

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GPS VE NİVELMAN ÖLÇÜLERİYLE
DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Serdar EROL**

Anabilim Dalı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

ŞUBAT 2008

**GPS VE NİVELMAN ÖLÇÜLERİYLE
DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Serdar EROL
(501992312)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Şubat 2008**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tevfik AYAN

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Rasim DENİZ (İ.T.Ü.)

Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL (Y.T.Ü.)

Doç. Dr. Rahmi N. ÇELİK (İ.T.Ü.)

Doç. Dr. Ş. Hakan KUTOĞLU (Z.K.Ü.)

ŞUBAT 2008

ÖNSÖZ

Çalışmalarım süresince beni yönlendiren, görüş ve yorumlarıyla bu tezin şekillenmesine büyük katkı sağlayan, kendisi ile çalışmaktan mutluluk duyduğum ve kendisinden çok şey öğrendiğim değerli hocam sayın Prof. Dr. Tefvik Ayan'a teşekkür ederim.

Tez çalışmasında yakın ilgi ve yapıcı yorumlarını aldığım değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Rasim Deniz'e, sayın Prof. Dr. Hüseyin Demirel'e ve sayın Doç. Dr. Rahmi Nurhan Çelik'e katkılarından ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Araştırmalarımın Calgary Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Metroloji Araştırma Gurubunda geçirmiş olduğum 9 aylık bölümünde çalışmalarına katkıları ve önerileri için Doç. Dr. Mathew Tait'e, dostça ve paylaşımcı yaklaşımları için meslektaşım Tony Li Sheng'e teşekkür ederim. Calgary Üniversitesinde çalışmalarımı sürdürdüğüm süreçte bana gösterdikleri paylaşımcı yaklaşımları, dostlukları ve destekleri için Gravite ve Jeodinamik Araştırma Gurubundan meslektaşlarım Balaji Devaraju, Wouter van der Wall, Mohamed El-Habiby, Matthias Weigelt, Chen Xu, Elena Rangelova ve Sujana Bajracharya'ya pek çok teşekkürler. Yapıcı eleştirileri ve fikirleri için Dr. Rossen Grebenitcharsky'ye ayrıca çok teşekkür ederim.

1998 yılından bu yana bilimsel ve akademik çalışmalarımı sürdürmekte olduğum İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümündeki değerli hocalarıma, çalışma arkadaşlarıma ve bölüm çalışanlarına böylesi dinamik, sevecen ve üretken bir ortam sağladıkları için teşekkür ederim.

Tez araştırmama veri sağlayan Karasu Viyadüğü deformasyon ölçmeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi Anabilim Dalı ve Darmstadt Teknoloji Üniversitesi Fiziksel Jeodezi Enstitüsü ortak projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir, tüm emeği geçenlere teşekkürlerimi sunarım. Projenin ekonomik desteği İstanbul Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu ve Alman Volkswagen-Stiftung Vakfı tarafından, teknik desteği Türkiye Cumhuriyeti Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Sağlamış oldukları desteklerden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Uzun ve zaman zaman oldukça yorucu tez araştırmam süresince de yaşamımın her evresinde olduğu gibi desteklerini benimle hissettiğim, bana duydukları güven sayesinde çalışma azim ve motivasyonumu canlı tutabildiğim çok değerli annem ve babam Fatmana ve Mehmet Erol'a, kardeşlerim Melek ve Serhat Erol'a minnettarım.

Doktora çalışmam süresince desteklerini benden esirgemeyen, eşimin değerli anne ve babası Öznur ve Mustafa Özöner'e teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili eşim Dr. Bihter Erol'un ilgi, sevgi, inanç, güven ve desteği tez çalışmam sırasında da en büyük motivasyon kaynağım olmuştur. Kendisine her şey için bir kez daha sonsuz teşekkürler.

İstanbul, 2008

Serdar EROL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xvi

1. GİRİŞ	1
2. GPS, PRESİZYONLU NİVELMAN VE HATA KAYNAKLARI	5
2.1. GPS Tanımı ve Genel Bilgiler	5
2.2. GPS Hata Kaynakları	12
2.2.1. Uydu Yörünge Hatası	14
2.2.2. İyonosferik Etki ve Modellenmesi	14
2.2.3. Troposferik Etki ve Modellenmesi	16
2.2.4. Sinyal Yansıma (Multipath) Etkisi	18
2.2.5. Alıcı Anteni Faz Merkezi Hatası	19
2.2.6. Seçimli Doğruluk Erişimi	20
2.3. GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi	21
2.4. Presizyonlu Nivelman ve Hata Kaynakları	25
2.5. Nivelman Ölçülerinin Değerlendirilmesi	27
3. JEODEZİK AĞLARIN DENGELENMESİ	29
3.1. Dengeleme Hesabının Matematik Modeli	29
3.2. Serbest Ağ Dengelemesi	30
3.3. Model Testleri	31
3.3.1. Global Test	31
3.3.2. Fonksiyonel Model Testi	32
3.3.3. Uyuşumsuz Ölçü Testi	33
3.4. GPS Ağlarının Nivelman Ölçüleriyle Birlikte Dengelenmesi	34
3.4.1. Genel Tanımlar	34
3.4.2. Global Jeodezik Koordinat Sistemi	36
3.4.3. Lokal Jeodezik Koordinat Sistemi	38
3.4.4. Global ve Lokal Jeodezik Koordinat Sistemleri Arasındaki İlişkiler	40
3.4.5. Yükseklik Sistemleri Arasındaki İlişki	41
3.4.6. Global Jeodezik Sistemde Bütünleşik Dengelemenin Matematik Modeli	43
3.4.6.1. Fonksiyonel Model	43
3.4.6.2. Stokastik Model	45
3.4.6.3. Varyans Bileşeni Tahmini (VBT)	46

4. DEFORMASYON ANALİZİ	50
4.1. Genel Tanımlar	50
4.2. Deformasyonların Belirlenmesi	54
4.2.1. Global Uygunluk Testi	54
4.2.2. Deformasyon Büyüklüklerinin Bulunması ve Lokalize Edilmesi	56
4.2.3. S-Transformasyonu Yardımıyla Deformasyon Analizi	56
5. UYGULAMA	62
5.1. Çalışma Bölgesi, Viyadük ve Kontrol Ağı	62
5.1.1. Genel Bilgiler	62
5.1.2. Yapının Teknik Özellikleri	64
5.1.3. Yapı Çevresinin Jeolojik Özellikleri	65
5.1.4. Jeodezik Kontrol Ağı	67
5.2. Kontrol Ağının Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi	71
5.2.1. Donanım, Zamanlama ve Ölçme Ekibi	71
5.2.2. GPS Ölçmeleri ve Değerlendirilmesi	72
5.2.3. Presizyonlu Nivelman Ölçmeleri ve Değerlendirilmesi	76
5.3. Ölçülerin Dengelenmesi ve Deformasyon Analizi	79
5.3.1. Dengeleme ve Analiz Adımları	79
5.3.2. GPS ve Nivelman Ölçülerinin Varyans Bileşenlerinin Belirlenmesi	81
5.3.3. Üç Boyutlu (3B) Dengelemeler ve Analizler	84
5.3.3.1. Üç Boyutlu (3B) Dengelemeler	84
5.3.3.2. Üç Boyutlu (3B) Deformasyon Analizleri	90
5.3.4. Tek Boyutlu (1B) Dengelemeler ve Analizler	96
5.3.4.1. Tek Boyutlu (1B) Dengelemeler	96
5.3.4.2. Tek Boyutlu (1B) Deformasyon Analizleri	101
5.4. Uygulama Sonuçları ve Yorumlar	108
5.4.1. Üç Boyutlu Sonuçlar ve Nivelmanın Etkisi	108
5.4.1.1. 3B Dengeleme ve Analiz Sonuçları	108
5.4.1.2. Nivelmanın 3B Sonuçlara Etkisi	112
5.4.2. Tek Boyutlu Sonuçlar ve Nivelmanın Etkisi	114
5.4.2.1. 1B Dengeleme ve Analiz Sonuçları	114
5.4.2.2. Nivelmanın 1B Sonuçlara Etkisi	119
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	121
KAYNAKLAR	129
EKLER	149
ÖZGEÇMİŞ	183

KISALTMALAR

1B	: Tek boyutlu
2B	: İki Boyutlu
3B	: Üç Boyutlu
AKS	: Alet Kurma Sayısı
ARP	: Antenna Reference Point
AS	: Anti-Spoofing
BUT	: Bütünleşik
D(W)A	: Dalgacık (Wavelet) Analizi
DH	: Yükseklik Değişimi
DMA	: Defence Mapping Agency
DoD	: Department of Defense
DSİ	: Devlet Su İşleri
EDW	: Elevation Dependent Weighting
EKK	: En Küçük Kareler
EKKSA	: En Küçük Kareler Spektral Analizi
FA SF	: Fast Ambiguity Search Filter
GDOP	: Geometric Dillution of Precision
GKS	: GPS Kontrol Sistemi
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems
GPS	: Global Positioning System
HGK	: Harita Genel Komutanlığı
IGS	: International GNSS Service
iMINQUE	: Iterative MINQUE
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
ITRS	: International Terrestrial Reference System
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
K1	: Birinci (1.) Kampnaya
K2	: İkinci (2.) Kampnaya
K3	: Üçüncü (3.) Kampnaya
K4	: Dördüncü (4.) Kampnaya
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
LAMBDA	: Least Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment Method
LC	: Loop Closure
LGO	: Leica Geo Office
MINQUE	: MInimum Norm Quadratic Unbiased Estimation
NIMA	: National Imagery and Mapping Agency
NIV	: Nivelman
PCV	: Phase Center Variation
PPS	: Precise Positioning Service
PRN	: Pseudo Random Noise
RINEX	: Receiver INdependent EXchange
SA	: Selective Availability

SKI-PRO	: Static KInematic PROfessional
SPS	: Standard Positioning Service
SWEPOS	: Swedish Permanent GPS Network
TCK	: Türkiye Cumhuriyeti Karayolları
TEC	: Total Electron Content
TEM	: Transit European Motorway
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
USACE	: United States Army Corps of Engineers
USD	: United States Dollar
VAR	: Varyans
VBT	: Varyans Bileşeni Tahmini
VKV	: Varyans Kovaryans
VTBD	: Varyans Tahminli Bütünleşik Dengeleme
VTBD1B	: Varyans Tahminli 1B Bütünleşik Dengeleme Modeli
VTBD3B	: Varyans Tahminli 3B Bütünleşik Dengeleme Modeli
W1B	: Tek boyutlu (1B) Kapanma
W2B	: İki boyutlu (2B) Kapanma
W3B	: Üç boyutlu (3B) Kapanma
WGS84	: World Geodetic System 1984

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 : Uyuşumsuz ölçü testleri özet çizelgesi.....	34
Tablo 3.2 : WGS84 elipsoidi parametreleri.....	37
Tablo 5.1 : Kampanya tarihleri ve kullanılan ölçme donanımları.....	71
Tablo 5.2 : GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde kullanılan strateji ve parametreler.....	74
Tablo 5.3 : GPS tekrarlılıklarından türetilen doğruluk kriterleri.....	75
Tablo 5.4 : 1B, 2B ve 3B lup kapanmaları ve türetilen doğruluk kriterleri....	75
Tablo 5.5 : Gidiş-dönüş nivelmanından türetilen doğruluk kriterleri.....	77
Tablo 5.6 : 3B ve 1B VBT sonrası ölçü grupları için elde edilen öncül varyans değerleri	84
Tablo 5.7 : 3B dengelemelere ait istatistiksel ve özet bilgiler.....	85
Tablo 5.8 : Ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT deformasyon analizi (1. ve 2. kampanya arasında).....	91
Tablo 5.9 : 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası 2B konum ve 1B yükseklik değişimleri.....	94
Tablo 5.10 : 1B dengelemelere ait istatistiksel ve özet bilgiler.....	96
Tablo 5.11 : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT deformasyon analizi (1. ve 2. kampanya arasında).....	102
Tablo 5.12 : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT global test sonuçları (1. ve 2. kampanyalar arasında).....	103
Tablo 5.13 : Üç boyutlu (3B) dengelemelerden elde edilen ortalama üç boyutlu, iki boyutlu ve tek boyutlu konum ve yükseklik doğrulukları (m_p , m_h - mm).....	108
Tablo 5.14 : Üç boyutlu (3B) dengelemelerden elde edilen istatistiksel değerler.....	112
Tablo 5.15 : Nivelman ölçülerinin ardışık kampanyalar arası tek boyutlu iki boyutlu ve üç boyutlu deformasyon vektörlerine etkisini gösterir istatistik bilgiler	114
Tablo 5.16 : Tek boyutlu (1B) ve Üç boyutlu (3B) dengelemelerden elde edilen ortalama yükseklik doğrulukları (m_H - mm).....	115
Tablo 5.17 : Tek boyutlu (1B) dengelemelerden elde edilen istatistiksel değerler	119
Tablo 5.18 : Nivelman ölçülerinin ardışık kampanyalar arası tek boyutlu deformasyon vektörlerine etkisini gösterir istatistik bilgiler.....	120
Tablo B.1a : 1.Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.....	153
Tablo B.1b : 1.Kampanya 3B BUT dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.....	154
Tablo B.2a : 2.Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.....	155

Tablo B.2b	: 2.Kampanya 3B BUT dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.....	156
Tablo B.3a	: 3.Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.....	157
Tablo B.3b	: 3.Kampanya 3B BUT dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.....	158
Tablo B.4a	: 4.Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.....	159
Tablo B.4b	: 4.Kampanya 3B BUT dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.....	160
Tablo C.1a	: Ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT deformasyon analizi (1. ve 2. kampanya arasında).....	162
Tablo C.1b	: Ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT deformasyon analizi (2. ve 3. kampanya arasında).....	163
Tablo C.1c	: Ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT deformasyon analizi (3. ve 4. kampanya arasında).....	164
Tablo C.2a	: 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası 2B konum ve 1B yükseklik değişimleri (1. ve 2. kampanya arasında).....	165
Tablo C.2b	: 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası 2B konum ve 1B yükseklik değişimleri (2. ve 3. kampanya arasında).....	166
Tablo C.2c	: 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası 2B konum ve 1B yükseklik değişimleri (3. ve 4. kampanya arasında).....	167
Tablo D.1a	: 1. Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan yükseklikler ve doğrulukları.....	172
Tablo D.1b	: 2. Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan yükseklikler ve doğrulukları.....	173
Tablo D.1c	: 3. Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan yükseklikler ve doğrulukları.....	174
Tablo D.1d	: 4. Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan yükseklikler ve doğrulukları.....	175
Tablo E.1a	: Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT deformasyon analizi (1. ve 2. kampanya arasında).....	177
Tablo E.1b	: Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT global test sonuçları (1. ve 2. kampanyalar arası).....	178
Tablo E.2a	: Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT deformasyon analizi (2. ve 3. kampanya arasında).....	179
Tablo E.2b	: Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT global test sonuçları (2. ve 3. kampanyalar arası).....	180
Tablo E.3a	: Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT deformasyon analizi (3. ve 4. kampanya arasında).....	181
Tablo E.3b	: Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT global test sonuçları (3. ve 4. kampanyalar arası).....	182

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : GPS sistemindeki hata kaynaklarının sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.2 : Alıcı anteni sinyal yansıması (multipath).....	18
Şekil 2.3 : Bernese yazılımı değerlendirme akış şeması.....	23
Şekil 3.1 : Global Jeodezik Koordinat Sistemi.....	36
Şekil 3.2 : Lokal Jeodezik Koordinat Sistemi.....	39
Şekil 3.3 : Elipsoidal ve ortometrik yükseklik sistemi arasındaki ilişki.....	42
Şekil 3.4 : iMINQUE akış şeması.....	49
Şekil 5.1 : Karasu viyadüğünün genel ve TEM (E80) üzerindeki konumu...	63
Şekil 5.2 : Karasu viyadüğü taşıyıcı ayaklarının temel sistemi.....	65
Şekil 5.3 : Karasu viyadüğü, çevresi ve deformasyonların belirlenmesi için tesis edilen jeodezik kontrol ağı.....	68
Şekil 5.4 : Deformasyon noktalarının taşıyıcı ayak üzerindeki konumu, nokta tesis aşamaları ve örnek GPS ölçmeleri.....	70
Şekil 5.5 : GPS ağı ve değerlendirmesi sırasında çözülen baz bileşenleri...	72
Şekil 5.6 : Nivelman ölçmelerinde kullanılan presizyonlu nivo.....	76
Şekil 5.7 : Nivelman ağı ve dört kampanya lup kapanmaları.....	78
Şekil 5.8 : GPS ve nivelman verilerin değerlendirilmesi, dengelenmesi, karşılaştırılması, kombinasyonu ve analizi.....	80
Şekil 5.9 : VBT tekniklerinin iterasyon sonuçları: <i>a-MINQUE</i> yaklaşımı, <i>b-HELMERT</i> yaklaşımı.....	83
Şekil 5.10 : MINQUE-VBT tekniğinden elde edilen 1B (a) ve 3B (b) öncül varyanslar.....	83
Şekil 5.11 : 3B GPS ve BUT dengelemelerinden elde edilen 3B nokta konum doğrulukları [$m_{p(3B)} - mm$].....	86
Şekil 5.12a : 3B GPS ve BUT dengelemelerinden elde edilen 2B nokta konum doğrulukları [$m_{p(2B)} - mm$].....	86
Şekil 5.12b : 3B GPS ve BUT dengelemelerinden elde edilen 1B yükseklik doğrulukları [$m_h - mm$].....	87
Şekil 5.13 : Sıralı ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen üç boyutlu (3B) konum değişimleri (mm).....	87
Şekil 5.14a : Sıralı ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen iki boyutlu (2B-yatay) konum değişimleri (mm).....	88
Şekil 5.14b : Sıralı ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen tek boyutlu (1B-düşey) yükseklik değişimleri (mm).....	88
Şekil 5.15 : 1. Kampanya, 3B GPS ve BUT dengelemelerde, nivelman ölçülerinin GPS ölçü düzeltmelerine etkisi (a) ve 3B bilinmeyenlere etkisi (b).....	89

