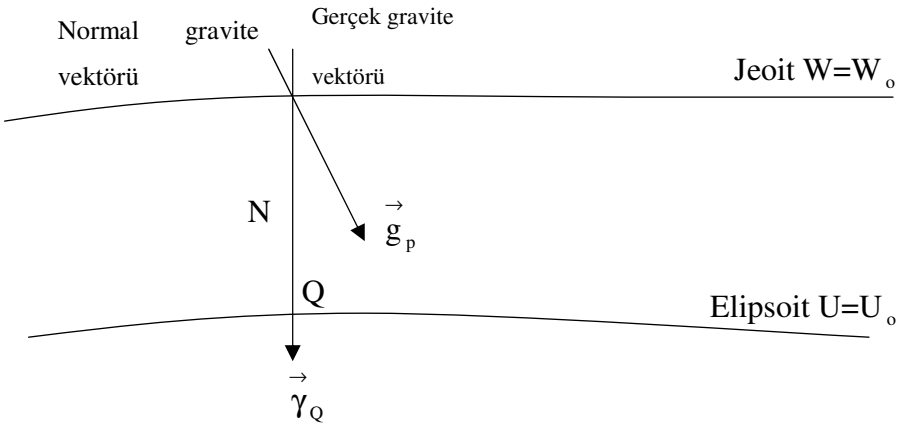
Gerçek potansiyel W, elipsoidin normal potansiyeli U' dan farklıdır. Bu fark;

$$T(x,y,z) = W(x,y,z) - U(x,y,z) \qquad (4.8)$$

bozucu potansiyeline karşılık gelir ve iki nivo yüzeyi arasındaki ilişkiyi tanımlar. Jeoit yüksekliği N ve çekül sapması ε, bozucu ağırlık alanı farklarından sadece ikisidir.

Bir P noktasındaki elipsoit normali, elipsoidin Q noktasından geçer. P' deki gerçek gravite ($\vec{g}_p$) ve Q' daki normal gravite ($\vec{\gamma}_Q$) vektörü arasındaki fark,

$$\Delta\vec{g} = \vec{g} - \vec{\gamma} \tag{4.9}$$



Şekil 4.5 Jeoidin bir P noktasındaki gerçek ve normal gravite vektörleri

gravite anomalisi vektörüdür. Bu vektör, doğrultu farkı anlamında çekül sapması; büyüklük anlamında gravite anomalisidir. Çekül sapması ya da gravite anomalisi gerçek ve normal ağırlık alanına ilişkin parametreler yardımıyla hesaplanabilir.

Şekle göre;

$$U_P = U_Q + \frac{\partial U}{\partial n} N = U_Q - \gamma N \tag{4.10}$$

yazılabilir (Üstün 2001). $(\partial U / \partial n)$, normal dağılım alanının elipsoit normali doğrultusundaki kısmi türevi (4.10) yardımıyla (4.8) den

$$T_p = W_p - U_p = W_p - U_Q + \gamma N \tag{4.11}$$

olur. Q noktasındaki elipsoit potansiyeli, P' deki jeoit potansiyeline eşit ($W_p = U_Q$) kabul edilirse (4.11) den Bruns eşitliği;

$$T = \gamma N \Rightarrow N = \frac{T}{\gamma} \tag{4.12}$$

elde edilir (Üstün 2001). (4.11) eşitliği jeoit belirlemede temel denklemlerden biridir. Jeoit yüksekliği N, (4.7) bağıntısına göre elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesinde kullanılır. Bunun için jeoidin dışında kitle bulunmadığı varsayılarak yeryüzündeki gravite gözlemleri jeoide indirgenirse jeoit yükseklikleri;

$$N = \frac{R}{4\pi\gamma}\iint S(\Psi)\Delta g d\sigma \tag{4.13}$$

Stokes integraliyle hesaplanabilir(Üstün 2001) R: yeryuvarının ortalama yarıçapı, σ : yüzey elemanı $S(\Psi)$: stokes ağırlık fonksiyonudur.

Jeoit yüksekliği hesaplanacak nokta ile Δg değeri kullanılan nokta arasındaki küresel uzaklık Ψ ' ye bağlı olarak $S(\Psi)$

$$S(\Psi) = \frac{1}{\sin\frac{\Psi}{2}} - 6\sin\frac{\Psi}{2} + 1 - 5\cos\Psi - 3\cos\Psi\ln(\sin\frac{\Psi}{2} + \sin^2\frac{\Psi}{2} \tag{4.14}$$

Moledensky benzer bir yaklaşımı, fiziksel yeryüzünün belirlenmesi için önermiştir. Yeryüzü (S), gerçek potansiyel ve gravite vektörünün bir fonksiyonudur (Üstün 2001).

$$S = f(w, \vec{g}) \tag{4.15}$$

4.3.2.1.1 Global jeoit modeli

Dinamik uydu jeodezisinde, bir uydu yer yuvarının çekim alanı etkisinde hareket eder. Normal ağırlık alanında, sadece merkezi çekim potansiyelinin (V_e=GM/r) etkili olduğu düşünülürse, uydunun hareketi Kepler kanununa uyar. Gerçekte,

uydunun yörünge hareketini merkezsel çekim ve bozucu potansiyel belirler ve iki potansiyelin toplamı gerçek çekim potansiyelini (V) oluşturur.

Bozucu potansiyel:

$$T = V - V_e = \frac{GM}{R}\sum_{n=2}^{\infty}\sum_{m=0}^{n}(\frac{a}{r})^n(\delta\vec{C}_{nm}\cos m\lambda + \delta\vec{S}_{nm}\sin m\lambda)\vec{P}_{nm}(\sin\Phi) \qquad (4.16)$$

Küresel harmonik serisine açılabilir. Burada:

GM : Yeryuvarının çekim sabitesi

R : Jeosentrik uzaklık

a : Kullanılan referans elipsoidin büyük yarı ekseni

n.m : Derece ve sıra

ϕ, λ : Jeosentrik enlem ve jeodezik boylam

$\delta\vec{C}_{nm}, \delta\vec{S}_{nm}$: Küresel harmonik katsayı farkı

$\vec{P}_{nm}(\sin\phi)$: Tam normalleştirilmiş legendre polinomudur(Üstün,2001)

n = 0 için elipsoidin kütlesi, yeryuvarın kütlesine (M) eşit; n = 1 için koordinat sisteminin merkezi, yeryuvarının ağırlık merkezinde kabul edilmiş olur.

$\delta\vec{C}_{nm}, \delta\vec{S}_{nm}$ gerçek ve normal ağırlık alanları aralarındaki farkı gösteren büyüklüktür.

