

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ BOYUTLU AĞLARDA GPS VE
NİVELMAN ÖLÇÜLERİNİN BİRLİKTE
DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet GÜNEŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. HALİS SAKA

GEBZE
2003

ÖZET

Uydu teknolojisinin gelişmesi sonucunda, üç boyutlu konum belirleme kolayca uygulanabilir hale gelmiştir. Nivelman ölçme yöntemine göre yapılan (yersel ölçüler) yükseklik belirleme çalışmaları, pek çok mühendislik çalışmasında GPS uydu ölçmeleri ile yeterli doğrulukta yapılabilmektedir. Klasik ölçme yöntemleri ile iyi sonuç elde edilemeyen, gerek arazinin topoğrafik yapısı, görüş azlığı ve gerekse hava şartlarının bozukluğundan etkilenen ülke nirengi çalışmaları, GPS ölçme yöntemi ile hassas ve kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, GPS ve nivelman ölçme yöntemlerinin birlikte kullanılması araştırılmıştır. Uygulama çalışması için, Ambarlı Liman Tesislerinde kurulan jeodezik kontrol ağına ait GPS ve nivelman ölçüleri kullanılmıştır. Ambarlıda yapılan GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri ayrı ayrı ve birlikte dengelenmiştir. GPS koordinat farkları (ΔX_{ik} , ΔY_{ik} , ΔZ_{ik}) ile nivelman kot farkları (ΔH_{ik}) nın ayrı ayrı ve birlikte değerlendirilmesine ilişkin fonksiyonel ve stokastik modeller ile Helmert Varyans Analizi açıklanmıştır. Dengeleme modelleri oluşturularak, uygulama yapılmıştır. Sonuçlar uygulama bölümünde irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: GPS, presizyonlu nivelman ölçüleri, fonksiyonel model, stokastik model, Helmert Varyans Analizi, dengeleme

SUMMARY

Development of the satellite technology can be simply applied the determination of three dimensional position and has improved the importance of geodesy. The determination of height can be highly in precision the many engineering applications by GPS satellite measurements of using levelling measured methods. With classical surveying methods triangulation studies, which are affected by the topographic structure of terrain, the lack of sighting and unsuitable of meteorological conditions, can be done by GPS surveying method precisely and easily.

In this study, combination using of GPS and levelling measurements was implemented. For study putting into practice, Region of Ambarlı is constitute of geodesy control network used for GPS and levelling measurements. Adjustment separately separately and together of GPS and precise levelling measurements were done to Ambarlı. Functional and stochastic models with Helmert Variance Analysis about evaluation of GPS measurements (ΔX_{ik} , ΔY_{ik} , ΔZ_{ik}) separately separately and together with precise levelling measurements (ΔH_{ik}) are explained. Adjustment models is consist and application has done and the results have examined in the application chapter.

Key Words: GPS, precise levelling measurements, functional model, stochastic model, Helmert Variance Analysis, adjustment

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince beni yönlendirip destekleyen, her adımda yardım ve ilgisini esirgemeyen değerli bilgilerinden yararlandığım hocam, sayın Yrd. Doç. Dr. Halis SAKA başta olmak üzere, GYTE Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü’ nün öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca; bu çalışmada kullanılan veriler, İTÜ, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden Doç. Dr. Yunus KALKAN yürütücülüğünde gerçekleştirilen “Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle Heyelen İzleme Çalışması” na aittir. Bu verilerin kullanılmasına müsaadesinden dolayı, başta Sn. Doç. Dr. Yunus KALKAN ve diğer proje çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GPS ve NİVELMAN ÖLÇMELERİ	3
2.1 Geometrik Nivelman Ölçmeleri	3
2.1.1 Presizyonlu Nivelman Ölçmeleri	3
2.2 GPS Ölçmeleri	6
2.2.1 GPS ile Yükseklik Belirleme	7
3. GPS ve NİVELMAN ÖLÇÜLERİ İÇİN FONKSİYONEL MODELLER	8
3.1 GPS ile Ölçülen Koordinat Farklarının Fonksiyonel Modeli ve Dengelenmesi	8
3.2 Presizyonlu Nivelmanla Ölçülen Yükseklik (Kot) Farklarının Fonksiyonel Modeli ve Dengelenmesi	11
3.3 GPS ve Presizyonlu Nivelmanla Ölçülerinin Entegrasyonu İçin Elipsoidal Koordinatlara Göre Fonksiyonel Modelinin Oluşturulması	14
4. GPS ve NİVELMAN ÖLÇÜLERİ İÇİN STOKASTİK MODELLEME	20
4.1 GPS ve presizyonlu nivelman Ölçülerinin Birlikte Değerlendirilmesi İçin Stokastik Model	20

5. GPS ve NİVELMAN ÖLÇÜLERİ İÇİN VARYANS ANALİZİ	23
6. UYGULAMA	26
6.1 Uygulama Alanı ve Kontrol Ağının Özellikleri	26
6.2 Presizyonlu Nivelman Ölçmeleri	28
6.3 GPS Ölçmeleri	30
6.4 Verilerin Değerlendirilmesi	34
6.4.1 GPS Koordinat ve Nivelman Kot Farklarının Ayrı Ayrı Değerlendirilmesi	35
6.4.2 GPS Koordinat ve Nivelman Kot Farklarının Birlikte Değerlendirilmesi	35
6.4.2.1 GPS ve Nivelman Ölçülerinin Ölçü Ağırlıklarının Bir Alınarak Birlikte Değerlendirilmesi	36
6.4.3 GPS Elipsoidal Yükseklik Farklarının Değerlendirilmesi	36
6.4.4 GPS Elipsoidal Yükseklik Farkları ile Nivelman Kot Farklarının Birlikte Değerlendirilmesi	37
6.4.5 GPS ve Nivelman Ölçülerinin Dengeleme Sonuçlarının Karşılaştırılması	37
7. SONUÇ	42
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	47
EK 1. ÜÇ BOYUTLU JEODEZİDE KULLANILAN KOORDİNAT SİSTEMLERİ.	
Ek 1.1 Doğal Koordinat Sistemleri	
Ek 1.2 Referans Koordinat Sistemleri	
Ek 1.2.1 Global Jeodezik Eğri Koordinat Sistemi (ϕ, λ, h)	
Ek 1.2.2 Global Jeodezik Dik Koordinat Sistemi (X, Y, Z)	
Ek 1.2.3 Yerel Jeodezik Dik Koordinat Sistemi (x^*, y^*, z^*)	
Ek 1.2.4 Yerel Jeodezik Kutupsal Koordinat Sistemi (α, β, D)	
Ek 1.2.5 Global Jeodezik Dik Koordinat Sistemi (X, Y, Z) ile	

Yerel Jeodezik Dik Koordinat Sistemi (x^* , y^* , z^*)
Arasında Dönüşüm

Ek 1.2.6 Global Yermerkezli Koordinat Sistemi ile Global
Jeodezik Koordinat Sistemi Arasında Dönüşüm

Ek 1.2.7 Dik Koordinat Sistemi ile Eğri Koordinat Sistemi
Arasındaki Bağını

Ek 1.2.8 WGS-84 Elipsoidinde Dik Koordinat Sistemi
ile Eğri Koordinat Sistemi Arasındaki İlişki

Ek 1.2.9 WGS-84 Elipsoidinde Dik Koordinat Sistemi
ile Eğri Koordinat Sistemi Arasındaki Dönüşüm

EK 2. VARYANS ANALİZİ

Ek 2.1 Helmert Varyans Analizini

Ek 2.2 Varyans Analizi Metodları

EK 3. GPS ve PRESİZYONLU NİVELMAN ÖLÇÜLERİNİN AYRI
AYRI VE BİRLİKTE DEĞERLENDİRİLMİŞ SONUÇLARI

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

X, Y, Z	: Dik koordinatlar
ϕ, λ, h	: Elipsoidal Koordinatlar
σ_0^2	: Birim ağırlıklı Ölçünün varyansı
σ_i^2	: Ölçünün varyansı
A	: Katsayılar matrisi
x	: Bilinmeyen parametreler vektörü
l	: Yalın terim
v	: Düzeltmeler vektörü
m_0	: Birim ağırlıklı ölçünün standart sapması
m_i	: Ölçünün standart sapması
P	: Ölçülerin ağırlığı
Q	: Ölçülerin ağırlık katsayıları (kofaktör) matrisi
C	: Varyans bileşenleri [PVV]
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	: GPS ölçüleri (Koordinat farkları)
ΔH	: Yükseklik (Kot) farkı
Σ	: Varyans-kovaryans matrisi
E	: Birim matris
N, n	: Normal denklemler
N^+	: Pseudo inversi
M	: Meridyen eğrilik yarıçapı
K	: Kovaryans matrisi
h	: Elipsoidal yükseklik
W	: Potansiyel değeri
γ	: Normal gravite
ρ	: Kenar kapanması
BIH	: The Bureau International de l'Heure
BIQUE	: Best Invariant Quadratic Unbiased Estimation
CTP	: Convention Terrestrial Pole
GPS	: Global Positioning System

IQUE	: Invariant Quadratic Unbiased Estimation
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
İÜ	: İstanbul Üniversitesi
KTÜ	: Karadeniz Teknik Üniversitesi
MINQUE	: Minimum Norm Quadratic Unbiased Estimation
SÜ	: Selçuk Üniversitesi
WGS-84	: World Geodetic System, 1984
YTÜ	: Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Presizyonlu nivelmanda ölçme modeli	3
6.1 Altaş Ambarlı Liman Tesislerine ait 1/10000 ölçekli plan	27
6.2 Nivelman kanavas	29
6.3 Ölçmelerde kullanılan zorunlu merkezlendirme donanımı	32
6.4 GPS ile ölçme yapılan tüm noktalara ilişkin kanava	34

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
6.1 7. Peryod Presizyonlu Nivelman Ölçüleri Özet Çizelgesi	30
6.2 Leica System 300 GPS Alıcılarının Teknik Özellikleri	31
6.3 GPS ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Ayrı Ayrı ve Birlikte Dengelenmesi Sonucu Bulunan Dengeli Elipsoidal Yüksekliklerinden Ortak Noktalar İçin Hesap Yoluyla Bulunan Kot Farkları	38
6.4 Hesap Yoluyla bulunan kot farklarının (Tablo 6.3) Birbirlerine Göre Karşılaştırılması	39
Ek 3.1 GPS Ölçülerinin Ağırlıklarının Bir Alınarak Dik Koordinatlara (X, Y, Z) Göre Serbest Dengelenmesi	69
Ek 3.2 Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Elipsoidal Yüksekliğe (h) Göre Serbest Dengelenmesi (Metre Biriminde)	78
Ek 3.3 GPS ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Ağırlıklarının Bir Alınarak Elipsoidal Koordinatlara Göre (ϕ , λ , h) Birlikte Dengelenmesi	69
Ek 3.4 Helmert Varyans Analizine Göre Ağırlıkların Hesabında Kullanılan h, C, S İterasyon Değerleri	79
Ek 3.5 Helmert Varyans Analizi ile Ağırlıklar İçin İterasyon Sonuçları (Ağırlıklar Diagonal Olarak Verilmiştir)	80
Ek 3.6 GPS ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin 14. İterasyon Ağırlıklarının Kullanılarak Elipsoidal Koordinatlara Göre Birlikte Dengelenmesi (Metre Biriminde)	69
Ek 3.7 GPS Elipsoidal Yükseklik Fark Ölçülerinin Ağırlıklarının Bir Alınarak Elipsoidal Yüksekliğe (h) göre serbest dengelenmesi	82

Ek 3.8	GPS Elipsoidal Yükseklik Fark Ölçülerinin ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Ağırlıklarının Bir Alınarak Elipsoidal Yüksekliğe Göre (h) Birlikte Dengelenmesi	82
Ek 3.9	Helmert Varyans Analizine Göre Ağırlıkların Hesabında Kullanılan h, C, S İterasyon Değerleri	85
Ek 3.10	Helmert Varyans Analizi İle Ağırlıklar İçin İterasyon Sonuçları (Ağırlıklar Diagonal Olarak Verilmiştir)	86
Ek 3.11	GPS Elipsoidal Yükseklik Fark Ölçülerinin ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin 14. İterasyon Ağırlıklarının Kullanılarak Elipsoidal Yüksekliğe Göre (h) Birlikte Dengelenmesi (Metre Biriminde)	82
Ek 3.12	GPS Ölçülerinin Dik Koordinatlara (X, Y, Z) Göre Dengelenmesi	69
Ek 3.13	GPS Ölçülerinin Elipsoidal Koordinatlara (ϕ , λ , h) Göre Dengelenmesi	69
Ek 3.14	Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Elipsoidal Yüksekliğe (h) Göre Dengelenmesi	78
Ek 3.15	GPS Ölçülerinin Elipsoidal Yüksekliğe (h) Göre Dengelenmesi	82

1.GİRİŞ

Mühendislik çalışmalarında, yeryüzü geometrisini istenilen doğrulukta belirlemeye yetecek sayıda ve sıklıkta noktanın konumu, üç boyutlu bir koordinat sisteminde ifade edilmelidir. Bu koordinatlardan ikisi; konum koordinatları (X,Y dik koordinatları veya ϕ, λ elipsoidal koordinatları), üçüncüsü ise yükseklik (kot) adını alır.

Klasik jeodezide, nokta konum koordinatlarının ve yüksekliklerinin belirlenmesi bir dereceye kadar birbirinden bağımsız olarak düşünülür. Konum koordinatları için nirengi ağları, yükseklikler için nivelman ağları oluşturulur.

GPS (Global Positioning System) ile kurulan ağlar üç boyutlu ağlardır. Fakat, bu ölçmelerden türetilen yüksekliklerin (elipsoidal yükseklikler) presizyonu, özel mühendislik uygulamaları için yeterli değildir. Bu nedenle, yatay konumda yüksek doğruluk sağlayan GPS ölçme yöntemi ile düşey konumda yüksek doğruluğa sahip nivelman ölçme yöntemi birlikte kullanılmalıdır.

Nivelman ağı ölçmelerinde uygulanan ana yöntem presizyonlu nivelmandır. GPS ölçmelerine göre daha hassas olan bu yöntem; Yer kabuğu düşey hareketlerinin izlenmesi, baraj, tünel, köprü gibi bazı önemli mühendislik yapılarında düşey deformasyonların belirlenmesi ve izlenmesi, otoyol, demiryolu ve boru hattı gibi mühendislik yapılarının inşaatında yüksek doğruluklu nivelman noktalarının oluşturulması, atom santralleri gibi kritik yapılar için yapının bakım ve kontrolü, fiziksel yeryüzünü ve jeoidi belirlemeye yönelik olarak noktalar arasındaki potansiyel farkların bulunması, ülke nivelman ağlarının ölçülmesi gibi değişik uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

GPS ölçme yöntemi ise son yıllarda yüksek doğruluk gerektiren yatay kontrol ağlarında klasik ölçme yöntemlerinin yerini almıştır.

Mühendislik amaçlı bu çalışma, bir kontrol ağındaki GPS ve nivelman ölçülerinin birlikte dengelenmesini, dengelemenin matematik ve stokastik modelinin ortaya konmasını amaçlamıştır. Matematik model, küçük kontrol ağları esas alınarak düşünülmüştür ve jeoidi ilişkin bir parametre ele alınmamıştır. Stokastik model, iki

farklı grup ölçü olarak ele alınan GPS ve nivelman ölçüleri, Helmert Varyans Analizi ile ağırlıklandırılmak istenmiştir.

GPS ölçmelerinden elde edilen dik koordinat farkları ve nivelman ölçme yöntemlerinden presizyonlu nivelman ölçme modeli ile yükseklik belirlemeye ilişkin bilgiler (Bölüm 2' de), GPS ve nivelman ölçülerinin ayrı ayrı ve birlikte dengelenmesi için oluşturulan fonksiyonel ve stokastik modeller (Bölüm 3' te ve 4' de), GPS ve nivelman ölçü ağırlıklarının entegrasyonunu sağlamak için kullanılan Helmert Varyans Analizi metodu (Bölüm 5' te) verilmiştir.

Uygulama kısmı (Bölüm 6' da) verilmiştir. Bu bölümde, Ambarlı Liman Tesislerinde kurulan jeodezik kontrol ağına ait 7. peryod GPS ve nivelman ölçülerinin ayrı ayrı ve birlikte dengelenmesi yapılarak, elde edilen ölçü düzeltmelerinin max ve min değerleri verilmiştir. Ayrıca ortak noktalar için elde edilen elipsoidal yükseklik farkları (kot) ve bu farklar arasındaki ilişki incelenmiştir.

Sonuç kısmı (Bölüm 7' de) verilmiştir. Bu bölümde, uygulama ile elde edilen bilgiler irdelenmiştir.

Koordinat sistemleri ile ilgili bilgiler, dik koordinatlardan elipsoidal koordinatlara geçiş için kullanılan formüller ile GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerini gösterir kanava (Bölüm Ek 1' de), Varyans Analizi için geniş bilgi (Bölüm Ek 2' de), GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin ayrı ayrı ve birlikte değerlendirilmesine yönelik dengeleme sonuçları tablolar halinde (Bölüm Ek 3' te) verilmiştir.

Presizyonlu Nivelman ölçme modelindeki başlıca varsayımlar şöyle sıralanabilir;

Mira tutulan noktalardan geçen yatay düzlemler ile nivonun gözleme düzlemi birbirine paraleldir. Bu noktalardan geçen düşey doğrultular ile yatay düzlemler ise birbirine diktir. Ölçme süresince miralar düşey konumdadır ve düşey doğrultuda yer değiştirmezler. Ayrıca, miralarda bölümlendirme hatası yoktur.

Bu varsayımlara göre herhangi iki nokta arasındaki yükseklik farkı bir vektördür ve bu vektörün doğrultusu düşey doğrultu ile çakışmaktadır. Vektörün yönü ise, ölçme yönüne göre değişir.

$$\overline{\Delta h_{AB}} = -\overline{\Delta h_{BA}} \quad (2.1)$$

Şekil 2.1’ deki gidiş yönüne göre, geride kalan nokta “Geri Nokta”, ilerideki nokta “İleri Nokta” olarak adlandırılır. Geri noktada okunan mira okumasına “g”, ileri noktada okunan mira okumasına “i” denirse, A ve B arasındaki yükseklik farkı;

$$\Delta h_{AB} = g_A - i_B \quad (2.2)$$

olur. j ve k gibi iki sabit nokta arasındaki yükseklik farkı, modelin n kez uygulaması ile bulunur.

$$\Delta H_{jk} = \Delta h_{j1} + \Delta h_{12} + \dots + \Delta h_{n-1,k} = \sum \Delta h = \sum g - \sum i \quad (2.3)$$

Presizyonlu nivelmanda ölçmeler, kaba hataları ortaya çıkarmak ve bir doğruluk kriteri elde etmek için gidiş ve dönüş olarak yapılır. Gidiş ölçmeleri (G) ve dönüş ölçmeleri (D) ile gösterilirse (2.3) formülünden,

$$\Delta H_{jk} = \Delta H_G = \sum \Delta h_G = \sum g_G - \sum i_G \quad (2.4)$$

$$\Delta H_{kj} = \Delta H_D = \sum \Delta h_D = \sum g_D - \sum i_D \quad (2.5)$$

yazılır. Ayrıca (2.1) formülüne benzer olarak,

$$\Delta H_G = -\Delta H_D \quad (2.6)$$

bağıntısı vardır. Bilinmeyen noktaların yüksekliği;

$$H_k = H_j + \Delta H_{jk} \quad (2.7)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Ardışık iki nivelman röperi arasında yer alan ölçme birimine “nivelman kenarı” denir. ρ bir nivelman kenarına ait kenar kapanmalarını göstermek üzere,

$$\rho = \frac{1}{2}(H_{IG} + H_{II G} + H_{ID} + H_{II D}) \quad (2.8)$$

ile hesaplanır [Baykal,1989a ve Coşkun,1996].

n_i ve L_i her nivelman kenarında sırasıyla ortalama alet kurma sayısını ve ortalama nivelman yolunu göstermek üzere, ρ kenar kapanmasına göre ağırlığı 1 seçilen gözlemlere ait standart sapma,

$$\sigma_0^n(\rho) = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\left(\sum_{i=1}^N \frac{\rho \rho}{n} \right)_i / N \right)} \quad (2.9)$$

$$\sigma_0^L(\rho) = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\left(\sum_{i=1}^N \frac{\rho \rho}{L} \right)_i / N \right)} \quad (2.10)$$

olur. Burada, N ; toplam kenar sayısıdır. Nivelman kenarlarına ait yükseklik farklarının standart sapmaları

$$\sigma_i^L(\rho) = \sigma_0^L(\rho) \sqrt{L_i} \quad (2.11)$$

$$\sigma_i^n(\rho) = \sigma_0^n(\rho) \sqrt{n_i} \quad (2.12)$$

eşitliklerinden hesaplanır.

Ölçülerin ağırlıklarının hesabında,

$$P_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2} \quad (2.13)$$

ya da

$$P_i = \frac{1}{L_i (km)} \quad (2.14)$$

eşitliğinden yararlanılır. [Coşkun, 1996].

2.2 GPS Ölçmeleri

GPS; ölçmecinin yapacağı hataları azaltan bir ölçme sistemine sahip olması, gözlemlerinin her türlü hava koşullarında yapılabilmesi, klasik ölçmelere nazaran daha hızlı ve daha duyarlı sonuçların elde edilmesi ile jeodezik ağ ve deformasyon ölçmeleri için kullanılabilen ölçme yöntemidir. GPS ölçüleri esas alınarak oluşturulan jeodezik ağlar bağıl konum koordinatları $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_{WGS84}$ (World Geodetic System, 1984) ile değerlendirilmiştir.

GPS bağıl konum koordinatlarının değerlendirilmesi için, jeodezik ağda en uygun gözlem planı (bağıl konum koordinatlarının ağ içerisindeki en uygun dağılımı) belirlenmelidir. GPS ağları için yapılacak değerlendirme; ağ düzenine göre noktalarda alınan ölçülerin bağıl koordinatlarının dağılımını, bu ölçülerin ağırlıklarını ve ağın güvenilirliğini en uygun hale getirmek şeklinde olmalıdır [Kurt, Konak ve Dilaver, 1999].

Bağıl konum belirleme; koordinatları sabit alınan bir noktadan yararlanarak bilinmeyen nokta koordinatlarının hesaplanmasıdır. Bir başka deyişle bağıl konum belirlemenin amacı iki nokta arasındaki baz vektörünü hesaplamaktır. Bilinen nokta A, bilinmeyen nokta B ve baz vektörü $\underline{b}_{AB}$ ' yi göstermek üzere $\underline{X}_A$ vektörüne göre $\underline{X}_B$ vektörü $\underline{b}_{AB}$,

$$\underline{X}_B = \underline{X}_A + \underline{b}_{AB} \quad (2.15)$$

$$\underline{b}_{AB} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

ilişkisiyle tanımlanır.

2.2.1 GPS ile Yükseklik Belirleme

Mühendislik amaçlı ölçme çalışmaları için ortalama deniz yüzeyinden (jeoid) ölçülen ortometrik yüksekliklere ihtiyaç duyulur. Ortometrik yükseklik farklarını elde etmek için GPS elipsoid yüksekliklerine jeoid yükseklik düzeltmelerini getirmek gerekmektedir. Bu iki yükseklik arasında aşağıdaki ilişki mevcuttur:

$$h = H + N \quad (2.17)$$

Burada, H ortometrik yüksekliği, h elipsoid yüksekliğini ve N de jeoid yüksekliğini ifade etmektedir. Çekül sapmalarının küçük olması halinde, basit olarak şu ifade yazılabilir:

$$H_B - H_A = (h_B - h_A) - (N_B - N_A) \quad (2.18)$$

Yukarıdaki (2.18) ifadesi, jeoide ait yükseklik farkları (dN) ve elipsoide ait yükseklik farklarının (dh) bilinmesi halinde iki nokta arasındaki ortometrik yükseklik farklarının (dH) hesaplanmasını sağlar. dh yükseklik farkı, GPS ile çok duyarlı olarak bulunabildiğinden dN farkının, dh farkına ait duyarlılık seviyesinde belirlenebileceğini göstermiştir. [Kearsley, 1986; Engelis v.d.,1985]. Dolayısıyla dH ortometrik yükseklik farkı da dh elipsoid yükseklik farkına yakın bir duyarlılıkta belirlenebilir [Uzel ve Eren,1995].

Mühendislik çalışmalarında, elipsoid yükseklikleri yerine ortometrik yükseklikleri referans alınır. Elde gravite verilerinin olmadığı bölgelerde jeoidin gravimetrik yöntemlerle hesaplanması mümkün değildir. Böyle durumlarda, eğer nivelmanla elde edilmiş ortometrik yükseklikler varsa o zaman ortometrik yükseklik – GPS koordinatları kombinasyonu kullanılır [Uzel ve Eren,1995]. Çalışma alanının dar olduğu bölgelerde çekül sapmaları ve jeoidin eğimi ihmal edilerek; elipsoidal yükseklik ve ortometrik yükseklik farkları eşit ($\Delta h = \Delta H$) alınabilir.

3. GPS ve NİVELMAN ÖLÇÜLERİ İÇİN FONKSİYONEL MODELLER

3.1 GPS ile Ölçülen Koordinat Farklarının Fonksiyonel Modeli ve Dengelenmesi

GPS koordinat farkları (bağıl koordinatlar) ölçü olarak alınır ve GPS ağının tüm noktaları bilinmeyen seçilerek serbest ağ dengelenir. Sonuç olarak WGS-84 sisteminde GPS koordinatları elde edilir.

GPS ile ölçülen (ΔX , ΔY , ΔZ) koordinat farkları düzeltilmesi gereken ölçüler anlamında görülür ve düzeltilmiş değerlerinin dengeli koordinat farklarına eşit olması istenir.