Şekil 5.16	: 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası üç boyutlu (3B) deformasyon vektörleri.....	92
Şekil 5.17	: 3B BUT (GPS+NIV) dengelemesinden elde edilen ardışık kampanyalar arası iki boyutlu (2B) yatay deformasyonlar.....	95
Şekil 5.18	: Kampanya sırasına göre ölçü gruplarının 1B dengelemeleri sonucu bulunan doğruluklar ($m_H - mm$).....	97
Şekil 5.19	: Ölçü gruplarına göre kampanyaların 1B dengelemeleri sonucu bulunan doğruluklar ($m_H - mm$).....	99
Şekil 5.20	: 1. Kampanya, 1B GPS ve BUT dengelemelerde öncül varyanslar (a), düzeltme değerleri (b) ve bilinmeyenlerin değişimi-nivelman ölçülerinin bilinmeyenlere etkisi (c).....	100
Şekil 5.21	: Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT yükseklik değişimleri (1. ve 2. kampanyalar arası).....	103
Şekil 5.22	: Ardışık kampanyalar arası GPS, NIV ve BUT yükseklik değişimleri ($DH-mm$).....	104
Şekil 5.23	: 1B GPS, NIV ve BUT dengelemelerinden elde edilen ardışık kampanyalar arası yükseklik değişimleri ($DH-mm$).....	105
Şekil 5.24	: Presizyonlu nivelman ölçülerinin ardışık kampanyalar arasındaki deformasyon vektörlerine olan etkileri	106
Şekil 5.25	: 1B BUT (GPS+NIV) dengelemeden elde edilen ardışık kampanyalar arası yükseklik deformasyonları.....	107
Şekil 5.26	: 2 (a) ve 4 (b) numaralı noktalardaki yatay (2B) yer değiştirmeler.....	112
Şekil 5.27	: 1B deformasyon analizi sonucu hareketli bulunan noktalar, ve deformasyon büyüklükleri ($DH - mm$).....	118
Şekil A.1	: Karasu viyadüğü taşıyıcı ayaklarının (2×55 adet) planı ve boy kesitleri.....	151
Şekil C.1a	: 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası üç boyutlu (3B) konum değişimleri.....	168
Şekil C.1b	: 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası iki boyutlu (2B) konum değişimleri.....	169
Şekil C.1c	: 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası tek boyutlu (1B) yükseklik değişimleri.....	170
Şekil D.1a	: 1.Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan doğruluklar.....	172
Şekil D.1b	: 2.Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan doğruluklar.....	173
Şekil D.1c	: 3.Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan doğruluklar.....	174
Şekil D.1d	: 4.Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan doğruluklar.....	175
Şekil E.1a	: Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT yükseklik değişimleri (1. ve 2. kampanyalar arası).....	178
Şekil E.2a	: Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT yükseklik değişimleri (2. ve 3. kampanyalar arası).....	180
Şekil E.3a	: Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT yükseklik değişimleri (3. ve 4. kampanyalar arası).....	182

SEMBOL LİSTESİ

P	: metre biriminde pseudorange ölçüsü
T_r	: sinyalin alıcı tarafından alındığı zaman
T^s	: sinyalin uydunun çıkış zamanı
c	: ışık hızı, m/sn cinsinden
ΔT^s	: uydu saat hatası, sn cinsinden
ΔT_r	: alıcı saat hatası, sn cinsinden
ρ	: uydu ve alıcı arasındaki gerçek uzunluk, metre cinsinden
ϕ	: taşıyıcı faz ölçüsü, metre cinsinden
d_{orb}	: uydu yörünge hatası, metre cinsinden
d_{trop}	: troposferik gecikme, metre cinsinden
d_{ion}	: iyonosferik gecikme, metre cinsinden
λ	: sinyal dalga boyu, m/cycle cinsinden
$d_{multipath(P)}$	: pseudorange ölçüsünde multipath etkisi, metre cinsinden
$d_{multipath(\phi)}$	: taşıyıcı faz ölçüsünde multipath etkisi, metre cinsinden
ε_P	: pseudorange ölçüsünde gürültü, metre cinsinden
ε_ϕ	: taşıyıcı faz ölçüsünde gürültü, metre cinsinden
$\nabla\Delta$	: ikili-farklar operatörü
N_d	: troposferik gecikmenin kuru bileşeni
N_w	: troposferik gecikmenin ıslak bileşeni
ΔT_d^z	: zenit doğrultusundaki hidrostatik kuru bileşen gecikmesi
ΔT_w^z	: zenit doğrultusundaki su buharı ıslak bileşen gecikmesi
$m_d(z)$	: hidrostatik (kuru) bileşen için izdüşüm fonksiyonu
$m_w(z)$	: su buharı (ıslak) bileşeni için izdüşüm fonksiyonu
ΣS_{km}	: toplam lup uzunluğu, km cinsinden
X, Y, Z	: kartezyen koordinatlar
ϕ, λ, h	: jeodezik koordinatlar
B_m	: mira birimi
W	: lup kapanması
ΔH	: yükseklik farkı
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	: GPS baz bileşenleri
σ_i^2	: dengeleme öncesi varyans
s_i^2	: dengeleme sonrası varyans
$\underline{\ell}$	: (n×1) boyutlu ölçüler vektörü
$\underline{A}$	: (n×u) boyutlu katsayılar matrisi
$\underline{x}$	: (u×1) boyutlu bilinmeyenler vektörü
$\underline{Q}_\ell$	: (n×n) boyutlu kofaktörler matrisi
$\underline{\Sigma}_\ell$	: (n×n) boyutlu varyans kovaryans matrisi

$E(\cdot)$	: ümit değer operatörü
σ_0^2	: birim ağırlıklı ölçünün dengeleme öncesi varyansı
s_0^2	: birim ağırlıklı ölçünün dengeleme sonrası varyansı
$\underline{v}$	: (n×1) boyutlu düzeltmeler vektörü
$\hat{\underline{\ell}}$	: (n×1) boyutlu dengelenmiş ölçüler vektörü
$\underline{N}$	: (u×u) boyutlu normal denklem katsayılar matrisi
H_0	: sıfır hipotezi
H_a	: alternatif hipotez
F	: F dağılımı
χ^2	: Ki-kare dağılımı
τ	: Tau dağılımı
ω	: yeryuvarının ortalama açısal hızı
e^2	: birinci dışmerkezlilik değeri
e'^2	: ikinci dışmerkezlilik değeri
α, β, s	: lokal jeodezik kutupsal koordinatlar
n, e, u	: lokal jeodezik dik koordinatlar
R_{GL}	: global jeodezik sistemden lokal jeodezik sisteme dönüşüm matrisi
H	: ortometrik yükseklik
h	: elipsoidal yükseklik
N	: geoit yüksekliği (geoit ondülasyonu)
$\underline{R}$	: RAO matrisi
$\underline{E}_k$	: datum belirleme matrisi
m_i	: karesel ortalama hata
d	: deformasyon vektörü

GPS VE NİVELMAN ÖLÇÜLERİYLE DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bir mühendislik yapısının öz hareketlerinin belirli sınırlar içerisinde olması, insan sağlığı ve güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Yapının güvenli olup olmadığı kararının verilmesinde, hareketlerinin uygun bir teknik ile izlenmesi ve olası deformasyonlarının analiz edilmesi gerekmektedir. En uygun izleme tekniğinin seçilmesi ve kullanılmasında temel olarak göz önünde bulundurulacak kriterler şunlardır: hareketleri izlenecek yapının fiziksel özellikleri (boyutları, konumu gibi), çevresel koşulları (üzerine inşa edildiği zeminin jeolojik özellikleri, bölgedeki tektonik aktivite, yapının bulunduğu bölgede hakim atmosfer olayları gibi), yapı hareketlerinin öngörülen karakteri ve büyüklüğü (bu bağlamda, yapı kesintisiz-sürekli ya da belirli periyotlar ile izlenebilir, ve significant hareketlerin analiz edilebileceği doğrulukta ölçme sistemleri kullanılır). Belirtilen kriterler göz önünde bulundurularak, jeodezik ya da jeodezik olmayan (jeoteknik-yapısal) izleme teknikleri uygulanabilir.

1980’li yılların başlarına kadar, büyük mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesi ve araştırılmasında, konvansiyonel ölçme teknikleri kullanılmaktaydı. Uydu teknolojilerindeki gelişmeler ve bu tekniklerin jeodezik uygulamalarda kullanılmaya başlanması, deformasyon ölçmeleri ve analizi çalışmalarında da etkisini göstermiştir. Bunlar arasında özellikle GPS tekniği, jeodezik uygulamalarda yoğun olarak kullanılmakta ve yüksek doğruluğa sahip 3B konum bilgisi hızlı ve ekonomik olarak elde edilmektedir. GPS tekniğinin kullanıcılara sağlamış olduğu bir çok avantajın yanı sıra, uydu sisteminin geometrik zayıflığı ve uydu sinyallerinin atmosferik koşullardan etkilenmesi sonucu oluşan hatalardan dolayı, elde edilen 3B konum bilgisinin düşey bileşeni daha düşük doğruluğa sahip olmaktadır. Bundan dolayı, milimetre mertebesinde konum doğruluğu gerektiren deformasyon araştırmalarında, GPS tekniğinin uygulanabilmesi için, ölçmeler sırasında: GPS antenlerinin merkezleştirilmesinde zorunlu merkezleştirme tertibatı kullanılması, bazların kısa tasarlanması, özel oturum planlarının uygulanması (hızlı statik yöntem gibi), GPS anten yüksekliklerinin ölçülmesi sırasında meydana gelebilecek hataların azaltılması için özel ölçme donanımlarının kullanılması, ölçmeler sırasında aynı tip GPS antenlerinin tercih edilmesi, ölçmeler sırasında antenin bulunduğu ortamdaki yansıtıcı yüzeylerin neden olduğu “multipath” hata kaynağına karşı özel anten aksesuarlarının kullanılması gibi, özel önlemler alınması önerilmektedir. Bazı durumlarda, GPS tekniğinden elde edilen nokta konum doğruluklarının (özellikle düşey bileşeninin) iyileştirilmesi için yukarıda belirtilen önlemlerin alınması da yeterli olmaz. Bu durumda konum doğruluğunun iyileştirilmesi için GPS tekniğinin bir başka ölçme tekniği ile birlikte kullanılması gerekir. GPS yükseklik bileşeninin doğruluğunu arttırmak için kullanılacak bu teknik, yükseklik farkı belirleme doğruluğu $0.5 \text{ mm} \sqrt{S_{(\text{km})}}$ olan Presizyonlu Nivelman tekniğidir.

GPS ve presizyonlu nivelman gibi iki farklı jeodezik ölçme tekniğinin kombinasyonunda, bilinmeyenlerin gerçekçi ve güvenilir bir şekilde elde edilebilmesi için, ölçü gruplarına ilişkin gerçekçi ve güvenilir varyans-kovaryans (VKV) matrislerinin türetilmesi gerekmektedir. Bunun için Varyans Bileşen Tahmini (VBT) teknikleri kullanılır. Bu tez çalışmasında, literatürde adı geçen bir çok VBT tekniğinden, pratik uygulamalarda en çok tercih edilen, MINQUE-VBT tekniği kullanılmıştır.

Bu çalışmanın temel motivasyonu, presizyonlu nivelman tekniği ile GPS tekniğinin matematiksel ve stokastik olarak kombinasyonunun sağlanmasıdır. Böylece presizyonlu nivelman tekniğinin, GPS tekniğinden elde edilen tek boyutlu (1B-yükseklik), iki boyutlu (2B-yatay) ve üç boyutlu (3B-uzaysal) doğruluklara, bilinmeyenlere ve deformasyon vektörlerine olan olumlu etkileri belirlenecek ve daha gerçekçi, güvenilir 1B, 3B deformasyon analizi işlemleri gerçekleştirilecektir. Bu temel motivasyona ek olarak, çalışmanın bir diğer amacında GPS tekniğinin deformasyon belirleme amaçlı çalışmalarda kullanılabilirliğinin test edilmesidir.

Çalışmanın teorik amaçlarını gerçekleştirmek için, İstanbul'un güneybatısında, Büyükçekmece gölü üzerinde yer alan ve TEM (Transit Avrupa Otoyolu - Transit European Motorway) otopanının bir bölümünü oluşturan Karasu viyadüğünün zeminden kaynaklanan deformasyonlarının araştırılması ve mevcut stabilizasyonunun ortaya çıkartılması için tesis edilen 30 noktalık jeodezik kontrol ağında, yaklaşık altı-sekiz aylık aralıklarla, 1996-1998 yılları arasında iki yıl boyunca toplam dört ölçme kampanyasından elde edilen GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri kullanılmıştır.

Dört kampanya olarak ölçülmüş GPS ve nivelman verilerinin değerlendirilmesinde, dengelenmesinde ve analizinde ilk olarak GPS ölçülerinin nivelman sonuçları ile kontrolünü sağlamak amacıyla iki ölçme tekniğinden elde edilen ölçüler her kampanya ve her teknik için ayrı ayrı olmak üzere dengelenmiştir. Dengeleme sonuçlarından elde edilen bilinmeyenler ve doğrulukları karşılaştırılmıştır. Bu işlemten sonra GPS ve nivelman ölçüleri, geliştirilen fonksiyonel model ve MINQUE-VBT tekniği yardımıyla, 1B ve 3B olarak her kampanya için, birlikte bütünlük dengelenmiştir. Her kampanya için bütünlük dengelemelerden elde edilen bilinmeyenler ve doğrulukları ayrı ayrı dengelemelerden elde edilen bilinmeyenler ve doğrulukları ile karşılaştırılmıştır. Son olarak dört ölçme kampanyasının her biri için gerçekleştirilen 1B ve 3B ayrık ve bütünlük dengelemelerinden elde edilen sonuçlar ile S-Transformasyonu tekniği kullanılarak ardışık kampanyalar arasında 1B ve 3B deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ayrık ve bütünlük 1B ve 3B deformasyon analizi sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasının sonucunda, Karasu viyadüğünün deformasyonlarının değerlendirilmesinin ve ortaya konmasının yanı sıra, büyük mühendislik yapılarındaki deformasyonların araştırılmasında uygulanacak ölçme ve analiz yöntemleri konusunda gelecek çalışmalar için katkılar ve öneriler elde edilmiştir. Çalışmanın motivasyonu ve amacı kapsamında, sonuç olarak, presizyonlu nivelman ölçülerinin GPS tekniğinden elde edilen 1B ve 3B doğruluklara, bilinmeyenlere ve deformasyon vektörlerine dikkate değer olumlu etkilerinin olduğu görülmektedir. Buna karşın presizyonlu nivelman ölçülerinin iki boyutlu konum doğruluklarına, herhangi bir etkisi görülmemiştir fakat iki boyutlu bilinmeyenlere ve deformasyon

vektörlerine oldukça küçük olmasına rağmen bir etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca GPS tekniğinin, bazı özel önlemlerin alınması şartıyla milimetre mertebesindeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılabileceği de çalışmanın bir diğer sonucudur. Ancak GPS tekniğinin presizyonlu nivelman tekniği ile desteklenmesiyle daha küçük deformasyonların elde edilebileceği de unutulmaması gereken bir sonuçtur.

DETERMINATION OF DEFORMATIONS WITH GPS AND LEVELLING MEASUREMENTS

SUMMARY

It has a considerable importance to have the movements of an engineering structure within certain limits for the safety of the community depending on it. To determine whether an engineering structure is safe to be used or not, their movements are necessary to be monitored and possible deformations should be analyzed. The main criteria which are considered while choosing an appropriate observation technique are: the physical conditions of the structure which is going to be observed (its size, location and so on), environmental conditions (the geologic properties of the based ground where the structure is constructed on, tectonic activities in the region, common atmospheric phenomena in the territory where the structure is and so on), the anticipated magnitude and characteristic of the structural movements (with this respect the structure should be monitored continuously-long term or in certain periods, and the monitoring systems which are appropriate to analyze the significant movements of the structure are used). Considering the aforementioned criteria, geodetic or non-geodetic (geotechnical-structural) monitoring techniques can be employed.