Harmonik katsayılar, geometrik olarak küreden sapma miktarını gösterir. (4.16) bağıntısının derecesi büyüdükçe katsayılar küçülürken, geometrik şeklin yüzey değişikliği artar.

Bruns eşitliğine göre jeoit yüksekliği:

$$N = \frac{GM}{R\gamma}\sum_{n=2}^{\infty}\sum_{m=0}^{n}(\frac{a}{r})^n(\delta\vec{C}_{nm}\cos m\lambda + \delta\vec{S}_{nm}\sin m\lambda)\vec{P}_{nm}(\sin\Phi) \qquad (4.17)$$

Δg gravite anomalileri de küresel harmonik çözümden hesaplanır (Üstün,2001).

$$\Delta g = \frac{GM}{R^2}\sum_{n=2}^{\infty}\sum_{m=0}^{n}(\frac{a}{r})^n(n-1)(\delta\vec{C}_{nm}\cos m\lambda + \delta\vec{S}_{nm}\sin m\lambda)\vec{P}_{nm}(\sin\Phi) \qquad (4.18)$$

4.3.2.1.2 Bölgesel jeoit belirleme

Stokes denklemi, jeoit üzerindeki kitlelerin yok varsayımı ve yeryuvarının tamamına yayılmış gravite anomalilerinin jeodide indirgenmesini gerektirir. Pratikte ise bu gerçekleşmez. Yeryuvarının tamamını kaplayan yeterli gravite anomalisi yoğunluğu hesaplansa bile, integral sayısal olarak sadece hesap katsayısını çevreleyen küçük bir bölgede değerlendirilebilir. Küçük bir bölge için yüzey denklemi kabul edilebilir.

Bu durumda (4.14) eşitliği sadeleşir.

$$\lim_{\varphi\to 0}\sin(\varphi) \approx \frac{1}{\sin\frac{\varphi}{2}} \approx \frac{2}{\varphi} \approx \frac{2R}{r} \qquad (4.19)$$

Hesap noktalarındaki teğet düzlem içinde bulunan koordinat sistemine göre küçük φ açısı için

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = R\varphi \qquad (4.20)$$

$$R^2 d\delta = d_x d_y \qquad (4.21)$$

yazılır. Sonuç olarak (4.19) ve (4.21) eşitlikleri (4.13)' de yerine konulursa

$$N = \frac{1}{2\pi\gamma}\iint \frac{\Delta g}{r} d_x d_y = \frac{1}{\gamma} S\Delta g \qquad (4.22)$$

elde edilir. S stokes operatörüdür (Üstün 2001).

Jeoidin belirlenmesinde, integral yerine sonlu yüzey elemanlarının toplamı kullanılır. Bunun için yüzey elemanı gravite anomalilerinin ortalama değerleri grid yapıda

gösterilir. Koordinat sisteminin eksenleri grid yapısına uygundur. Ortalama değerler, gerçek gravite anomalilerinin enterpolasyonu ile bulunur.

Bütünleşik Yöntemle Bölgesel Jeoit Belirleme

Jeoit yüksekliği; çekül sapması gibi ağırlık alanı fonksiyonları, jeopotansiyel modellerle gösterildiğinde kullanılan veri türlerine göre farklı frekans grupları oluşturur. Veriler bu modele değişik derecede katkı sağlar. Genel olarak ölçü türlerinin katkısı, uzun, orta ve kısa dalga boylu olmak üzere üç grupta değerlendirilebilir. Jeoit yükseklikleri ve gravite anomalileri, üç kaynaktan elde edilen verilerin toplamı biçiminde:

$$N = N_{GM} + N_{\Delta g} + N_H \tag{4.23}$$

$$\Delta g_{FA} = \Delta g_{GM} + \Delta g + \Delta g_H \tag{4.24}$$

yazılır. Eşitlikte geçen indisler

GM : Jeopotansiyel model

Δg : Artık gravite anomalisi

H : Topoğrafik yükseklik

100 km' lik bir kesit için jeoit yüksekliklerine (GM) metre, artık gravite anomalisi (Δg) dm, topoğrafya ise santimetre düzeyinde katkı sağlar.

Bütünleşik yöntemin en önemli katkısı jeoidin artık anomalisinin hesaplanması olmuştur. Artık gravite anomalileri (4.24)' den

$$\Delta g = \Delta g_{FA} - \Delta g_{GM} - \Delta g_H \tag{4.25}$$

yazılır.

4.3.2.1.3 Spektral analize dayalı yeni bir yöntem: nokta kitle yöntemi

Yöntem yeryuvarının gravite alanına nokta kitle modelleriyle yaklaşılmaya çalışılır. Serbest hava gravite anomalileri (Δg_{FA}) ve GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri

($N_{GPS/Niv}$) bilinen bir bölgede kurumsal olarak sabit bir değere yerleşmiş nokta kitleler yöntemin esasını oluşturur. Problem Δg_{FA} ve $N_{GPS/Niv}$ bilgisinden yararlanılarak grid yapıdaki nokta kitle büyüklüklerini dengeleme ile kestirilir. Jeopotansiyel modelin uzun dalga boylu ve topoğrafyasının kısa dalga boylu etkilerinden arındırılmış Δg ve $N_{\Delta g}$

$$\Delta g = \Delta g_{FA} - \Delta g_{GM} - \Delta g_{H} \;;\; N_{\Delta g} = N_{GPS/Niv} - N_{GM} - N_{H} \qquad (4.26)$$

dengelemeye ölçü olarak girer. Ölçüler ile bilinmeyenler arasındaki ilişki

$$\Delta g = G\sum_{i=1}^{n} \frac{m_i (H - H')}{d_i^3} \quad , \quad N_{\Delta g} = \frac{G}{\gamma}\sum_{i=1}^{n} \frac{m_i}{d_i} \qquad (4.27)$$

şeklinde olur.

$d = R\sqrt{2(1-\cos\varphi)}$ ölçü noktası ve nokta kitle arasındaki uzaklık

m : nokta kitlelerin büyüklüğüdür.