GPS ile ölçülen ($\Delta X'$, $\Delta Y'$, $\Delta Z'$) koordinat farkları için fonksiyonel modeli, GPS ($\Delta X'_{ij}$, $\Delta Y'_{ij}$, $\Delta Z'_{ij}$) ölçüsü için oluşturursak,

$$\begin{bmatrix} \Delta X'_{ij} \\ \Delta Y'_{ij} \\ \Delta Z'_{ij} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{\Delta X'_{ij}} \\ v_{\Delta Y'_{ij}} \\ v_{\Delta Z'_{ij}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{ij} \\ \Delta Y_{ij} \\ \Delta Z_{ij} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

olur. (X^0 , Y^0 , Z^0) WGS-84 sisteminde yaklaşık koordinatları göstermek üzere (3.1) eşitliğinde,

$$\begin{bmatrix} \Delta X_{ij} \\ \Delta Y_{ij} \\ \Delta Z_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_j^0 + \delta X_j \\ Y_j^0 + \delta Y_j \\ Z_j^0 + \delta Z_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i^0 + \delta X_i \\ Y_i^0 + \delta Y_i \\ Z_i^0 + \delta Z_i \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

eşitleri yazılırsa dönüştürülmüş düzeltme denklemleri,

$$\begin{bmatrix} v_{\Delta X'_{ij}} \\ v_{\Delta Y'_{ij}} \\ v_{\Delta Z'_{ij}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_j^0 + \delta X_j \\ Y_j^0 + \delta Y_j \\ Z_j^0 + \delta Z_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i^0 + \delta X_i \\ Y_i^0 + \delta Y_i \\ Z_i^0 + \delta Z_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta X'_{ij} \\ \Delta Y'_{ij} \\ \Delta Z'_{ij} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

olur. Yalın terim için,

$$-l_{ij} = \begin{bmatrix} -l_{\Delta X_{ij}} \\ -l_{\Delta Y_{ij}} \\ -l_{\Delta Z_{ij}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_j^0 \\ Y_j^0 \\ Z_j^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i^0 \\ Y_i^0 \\ Z_i^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta X_{ij}' \\ \Delta Y_{ij}' \\ \Delta Z_{ij}' \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

eşitleri yazılır ve (3.3) de yerine konularak dönüştürülmüş düzeltme denklemleri,

$$\begin{bmatrix} v_{\Delta X_{ij}'} \\ v_{\Delta Y_{ij}'} \\ v_{\Delta Z_{ij}'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta X_J \\ \delta Y_J \\ \delta Z_J \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \delta X_i \\ \delta Y_i \\ \delta Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -l_{\Delta X_{ij}} \\ -l_{\Delta Y_{ij}} \\ -l_{\Delta Z_{ij}} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

elde edilir.

n: GPS ölçü sayısını ve u: bilinmeyen nokta sayısını (bir nokta için 3 bilinmeyen vardır) göstermek üzere oluşturulan A katsayılar matrisi,

$$A_{n \times u} = \begin{bmatrix} a_{\Delta X_{ij}} \\ a_{\Delta Y_{ij}} \\ a_{\Delta Z_{ij}} \\ a_{\Delta X_{iu}} \\ a_{\Delta Y_{iu}} \\ a_{\Delta Z_{iu}} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{\Delta X_{jk}} \\ a_{\Delta Y_{jk}} \\ a_{\Delta Z_{jk}} \end{bmatrix} = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_i & Y_i & Z_i & X_j & Y_j & Z_j & X_k & Y_k & Z_k & & X_u & Y_u & Z_u \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \end{matrix} \quad (3.6)$$

(3.1) eşitliği, n sayıda ölçü ve u sayıda bilinmeyen için açılarak fonksiyonel model,

$$-l = \begin{bmatrix} -l_{\Delta X_{ij}} \\ -l_{\Delta Y_{ij}} \\ -l_{\Delta Z_{ij}} \\ -l_{\Delta X_{iu}} \\ -l_{\Delta Y_{iu}} \\ -l_{\Delta Z_{iu}} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ -l_{\Delta X_{jk}} \\ -l_{\Delta Y_{jk}} \\ -l_{\Delta Z_{jk}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{\Delta X'_{ij}} \\ v_{\Delta Y'_{ij}} \\ v_{\Delta Z'_{ij}} \\ v_{\Delta X'_{iu}} \\ v_{\Delta Y'_{iu}} \\ v_{\Delta Z'_{iu}} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ v_{\Delta X'_{jk}} \\ v_{\Delta Y'_{jk}} \\ v_{\Delta Z'_{jk}} \end{bmatrix} = A_{n \times u} \cdot \begin{bmatrix} \delta X_i \\ \delta Y_i \\ \delta Z_i \\ \delta X_j \\ \delta Y_j \\ \delta Z_j \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta X_u \\ \delta Y_u \\ \delta Z_u \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

oluşturulur [Saka,2001 ve Wolf,1996].

Serbest dengeleme için GPS koordinat farkları ölçü olarak alınıp ağın tüm noktaları bilinmeyen seçilerek serbest ağ dengelenir. Normal denklemler,

$$N = A^T . P . A \quad (3.8)$$

$$n = A^T . P . l$$

Pseudo inversi için,

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$E_{3 \times u} = [I \quad I \quad \dots \quad I] \quad (3.9)$$

yazılarak;

$$N^+ = (N + E . E^T)^{-1} - E . E^T \quad (3.10)$$

hesaplanır.

$$x_{u \times 1} = N^+ . n \quad (3.11)$$

bulunarak; GPS ölçülerine getirilen düzeltme,

$$v_{n \times 1} = A . x - l \quad (3.12)$$

hesaplanır. Birim ağırlıklı ölçünün varyansı,

$$\sigma_0^2 = \frac{v^T \cdot P \cdot v}{n - u} \quad (3.13)$$

her bir ölçünün varyansı,

$$\sigma_i^2 = \frac{\sigma_0^2}{diag[P]} \quad (3.14)$$

olur [Saka,2001 ve Wolf,1996]. Sonuç olarak WGS-84 sisteminde GPS koordinatları elde edilir.

3.2 Presizyonlu Nivelmanla Ölçülen Yükseklik (Kot) Farklarının Fonksiyonel Modeli ve Dengelenmesi

Presizyonlu nivelmanla ölçülen ΔH yükseklik (kot) farkları düzeltilmesi gereken ölçüler anlamında görülür ve düzeltilmiş ölçü değerlerinin dengeli nivelman yüksekliklerinin farklarına eşit olması istenir.

Presizyonlu nivelman için fonksiyonel model,

$$\begin{bmatrix} \Delta H'_{ij} \\ \Delta H'_{iu} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta H'_{jk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{\Delta H'_{ij}} \\ v_{\Delta H'_{iu}} \\ \cdot \\ \cdot \\ v_{\Delta H'_{jk}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta H_{ij} \\ \Delta H_{iu} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta H_{jk} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

olur. A katsayılar matrisi,

$$A = \begin{bmatrix} a_{\Delta H_{ij}} \\ a_{\Delta H_{iu}} \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{\Delta H_{jk}} \end{bmatrix} = \begin{matrix} & h_i & h_j & h_u \\ \begin{bmatrix} -1 & 1 & \cdot & 0 \\ -1 & 0 & \cdot & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & -1 & \cdot & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.16)$$

İki nokta arasındaki uzaklık km biriminde yazılarak ağırlık katsayıları (kofaktör) matrisi oluşturulur,

$$Q = \text{diag}(S_{ij} \ S_{iu} \ ... \ S_{jk}) \quad (3.17)$$

Ağırlık matrisi P, kofaktör matrisinin inversi alınarak,

$$P = Q^{-1} \quad (3.18)$$

hesaplanır. h^0 yaklaşık yüksekliği göstermek üzere (3.15) eşitliğinde,

$$\begin{bmatrix} \Delta H_{ij} \\ \Delta H_{iu} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta H_{jk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_j^0 + \delta h_j \\ h_u^0 + \delta h_u \\ \cdot \\ \cdot \\ h_k^0 + \delta h_k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} h_i^0 + \delta h_i \\ h_i^0 + \delta h_i \\ \cdot \\ \cdot \\ h_j^0 + \delta h_j \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

eşitleri yazılırsa dönüştürülmüş düzeltme denklemleri,

$$\begin{bmatrix} v_{\Delta H'_{ij}} \\ v_{\Delta H'_{iu}} \\ \cdot \\ \cdot \\ v_{\Delta H'_{jk}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_j^0 + \delta h_j \\ h_u^0 + \delta h_u \\ \cdot \\ \cdot \\ h_k^0 + \delta h_k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} h_i^0 + \delta h_i \\ h_i^0 + \delta h_i \\ \cdot \\ \cdot \\ h_j^0 + \delta h_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta H'_{ij} \\ \Delta H'_{iu} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta H'_{jk} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

olur. Yalın terim için,

$$-l = \begin{bmatrix} -l_{\Delta H_{ij}} \\ -l_{\Delta H_{iu}} \\ \cdot \\ \cdot \\ -l_{\Delta H_{jk}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_j^0 \\ h_u^0 \\ \cdot \\ \cdot \\ h_k^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} h_i^0 \\ h_i^0 \\ \cdot \\ \cdot \\ h_j^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta H'_{ij} \\ \Delta H'_{iu} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta H'_{jk} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

eşitleri yazılır ve (3.20) de yerine konularak dönüştürülmüş düzeltme denklemleri,

$$\begin{bmatrix} v_{\Delta H'_{ij}} \\ v_{\Delta H'_{iu}} \\ \cdot \\ \cdot \\ v_{\Delta H'_{jk}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta h_j \\ \delta h_u \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta h_k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \delta h_i \\ \delta h_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta h_j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -l_{\Delta H_{ij}} \\ -l_{\Delta H_{iu}} \\ \cdot \\ \cdot \\ -l_{\Delta H_{jk}} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

elde edilir [Leick,1990 ve Coşkun,1996].

Serbest dengeleme için ΔH yükseklik (kot) farkları ölçü olarak alınıp ağın tüm noktaları bilinmeyen seçilerek serbest ağ dengelenir. Normal denklemler,

$$\begin{aligned} N &= A^T . P . A \\ n &= A^T . P . l \end{aligned} \quad (3.23)$$

Pseudo inversi için,

u: bilinmeyen nokta sayısı

$$E_{1 \times u} = \frac{1}{\sqrt{u}} [1 \quad 1 \quad \dots \quad 1]_{1 \times u} \quad (3.24)$$

yazılarak; pseudo inversi,

$$N^+ = (N + E . E^T)^{-1} - E . E^T \quad (3.25)$$

hesaplanır.

$$x_{u \times 1} = N^+ . n \quad (3.26)$$

bulunarak, presizyonlu nivelman ölçülerine getirilen düzeltme

$$v_{n \times 1} = A . x - l \quad (3.27)$$

hesaplanır. Birim ağırlıklı ölçünün varyansı,

$$\sigma_0^2 = \frac{v^T . P . v}{n - u} \quad (3.28)$$

her bir ölçünün varyansı,

$$\sigma_i^2 = \frac{\sigma_0^2}{diag[P]} \quad (3.29)$$

olur [Coşkun,1996; Leick, 1990 and Wolf, 1996].

3.3 GPS ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Entegrasyonu İçin Elipsoidal Koordinatlara Göre Fonksiyonel Modelinin Oluşturulması

GPS ve nivelman ağında yapılan GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin entegrasyonu için, GPS ile ölçülen $(\Delta X', \Delta Y', \Delta Z')$ koordinat farkları devamına presizyonlu nivelman ölçüleri $(\Delta H')$ yazılarak; sabit alınan bir noktaya göre yaklaşık Elipsoidal Koordinatlar hesaplanır. GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri düzeltilmesi gereken ölçüler anlamında görülür. Bu ölçülerin düzeltilmiş değerlerinin dengeli elipsoidal koordinatların farklarına eşit olması istenir.

Aynı noktalarda yapılan GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri entegrasyonu için, GPS ile ölçülen $(\Delta X', \Delta Y', \Delta Z')$ koordinat farkları devamına presizyonlu nivelman ölçüleri $(\Delta H')$ yazılarak fonksiyonel model oluşturulur.

Fonksiyonel modeli, GPS ve presizyonlu nivelmanla ölçülen $(\Delta X'_{ij}, \Delta Y'_{ij}, \Delta Z'_{ij}, \Delta H'_{ij})$ ölçüsü için oluşturursak,

$$\begin{bmatrix} \Delta X'_{ij} \\ \Delta Y'_{ij} \\ \Delta Z'_{ij} \\ \Delta H'_{ij} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{\Delta X'_{ij}} \\ v_{\Delta Y'_{ij}} \\ v_{\Delta Z'_{ij}} \\ v_{\Delta H'_{ij}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{ij} \\ \Delta Y_{ij} \\ \Delta Z_{ij} \\ \Delta H_{ij} \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

olur. Elipsoidal Koordinat Sisteminde fonksiyonel model kurulmak istenirse o zaman düzeltme denklemleri bu sistemde yazılıp, katsayılar matrisi bu sisteme bağlı olarak hesaplanmalıdır. Global Jeodezik Dik Koordinatlarla Elipsoidal Koordinatlar arasında,

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ Y &= (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \end{aligned} \quad (3.31)$$

$$Z = ((b^2/a^2) N + h) \sin \varphi = ((1 - e^2) N + h) \sin \varphi$$

bağıntısı vardır. WGS-84 Elipsoidinde,

$$a = 6378137.000 \text{ m}$$

$$e^2 = 0.006694379990$$

N : Normal kesit eğrilik yarıçapı

$$N = \frac{a}{\sqrt{(1-e^2 \cdot \sin^2 \varphi)}} \quad (3.32)$$

M : Meridyen eğrilik yarıçapı

$$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \cdot \sin^2 \varphi)^{3/2}} \quad (3.33)$$

olur. GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri Elipsoidal Koordinatlara göre yazılırsa, (3.30) eşitliğinin sağ tarafı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} \Delta X_{ij} \\ \Delta Y_{ij} \\ \Delta Z_{ij} \\ \Delta H_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ h_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ h_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_j + h_j) \cdot \cos \varphi_j \cdot \cos \lambda_j \\ (N_j + h_j) \cdot \cos \varphi_j \cdot \sin \lambda_j \\ ((1-e^2)N_j + h_j) \cdot \sin \varphi_j \\ h_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (N_i + h_i) \cdot \cos \varphi_i \cdot \cos \lambda_i \\ (N_i + h_i) \cdot \cos \varphi_i \cdot \sin \lambda_i \\ ((1-e^2)N_i + h_i) \cdot \sin \varphi_i \\ h_i \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

olur. (X,Y,Z) dik koordinatlar olmak üzere,

$$\begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ h_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ h_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_j(\varphi_j, \lambda_j, h_j) \\ Y_j(\varphi_j, \lambda_j, h_j) \\ Z_j(\varphi_j, \lambda_j, h_j) \\ dh_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i(\varphi_i, \lambda_i, h_i) \\ Y_i(\varphi_i, \lambda_i, h_i) \\ Z_i(\varphi_i, \lambda_i, h_i) \\ dh_i \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

elipsoidal koordinatların birer fonksiyonudur. Toplam diferansiyel kuralı (3.35) eşitliğinde uygulanırsa, (3.34) eşitliği (3.30) gibi artık lineer değildir. Bu nedenle $(\varphi_0, \lambda_0, h_0)$ ' a göre taylor serisine açılıp lineerleştirilir. (3.34) ün birincisi alındığında,

$$\begin{bmatrix} dX_j \\ dY_j \\ dZ_j \\ dh_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} dX_i \\ dY_i \\ dZ_i \\ dh_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial X_j}{\partial \varphi_j} & \frac{\partial X_j}{\partial \lambda_j} & \frac{\partial X_j}{\partial h_j} \\ \frac{\partial Y_j}{\partial \varphi_j} & \frac{\partial Y_j}{\partial \lambda_j} & \frac{\partial Y_j}{\partial h_j} \\ \frac{\partial Z_j}{\partial \varphi_j} & \frac{\partial Z_j}{\partial \lambda_j} & \frac{\partial Z_j}{\partial h_j} \\ dh_j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta \varphi_j \\ \delta \lambda_j \\ \delta h_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{\partial X_i}{\partial \varphi_i} & \frac{\partial X_i}{\partial \lambda_i} & \frac{\partial X_i}{\partial h_i} \\ \frac{\partial Y_i}{\partial \varphi_i} & \frac{\partial Y_i}{\partial \lambda_i} & \frac{\partial Y_i}{\partial h_i} \\ \frac{\partial Z_i}{\partial \varphi_i} & \frac{\partial Z_i}{\partial \lambda_i} & \frac{\partial Z_i}{\partial h_i} \\ dh_i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta \varphi_i \\ \delta \lambda_i \\ \delta h_i \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

olur. Kısmi türevler, her bir baş vektörü için,

$$J_j(\varphi_j, \lambda_j, h_j) = \begin{bmatrix} \frac{\partial X_j}{\partial \varphi_j} & \frac{\partial X_j}{\partial \lambda_j} & \frac{\partial X_j}{\partial h_j} \\ \frac{\partial Y_j}{\partial \varphi_j} & \frac{\partial Y_j}{\partial \lambda_j} & \frac{\partial Y_j}{\partial h_j} \\ \frac{\partial Z_j}{\partial \varphi_j} & \frac{\partial Z_j}{\partial \lambda_j} & \frac{\partial Z_j}{\partial h_j} \end{bmatrix} \text{ ve } J_i(\varphi_i, \lambda_i, h_i) = \begin{bmatrix} \frac{\partial X_i}{\partial \varphi_i} & \frac{\partial X_i}{\partial \lambda_i} & \frac{\partial X_i}{\partial h_i} \\ \frac{\partial Y_i}{\partial \varphi_i} & \frac{\partial Y_i}{\partial \lambda_i} & \frac{\partial Y_i}{\partial h_i} \\ \frac{\partial Z_i}{\partial \varphi_i} & \frac{\partial Z_i}{\partial \lambda_i} & \frac{\partial Z_i}{\partial h_i} \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

(3.37), (3.36) da jakobiye matrislerle gösterilirse,

$$\begin{bmatrix} dX_j \\ dY_j \\ dZ_j \\ dh_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} dX_i \\ dY_i \\ dZ_i \\ dh_i \end{bmatrix} = J_j(\varphi_j, \lambda_j, h_j) \cdot \begin{bmatrix} \delta\varphi_j \\ \delta\lambda_j \\ \delta h_j \end{bmatrix} - J_i(\varphi_i, \lambda_i, h_i) \cdot \begin{bmatrix} \delta\varphi_i \\ \delta\lambda_i \\ \delta h_i \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

lineer hale gelmiş olur [Leick,1990]. $\gamma^1(\Phi^1, \Psi^1, \Upsilon^1)$ matrisinin elemanları sıra ile,

$$\frac{\partial X_j}{\partial \varphi_j} = -(M_j + h_j) \sin \varphi_j \cos \lambda_j, \quad (3.39)$$

$$\frac{\partial X_j}{\partial \lambda_j} = -(N_j + h_j) \cos \varphi_j \sin \lambda_j, \quad (3.40)$$

$$\frac{\partial X_j}{\partial h_j} = \cos \varphi_j \cos \lambda_j, \quad (3.41)$$

$$\frac{\partial Y_j}{\partial \varphi_j} = -(M_j + h_j) \sin \varphi_j \sin \lambda_j, \quad (3.42)$$

$$\frac{\partial Y_j}{\partial \lambda_j} = (N_j + h_j) \cos \varphi_j \cos \lambda_j, \quad (3.43)$$

$$\frac{\partial Y_j}{\partial h_j} = \cos \varphi_j \sin \lambda_j, \quad (3.44)$$

$$\frac{\partial Z_j}{\partial \varphi_j} = (M_j + h_j) \cos \varphi_j, \quad (3.45)$$

$$\frac{\partial Z_j}{\partial \lambda_j} = 0, \quad (3.46)$$

$$\frac{\partial Z_j}{\partial h_j} = \sin \varphi_j \text{ ve} \quad (3.47)$$

$J_i(\varphi_i, \lambda_i, h_i)$ matrisinin elemanları sıra ile,

$$\frac{\partial X_i}{\partial \varphi_i} = -(M_i + h_i) \sin \varphi_i \cos \lambda_i, \quad (3.48)$$

$$\frac{\partial X_i}{\partial \lambda_i} = -(N_i + h_i) \cos \varphi_i \sin \lambda_i, \quad (3.49)$$

$$\frac{\partial X_i}{\partial h_i} = \cos \varphi_i \cos \lambda_i, \quad (3.50)$$

$$\frac{\partial Y_i}{\partial \varphi_i} = -(M_i + h_i) \sin \varphi_i \sin \lambda_i, \quad (3.51)$$

$$\frac{\partial Y_i}{\partial \lambda_i} = (N_i + h_i) \cos \varphi_i \cos \lambda_i, \quad (3.52)$$

$$\frac{\partial Y_i}{\partial h_i} = \cos \varphi_i \sin \lambda_i, \quad (3.53)$$

$$\frac{\partial Z_i}{\partial \varphi_i} = (M_i + h_i) \cos \varphi_i, \quad (3.54)$$

$$\frac{\partial Z_i}{\partial \lambda_i} = 0, \quad (3.55)$$

$$\frac{\partial Z_i}{\partial h_i} = \sin \varphi_i \quad (3.56)$$

bulunur. (3.38) eşitliğinde, $J_j(\varphi_j, \lambda_j, h_j)$ ve $J_i(\varphi_i, \lambda_i, h_i)$ matrisinin elemanları sıra ile yazılarak,

$$\begin{bmatrix} dX_j \\ dY_j \\ dZ_j \\ dh_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} dX_i \\ dY_i \\ dZ_i \\ dh_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(M_j + h_j) \sin \varphi_j \cos \lambda_j & -(N_j + h_j) \cos \varphi_j \sin \lambda_j & \cos \varphi_j \cos \lambda_j \\ -(M_j + h_j) \sin \varphi_j \sin \lambda_j & (N_j + h_j) \cos \varphi_j \cos \lambda_j & \cos \varphi_j \sin \lambda_j \\ (M_j + h_j) \cos \varphi_j & 0 & \sin \varphi_j \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

$$\begin{bmatrix} \delta\varphi_j \\ \delta\lambda_j \\ \delta h_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -(M_i + h_i) \sin \varphi_i \cos \lambda_i & -(N_i + h_i) \cos \varphi_i \sin \lambda_i & \cos \varphi_i \cos \lambda_i \\ -(M_i + h_i) \sin \varphi_i \sin \lambda_i & (N_i + h_i) \cos \varphi_i \cos \lambda_i & \cos \varphi_i \sin \lambda_i \\ (M_i + h_i) \cos \varphi & 0 & \sin \varphi_i \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\varphi_i \\ \delta\lambda_i \\ \delta h_i \end{bmatrix} \quad (3.57)$$

elde edilir [Leick,1990; Wolf,1963; Landaw,1986].

Yalın terim, yaklaşık elipsoidal koordinatlarla bulunan yaklaşık ölçülerden arazide yapılan ölçümlerin çıkarılması ile,

$$\begin{bmatrix} -l_{\Delta X_{ij}} \\ -l_{\Delta Y_{ij}} \\ -l_{\Delta Z_{ij}} \\ -l_{\Delta H_{ij}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{ij}^0 \\ \Delta Y_{ij}^0 \\ \Delta Z_{ij}^0 \\ \Delta H_{ij}^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta X_{ij}' \\ \Delta Y_{ij}' \\ \Delta Z_{ij}' \\ \Delta H_{ij}' \end{bmatrix} \quad (3.58)$$

bulunur. GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin entegrasyonu için, $(\varphi^0, \lambda^0, h^0)$ yaklaşık elipsoidal koordinatları göstermek üzere; yaklaşık ölçüler, yaklaşık elipsoidal koordinatlara göre hesaplanarak

$$\begin{bmatrix} \Delta X_{ij}^0 \\ \Delta Y_{ij}^0 \\ \Delta Z_{ij}^0 \\ \Delta H_{ij}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_j^0 + h_j^0) \cdot \cos \varphi_j^0 \cos \lambda_j^0 \\ (N_j^0 + h_j^0) \cdot \cos \varphi_j^0 \sin \lambda_j^0 \\ ((1 - e^2) N_j^0 + h_j^0) \cdot \sin \varphi_j^0 \\ h_j^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (N_i^0 + h_i^0) \cdot \cos \varphi_i^0 \cos \lambda_i^0 \\ (N_i^0 + h_i^0) \cdot \cos \varphi_i^0 \sin \lambda_i^0 \\ ((1 - e^2) N_i^0 + h_i^0) \cdot \sin \varphi_i^0 \\ h_i^0 \end{bmatrix} \quad (3.59)$$

bulunur. Bulunan (3.57) ve (3.58) eşitlikleri (3.30) da düzenlenirse fonksiyonel model tamamlanmış olur ve φ, λ, h parametre olarak yeni düzeltme denklemleri,

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} v_{\Delta X'_{ij}} \\ v_{\Delta Y'_{ij}} \\ v_{\Delta Z'_{ij}} \\ v_{\Delta H'_{ij}} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -(M_j + h_j) \sin \varphi_j \cos \lambda_j & -(N_j + h_j) \cos \varphi_j \sin \lambda_j & \cos \varphi_j \cos \lambda_j \\ -(M_j + h_j) \sin \varphi_j \sin \lambda_j & (N_j + h_j) \cos \varphi_j \cos \lambda_j & \cos \varphi_j \sin \lambda_j \\ (M_j + h_j) \cos \varphi_j & 0 & \sin \varphi_j \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \varphi_j \\ \delta \lambda_j \\ \delta h_j \end{bmatrix} - \\
&\begin{bmatrix} -(M_i + h_i) \sin \varphi_i \cos \lambda_i & -(N_i + h_i) \cos \varphi_i \sin \lambda_i & \cos \varphi_i \cos \lambda_i \\ -(M_i + h_i) \sin \varphi_i \sin \lambda_i & (N_i + h_i) \cos \varphi_i \cos \lambda_i & \cos \varphi_i \sin \lambda_i \\ (M_i + h_i) \cos \varphi_i & 0 & \sin \varphi_i \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \varphi_i \\ \delta \lambda_i \\ \delta h_i \end{bmatrix} + \\
&\begin{bmatrix} (N_j^0 + h_j^0) \cdot \cos \varphi_j^0 \cos \lambda_j^0 \\ (N_j^0 + h_j^0) \cdot \cos \varphi_j^0 \cdot \sin \lambda_j^0 \\ ((1-e^2)N_j^0 + h_j^0) \cdot \sin \varphi_j^0 \\ h_j^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (N_i^0 + h_i^0) \cdot \cos \varphi_i^0 \cdot \cos \lambda_i^0 \\ (N_i^0 + h_i^0) \cdot \cos \varphi_i^0 \cdot \sin \lambda_i^0 \\ ((1-e^2)N_i^0 + h_i^0) \cdot \sin \varphi_i^0 \\ h_i^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta X'_{ij} \\ \Delta Y'_{ij} \\ \Delta Z'_{ij} \\ \Delta H'_{ij} \end{bmatrix} \quad (3.60)
\end{aligned}$$

elde edilir [Leick,1990].

4. GPS ve NİVELMAN ÖLÇÜLERİ İÇİN STOKASTİK MODELLEME

Bilinmeyenlerin bulunması amacıyla ölçüler arasında göreceli olarak doğruluğu belirleyen ilişkiye “Stokastik Modelleme” denir. Öncelikle, gözlem eşitlikleri için basit olarak şu matematiksel model yazılabilir:

$$V = A.X - l \quad (4.1)$$

Burada,

A : Bilinmeyenlerin katsayılar matrisi,

X : Bilinmeyen parametreler vektörü,

l : Ölçüler vektörü,

V : Düzeltmeler vektörüdür.

En küçük kareler ilkesi $V^T.P.V = \min$ dur. Bu eşitlikte P ; gözlemlerin ağırlık matrisidir. stokastik modeli oluşturmak için en küçük kareler çözümü hesaplanmadan önce öncül kovaryans matrisi bulunabilir. Böylelikle bu matris, gözlemlerin stokastik modeli olarak tanımlanır.