Until the beginning of the 1980's, the conventional measurement techniques have been used for monitoring and investigating the deformations in large engineering structures. The advances in space technologies and use of them in geodetic applications have effected the deformation measurements and analysis studies. Among them especially the GPS positioning technique is highly being used in geodetic applications and thus high precision 3D spatial information is supplied quickly and economically. Besides the advantages of the GPS technique to the users, vertical component of 3D position has lower accuracy due to the geometric weakness of satellite system and affected satellite signals by atmospheric conditions. Therefore, while employing the GPS measurement technique in deformation measurements that requires millimeter level accuracy, some special precautions which are using forced centering equipment while centering GPS antennas, designing short baselines, applying special session plans (like rapid static method), using special measuring equipments for precise antenna height readings to reduce the errors stem from the antenna heights, employing the same type GPS antennas during observations, employing special accessories for the antennas against the "multipath" error which is caused by the reflective surfaces in the environment of antenna during the observations etc., are suggested to be applied. In some cases, even these special precautions remain insufficient for improving the accuracies of the point positions (especially the vertical component). So, the GPS measurements need to be combined with another measurement technique to improve the accuracy of point positions. To improve the height component of GPS position, the technique to be used is precise levelling technique with the accuracy of $0.5 \text{ mm} \sqrt{S_{(\text{km})}}$ in determination of heights.

In the combination of two different geodetic measurement techniques such as GPS and precise levelling, it is critical to employ the realistic and reliable variance-covariance (VCV) information of the data groups to estimate the unknown parameters realistically. For deriving realistic and reliable VCV information, Variance Component Estimation (VCE) techniques are employed. In this thesis, the MINQUE-VCE technique which is frequently preferred one among the numerous VCE approaches in the literature is applied.

The basic motivation of this study is to provide mathematical and stochastic combination of the data derived from GPS and precise levelling techniques. Thus the contribution of the precise levelling technique to the 1D-vertical, 2D-horizontal and 3D-spatial accuracies, unknown parameters and deformation vectors derived from GPS technique, respectively, will be clarified, and more realistic and reliable 1D and 3D deformation analysis will be done. In addition to this basic motivation, investigating the performance of GPS technique in determination of the deformations is another aim of this study.

To realize the theoretical purposes of this study, the GPS and levelling measurements were done on Karasu viaduct to investigate its deformations that caused by the instable geological formations and to determine the current stabilization of it. The viaduct makes the Transit European Motorway (TEM) pass over the Büyükçekmece Lake in the Southwest part of İstanbul. The four measurement campaigns were done employing the geodetic control network with 30-point and repeated in every six–eight months. All the campaigns were finished with in two years between 1996 and 1998.

In the evaluation, adjustment and analysis of the GPS and levelling data from the four measurement campaigns, first of all the GPS and levelling measurements from each campaign were adjusted separately in order to check the results from GPS technique against the results from the precise levelling technique. After the adjustment, the estimated unknowns and their accuracies were compared. Later on the combined adjustment of GPS and levelling measurement in 1D and 3D were applied using the developed functional model and MINQUE-VCE technique for each campaign. For each measurement campaign, the unknown parameters and their accuracies derived from the adjustment of each data set separately were compared with the results from the combined adjustment process. In the final step of numerical computations, the results derived from 1D and 3D adjustments, which were done using each data set separately and the combination of the data, respectively, for each measurement campaign, were analyzed in 1D and 3D with the help of S–Transformation. The analysis results were compared and interpreted.

In the result of thesis study, in addition to determining and clarifying the deformations of the Karasu viaduct, the contributions and suggestions were done to the strategies and analysis techniques of the future researches which will be carried out for investigating the deformations of large engineering structures. According to aims and motivation of the study, as the conclusion, it is seen that the precise levelling measurements has considerable contribution to the improvement of the 1D and 3D accuracies, unknown parameters and the deformation vectors derived from the GPS technique. However, although the precise levelling measurements contributed very little to the improvement of the 2D unknowns and deformation vectors derived from the GPS technique, they do not have significant effect on the

positioning accuracy of 2D positioning. Furthermore, GPS technique was proved to be used for determining the deformations in millimeter level in case of applying some special precautions to reduce the effects of observational errors during the measurements. Anyway, it must be considered that combining the GPS technique with the precise levelling technique provides opportunity to determine even smaller deformations in a structure.

1. GİRİŞ

Bir mühendislik yapısının öz hareketlerinin belirli sınırlar içerisinde olması, insan sağlığı ve güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Yapının güvenli olup olmadığı kararının verilmesinde, hareketlerinin uygun bir teknik ile izlenmesi ve olası deformasyonlarının analiz edilmesi gerekmektedir. Mühendislik yapılarındaki yapısal, atmosferik ve çevresel etkilerden kaynaklı deformasyonların ölçülmesi, izlenmesi ve analizi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinin görev alanları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Deformasyonların araştırılmasında çeşitli ölçme ve analiz teknikleri kullanılır. En uygun izleme tekniğinin seçilmesi ve kullanılmasında temel olarak göz önünde bulundurulacak kriterler şunlardır: *i-*) hareketleri izlenecek yapının fiziksel özellikleri (boyutları, konumu gibi), *ii-*) çevresel koşulları (üzerine inşa edildiği zeminin jeolojik özellikleri, bölgedeki tektonik aktivite, yapının bulunduğu bölgede hakim atmosfer olayları gibi), *iii-*) yapı hareketlerinin öngörülen karakteri ve büyüklüğü (bu bağlamda, yapı kesintisiz-sürekli ya da belirli periyotlar ile izlenebilir, ve significant hareketlerin saptanabileceği doğrulukta ölçme sistemleri kullanılır), *iv-*) araştırmanın ekonomik koşulları. Belirtilen kriterler göz önünde bulundurularak, jeodezik ya da jeodezik olmayan (jeoteknik-yapısal) izleme teknikleri uygulanabilir (Chrzanowski ve Chrzanowski, 1995; Ogaja, 2002; Erol ve diğ., 2004b).

Her bir ölçme tekniğinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları söz konusudur. Birbirlerine doğrultu ve/veya kenar gözlemleri ile bağlanmış noktaların oluşturduğu bir deformasyon ağında gerçekleştirilen jeodezik teknikler genellikle ölçülerin kalitesinin istatistiksel olarak irdelenebileceği ve ölçü hatalarının ortaya çıkarılmasını sağlayacak yeterlilikte ölçü serbestlik derecesine sahiptirler. Jeodezik teknikler deformasyon araştırmasına konu olan yapının davranışlarını global bir çerçevede irdeme imkanı sağlarken jeodezik olmayan teknikler yapının kendi içindeki rölatif deformasyonlarının ancak lokal bir çerçevede irdelenebilmesine olanak tanırlar (Teskey, 1988; USACE, 2002). Jeodezik olmayan tekniklerden elde edilen sonuçlar lokal hata kaynaklarından etkilenirler ve bu hataların bağımsız başka ölçme

tekniklerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmaksızın kontrol edilmeleri ve ortaya çıkarılmaları mümkün olmaz. Diğer taraftan jeodezik deformasyon izleme teknikleri kendi içinde yersel ve uydu teknikleri olarak iki gruba ayrılabilir (**Ogaja, 2002**).

Geçmişte jeodezik veya jeodezik olmayan farklı ölçme tekniklerinin kombinasyonu bir tekniğin yetersiz olduğu durumların üstesinden gelmek için kullanılmıştır. Bu duruma benzer olarak, yer kabuğu hareketlerini veya yapısal deformasyonları jeodezik olarak belirlemek için yersel ve uydu teknikleri ayrı ayrı veya birinin dezavantajını diğeri yok edecek şekilde beraberce kullanılabilir (**Chrzanowski ve Chrzanowski, 1995**).

1980'li yılların başlarına kadar, büyük mühendislik yapılarındaki deformasyonların jeodezik yöntemler ile izlenmesi ve araştırılmasında, konvansiyonel yersel ölçme teknikleri kullanılmaktaydı. Uydu teknolojilerindeki gelişmeler ve bu tekniklerin jeodezik uygulamalarda kullanılmaya başlanması, deformasyon ölçmeleri ve analizi çalışmalarında da etkisini göstermiştir (**Groten ve diğ., 1998; Leinen ve diğ., 1999, Erol ve diğ., 2007b**). Bunlar arasında özellikle GPS tekniği, jeodezik uygulamalarda yoğun olarak kullanılmakta ve yüksek doğruluğa sahip 3B konum bilgisi hızlı ve ekonomik olarak elde edilmektedir (**Kim ve diğ., 2003; Chen ve Kakkuri, 1993; Vermeer, 2002**). GPS tekniği, santimetre ve hatta bazı koşullar sağlandığında milimetre mertebesindeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılabilen bir yöntemdir (**Beutler ve diğ., 2001; Hartinger ve Brunner, 1998**). GPS tekniğinin kullanıcılara sağlamış olduğu bir çok avantajın yanı sıra, uydu sisteminin geometrik zayıflığı, değerlendirme sırasında kullanılan atmosferik modellemelerdeki yetersizlikler ve elemine edilemeyen hata kaynaklarından dolayı, elde edilen 3B konum bilgisinin düşey bileşenin doğruluğu yatay konum doğruluğuna göre daha düşük olmaktadır (**Featherstone ve diğ., 1998; Krauter, 1999; Çelik ve diğ., 2001**). Bu sebepten, bu çalışmada olduğu gibi, milimetre mertebesinde konum doğruluğu gerektiren deformasyon araştırmalarında, GPS tekniğinin uygulanabilmesi için, ölçmeler sırasında: *i-*) GPS antenlerinin merkezlendirilmesinde zorunlu merkezlendirme tertibatı kullanılması, *ii-*) bazların kısa tasarlanması, *iii-*) özel oturum planlarının ve ölçme stratejilerinin uygulanması (hızlı statik yöntem gibi), *iv-*) GPS anten yüksekliklerinin ölçülmesi sırasında meydana gelebilecek hataların azaltılması için özel ölçme donanımlarının kullanılması, *v-*) ölçmeler sırasında aynı

tip GPS alıcı ve antenlerinin tercih edilmesi, vi-) ölçmeler sırasında antenin bulunduğu ortamdaki yansıtıcı yüzeylerin neden olduğu “multipath” hata kaynağına karşı özel anten aksesuarlarının kullanılması, vii-) GPS ölçmeleri sırasında, P(Y) kod ile modüle edilmiş L2 frekansının alıcıda tekrar oluşturulması için kullanılan tekniklerden “*kodsuz*” tekniğini kullanan alıcılar yerine daha az cycle slips (sinyal kesilmesi) oluşturan “*yarı-kodsuz*” tekniğini kullanan alıcıların tercih edilmesi gibi, özel önlemler alınması önerilmektedir (Ayan ve diğ., 1997; Leinen ve diğ., 1998; Erol ve diğ., 2004a; Erol ve diğ., 2006a).

Bu çalışmada, burada sayılan söz konusu önlemlerin bazılarını ek olarak GPS ölçülerinden sağlanan nokta konum bilgilerinin ve özellikle de yükseklik bilgilerinin doğruluğunun yükseltilmesi için, GPS ölçmelerinin presizyonlu nivelman ölçüleriyle desteklenmesi öngörülmüştür.

Deformasyonların konvansiyonel (geleneksel-klasik-yersel) ölçme teknikleri ya da GPS tekniği kullanılarak statik ölçüler ile araştırılmasında iki-kampanyalı analiz yaklaşımı kullanılır. Bu yaklaşım temelde her bir ölçme kampanyasındaki ölçülerin bağımsız olarak Gauss-Markoff modeli En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile dengelemesine ve iki kampanya arasındaki koordinat değişimlerinin matematik-istatistik testlerle irdelenmesine dayanır (Niemeier ve diğ., 1982; Gründig ve diğ., 1985; Caspary, 1987 ve Biacs, 1989).

Bu çalışmanın temel motivasyonu, amaçları ve çalışmadan beklenen teorik ve pratik katkılar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- GPS tekniğinin deformasyon belirleme amaçlı çalışmalarda kullanılabilirliğinin araştırılması, uygun koşul ve önlemlerin saptanması,
- GPS ve nivelman ölçülerinin birlikte dengelenmesi (bütünleşik dengeleme) için gerekli fonksiyonel ve stokastik modelin belirlenmesi,
- Kara kutu (Black Box) şeklinde değerlendirme ve dengeleme yapan ve deformasyon analizine uygun sonuç çıktılarını vermeyen ticari GPS yazılımlarından ve bütünleşik dengeleme özelliği olmayan bilimsel GPS yazılımlarından bağımsız Bütünleşik Dengeleme yazılımlarının geliştirilmesi,

- Nivelman ölçülerinin, bütünleşik dengelemeler sonrasında, yükseklik bileşeninin doğruluğuna, üç boyutlu nokta konum doğruluğuna ve hatta varsa yatay konum doğruluğuna olumlu etkilerinin araştırılması,
- Geliştirilen bütünleşik dengeleme yazılımları ile daha güvenilir tek boyutlu (1B) ve üç boyutlu (3B) deformasyon analizi işlemlerinin gerçekleştirilmesi

Yukarıda sıralanan teorik ve uygulamanın gereksinimi olan araştırmaları gerçekleştirmekle birlikte, İstanbul'un 60 km batısında, kısmen Büyükçekmece gölü üzerinde yer alan ve TEM (Transit Avrupa Otoyolu - Transit European Motorway) otobanının bir bölümünü oluşturan 2160 m uzunluğundaki Karasu viyadüğünün zeminden kaynaklanan ve olası yapısal deformasyonlarının uygulamalı olarak araştırılması da bu çalışmanın bir diğer hedefini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada hedeflenen araştırmaları gerçekleştirmek için üç proje önerilmiş ve destek görmüştür. Bunlardan birincisi Almanya Volkswagen Vakfı tarafından finans desteği sağlanarak Darmstadt Teknik Üniversitesi, Fiziksel Jeodezi Enstitüsü ve İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı tarafından yürütülen *“GPS tekniğinin deformasyon belirleme amaçlı çalışmalarda kullanılabilirliğinin araştırılması”* projesidir. Bir diğeri İTÜ Araştırma Fonu tarafından desteklenen *“GPS ölçmeleri ile mühendislik yapılarındaki deformasyonların jeodezik olarak izlenmesi”* projesidir. Üçüncü proje ise İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında desteklenen *“GPS ölçmeleri ile deformasyonların belirlenmesi”* projesidir.

2. GPS, PRESİZYONLU NİVELMAN VE HATA KAYNAKLARI

2.1 GPS Tanımı ve Genel Bilgiler

Global Konumlama Sistemi (GPS-Global Positioning System), Amerikan Savunma Dairesi (DoD) tarafından, askeri çalışmaların gerektirdiği, konum, hız ve zaman bilgisinin, sürekli, güvenilir ve ekonomik olarak, global bir referans sisteminde üretilmesi amacıyla geliştirilen, tüm iklim ve hava koşullarında çalışabilen uydulara dayalı bir navigasyon sistemidir (**Wooden, 1985; Parkinson, 1996**). Bu global sistem, *i-*) sinyal yayınlayan uyduları içeren uzay bileşeni, *ii-*) tüm sistemi izleyen kontrol bileşeni, *iii-*) çok çeşitli tipte alıcıları ve uygulamaları içeren kullanıcı bileşeni olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır (**Hofmann-Wellenhof ve diğ., 1997**).

GPS uydu takımı, teorik olarak 60'ar derecelik aralıklar ile tasarlanmış, ekvator düzlemi ile 55'er derecelik açı yapan, yerden 20000 kilometre yükseklikte yer alan ve dolanım süresi 12 saat olan 6 yörüngeye yerleştirilmiş 24 uydudan oluşmaktadır. Belirtilen böylesi bir uydu konfigürasyonu sayesinde yeryuvarı üzerindeki herhangi bir noktada günün herhangi bir anında 15 derecelik bir eğim açısı ile, aynı anda dört veya sekiz adet uydudan sinyal alınabilmektedir.

GPS uyduları iki frekansta kesintisiz mikrodalga taşıyıcı sinyali gönderirler, bu frekanslar: **L1** ($f=1575.42$ MHz; $\lambda \approx 19$ cm) ve **L2** ($f=1227.60$ MHz; $\lambda \approx 24$ cm) dir. Bir ya da iki PRN (Pseudo Random Noise) sinyali (**C/A** ve **P** kodları olarak bilinirler) bu iki taşıyıcı faz sinyaline modüle edilmiştir. L1 sinyaline hem C/A hemde P kod modüle edilmiş iken L2 sinyali yalnızca P kod ile modüle edilmiştir. PRN kodlarına ek olarak, uydu durum bilgisini, uydu saat düzeltmelerini ve uydu yörünge bilgilerini içeren 50 Hz lik navigasyon mesajı da taşıyıcılar üzerine bindirilmiştir.