4.3.2.1.4 Astrojeodezik yöntem

Yeryüzündeki bir noktanın doğal koordinatları $(\phi, \wedge)$ astronomik gözlemler yardımıyla belirlenir. Bu gözlemler referans elipsoidinin, jeodezik koordinatlarıyla (φ, λ) karşılaştırılırsa, çekül sapması bileşenleri elde edilir.

$$\zeta = \phi - \varphi$$

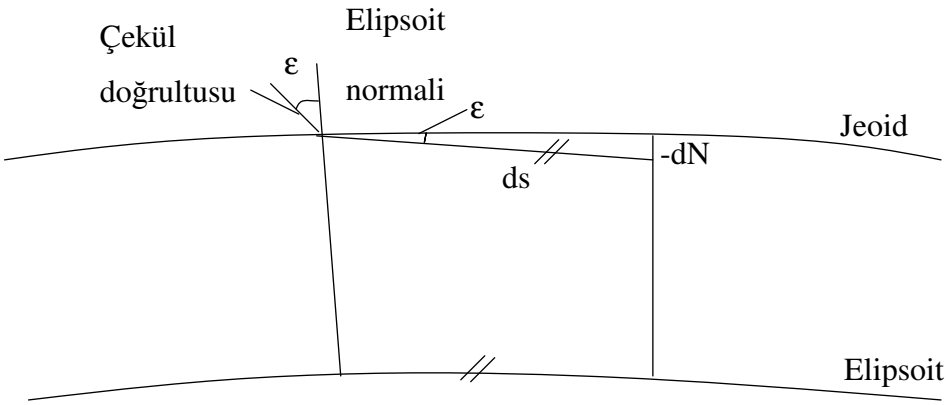
$$\eta = (\wedge - \lambda)\cos\varphi \qquad (4.28)$$

ζ : Kuzey – güney çekül sapması bileşeni

η : Doğu- batı çekül sapması bileşeni

α azimutu doğrultusundaki çekül sapması ε,

$$\varepsilon = \zeta\cos\alpha + \eta\sin\alpha \qquad (4.29)$$



Şekil 4,6 Jeoidde diferansiyel değişim

Diferansiyel anlamda jeoit yüksekliği değişimi

$$dN = \varepsilon d_s \tag{4.30}$$

Bu eşitliğin baz boyunca integrali

$$N_2 - N_1 = -\int_1^2 \varepsilon d_s \tag{4.31}$$

yükseklik farkını verir. Bu bağıntı astronomik nivelmanın temelini oluşturur. Yeryüzünde elde edilen veriler genellikle jeoide indirgenir. Bu yeryüzü noktasına ilişkin çekül sapması, çekül eğrisinin özelliği nedeniyle jeoit yeryüzündeki çekül sapması değerinden faklıdır. (4.28) ve (4.29) eşitliklerinden jeoiddeki çekül sapması büyüklüklerini hesaplamak için astronomik koordinatların jeoide indirgenmiş değerleri ($\phi_0, \wedge_0$) kullanılır (Üstün 2001).

Her iki ucunda çekül sapması belirlenmiş bir baz boyunca jeoit yüksekliği farkı,

$$N_2 - N_1 = \frac{\varepsilon_{10} - \varepsilon_{20}}{2} S \qquad (4.32)$$

eşitliği ile bulunur.

Klasik gözleme dayalı astrojeodezik jeoidlerde doğruluk düşüktür. Tekrarlı gözlem sonuçlarından elde edilen jeoit yüksekliği farkı 0.1 – 0.3 m arasında değişir. Günümüzde taşınabilir zenit kameraları ve CCD kameraları yardımıyla enlem ve boylam ölçülmektedir. Jeoit yüksekliğinin santimetre doğrulukta olması için çekül sapması $0.3''$ yay saniyesinin altında doğrulukla belirlenmelidir. Kullanılan yıldız kataloglarına bağlı olarak CCD kameralarıyla enlem ve boylam belirleme doğruluğu ortalama $0.1''$ dir.

Elde edilen büyüklüklerin GPS' den elde edilen jeodezik koordinatlarla kombinasyonu astrojeodezik jeoit doğruluğu açısından yeterlidir.

4.3.2.1.5 GPS / nivelman yöntemiyle (geometrik) jeoit belirleme

GPS/Nivelman ile jeoit belirlemesi dışındaki yöntemlerde yer yuvarının çekim alanına ilişkin parametrelerden yararlanılmıştır. Topoğrafik yapının düzensizlik gösterdiği bölgeler dışında, analitik bir yüzey modeliyle yerel jeoit belirlenir. Yüzey polinomu, en küçük kareler koleksiyonu ve sonlu enlemler başta olmak üzere değişik yöntemler kullanılarak jeoit yükseklikleri enterpolasyonu yapılabilir. Burada sadece polinom yüzeyi ve parametre kestirimi ele alınacaktır.

Geometrik yüzeyin belirlenmesi GPS elipsoidal ve ortometrik yükseklikleri bilinen araziye düzgün dağılmış noktalar kullanılır.

Buna göre jeoit;

$$N(x,y) = \sum_{k=0}^{n} \sum_{\substack{j=k-i \\ i=0}}^{k} a_{ij} x^i y^j \qquad (4.33)$$

yüzey polinomu ile gösterilir. Burada

(x,y) : Herhangi bir projeksiyon sistemi için geçerli koordinatları

N(x,y) : (4.6) bağıntısından hesaplanan jeoit yükseklikleri

a_{ij} : Yüzey denklemi katsayılarıdır.

(4.33) bağıntısına göre oluşturulan denklem gözlemlerine en küçük kareler ilkesi uygulanarak bilinmeyen parametreler a_{ij} ve dengeli yüzey kestirilebilir. Söz konusu yüzey polinomunun derecesi, birinci dereceden başlamak üzere dengeleme sonuçlarının istatistiksel analizi ile belirlenir. Polinomun derecesi arttıkça soncul varyans küçülür. Soncul varyansın büyümeye başladığı polinom derecesinin bir eksiği en uygun derece olarak kabul edilir. Polinom derecesinin yüksek olması, bilinmeyen sayısının artması yanında yüzeyinde duyarsızlaşmasına neden olabilir.

Jeoit yüksekliği belirleme yöntemlerinde, uygun ölçme ve değerlendirme yöntemleri kullanılırsa elipsoidal yükseklikler (4.6) bağıntısından hesaplanacak ortometrik yükseklikleri olumsuz etkilemeyecek doğrulukta ölçülebilir. GPS elipsoidal yükseklikleri, yatay bileşene göre daha düşük doğruluğa sahiptir. Buna atmosfer, uydu geometrisine bağlı olarak, düşey duyarlılık kaybı (VDOP), antene farklı ortamlardan yansıyarak gelen sinyaller, anten faz merkezi kayıklığı, anten yüksekliğinin hatalı belirlenmesi ve tam sayı belirsizliği çözümündeki algoritma hataları neden olur. Buradaki hata türlerinden en çok etkili olanlar atmosferde yaşanmaktadır. Çift frekanslı alıcılarda iyonosferin sinyal üzerindeki olumsuz etkisi tümüyle yok edilirken, troposfer etkisi modellendirme teknikleriyle azaltılmaya çalışılır. Yansıyarak gelen sinyaller için en etkili önlem noktaların uygun yerlerde seçilmesidir. Anten yüksekliği belirlenmesinde gerekli özen gösterilmelidir.