4.1 GPS ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Birlikte Değerlendirilmesi İçin Stokastik Model

GPS ölçümlerinin kovaryans matrisi:

$$K_{GPS} = \begin{bmatrix} \sigma_{X1}^2 & \sigma_{X1Y1} & \sigma_{X1Z1} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_{X1Y1} & \sigma_{Y1}^2 & \sigma_{Y1Z1} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_{X1Z1} & \sigma_{Y1Z1} & \sigma_{Z1}^2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{X2}^2 & \sigma_{X2Y2} & \sigma_{X2Z2} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{X2Y2} & \sigma_{Y2}^2 & \sigma_{Y2Z2} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{X2Z2} & \sigma_{Y2Z2} & \sigma_{Z2}^2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \sigma_{Xn}^2 & \sigma_{XnYn} & \sigma_{XnZn} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \sigma_{XnYn} & \sigma_{Yn}^2 & \sigma_{YnZn} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \sigma_{XnZn} & \sigma_{YnZn} & \sigma_{Zn}^2 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Presizyonlu nivelman ölçümlerinin kovaryans matrisi:

$$K_{NIV} = \begin{bmatrix} S_{1(km)} & 0 & . & 0 \\ 0 & S_{2(km)} & . & 0 \\ . & . & . & . \\ 0 & 0 & . & S_{m(km)} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Köşegen üzerinde olan elemanlar ölçülerin varyansı, geriye kalan elemanlar ise kovaryansdır.

Öncül kovaryans matrisi aşağıdaki gibi bulunur:

$$K_{\dot{O}} = \begin{bmatrix} K_{GPS} & . & 0 \\ . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & . & K_{NIV} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Kofaktör matrisi, kovaryans matrisinin birim ağırlıklı varyansa bölünmesi ile elde edilir.

$$Q = \frac{K_{\dot{O}}}{\sigma_0^2} \quad (4.5)$$

GPS ölçüleri için Kofaktör matrisi:

$$Q_{GPS} = \frac{K_{GPS}}{\sigma_0^2} \quad (4.6)$$

$\sigma_0^2 = 1$ km alınır, kofaktör matrisi

$$Q_{NIV} = K_{NIV} \quad (4.7)$$

formülleri ile hesaplanır.

Gözlemlerin stokastik modelini oluşturan ağırlık matrisi, kofaktör matrisinin (4.5) inversi alınarak bulunur,

$$P = Q^{-1} \quad (4.8)$$

GPS ölçüleri için Ağırlık matrisi:

$$P_{GPS} = Q_{GPS}^{-1} \quad (4.9)$$

Presizyonlu nivelman için Ağırlık matrisi:

$$P_{NIV} = Q_{NIV}^{-1} \quad (4.10)$$

formülleri ile hesaplanır.

GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin entegrasyonu için elipsoidal koordinatlara ve nivelman yüksekliklerine göre tüm ölçüler modellenerek A katsayılar matrisi ve $-l$ yalın terimi oluşturulur ve dengeleme yapılır.

$$N = A^T P A \quad (4.11)$$

$$n = A^T P l \quad (4.12)$$

$$X = N^{-1} n \quad (4.13)$$

$$V = AX - l \quad (4.14)$$

$$c = V^T P V \quad (4.15)$$

$$m_0 = \sqrt{\frac{c}{n-u}} \quad (4.16)$$

Burada:

N : Normal denklem

V : GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerine gelen düzeltmeler

m_0 : Birim ağırlıklı ölçünün varyansını gösterir.

Dengelemenin denetimi için, düzeltmelerle bulunan ölçüler ile dengeli koordinatlardan hesaplanan ölçüler eşit olmalıdır.

5. GPS ve NİVELMAN ÖLÇÜLERİ İÇİN VARYANS ANALİZİ

GPS ölçüleri için elipsoidal koordinatlara göre tüm ölçüler modellenerek A_{GPS} katsayılar matrisi ve $-l_{GPS}$ yalın terimi oluşturulur. Presizyonlu nivelman ölçüleri için nivelman yüksekliklerine göre tüm ölçüler modellenerek A_{NIV} katsayılar matrisi ve $-l_{NIV}$ yalın terimi oluşturulur. Daha sonra aşağıdaki ifadeler hesaplanır.

$$\begin{aligned} N_{GPS} &= A_{GPS}^T P_{GPS} A_{GPS} \\ N_{NIV} &= A_{NIV}^T P_{NIV} A_{NIV} \end{aligned} \quad (5.1)$$

(4.13) den hesaplanan X aşağıdaki eşitliklerde yerine konulur,

$$\begin{aligned} V_{GPS} &= A_{GPS} X - l_{GPS} \\ V_{NIV} &= A_{NIV} X - l_{NIV} \end{aligned} \quad (5.2)$$

daha sonra aşağıdaki ifadeler hesaplanır,

$$\begin{aligned} c_{GPS} &= V_{GPS}^T P_{GPS} V_{GPS} \\ c_{NIV} &= V_{NIV}^T P_{NIV} V_{NIV} \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$X = (A^T P A)^{-1} (A^T P l) \quad (5.4)$$

$$A^T P A X - A^T P l = 0 \quad (5.5)$$

Son eşitlikte görüleceği üzere buradaki en önemli husus, gözlemler arasında göreceli ağırlık belirlemedir.

GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri birlikte ve ayrı ayrı dengelenir. GPS ölçüleri dengeleme sonuçları (1) ve presizyonlu nivelman ölçüleri dengeleme sonuçları (2) ile gösterilerek, iki ölçme grubu oluşturulur. Daha sonra Helmert Varyans Analizinin adımlarına geçilir.

1. Adım: Dengelemeden önce GPS ve presizyonlu nivelman için oluşturulan iki ölçü grubu için (4.9) ve (4.10) dan ağırlıklar belirlenir (P_{GPS} , P_{NIV}). Başlangıçta iki ölçü grubu içinde ağırlıklar 1 alınabilir.
2. Adım: P_{GPS} , P_{NIV} başlangıç ağırlıkları kullanılarak, GPS ve presizyonlu nivelmana göre oluşturulan iki ölçü grubu için (5.1) den normal denklemler (N_{GPS} , N_{NIV}) ve (4.11) den genel normal denklem (N) oluşturulur. Burada, $N = N_{GPS} + N_{NIV}$ eşitliğinden sağlama yapılır.
3. Adım: Dengeleme yapılarak, (4.13) den bilinmeyen parametreler (X) ve (5.2) den düzeltmeler (V_{GPS} , V_{NIV}) hesaplanır.
4. Adım: Ek (2.23) eşitliğindeki Helmert denklemini oluşturmak için ilk olarak aşağıdaki ifadeler hesaplanır.

$$c_{GPS} = V_{GPS}^T P_{GPS} V_{GPS}$$

$$c_{NIV} = V_{NIV}^T P_{NIV} V_{NIV} \quad (5.6)$$

$$c = \begin{bmatrix} c_{GPS} \\ c_{NIV} \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

h matrisi katsayıları:

$$h_{11} = (n_{GPS} - 2\dot{I}z(N^{-1}N_{GPS}) + \dot{I}z(N^{-1}N_{GPS}N^{-1}N_{GPS}))$$

$$h_{22} = (n_{NIV} - 2\dot{I}z(N^{-1}N_{NIV}) + \dot{I}z(N^{-1}N_{NIV}N^{-1}N_{NIV})) \quad (5.8)$$

$$h_{12} = \dot{I}z(N^{-1}N_{NIV}N^{-1}N_{GPS})$$

$$h_{21} = \dot{I}z(N^{-1}N_{GPS}N^{-1}N_{NIV})$$

$$h = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

$$\sigma_i^2 = \begin{bmatrix} \sigma_{GPS}^2 \\ \sigma_{NIV}^2 \end{bmatrix} = h^{-1}c \quad (5.10)$$

(5.10) da hesaplanan varyans bileşenleri sonucunda yeni ağırlıklar hesaplanır:

$$P_{GPS} = \frac{P_{GPS}}{\sigma_{GPS}^2} \quad (5.11)$$

$$P_{NIV} = \frac{P_{NIV}}{\sigma_{NIV}^2}$$

5. Adım: Eğer varyans bileşenleri (σ_i^2), GPS ve presizyonlu nivelman ölçü grupları için, σ_{GPS}^2 , σ_{NIV}^2 (i = 1,2) bire eşitse işlem sona erer. Bire eşit değilse yeni ağırlıklar kullanılarak 2. Adıma dönülür ve $\sigma_i^2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ olana kadar iterasyona devam edilir. Varyans Analizi için geniş bilgi Bölüm Ek 2' te verilmiştir.

Varyans analizi sonucu bulunan ağırlıklar kullanılarak, GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin birlikte değerlendirilmesi (Bölüm 4.1) için dengeleme yapılır.

6. UYGULAMA

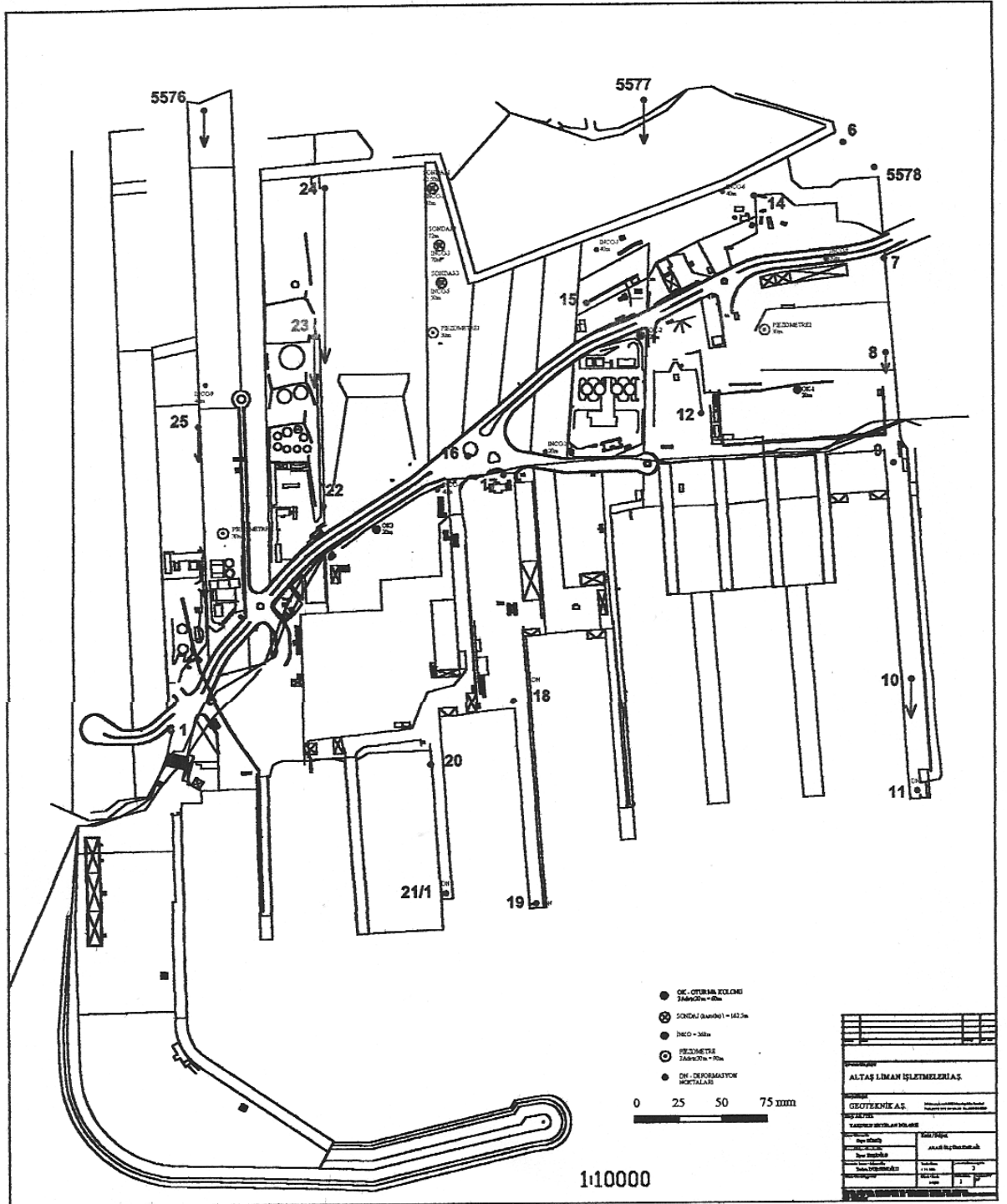
6.1 Uygulama Alanı ve Kontrol Ağının Özellikleri

Altaş Ambarlı Liman Tesisleri sahasında Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle Heyelan İzleme amacı ile deformasyon ölçmeleri kapsamında; düşey doğrultudaki değişimleri daha hassas belirleyebilmek için presizyonlu nivelman ölçme tekniği, yatay ve düşey düzlemdeki koordinatların belirlenebilmesi için GPS ölçme tekniği kullanılmıştır.

Altaş Ambarlı Liman Tesislerindeki çalışma alanında GPS ölçmeleri için; Ana ağı oluşturan 5 adet nirengi noktası (101, 102, 103, 104, 105), çalışma bölgesini kapsayan 23 tane nokta tesisi (5576, 5577, 5578, 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25) ve presizyonlu nivelman ölçmeleri için 23 noktaya ilave olarak (2, 13, 81, 131, 122) yeni nokta kullanılmıştır. Bu noktalar arasında, GPS ile ölçme yapılan her bir baza ait (ΔX , ΔY , ΔZ) dik koordinat farkları ile varyans-kovaryans matrisleri ve presizyonlu nivelmanla ölçme yapılan her bir baza ait (ΔH) yükseklik (kot) farkları ölçü olarak alınmıştır. Şekil 6.1’ de Altaş Ambarlı Liman Tesislerine ait 1/10000 ölçekli plan verilmiştir.

Tez konumuz olan; “ Üç Boyutlu Ağlarda GPS ve Nivelman Ölçülerinin Birlikte Değerlendirilmesi ” amacıyla, Altaş Ambarlı Liman Tesislerinde 7. Peryod da yapılan GPS ve presizyonlu nivelman ölçmeleri kullanılmıştır.

GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin birlikte değerlendirilmesi ağı 7. Peryod da GPS ve presizyonlu nivelmanla ölçülen 20 adet noktası (1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25) kullanılarak yapılmıştır. 5576, 5577, 5578 nolu noktaların GPS ile ölçümünde pilye yüksekliği kullanıldığından; GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin birlikte değerlendirilmesi aşamasında döngü numarası verilirken, her iki ölçme grubu için farklı numara verilmiştir.

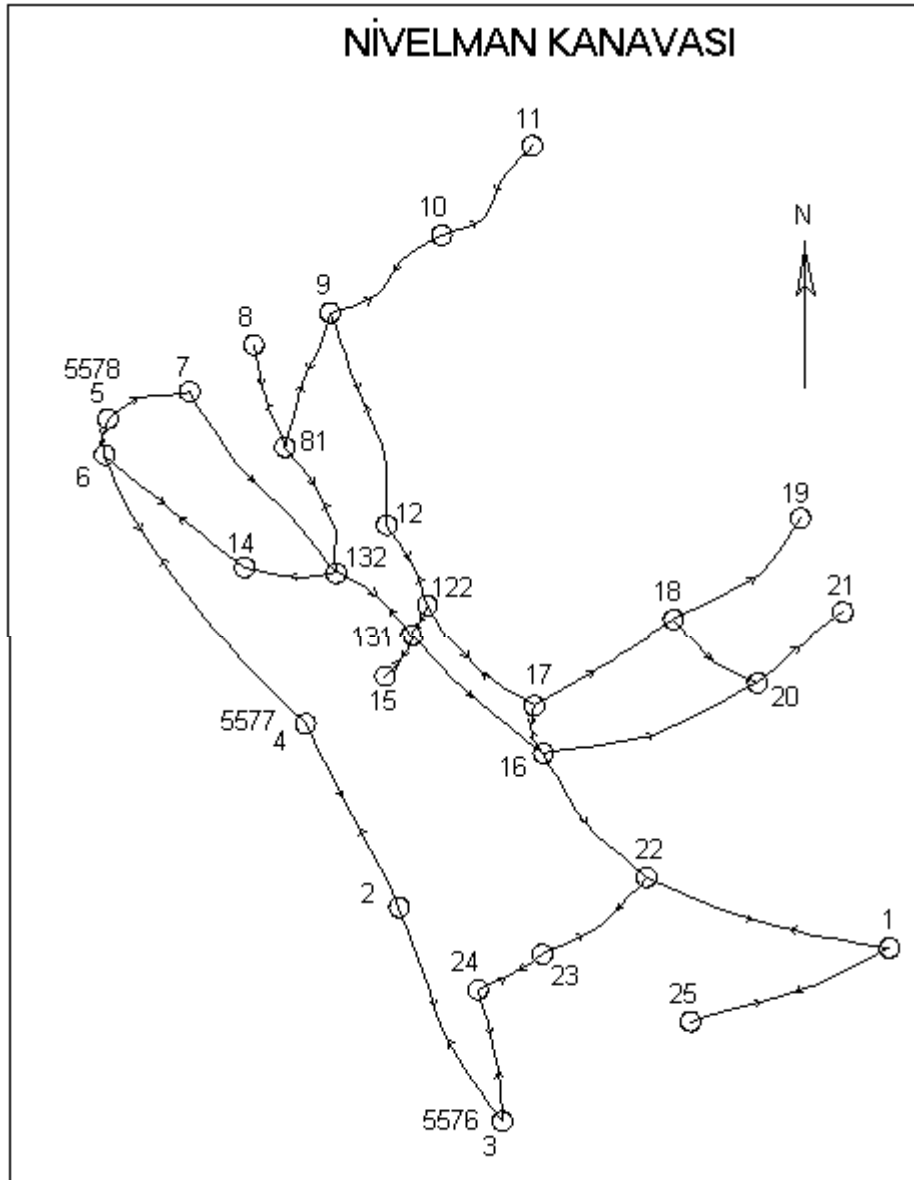


6.2 Presizyonlu Nivelman Ölçmeleri

Presizyonlu nivelman Ağının 7. Peryod presizyonlu nivelman Ölçmeleri, 21.07.2001 – 29.07.2001 tarihleri arasında yapılmıştır. Ölçmelerde *Wild Ni3* ve *Zeiss N1* gibi birinci dereceden presizyonlu nivolar ve donanımları kullanılmıştır. Presizyonlu nivelmanda uygulanan ölçme modeli Şekil 2.1’ de, presizyonlu nivelman ölçmelerinin yapıldığı ağı gösteren nivelman kanavası Şekil 6.2’ de gösterilmiştir.

Şekil 2.1’ e göre, iki nokta arasındaki yükseklik farkı bir vektör olup, bu vektörün doğrultusu düşey doğrultu (çekül doğrultusu) ile çakışır. Vektörün yönü ise, (2.1) eşitliğinde görüldüğü gibi ölçme yönüne göre değişir ve biri diğerinin ters işaretlisi olur. Ölçmelerde, nivonun her bir kuruluşunda, geri ve ileri noktalarda tutulan miralarda I. (ana) ve II. (yardımcı) bölümlendirmeler okunmuştur (gI , gII , iI , iII); böylece yükseklik (kot) farkları (ΔH) ikişer kez ölçülmüştür. Ayrıca nivelman noktaları arasındaki ölçmeler, kaba hataları ortaya çıkarmak ve bir doğruluk kriteri elde etmek için gidiş (G) – dönüş (D) olarak yapılmıştır. Sonuç olarak noktalar arasındaki yükseklik farkları için dörder değer elde edilmiştir. (2.8) den ortalama yükseklik farkı ile kenar kapanma hataları (ρ) hesaplanmıştır. Burada I ve II indisleri mira bölümlendirmelerini; G ve D indisleri ise, gidiş ve dönüş ölçmelerini göstermektedir. Kenar kapanma hataları (ρ), $D(mm) = 1.5 (S(km))^{1/2}$ bağıntısından hesaplanan hata sınır değeri ile karşılaştırılmış ve $\rho < D$ olması durumunda ölçmelerin yeterli doğrulukta yapıldığı kabul edilmiştir. Buradaki S, nivelman yolu uzunluğunu göstermektedir. Bu uzunluklar optik olarak ölçülmüştür [Kalkan,2001].

Ölçmeleri etkileyen hata kaynakları; yükseklik farklarını, nokta yüksekliklerini ve bunların doğruluk kriterlerini etkilemektedir. Presizyonlu nivelman ölçmelerinde sistematik hatalara karşı bazı önlemler alınmıştır. Bunlar; Ölçmelerde kullanılacak aletlerin kontrol ve kalibrasyonunun yapılması, uygun ölçme yöntemi kullanılması, uygun bir matematik modele göre ölçülere düzeltme getirilmesi şeklinde sıralanabilir.



Şekil 6.2 Nivelman kanavası

Her bir nivelman kenarında ölçmeler gidiş – dönüş olarak yapılmış ve bu ölçülere ait özet çizelgesi Tablo 6.1’ de verilmiştir.

Tablo 6.1 7. Peryod Presizyonlu Nivelman Ölçüleri Özet Çizelgesi [Kalkan,2001]

Niv. Kenarı	ΔH (Gidiş) m	ΔH (Dönüş) m	Ort. Niv. Yolu S km	Ort. İst. Sayısı (Dönüş) n	$ p $ mm	Ort. Yük. Farkı ΔH m
$\Delta H1_25$	17,818680	-17,818258	0,530	14	0,42	-17,81847
$\Delta H22_1$	-7,546811	7,546785	0,520	14	-0,03	7,54680
$\Delta H22_23$	39,411500	-39,411425	0,360	18	0,16	-39,41150
$\Delta H23_24$	17,957197	-17,957325	0,202	8	-0,13	-17,95726
$\Delta H24_5576$	35,317625	-35,317825	0,405	18	-0,20	-35,31773
$\Delta H5576_2$	-13,126220	13,123935	0,520	18	-2,29	13,12508
$\Delta H2_5577$	-15,345450	15,346185	0,350	8	0,74	15,34582
$\Delta H5577_6$	-20,212130	20,211440	0,590	16	-0,69	20,21179
$\Delta H6_5578$	-3,213100	3,212933	0,070	2	-0,17	3,21302
$\Delta H5578_7$	-22,731417		0,360	10		22,73142
$\Delta H7_13$	-10,466475		0,120	8		10,46648
$\Delta H13_14$	26,567492		0,270	12		-26,56749
$\Delta H14_6$	9,844225	-9,843203	0,395	12	1,02	-9,84371
$\Delta H13_131$	-1,166675	1,167523	0,120	3	0,85	1,16710
$\Delta H131_15$	6,691830	-6,692008	0,190	6	-0,18	-6,69192
$\Delta H131_16$	-11,588912		0,420	10		11,58891
$\Delta H16_22$	5,164862		0,335	12		-5,16486
$\Delta H13_81$	-8,702112	8,702578	0,240	6	0,47	8,70235
$\Delta H81_8$	1,349765	-1,349889	0,215	6	-0,12	-1,34983
$\Delta H81_9$	-11,723492	11,723464	0,380	10	-0,03	11,72348
$\Delta H9_10$	-0,016505	0,016100	0,320	8	-0,40	0,01630
$\Delta H10_11$	0,071991	-0,072078	0,300	8	-0,09	-0,07203
$\Delta H9_12$	4,108885	-4,107425	0,450	10	1,46	-4,10816
$\Delta H12_122$	2,110905	-2,111410	0,210	6	-0,50	-2,11116
$\Delta H16_17$	-2,317432	2,316810	0,100	2	-0,62	2,31712
$\Delta H17_122$	0,867997	-0,868260	0,315	8	-0,26	-0,86813
$\Delta H122_131$	13,038615	-13,038180	0,180	6	0,43	-13,03840
$\Delta H17_18$	-5,167480		0,390	8		5,16748
$\Delta H18_19$	0,067150		0,370	8		-0,06715
$\Delta H18_20$	-0,288160		0,200	4		0,28816
$\Delta H16_20$	-7,773542	7,772940	0,550	12	-0,60	7,77324
$\Delta H20_21$	-0,235925	0,235765	0,260	6	-0,16	0,23585

6.3 GPS Ölçmeleri

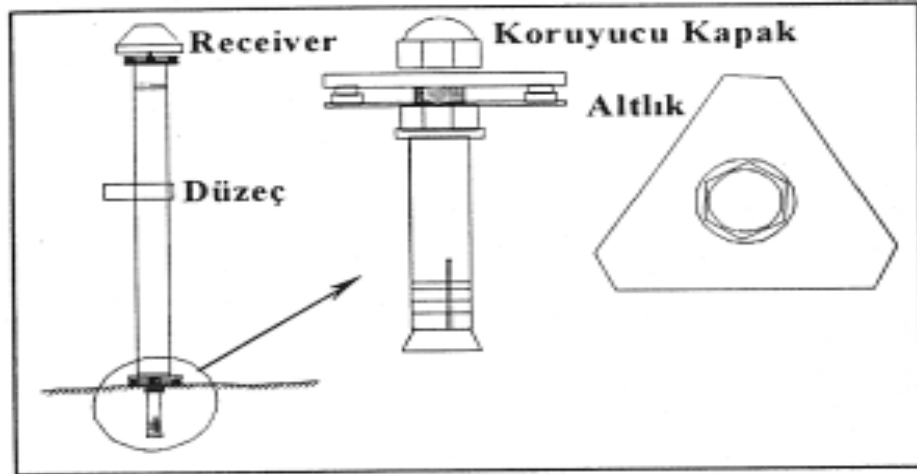
Altaş Ambarlı Liman Tesislerindeki GPS ağının 7. Peryod ölçmeleri 21.07.2001 ile 29.07.2001 tarihleri arasında, pesizyonlu nivelmanla aynı tarihler

arasında yapılmıştır. 7. Peryod ölçmelerinde çift frekanslı *Leica System-300* GPS alıcıları kullanılmıştır. Bu alete ait bazı teknik özellikler Tablo 6.2' de verilmiştir.