C/A kodu bütün kullanıcılara açıktır ve özellikle sivil Standart Konumlama Servisi (Standard Positioning Service-SPS) için temel oluşturmaktadır. P kodu, Amerikan askeri servisleri ve diğer izni olan kullanıcılara açık bir sinyaldir ve Presizyonlu Konumlama Servisi (Precise Positioning Service-PPS) tarafından desteklenmektedir. P kodu elektronik karıştırmaya (jamming) ve aldatmaya (spoofing) karşı **AS** (Anti Spoofing) özelliği kullanılarak W kodu ile şifrelenmiş ve Y koduna dönüştürülmüştür. Böylelikle Y kod kullanımı yalnızca yetkili kullanıcılara açık hale gelmiştir. Ancak Jeodezik uygulamalarda, iyonosferin modellenebilmesi için L2 frekansının kullanılması gerekmektedir. Bu problem, jeodezik GPS alıcılarının, kodsuz ve yarı kodsuz teknikleri kullanarak, L2 frekansını izleyebilmeleri mümkün hale getirilerek giderilmiştir (**Kahveci ve Yıldız, 2005**).

P kodunun sadece askeri kullanıcılara açık olması nedeniyle sivil kullanıcıların tek frekans (L1-C/A kod) kullanabilmeleri ve bu durumda iyonosferik düzeltme imkanı sağlayan çift frekans özelliğinden yararlanamamaları bir çok tartışmalara neden olmuştur. Bu konuda yapılan yoğun çalışmalar sonucunda sivil kullanıcılarında çift frekans üstünlüklerinden yararlanabilmeleri amacıyla, GPS sisteminin modernizasyonu çalışmaları kapsamında, 2004 yılından itibaren L2 frekansı üzerinden C/A kod (**L2C-L2 Civil Signal**) yayınlanmaya başlanmıştır. Ayrıca yine GPS modernizasyonu kapsamında, 2006 yılından itibaren fırlatılan uydularda yeni bir sivil frekans tahsisı söz konusu olmuştur. **L5** olarak adlandırılan bu sinyalin frekansı 1176.45 MHz dir. Bu sinyalin 2012 yılına kadar 18 uyduda yer alması planlanmıştır. L5 sinyalinin asıl olarak hava araçlarının güvenli navigasyonu (safety-of-life) amacıyla kullanılması planlanmakla birlikte büyük bir olasılıkla tüm kullanıcılara açık olacaktır. Böylece, L5 sinyali ile birlikte, GPS sistemindeki Blok-IIIF uydularındaki sinyal sayısı 7 ye ulaşmıştır. 2013 yılına kadar, L1(C/A), L1(P/Y), L1M, L2C, L2(P/Y), L2M ve L5 olarak verilen 7 sinyalin 6 yörüngedeki bütün uydularda yer alması planlanmaktadır, böylece GPS sisteminin mutlak konum belirleme doğruluğunun 1-5 m mertebesine ulaşması beklenmektedir (**Bruyninx, 2002**).

GPS Kontrol Sistemi (GKS) bir ana (master) kontrol istasyonu ve beş izleme istasyonundan oluşmaktadır. Bu sisteminin temel görevleri: yörünge ve saat bilgilerinin belirlenmesi ve kestirimi için uyduların izlenmesi, uydu saatlerinin

senkronizasyonu ve navigasyon mesajlarının uydulara yüklenmesidir (**Hofmann-Wellenhof ve diğ., 1997**).

Bir GPS alıcısı, uydudan alınan sinyal ile kendisi tarafından üretilen sinyali karşılaştırmak yoluyla, uydudan gönderilen sinyalin ne kadar sürede alıcıya ulaştığını belirler. Pseudorange (pseudo (sahte) uzunluk) ölçüleri, türetilen zaman farkının ışık hızı ile çarpılması sonucunda elde edilir. **Parkinson (1996), Beutler ve diğ. (2001)** ve **Teunissen ve Kleusberg (1998)** de verilen gözlem denklemlerine göre pseudorange ölçüleri bilinmeyen parametrelere bağlı olarak aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir:

$$P = c(T_r - T^s) \quad (2.1)$$

Eşitlikte verilen P metre biriminde pseudorange ölçüsünü, T_r sinyalin alıcı tarafından alındığı zamanı, T^s sinyalin uydunun çıkış zamanını ve c vakumlu bir ortamda deneysel olarak belirlenmiş ışık hızını göstermektedir. Bununla birlikte eşitlik (2.1) ile verilen ifade ancak teorik olarak doğrudur. Bu eşitlikte atmosferin sinyale olan tüm etkileri ihmal edilmiş ve de uydu ile alıcının mutlak bir zaman sisteminde yer aldıkları kabul edilmiştir. Pratikte, sinyalin uydu tarafından gönderildiği zamanın bilgisi (T^s) uydu saatine, benzer biçimde, sinyalin alındığı zaman bilgisi (T_r) ise alıcı saatine göre tanımlanmaktadır. Bu iki saatin (uydu ve alıcı) GPS saatine göre olan farkları uydu ve alıcı saat hatalarını göstermektedir.

Uydu zamanı, uydunun üzerinde bulunan presizyonlu bir saat ile belirlenir (**ICD-GPS-200C, 2003**). Her uydu kendi saatine göre zamanı belirlediğinden ve bu uydu saatleri zaman içerisinde sapma gösterdiğinden farklı uydulardan alınan sinyaller farklı zaman sistemlerinde olmaktadır. GPS sisteminin zaman dilimi beş yer izleme istasyonundaki atomik saatlerin ortalamasından elde edilmektedir (**Francisco, 1996**). Her bir uydu saatinin GPS zaman sisteminden olan sapmaları yer istasyonları tarafından sürekli olarak izlenir ve uydu saatlerinin mutlak zamandan sapmalarına göre her bir uydu saat hatası için birer tahmin modeli geliştirilir (**ICD-GPS-200C, 2003**):

$$\Delta T^s = a_0 + a_1(t - t_{oc}) + a_2(t - t_{oc})^2 \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2) de, ΔT^s uydu saat farkını, a_0 , a_1 , ve a_2 tahmin modeli polinom katsayılarını, t gözlem epoğunu ve t_{oc} katsayıların karşılık geldiği epogu göstermektedir.

Her bir GPS uydusunda yüksek kaliteli atomik saatler bulunmaktadır, fakat alıcılarda düşük maliyetli kuartz osilatörler içeren saatler kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak, alıcı zamanının GPS zamanından olan farkları, uydu zamanının GPS zamanından olan farklarından daha büyük olabilmektedir. GPS alıcıları bir ölçme epogunda, gözlenebilir uyduların tamamına eşzamanlı gözleme yaptığından, alıcı saat farklarının etkisi, o epokta tüm uydulara olan gözlemlerde eşit olacaktır. Bu durumda, alıcı saat farkları, En Küçük Kareler (EKK) dengelemesine, alıcı koordinatlarıyla birlikte, bilinmeyen olarak girer.

Pratikte yalnızca sinyalin alınma zamanı kesin olarak bilindiğinden, sinyalin uydudan çıktığı zamanın türetilmesi gerekmektedir. Alıcı tarafından kaydedilen sinyalin alınma zamanı, T_r ile gösterilirse, gerçek ölçme zamanı $T_r - \Delta T_r$ ile gösterilir. Burada ΔT_r alıcı saat farkı olarak adlandırılır ve sinyalin uydudan çıkış zamanı aşağıdaki eşitlikle belirlenir.

$$T^s = T_r - \Delta T_r - \frac{\rho}{c} \quad (2.3)$$

Eşitlikte verilen ρ uydu ve alıcı arasındaki gerçek uzunluğu ifade etmektedir. Verilen (2.3) eşitliğindeki ρ gerçek uzaklık yerine pseudorange kullanılacak olursa, eşitlik,

$$T^s = T_r - \Delta T_r - \frac{P + c(\Delta T^s - \Delta T_r)}{c} = T_r - \frac{P}{c} - \Delta T^s \quad (2.4)$$

şeklini alır. Sinyalin uydudan çıkış zamanının hesaplanmasında, uydu ve alıcı arasındaki gerçek uzaklık yerine pseudorange'lerin kullanılması, bir santimetre (1 cm) den daha küçük bir konum hatasına neden olur (**Radovanovic, 2002**).

GPS tekniği ile iki temel büyüklük gözlenmektedir bunlar, kod pseudorange ler ve taşıyıcı faz ölçmeleridir. Yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda ve bilimsel amaçlı çalışmalarda faz ölçüleri, navigasyon amaçlı anlık uygulamalarda ise kod (pseudorange) ölçüleri kullanılmaktadır. Özellikle jeodezik amaçlı çalışmalarda

doğrudan faz ölçüleri kullanmak yerine faz ölçülerinin lineer kombinasyonları ve fark gözlemleri kullanılmaktadır (**Hofmann-Wellenhof ve diğ., 1997**).

Taşıyıcı faz ölçüleri kullanılarak konum belirlemede kritik olan nokta, bilinmeyen tam dalga boyu sayısı belirsizliğinin (ambiguity) çözülmesidir (**Kaplan, 1996**). Bu belirsizliğin çözümü çok yüksek konum doğruluğu elde etmede anahtar rolü oynar. Bu güne kadar bu spesifik konu üzerine bir çok araştırma yapılmış, FASF (Fast Ambiguity Search Filter) ve LAMBDA (Least Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment Method) gibi çeşitli çözüm algoritmaları geliştirilmiştir (**Chen ve Lachapelle, 1994; Teunissen ve Tiberius, 1994**). Her ne kadar geliştirilen bu çözüm algoritmaları tamsayı belirsizliğini hızlı olarak çözümleyebilme kapasitesine sahip iseler de çözümün başarısı halen taşıyıcı faz ölçülerindeki gözleme hatalarından dolayı sınırlıdır.

Taşıyıcı faz ölçülerinin doğruluğuna etki eden diğer bir anahtar faktör ise ölçmeler sırasında **L1** ve **L2** frekanslarının izlenmesinin sürdürülebilirliğinde (phase lock) karşılaşılan güçlüklerdir. Bu durum faz ölçülerinin sürekliliğinde kesintilere (loss of lock) yol açar ve aradaki kesilmeler faz sıçraması (cycle-slips) olarak adlandırılır (**NGS, 1986**). Eğer faz ölçüsü boyunca aralarda farkına varılamayan faz sıçramaları (cycle-slips) varsa, bu durum konum doğruluğunu çok ciddi biçimde etkiler. GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sırasında faz sıçramaları belirlenmeli ve faz verileri ikili farklar şeklinde işlenmeden önce mutlaka giderilmelidir (**Hofmann-Wellenhof ve diğ., 1997**).

Pseudorange ölçmelerinde konum doğruluğunu sınırlayan en önemli etkenler multipath ve alıcıdan kaynaklı hatalardır. Bununla beraber taşıyıcı faz ölçmelerinde konum doğruluğunu sınırlayan baskın etkenler atmosferik (iyonosferik ve troposferik) hatalar ve multipath dir. Günümüzde bir çok hata modelleme tekniklerinin geliştirilmesi ile GPS sistemin sağladığı doğruluk santimetre seviyesinde ve hatta bazı özel uygulamalarda milimetre seviyesinde elde edilmektedir (**Beutler ve diğ., 2001**). Bu sonuç GPS tekniğini deformasyonların araştırılması gibi yüksek doğruluk gerektiren özel uygulamalarda kullanılabilirliğini ortaya koymuştur (**Tait, 2004**).

Hem pseudorange hem de taşıyıcı faz ölçüleri, alıcı saat farkları, uydu saat farkları, troposferik gecikmeler, iyonosferik gecikmeler gibi bir çok hata kaynağından etkilenmektedirler. Bu nedenlerden dolayı, pseudorange ve taşıyıcı faz gözlemleri tam olarak aşağıda verilen eşitlikler ile ifade edilebilirler:

$$P = \rho + c(\Delta T^s - \Delta T_r) + d_{orb} + d_{trop} + d_{ion} + d_{multipath(P)} + \varepsilon_P \quad (2.5)$$

$$\phi = \rho + c(\Delta T^s - \Delta T_r) + d_{orb} + d_{trop} - d_{ion} + \lambda \cdot N + d_{multipath(\phi)} + \varepsilon_\phi \quad (2.6)$$

eşitliklerde verilen:

P	pseudorange ölçüsü, metre cinsinden
ϕ	taşıyıcı faz ölçüsü, metre cinsinden
ρ	uydu ve alıcı arasındaki gerçek uzaklık, metre cinsinden
c	ışık hızı, m/sn cinsinden
ΔT^s	uydu saat hatası, sn cinsinden
ΔT_r	alıcı saat hatası, sn cinsinden
d_{orb}	uydu yörünge hatası, metre cinsinden
d_{trop}	troposferik gecikme, metre cinsinden
d_{ion}	iyonosferik gecikme, metre cinsinden
λ	sinyal dalga boyu, m/cycle cinsinden
N	tamsayı belirsizliği, cycle cinsinden
$d_{multipath(P)}$	pseudorange ölçüsünde multipath etkisi, metre cinsinden
$d_{multipath(\phi)}$	taşıyıcı faz ölçüsünde multipath etkisi, metre cinsinden
ε_P	pseudorange ölçüsünde gürültü, metre cinsinden
ε_ϕ	taşıyıcı faz ölçüsünde gürültü, metre cinsinden

Eşitlik (2.5) ve (2.6)'da verilen uydu yörünge hatası, uydu saat hatası, alıcı saat hatası ve troposferik hata frekansdan bağımsızdır. Aynı uydudan alınan sinyal için bu hataların etkileri her iki frekans için aynıdır. Diğer taraftan, iyonosferik hatalar frekansa bağlıdır ve frekansın karesi ile ters orantılıdır. Dahası, iyonosferik hatanın pseudorange ve taşıyıcı faz gözlemleri üzerindeki etkileri eşit şiddette fakat ters işaretlidir, örneğin, iyonosferik hata, pseudorange ölçüleri için gecikmeye yol açarken, taşıyıcı faz ölçüleri için ters bir etki yapar ve taşıyıcı frekanslar iyonosferde daha hızlı ilerlerler.

Uydudan gelen taşıyıcı faz ile alıcı tarafından üretilen fazın farkı birkaç mm çözünürlükle ölçülebilmektedir. Bu nedenle jeodezik uygulamalarda taşıyıcı faz ölçmeleri temel ölçü olarak alınmaktadır. Faz ölçülerinin lineer kombinasyonları ile sistematik etkiler (alıcı ve uydu saat hataları, iyonosferik ve troposferik etkiler) azaltılabilmekte ve ortadan kaldırılabilir. Bu nedenle tekli farklar, ikili farklar ve üçlü farklar olarak tanımlanan kombinasyonlar oluşturulmaktadır. Tekli farklar alınarak (iki alıcı-bir uydu), uydu saat hatalarının gözlemler üzerindeki etkileri elemine edilirken, yörünge, troposferik ve iyonosferik hata etkileri significant biçimde azaltılmış olur. Bu hataların minimize edilmeleri, bunların referans ve gezici alıcılar arasında gerçekleştirilen gözlemlerdeki korelasyonu ile mümkün olur. Tekli farkların farklı uydular arasındaki farklarının alınması ile ikili farklar elde edilir. İkili farkların oluşturulmasıyla (iki alıcı-iki uydu) alıcı saat hataları elemine edilmektedir. Ardışık iki epok ölçülerin ikili farklarının farkı alınmasıyla da üçlü farklar oluşturulabilmektedir. Üçlü farkların oluşturulmasıyla tam sayı faz bilinmeyenleri elimine edilmektedir. Doğrusal gözlem denklemlerinin kombinasyonu ve amaçları **Hofmann-Wellenhof ve diğ. (1997), Seeber (1993), Teunissen ve Kleusberg (1998)**'de ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Pseudorange ve taşıyıcı faz ölçüleri için ikili-farklar aşağıdaki gözleme eşitlikleri ile ifade edilmektedir:

$$\nabla \Delta P = \nabla \Delta \rho + \nabla \Delta d_{orb} + \nabla \Delta d_{trop} + \nabla \Delta d_{ion} + \nabla \Delta d_{multipath(P)} + \nabla \Delta \varepsilon_P \quad (2.7)$$

$$\nabla \Delta \phi = \nabla \Delta \rho + \nabla \Delta d_{orb} + \nabla \Delta d_{trop} - \nabla \Delta d_{ion} + \lambda \nabla \Delta N + \nabla \Delta d_{multipath(\phi)} + \nabla \Delta \varepsilon_\phi \quad (2.8)$$

Eşitliklerde $\nabla\Delta$ ikili-farklar operatörüdür. İkili farkların alınmasından sonra, uydu yörünge hataları, troposferik hatalar, ve iyonosferik hataların etkileri farklar alınmadan önceki gözlemlere kıyasla oldukça küçülürler. Bununla birlikte, ikili-farklarda gürültü düzeyi ve korelasyon artar, bunun nedeni ikili-farkların orijinal ölçülerin lineer kombinasyonu olmasıdır (**Raquet, 1998; Blewitt, 1997**).