GPS nivelmana yönelik jeoit belirleme tekniklerinden gravimetrik ve geometrik yöntem uygulamada ağırlık kazanmıştır.

Gravimetrik yöntem, bölgesel jeoidin belirlenmesinde giderek daha iyi sonuçlar vermektedir. Burada gravimetre spektrumunun farklı dalga boylarıyla temsil eden çok sayıda heterojen veri kullanılmasının önemi büyüktür. Bu yöntem belirli bir bölge ya da ülke için geçerli ve kalıcı bir çözümdür. Ancak hesaplanan modelin sistematik bir hata içermesi başka bir değişle kayık veya belirli bir yönde eğik olması olasılığı vardır. Sistematik hatalar, GPS elipsoidal ve mevcut ortometrik yüksekliklerin karşılaştırılmasıyla denetlenebilir ve gerekli düzeltmeler yapılır.

Yapılan jeoit belirlemesi uygulamalarında; gravimetrik, astrojeodezik, kitle yoğunluk modeli gibi heterojen verilerin kullanıldığı İsviçre jeoidinin doğruluğu $\pm 2\,\mathrm{cm}$' dir. Gravimetrik verilere dayanan ABD GEOİD96 jeoidi $\pm 5\,\mathrm{cm}$, Almanya için nokta kitle yöntemi kullanılarak ortometrik yükseklik $\pm 1-2/100$ km elde edilmiştir. Yersel çalışmalarda jeoit basit bir geometrik yüzey yardımıyla gösterilir. Söz konusu yüzeyin gerçeğe uygunluğu dayanak noktasının sayısına, araziye dağılımına, ortometrik ve GPS elipsoidal yüksekliklerin dağılımına bağlıdır. Bölgesel jeoit modelinin aksine uygulaması oldukça basittir. Avustralya' da 25x40, 50x50 ve 50x60 km olmak üzere üç değişik bölgede uygulanan doğrusal enterpolasyonda GPS-ortometrik yükseklik doğruluğu $\pm 5{,}2$, 20,9 ve 8,9 cm elde edilmiştir. Daha sonra gravimetrik ve geometrik jeoit kombinasyonu kullanılmış $\pm 4{,}7$, 1,1 ve 1.0 cm' lik doğruluklar elde edilmiştir.

Ülkemizde Ankada GPS test ağında (25x50 km) yapılan çalışmada ikinci dereceden polinom yüzeyi ile ortometrik yükseklikler için yaklaşık $\pm 2{,}5$ cm doğruluk elde edilmiştir (Yanar 1999).

Uygulamalarda da görüldüğü gibi GPS yardımıyla ortometrik yüksekliklerin elde edilmesinde heterojen verilere dayalı bölgesel jeoit modelleri kalıcı çözümdür. Gravite spektrumu farklı dalga boylarıyla temsil eden verilerin kullanılması daha gerçekçi bir yaklaşımdır. Pratik amaca dönük olarak çalışma bölgesinin genişliği ve istenilen doğruluk göz önüne alınarak pratik amaca dönük GPS/Nivelman (geometrik) jeoidi de belirlenebilir (Üstün 2001).

5 UYGULAMA

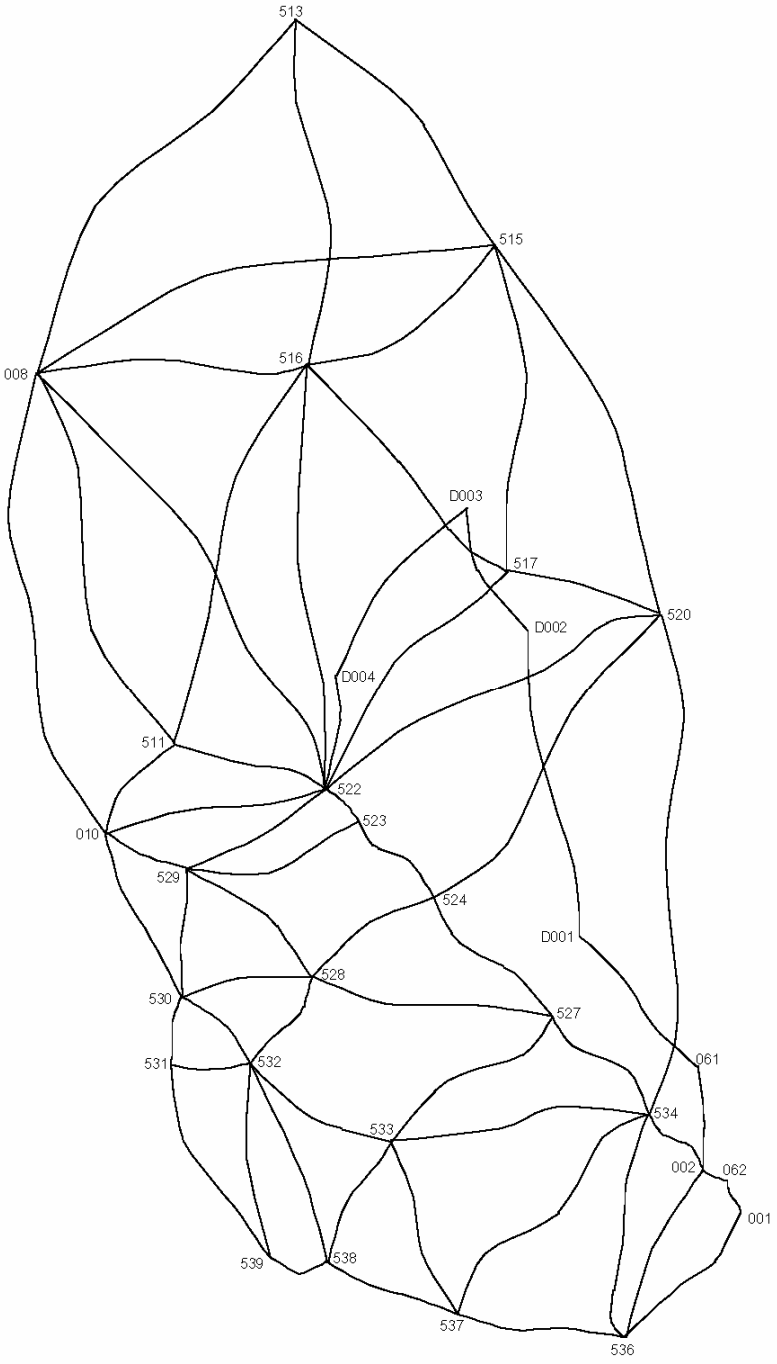
Uygulama için Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampus alanı içerisinde 2 adet eski 29 adet yeni olmak üzere toplam 31 noktadan oluşan bir nivelman test ağı oluşturulmuştur (şekil 5.1). Ağ, 67 nivelman kenarından oluşmaktadır. Noktaların ikisi, ülke nivelman ağına dayalı olarak yükseklikleri belirli nivelman röper noktasıdır. Yeni noktalar, arazide pilye olarak tesis edilmiştir.