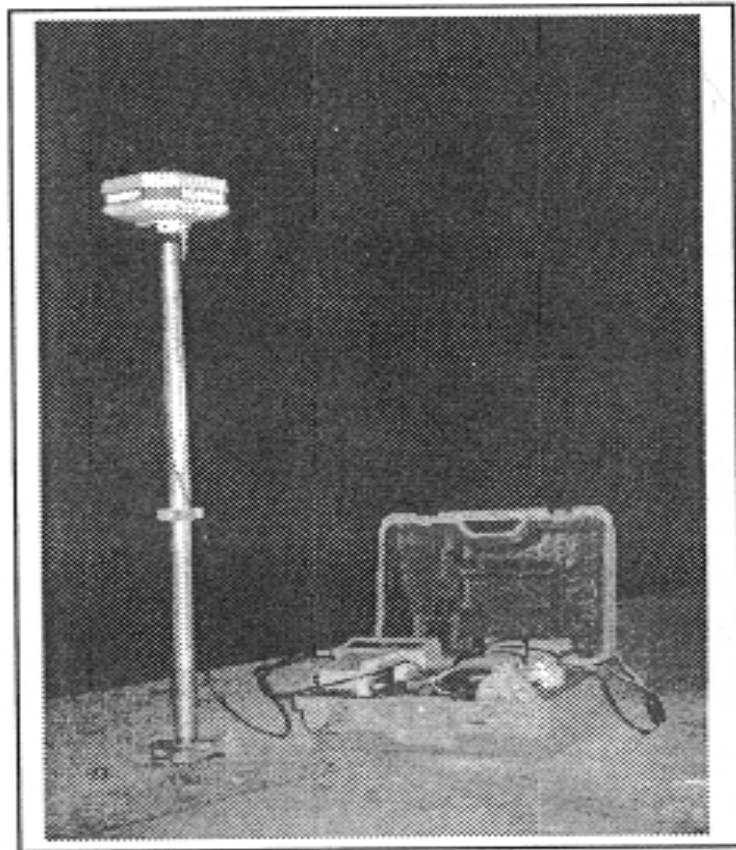
Tablo 6.2 *Leica System 300* GPS Alıcılarının Teknik Özellikleri [Kalkan,2001]

Frekans Sayısı	: Çift Frekanslı	
Alıcı Kanalları	: 9 L1 sürekli izleme, 9 L2 sürekli izleme	
L1 Kanalları	: Taşıyıcı Faz, P1 kod, C/A kod	
L2 Kanalları	: Taşıyıcı Faz, P2 kod	
Maksimum Uydu İzleme	: 9'a kadar, L1 ve L2 sinyallerini birlikte izleyebilir	
İlk Faz Ölçme Süresi	: 60 saniye	
Anten	: Mikrostrip L1/L2 anteni	
Data Kaydı	: PCMCIA, Type I SRAM kart - harici kart	
Ölçme Yapılabilecek Sıcaklıklar	: -20°C; +50°C	
Baz Ölçme Doğrulukları	: <u>Ölçme Şekli</u>	<u>Doğruluk</u>
(Faz Ölçüleri İle)	Statik	5 mm + 1 ppm
	Hızlı (Rapid) Statik	5-10 mm + 1 ppm
	Tekrarlı	
	(Re-occupation)	5-10 mm + 1 ppm
	Dur-git	10-20 mm + 1 ppm
	Kinematik	10-20 mm + 1 ppm

Ölçmelerin doğruluğunu etkileyen en önemli hata kaynaklarından birisi (GPS ölçülerinden bağımsız olarak ortaya çıkan) merkezlendirme hatasıdır. Bunu ortadan kaldırmak, ölçülerin doğruluğunu arttırmak için özel bir aparat geliştirilmiş ve ölçmelerde kullanılmıştır (Şekil 6.3).



(a)



(b)

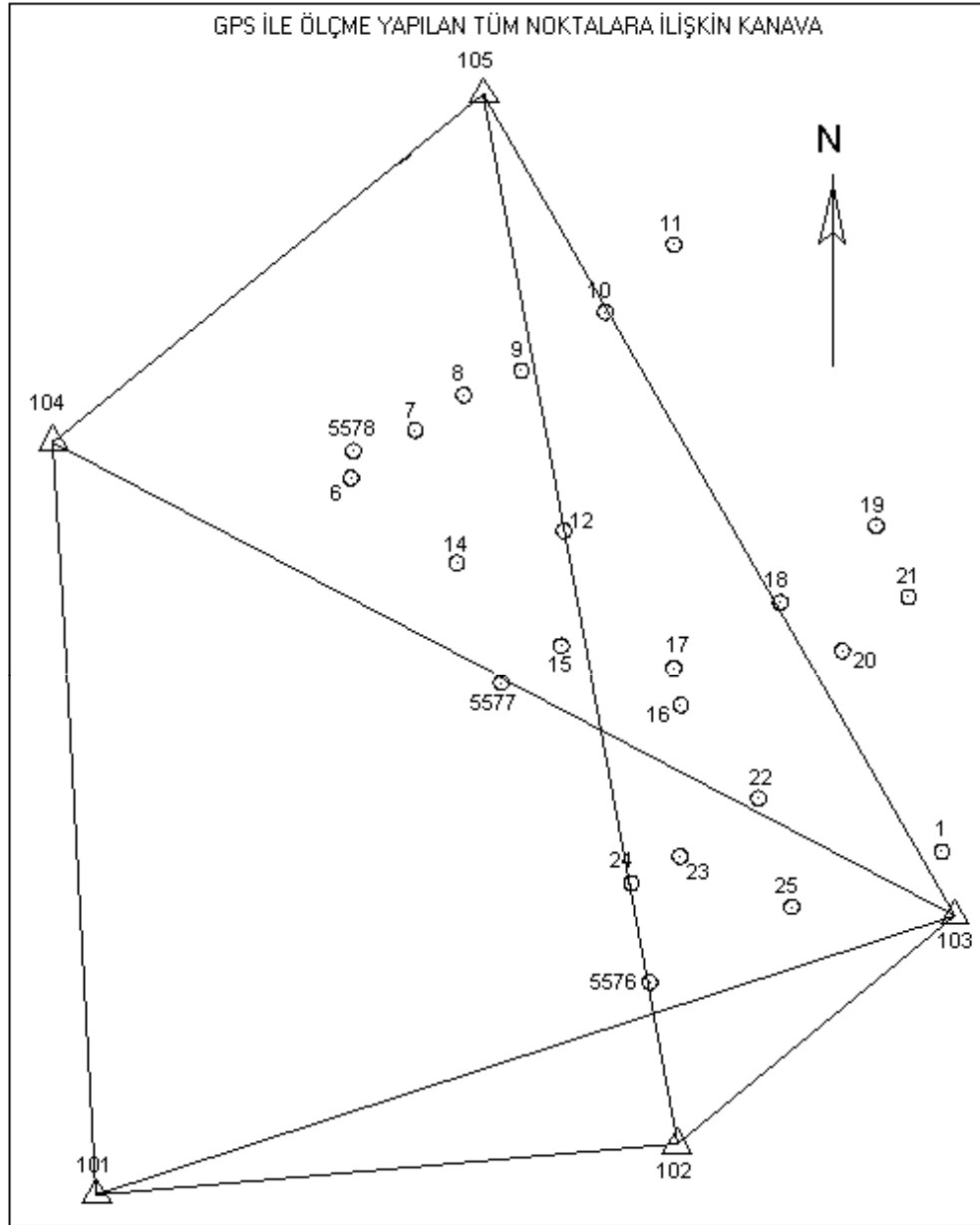
Şekil 6.3 Ölçmelerde kullanılan zorunlu merkezlendirme donanımı [Kalkan,2001]

Ölçmeler, “kontrol noktaları”ndan oluşan “ana ağ”da, değerlendirme için tesis edilen “obje noktaları”nda ve bu iki ağın bağlantısında ayrı ayrı sürelerde yapılmıştır. Ana ağ noktalarında (101,102,103,104 ve 105) en az 60 dakika, bağlantı için kullanılan obje noktalarında 30 dakika, obje noktalarında ise 20 dakika süreyle ölçme yapılmıştır. Ölçmelerde 10^0 'nin üzerindeki uydulardan, 5 saniyede

bir veri kaydedilmiş ve “Statik” GPS ölçme yöntemi uygulanmıştır. GPS ile ölçme yapılan tüm noktalara ilişkin kanava şekil 6.4’ de verilmiştir. Obje noktaları arasında çok miktarda ölçü olduğundan sadece nirengi noktaları arasında yapılan GPS ölçmeleri gösterilmiştir. Tüm ağda yapılan GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri Şekil Ek 1.6’ da verilmiştir.

7. Peryod GPS ölçmeleri ile toplanan ham ölçüler (raw data), GPS alıcılarının kontrol ünitesine kaydedilmiş daha sonra bu veriler her ölçme gününün ardından büroda bir PC’ ye aktarılmıştır. Veriler, *Leica-SKI-v.2.3* programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Her bir güne ait ölçü kümesi içinde yer alan noktalar arasında, ölçme yapılan her bir baza ait (ΔX , ΔY , ΔZ) koordinat farkları ölçü değerleri, *Tek Nokta Çözümü* (Simple Point Positioning) değerlendirme yöntemi ile hesaplanmıştır. Tüm noktaların baz çözümlerinde; *Leica-SKI.v.2.3* programı ve internet aracılığıyla ölçmelerden birkaç hafta sonra elde edilebilen *Precise Ephemeris* yörünge bilgileri kullanılmıştır [Kalkan,2001].



Şekil 6.4 GPS ile ölçme yapılan tüm noktalara ilişkin kanava

6.4 Verilerin Değerlendirilmesi

İstanbul ili Avcılar ilçesi Altaş Ambarlı Liman Tesislerinde ortak noktalardan oluşan GPS ve nivelman ağındaki 7. Peryod GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri aynı tarihlerde yapılmıştır. GPS ve presizyonlu nivelman ağında, dik ve elipsoidal koordinatları bilinen 9 numaralı nokta ile koordinatları bilinmeyen 35 nokta bulunmaktadır. Ağa ilişkin, presizyonlu nivelman noktaları arasındaki 32 kot farkı (ΔH), GPS bazlarında; 435 koordinat farkı (ΔX , ΔY , ΔZ) ile 145 elipsoidal yükseklik farkı (Δh) ölçü olarak alınmıştır. Ölçüler; “Altaş Ambarlı

Liman Tesisleri Sahasında Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışması 7. Peryod Teknik Raporu” [Kalkan,2001] isimli İTÜ yayınlarından alınmıştır.

6.4.1 GPS Koordinat ve Nivelman Kot Farklarının Ayrı Ayrı Değerlendirilmesi

GPS koordinat farkları (ΔX , ΔY , ΔZ) ölçü alınmıştır. GPS ölçü ağırlıkları 1 alınarak dik koordinatlara göre (X, Y, Z) serbest dengelenmiştir. Serbest dengeleme formülleri, (3.8) ... (3.14) eşitlikleri ile verilmiştir.

Dengeleme sonucunda elde edilen GPS ölçü (ΔX , ΔY , ΔZ) düzeltmeleri Tablo Ek 3.1’ de verilmiştir. GPS ağındaki noktaların dengeli dik koordinatları (X, Y, Z), dengeli dik koordinatlardan dönüşüm (Bölüm Ek 1.2.9) ile elde edilen elipsoidal koordinatlar (ϕ , λ , h) hesaplanmıştır. GPS ölçülerine gelen düzeltmeler; min = 0,1 cm, max = 4 cm’ dir.

Presizyonlu nivelman kot farkları (ΔH) ölçü alınmıştır. Presizyonlu nivelman ölçüleri elipsoidal yüksekliğe göre (h) (3.23) ... (3.29) eşitlikleri kullanılarak serbest dengelenmiştir. Dengeleme sonuçları Tablo Ek 3.2’ de verilmiştir. Presizyonlu nivelman ölçülerine gelen düzeltmeler; min = 0 mm, max = 3 mm’ dir.

6.4.2 GPS Koordinat ve Nivelman Kot Farklarının Birlikte Değerlendirilmesi

GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin (ΔX , ΔY , ΔZ , ΔH) birlikte değerlendirilmesi için fonksiyonel ve stokastik model Bölüm 4’ te ve 5’ de oluşturulmuştur.

GPS ölçülerinin serbest dengelenmesi ile elde edilen 9 numaralı noktanın dik koordinatları, elipsoisal koordinatlara dönüştürülmüştür (Bölüm Ek.1.2.9). . Dengeleme işlemi için; GPS ölçülerinin devamına presizyonlu nivelman ölçüleri eklenerek 9 numaralı nokta sabit alınmıştır. Çalışma alanı küçük olduğu için çekül

sapmaları ve jeoidin eğimi ihmal edilerek, elipsoidal yükseklik ve ortometrik yükseklik farkları eşit ($\Delta h = \Delta H$) alınmıştır (Bölüm 2.2.1).

6.4.2.1 GPS ve Nivelman Ölçülerinin Ölçü Ağırlıklarının Bir Alınarak Birlikte Değerlendirilmesi

GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin ölçü ağırlıkları bir alınarak elipsoidal koordinatlara (ϕ , λ , h) göre dengeleme yapılmıştır. Dengeleme sonucunda elde edilen ölçü düzeltmeleri Tablo Ek 3.3' de verilmiştir. Ölçülere gelen düzeltmeler; min = 0,1 cm, max = 7 cm' dir.

GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin ağırlıklarının entegrasyonu için, Helmert Varyans Analizi (Bölüm 5) yapılmıştır. Helmert Varyans Analizi ile bir döngü içinde (1...14) iterasyon sonucu elde edilen, yeni ağırlıkların hesabında kullanılan h , C , S değerleri Tablo Ek 3.4' te ve ağırlıklar Tablo Ek 3.5' de verilmiştir. Varyans bileşeni 14 iterasyonda $S = \sigma_i^2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ olduğunda yeni ağırlıklar hesaplanmıştır.

Helmert Varyans Analizi sonucu elde edilen ölçü ağırlıkları kullanılarak, GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri dengelenmiştir. GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerine gelen düzeltmeler Tablo Ek 3.6' da verilmiştir. Ölçülere gelen düzeltmeler; min = 0,1 cm, max = 7 cm' dir.

6.4.3 GPS Elipsoidal Yükseklik Farklarının Değerlendirilmesi

GPS elipsoidal yükseklik fark (Δh) ölçülerinin ölçü ağırlıkları 1 alınarak, elipsoidal yüksekliğe (h) göre serbest dengelenmiştir. Serbest dengeleme formülleri; (3.23) ... (3.29) eşitlikleri ile verilmiştir.

GPS ölçülerinin (Δh), serbest dengelemesi ile elde edilen ölçü düzeltmeleri Tablo Ek 3.7' de verilmiştir. GPS ölçülerine gelen düzeltmeler; min = 0,2 cm, max = 7 cm' dir.

6.4.4 GPS Elipsoidal Yükseklik Farkları ile Nivelman Kot Farklarının Birlikte Değerlendirilmesi

GPS elipsoidal yükseklik farkları (Δh) ile presizyonlu nivelman kot farkları (ΔH) ölçü alınarak, elipsoidal yüksekliğe (h) göre dengelenmiştir. Bölüm 6.4.2.1’ de yapılan birlikte değerlendirme metodu, GPS ölçüleri (Δh) ile presizyonlu nivelman ölçülerinin (ΔH) birlikte değerlendirilmesi için uygulanmıştır. GPS ve presizyonlu nivelman ölçü *ağırlıkları* 1 alınarak yapılan dengeleme sonucunda elde edilen ölçü düzeltmeleri Tablo Ek 3.8’ de verilmiştir. Ölçülere gelen düzeltmeler: GPS ölçüleri (Δh) için; min = 0,1 cm, max = 7 cm, presizyonlu nivelman ölçüleri (ΔH) için; min = 0,1 cm, max = 7 cm’ dir.

GPS elipsoidal yükseklik fark (Δh) ölçüleri ile presizyonlu nivelman ölçülerinin (ΔH) ağırlıklarının entegrasyonu, Helmert Varyans Analizi ile 14 iterasyonda sağlanmıştır (Tablo Ek 3.9 ve Tablo Ek 3.10). 14 iterasyon sonucu bulunan ağırlıklara göre dengeleme yapılmıştır. Dengeleme sonucunda elde edilen ölçü düzeltmeleri Tablo Ek 3.11’de verilmiştir. Ölçülere gelen düzeltmeler: GPS ölçüleri (Δh) için; min = 0,1 cm, max = 7 cm, presizyonlu nivelman ölçüleri (ΔH) için; min = 0,1 cm, max = 7 cm’ dir.

6.4.5 GPS ve Nivelman Ölçülerinin Dengeleme Sonuçlarının Karşılaştırılması

GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin ayrı ayrı ve birlikte değerlendirilmesi için farklı değerlendirme modelleri kullanılmıştır. Bu modellere göre; GPS ve presizyonlu nivelman ağında bulunan ortak 20 noktanın dengeli elipsoidal yüksekliği farklı yollardan elde edilerek, bu noktalardan hesap yoluyla elde edilen noktalar arasındaki yükseklik (kot) farkları Tablo 6.3’ te verilmiştir.

Tablo 6.3 GPS ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Ayrı Ayrı ve Birlikte Dengelenmesi Sonucu Bulunan Dengeli Elipsoidal Yüksekliklerinden Ortak Noktalar İçin Hesap Yoluyla Bulunan Kot Farkları

GPS VE NİV ORTAK NOKTA NO	PRE.NİV. (ΔH) SERBEST DENGELEME	GPS ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) SERBEST DENGELEME	GPS_NIV ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta H$) 9 SABİT ALINARAK DENGELEME	GPS_NIV ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta H$) VARYANS ANALİZİYLE
dH1_25	-17,81850	-17,83879	-17,84455	-17,84046
dH10_11	-0,07210	-0,03833	-0,04266	-0,04003
dH14_6	-9,84460	-9,86215	-9,86476	-9,86311
dH16_17	2,31850	2,36436	2,36860	2,36603
dH16_20	7,77340	7,83885	7,84742	7,84177
dH16_22	-5,16380	-5,14370	-5,13965	-5,14216
dH17_18	5,16760	5,19496	5,19791	5,19569
dH18_19	-0,06810	-0,07917	-0,07786	-0,07882
dH18_20	0,28730	0,27953	0,28091	0,28005
dH20_21	0,23510	0,24582	0,24476	0,24536
dH22_1	7,54680	7,57922	7,58250	7,58013
dH22_23	-39,41180	-39,42031	-39,42011	-39,42020
dH23_24	-17,95730	-17,96896	-17,96933	-17,96906
dH9_10	0,01610	-0,00445	0,00241	-0,00195
dH9_12	-4,10820	-4,11267	-4,10937	-4,11159

GPS VE NİV ORTAK NOKTA NO	GPS (Δh) SERBEST DENGELEME	GPS_NIV ($\Delta h, \Delta H$) 9 SABİT ALINARAK DENGELEME	GPS_NIV ($\Delta h, \Delta H$) VARYANS ANALİZİYLE	GPS (Δh) 9 SABİT ALINARAK DENGELENMESİ
dH1_25	-17,84004	-17,84561	-17,84563	-17,84004
dH10_11	-0,06618	-0,07053	-0,07054	-0,06618
dH14_6	-9,89420	-9,89657	-9,89657	-9,89420
dH16_17	2,36350	2,36796	2,36797	2,36350
dH16_20	7,83833	7,84712	7,84714	7,83833
dH16_22	-5,14373	-5,13947	-5,13946	-5,14373
dH17_18	5,19490	5,19805	5,19806	5,19490
dH18_19	-0,07653	-0,07562	-0,07561	-0,07653
dH18_20	0,27994	0,28111	0,28111	0,27994
dH20_21	0,24588	0,24479	0,24480	0,24588
dH22_1	7,61132	7,61454	7,61455	7,61132
dH22_23	-39,42028	-39,42011	-39,42011	-39,42028
dH23_24	-17,96896	-17,96933	-17,96934	-17,96896
dH9_10	0,02404	0,03098	0,03100	0,02404
dH9_12	-4,11562	-4,11206	-4,11205	-4,11562

GPS VE NİV ORTAK NOKTA NO	PRE.NİV. (ΔH) 9 SABİT ALINARAK DENGELENMESİ	GPS ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) 9 SBT ALINARAK (X, Y, Z) GÖRE DENGELEME	GPS ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) 9 SBT ALINARAK (φ, λ, h) GÖRE DENGELEME
dH1_25	-17,81847	-17,83879	-17,83879
dH10_11	-0,07203	-0,03833	-0,03833
dH14_6	-9,84444	-9,86215	-9,86215
dH16_17	2,31261	2,36436	2,36436
dH16_20	7,77206	7,83885	7,83885
dH16_22	-5,16685	-5,14370	-5,14370
dH17_18	5,18008	5,19496	5,19496
dH18_19	-0,08427	-0,07917	-0,07917
dH18_20	0,27937	0,27953	0,27953
dH20_21	0,23504	0,24582	0,24582
dH22_1	7,54680	7,57922	7,57922
dH22_23	-39,41150	-39,42031	-39,42031
dH23_24	-17,94922	-17,96896	-17,96896
dH9_10	0,01630	-0,00444	-0,00444
dH9_12	-4,10816	-4,11266	-4,11266

Tablo 6.4 Hesap Yoluyla bulunan kot farklarının (Tablo 6.3) Birbirlerine Göre Karşılaştırılması

	A	B	C	D	E
GPS VE NİV ORTAK NOKTA NO	PRE.NİV. (ΔH) S.D	GPS_NİV ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta H$) 9 SABİT	GPS ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) S.D	GPS_NİV ($\Delta h, \Delta H$) 9 SABİT	GPS (Δh) S.D
	-	-	-	-	-
	GPS ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) S.D	GPS_NİV ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta H$) V.ANALİZİYLE	GPS_NİV ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta H$) V.ANALİZİYLE	GPS_NİV ($\Delta h, \Delta H$) V.ANALİZİYLE	GPS_NİV ($\Delta h, \Delta H$) V.ANALİZİYLE
dH1_25	0,02029	-0,00409	0,00166	0,00002	0,00559
dH10_11	-0,03377	-0,00263	0,00170	0,00001	0,00436
dH14_6	0,01755	-0,00165	0,00096	0,00000	0,00237
dH16_17	-0,04586	0,00257	-0,00167	-0,00001	-0,00447
dH16_20	-0,06545	0,00565	-0,00292	-0,00002	-0,00881
dH16_22	-0,02010	0,00251	-0,00154	-0,00001	-0,00427
dH17_18	-0,02736	0,00222	-0,00073	-0,00001	-0,00316
dH18_19	0,01107	0,00096	-0,00035	-0,00001	-0,00092
dH18_20	0,00777	0,00086	-0,00052	0,00000	-0,00117
dH20_21	-0,01072	-0,00060	0,00046	-0,00001	0,00108
dH22_1	-0,03242	0,00237	-0,00092	-0,00001	-0,00323
dH22_23	0,00851	0,00009	-0,00011	0,00000	-0,00017
dH23_24	0,01166	-0,00027	0,00010	0,00001	0,00038
dH9_10	0,02055	0,00436	-0,00250	-0,00002	-0,00696
dH9_12	0,00447	0,00223	-0,00108	-0,00001	-0,00357

	F	G	H
GPS VE NİV ORTAK	PRE.NİV. (ΔH) 9 SABİT ALINARAK DENGELEN MESİ	GPS ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) 9 SBT ALINARAK (X,Y,Z) GÖRE Dengeleme	GPS ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) 9 SBT ALINARAK (X,Y,Z) GÖRE Dengeleme
	-	-	-
NOKTA NO	PRE.NİV. ÖLÇÜLERİNİN (ΔH) SERBEST DENGELEN MESİ	GPS ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) 9 SBT ALINARAK (ϕ, λ, h) GÖRE Dengeleme	GPS ÖLÇÜLERİNİN ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) SERBEST Dengeleme
dH1_25	0,00003	0,00000	0,00000
dH10_11	0,00007	0,00000	0,00000
dH14_6	0,00016	0,00000	0,00000
dH16_17	-0,00589	0,00000	0,00000
dH16_20	-0,00134	0,00000	0,00000
dH16_22	-0,00305	0,00000	0,00000
dH17_18	0,01248	0,00000	0,00000
dH18_19	-0,01617	0,00000	0,00000
dH18_20	-0,00793	0,00000	0,00000
dH20_21	-0,00006	0,00000	0,00000
dH22_1	0,00000	0,00000	0,00000
dH22_23	0,00030	0,00000	0,00000
dH23_24	0,00808	0,00000	0,00000
dH9_10	0,00020	0,00000	0,00000
dH9_12	0,00004	0,00000	0,00000

Tablo 6.4' de; Tablo 6.3' te verilen yükseklik (kot) farkları arasındaki ilişki incelenmiştir.

GPS ölçüleri ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) ve presizyonlu nivelman ölçülerinin (ΔH) ayrı ayrı değerlendirilmesi sonucu iki model arasında; min = 0,4 cm, max = 6 cm (Tablo 6.4) farklar elde edilmiştir. Düşey konum belirlemede presizyonlu nivelman yöntemi yüksek doğruluk sağladığına göre, bu farkların GPS ölçülerinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

GPS ile presizyonlu nivelman ölçülerinin ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta H$) ölçü ağırlıklarının 1 alınarak ve varyans analizi ile elde edilen ağırlıkları kullanılarak birlikte değerlendirilmesi sonucu iki model arasında; min = 0,2 mm, max = 4 mm (Tablo 6.4) farklar elde edilmiştir. GPS ölçü sayısının presizyonlu nivelman ölçü

sayısına göre çok fazla olması, presizyonlu nivelman ölçülerinin dengeleme işlemindeki etkisini azaltmaktadır.

GPS ölçülerinin (ΔX , ΔY , ΔZ) ayrı ve GPS ile presizyonlu nivelman ölçülerinin (ΔX , ΔY , ΔZ , ΔH) varyans analizi ile elde edilen ağırlıklarıyla birlikte değerlendirilmesi sonucu iki model arasında; min = 0,1 mm, max = 3 mm (Tablo 6.4) farklar elde edilmiştir. GPS ölçü sayısı 435, presizyonlu nivelman ölçü sayısı 32' dir. Helmert Varyans Analizi çözüm metodunda ölçü sayısı, iki ölçü grubu arasındaki ağırlıkların belirlenmesinde etkili olmaktadır.

GPS ile presizyonlu nivelman ölçülerinin (Δh , ΔH) ölçü ağırlıklarının 1 alınarak ve varyans analizi ile elde edilen ağırlıkları kullanılarak birlikte değerlendirilmesi sonucu iki modelde aynı sonuç elde edilmiştir.

GPS ölçülerinin (Δh) ayrı ve GPS ile nivelman ölçülerinin (Δh , ΔH) varyans analizi ile elde edilen ağırlıklarıyla birlikte değerlendirilmesi sonucu iki model arasında; min = 0,1 mm, max = 8 mm (Tablo 6.4) farklar elde edilmiştir. GPS ölçü sayısı 145, presizyonlu nivelman ölçü sayısı 32' dir. GPS ölçüsü olarak elipsoidal yükseklik farklarının alınması, presizyonlu nivelman ölçülerinin dengeleme işlemindeki etkisini arttırmıştır.

7. SONUÇ

GPS ve nivelman ölçülerinin birlikte dengelenmesi amaçlanmıştır. Uygulamada, İstanbul ili Avcılar ilçesi Altaş Ambarlı Liman Tesislerinde aynı tarihlerde yapılan 7. Peryod GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri kullanılmıştır. GPS ölçüleri ile nivelman ölçülerinin ayrı ayrı ve birlikte değerlendirilmesine ilişkin; fonksiyonel ve stokastik modeller kurularak, dengeleme modelleri oluşturuldu ve Helmert Varyans Analizi metodu uygulandı.

Her iki ölçme yöntemi ayrı ayrı dengelendiğinde, düşey konum belirlemede; presizyonlu nivelman yöntemi yüksek doğrulukta sonuç verirken, GPS yönteminden cm hassasiyetinde sonuçlar elde edilmiştir.

GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerinin birlikte değerlendirilmesinde, ağırlıkların belirlenmesi için Helmert Varyans Analizi uygulanmıştır. Çözümde, GPS ağırlıkları nivelman ağırlıklarından daha büyük elde edilmiştir. Bunun nedeni, GPS ölçülerinin fazla olması ve nivelman ölçülerinin kapalı şekillerde oluşmamasından kaynaklandığı söylenebilir. Bu durum, daha iyi bir ölçü grubuyla değerlendirilip irdelenmelidir.

Düşey konumla ilgili yüksek hassasiyet isteyen çalışmalarda, GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri birlikte kullanılacaksa; presizyonlu nivelman ölçümleri de kapalı luptardan oluşacak şekilde ölçülmelidir. Bu çalışmanın devamında ayrıca jeoid eğimi ile ilgili olarak matematik model gereklidir. Veriler bu şekilde değerlendirilip jeoid eğiminin sonuçlara etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Aksoy, A., (1974), Hassas Nivelmanda Ağırlık Ölçülerinin Önemi. Harita Genel Müdürlüğü, Ankara.

Ayan, T. ve Tekin. E., (1989), GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi. 2. Harita Bilimsel Kurultayı, s.469-477, Şubat, Ankara.

Ayan, T., (1983), Jeodezik Ağlarda Deformasyon Analizine Genel Bakış, İTÜ. Dergisi, No: 1, Cilt: 40, s: 20-25, İstanbul.

Banger, G., (1981), Hassas Nivelmanda Hata Kaynakları. İÜ. Orman Fakültesi Dergisi, cilt 31, sayı 2, s. 194-207.

Barnes, B.J., Ackroyd, N. and Cross, P.A., (1998), Stochastic Modelling for very High Precision Real-Time Kinematic GPS in an Engineering Environment, Proceedings of FIG XXI International Conference, 21-25 July, Brighton, Commission 6, 61-76.

Baykal, O., (1989), Yükseklik Ölçmeleri. İTÜ. MMLS. Ders Notları, İstanbul.

Baykal, O., (1989a), Presizyonlu Nivelman Tekniği. İTÜ. MMLS. Ders Notları, İstanbul.

Baykal, O., (1989b), Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Değerlendirilmesi. İTÜ. MMLS. Ders Notları, İstanbul.

Brunner, F.K., Hartinger, H. and Troyer, L., (1999), GPS Signal Diffraction Modelling: The Stochastic Sigma-D Model, Journal of Geodesy, 73, 259-267.

Ceylan, A., (1988), Presizyonlu Nivelmanda Önemli Sistemik Hata Kaynakları Üzerine Bir Çalışma. Y. Lisans Tezi, SÜ. Fen Bilimleri Enst., Konya.

Coşkun, M.Z., (1996), Karışık Nivelman Ağlarında Stokastik Model Araştırması. İTÜ. Doktora Tezi, İstanbul.

Engelis, T., Rapp, H.R., Bock, Y., (1985), Measuring Orthometric Height Differences with GPS and Gravity Data, Manuscripta Geodetica 10, 1987-194, 1985.

Grafarend, E.W, Kleusberg, A. and Schaffrin, B., (1980), An Introduction to the Variance-Covariance-Component Estimation of Helmert Type. ZFV, pp. 161-180.

Grafarend, E.W., (1984), Variance-Covariance Components Estimation. Theoretical Foundations, Marburg.

Heiskanen, W. and Moritz, H., (1984), Fiziksel Jeodezi, Çeviri: Onur Gürkan, KTÜ. Basımevi, Trabzon.

Hekimoğlu, Ş., (1995), Generalized Iterative Solution for Geodetic Coordinates From Cartesian Coordinates. Bolletino Di Geodesia E Scienze Affini, N.2.

Kalkan, Y., (1988), Presizyonlu Nivelman Ağlarında Dengeleme Öncesi Stokastik Model için Bir Yaklaşım. Doktora Tezi, İstanbul.

Kalkan, Y., (1988), Presizyonlu Nivelman Ağlarında Dengeleme Öncesi Stokastik Model İçin Bir Yaklaşım. İTÜ. Doktora Tezi, İstanbul.

Kalkan, Y., Baykal, O., Alkan, R.M., Yanalak, M., Erden, T., (2001), Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışması 7. Peryod Teknik Raporu. İTÜ. Geliştirme Vakfı AR-GE İşletmesi, İTÜ. İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul.

Kearsley, A.H.W., (1986) Data Requirements for Determining Precise Relative Geoid Heights From Gravimetry, JGL, Vol.91, pp.9193-9201, August 10.

Kızılsu, G., (1998), Precision Analysis for LAGEOS I & LAGEOS II, Ph.D. Thesis, İstanbul Technical University, 158 pp.

Kurt, O., (1996), GPS Ölçülerinin Değerlendirildiği Yermerkezli Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Kurt, O., Konak, H., Dilaver, A., (1999), GPS Ağlarında Duyarlık ve Güven Optimizasyonu. 7. Harita Kurultayı, s.135-152, Mart. Ankara.

Landau, H., (1986), GPS Baseline Vectors in a Threedimensional Integrated Adjustment Approach. GPS Research 1985 at the Institute of Astronomical and Physical Geodesy. Schriftenreihe, Hef 19, München.

Landau, H., Euler, H.J., (1992), Fast GPS Ambiguity Resolution on-the-fly for Real-Time Applications, 6th International Symposium on Satellite Positioning, columbus, ohio, 17-20 March, 650-659.

Leick, A., (1995), GPS Satellite Surveying, John Wiley Sons, Inc., USA, N.Y., 560 pp.

Leick, A., 1990, GPS Satellite Surveying, A Wiley-Interscience Publication, New York.

Niemiier, W., (1985), Observation Techniques for Height Determination and Recent Vertical Crustal Movements in Western Europe, Fed. Rep. of Germany, September 15-19, Hannover.

Özgen, M.G., (1984), Ölçme Bilgisi. İTÜ. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Pelzer, H., (1983), Systematic Instrumental Errors in Precise Levelling, Dümmler Verlag, pp.3-17, Bonn.

Rao, C.R., (1971), Estimation of Variance Components MINQUE Theory. Journal of Multivariate Statistics. Vol. 1, pp.257-275.

Rao, P.S.R.S., (1997), Variance Components Estimation. Mixed Models, Methodologies and Applications. Monographs on Statistics and Applied Probability, vol. 78, Chapman and Hall.

Russo, P., Crocetto, N., Gatti, M., (1998a), A General Method for the BIQUE Estimation of Variance-Covariance Components. Preprint of Department of Engineering n.062, October 28, 1998, University of Ferrara (Italy).

Saka, M.H., (2001), GPS Ölçme Tekniği II. Gebze Yüksek Teknoloji Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı. Ders Notları, Gebze, (Basılmamış).

Saka, M.H., (1997), GPS ile Nirengi Ağı Sıklaştırmada Uygun Yöntemin Araştırılması. İTÜ. Doktora Tezi, İstanbul.

Stirling, R., Daxinger, W., (1995), Kombinierte Ausglerchung Von Terrestrischen and GPS-Messungen, VGI 1+2/95, Wien, 48-55.

Şahin, M., (1993), Aspects of stochastic and Functional Modelling for Precise Basiline Determination in Satelite Geodesy. PhD Thesis, Department of Surveying, University of Newcastle Upon Tyne.

Şahin, M., (1993), Aspects of Stochastic and Functional Modelling for Precise Basiline Determination in Satellite Geodesy. PhD Thesis, Department of Surveying, University of Newcastle Upon Tyne.

Şahin, M., (1994), GPS Height Monitoring. 1 st Turkish International Symposium on Deformations, İstanbul Sheraton Hotel.

Şahin, M., Cross, P.A. and Sellers, P.C., (1992), Variance Component Estimation Applied to Satellite Laser Ranging, Bulletin Geodesique, 66, 284-295.

Uzel, T., Eren, K., (1995), GPS Ölçmeleri. Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Yayın No: 301, İstanbul.

Wang, J., Ogaja, C., Rızos, C., Brownjohn, J., (2001), Towards the İmplementation of on-line Structural Monitoring Using RTK-GPS and Analysis of Results Using the Wavelet Transform, Loth FIG Int. Symp. On Deformation Measurements, Orange, California, 19-22 March.

Welsch, W., (1978), A Posteriori Varianzenschatzung Nach Helmert, AVN, 85, 55-63

Wolf, F.P.R., (1996), Adjustment Commputations Statistics and Least Squares in Surveying and GIS.

Wolf, H., (1963), Die Grundgleichungerder Dreidimension alen Geodesie in Elementarer Derstellung. ZFV. 88, 225-233.

ÖZGEÇMİŞ

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisi Mehmet GÜNEŞ 1975 yılında Safranbolu da doğmuştur.

İlk öğrenimine Yörük Köyü de, orta ve lise öğrenimine Safranbolu da ve Karabük te devam ederek, 1993 yılında lise öğrenimini tamamlamıştır.

Yüksek öğrenimine, 1994 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde başlamıştır. 1999 yılında yüksek öğrenimini tamamlamıştır.

1999 ile 2000 yılları arasında Belde Planlama Ltd. Şti. Harita ve Planlama Bölümünde çalışmıştır.

2000 yılından itibaren Yenidoğan Belediyesi İmar Müdürlüğünde çalışmaya başlamıştır. Harita ve Tapulama Sorumlusu olarak görevine devam etmektedir.

EK 1. ÜÇ BOYUTLU JEODEZİDE KULLANILAN KOORDİNAT SİSTEMLERİ

Dünyamızın uzayda, kendi eksenini ve güneşin etrafında olmak üzere iki periyodik hareketi vardır. Ayın ve çok sayıda yapay uydunun yeryüzü etrafındaki yörüngesel hareketleri de üçüncü bir periyodik hareketi oluşturur. Bu periyodik yörünge hareketleri sonucunda koordinat ve zaman sistemleri ortaya çıkmıştır. Bir koordinat sistemi:

- Sistemin başlangıç noktasının konumu
- Koordinat eksenlerinin konumları ve yönleri
- Sisteme ait bir noktanın konumunu belirleyen parametreler

açıkça belirtilerek tanımlanır.

Koordinat sistemleri üç grup olarak toplanabilir:

- Yersel koordinat sistemleri,
- Göksel koordinat sistemleri,
- Yörüngesel koordinat sistemleri.

Yersel koordinat sistemleri dünyamıza göre sabittir ve birlikte dönerler.

Bunlar yeryüzü üzerindeki noktaların koordinatlarını belirlemek için kullanılırlar. Toposentrik ve Jeosentrik koordinat sistemleri olarak ikiye ayrılırlar.

Göksel koordinat sistemleri güneş ve yıldızlar gibi gök cisimlerinin koordinatlarını belirlemek için kullanılır. Ekliptik, rektesensiyon, saat açısı ve ufuk koordinat sistemi olarak dörde ayrılır.

Yörüngesel koordinat sistemi dünyamız etrafında yörüngelendirilmiş olan uyduların koordinatlarını belirlemek için kullanılır.

Koordinatlar ölçülmez. Açık ve uzunluk ölçülerinden dönüştürülür. Bir koordinat sistemini açıkça tanımlamak ve gerçekleştirebilmek için başka bilgiler gereklidir. Ölçülerin içermediği bilgiler için yeterli sayıda datum koşulu öngörülür. Örneğin iki boyutlu kenar konum ağlarında, koordinat sisteminin konumunu ve yönünü belirleyen üç koşul vardır. Bunlar bir noktanın koordinatları (X, Y) ve dönüklüktür. Yatay doğrultu ağlarında ölçeğinde eklenmesi ile koşul sayısı 4'e çıkar. Üç boyutlu ağlarda bu koşul 7'ye çıkmaktadır. Datum koşulları datum

noktalarının sabit yada küçültülmüş koordinat bilinmeyenlerinin kareleri toplamı minimum olacak şekilde seçilmelidir.

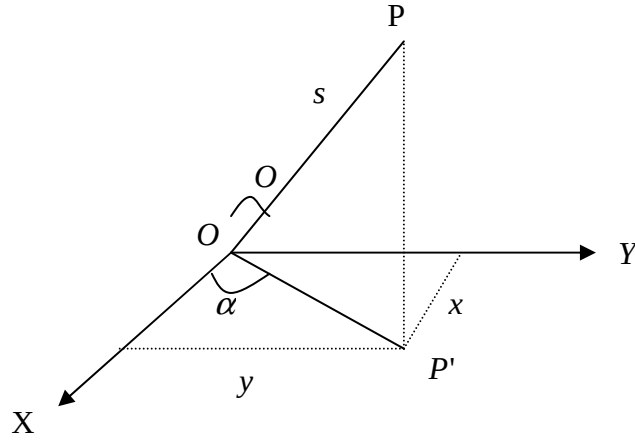
Bu yüzden koordinat ve koordinat sistemleri seçilen jeodezik datuma bağlıdır. Bir jeodezik datum ve buna göre bir referans sistemi referans noktalarına dayalı olarak tespit edilmişse jeodezik ölçüler yardımı ile bu datum referans noktaları üzerinden başka ağ noktalarına aktarılabilir.

Klasik yada uydu ölçmeleri ile elde edilen koordinat bilgileri ile nokta, sistemin başlangıç noktasından geçen düzlemlere göre veya düzlemlere olan dik uzaklıklara ya da noktayı orjine bağlayan doğrultudaki uzunluk ve bu doğrultunun düzlemlerle yapmış olduğu açılarla gösterilir. Bu sistemler dik ve kutupsal koordinat sistemleri olarak adlandırılırlar.

Uzaydaki bir nokta ister dik isterse kutupsal koordinat sisteminde gösterilsin her şeyden önce bu tanımlamanın yapılacağı bir koordinat sistemi gereklidir. Bu nedenden dolayı jeodezi biliminde önemli konulardan biride koordinat sistemi oluşturmaktır.

Z





Şekil Ek 1.1 Dik ve kutupsal koordinatlar

Ek 1.1 Doğal Koordinat Sistemleri

Fiziksel anlamda var olan, dünyamızın ağırlık merkezinin ya da yeryüzündeki bir noktanın orijin olarak kabul edildiği üç boyutlu koordinat sistemidir. Bunlar,

- Global yermerkezli dik koordinat sistemi (X', Y', Z')
- Doğal eğri koordinat sistemi (Λ, Φ, W)
- Yerel astronomik koordinat sistemi (X^*, Y^*, Z^*)

olarak sıralanabilir.

Ek 1.2 Referans Koordinat Sistemleri

Matematiksel olarak ifade edilemeyen yeryüzünün ve bu yüzeyde gerçekleşen çeşitli doğa olaylarının etkisindeki gözlemlerin doğal koordinat sistemlerinde değerlendirilmesi zordur. Bu sistemlerin kullanılması, bozucu etkilerin yeterli doğrulukla modellendirilebilmesi durumunda mümkündür. Ancak karmaşık yeryüzü modellendirilse bile, geometrik açıdan çok benzeyen dönelel elipsoitten daha yalın bir yüzey olmayacaktır.

Bu yüzden yeryuvarına çok benzeyen ve matematiksel olarak kolay ifade edilebilen bir yüzeyle çözümlenmelidir. Bu yüzey kutuplarda basık bir

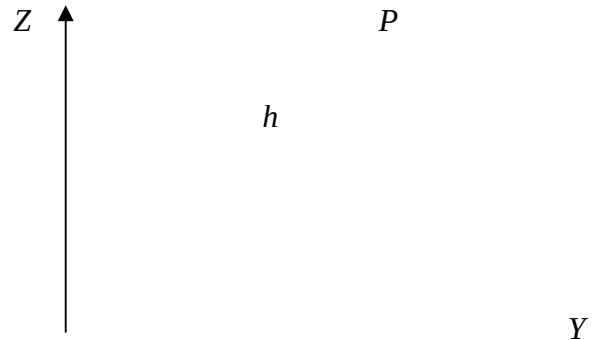
meridyen elipsinin kendi eksenini etrafında döndürülmesi ile oluşan bir dönelel elipsoit olarak kabul edilmiş ve yapay koordinat sistemleri bu elipsoide göre tanımlanmıştır.

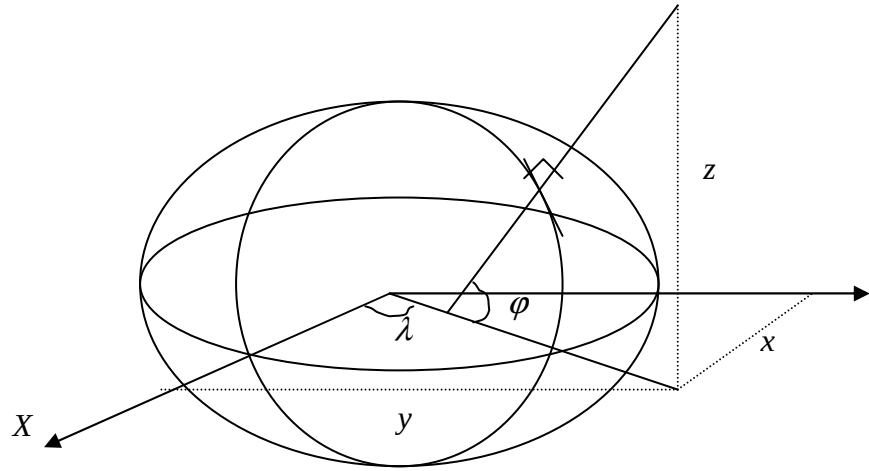
Ek 1.2.1 Global Jeodezik Eğri Koordinat Sistemi (ϕ, λ, h)

Dönel elipsoit üzerindeki noktaların konumları meridyen elipsleri ve paralel daireler ile tanımlanır. P noktası bu noktadan geçen elipsoit normali ile P' den Z eksenine çizilen paralelin belirlediği jeodezik meridyen düzlemi içinde bulunur. (şekil 1.2). P noktasından geçen elipsoit normalinin P' nin jeodezik meridyen düzlemi içinde ekvator düzlemi ile yaptığı ϕ açısına jeodezik enlem, P' den geçen meridyen düzleminin Greenwich'e karşılık gelen meridyen düzlemi ile X ekseninden itibaren doğuya doğru yaptığı ekvatorial açı λ jeodezik boylam ve üçüncü koordinat olarak da P noktası ile normalin yüzeyi deldiği nokta arasındaki uzunluk h elipsoidal yükseklik olarak adlandırılır.

Ek 1.2.2 Global Jeodezik Dik Koordinat Sistemi (X, Y, Z)

Koordinat sisteminin başlangıcı dönel elipsoidin merkezidir. +Z eksen, elipsoidin dönme ekseninin merkezden kuzey kutup noktasına doğru olan kısmıdır. X eksen, elipsoit yüzeyinde Greenwich'e karşılık gelen meridyen ile elipsoidin ekvator düzleminin arakesitidir. Y eksen, ekvator düzlemi üzerinde sağ el koordinat sistemine uygun olarak X ekseninden doğuya doğru 90° açılan doğrultudur.



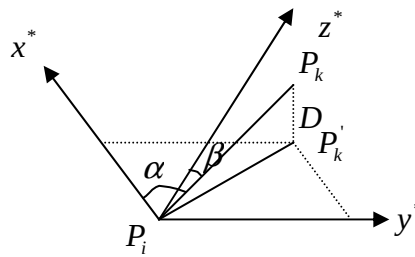


Şekil Ek 1.2 Elipsoidal dik ve eğri koordinat sistemleri

Ek 1.2.3 Yerel Jeodezik Dik Koordinat Sistemi (x^* , y^* , z^*)

Sistemin başlangıcı herhangi bir P noktasıdır. z^* eksen elipsoit normalidir. z^* ekseninde olup artı yönü “jeodezik başucunu” gösterir. x^* eksen z^* eksenine dik ve P_i noktasının meridyen düzlemi içindedir. x^* ekseninin artı yönü “jeodezik kuzeyi” gösterir.

y^* eksen bir sol el sistemi oluşturacak biçimdedir. y^* ekseninin artı yönü “jeodezik doğuyu” gösterir. Başlangıcı yeryüzünün herhangi bir. P_i noktası ile çakışan yerel jeodezik sistemde P_k noktasının konumu x^* , y^* , z^* dik koordinatlarıdır.

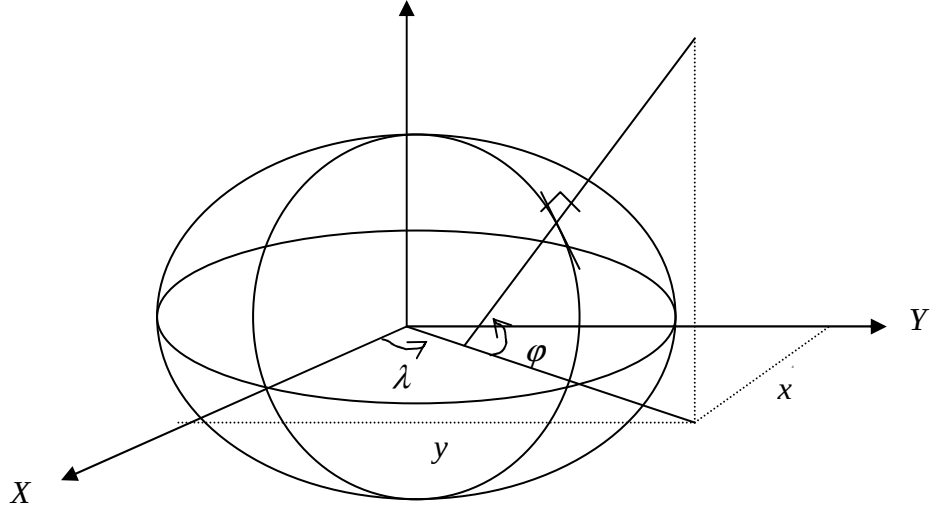


Z

P_i

h

Z



Şekil Ek 1.3 Elipsoidal yerel dik ve kutupsal koordinatlar

Ek 1.2.4 Yerel Jeodezik Kutupsal Koordinat Sistemi (α , β , D)

Yerel jeodezik kutupsal koordinatlar yerel dik koordinat sistemindeki hedef noktasını sistemin merkezine bağlayan doğrultu ile tanımlanır. Başlangıç noktasından geçen meridyen veya kuzey eksenini ile hedef doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki α açısı “jeodezik azimut”, elipsoit normali ile hedef doğrultusu arasındaki β açısı “jeodezik zenit uzaklığı” ve merkezi hedefe bağlayan doğrultunun D uzunluğu noktayı tanımlayan parametreler olarak tanımlanır.

α , β , D Yerel Jeodezik Kutupsal Koordinatları ile x^* , y^* , z^* Yerel Jeodezik Dik Koordinatları arasında,

$$\begin{bmatrix} x^* \\ y^* \\ z^* \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} \cos \alpha \sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \\ \cos \beta \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

bağıntısı geçerlidir [Gürkan,1977].

Ek 1.2.5 Global Jeodezik Dik Koordinat Sistemi (X , Y , Z) ile Yerel Jeodezik Dik Koordinat Sistemi (x^* , y^* , z^*) Arasında Dönüşüm

Her iki koordinat sistemi P_i noktasından geçen elipsoit normali ile birbirine bağlı olduğundan sistemler arasında

$$\begin{bmatrix} x^* \\ y^* \\ z^* \end{bmatrix} = S_1 R_2 (\Pi / 2 - \varphi_i) R_3 (\lambda_i) \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ik} = R_G \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ik} \quad (1.2)$$

İlişkisi vardır. Z' eksenini saat ibresinin tersi yönünde λ kadar döndürülürse X' eksenini P_i noktasının meridyen düzlemi içine gelir ve yeni koordinatlar global sistemdeki koordinat farklarının $R_3(\varphi)$ dönüklük matrisi ile çarpımına eşit olur. Y' ekseninin $\pi/2 - \varphi$ kadar döndürülmesi sonucunda her iki sistemin eksenleri karşılıklı paralel duruma gelir. Döndürmenin etkisi, $R_2(\pi/2 - \varphi)$ dönüklük matrisi ile tanımlanır.

$$R_3(\lambda) = \begin{bmatrix} \cos \lambda & \sin \lambda & 0 \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

ve

$$R_2(\Pi / 2 - \varphi) = \begin{bmatrix} \sin \varphi & 0 & -\cos \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

elde edilir.

x^* ve X eksenlerinin yönleri terstir. Yerel jeodezik sistem sol, global jeodezik sistem ise bir sağ sistemdir. X ekseninin yönü verilen yansıma matrisi ile x^* ekseninin yönüne dönüştürülür.

Gerekli çarpım işleri yapıldığında,

$$R_G = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

elde edilir. Ters dönüşüm ise,

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ik} = R_G^T \begin{bmatrix} x^* \\ y^* \\ z^* \end{bmatrix}_k \quad (R_G^T = R_G^{-1}) \quad (1.6)$$

bağıntısı ile verilir.

Ek 1.2.6 Global Yermerkezli Koordinat Sistemi ile Global Jeodezik Koordinat Sistemi Arasında Dönüşüm

Bir P noktasının global yermerkezli koordinat sistemindeki X', Y', Z' koordinatları ile global jeodezik koordinat sistemindeki X, Y, Z koordinatları arasında,

$$X' = t + R \cdot X \quad (1.7)$$

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + R_3(\gamma_3)R_2(\gamma_2)R_1(\gamma_1) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

bağıntısı geçerlidir [Heck,1987].

$$R = \begin{bmatrix} \cos \gamma_2 \cos \gamma_3 & \cos \gamma_1 \sin \gamma_1 + \sin \gamma_1 \sin \gamma_2 \cos \gamma_3 & \sin \gamma_1 \sin \gamma_3 - \cos \gamma_1 \sin \gamma_2 \cos \gamma_3 \\ -\cos \gamma_2 \sin \gamma_3 & \cos \gamma_1 \cos \gamma_3 - \sin \gamma_1 \sin \gamma_2 \sin \gamma_3 & \sin \gamma_1 \cos \gamma_3 + \cos \gamma_1 \sin \gamma_2 \sin \gamma_3 \\ \sin \gamma_2 & -\sin \gamma_1 \cos \gamma_2 & \cos \gamma_1 \cos \gamma_2 \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

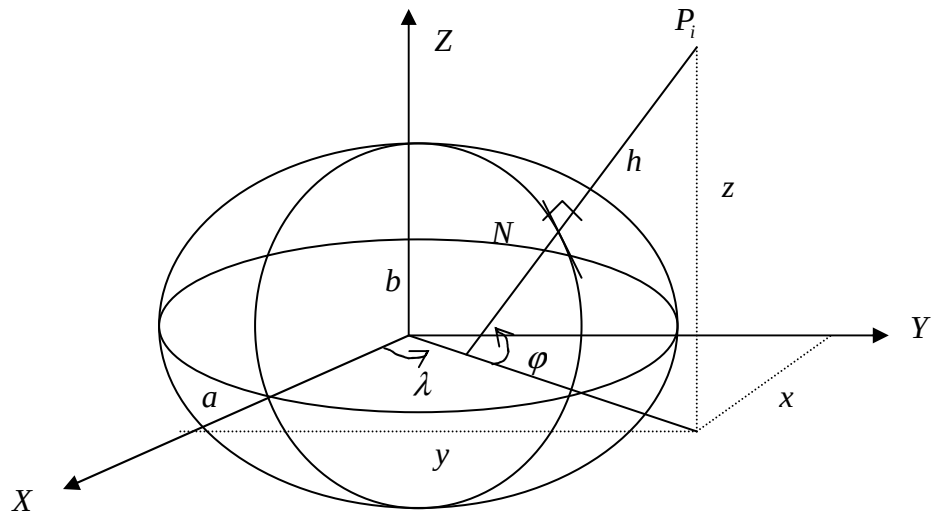
elde edilir. $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ dönüklük açıları genellikle küçüktür. Bu yüzden dönüşüm matrisleri çarpımı için yeterli yeterli doğrulukla alınabilir.

$$R = R_3(\gamma_3)R_2(\gamma_2)R_1(\gamma_1) = \begin{bmatrix} 1 & \gamma_3 & -\gamma_2 \\ -\gamma_3 & 1 & \gamma_1 \\ \gamma_2 & -\gamma_1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

Dönüşüm parametreleri $(t_x, t_y, t_z, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$ dir. İki sistem arasında ölçek farkı varsa R dönüşüm matrisi ayrıca ölçek faktörü $m \neq 1$ ile çarpılır. Bu durumda dönüşüm parametrelerinin sayısı 7 ye yükselir.