Tekli, ikili ve üçlü farklardan başka, her bir taşıyıcı frekansın veya kombinasyonlarının farklı özellikleri vardır. **L1** ve **L2** temel taşıyıcı frekanslarının,

$$L3 = \frac{1}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} (f_{L1}^2 L1 - f_{L2}^2 L2) \quad (2.9)$$

lineer kombinasyonu, iyonosferik etkiyi ortadan kaldırmaktadır,

$$L4 = L1 - L2 \quad (2.10)$$

lineer kombinasyonu alıcı saat hataları etkisinden bağımsızdır,

$$L5 = \frac{1}{f_{L1} - f_{L2}} (f_{L1} L1 - f_{L2} L2) \quad (2.11)$$

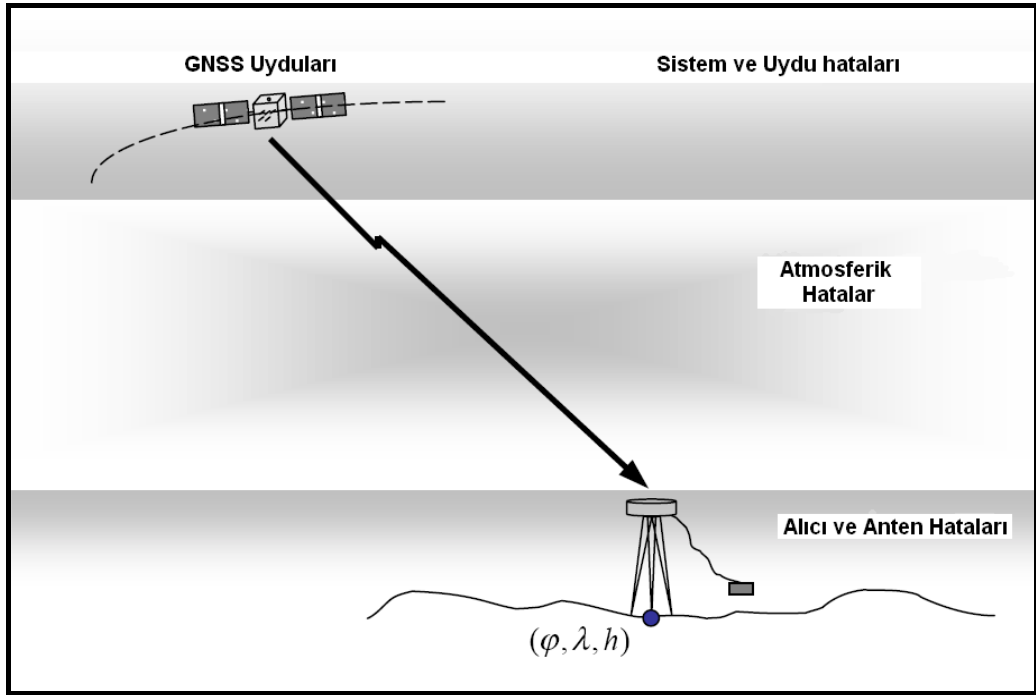
lineer kombinasyonunun olumlu özelliği dalga boyunun uzun olmasıdır. **L5** kombinasyonu yörünge hataları gibi sistematik hatalardan aynı **L1** frekansı gibi etkilenmesine rağmen dalga boyunun **L1** frekansının dalga boyunun dört katı olmasından dolayı başlangıç tam dalga boyu sayısı belirsizliğinin çözülmesi aşamasında sistematik hatalardan çok daha az etkilenmektedir.

2.2 GPS Hata Kaynakları

Kod pseudorange ve taşıyıcı faz ölçmelerinde etkin olan hata kaynakları (2.5) ve (2.6) numaralı eşitliklerde verilmektedir. Eşitliklerde verilen bu hata kaynakları, konumsal korelasyonlu (baz uzunluğuna bağlı) hatalar ve çevresel koşullardan kaynaklı hatalar olmak üzere kabaca iki guruba ayrılabilir. Konumsal korelasyonlu hatalar baz uzunluğuna bağlı olarak büyüklüğü artan hatalardır ve ikili-farkların alınmasıyla etkileri azaltılır. Uydu yörünge hatası, troposfer ve iyonosferden kaynaklanan hatalar bu hata gurubunun içerisinde yer almaktadır. Çevresel koşullardan kaynaklı hatalar her bir alıcı için ve ölçmelerin yapıldığı çevresel koşullara bağlı olarak tek anlamlıdır ve baz uzunluğu ile korelasyonsuzdur. Bu

nedenle de ikili-farkların alınması sonucunda giderilemezler. Multipath (sinyal yansıma) ve alıcı saat hataları bu gurubun içerisinde yer alan hata kaynaklarıdır.

GPS ölçüleri üzerine etkili olan hata kaynakları, baz uzunluğu ile korelasyonlu ve korelasyonsuz olarak sınıflandırılabilir gibi, Şekil 2.1 de verildiği şekilde, *i-*) uydu ve sistem hataları, *ii-*) atmosferik hatalar, *iii-*) alıcı-anten ve çevresinden kaynaklanan hatalar, olarak da gruplandırılabilir. Uydu ve sistem hataları; yörünge hataları, saat hataları ve seçimli doğruluk erişimi (SA) hatası olarak sayılabilir. Atmosferik hatalar; iyonosferik ve troposferik hatalardır. Alıcı-anten ve çevresel hatalar ise, multipath (sinyal yansıma) hatası ve anten faz merkezi hataları olarak sayılabilir (Canon ve Lachapelle, 2003).



Şekil 2.1 : GPS sistemindeki hata kaynaklarının sınıflandırılması

GPS sistemindeki bu hata kaynaklarına ek olarak, GPS ile konum belirlemede bir başka hata kaynağı da operatör kaynaklı hatalardır, bu hatalar anten yüksekliğinin ARP (Antenna Reference Point) noktasına kadar düşey olarak ölçülmesi hatası ve antenin noktaya merkezleştirme hatasıdır (Meyer ve Hiscox, 2005). Uydu ve alıcı saat hataları bu bölüm içerisinde daha önceden açıklandığı için burada tekrar ele alınmayacaktır. Sözü edilen diğer hata kaynaklarına ilişkin bilgiler aşağıda yer alan alt başlıklarda verilmektedir.

2.2.1 Uydu Yörünge Hatası

GPS ile konum belirlemede GPS uydularının koordinatları genellikle bilinen olarak varsayılır. Normalde bu koordinatlar verilen zamanda uydunun konumunu matematiksel olarak tanımlayan yörünge bilgileri olarak ifade edilir (**Roulston ve diğ., 2000**). Uydu yörünge hatası yörünge bilgilerinden hesaplanan uydu konumu ile uydunun gerçek konumu arasındaki farkın bir sonucudur. Uydu yörünge hatasının rölatif konuma etkisi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir (**Beutler, 1992**).

$$\frac{db}{b} = \frac{d_{orb}}{\rho} \quad (2.12)$$

Eşitlikte, **db** baz hatası, **b** baz uzunluğu, **d_{orb}** uydu yörünge hatası, ve **ρ** uydu ve alıcı arasındaki uzaklık olarak verilmektedir. Yayın yörünge bilgileri (broadcast efemeris) kullanılarak hesaplanan uydu koordinatları yaklaşık 3 m lik bir standart sapmaya sahiptir (**Roulston ve diğ., 2000**). Ortalama uydu alıcı mesafesi 20200 km varsayıldığında, 10 km lik bir baz için, uydu yörünge hatasının, rölatif konum belirlemeye etkisi yaklaşık 0.1 ppm (1 mm) dir. Buradan uydu yörünge hatalarının rölatif konumlamaya etkisinin 50 km lik bir bazda yaklaşık 5 mm olacağı ve çoğu durumda böylesi bir hatanın göz ardı edilebileceği sonucuna varılır. Fakat uzun bazlarda (**b**>80 km) bu hata desimetre mertebesindedir. Özellikle deformasyon belirleme amaçlı, yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda, GPS değerlendirmesi sırasında hassas yörünge bilgilerinin (precise efemeris) kullanılması zorunludur. GPS ölçmelerinin yapıldığı tarihten itibaren 15 gün sonra IGS tarafından internet sayfasında yayınlanan hassas yörünge bilgilerinin mutlak doğruluğu 5 cm dir. Hassas yörünge bilgileri kullanılarak, 100 km lik bir bazdaki hata, 0.2 mm olarak elde edilmektedir (**Hartinger ve Brunner, 1999**).

2.2.2 İyonosferik Etki ve Modellenmesi

İyonosfer, yer yüzeyinden itibaren, yaklaşık 50. kilometre ile 1000. kilometreler arasında yer alan ve içinde pozitif iyon, serbest elektron bulunduran saçıcı bir ortamdır. GPS sinyallerindeki iyonosferden kaynaklanan gecikmeler, sinyalin izlediği rota üzerinde yer alan toplam elektron yoğunluğuna (**TEC**-Total Electron Content) ve kullanılan frekansa bağlıdır. TEC, uydu-alıcı arasındaki sinyal yolu

boyunca m^2 deki toplam elektron sayısı olarak ifade edilir ve aşağıdaki şekilde verilir (Klobuchar, 1996; Kahveci, 1997; Mekik, 1999).

$$TEC = \int_r^s E ds \quad (2.13)$$

Elektron ve pozitif iyon gibi yüklü partiküller, uydu sinyallerinin yayılımını etkileyerek faz (sinüzoidal dalga) hızını arttırır, modüle edilmiş grup sinyalinin hızını geciktirir. Böylece GPS sinyalleri yardımıyla belirlenen uydu ve alıcı arasındaki uzunluk, taşıyıcı faz ölçüleriyle daha kısa, kod pseudorange ölçüleriyle daha uzun ölçülür. TEC miktarını etkileyen parametreler temel olarak güneş iyon akışı ve manyetik hareketlerdir. TEC genel olarak, yerel zamanla yaklaşık saat 14:00 civarında maksimum günlük değere ulaşmaktadır. Gece yarısı ile sabah 05:00 saatleri arasında minimum değere ulaşmaktadır. Eşitlik (2.13) de verilen TEC değerine göre, kod ve faz ölçüleri için metre birimindeki iyonosferik etki (ΔI),

$$\Delta I = -\frac{40.3}{f^2} TEC \quad (2.14)$$

olarak verilir (Seeber, 1993; Hofmann-Wellenhof ve diğ., 1997). Eşitlikte verilen f , L1 ve L2 fazının frekansı ve 40.3 sayısı deneysel olarak belirlenmiş m^3/s^2 /elektron biriminde bir sabittir. Eşitlikten görüleceği gibi iyonosferik etki, TEC değeri ile doğru orantılı ve sinyal frekansının karesi ile ters orantılıdır.

Ultraviyole güneş ışınları ve iyonlaşan katmanların hareketi iyonosferdeki elektron miktarının hızla değişmesine neden olur. Bu değişimde en büyük pay 11 yıllık periyotla tekrarlanan güneş aktivitesidir. Coğrafi konum, zaman ve mevsimsel dönemler elektron yoğunluğunun değişiminde rol oynayan diğer etkenlerdir (Klobuchar, 1996). Aylık ortalama değerlere göre elektron miktarındaki günlük değişimin GPS sonuçlarına etkisi %20-25 dir. İyonosferin GPS sinyalleri üzerindeki başka bir etkisi de iyonosferik titreşim olarak bilinen sinyal genliği ve faz dalgalanmasıdır. İyonosferik titreşim özellikle ufka yakın uydulardan gelen sinyal fazında kesilmelere neden olabilir (Kleusberg, 1998; Klobuchar, 1996; Spilker 1996). İyonosferik etki, çift frekanslı alıcılarda gözlem denklemlerinin doğrusal kombinasyonu yardımıyla tümüyle yok edilebilir (Canon ve Lachapelle, 2003). Tek frekanslı alıcılarda ise ya model kullanılarak ya da benzer iyonosferik koşullar

altında bağıl konumlama tekniğiyle büyük ölçüde azaltılabilir. GPS uydularından gelen yayın efemerisine ilişkin bilgiler iyonosferik etkiyi modellemede oldukça elverişlidir (**Langley, 1998**). Global ve bölgesel ölçekte elektron aktivitesini gözlemek ve iyonosferik bilgiyi ortaya çıkarmak için çift frekanslı GPS alıcılarıyla toplanan veriler kullanılmaktadır. Bu veriler yardımıyla, IGS gibi analiz merkezleri tarafından bölgesel ve global elektron yoğunluğu haritası çıkarılmakta, GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere modellendirilmektedir.

2.2.3 Troposferik Etki ve Modellenmesi

İyonosfer tabakasının aksine troposfer tabakası elektrik yüklü olmadığından yaklaşık 30GHz'in altındaki radyo frekansları için dağıtıcı özelliğe sahip değildir. Bu nedenle troposfer tabakası içerisinde GPS sinyallerinin yayılması frekansa bağımlı değildir. Dolayısıyla troposferin kod ve faz ölçülerine olan etkileri aynı büyüklüktedir. Bu durumda troposferik etkiyi, GPS alıcılarının çift frekans özelliğinden yararlanarak gidermek olanaklı değildir. Bu sebepten yüzeye yakın atmosferik yapının uygun bir biçimde modellendirilmesi gerekmektedir. Bu modelde hem ortalama atmosferik parametreler, hem de sinyalin kat ettiği yol boyunca ölçülen sıcaklık, atmosfer basıncı ve su buharı içeriği verileri de yer almalıdır. Halihazırda **Saastamoinen (1972)** ve **Hopfield (1969)** tarafından troposfer refraksiyon modelleri geliştirilmiştir ve güncel olarak kullanılmaktadır.

Atmosferin yer yüzeyinden itibaren 60 km yüksekliğe kadar olan bölümü troposfer katmanı olarak adlandırılır. GPS sinyalinin troposfer katmanı içerisinde ilerlemesi sırasında troposferin kırma etkisinden dolayı, takip ettiği yol (güzergah) bir miktar eğilir. Serbest uzay boşluğu ile troposfer arasındaki kırıcılık farkından dolayı, troposfer içerisinde GPS sinyalinin hızı azalır ve bu durum gecikmeye neden olur. Troposferik gecikme sıcaklık, basınç ve rölatif nem'in bir fonksiyonu ile ifade edilir (**Kaplan, 1996**). Troposferik gecikmenin ıslak ve kuru olmak üzere iki bileşeni vardır. Bu iki bileşenin GPS sinyallerinin troposferdeki hareketine etkileri oldukça farklıdır. GPS sinyalleri üzerindeki troposferik etki ıslak ve kuru bileşenin toplamı olarak ele alınır ve aşağıdaki şekilde verilir.

$$\Delta T = 10^{-6} \left[\int N_d ds + \int N_w ds \right] \quad (2.15)$$

Eşitlikteki, N_d ve N_w , kuru (hidrostatik) ve ıslak (su buharı) bileşeni göstermektedir. Bu eşitlikte verilen troposferik gecikmenin hesaplanabilmesi için atmosferik parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Sinyal yolu boyunca kuru hava basıncını, su buharı kısmi basıncını ve sıcaklığı ölçmek hemen hemen olanaksızdır. Bunun yerine integral denklemi atmosferik parametrelere göre seriye açılır ve deneysel tekniklere dayalı troposferik modeller yardımıyla çözülür. Söz konusu modellerde ya yüzeyde ölçülen ya da yeryüzünün yüksekliğine bağlı olarak hesaplanan atmosferik parametreler kullanılır. Toplam gecikmede %90 pay sahibi olan kuru bileşen troposferik modeller yardımıyla yeterli doğrulukta hesaplanabilmektedir (bir kaç saatte içinde %1 oranında değişim gösterir). Asıl sorun troposferik gecikmede %10 pay sahibi olan ıslak bileşendir ve kestirilmesi çok zordur (bir kaç saatte içinde %20 oranında değişim gösterir). Maliyeti çok yüksek olmasına karşın en güvenilir bilgi su buharı radyometreleriyle elde edilir. Bu bileşen, uygulamada genellikle, GPS verileri yardımıyla EKK dengelemesiyle belirlenir (**Hofmann-Wellenhof ve diğ., 1997; Beutler ve diğ., 2001; Janes ve diğ., 1991; Kaniuth ve diğ., 1998; Seeber, 1993; Spilker, 1996**).