5.1 Arazi Çalışmaları

Noktalar arasındaki yükseklik farklarının belirlenmesi için, geometrik nivelman ve GPS ölçüleri yapılmıştır.

5.1.1 Geometrik nivelman ölçmeleri

Geometrik nivelman ölçüleri SOKKIA B2 otomatik nivosu kullanılarak gidiş-dönüş olarak yapılmıştır. Gidiş-dönüş ortalamaları tablo 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Nivelman test ağı

Tablo 5.1 Geometrik nivelman sonuçları

Kenar No	Başlan. No	Bitiş No	Yükseklik farkı ΔH(m)
1	001	002	0.234
2	536	002	-4.980
3	536	001	-5.209
4	002	534	0.888
5	534	527	7.582
6	527	524	13.487
7	524	523	17.181
8	523	522	7.408
9	534	536	4.089
10	536	537	15.707
11	537	534	-19.801
12	534	533	30.677
13	537	533	10.879
14	533	527	-23.110
15	527	528	43.816
16	530	531	1.808
17	531	532	-5.903
18	532	530	4.096
19	530	528	-11.257
20	528	532	7.170
21	530	529	-0.113
22	529	010	17.561
23	010	530	-17.442
24	534	520	11.060
25	520	524	9.997
26	010	511	-4.715
27	010	522	-34.444
28	522	529	16.898
29	529	523	-24.290
30	529	528	-11.137
31	528	524	-30.345
32	524	529	41.492
33	528	533	-20.714
34	533	532	27.886
35	532	538	-25.350
36	538	539	3.692
37	539	532	21.670
38	531	539	-27.563
39	539	537	-17.097
40	533	538	2.540
41	538	537	-13.413
42	002	061	3.993
43	062	002	0.068
44	001	062	0.167
45	061	001	-4.225
46	520	522	34.598
47	522	511	29.737
48	511	008	23.989
49	516	008	40.153
50	008	522	-53.739
51	515	008	55.926
52	516	513	8.916
53	522	516	13.603
54	516	511	16.149
55	520	517	7.744
56	517	516	40.458
57	513	515	-24.703
58	515	517	-24.683
59	516	515	-15.788
60	522	517	-26.875
61	008	513	-31.258
62	520	515	32.416
63	008	010	-19.280
64	522	D004	-20.681
65	D004	D003	-2.207
66	D003	D002	-6.763
67	D002	D001	-8.059

Geometrik nivelman ölçüleri $P = {}^{1}\!/_{S}$ ağırlık modeli ile serbest olarak dengelenmiş ve ölçülere uyuşumsuz ölçüler testi yapılmış ve tüm ölçülerin uyuşumlu olduğu belirlenmiştir.

061 ve 062 nolu nivelman röper noktalarına dayalı olarak, ağ yeniden dengelenmiş ve dengeleme sonuçları tablo 5.2 verilmiştir.

Tablo 5.2 Dengeleme sonuçları

Ölçü No	Baş.Nok No	Bit.Nok No	Dengelenmiş Ölçüler
1	001	002	0.23373
2	536	002	-4.97849
3	536	001	-5.21222
4	002	534	0.88673
5	534	527	7.57767
6	527	524	13.48170
7	524	523	17.18588
8	523	522	7.40775
9	534	536	4.09177
10	536	537	15.71079
11	537	534	-19.80256
12	534	533	30.68162
13	537	533	10.87906
14	533	527	-23. 10394
15	527	528	43.82325
16	530	531	1.80862
17	531	532	-5.90169
18	532	530	4.09308
19	530	528	-11.26011
20	528	532	7.16703
21	530	529	-0.11660
22	529	010	17.56047
23	010	530	-17.44387
24	534	520	11.05308
25	520	524	10.00630
26	010	511	-4.71291
27	010	522	-34.45191
28	522	529	16.89143
29	529	523	-24.29918
30	529	528	-11.14351
31	528	524	-30.34155
32	524	529	41.48506
33	533	532	27.88634

Ölçü No	Baş.Nok No	Bit.Nok No	Dengelenmiş Ölçüler
34	533	532	27.88634
35	532	538	-25.35221
36	538	539	3.68901
37	539	532	21.66320
38	531	539	-27.56490
39	539	537	-17.10219
40	533	538	2.53413
41	538	537	-13.41319
42	002	061	3.99184
43	062	002	0.06724
44	001	062	0.16649
45	061	001	-4.22557
46	520	522	34.59992
47	522	511	29.73900
48	511	008	24.00112
49	516	008	40.14761
50	008	522	-53.74012
51	515	008	55.92970
52	516	513	8.90936
53	522	516	13.59251
54	516	511	16.14649
55	520	517	7.73309
56	517	516	40.45934
57	513	515	-24.69146
58	515	517	-24.67725
59	516	515	-15.78209
60	522	517	-26.86683
61	008	513	-31.23824
62	520	515	32.41034
63	008	010	-19.28821
64	522	D004	-20.68100
65	D004	D003	-2.20700
66	D003	D002	-6.76300
67	D002	D001	-8.05900

m_o= 7.80478 mm

5.1.2 GPS/nivelman ölçmeleri

GPS ölçmeleri, 2 adet Leica SR 9500 ve Ashtech ProMark2 GPS alıcıları kullanılarak, 10 saniyelik epok aralıklarıyla 30 dakikalık oturumlarla statik olarak yapılmıştır. GPS ölçülerinin değerlendirilerek sonuçlar tablo 5.3 verilmiştir.