Ek 1.2.7 Dik Koordinat Sistemi ile Eğri Koordinat Sistemi Arasındaki Bağntı

Eğri koordinatları (φ, λ, h) uzaydaki bir noktanın elipsoit yüzeyindeki karşılığı olan noktanın konumunu belirler. Bu nedenle φ, λ, h parametreleri eğri yüzey koordinatları olarak adlandırılır.



Şekil Ek 1.4 Elipsoidal dik ve eğri koordinatlar

h : elipsoidal yükseklik olmak üzere burada seçilen elipsoidin parametreleri,

N : Meridyene dik doğrultudaki normal kesit eğrilik yarıçapı

a : Elipsoidin büyük yarı eksen

b : Elipsoidin küçük yarı eksen

e^2 : 1. dış merkezlik değeri

e'^2 : 2. dış merkezlik değeri

olmaktadır. Eğri koordinatlarından dik koordinatlara geçiş ise,

$$X = (N + h) \cos \varphi \cos \lambda$$

$$Y = (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \quad (1.11)$$

$$Z = ((b^2/a^2) N + h) \sin \varphi = ((1 - e^2) N + h) \sin \varphi$$

formülleri ile yapılır.

Bu formüllerde geçen ifadeler,

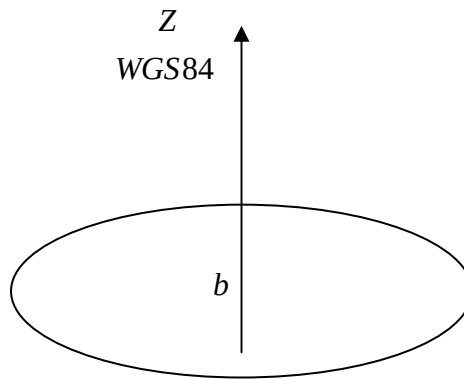
$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (1.12)$$

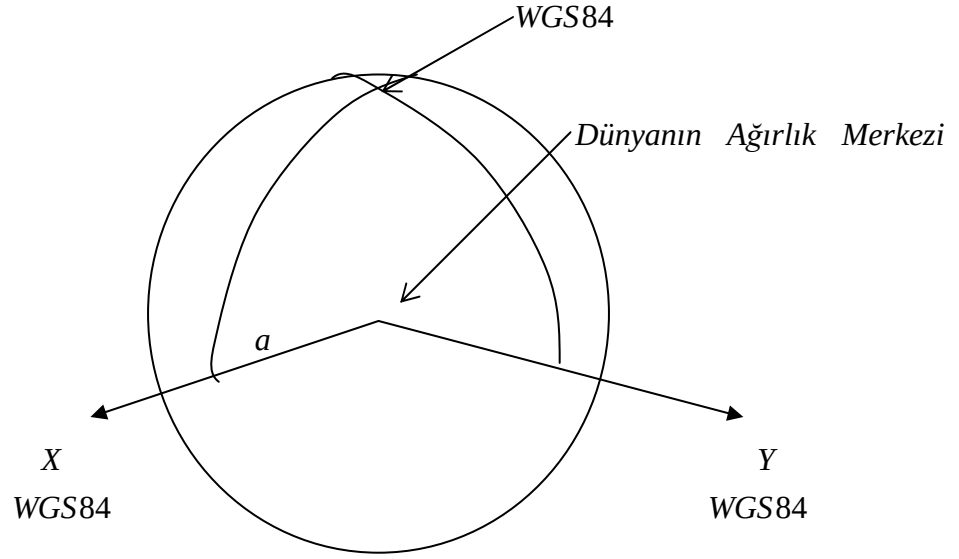
$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (1.13)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Ek 1.2.8 WGS-84 Elipsoidinde Dik Koordinat Sistemi ile Eğri Koordinat Sistemi Arasındaki İlişki

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (1.14)$$





Şekil Ek 1.5 WGS-84 koordinat sistemi

WGS-84 elipsoit sistemi (World Geodetic System 1984) GPS (Global Positioning System) uyduların yörünge parametrelerinin tanımlanması için Amerika Savunma Bakanlığı tarafından oluşturulmuş bir sistemdir. 1960 yılından bu yana oluşturulmuş olan dünya jeodezik sistemlerinin sonuncusudur. Uydu navigasyon sistemlerinin temelini oluşturan yersel bir referans sistemidir.

WGS-84 koordinat sisteminin başlangıcı, yaklaşık 10 cm doğrulukla dünyanın ağırlık merkezi ve WGS-84 elipsoidinin geometrik merkezidir. Z eksen, kutup gezinmesi için BIH (The Bureau International de l'Heure) tarafından tanımlanan konversiyonel yerel kutup CTP (Convention Terrestrial Pole) doğrultusuna paraleldir.

X- eksen, WGS-84 referans meridyen düzlemi ile CTP ekvator düzleminin arakesitidir. Referans meridyeni, BIH istasyonlarının koordinatlarıyla tanımlanan başlangıç meridyenine paraleldir. Y- eksen, X ve Z eksenlerine dik olarak alınan bir sağ el sistemini oluşturur.

WGS-84 elipsoidini tanımlayan parametreler:

Elipsoidin büyük yarı eksen	: $a = 6378137.000 \text{ m}$
Elipsoidin basıklığı	: $f = 1 / 298.257223563$
Kutup eğrilik yarıçapı	: $c = 6399593.6258 \text{ m}$

WGS-84 koordinat sistemi global dik koordinatlar (X, Y, Z) ile belirlendiği gibi elipsoidal eğri koordinatlar (φ , λ , h) ile de belirlenebilir. WGS-84 koordinat sisteminde belirlenen bu koordinatlar arasında,

$$\begin{aligned} X_{\text{WGS-84}} &= (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ Y_{\text{WGS-84}} &= (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \\ Z_{\text{WGS-84}} &= ((b^2/a^2) N + h) \sin \varphi = ((1 - e^2) N + h) \sin \varphi \end{aligned} \quad (1.15)$$

ilişkisi vardır. Bu eşitlikleri elipsoidal eğri koordinatlar cinsinden ifade edersek,

$$\tan \varphi = \frac{Z(N + h)}{\sqrt{X^2 + Y^2} [N(1 - e^2) + h]} \quad (1.16)$$

bu ifade iteratif olarak çözülebilir.

$$\tan \lambda = \frac{Y}{X} \quad (1.17)$$

eşitlikleri ile ilişki kurularak dönüşüm yapılır. Bu eşitliklerde,

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (1.18)$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (1.19)$$

$$c = a^2 / b \quad (1.20)$$

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (1.21)$$

$$f = (a - b) / a \quad (1.22)$$

$$p = \sqrt{x^2 + y^2} = (N + h) \cos \varphi \quad (1.23)$$

parametreleri kullanılır [Doğan,1996; Leick,1990; Üstün,1996].

Ek 1.2.9 WGS-84 Elipsoidinde Dik Koordinat Sistemi ile Eğri Koordinat Sistemi Arasındaki Dönüşüm

WGS-84 koordinat sisteminde global dik koordinatlar (X, Y, Z) dan, elipsoidal eğri koordinatlar (φ , λ , h) a dönüşüm şu şekilde basamaklanabilir:

1 Adım: Boylam belirlenir,

$$\lambda = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (1.24)$$

2 Adım: D hesaplanır,

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2} = (N + h) \cos \varphi \quad (1.25)$$

3 Adım: Enlem yaklaşık olarak hesaplanır,

$$\varphi_0 = \arctan\left(\frac{Z}{D(1 - e^2)}\right) \quad (1.26)$$

4 Adım: Elipsoid normali (N₀) yaklaşık olarak hesaplanır,

$$N_0 = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_0}} \quad (1.27)$$

5 Adım:

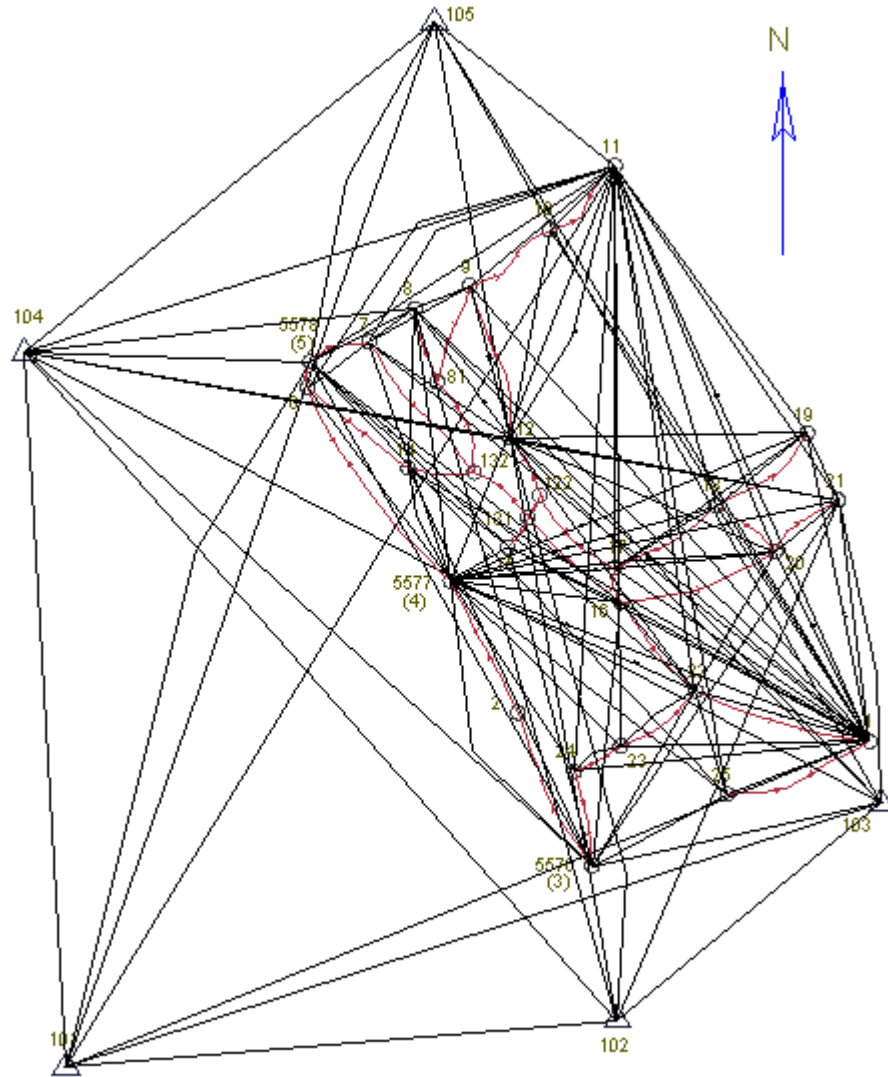
$$\varphi_0 = \arctan\left(\frac{Z + e^2 N_0 \sin \varphi_0}{D}\right) \quad (1.28)$$

4 ile 5 arasında iterasyon yapılarak kesin enlem değeri hesaplanır ve 6 adıma geçilir,

6 Adım: Elipsoidal yükseklik hesaplanır,

$$h = \left(\frac{D}{\cos \varphi_0}\right) - N_0 \quad (1.29)$$

WGS-84 koordinat sisteminde, global dik koordinatlar (X, Y, Z) dan elipsoidal eğri koordinatlar (ϕ, λ, h) a dönüşüm yukarıda görüleceği üzere kurulan bir döngü ile hesaplanır [Wolf 1996].



Şekil Ek 1.6 GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri

EK 2. VARYANS ANALİZİ

Varyans analizinin tarihi 20 yüzyılın başlarına dayanmaktadır. İlk olarak F.R. Helmert 1907’ de bu tekniği geliştirip değişik heterojen veri tiplerine uygulamıştır. O günden bugüne varyans analiz tekniği jeodezik ve fotogrametrik problemler başta olmak üzere birçok alanda uygulamıştır. Basit tanımıyla, varyans analiz tekniğinin esas amacı, ağırlıkları bilinmeyen ölçme veya ölçme gruplarının ağırlıklarının belirlenmesidir. Bu teknik, ölçmeleri uygun kategorilere veya gruplara ayırmaktadır [Kızılsu,1998].

Varyans analiz tekniği, özellikle uydu jeodezisinin hızla gelişmesi ile daha önem kazanmaya başlamıştır. Uzayda aynı amaçlar için değişik uydular veya uydu sistemleri bulunmakta ve veriler ayrı ayrı elde edilmektedir. Daha sonra bu veriler istenen amaçlar için bir araya getirildiği anda aralarındaki korelasyon veya birbirlerine göre ağırlıkları sorun olmaktadır. Genelde bu verilerin birleştirilmesinde, uygun laboratuvar koşullarında elde edilmiş ağırlık oranları kullanılmaktadır. Bugüne kadar yapılan araştırmalarda, varyans analizinden elde edilmiş ağırlıklar ile laboratuvar koşullarında belirlenmiş ağırlıklar arasında önemli derecede farklılıklar olduğu saptanmıştır [Welsch,1978 and Grafarend et al,1980; Şahin ve ark.,1992].

Burada, varyans tekniğinin bir gerekliliği olarak aynı peryotta yapılan GPS ve prezisyonlu nivelman ölçüleri ayrı birer grup oluşturur ve grup sayısı ikidir.

Ek 2.1 Helmert Varyans Analizi

Gözlemlerin lineerleştirilmiş genel fonksiyonel model eşitliği:

$$AX = b - e \quad (2.1)$$

eşitliği ile verilir. Burada,

A: Bilinmeyenlerin katsayılar matrisi

X: Bilinmeyenler vektörü

b: ölçüler vektörü

e: ölçmelerin gerçek hatalarını içeren vektördür.

$$b = A.X + e \quad (2.2)$$

En küçük kareler yöntemine göre (2.1) eşitliğinin çözümü:

$$\hat{X} = N^{-1}.n \quad (2.3)$$

$$N^{-1} = (A^T P A)^{-1} , \quad n = A^T .P.b \quad (2.4)$$

denklemleriyle verilir. Burada,

(2.3) eşitliği,

$$\hat{X} = N^{-1}.A^T .P.b \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir.

Dengeleme sonucunda elde edilen düzeltmeler

$$V = A\hat{X} - b \quad (2.6)$$

olarak verilmektedir. Bu eşitlikte (2.2) yerine konursa,

$$V = A(\hat{X} - X) - e \quad (2.7)$$

elde edilir.

$$\hat{X} - X = N^{-1}.A^T .P.e \quad (2.8)$$

(2.7) de yerine konursa,

$$V = AN^{-1}A^T P e - e = (AN^{-1}A^T P - I)e \quad (2.9)$$

Helmert varyans analizine göre, ölçmeleri u tane gruba ayırırsak,

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ A_u \end{bmatrix} N^{-1} A^T P e - \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ e_u \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

elde edilir. (2.10) açık olarak yazılırsa,

$$V_1 = A_1 N^{-1} A^T P e - e_1$$

$$V_2 = A_2 N^{-1} A^T P e - e_2$$

$$V_u = A_u N^{-1} A^T P e - e_u \quad (2.11)$$

Bu grupların içinde herhangi bir i grubu için,

$$\begin{aligned} V_i^T P_i V_i &= (A_i N^{-1} A^T P e - e_i)^T P_i (A_i N^{-1} A^T P e - e_i) = \\ &e_i^T P_i e_i - e^T P_i A_i N^{-1} A^T P e - e^T P A N^{-1} A_i^T P_i e_i + e^T P A N^{-1} A_i^T P_i A_i N^{-1} A^T P e \end{aligned} \quad (2.12)$$

(2.12) eşitliğinin sağında kalan terimlerin ortadan ikisi birbirine eşittir (örneğin $k^T \cdot c = c^T \cdot k$ gibi). Buna göre,

$$V_i^T P_i V_i = e_i^T P_i e_i - 2e_i^T P_i A_i N^{-1} A^T P e + e^T P A N^{-1} A_i^T P_i A_i N^{-1} A^T P e \quad (2.13)$$

yazılabilir. (2.13) eşitliğinin izi alınırsa,

$$V_i^T P_i V_i = \dot{I}z(V_i^T P_i V_i) = \dot{I}z(e_i^T P_i e_i) - 2\dot{I}z(N^{-1} A^T P e e_i^T P_i A_i) + \dot{I}z(N^{-1} A^T P e e^T P A N^{-1} N_i) \quad (2.14)$$

elde edilir.

$N_i = A_i^T P_i A_i$ dir. $A^T P e$ açıldığında,

$$A^T P e = \sum_{j=1}^k A_j^T P_j e_j \quad (2.15)$$

olur ve (2.14)' te yerine konursa,

$$\begin{aligned} V_i^T P_i V_i &= \dot{I}z(e_i^T P_i e_i) - 2\dot{I}z(N^{-1} (\sum_{j=1}^k A_j^T P_j e_j) e_i^T P_i A_i) \\ &+ \dot{I}z(N^{-1} (\sum_{j=1}^k A_j^T P_j e_j) (\sum_{j=1}^k A_j^T P_j e_j)^T N^{-1} N_i) \end{aligned} \quad (2.16)$$

olur. Bütün ölçmelerin kovaryans matrisi (K),

$$K = E(e e^T) = \sum_{i=1}^u \sigma_{0i}^2 \cdot P_i^{-1} \quad (2.17)$$

Burada P_i ağırlık matrisi, σ_{0i}^2 gerçek varyans faktörüdür.

Varyans analizinin ana amacı bilinmeyen varyans faktörlerini (σ_{0i}^2) belirlemektir ve şu şekilde gerçekleştirilir;

$$\begin{aligned}
E(V_i^T P_i V_i) &= \dot{I}z(\sigma_{0i}^2 P_i^{-1} P_i) - 2\dot{I}z(N^{-1} A_i^T P_i \sigma_{0i}^2 P_i^{-1} P_i A_i) + \\
&+ \dot{I}z(N^{-1} (\sum_{j=1}^u A_j^T P_j A_j \sigma_{0i}^2 P_j^{-1} P_j A_j) N^{-1} N_i) \\
&= \dot{I}z(I) \sigma_{0i}^2 - 2\dot{I}z(N^{-1} N_i) \sigma_{0i}^2 + P_i^{-1} P_i A_i + \dot{I}z(N^{-1} (\sum_{j=1}^u A_j^T P_j A_j \sigma_{0j}^2) N^{-1} N_i) \quad (2.18) \\
&= (n_i - 2\dot{I}z(N^{-1} N_i) + \sigma_{0i}^2 + P_i^{-1} P_i A_i) + \dot{I}z(N^{-1} N_i N^{-1} N_i) \sigma_{0i}^2 + (\sum_{j=1(i \neq j)}^u \dot{I}z(N^{-1} N_j N^{-1} N_i) \sigma_{0j}^2)
\end{aligned}$$

Bu eşitlikte n_i , i ölçme grubu içerisindeki düzeltme denklemlerinin sayısını vermektedir. $E(V_i^T P_i V_i)$ ümit değerinin yerine $V_i^T P_i V_i$ gerçek değeri ve σ_{0i}^2 gerçek varyans faktörünün yerine σ_i^2 ümit değeri konursa,

$$V_i^T P_i V_i = (n_i - 2\dot{I}z(N^{-1} N_i) + \dot{I}z(N^{-1} N_i N^{-1} N_i)) \sigma_i^2 + (\sum_{j=1(i \neq j)}^u \dot{I}z(N^{-1} N_j N^{-1} N_i) \sigma_j^2) \quad (2.19)$$

olur. Helmert denklemini oluşturmak için (2.19) eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$c_i = V_i^T P_i V_i \quad (2.20)$$

$$h_{ii} = (n_i - 2\dot{I}z(N^{-1} N_i) + \dot{I}z(N^{-1} N_i N^{-1} N_i)) \quad (2.21)$$

$$h_{ij} = \dot{I}z(N^{-1} N_j N^{-1} N_i) \quad (i \neq j) \quad (2.22)$$

Bu eşitliklerin matris gösterimi:

$$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1u} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2u} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{u1} & h_{u2} & \dots & h_{uu} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1^2 \\ \sigma_2^2 \\ \dots \\ \sigma_u^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_u \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

şeklinde olur. Helmert denklemi:

$$H\sigma^2 = c \quad (2.24)$$

ile ifade edilir [Coşkun,1996 ve Kızılsu,1998]. Burada c , ağırlık matrisi P 'nin, P de σ^2 'nin bir fonksiyonu olduğu için Helmert Varyans Analizini özetlersek:

1. Adım: Dengelemeden önce her ölçme grubu için ağırlıklar ($P_1, P_2, \dots, P_u$) belirlenir; başlangıçta ağırlıklar 1 alınabilir.
2. Adım: Başlangıç ağırlıkları kullanılarak her bir ölçme grubu için ayrı ayrı normal denklemler ($N_1, N_2, \dots, N_u$) ve genel normal denklem ($N = A^T P A$) oluşturulur. Burada, $N = N_1 + N_2 + \dots + N_u$ eşitliğinden sağlama yapılır.
3. Adım: Dengelemeye geçilir; EKK çözümü ile bilinmeyen parametreler ve düzeltmeler hesaplanır.

$$X = N^{-1} \cdot d \quad (d = A^T P b) \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} V_1 &= A_1 X - b_1 \\ V_2 &= A_2 X - b_2 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ V_u &= A_u X - b_u \end{aligned} \quad (2.26)$$

4. Adım: (2.23) eşitliği oluşturulur.
5. Adım: (2.23) eşitliğinden varyans bileşenleri ($\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_u^2$) bulunur ve yeni ağırlıklar hesaplanır (P_{i-1} : Bir önceki iterasyondaki ağırlık).

$$P_i = \frac{P_{i-1}}{\sigma_{i-1}^2} \quad (2.27)$$

6. Adım: Eğer varyans bileşenleri (σ_i^2) bütün gruplar için ($i = 1, 2, \dots, u$) bire eşitse işlem sona erer. Bire eşit değilse yeni ağırlıklar kullanılarak 2. Adıma dönülür ve $\sigma_i^2 = 1$ olana kadar iterasyona devam edilir [Kızılsu,1998; Şahin,1994 ve Coşkun,1996].

Ek 2.2 Varyans Analizi Metodları

Burada, varyans analizi için kullanılan; varyans bileşenleri tahmini ile ilgili olarak yapılan farklı modeller hakkında kısaca bilgi verilecektir.

IQUE Modelinde, Ölçülerin varyansı (σ) bir vektörden oluşur. Varyans bileşenleri:

$$\sigma = [\sigma_{01}^2 \quad \sigma_{02}^2 \quad \dots \quad \sigma_{0k}^2]^T \quad (2.28)$$

olur. p bir vektör olan σ 'nın katsayısı olmak üzere,

$$E(l) = A.x, \quad l = A.x + v \quad (2.29)$$

$$E(vv^T) = \Sigma = \sum_{i=1}^k \sigma_{0i}^2 . Q_i$$

(2.29) da ki Gauss-Markov modeli $p^T \sigma$ ile genişletilerek, $E(l^T B l) = p^T \sigma$ vektör parametreleri çözümünün genel fonksiyona ilave edilmesi ile IQUE' nin kesin varyans bileşenleri elde edilmiştir [Leick,1995].

BIQUE Modelinde, IQUE Modeli genişletilerek minimum varyans ölçütü elde edilmiştir.

$$\sigma^2(l^T B l) = E(l^T B l - p^T \sigma)^2 = \min \quad (2.30)$$

çözümünden BIQUE' nin kesin varyans bileşenleri hesaplanmıştır [Leick,1995 and Russo,1998a].

MINQUE Metodu, Gauss-Markov modeli ile (2.29) oluşturularak, varyans-kovaryans matrisinin klasik tanımı ile varyans bileşenlerinin değerlendirmesi yapılmıştır. μ , ortalama değeri göstermek üzere,

$$c = E[(v - \mu)(v - \mu)^T] = E(vv^T) - \mu . \mu^T \quad (2.31)$$

(2.31) eşitliğinin çözümünde $\mu = 0$ amaçlanarak, ölçülerin düzeltmeleri elde edilmiştir. Düzeltmelerin ortalaması ile

$$c = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m v_k . v_k^T \quad (2.32)$$

MINQUE' nin kesin varyans bileşenleri bulunmuştur [Landau,1992 and Wang,2001].