Troposferik gecikmenin kuru bileşeninin zenit doğrultusundaki etkisi yaklaşık 2.3 metredir, bu değer yataya (10° lik eğim açısında) yaklaşıldıkça artar ve 20 metre civarına ulaşır. Islak bileşenin ise zenit doğrultusundaki etkisi 1-80 cm arasındadır. Normal atmosferik koşullar altında deniz düzeyindeki bir nokta için başucu doğrultusundaki toplam gecikme 2.3-2.6 m arasında değişir. Uydu başucu doğrultusundan uzaklaştıkça gecikme miktarı da artar (**Janes ve diğ., 1991; Seeber, 1993; Beutler ve diğ., 2001**). Bu değişim, izdüşüm (mapping) fonksiyonu ile tanımlanır. Basit bir yaklaşımla izdüşüm fonksiyonu, yüksekliği 15° den büyük uydular için $1/\cos(z)$ seçilebilir. Ancak troposferik gecikmenin hidrostatik kuru ve ıslak bileşeni için ayrı ayrı öngörülmesi daha gerçekçidir. Bu yaklaşıma göre uydu alıcı doğrultusundaki toplam troposferik gecikme aşağıdaki şekilde verilir.

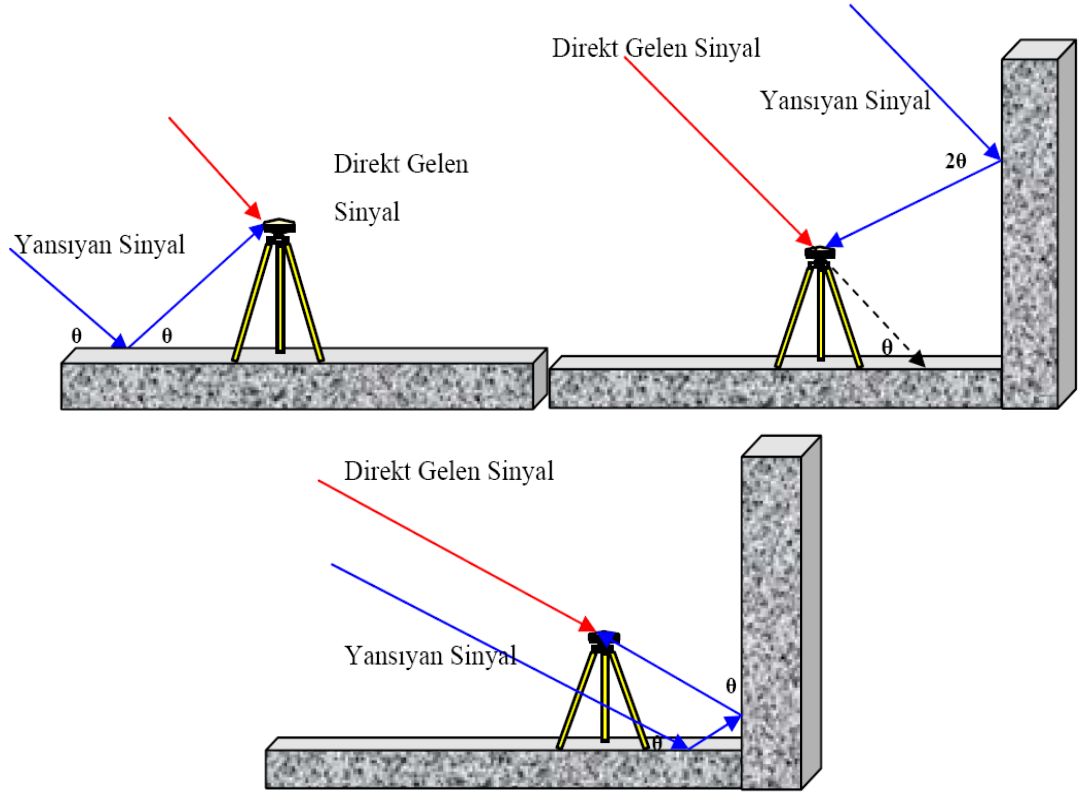
$$\Delta T_t = \Delta T_d^z m_d(z) + \Delta T_w^z m_w(z) \quad (2.16)$$

Verilen eşitlikteki, ΔT_d^z , zenit doğrultusundaki hidrostatik kuru bileşen gecikmesini, $m_d(z)$, hidrostatik (kuru) bileşen için izdüşüm fonksiyonunu, ΔT_w^z , zenit

doğrultusundaki su buharı ıslak bileşen gecikmesini, $m_w(z)$, su buharı (ıslak) bileşeni için izdüşüm fonksiyonunu ifade etmektedir (Langley, 1998).

2.2.4 Sinyal Yansıma (Multipath) Etkisi

Uydulardan yayınlanan sinyallerin yeryüzünde herhangi noktada kurulu olan antene, bir veya daha fazla sayıda yol izleyerek ve esas sinyale karışarak ulaşmasına multipath etkisi denir. Sinyallerin yansımasına yatay, dikey ya da eğik durumdaki yüzeyler neden olabilirler (Şekil 2.2). Caddeler, binalar, suyolları ve araçlar bu yansıtıcı yüzeylere örnek teşkil ederler. Bu durum, gözleme yapılacak alanlar belirlenirken dikkate alınmalıdır.



Şekil 2.2 : Alıcı anteni sinyal yansıması (multipath) (Tiryakioğlu ve diğ., 2005)

Multipath etkisi hem kod hem de taşıyıcı faz ölçülerini etkiler. Bu etki, P-kod gözlemlerinde, taşıyıcı faz gözlemlerinde olduğunun iki katıdır. Bazı koşullarda kod sinyalindeki multipath etkisi alıcının taşıyıcı faz ölçüsünde kesiklikler (loss of lock) olmasına neden olabilir. Bir çok cycle slips, multipath etkisi nedeniyle oluşmaktadır. L1 sinyalindeki maksimum multipath etkisi ($\lambda = 19$ cm) yaklaşık 5 cm, L2 ($\lambda = 24$ cm) sinyalindeki maksimum multipath etkisi ise 6 cm dir. L1 ve L2 nin

lineer kombinasyonları için değerler buna bağlı olarak daha büyük veya daha küçük olabilir (**Cannon ve Lachapelle, 2003**).

Multipath'ın ölçme sonuçları olan konuma etkisi, GPS oturum sürelerinin daha çok uzatılması ile minimuma indirgenebilir. Böylesi bir önlem kinematik ya da hızlı statik GPS ölçmelerinde mümkün değildir ancak bu durumlarda uydu yükseklik açısı yüksek ($\geq 15^\circ$) seçilerek multipath etkisi azaltılabilir. Araştırmalar, multipath etkisinden kaynaklı, ± 15 cm ye varan yükseklik hataları ortaya koymuştur. Bu sebepten dolayı GPS ölçmeleri sırasında multipath etkisinden kaçınmak önem arz etmektedir. Bazı çalışmalarda düşük yükseklik açısına sahip uydu gözlemlerindeki multipath etkilerini elemine etmek için yükseklik açısına bağlı stokastik modellerin (EDW-Elevation Dependent Weighting) kullanılması önerilmiştir (**Özlüdemir ve Ayan, 2003**). Ancak, değerlendirmede yükseklik açısına bağlı stokastik modellerin kullanılması sonucu yükseklik belirleme doğruluğunun kötüleştiği **Sheng (2005)** de verilmektedir.

Multipath etkisinin yüksek konum doğruluğu gerektiren GPS uygulamalarında verilerin değerlendirilmesi sırasında dikkatle ele alınması gerekir. Literatürde GPS sinyali üzerindeki multipath etkilerinin etkin bir biçimde azaltılmasına yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak, çoklu anten sistemleri kullanılarak GPS kod ve taşıyıcı faz multipath etkilerinin azaltılması (**Ray, 2000**), ardışık günler arası korelasyon analizi ile multipath'ın azaltılması (**Radovanovic, 2000**) ve sinyal-gürültü oranları hesaplanarak multipath'ın azaltılması (**Brunner ve diğ., 1999**) sayılabilir. Tüm bunlara ek olarak, arazide ölçmeler sırasında, chokering tipindeki alıcı antenleri kullanılarak bu etki önemli oranda azaltılabilmektedir (**Lachapelle ve Canon, 2004**).

2.2.5 Alıcı Anteni Faz Merkezi Hatası

GPS tekniği kullanılarak rölatif konum belirlemede, referans noktasında bulunan antenin faz merkezi ile gezici olarak adlandırılan diğer noktadaki antenin faz merkezi arasındaki baz belirlenir. Anten faz merkezlerine göre belirlenen bu baz, anten ofset değerleri ve anten yüksekliği ölçüleri ile yeryüzündeki fiziksel noktalarla ilişkilendirilir. GPS sinyallerinin antene ulaştığı yer olan anten faz merkezi, ne geometrik nede fiziksel bir noktadır (**Mader, 1999**). İdeal olarak, GPS anteni faz

merkezinin, antene ulaşan sinyalin geliş doğrultusundan bağımsız olması gerekir. Ancak uygulamada, alıcı anteni faz merkezi, sinyalin geldiği azimuta ve yükseklik açısına bağlıdır. Azimut ve yükseklik açısı her uydu için farklıdır ve uyduların hareketi nedeniyle sürekli değişir. Bu durum, anten faz merkezi değişimlerini, L1 ve L2 frekansı için farklı büyüklüklerde etkiler. Anten türüne göre her iki frekans için sinyalin azimut ve eğim açısına bağlı olarak verilen anten faz merkezi değişimleri IGS kalibrasyon merkezlerince belirlenmektedir.

Yüksek konum doğruluğu gerektiren çalışmalarda anten faz merkezi değişimlerinden (PCV-Phase Center Variation) kaynaklı hataların mutlaka dikkate alınması gereklidir **(Wübbena ve diğ., 2000)**. Uygulamada iki tip anten PCV kalibrasyon ürünü kullanılır, bunlar, rölatif PCV kalibrasyonu ve mutlak PCV kalibrasyonudur. Genellikle tercih edilen IGS tarafından yayınlanan rölatif PCV kalibrasyonu sonuçlarıdır ve bu sonuçlara Uluslararası GNSS Servisinin (IGS-International GNSS Service-<http://igsb.jpl.nasa.gov/>) internet sayfasından ulaşılabilir. Rölatif PCV kalibrasyonunda sonuçlar, anten faz merkezi değişimleri sıfır varsayılan referans antenine göre elde edilir. Bu tip kalibrasyonda, benimsenen yöntemle göre, sonuçlar, referans anteninin bulunduğu konumun şartlarına bağımlılık gösterir, örneğin kalibrasyon sonuçları multipath etkisi ve test alanının konumu gibi o yere özgü koşullardan etkilenirler **(Mader, 1999)**. Rölatif PCV kalibrasyonuna kıyasla, mutlak PCV kalibrasyon sonuçları mevkiden ve referans antenden bağımsızdır, fakat bu sonuçlar sivil kullanıcılar tarafından henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. GPS değerlendirmesi sırasında anten faz merkezi değişimlerinin kullanılmaması 10 cm ye varan yükseklik belirleme hatalarına sebep olmaktadır **(Mader, 1999)**. Bu hata rölatif konum belirlemede aynı tip antenlerin kullanılmasıyla minimize edilmektedir.

2.2.6 Seçimli Doğruluk Erişimi

Seçimli Doğruluk Erişimi (SA-Selective Availability) yetkisiz kullanıcıların GPS sisteminin sağladığı doğruluklara ulaşmasını engellemek amacıyla, konum belirleme doğruluklarının ABD tarafından kasıtlı olarak kötüleştirilmesidir. SA etkisi 25 Mart 1990 tarihinde uygulanmaya başlanmış, sivil kullanıcıların ve alıcı üreten firmaların yoğun baskısı ile 1 Mayıs 2000 tarihinde sona erdirilmiştir.

SA etkisi uygulanmadığı durumlarda mutlak konum belirleme doğruluğu 20 m iken, SA uygulandığı durumlarda doğruluk 100-150 metre arasındadır. SA etkisi iki farklı şekilde uygulanmıştır. Birincisi uydu navigasyon mesajında yayınlanan yörünge bilgilerinin değiştirilmesidir, ikincisi ise uydu saati frekanslarının değiştirilmesidir. SA etkisinin rölatif konumlamaya olan etkisinin 100 km lik bir bazda 0.14 mm olduğu **Rocken ve Meertens (1991)** de görülmektedir.

2.3 GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

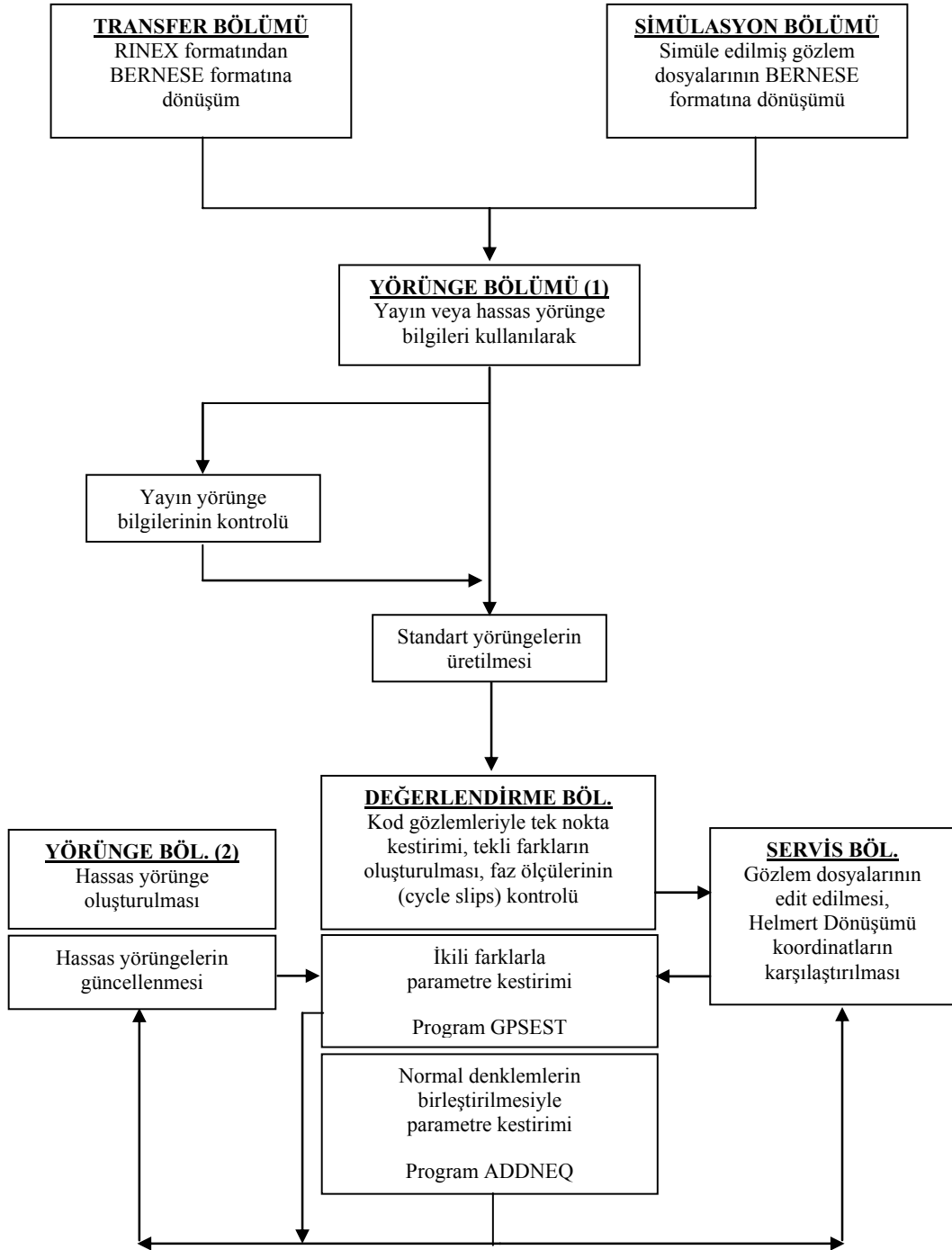
GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde izlenecek strateji, sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği için önemli rol oynamaktadır (**Blewitt, 1998**). GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi sırasında öncelikle seçilmesi gereken, yapılan çalışmanın amacına uygun olarak, kullanılacak yazılımdır. GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde (post-process) kullanılan yazılımlar genel olarak iki gruba ayrılırlar: ticari yazılımlar ve bilimsel yazılımlar. Ticari yazılımlar genellikle, GPS alıcısı üreten firmalar tarafından, satın alınan GPS seti ile birlikte önerilen yazılımlardır. Ticari yazılımlar, kendi alıcılarının kayıt ettiği özel formattaki gözlemleri değerlendirmekle beraber, alıcıdan bağımsız GPS gözlem formatı olan RINEX (Receiver INdependent EXchange) verilerini de değerlendirebilirler. Fakat RINEX formatındaki verileri değerlendirirken ölçmeler sırasında kullanılan alıcı ve anten bilgileriyle birlikte anten faz merkezi değişimlerinin de bu yazılıma eklenmesi gerekmektedir. Bu gün GPS ölçülerinin jeodezik amaçlı olarak kullanımında gelinmiş olunan noktada, bu amaçlara uygun olarak toplanan verilerin değerlendirilmesinde kullanılan ticari yazılımların bazıları; GPSurvey/TGO (Trimble), Prism/AOS (Ashtech), Ski-Pro/LGO (Leica), Pinnacle (Javad), TPGS/GNSS (Topcon) olarak sayılabilir. Yukarıda bahsettiğimiz ticari yazılımların yanında, jeodezik amaçlı toplanan GPS verilerin değerlendirilmesinde, kullanıcıya daha fazla müdahale izni veren, bilimsel çalışmalarda kullanılan bilimsel yazılımlardan bazıları ise; BERNESE, GIPSY, GAMIT, GEONAP ve TOPAS olarak sayılabilir (**Landau, 1990**).