Tablo 5.3 Değerlendirilmiş GPS ölçüleri
Referans Elipsoit GRS-80 Coğrafi Koordinatlar

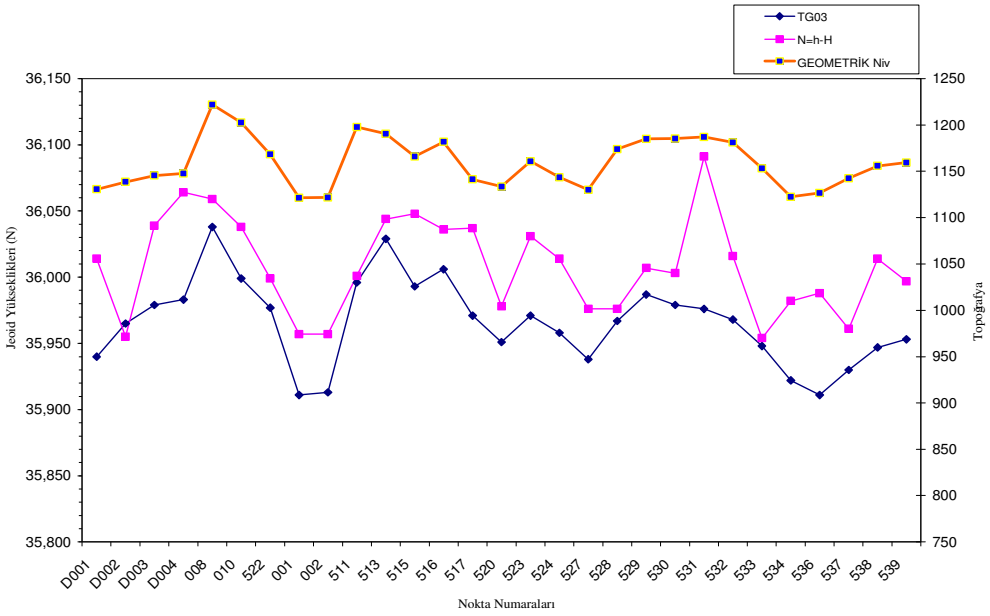
Nokta No	Drc.	Dak.	Sn		Drc	Dak.	Sn		Elipsoidal Yükseklik
D001	38	1	7,492807	N	32	30	47,514417	E	1166,5886
D002	38	1	33,554517	N	32	30	41,717542	E	1174,5859
D003	38	1	44,020483	N	32	30	35,036926	E	1181,4348
D004	38	1	29,629586	N	32	30	21,001891	E	1183,6710
008	38	1	55,331637	N	32	29	48,528929	E	1258,0220
010	38	1	16,059915	N	32	29	56,206975	E	1238,7162
522	38	1	19,903662	N	32	30	19,944401	E	1204,2221
517	38	1	38,670751	N	32	30	39,450375	E	1177,3934
001	38	0	46,697989	N	32	31	1,993505	E	1157,4060
002	38	0	47,622907	N	32	31	0,823426	E	1157,6396
511	38	1	23,659723	N	32	30	3,636958	E	1233,9626
513	38	2	25,60711	N	32	30	16,250999	E	1226,7685
515	38	2	6,483808	N	32	30	37,937726	E	1202,0812
516	38	1	56,179036	N	32	30	17,739009	E	1217,8512
520	38	1	34,984996	N	32	30	55,979171	E	1169,6042
523	38	1	17,138289	N	32	30	23,447319	E	1196,8458
524	38	1	10,689388	N	32	30	31,615612	E	1179,6429
527	38	1	0,540004	N	32	30	44,467747	E	1166,1239
528	38	1	3,858681	N	32	30	18,503644	E	1209,9466
529	38	1	13,026005	N	32	30	4,877103	E	1221,1212
530	38	1	2,112394	N	32	30	4,572186	E	1221,2338
531	38	0	56,392472	N	32	30	3,448041	E	1223,1306
532	38	0	56,467366	N	32	30	11,976625	E	1217,1539
533	38	0	49,83202	N	32	30	27,196449	E	1189,2059
534	38	0	52,237719	N	32	30	54,979332	E	1158,5521
536	38	0	33,294654	N	32	30	52,598528	E	1162,6501
537	38	0	35,203852	N	32	30	34,537475	E	1178,3326
538	38	0	39,602688	N	32	30	20,402644	E	1191,8002
539	38	0	39,878129	N	32	30	14,262356	E	1195,4719

5.2 Ölçülerin Değerlendirilmesi

Test ağına ait noktaların jeoit yükseklikleri (N), geometrik nivelman sonucu bulunan ortometrik yükseklikler (H) ile GPS ölçüleri sonucu bulunan elipsoidal yükseklikler (h) kullanılarak (4.6) bağıntısında düzenlenip yerine konulursa,

$$N = h - H$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır.



Şekil 5.2 Jeoit yükseklikleri

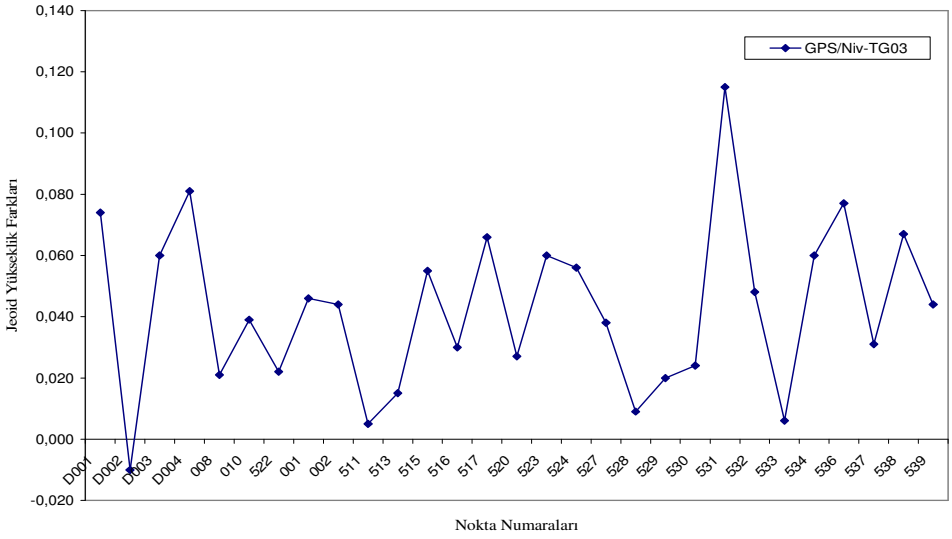
Ayrıca, söz konusu noktaların TG–03 (Türkiye Jeoidi–03) göre Jeoit yükseklikleri Harita Genel Komutanlığından satın alınmıştır. Sonuçlar şekil 5.2'de grafik olarak verilmiştir.