EK 3. GPS ve PRESİZYONLU NİVELMAN ÖLÇÜLERİNİN AYRI AYRI VE BİRLİKTE DEĞERLENDİRİLME SONUÇLARI

Tablo Ek 3.1 GPS Ölçülerinin Ağırlıklarının Bir Alınarak Dik Koordinatlara (X, Y, Z) Göre Serbest Dengelenmesi

Ölçü sayısı : 435
Bilinmeyen sayısı : 28
C = [PVV] : 0,14939129592972
m0 : 1,92 cm

Tablo Ek 3.2 Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Elipsoidal Yüksekliğe (h) Göre Serbest Dengelenmesi (Metre Biriminde)

Ölçü sayısı : 32
Bilinmeyen sayısı : 28
C = [PVV] : 0,0000847011352576633
m0 : 0,46 cm

Tablo Ek 3.3 GPS ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Ağırlıklarının Bir Alınarak Elipsoidal Koordinatlara Göre (ϕ , λ , h) Birlikte Dengelenmesi

Ölçü sayısı : 467
Bilinmeyen sayısı : 35
C = [PVV] : 0,18669726958078
m0 : 2,08 cm

Tablo Ek 3.6 GPS ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin 14. İterasyon Ağırlıklarının Kullanılarak Elipsoidal Koordinatlara Göre Birlikte Dengelenmesi (Metre Biriminde)

Ölçü sayısı : 467
Bilinmeyen sayısı : 35
C = [PVV] : 378,7363563558062
m_{GPS} : 1,91 cm
m_{NIV} : 3,84 cm

Tablo Ek 3.12 GPS Ölçülerinin Dik Koordinatlara (X, Y, Z) Göre Dengelenmesi

Ölçü sayısı : 435
 Bilinmeyen sayısı : 27
 C = [PVV] : 0,149391295929716
 m0 : 1,91 cm

Tablo Ek 3.13 GPS Ölçülerinin Elipsoidal Koordinatlara (ϕ , λ , h) Göre Dengelenmesi

Ölçü sayısı : 435
 Bilinmeyen sayısı : 27
 C = [PVV] : 0,149391295480028
 m0 : 1,91 cm

Tablo Ek 3.14 Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Elipsoidal Yüksekliğe (h) Göre Dengelenmesi

Ölçü sayısı : 32
 Bilinmeyen sayısı : 27
 C = [PVV] : 0,216107686007275
 m0 : 4,28 cm

BAZ NOKTALARI	TABLO EK 3.1	TABLO EK 3.3	TABLO EK 3.6	TABLO EK 3.12 TABLO EK 3.13
GPS ÖLÇÜLERİ	ÖLÇÜ DÜZELTMELERİ (metre)	ÖLÇÜ DÜZELTMELERİ (metre)	ÖLÇÜ DÜZELTMELERİ (metre)	ÖLÇÜ DÜZELTMELERİ (metre)
dX11_9	0,00877	0,007114	0,008266	0,008769
dY11_9	0,00971	0,008805	0,009435	0,009711
dZ11_9	0,00897	0,007335	0,008473	0,008970
dX8_9	0,01111	0,009860	0,010689	0,011106
dY8_9	0,00979	0,009106	0,009559	0,009788
dZ8_9	0,01446	0,013227	0,014045	0,014458
dX22_20	0,00364	0,006629	0,004550	0,003636
dY22_20	0,00033	0,001962	0,000825	0,000325
dZ22_20	0,00265	0,005607	0,003550	0,002645
dX8_7	0,00377	0,003445	0,003693	0,003770
dY8_7	0,00215	0,001972	0,002108	0,002150
dZ8_7	0,00304	0,002715	0,002960	0,003037
dX9_7	-0,00784	-0,006915	-0,007496	-0,007836
dY9_7	-0,00794	-0,007434	-0,007752	-0,007938
dZ9_7	-0,01122	-0,010313	-0,010886	-0,011222

dX19_21	0,00801	0,007364	0,007824	0,008013
dY19_21	0,00741	0,007056	0,007308	0,007411
dZ19_21	0,00805	0,007409	0,007864	0,008051
dX11_12	0,00887	0,009379	0,009056	0,008869
dY11_12	0,00500	0,005277	0,005101	0,004998
dZ11_12	0,01991	0,020418	0,020098	0,019913
dX19_12	0,01253	0,011783	0,012368	0,012533
dY19_12	0,01135	0,010942	0,011262	0,011352
dZ19_12	0,01200	0,011259	0,011838	0,012000
dX20_12	0,00225	0,001449	0,001971	0,002251
dY20_12	0,00535	0,004908	0,005194	0,005347
dZ20_12	0,00569	0,004892	0,005408	0,005685
dX21_12	0,00372	0,003619	0,003744	0,003720
dY21_12	0,00294	0,002885	0,002954	0,002941
dZ21_12	0,00355	0,003450	0,003573	0,003549
dX22_12	0,00589	0,008078	0,006521	0,005887
dY22_12	0,00617	0,007370	0,006519	0,006172
dZ22_12	0,00793	0,010099	0,008558	0,007930
dX7_12	0,00274	0,003981	0,003087	0,002736
dY7_12	-0,00017	0,000506	0,000017	-0,000175
dZ7_12	0,00996	0,011196	0,010311	0,009964
dX8_12	0,01861	0,019526	0,018879	0,018606
dY8_12	0,00248	0,002978	0,002625	0,002475
dZ8_12	0,03070	0,031611	0,030971	0,030701
dX9_12	-0,01450	-0,012335	-0,013809	-0,014500
dY9_12	-0,01901	-0,017828	-0,018635	-0,019013
dZ9_12	-0,00316	-0,001016	-0,002475	-0,003157
dX09_12	-0,01330	-0,011135	-0,012609	-0,013300
dY09_12	-0,01021	-0,009028	-0,009835	-0,010213
dZ09_12	-0,00746	-0,005316	-0,006775	-0,007457
dX17_20	-0,00470	-0,001828	-0,003869	-0,004696
dY17_20	-0,00348	-0,001909	-0,003025	-0,003477
dZ17_20	-0,00471	-0,001873	-0,003893	-0,004711
dX15_14	0,00013	0,000899	0,000422	0,000133
dY15_14	0,00205	0,002466	0,002205	0,002047
dZ15_14	0,00282	0,003582	0,003110	0,002824
dX16_22	0,00580	0,008482	0,006819	0,005799
dY16_22	0,00530	0,006766	0,005856	0,005299
dZ16_22	0,00442	0,007073	0,005426	0,004418
dX11_1	-0,00696	-0,006467	-0,006800	-0,006961
dY11_1	-0,01046	-0,010195	-0,010377	-0,010465
dZ11_1	-0,01229	-0,011800	-0,012129	-0,012289
dX12_1	-0,01533	-0,015346	-0,015356	-0,015330
dY12_1	-0,01696	-0,016972	-0,016977	-0,016963
dZ12_1	-0,03540	-0,035418	-0,035428	-0,035402
dX14_1	0,00188	0,003725	0,002341	0,001877
dY14_1	-0,00530	-0,004287	-0,005044	-0,005298
dZ14_1	-0,00185	-0,000019	-0,001389	-0,001848
dX15_1	0,00211	0,004724	0,002864	0,002110

dY15_1	-0,00275	-0,001322	-0,002339	-0,002751
dZ15_1	0,00018	0,002763	0,000922	0,000176
dX16_1	0,01346	0,018314	0,015084	0,013457
dY16_1	0,01291	0,015565	0,013798	0,012908
dZ16_1	0,00555	0,010354	0,007157	0,005547
dX17_1	-0,01378	-0,011725	-0,013255	-0,013775
dY17_1	0,00361	0,004728	0,003891	0,003607
dZ17_1	-0,01443	-0,012399	-0,013912	-0,014427
dX19_1	0,00870	0,007937	0,008512	0,008703
dY19_1	0,00679	0,006370	0,006685	0,006789
dZ19_1	0,00150	0,000741	0,001310	0,001499
dX20_1	-0,00878	-0,009597	-0,009085	-0,008779
dY20_1	0,00178	0,001337	0,001617	0,001784
dZ20_1	-0,01472	-0,015526	-0,015019	-0,014716
dX020_1	0,00452	0,003703	0,004215	0,004521
dY020_1	0,01138	0,010937	0,011217	0,011384
dZ020_1	-0,00402	-0,004826	-0,004319	-0,004016
dX21_1	0,00089	0,000773	0,000888	0,000890
dY21_1	-0,00092	-0,000987	-0,000923	-0,000922
dZ21_1	-0,00635	-0,006468	-0,006354	-0,006352
dX22_1	0,00836	0,010532	0,008965	0,008357
dY22_1	0,00831	0,009499	0,008642	0,008310
dZ22_1	0,00143	0,003581	0,002030	0,001429
dX022_1	0,00746	0,009632	0,008065	0,007457
dY022_1	0,01151	0,012699	0,011842	0,011510
dZ022_1	-0,00147	0,000681	-0,000870	-0,001471
dX25_1	-0,00525	-0,001435	-0,004144	-0,005247
dY25_1	-0,00142	0,000668	-0,000814	-0,001417
dZ25_1	-0,00228	0,001496	-0,001185	-0,002277
dX7_1	-0,00339	-0,002165	-0,003070	-0,003394
dY7_1	-0,00194	-0,001266	-0,001760	-0,001938
dZ7_1	-0,00134	-0,000122	-0,001016	-0,001337
dX8_1	0,00028	0,001180	0,000523	0,000276
dY8_1	0,00041	0,000906	0,000547	0,000413
dZ8_1	0,00220	0,003093	0,002443	0,002199
dX9_1	-0,03243	-0,030281	-0,031766	-0,032430
dY9_1	-0,04018	-0,039000	-0,039812	-0,040175
dZ9_1	-0,04246	-0,040334	-0,041802	-0,042459
dX09_1	-0,00833	-0,006181	-0,007666	-0,008330
dY09_1	-0,01038	-0,009200	-0,010012	-0,010375
dZ09_1	-0,01166	-0,009534	-0,011002	-0,011659
dX20_21	-0,01137	-0,012070	-0,011674	-0,011369
dY20_21	0,00281	0,002423	0,002640	0,002806
dZ20_21	0,00004	-0,000657	-0,000265	0,000036
dX6_7	0,00228	0,004624	0,003051	0,002277
dY6_7	0,00122	0,002503	0,001642	0,001219
dZ6_7	0,00508	0,007402	0,005844	0,005078
dX18_17	-0,00054	-0,002488	-0,001019	-0,000537
dY18_17	0,00183	0,000766	0,001569	0,001833

dZ18_17	0,00315	0,001215	0,002669	0,003146
dX17_19	-0,03328	-0,030462	-0,032567	-0,033278
dY17_19	-0,02168	-0,020142	-0,021293	-0,021682
dZ17_19	-0,03003	-0,027239	-0,029322	-0,030026
dX18_19	-0,03322	-0,032350	-0,032986	-0,033215
dY18_19	-0,01555	-0,015076	-0,015424	-0,015549
dZ18_19	-0,01708	-0,016224	-0,016853	-0,017080
dX1_11	0,00916	0,008667	0,009000	0,009161
dY1_11	0,00596	0,005695	0,005877	0,005965
dZ1_11	0,00449	0,004000	0,004329	0,004489
dX17_11	-0,00991	-0,008359	-0,009555	-0,009914
dY17_11	0,00457	0,005422	0,004768	0,004571
dZ17_11	-0,01314	-0,011599	-0,012783	-0,013139
dX18_11	-0,00975	-0,010146	-0,009874	-0,009751
dY18_11	0,00530	0,005088	0,005237	0,005304
dZ18_11	-0,00769	-0,008083	-0,007814	-0,007693
dX19_11	0,01816	0,016903	0,017812	0,018164
dY19_11	0,01735	0,016664	0,017161	0,017353
dZ19_11	0,00529	0,004041	0,004940	0,005287
dX20_11	-0,00442	-0,005731	-0,004885	-0,004418
dY20_11	0,01365	0,012931	0,013393	0,013649
dZ20_11	-0,00423	-0,005526	-0,004690	-0,004227
dX21_11	0,00895	0,008339	0,008788	0,008951
dY21_11	0,01144	0,011108	0,011353	0,011442
dZ21_11	-0,00186	-0,002469	-0,002025	-0,001863
dX22_11	0,01002	0,011699	0,010465	0,010018
dY22_11	0,01287	0,013793	0,013118	0,012874
dZ22_11	0,00192	0,003581	0,002360	0,001918
dX24_11	-0,00042	0,001367	0,000013	-0,000423
dY24_11	0,00193	0,002911	0,002171	0,001933
dZ24_11	0,00341	0,005185	0,003845	0,003414
dX25_11	0,00441	0,007732	0,005356	0,004414
dY25_11	-0,00055	0,001262	-0,000037	-0,000552
dZ25_11	0,00891	0,012196	0,009844	0,008912
dX6_11	0,00494	0,008025	0,005881	0,004944
dY6_11	0,00025	0,001931	0,000758	0,000246
dZ6_11	0,01933	0,022379	0,020257	0,019329
dX7_11	0,00187	0,002601	0,002030	0,001867
dY7_11	-0,00177	-0,001371	-0,001684	-0,001773
dZ7_11	0,01295	0,013678	0,013113	0,012951
dX11_23	0,00082	-0,000728	0,000444	0,000816
dY11_23	0,00014	-0,000701	-0,000060	0,000144
dZ11_23	-0,00243	-0,003959	-0,002799	-0,002431
dX22_23	0,00433	0,004471	0,004409	0,004334
dY22_23	0,01212	0,012193	0,012159	0,012118
dZ22_23	-0,00361	-0,003478	-0,003539	-0,003614
dX24_23	0,00159	0,001839	0,001657	0,001593
dY24_23	0,00308	0,003211	0,003111	0,003076
dZ24_23	0,00028	0,000526	0,000346	0,000283

dX17_1	-0,01378	-0,011725	-0,013255	-0,013775
dY17_1	0,00361	0,004728	0,003891	0,003607
dZ17_1	-0,01443	-0,012399	-0,013912	-0,014427
dX23_1	0,00142	0,003461	0,001956	0,001423
dY23_1	0,00569	0,006806	0,005983	0,005692
dZ23_1	0,00664	0,008660	0,007170	0,006643
dX24_1	0,00232	0,004600	0,002913	0,002317
dY24_1	0,01237	0,013617	0,012694	0,012368
dZ24_1	0,01123	0,013485	0,011816	0,011225
dX1_18	0,01481	0,014713	0,014774	0,014812
dY1_18	-0,00944	-0,009494	-0,009461	-0,009440
dZ1_18	0,00728	0,007183	0,007243	0,007281
dX17_18	0,00114	0,003088	0,001619	0,001137
dY17_18	-0,00723	-0,006166	-0,006969	-0,007233
dZ17_18	-0,00955	-0,007615	-0,009069	-0,009546
dX1_19	-0,02000	-0,019237	-0,019812	-0,020003
dY1_19	-0,02369	-0,023270	-0,023585	-0,023689
dZ1_19	-0,01100	-0,010241	-0,010810	-0,010999
dX17_19	-0,03328	-0,030462	-0,032567	-0,033278
dY17_19	-0,02168	-0,020142	-0,021293	-0,021682
dZ17_19	-0,03003	-0,027239	-0,029322	-0,030026
dX18_19	-0,03322	-0,032350	-0,032986	-0,033215
dY18_19	-0,01555	-0,015076	-0,015424	-0,015549
dZ18_19	-0,01708	-0,016224	-0,016853	-0,017080
dX1_5577	0,00860	0,007028	0,008148	0,008596
dY1_5577	0,01225	0,011397	0,012010	0,012254
dZ1_5577	0,01085	0,009300	0,010409	0,010852
dX01_5577	0,01210	0,010528	0,011648	0,012096
dY01_5577	0,02375	0,022897	0,023510	0,023754
dZ01_5577	0,01715	0,015600	0,016709	0,017152
dX11_5577	0,00924	0,008161	0,008949	0,009235
dY11_5577	0,01909	0,018502	0,018933	0,019090
dZ11_5577	0,01396	0,012900	0,013680	0,013964
dX17_5577	0,00222	0,002702	0,002294	0,002221
dY17_5577	0,02286	0,023125	0,022901	0,022861
dZ17_5577	-0,00118	-0,000699	-0,001103	-0,001175
dX017_5577	0,00802	0,008502	0,008094	0,008021
dY017_5577	0,02566	0,025925	0,025701	0,025661
dZ017_5577	0,00742	0,007901	0,007497	0,007425
dX18_5577	-0,00002	-0,001486	-0,000425	-0,000016
dY18_5577	0,02699	0,026191	0,026771	0,026994
dZ18_5577	0,00427	0,002817	0,003866	0,004271
dX018_5577	0,00828	0,006814	0,007875	0,008284
dY018_5577	0,02829	0,027491	0,028071	0,028294
dZ018_5577	0,01037	0,008917	0,009966	0,010371
dX19_5577	0,03180	0,029464	0,031161	0,031799
dY19_5577	0,04094	0,039667	0,040594	0,040943
dZ19_5577	0,02135	0,019041	0,020719	0,021351
dX019_5577	0,02232	0,019930	0,021563	0,022317

dY019_5577	0,03224	0,030933	0,031826	0,032239
dZ019_5577	0,01464	0,012274	0,013890	0,014636
dX20_5577	0,01222	0,009830	0,011463	0,012217
dY20_5577	0,03884	0,037533	0,038426	0,038839
dZ20_5577	0,01874	0,016374	0,017990	0,018736
dX21_5577	0,02539	0,023700	0,024937	0,025386
dY21_5577	0,03673	0,035810	0,036486	0,036732
dZ21_5577	0,01980	0,018131	0,019355	0,019800
dX22_5577	0,01775	0,018360	0,017914	0,017753
dY22_5577	0,03126	0,031596	0,031352	0,031264
dZ22_5577	0,01788	0,018481	0,018040	0,017881
dX022_5577	0,01385	0,014460	0,014014	0,013853
dY022_5577	0,02856	0,028896	0,028652	0,028564
dZ022_5577	0,00988	0,010481	0,010040	0,009881
dX23_5577	0,00772	0,008189	0,007804	0,007719
dY23_5577	0,01665	0,016903	0,016693	0,016646
dZ23_5577	0,01679	0,017260	0,016879	0,016795
dX24_5577	0,00891	0,009628	0,009062	0,008913
dY24_5577	0,01982	0,020214	0,019904	0,019823
dZ24_5577	0,01968	0,020385	0,019825	0,019678
dX25_5577	0,00235	0,004593	0,003005	0,002349
dY25_5577	0,02194	0,023165	0,022296	0,021938
dZ25_5577	0,01648	0,018696	0,017124	0,016475
dX6_5577	0,01838	0,020386	0,019030	0,018379
dY6_5577	0,02174	0,022834	0,022091	0,021736
dZ6_5577	0,03199	0,033980	0,032637	0,031993
dX7_5577	0,01560	0,015262	0,015479	0,015602
dY7_5577	0,01952	0,019331	0,019449	0,019517
dZ7_5577	0,02671	0,026378	0,026593	0,026715
dX14_5577	0,02367	0,023953	0,023690	0,023673
dY14_5577	0,01186	0,012009	0,011865	0,011856
dZ14_5577	0,01990	0,020181	0,019921	0,019904
dX15_5577	0,02711	0,028152	0,027412	0,027106
dY15_5577	0,02810	0,028675	0,028271	0,028104
dZ15_5577	0,01743	0,018463	0,017731	0,017429
dX015_5577	0,02401	0,025052	0,024312	0,024006
dY015_5577	0,01960	0,020175	0,019771	0,019604
dZ015_5577	0,02543	0,026463	0,025731	0,025429
dX16_5577	0,03625	0,039542	0,037432	0,036253
dY16_5577	0,04716	0,048962	0,047808	0,047163
dZ16_5577	0,03170	0,034954	0,032866	0,031699
dX22_5577	0,01775	0,018360	0,017914	0,017753
dY22_5577	0,03126	0,031596	0,031352	0,031264
dZ22_5577	0,01788	0,018481	0,018040	0,017881
dX25_5577	0,00235	0,004593	0,003005	0,002349
dY25_5577	0,02194	0,023165	0,022296	0,021938
dZ25_5577	0,01648	0,018696	0,017124	0,016475
dX5576_5577	0,00039	0,000843	0,000546	0,000391
dY5576_5577	0,00096	0,001203	0,001041	0,000956

dZ5576_5577	0,00029	0,000735	0,000442	0,000288
dX5578_5577	-0,00833	-0,007954	-0,008196	-0,008331
dY5578_5577	-0,00290	-0,002695	-0,002827	-0,002901
dZ5578_5577	-0,00646	-0,006085	-0,006324	-0,006458
dX8_5577	0,02167	0,021007	0,021472	0,021673
dY8_5577	0,02587	0,025503	0,025757	0,025867
dZ8_5577	0,03035	0,029693	0,030153	0,030352
dX15_5578	0,02604	0,026705	0,026208	0,026037
dY15_5578	0,02980	0,030170	0,029898	0,029804
dZ15_5578	0,04609	0,046748	0,046255	0,046086
dX015_5578	0,03874	0,039405	0,038908	0,038737
dY015_5578	0,02380	0,024170	0,023898	0,023804
dZ015_5578	0,03139	0,032048	0,031555	0,031386
dX16_5578	0,04278	0,045695	0,043828	0,042783
dY16_5578	0,04966	0,051256	0,050235	0,049664
dZ16_5578	0,03786	0,040739	0,038890	0,037856
dX22_5578	0,03778	0,038013	0,037809	0,037784
dY22_5578	0,03246	0,032590	0,032479	0,032465
dZ22_5578	0,02864	0,028866	0,028664	0,028639
dX25_5578	0,02298	0,024847	0,023500	0,022980
dY25_5578	0,02304	0,024059	0,023323	0,023039
dZ25_5578	0,02723	0,029081	0,027748	0,027233
dX5576_5578	0,01122	0,011296	0,011242	0,011222
dY5576_5578	0,00456	0,004598	0,004568	0,004557
dZ5576_5578	0,00815	0,008220	0,008166	0,008146
dX8_5578	0,03630	0,035261	0,035967	0,036303
dY8_5578	0,03457	0,033998	0,034384	0,034568
dZ8_5578	0,03651	0,035477	0,036177	0,036509
dX14_5576	0,01908	0,018911	0,018944	0,019082
dY14_5576	0,01060	0,010506	0,010524	0,010600
dZ14_5576	0,01362	0,013446	0,013479	0,013616
dX15_5576	0,02782	0,028409	0,027966	0,027816
dY15_5576	0,01025	0,010572	0,010329	0,010247
dZ15_5576	0,01864	0,019228	0,018789	0,018640
dX16_5576	0,03716	0,039999	0,038186	0,037162
dY16_5576	0,03931	0,040859	0,039867	0,039307
dZ16_5576	0,02271	0,025519	0,023724	0,022710
dX22_5576	0,01636	0,016517	0,016367	0,016362
dY22_5576	0,03141	0,031492	0,031410	0,031408
dZ22_5576	0,01699	0,017146	0,016998	0,016993
dX25_5576	-0,00084	0,000951	-0,000342	-0,000842
dY25_5576	0,02128	0,022261	0,021555	0,021281
dZ25_5576	0,01289	0,014661	0,013382	0,012887
dX15_16	-0,01195	-0,014190	-0,012820	-0,011946
dY15_16	-0,03026	-0,031487	-0,030737	-0,030259
dZ15_16	-0,00617	-0,008391	-0,007035	-0,006170
dX22_25	0,01620	0,014566	0,015709	0,016204
dY22_25	0,01023	0,009331	0,009956	0,010226
dZ22_25	0,00331	0,001685	0,002816	0,003306

dX1_101	0,00873	0,007987	0,008508	0,008733
dY1_101	0,01813	0,017718	0,018003	0,018126
dZ1_101	0,00105	0,000315	0,000830	0,001053
dX104_101	0,00667	0,006716	0,006679	0,006665
dY104_101	0,00178	0,001806	0,001786	0,001779
dZ104_101	0,00680	0,006854	0,006818	0,006805
dX105_101	0,00391	0,003910	0,003910	0,003910
dY105_101	0,00184	0,001840	0,001840	0,001840
dZ105_101	0,00329	0,003290	0,003290	0,003290
dX11_101	0,03367	0,033420	0,033608	0,033672
dY11_101	0,05296	0,052823	0,052926	0,052961
dZ11_101	0,00906	0,008815	0,009001	0,009064
dX5578_101	-0,01889	-0,017694	-0,018536	-0,018894
dY5578_101	0,01177	0,012427	0,011966	0,011770
dZ5578_101	-0,03226	-0,031070	-0,031903	-0,032257
dX8_14	-0,00050	-0,001446	-0,000718	-0,000501
dY8_14	0,01411	0,013594	0,013992	0,014111
dZ8_14	0,01105	0,010112	0,010832	0,011047
dX1_105	0,00312	0,002377	0,002898	0,003123
dY1_105	0,02219	0,021778	0,022063	0,022186
dZ1_105	-0,01494	-0,015675	-0,015160	-0,014937
dX104_105	0,00496	0,005006	0,004969	0,004955
dY104_105	-0,00336	-0,003334	-0,003354	-0,003361
dZ104_105	0,01191	0,011964	0,011928	0,011915
dX11_105	0,02426	0,024010	0,024198	0,024262
dY11_105	0,04182	0,041683	0,041786	0,041821
dZ11_105	-0,00053	-0,000775	-0,000589	-0,000526
dX5578_105	-0,02680	-0,025604	-0,026446	-0,026804
dY5578_105	0,00413	0,004787	0,004326	0,004130
dZ5578_105	-0,03875	-0,037560	-0,038393	-0,038747
dX102_104	0,00261	0,002352	0,002532	0,002611
dY102_104	0,00103	0,000893	0,000991	0,001035
dZ102_104	-0,00030	-0,000554	-0,000376	-0,000298
dX103_104	0,00246	0,002367	0,002432	0,002461
dY103_104	0,00329	0,003240	0,003276	0,003292
dZ103_104	0,00104	0,000951	0,001015	0,001045
dX11_104	0,02061	0,020305	0,020529	0,020607
dY11_104	0,04618	0,046017	0,046140	0,046182
dZ11_104	-0,00634	-0,006639	-0,006417	-0,006341
dX12_104	-0,00846	-0,009275	-0,008727	-0,008463
dY12_104	0,02888	0,028440	0,028739	0,028884
dZ12_104	-0,02665	-0,027457	-0,026915	-0,026653
dX21_104	-0,00724	-0,008156	-0,007483	-0,007242
dY21_104	0,02452	0,024025	0,024393	0,024525
dZ21_104	-0,03560	-0,036508	-0,035842	-0,035604
dX5576_104	-0,01554	-0,014314	-0,015173	-0,015538
dY5576_104	0,00315	0,003818	0,003348	0,003149
dZ5576_104	-0,04262	-0,041404	-0,042255	-0,042616
dX5578_104	-0,03276	-0,031610	-0,032415	-0,032759