Çoğu ticari GPS değerlendirme yazılımları, tam sayı belirsizliğini (ambiguity) ve faz sıçramalarını (cycle slips) veri değerlendirmesi sırasında otomatik olarak kendileri çözerler ve karara bağlarlar. Bunun yanı sıra bilimsel amaçlar için üretilmiş olan GPS değerlendirme yazılımları, bu işlemler sırasında kullanıcıya belirli parametreleri

manuel olarak seçme olanağı tanırırlar. Bununla birlikte ticari yazılımların bazıları, bilimsel yazılımların yapabildiği çözümleri, bu bilimsel yazılımların teorik altlıklarını kullanarak, belirli mesafedeki baz çözümleri için gerçekleştirebilirler. Bu ticari yazılımların, belirli mesafenin altındaki baz ($b < 10$ km) çözümleri ile bilimsel yazılımlarla yapılan çözümleri arasında fark olmamaktadır. Çünkü 10 km nin altındaki bazların çözümünde iyonosferik ve troposferik hataların etkisi elimine olmaktadır (Kaplan, 1996; Cannon ve Lachapelle, 2003; Kahveci ve Yıldız, 2005; Sheng, 2005).

GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde kullanılacak yazılım seçimi sırasında, maksimum GPS baz uzunluklarının ve oturum sürelerinin önemi büyüktür. GPS baz uzunlukları ve oturum süreleri, değerlendirmeden elde edilecek konum doğruluğunu ve değerlendirme stratejisini belirleyen iki önemli faktördür (Eckl ve diğ., 2001).

Bern üniversitesi Astronomi Enstitüsü tarafından geliştirilen ve ilk olarak Mart 1988’de yayımlanan Bernese yazılımı, hem eğitim ve araştırma amaçlı bilimsel çalışmalar yapan kullanıcılar için hem de profesyonel kullanıcıların yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarında kullanılması için geliştirilmiştir. Bu program ile, tek veya çift frekans ölçmeleri ile hızlı veri işleme, uzun (2000 km ye kadar) bazlarda başlangıç tamsayı faz bilinmeyenlerinin çözümü, iyonosfer ve troposfer modellemeleri, değişik alıcı tiplerinin kombinasyonları, tam simülasyon olanağı, yer dönme parametrelerinin belirlenmesi, yörünge iyileştirme ve kesintisiz (sabit) ağ ölçmelerinin iyileştirilmesi gibi günümüz GPS teknolojisinin sunduğu tüm olanaklar gerçekleştirilebilmektedir. 1000’ den fazla program ve alt programdan oluşan Bernese yazılımı, temel olarak, transfer, yörünge, veri işleme, simülasyon ve hizmet olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır (Beutler ve diğ., 2001). Bu beş bölümü içeren Bernese GPS değerlendirme yazılımının kullanımı için fonksiyonel akış diyagramı, Şekil 2.3 de yer almaktadır.



Şekil 2.3 : Bernese yazılımı değerlendirme akış şeması (Beutler ve diğ., 2001)

Bernese yazılımının teorik altlıklarını kullanan Leica firmasına ait Ski-Pro (Static Kinematik Professional) ticari yazılımının son versiyonu olan Leica Geo Office (LGO) yazılımı, bilimsel yazılımlara benzer olarak GNSS uydu sistemlerine ait gözlemleri, tek ve çift frekanslı alıcılara ait statik ve hızlı statik yöntemlerle toplanmış gözlemleri, sürekli GPS istasyonlarına ait gözlemleri, farklı alıcılarda toplanan gözlemleri (RINEX olarak) değerlendirebilmekte, 80 km ye varan bazlarda

başlangıç faz belirsizliğini (integer ambiguity) çözebilmekte, serbest ve dayalı ağ çözümlerini gerçekleştirebilmektedir.

Çalışmada kullanılacak yazılımın belirlenmesinden sonra, verilerin sorunsuz olarak değerlendirilmesi için bazı ön hazırlıkların tamamlanması gerekmektedir. Bu ön hazırlıklar, GPS ölçme karnelerinin, GPS gözlem verilerinin, alıcı anteni faz merkezi değişimlerinin, ARP noktasına kadar indirgenmiş anten yükseklerinin ve hassas yörünge bilgilerinin temin edilmesi ve hazırlanmasını kapsar.

Değerlendirme yazılımının seçilmesi ve ön hazırlıkların tamamlanmasından sonra, GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi adımına geçilir. Değerlendirme sırasında jeodezik ağdaki bütün bazların aynı strateji ve parametrelerle değerlendirilmesi önerilir. Hesaplanan baz çözümleri incelenir, aynı baza ve aynı noktaya ait farklı çözümler (tekrarlılık) karşılaştırılır, bağımsız baz çözümlerinden oluşan lup kapanmaları incelenir, beklenen doğruluğa göre sonuçlar yorumlanır ve bazların bir sonraki adımda kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir. Kabul gören baz vektörlerinin çözümleri veri tabanına kaydedilir. Kampanya için bütün bazlar çözülüp veri tabanına kayıt edildikten sonra baz vektörlerinin dengelemesi işlemine başlanabilir. Genellikle GPS oturumlarından elde edilen baz çözümlerinin ve koordinat bileşenlerinin kontrolü için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir.

- i. Farklı statik GPS oturumlarından elde edilen baz çözümlerinin oluşturduğu kapalı şekiller (lup) için, baz bileşenlerinin ayrı ayrı toplamının sıfır değerine yakın olması gerekmektedir ($\Sigma \Delta X \cong 0$, $\Sigma \Delta Y \cong 0$, $\Sigma \Delta Z \cong 0$). Sıfırdan büyük oranda farklılık gösteren kapanmalar (lup kapanmaları) lup'u oluşturan bazlardan en az birinde gözlem veya hesap hatası olduğunu ifade etmektedir. Bir lup için toplam kapanma hatası (LC -Loop Closure- $W_{(3B)}$) **milimetre** biriminde olacak şekilde aşağıdaki eşitlikle hesaplanır. Milimetre biriminde hesaplanan aşağıdaki eşitlikteki toplam lup kapanması, kilometre birimindeki toplam lup uzunluğuna (ΣS_{km}) bölünürse, **ppm** biriminde toplam lup kapanması elde edilir (USACE, 2003).

$$LC_{mm} = \sqrt{(\Sigma \Delta X_{mm})^2 + (\Sigma \Delta Y_{mm})^2 + (\Sigma \Delta Z_{mm})^2} \quad (2.17)$$

- ii. Farklı oturumlardan elde edilen tek noktaya ait koordinat bileşenleri arasındaki farkların (tekrarlılık) sıfır değerine yakın olması gerekmektedir. Bu değerler $(X, Y, Z - \phi, \lambda, h)$ arasındaki farklar, sıfır değerinden büyük oranda farklı ise bu noktaya ait oturum çözümlerinden en az birinde gözlem veya hesap hatası olduğuna karar verilir (USACE, 2003).

2.4 Presizyonlu Nivelman ve Hata Kaynakları

Presizyonlu nivelman tekniği uygulanması zahmetli fakat bununla birlikte yüksek doğruluk sağlayan jeodezik ölçme yöntemlerinden biridir. Bu teknik kullanılarak noktalar arasındaki yükseklik farkları, $\pm 0.5 \text{ mm} / \sqrt{S_{km}}$ presizyonla belirlenebilmekte, düzenli hata kaynaklarına karşı etkin önlemler alınması durumunda bu presizyon daha da yükseltilebilmektedir (Gili ve diğ., 2000; Alsalman, 1999).

Günümüzde yer kabuğu düşey hareketlerinin izlenmesinde, yıllık 0.2-0.5 mm lik hareket hızlarının signifikant olarak belirlenmesi gerekli görülmekte, atom santrallerinin yerlerinin seçiminde ve aplikasyonunda $\pm 0.1-0.2$ mm lik doğruluklar talep edilmekte, büyük köprü, viyadük, baraj, çok katlı yapılar ve benzerlerinin bakım-kontrol ölçmelerinde (örneğin temel oturmalarının belirlenmesinde) noktaların birbirlerine göre rölatif yüksekliklerinin $\pm 0.2 - 0.5$ mm doğrulukla ölçülmesi istenmektedir (Pelzer, 1984; Baykal, 1985). Bütün bu görevleri üstlenen ve talep edilen doğrulukları karşılamaya çalışan tek yöntem presizyonlu nivelman tekniğidir.

Presizyonlu nivelmanda alet donatımı, geometrik nivelmana özdeş olarak mira ve nivodan oluşmaktadır. Ancak, presizyonlu nivelman ölçmeleri sırasında miraların tam olarak düşey tutulmasını sağlamak amacıyla invar miralar üzerinde bir küresel düzeç yer almaktadır. Miralardaki çökme hatalarını azaltmak için miraların doğrudan doğruya zeminde tutulmaması, dökme demirden yapılmış mira altlıklarının kullanılması gerekmektedir. Ayrıca ölçme sırasında miranın sallanmasını önlemek ve böylece mira eğikliği hatasını önemsiz kılmak için mira destekleme donanımı geliştirilmiştir.

Presizyonlu nivelmanda bir çift invar mirası kullanılır. İnvar yaklaşık olarak %35 nikel ve %65 demir alaşımı olup içerisinde az miktarda başka metallerde bulunmaktadır. İnvar alaşımının en önemli özelliği termik uzama katsayısının çok küçük olması ve nem alış-verişinden etkilenmemesidir. Presizyonlu nivelmanda invar miraların kullanılması sayesinde sıcaklık ve nem değişmelerinden doğacak hata etkileri en aza indirgenir. İnvar mira ismini, mira üzerindeki 1 mm kalınlığındaki invar şeritten almaktadır. Bu invar şerit üstündeki en küçük bölüm, Mira Birimi (B_m) adını alır. Günümüzde $B_m = 5$ mm veya $B_m = 10$ mm olmak üzere iki tür bölümlendirme yapılmaktadır. İnvar miraların büyük çoğunluğunda yan yana iki bölümlendirme yer almaktadır. Bunlardan biri “Ana Bölümlendirme” (a) ve diğeri de, ana bölümlendirmeden C (Mira Sabiti) değeri kadar kaydırılmış olan Yardımcı Bölümlendirmedir (y). Kern marka miralarda C mira sabiti değeri 606.5 dir.

Geometrik nivelmanda mira okumaları, milimetreler gözle tahmin edilerek yapılmaktadır. Presizyonlu nivelmanda da aynı yol izlenerek $0.1B_m$ değerleri tahminle okunursa yukarıda sözü edilen yüksek doğruluklara erişmek olanaksızdır. Talep edilen doğrulukları karşılamak için öncelikle mira okuma inceliğinin artırılması zorunludur. Presizyonlu nivolar ile mira okuma inceliğini artırma tekniklerinden biri paralel yüzlü cam plaka ve mikrometre donanımı kullanmaktır. Paralel yüzlü cam plaka gelen ışını paralel olarak öteleyen optik bir sistemdir ve nivonun üzerinde bulunan mikrometre vidası yardımıyla yatay bir eksen etrafında döndürülebilmektedir. Bu hareket yaklaşık olarak mikrometre vidasının bir devir döndürülmesi ile sınırlandırılmıştır. Mikrometre vidasının bir devir döndürülmesi sonunda yatay gözleme ışını tam bir mira birimi (B_m) kadar paralel ötelenmektedir. Presizyonlu nivolarda bulunan mikrometre tamburu bir mira birimini genellikle 100 eşit parçaya bölebilen bir sistemdir. Bu durumda presizyonlu nivolar ile mira okuma inceliği artırılmış ve $0.1B_m$ den $0.001B_m$ ye çıkartılmıştır (Baykal, 1985).

Presizyonlu nivelmanda ölçme doğruluğunun, talep edilen doğruluğa ulaşp ulaşmadığını anlayabilmek için ölçme birimlerinde (presizyonlu nivelman ölçme birimleri: *i*- istasyon noktası, *ii*-nivelman kenarı, *iii*- nivelman hattı, *iv*- nivelman halkası, *v*- nivelman ağı) ölçülen ve hesaplanan büyüklüklerden yararlanılarak “doğruluk kriterleri” üretilir. Birimlerde ölçülen ve hesaplanan büyüklüklerin taşıdığı model hataları hem yükseklik farklarını ve nokta yüksekliklerini hem de doğruluk

kriterlerini etkiler. Bu hata etkilerinin niteliği ve niceliği yeterli ölçüde bilinmedikçe güvenilir sonuçlar elde etmek olanaksızdır. Yanıltıcı olduğundan kuşku duyulan sonuçlara dayanılarak kesin yargılara varılamaz, varılsa dahi bu yargılar bilimsellikten uzak olur. Bu nedenle ölçüleri etkileyen hataların öncelikle ve derinliğine irdelenmesi önemlidir. Presizyonlu nivelman ölçülerini ve sonuçlarını etkileyen hatalar başlıca dört ana grupta toplanabilir:

- miralardan kaynaklanan hatalar,
- nivolardan kaynaklanan hatalar,
- dış ortamdan kaynaklanan hatalar,
- operatörden kaynaklanan hatalar

Ana başlıklar olarak verilen bu hata kaynaklarının çoğu uzun gözleme uzaklıklarında anlamlıdır. Kısa gözleme uzaklıklarındaki en önemli hata kaynağı kolimasyon hatasıdır. Kolimasyon hatası, nivo tesviye edildikten sonra kolimasyon ekseninin tam olarak yatay olmamasından kaynaklanmaktadır. Bununla beraber kolimasyon hatası, geri ve ileri mira gözlem uzaklıklarının yaklaşık olarak eşit tutulmasıyla azaltılabilir (Sheng, 2005).

2.5 Nivelman Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Presizyonlu nivelman ölçme tekniğinde, iki nokta arasındaki yükseklik farkı, ana ve yardımcı bölümlendirme okumalarından elde edilen yükseklik farklarının ortalaması olarak elde edilir. Bununla beraber nivelman ağındaki nivelman ölçüleri genellikle gidiş ve dönüş nivelmanı olmak üzere iki defa gerçekleştirilir. Nivelman ağında gerçekleştirilen presizyonlu nivelman ölçülerinin doğruluğu iki yolla belirlenir.

- i. Nivelman ağında oluşturulacak nivelman halkalarının kapanma (lup kapanmaları) değerlerinin sıfır değerine yakın olması gerekmektedir ($\Sigma \Delta H \cong 0$). Sıfırdan büyük oranda farklılık gösteren kapanmalar, nivelman halkasını oluşturan nivelman kenarlarından en az birinde bir hata olduğunu ifade etmektedir. Lup kapanmalarının **ppm** birimindeki değerleri, ΣS , lup uzunluğu olmak üzere, $\Sigma \Delta H_{mm} / \Sigma S_{km}$ eşitliği ile elde edilir. Bir nivelman halkasındaki

nivelman ölçülerinin ve birim ölçünün (1 km lik nivelman kenarına karşılık gelen yükseklik farkı) varyans değerleri, $W_{(1B)}$ ($\Sigma \Delta H$) lup kapanması değeri olmak üzere aşağıdaki eşitlikler yardımıyla elde edilir.

$$\sigma_0^2 = \frac{W_{(mm)}^2}{\Sigma S_{(km)}} \quad (2.18a)$$

$$\sigma_{\Delta H_i}^2 = \sigma_0^2 S_{i(km)} \quad (2.18b)$$

ii. Nivelman ağında gerçekleştirilen gidiş ve dönüş nivelmanından elde edilen yükseklik farkları ΔH_G ve ΔH_D olmak üzere, nivelman ağındaki birim ölçünün (1 km lik nivelman kenarına karşılık gelen yükseklik farkı) ve gidiş-dönüş nivelman ölçülerinin ortalama değerinin varyans değerleri aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$d_{(mm)} = \Delta H_D - \Delta H_G \quad (\text{gidiş ve dönüş farkı}) \quad (2.19a)$$

$$\sigma_0^2 = \frac{[Pdd]}{2n} \quad (\text{birim ölçünün varyansı}) \quad (2.19b)$$

$$\sigma_{\Delta H_i}^2 = \frac{\sigma_0^2}{2} S_{i(km)} \quad (\text{ortalama yükseklik farkının varyansı}) \quad (2.19c)$$

3. JEODEZİK AĞLARIN DENGELENMESİ

3.1 Dengeleme Hesabının Matematik Modeli

Jeodezik ölçülerin dengelemesinde çoğunlukla Gauss-Markoff modeli uygulanır. Kolay programlanabilen ve analize uygun olan bu model aşağıdaki gibi özetlenebilir.

$$E(\underline{\ell}) = \underline{A} \underline{x} \quad (3.1a)$$

$$\underline{\Sigma}_{\ell} = \sigma_0^2 \underline{Q}_{\ell} \quad (3.1b)$$

Burada, $\underline{\ell}$ (n×1) boyutlu ölçüler vektörünü, $\underline{A}$ (n×u) boyutlu, ölçülerin bilinmeyenlere göre olan kısmi türevlerinden hesaplanan katsayılar matrisini, $\underline{x}$ (u×1) boyutlu bilinmeyenler vektörünü, σ_0^2 birim ağırlıklı ölçünün varyansını, $\underline{Q}_{\ell}$ (n×n) boyutlu kofaktörler matrisini, $\underline{\Sigma}_{\ell}$ (n×n) boyutlu ölçülerin varyans-kovaryans matrisini ve $E(\cdot)$ ümit değer operatörünü ifade etmektedir (Ghilani, 2006; Gao, 2004a).