Hesap sonucu bulunan Jeoit yükseklikleri ile TG-03'den alının jeoit yükseklikleri arasındaki jeoit yükseklik farkları, tablo 5.4 ve şekil 5.3'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4 Jeoit yükseklik farkları (ΔN)

NOKTA NO	ΔN(m)
D001	0,074
D002	-0,010
D003	0,060
D004	0,081
008	0,021
010	0,039
522	0,022
001	0,046
002	0,044
511	0,005
513	0,015
515	0,055
516	0,030
517	0,066
520	0,027

NOKTA NO	ΔN(m)
523	0,060
524	0,056
527	0,038
528	0,009
529	0,020
530	0,024
531	0,115
532	0,048
533	0,006
534	0,060
536	0,077
537	0,031
538	0,067
539	0,044



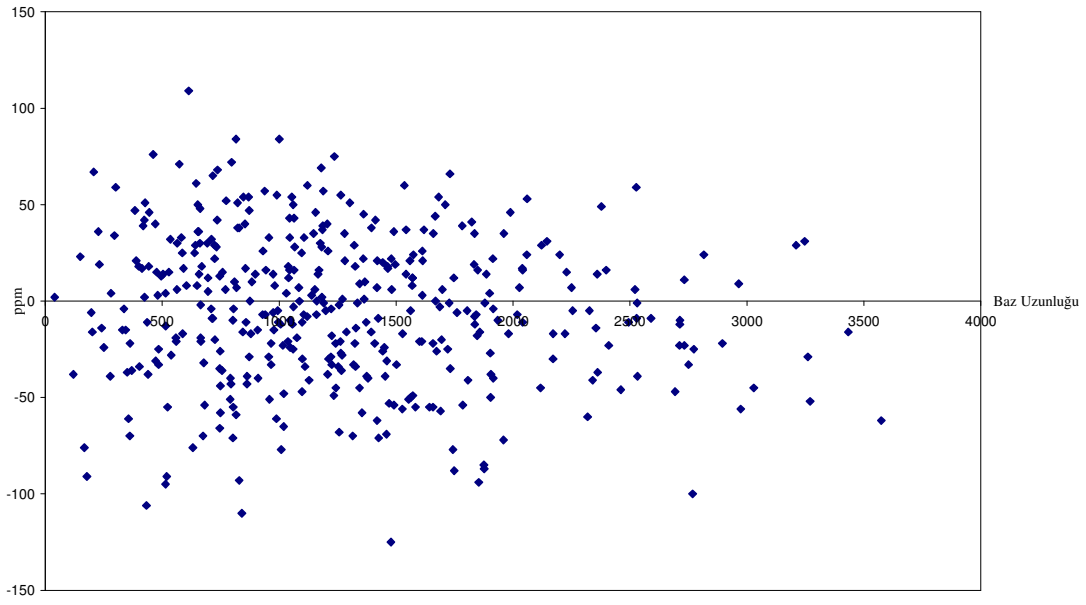
Şekil 5.3 Gps/nivelman ile TG-03 jeoit yükseklikleri arasındaki farklar

Geometrik nivelmanla bulunan jeoit yükseklikleri kullanılarak $\left(\Delta N_{ij}^{GPS/Niv} = N_j^{GPS/Niv} - N_i^{GPS/Niv}\right)$ ve TG-03'den hesaplanan jeoit yükseklikleri

kullanılarak $\left(\Delta N_{ij}^{TG-03} = N_j^{TG-03} - N_i^{TG-03} \right)$ ayrı ayrı hesaplanmış ve her bir baza ait ppm değerleri,

$$ppm = \frac{\sigma N = \Delta N_{ij}^{GPS/Niv} - \Delta N_{ij}^{TG-03}}{\text{Baz uzunlugu}} \qquad (5.1)$$

bağıntısıyla hesaplanarak, şekil 5.3 ve şekil 5.4'de gösterilmiştir.