dY5578_104	0,00409	0,004720	0,004280	0,004092
dZ5578_104	-0,04916	-0,048024	-0,048821	-0,049162
dX8_104	0,00714	0,007251	0,007152	0,007144
dY8_104	0,02926	0,029318	0,029264	0,029260
dZ8_104	0,00255	0,002653	0,002556	0,002547
dX101_102	-0,01908	-0,018868	-0,019011	-0,019077
dY101_102	-0,00301	-0,002899	-0,002978	-0,003013
dZ101_102	-0,01161	-0,011400	-0,011542	-0,011607
dX103_102	-0,00055	-0,000385	-0,000501	-0,000550
dY103_102	0,00496	0,005047	0,004984	0,004957
dZ103_102	0,00084	0,001006	0,000891	0,000842
dX105_102	-0,00787	-0,007658	-0,007801	-0,007867
dY105_102	0,00033	0,000441	0,000362	0,000327
dZ105_102	-0,00362	-0,003410	-0,003552	-0,003617
dX12_102	-0,01057	-0,011127	-0,010759	-0,010574
dY12_102	0,02685	0,026547	0,026748	0,026849
dZ12_102	-0,02806	-0,028603	-0,028239	-0,028056
dX21_102	-0,00655	-0,007208	-0,006715	-0,006554
dY21_102	0,02659	0,026232	0,026502	0,026590
dZ21_102	-0,03121	-0,031854	-0,031366	-0,031206
dX5578_11	-0,05577	-0,054315	-0,055344	-0,055766
dY5578_11	-0,04339	-0,042597	-0,043160	-0,043391
dZ5578_11	-0,04172	-0,040285	-0,041304	-0,041721
dX8_102	0,00203	0,002399	0,002120	0,002033
dY8_102	0,02712	0,027325	0,027173	0,027125
dZ8_102	-0,00265	-0,002292	-0,002568	-0,002655
dX101_103	-0,01783	-0,017783	-0,017811	-0,017827
dY101_103	-0,01077	-0,010747	-0,010762	-0,010771
dZ101_103	-0,01475	-0,014706	-0,014733	-0,014749
dX105_103	-0,00692	-0,006873	-0,006901	-0,006917
dY105_103	-0,00753	-0,007507	-0,007522	-0,007531
dZ105_103	-0,00666	-0,006616	-0,006643	-0,006659
dX12_103	-0,01232	-0,013042	-0,012559	-0,012324
dY12_103	0,02469	0,024300	0,024564	0,024692
dZ12_103	-0,03260	-0,033309	-0,032831	-0,032598
dX21_103	-0,01340	-0,014223	-0,013614	-0,013404
dY21_103	0,02113	0,020685	0,021018	0,021133
dZ21_103	-0,03625	-0,037059	-0,036457	-0,036249
dX5576_103	-0,01300	-0,011681	-0,012605	-0,012999
dY5576_103	0,00296	0,003678	0,003173	0,002957
dZ5576_103	-0,03676	-0,035456	-0,036370	-0,036760
dX8_103	0,00538	0,005584	0,005420	0,005382
dY8_103	0,02697	0,027078	0,026989	0,026968
dZ8_103	-0,00330	-0,003098	-0,003260	-0,003297
dX10_1	0,00427	0,001895	0,003302	0,004270
dY10_1	0,00669	0,005391	0,006162	0,006691
dZ10_1	0,00620	0,003853	0,005246	0,006203
dX11_1	-0,00696	-0,006467	-0,006800	-0,006961
dY11_1	-0,01046	-0,010195	-0,010377	-0,010465

dZ11_1	-0,01229	-0,011800	-0,012129	-0,012289
dX12_1	-0,01533	-0,015346	-0,015356	-0,015330
dY12_1	-0,01696	-0,016972	-0,016977	-0,016963
dZ12_1	-0,03540	-0,035418	-0,035428	-0,035402
dX21_5576	0,00670	0,004558	0,006090	0,006695
dY21_5576	0,01918	0,018007	0,018845	0,019176
dZ21_5576	0,00341	0,001296	0,002813	0,003412
dX9_1	-0,03243	-0,030281	-0,031766	-0,032430
dY9_1	-0,04018	-0,039000	-0,039812	-0,040175
dZ9_1	-0,04246	-0,040334	-0,041802	-0,042459
dX10_12	0,01840	0,016041	0,017459	0,018400
dY10_12	0,02115	0,019863	0,020639	0,021154
dZ10_12	0,03770	0,035371	0,036773	0,037705
dX101_105	-0,01181	-0,011810	-0,011810	-0,011810
dY101_105	-0,00334	-0,003340	-0,003340	-0,003340
dZ101_105	-0,00809	-0,008090	-0,008090	-0,008090
dX11_12	0,00887	0,009379	0,009056	0,008869
dY11_12	0,00500	0,005277	0,005101	0,004998
dZ11_12	0,01991	0,020418	0,020098	0,019913
dX8_12	0,01861	0,019526	0,018879	0,018606
dY8_12	0,00248	0,002978	0,002625	0,002475
dZ8_12	0,03070	0,031611	0,030971	0,030701
dX9_12	-0,01450	-0,012335	-0,013809	-0,014500
dY9_12	-0,01901	-0,017828	-0,018635	-0,019013
dZ9_12	-0,00316	-0,001016	-0,002475	-0,003157
dX10_11	0,01333	0,010462	0,012202	0,013331
dY10_11	0,01856	0,016986	0,017938	0,018555
dZ10_11	0,01829	0,015452	0,017175	0,018292
P.NIVELMAN	TABLO EK 3.14	TABLO EK 3.3	TABLO EK 3.6	TABLO EK 3.2
ÖLÇÜLERİ	Ö.DÜZELTME	Ö.DÜZELTME	Ö.DÜZELTME	Ö.DÜZELTME
dH1_25	0,000000	-0,026077	-0,021987	0,000000
dH22_1	0,000480	0,035698	0,033333	0,000000
dH22_23	0,000480	-0,008605	-0,008698	-0,000135
dH23_24	0,000000	-0,012072	-0,011798	-0,000076
dH24_5576	0,000000	-0,012505	-0,012207	-0,000152
dH5576_2	0,001730	0,000418	0,000717	-0,000195
dH2_5577	-0,007200	0,000418	0,000717	-0,000131
dH5577_6	0,015240	0,000418	0,000717	0,003239
dH6_5578	-0,010050	0,032785	0,031597	-0,000030
dH5578_7	0,002010	-0,005046	-0,006234	-0,000157
dH7_13	0,001290	0,064994	0,065644	-0,000052
dH13_14	-0,003860	-0,071405	-0,071330	-0,000016
dH14_6	0,010890	-0,021048	-0,019397	0,000536
dH13_131	-0,008330	-0,005314	-0,004472	-0,000124
dH131_15	0,008050	-0,066694	-0,066743	0,000000
dH131_16	0,011960	-0,078975	-0,076955	-0,000333
dH16_22	-0,005400	0,025213	0,022701	-0,000125
dH13_81	-0,001290	-0,008606	-0,008872	0,000158
dH81_8	0,000000	-0,050565	-0,051322	0,000000
dH81_9	0,000000	-0,007387	-0,006896	0,000250

dH9_10	0,000000	-0,013924	-0,018289	0,000000
dH10_11	0,000000	0,029371	0,031998	0,000000
dH9_12	-0,002520	-0,001243	-0,003469	0,000296
dH12_122	0,012600	0,009936	0,011648	0,000138
dH16_17	-0,012450	0,051481	0,048914	-0,000077
dH17_122	0,019120	0,027017	0,026435	0,002888
dH122_131	-0,018130	0,000977	0,002107	-0,001977
dH17_18	0,009520	0,030429	0,028211	-0,000138
dH18_19	-0,001990	-0,010712	-0,011672	0,000000
dH18_20	-0,003910	-0,007250	-0,008114	-0,000071
dH16_20	-0,007320	0,074180	0,068531	-0,000766
dH20_21	0,002400	0,008912	0,009510	0,000000

Tablo Ek 3.4 Helmert Varyans Analizine Göre Ağırlıkların Hesabında Kullanılan h, C, S İterasyon Değerleri

İTE. SAYISI	h=[h11 h12; h21 h22];		C=[C1; C2];	S=h ⁻¹ *C;
1	355,02886598028	2,5048863702705	0,1482520632075	0,0004028721462
	2,5048863702705	17,9613612791783	0,0384452063733	0,0020842550207
2	354,077934221095	0,8321368102103	367,9878705735130	1,0374284848613
	0,8321368102103	22,2577921584845	18,4455385694035	0,7899371156850
3	354,125843453238	1,0383317222002	354,7115545248600	0,9986524259463
	1,0383317222002	21,7974931023610	23,3506417196361	1,0236823620743
4	354,12056109203	1,0181606843430	355,1901996219940	1,0001520807203
	1,0181606843430	21,8431175392836	22,8104366986647	0,9976653347454
5	354,121082866893	1,0201760918767	355,1361902543850	0,9999850150268
	1,0201760918767	21,8385649493534	22,8638160555983	1,0002330877368
6	354,121030784446	1,0199751489917	355,1415120404100	1,0000014961344
	1,0199751489917	21,8390189175698	22,8584880223578	0,9999767585611
7	354,121035977749	1,0199951879218	355,1409807017660	0,9999998508195
	1,0199951879218	21,8389736464075	22,8590192988579	1,0000023177230
8	354,121035459854	1,0199931895916	355,1410336819000	1,0000000148768
	1,0199931895916	21,8389781609623	22,8589663181054	0,9999997688709
9	354,12103551150	1,0199933888702	355,1410283985210	0,9999999985164
	1,0199933888702	21,8389777107592	22,8589716014783	1,0000000230488
10	354,121035506349	1,0199933689977	355,1410289253930	1,0000000001479
	1,0199933689977	21,8389777556545	22,8589710746066	0,9999999977015
11	354,121035506863	1,0199933709794	355,1410288728520	0,9999999999852
	1,0199933709794	21,8389777511776	22,8589711271476	1,0000000002292
12	354,121035506812	1,0199933707819	355,1410288780910	1,0000000000015
	1,0199933707819	21,8389777516239	22,8589711219081	0,9999999999771
13	354,121035506817	1,0199933708016	355,1410288775690	0,9999999999999
	1,0199933708016	21,8389777515794	22,8589711224306	1,0000000000023
14	354,121035506817	1,0199933707996	355,1410288776210	1,0000000000000
	1,0199933707996	21,8389777515839	22,8589711223785	0,9999999999998

594,58560571021	594,58574313626	594,58572943178	594,58573079842
11.İTERASYON	12.İTERASYON	13.İTERASYON	14.İTERASYON
2395,52166219096	2395,52166218744	2395,52166218779	2395,52166218775
2395,52166219096	2395,52166218744	2395,52166218779	2395,52166218775
2395,52166219096	2395,52166218744	2395,52166218779	2395,52166218775
2395,52166219096	2395,52166218744	2395,52166218779	2395,52166218775
2395,52166219096	2395,52166218744	2395,52166218779	2395,52166218775
2395,52166219096	2395,52166218744	2395,52166218779	2395,52166218775
2395,52166219096	2395,52166218744	2395,52166218779	2395,52166218775
594,58573066214	594,58573067573	594,58573067437	594,58573067451
594,58573066214	594,58573067573	594,58573067437	594,58573067451
594,58573066214	594,58573067573	594,58573067437	594,58573067451
594,58573066214	594,58573067573	594,58573067437	594,58573067451
594,58573066214	594,58573067573	594,58573067437	594,58573067451
594,58573066214	594,58573067573	594,58573067437	594,58573067451
594,58573066214	594,58573067573	594,58573067437	594,58573067451

Tablo Ek 3.7 GPS Elipsoidal Yükseklik Fark Ölçülerinin Ağırlıklarının Bir Alınarak Elipsoidal Yüksekliğe (h) göre serbest dengelenmesi

Ölçü sayısı : 145
 Bilinmeyen sayısı : 28
 C = [PVV] : 0,21610768600737
 m0 : 4,30 cm

Tablo Ek 3.8 GPS Elipsoidal Yükseklik Fark Ölçülerinin ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin Ağırlıklarının Bir Alınarak Elipsoidal Yüksekliğe Göre (h) Birlikte EKK Çözümü İle Dengelenmesi

Ölçü sayısı : 177
 Bilinmeyen sayısı : 35
 C = [PVV] : 0,253274462896414
 m0 : 4,22 cm

Tablo Ek 3.11 GPS Elipsoidal Yükseklik Fark Ölçülerinin ve Presizyonlu Nivelman Ölçülerinin 14. İterasyon Ağırlıklarının Kullanılarak Elipsoidal Yüksekliğe Göre (h) Birlikte EKK Çözümü İle Dengelenmesi (Metre Biriminde)

Ölçü sayısı : 177
 Bilinmeyen sayısı : 35
 C = [PVV] : 142,008978355262

m_{GPS} : 4,22 cm

m_{NIV} : 4,21 cm

Tablo Ek 3.15 GPS Ölçülerinin Elipsoidal Yüksekliğe (h) Göre Dengelenmesi

Ölçü sayısı : 145

Bilinmeyen sayısı : 27

$C = [PVV]$: 0,216107686007275

m_0 : 4,28 cm

BAZ	TABLO EK 3.7	TABLO EK 3.8	TABLO EK 3.11	TABLO EK 3.15
NOKTALARI	ÖLÇÜ	ÖLÇÜ	ÖLÇÜ	ÖLÇÜ
GPS	DÜZELTMELERİ	DÜZELTMELERİ	DÜZELTMELERİ	DÜZELTMELERİ
ÖLÇÜLERİ	(metre)	(metre)	(metre)	(metre)
dh01_5577	0,02729	0,02497	0,02496	0,027288
dh015_5577	0,03948	0,04118	0,04118	0,039482
dh015_5578	0,05461	0,05570	0,05571	0,054608
dh017_5577	0,05178	0,05248	0,05249	0,051785
dh018_5577	0,05489	0,05243	0,05242	0,054888
dh019_5577	0,06805	0,06442	0,06441	0,068050
dh020_1	0,03706	0,03575	0,03575	0,037061
dh022_1	0,04022	0,04344	0,04345	0,040222
dh022_5577	0,05751	0,05841	0,05841	0,057510
dh09_1	-0,03282	-0,02954	-0,02953	-0,032818
dh09_12	-0,02032	-0,01676	-0,01675	-0,020323
dh1_101	0,01193	0,01085	0,01085	0,011930
dh1_105	-0,00093	-0,00201	-0,00201	-0,000930
dh1_11	-0,02102	-0,02171	-0,02171	-0,021020
dh1_18	-0,02180	-0,02166	-0,02166	-0,021800
dh1_19	-0,05943	-0,05838	-0,05837	-0,059432
dh1_5577	0,01659	0,01427	0,01426	0,016588
dh10_1	0,01194	0,00828	0,00828	0,011941
dh10_11	-0,00028	-0,00462	-0,00463	-0,000278
dh10_12	0,01294	0,00957	0,00956	0,012937
dh101_102	-0,02196	-0,02162	-0,02162	-0,021961
dh101_103	-0,02584	-0,02575	-0,02575	-0,025840
dh101_105	-0,01446	-0,01446	-0,01446	-0,014460
dh102_104	0,00208	0,00167	0,00167	0,002077
dh103_102	0,00178	0,00203	0,00204	0,001779
dh103_104	0,00356	0,00341	0,00341	0,003556
dh104_101	0,00988	0,00994	0,00994	0,009884
dh104_105	0,01022	0,01028	0,01028	0,010224
dh105_101	0,00546	0,00546	0,00546	0,005460
dh105_102	-0,00800	-0,00766	-0,00766	-0,008001
dh105_103	-0,01198	-0,01189	-0,01189	-0,011980
dh011_1	0,02982	0,03051	0,03051	0,029820
dh11_1	0,01402	0,01471	0,01471	0,014020
dh11_101	0,07775	0,07736	0,07736	0,077750

dh11_104	0,05617	0,05571	0,05571	0,056166
dh11_105	0,06109	0,06070	0,06070	0,061090
dh011_12	0,01682	0,01779	0,01779	0,016815
dh11_12	-0,00288	-0,00191	-0,00191	-0,002885
dh11_23	-0,00088	-0,00324	-0,00325	-0,000883
dh11_5577	0,05371	0,05208	0,05207	0,053708
dh11_9	0,01454	0,01195	0,01194	0,014538
dh12_1	0,02720	0,02692	0,02692	0,027204
dh012_1	-0,00520	-0,00548	-0,00548	-0,005196
dh12_102	0,01797	0,01695	0,01695	0,017974
dh12_103	0,01320	0,01192	0,01191	0,013195
dh12_104	0,02115	0,01973	0,01972	0,021151
dh14_1	-0,00158	0,00133	0,00134	-0,001579
dh14_5576	0,02498	0,02485	0,02485	0,024979
dh14_5577	0,03261	0,03320	0,03320	0,032609
dh15_1	0,00099	0,00501	0,00502	0,000994
dh15_14	0,00277	0,00388	0,00388	0,002773
dh15_16	-0,05460	-0,05806	-0,05807	-0,054599
dh15_5576	0,03415	0,03513	0,03514	0,034152
dh15_5577	0,03938	0,04108	0,04108	0,039382
dh15_5578	0,05801	0,05910	0,05911	0,058008
dh16_1	0,04929	0,05677	0,05679	0,049293
dh16_22	0,00867	0,01293	0,01294	0,008671
dh16_5576	0,08525	0,08970	0,08971	0,085251
dh16_5577	0,09338	0,09854	0,09856	0,093381
dh16_5578	0,10261	0,10717	0,10718	0,102607
dh017_1	0,01570	0,01871	0,01873	0,015697
dh17_1	0,01200	0,01501	0,01503	0,011997
dh17_11	-0,01272	-0,01039	-0,01038	-0,012723
dh17_18	-0,00820	-0,00505	-0,00503	-0,008203
dh017_19	-0,04703	-0,04297	-0,04295	-0,047035
dh17_19	-0,03253	-0,02847	-0,02845	-0,032535
dh17_20	-0,00706	-0,00274	-0,00272	-0,007065
dh17_5577	0,04128	0,04198	0,04199	0,041285
dh18_11	-0,00872	-0,00955	-0,00955	-0,008720
dh18_17	0,00240	-0,00075	-0,00077	0,002403
dh018_19	-0,03623	-0,03532	-0,03531	-0,036232
dh18_19	-0,02713	-0,02622	-0,02621	-0,027132
dh18_5577	0,04499	0,04253	0,04252	0,044988
dh19_1	0,03953	0,03848	0,03847	0,039532
dh19_11	0,02001	0,01827	0,01827	0,020012
dh19_12	0,01493	0,01416	0,01416	0,014927
dh19_21	0,01115	0,01032	0,01032	0,011145
dh19_5577	0,07962	0,07625	0,07623	0,079620
dh20_1	0,01776	0,01645	0,01645	0,017761
dh20_11	-0,00026	-0,00225	-0,00226	-0,000258
dh20_12	0,00406	0,00303	0,00303	0,004057
dh20_21	-0,00642	-0,00750	-0,00751	-0,006425
dh20_5577	0,06645	0,06282	0,06281	0,066450
dh21_1	0,02859	0,02836	0,02835	0,028586
dh21_102	0,01536	0,01439	0,01438	0,015356

dh21_103	0,00568	0,00446	0,00445	0,005677
dh21_104	0,01143	0,01006	0,01006	0,011433
dh21_11	0,00927	0,00835	0,00835	0,009267
dh21_12	0,00268	0,00274	0,00274	0,002682
dh21_5576	0,04544	0,04218	0,04217	0,045445
dh21_5577	0,07507	0,07253	0,07252	0,075075
dh22_1	0,04162	0,04484	0,04485	0,041622
dh22_11	0,01250	0,01503	0,01504	0,012502
dh22_12	0,00772	0,01122	0,01124	0,007717
dh22_20	0,00376	0,00829	0,00830	0,003761
dh22_23	0,00492	0,00509	0,00509	0,004920
dh22_25	0,04738	0,04503	0,04502	0,047380
dh22_5576	0,06498	0,06517	0,06517	0,064980
dh22_5577	0,06111	0,06201	0,06201	0,061110
dh22_5577	0,06641	0,06731	0,06731	0,066410
dh22_5578	0,08714	0,08744	0,08744	0,087136
dh23_1	0,03940	0,04245	0,04246	0,039402
dh23_5577	0,05359	0,05432	0,05432	0,053591
dh24_1	0,04546	0,04888	0,04890	0,045458
dh24_11	0,00254	0,00528	0,00529	0,002539
dh24_23	0,00236	0,00273	0,00274	0,002356
dh24_5577	0,05745	0,05855	0,05856	0,057447
dh25_1	-0,00426	0,00131	0,00134	-0,004258
dh25_11	-0,02238	-0,01749	-0,01747	-0,022378
dh25_5576	0,01650	0,01904	0,01905	0,016500
dh25_5577	0,02463	0,02789	0,02790	0,024630
dh25_5577	0,02123	0,02449	0,02450	0,021230
dh25_5578	0,04226	0,04491	0,04492	0,042256
dh5576_103	-0,03277	-0,03073	-0,03072	-0,032768
dh5576_104	-0,03821	-0,03632	-0,03631	-0,038212
dh5576_5577	0,00083	0,00155	0,00155	0,000830
dh5576_5578	0,01446	0,01457	0,01457	0,014456
dh5578_101	-0,03008	-0,02825	-0,02824	-0,030084
dh5578_104	-0,05357	-0,05179	-0,05178	-0,053568
dh5578_105	-0,04244	-0,04061	-0,04060	-0,042444
dh5578_11	-0,11163	-0,10940	-0,10939	-0,111634
dh5578_5577	-0,01083	-0,01023	-0,01022	-0,010826
dh6_11	0,01631	0,02089	0,02091	0,016305
dh6_5577	0,07281	0,07577	0,07578	0,072813
dh6_7	0,00508	0,00861	0,00862	0,005082
dh7_1	0,02874	0,03049	0,03050	0,028743
dh7_11	0,00952	0,01058	0,01059	0,009523
dh7_12	0,00514	0,00717	0,00718	0,005139
dh7_5577	0,06683	0,06626	0,06626	0,066831
dh8_1	0,03276	0,03415	0,03415	0,032759
dh8_102	0,03813	0,03878	0,03878	0,038128
dh8_103	0,04005	0,04044	0,04045	0,040049
dh8_104	0,04591	0,04615	0,04615	0,045905
dh8_12	0,00895	0,01063	0,01063	0,008954
dh08_12	0,02845	0,03013	0,03013	0,028454
dh8_14	0,04244	0,04092	0,04091	0,042437

dh8_5577	0,07365	0,07272	0,07271	0,073647
dh8_5578	0,09057	0,08904	0,08904	0,090573
dh8_7	0,00372	0,00336	0,00336	0,003716
dh8_9	0,01858	0,01669	0,01668	0,018577
dh9_1	0,01098	0,01426	0,01427	0,010982
dh09_1	-0,03282	-0,02954	-0,02953	-0,032818
dh9_12	-0,01482	-0,01126	-0,01125	-0,014823
dh09_12	-0,02172	-0,01816	-0,01815	-0,021723
dh9_7	-0,01516	-0,01363	-0,01363	-0,015161
P.NIVELMAN		TABLO EK 3.8	TABLO EK 3.11	
ÖLÇÜLERİ		Ö.DÜZELTME	Ö.DÜZELTME	
dH1_25		-0,02714	-0,02717	
dH22_1		0,06774	0,06775	
dH22_23		-0,00861	-0,00861	
dH23_24		-0,01207	-0,01208	
dH24_5576		-0,01256	-0,01256	
dH5576_2		0,00036	0,00036	
dH2_5577		0,00036	0,00036	
dH5577_6		0,00036	0,00036	
dH6_5578		0,03274	0,03275	
dH5578_7		-0,00518	-0,00517	
dH7_13		0,06524	0,06523	
dH13_14		-0,03966	-0,03967	
dH14_6		-0,05286	-0,05287	
dH13_131		-0,00563	-0,00563	
dH131_15		-0,03469	-0,03469	
dH131_16		-0,07868	-0,07869	
dH16_22		0,02539	0,02540	
dH13_81		-0,00841	-0,00841	
dH81_8		-0,04958	-0,04958	
dH81_9		-0,00821	-0,00821	
dH9_10		0,01468	0,01470	
dH10_11		0,00151	0,00150	
dH9_12		-0,00390	-0,00389	
dH12_122		0,01170	0,01169	
dH16_17		0,05084	0,05085	
dH17_122		0,02616	0,02617	
dH122_131		0,00218	0,00217	
dH17_18		0,03057	0,03059	
dH18_19		-0,00847	-0,00846	
dH18_20		-0,00705	-0,00705	
dH16_20		0,07388	0,07391	
dH20_21		0,00895	0,00894	

Tablo Ek 3.9 Helmert Varyans Analizine Göre Ağırlıkların Hesabında Kullanılan h, C, S İterasyon Değerleri

İTE. SAYISI	$h=[h_{11} \ h_{12}; \ h_{21} \ h_{22}];$	$C=[C_1; \ C_2];$	$S=h^{-1}*C;$
----------------	---	-------------------	---------------

1	119,028865979327 2,5048863657785	2,5048863657785 17,9613612891159	0,2169445773 0,0363298856	0,0017852953 0,0017736920
2	119,037595454039 2,51251509267843	2,51251509267843 17,9373743606041	121,5174721551 20,4826343481	0,9996863562 1,0018694447
3	119,034668774737 2,50996377314273	2,50996377314273 17,9454036789772	121,5555973103 20,4444146454	1,0001052942 0,9993749323
4	119,035648215206 2,51081830322016	2,51081830322016 17,9427151783538	121,5427995591 20,4572017805	0,9999647781 1,0002093738
5	119,035320238265 2,51053223328583	2,51053223328583 17,9436152951631	121,5470806754 20,4529194748	1,0000117962 0,9999299100
6	119,035430042911 2,5106280166164	2,5106280166164 17,9433139238558	121,5456468959 20,4543531209	0,9999960509 1,0000234681
7	119,035393278507 2,51059594777586	2,51059594777586 17,9434148259415	121,5461268942 20,4538731077	1,0000013222 0,9999921428
8	119,035405587556 2,51060668482027	2,51060668482027 17,9433810428034	121,5459661803 20,4540338199	0,9999995573 1,0000026307
9	119,035401466346 2,51060308994765	2,51060308994765 17,943392353759	121,5460199885 20,4539800115	1,0000001482 0,9999991192
10	119,035402846171 2,51060429355042	2,51060429355042 17,9433885667287	121,5460019729 20,4539980271	0,9999999504 1,0000002949
11	119,03540238419 2,5106038905713	2,5106038905713 17,9433898346672	121,5460080047 20,4539919953	1,0000000166 0,9999999013
12	119,035402538866 2,51060402549306	2,51060402549306 17,9433894101477	121,5460059852 20,4539940148	0,9999999944 1,0000000331
13	119,035402487079 2,51060398031981	2,51060398031981 17,9433895522814	121,5460066613 20,4539933387	1,0000000019 0,9999999889
14	119,035402504418 2,5106039954443	2,5106039954443 17,9433895046935	121,5460064349 20,4539935651	0,9999999994 1,0000000037

Tablo Ek 3.10 Helmert Varyans Analizi İle Ağırlıklar İçin İterasyon Sonuçları
(Ağırlıklar Diagonal Olarak Verilmiştir)

AÇIKLAMA	0.İTERASYON	1.İTERASYON	2.İTERASYON
145 GPS	1	560,1314108	560,3071477
ÖLÇÜSÜ	1	560,1314108	560,3071477
İÇİN	1	560,1314108	560,3071477
145 TANE	1	560,1314108	560,3071477
diag AĞIRLIK	1	560,1314108	560,3071477
VARDIR İLK 7 ÖLÇÜ	1	560,1314108	560,3071477
NÜN AĞIRLIĞI YAZILDI	1	560,1314108	560,3071477
32 PRESİZYOLU	1	563,7957294	562,7437111
NİVELMAN	1	563,7957294	562,7437111
ÖLÇÜSÜ İÇİN	1	563,7957294	562,7437111
32 TANE	1	563,7957294	562,7437111
diag AĞIRLIK	1	563,7957294	562,7437111
VARDIR İLK 7 ÖLÇÜ	1	563,7957294	562,7437111
NÜN AĞIRLIĞI YAZILDI	1	563,7957294	562,7437111