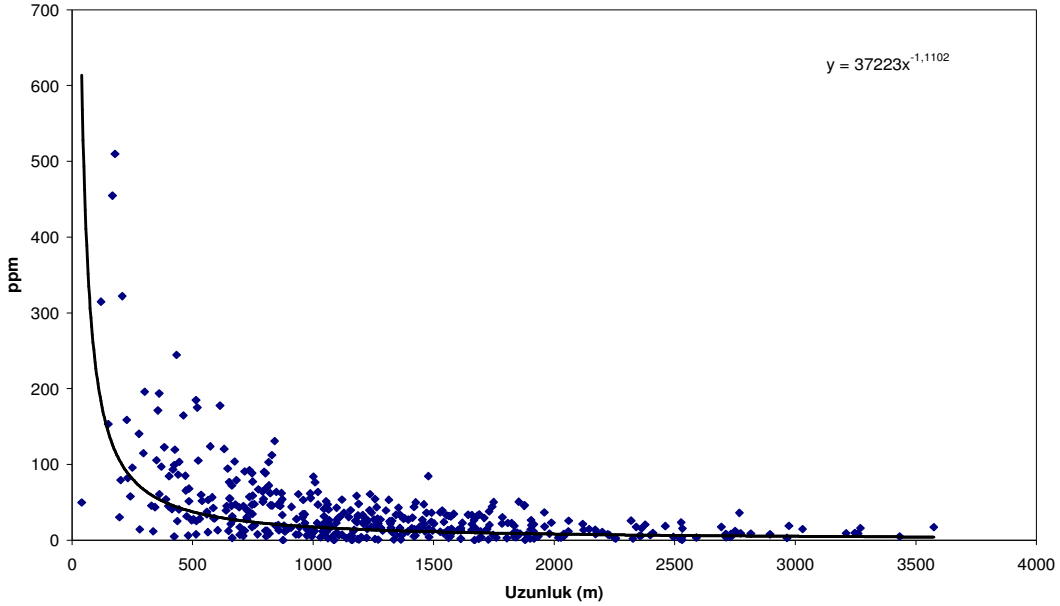


Şekil 5.4 Baz uzunluklarına göre ppm değerleri

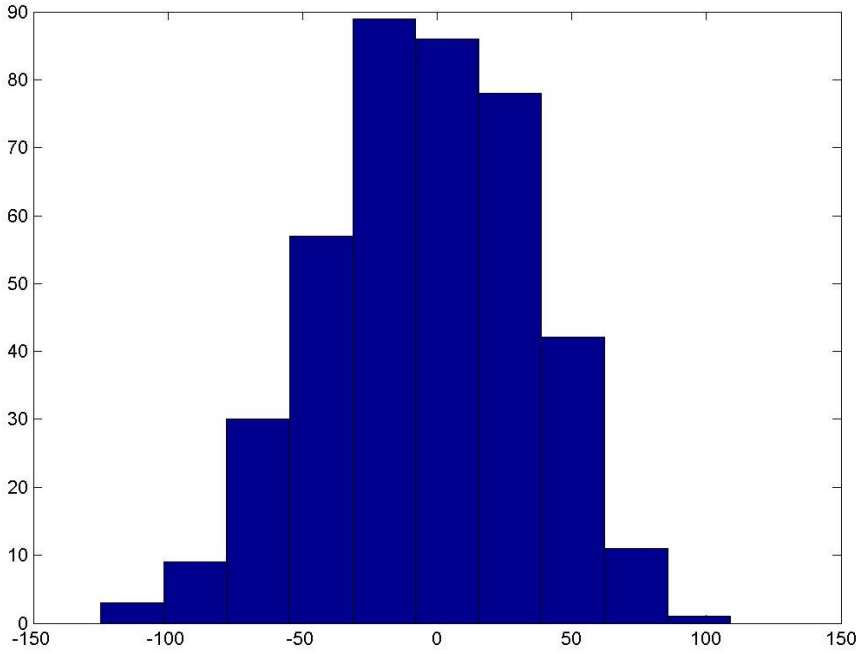
Her bir baza ait ppm değerlerinin işaretleri dikkate alınmaksızın baz uzunluklarına göre ve ppm dağılımını temsil eden en uygun eğri şekil 5.4 belirlenmiştir. Şekil 5.4'de, baz uzunluğu büyüdükçe, ppm değerlerinin küçüldüğü ve 1500 m' den daha uzun bazlarda ppm değerinin ±10'dan daha küçük olduğu görülmektedir.

Baz uzunluklarına göre hesaplanan $\left(\Delta N_{ij} = N_j - N_i\right)$'lara ait karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Jeoit yükseklik farklarına ait karesel ortalama hata $m_o = \pm 5.652 mm$ olarak hesaplanmıştır. Student testi (T-testi) ile ΔN_{ij} lerin

değişiminin anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. ΔN_{ij} ' lere ait histogram şekil 5.6' de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Baz uzunluğuna göre ppm değerleri (mutlak değer)



Şekil 5.6 ppm histogramı

6 SONUÇ

Kampüs nivelman ağında değişik baz uzunluklarına göre nivelman-elipsoidal yüksekliklerin karşılaştırılması amacıyla 31 nokta ve 67 kenardan oluşan bir nivelman test ağı kurulmuştur. Test alanı 4.14 km^2 dir.

Kurulan test ağında geometrik nivelman ölçüleri sonucunda ortalama hata $m_o = \pm 7{,}80478$ mm hesaplanmıştır. Aynı ağa ait noktalarda GPS ölçüleri yapılarak elipsoidal yükseklikler elde edilmiştir.

Test ağındaki noktaların geometrik nivelman ve GPS ölçü sonuçlarının karşılaştırılmasıyla bulunan jeoit yüksekliklerinin 35,954 m ile 36,091 m arasında değiştiği görülmüştür. Aynı noktalara ait TG–03' e göre jeoit yükseklikleri 35,911 m ile 36,038 m arasında değişmektedir.

Hesapla bulunan jeoit yükseklikleri ile TG-03 jeoit yükseklikleri arasındaki fark ise 0,005 m ile 0,115 m arasındadır.

Test ağında hesaplanan baz uzunlukları dikkate alınarak ppm değerleri mutlak olarak 0 ile 510 arasında değişmektedir. 1500 metreden daha büyük bazlarda ppm değeri ± 10 ppm' den küçük olduğu görülmüştür.

Test ağındaki noktaların GPS/nivelman ile bulunan (ΔN) jeoit yüksekliklerinin ortalama hatası $\pm 5{,}652$ mm hesaplanmış ve çalışma alanında değişimin anlamlı olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak bu tür küçük alanlarda jeoid yükseklik değişimi dikkate alınamayabileceği elipsoidal yükseklik farklarının nivelman yüksek farkları olarak kullanabileceği söylenebilir.

7 KAYNAKLAR

AKÇIN, H., 1998 Gps Ölçülerinden Pratik Yüksekliklerin Elde Edilmesi Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, YTÜ FBE, İstanbul

CEYLAN, A.,1993 Prezisyonlu Nivelman Yerine Trigonometrik Nivelman Yönteminin Kullanılabileceği Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, SÜ FBE, Konya

CEYLAN, A., 2002 Presizyonlu Nivelman Tekniği, Yüksek Lisans Ders Notları S.Ü. Konya

CEYLAN, A., 2003 Yükseklik Belirlemeleri, Yüksek Lisans Ders Notları S.Ü. Konya

CEYLAN, A., İNAL, C., 2003 Modern Yükseklik Belirleme Tekniği ve Doğrulukların Karşılaştırılması, I. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 30-31 Ekim 2003 Syf 399-413, İstanbul

ÇORUMLUĞLU, Ö., 2002 Yüksek Presizyonlu GPS teknikleri Yüksek Lisans Ders Notları S.Ü , Konya

EREN, K., UZEL, T., 1995 GPS Ölçmeleri, YTÜ İnşaat Fakültesi, Yayın No:301, İstanbul

HGK, 2006 İnternet Sitesi, Ankara

KAHVECİ, M., 1993 Ortometrik Yüksekliklerin Belirlenmesinde GPS Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, FBE, İstanbul

KAHVECİ, M, YILDIZ, F.,2001 GPS Global Konum Belirleme Sistemi ,Teori – Uygulama Ankara

TURGUT, B., 2002 Uydu Jeodezisi, Yüksek Lisans Ders Notları S.Ü. Konya

ÜSTÜN A., 2001 Gps Nivelmanı Yardımıyla Ortometrik Yüksekliklerin Elde Edilmesine Yönelik Jeoit Belirleme Yöntemleri, Derleme Yazısı, YTÜ Dergisi 2001-1, İstanbul

ÜSTÜN A., DEMİREL H., 2003 Düşey Kontrol Açısından GPS/Nivelman Kontrol Noktalarının Önemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı 24-25-26 Eylül 2003, Konya

YANAR, R., 1999 Yeni Çalışmalar Işığında Jeodezik Yükseklik Sistemleri Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, YTÜ, FBE, İstanbul

YERCİ, M., 1996 Jeodezi 1 Ders Notları S.Ü. Konya