Yukarıdaki eşitliklerde, ölçülerin ümit değerleri ($E(\underline{\ell})$), $\underline{x}$ parametreleri ve σ_0^2 problemin bilinmeyenleridir. Ümit değerler yerine ümit değere sadık kestirim değerleri $\hat{\underline{\ell}} = \underline{\ell} + \underline{v}$ yazılarak $\underline{v}^T \underline{Q}_{\ell}^{-1} \underline{v} = \text{minimum}$ ilkesinden hareket edilir (Demirel, 2005; Mikhail, 1976).

Böylece (3.1a) eşitliği, ölçülerin düzeltmeleri ile,

$$\hat{\underline{\ell}} = \underline{\ell} + \underline{v} = \underline{A} \hat{\underline{x}} \quad (3.2)$$

olur ve düzeltme denklemleri $\underline{v} = \underline{A} \hat{\underline{x}} - \underline{\ell}$ olarak yazılır. Bu sistemin En Küçük Kareler (EKK) çözümü $\text{rank}(A)=u$ ile,

$$\hat{\underline{x}} = (\underline{A}^T \underline{Q}_{\ell}^{-1} \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{Q}_{\ell}^{-1} \underline{\ell} \quad (3.3)$$

olarak verilmektedir. Burada, $\underline{A}^T \underline{Q}_\ell^{-1} \underline{A} = \underline{N}$ normal denklem katsayılar matrisi, $\underline{Q}_{\hat{x}} = \underline{N}^{-1} = (\underline{A}^T \underline{Q}_\ell^{-1} \underline{A})^{-1}$ bilinmeyenlerin kofaktör matrisidir. Ayrıca dengelenmiş ölçüler ($\underline{\hat{\ell}}$) ve düzeltmelerin ($\underline{v}$) kofaktör matrisleri ve varyans bilinmeyenini σ_0^2 nin kestirim değeri de (deneysel varyans, $\hat{\sigma}_0^2 = s_0^2$) aşağıdaki şekilde elde edilmektedir (Harvey, 1991; Mikhail, 1976).

$$\underline{Q}_\ell = \underline{A} \underline{Q}_{\hat{x}} \underline{A}^T \quad (3.4)$$

$$\underline{Q}_v = \underline{Q}_\ell - \underline{Q}_\ell = \underline{Q}_\ell - \underline{A} \underline{Q}_{\hat{x}} \underline{A}^T \quad (3.5)$$

$$s_0^2 = \frac{\underline{v}^T \underline{Q}_\ell^{-1} \underline{v}}{n - u} \quad (3.6)$$

3.2 Serbest Ağ Dengelemesi

Serbest ağ dengelemesi daha çok uyuşumsuz ölçülerin ayıklanması ve deformasyon analizi amaçlı çalışmalarda kullanılır. Deformasyon analizi çalışmalarında, varsayımlardan mümkün olduğunca sakınmak ilkesine uygun olarak ağın konumlandırılması, yönlendirilmesi ve ölçeklendirilmesi sırasında, ağın iç doğruluğunu gerçekçi bir biçimde elde etmek için, sabit nokta varsayımı yapılmaz ve bütün nokta koordinat bileşenleri ve ağın dış parametreleri bilinmeyen olarak alınır (Demirel, 2005; Ayan, 1982).

Bütün nokta koordinatlarının bilinmeyen alınması durumunda elde edilecek normal denklem katsayılar matrisinin rankı ($\text{rank}(\underline{A}^T \underline{Q}_\ell^{-1} \underline{A}) = \text{rank}(\underline{A}) = r$), bilinmeyen sayısı olan u dan daha küçük olacaktır. Bunun bir sonucu olarak normal denklem katsayılar matrisinin Cayley inversi ($\underline{N}^{-1}$) tanımlı olmayacaktır. Bu durumda EKK dengelemesinin çözümü, $\underline{v}^T \underline{Q}_\ell^{-1} \underline{v} = \text{minimum}$ koşuluna ek olarak $\underline{\hat{x}}^T \underline{\hat{x}} = \text{minimum}$ koşulu ile gerçekleştirilir. Bu durum ağın kofaktörler matrisinin köşegen elemanlarının toplamının minimum ($\text{iz}(\underline{Q}_{\hat{x}}) = \min$) olması anlamına da gelmektedir.

Çözüm, normal denklem katsayılar matrisinin, Cayley inversi yerine bir genelleştirilmiş invers olan Moore-Penrose (pseudo) inversi ($\underline{N}^+$ olarak gösterilen) yardımıyla aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir (Harvey, 1991; Mikhail, 1976).

$$\hat{\underline{x}} = \underline{N}^+ \underline{A}^T \underline{Q}_\ell^{-1} \underline{\ell} \quad (3.7)$$

Bu inversin ($\underline{N}^+$) hesabı değişik yollarla yapılabilir. Burada ele alınan yöntemde, $\underline{N}$ matrisinin öz değerlerine karşılık gelen öz vektörlerinden oluşan $\underline{G}$ matrisi kullanılarak çözüm gerçekleştirilmiştir. $\underline{G}^T$ matrisinin oluşturulması jeodezik ağlarda genellikle bellidir ve ağın dış parametre sayısına eşit miktarda satırdan oluşur. Pseudo invers,

$$\underline{N}^+ = \underline{Q}_\ell = (\underline{A}^T \underline{Q}_\ell^{-1} \underline{A} + \underline{G} \underline{G}^T)^{-1} - \underline{G} \underline{G}^T \quad (3.8)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda çözüm vektörü,

$$\hat{\underline{x}} = ((\underline{N} + \underline{G} \underline{G}^T)^{-1} - \underline{G} \underline{G}^T) \underline{A}^T \underline{Q}_\ell^{-1} \underline{\ell} \quad (3.9)$$

olur (Demirel, 2005; Caspary, 1987).

EKK dengelemesinin özel bir durumu olan serbest ağ dengelemesinde, soncul (aposteriori) varyans hesabında ağın serbestlik derecesi (f), df datum defekt sayısını göstermek üzere, $f = n - u + df$ şeklinde hesaplanır.

Jeodezik ağların yukarıda açıklanan serbest dengelenmesi tüm iz minimum (ağdaki bütün noktaların ağın datumuna etkisi olması) şeklinde yapılmaktadır. Ağın datumunu bütün noktaların değil de bazı noktaların belirlemesi istenirse, kofaktörler matrisinin ilgili noktalarına karşılık gelen izi ve bilinmeyenler vektörünün datum noktalarına karşılık bölümünün normu minimum olacak şekilde ağın tekrar serbest dengelenmesi gerekir. Kısmi iz minimum çözümü, oluşturulan $\underline{G}^T$ matrisinin datum belirlemede kullanılmayacak noktalara ilişkin elemanlarının sıfır seçilmesiyle gerçekleştirilir.

3.3 Model Testleri

3.3.1 Global Test

Dengeleme sonuçlarına ve bunların doğruluklarına ilişkin yargılar, fonksiyonel ve stokastik modelin gerçeğe uygun olması durumunda doğrudur. Fonksiyonel model ölçüler ile bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri olabildiğince

gerçeğe yakın yansıtabilmelidir. Stokastik model ise ölçülerin apriori (öncül) doğruluklarını ve aralarındaki korelasyonları gerçekçi olarak ifade edebilmelidir. Aksi halde sonuçlar hatalı olarak elde edilmiş olur. Bu durum özellikle deformasyon analizinde istenmeyen bir durumdur. Bu sebepten dolayı fonksiyonel ve stokastik modelin istatistik olarak test edilmesi gerekir (**Ghilani, 2006; Demirel, 2005**).

Dengeleme sonrası uygulanan ilk test genellikle hem fonksiyonel hem de stokastik modelin geçerliliğinin test edildiği global model testidir. Bu test için dengeleme öncesi (apriori) varyansı σ_0^2 ile dengeleme sonrası (aposteriori) bulunan varyans s_0^2 karşılaştırılır (**Mikhail, 1976**). Bu durumda sıfır ve alternatif hipotezler şu şekilde kurulur;

$$\begin{aligned} H_0 : E(s_0^2) &= \sigma_0^2 \\ H_a : E(s_0^2) &\neq \sigma_0^2 \end{aligned} \quad (3.10)$$

Varyansların karşılaştırılması için elde edilecek test değeri (T_v):

$$T_v = \frac{s_0^2}{\sigma_0^2} \quad (3.11)$$

olarak elde edilir. Elde edilen bu T_v test büyüklüğü χ^2 ve yaklaşık olarak ta Fischer (F) dağılımındadır. f ve ∞ , s_0^2 ve σ_0^2 nin hesabındaki serbestlik dereceleri ve $S=1-\alpha$ istatistik güveni göstermek üzere test büyüklüğü ilgili dağılımlardan türetilen eşik değerlerinden biri ile karşılaştırılır.

$$T_v = \frac{s_0^2}{\sigma_0^2} < F_{f, \infty, 1-\alpha/2} \cong (\chi^2_{f, 1-\alpha/2}) / f \quad (3.12)$$

Eğer T_v , F dağılımından veya χ^2 dağılımından alınan eşik değerlerden küçük ise sıfır hipotezi (H_0) geçerlidir ve öncül varyans geçerlidir sonucuna varılır. Aksi halde bir model hatasından bahsedilir.

3.3.2 Fonksiyonel Model Testi

Fonksiyonel modelin tek başına test edilebilmesi için ise eşitlik (3.1a) da verilen model, olası y bilinmeyenlerinin de eklenmesiyle aşağıdaki şekilde genişletilir.

$$\underline{\ell} + \underline{\bar{v}} = \underline{A} \hat{\underline{x}} + \underline{B} \hat{\underline{y}} \quad (3.13)$$

Modele eklenen bu $\underline{\hat{y}}$ parametrelerinin testi için sıfır ve alternatif hipotezler aşağıdaki şekilde kurulur.

$$\begin{aligned} H_0 : E(\underline{\hat{y}}) &= \underline{0} \\ H_a : E(\underline{\hat{y}}) &= \underline{y} \neq \underline{0} \end{aligned} \quad (3.14)$$

dengeleme sonucunda hesaplanan $\underline{\hat{y}}$ bilinmeyenlerinin var olup olmadıkları test edilmelidir.

$$T_y = \frac{\underline{\hat{y}}^T \underline{Q}_y^{-1} \underline{\hat{y}}}{s_0^2 u_y} \quad (3.15)$$

eşitliği ile tanımlanan test büyüklüğü f_1 ($f_1 = u_y$) ve f_2 ($f_2 = n - u_x - u_y + df$) serbestlik dereceleri ve $S=1-\alpha$ istatistik güven ile F dağılımından alınan eşik değer ($F_{f1, f2, 1-\alpha}$) ile karşılaştırılır. Eğer, T_y test büyüklüğü F dağılımının eşik değerinden büyük ise, H_0 hipotezi reddedilerek genişletilmiş fonksiyonel modelin kullanılmasına karar verilir, aksi durumda yalın model geçerliliğini korur. Yalnız bir tek $\underline{\hat{y}}$ parametresi varsa $T_y = \underline{\hat{y}}/s_y$ test büyüklüğü t dağılımında olur ve t_f eşik değeri ile karşılaştırılır (Demirel, 2005; Ayan, 1981; Ayan, 1982).

3.3.3 Uyuşumsuz Ölçü Testi

Dengeleme hesabının dayandığı matematiksel model, dengelemeye konu olan jeodezik ölçülerin normal dağılımda olduğu varsayımına dayanır. Bazen ölçü kümesinde bir veya birkaç ölçünün diğer ölçülerin sahip oldukları aynı ve normal dağılıma sahip olmadıkları görülmektedir. Bu ölçüler jeodezide uyumsuz ölçüler olarak anılmaktadır. Bir önceki başlıkta bahsedilen fonksiyonel ve global model testlerinin sıfır hipotezlerinin reddedilmesinin arkasındaki nedenlerden biri ölçüler kümesinin barındırdığı uyumsuz ölçülerdir. Uyumsuz ölçülerin tespitinde de istatistik test yöntemlerine başvurulur.

Tablo 3.1 de yer alan üç farklı test büyüklüğü, dengeleme sonucu elde edilen düzeltme değerlerinin farklı varyans değerleri ile normlandırılması anlamına gelmektedir. Baarda, teorik varyansı (σ_0^2), Pope, dengeleme sonucunda bulunan kestirilmiş varyansı (s_0^2) kullanırken, t testinde, uyumsuz ölçü ile hesaplanmış s_0^2

yerine, bu uyuşumsuz ölçünün etkisi kaldırıldıktan sonraki varyans değeri s_{0i}^2 kullanılmaktadır.

Tablo 3.1 : Uyuşumsuz ölçü testleri özet çizelgesi

Yöntem	Test Büyüklüğü	Dağılımı	Eşik Değer
Baarda	$T_{v_i} = v_i / (\sigma_0 \sqrt{q_{v_i}})$	N(0,1) Normal Dağılımlı	$N_{1-\alpha/2}$
Pope	$T_{v_i} = v_i / (s_0 \sqrt{q_{v_i}})$	τ_f Tau Dağılımlı	$\tau_{f, 1-\alpha/2}$
t-testi	$T_{v_i} = v_i / (s_{0i} \sqrt{q_{v_i}})$	t_{f-1} t-dağılımlı	$t_{f-1, 1-\alpha/2}$

Dengeleme işleminden elde edilen düzeltmelerin teker teker test edilmesini öngören test yönteminde, test büyüklüğü, kullanımı diğer test yöntemlerine göre daha pratik olan Pope yöntemine göre $T_{v_i} = |v_i| / (s_0 \sqrt{q_{v_i}})$ olarak tanımlanmaktadır. T_{v_i} test büyüklüğü f serbestlik derecesi, α yanılma olasılığı ve $1-(\alpha/2)$ istatistiksel güven ile Tau (τ) dağılımındadır. Karşılaştırma, Tau dağılımından alınacak $\tau_{f, 1-\alpha/2}$ eşik değeri ile gerçekleştirilir (Demirel, 2005).

3.4 GPS Ağlarının Nivelman Ölçüleriyle Birlikte Dengelenmesi

3.4.1 Genel Tanımlar

GPS tekniğinden elde edilen 3B koordinatlar (X, Y, Z) ve baz bileşenleri (ΔX , ΔY , ΔZ), WGS84 veya ITRF gibi global jeosentrik (yersel) sistemlerde tanımlıdır. Global sistemlerde tanımlanan bu koordinatların lokal sistemlerde kullanılabilmesi için datum dönüşümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca pratik amaçlı mühendislik uygulamalarında, geometrik bir büyüklük olan elipsoidal yüksekliklerin yerine fiziksel anlamı olan ve elipsoidal yüksekliklerden jeoit yüksekliği kadar farklı olan ortometrik yüksekliklerin kullanılması gerekmektedir. GPS tekniğinden elde edilen 3B koordinat bileşenlerinin lokal sistemlere dönüştürülmesi ve pratik uygulamalarda noktaların ortometrik yüksekliklerinin kullanılması gerekliliği GPS sonuçlarının direkt olarak kullanılmasını önleyen iki temel problemdir (Erol, 2007; Ayan ve diğ., 2006; Ayan ve diğ., 1999).

Ancak diğ er yönden de deformasyon ölçmeleri için tasarlanan ağların ülke koordinat sistemi v.b. bir üst sisteme bağlanma zorunluluğ u yoktur. Hatta bağlantısız ağlar olması tercih edilir ve kendine özgü tanımlanmış koordinat sisteminde dengelenir. Çünkü deformasyonları belirlemeye yönelik ağlardan beklenen doğruluk, genel amaçlar için kurulmuş ağların doğruluğ undan çok daha yüksektir.

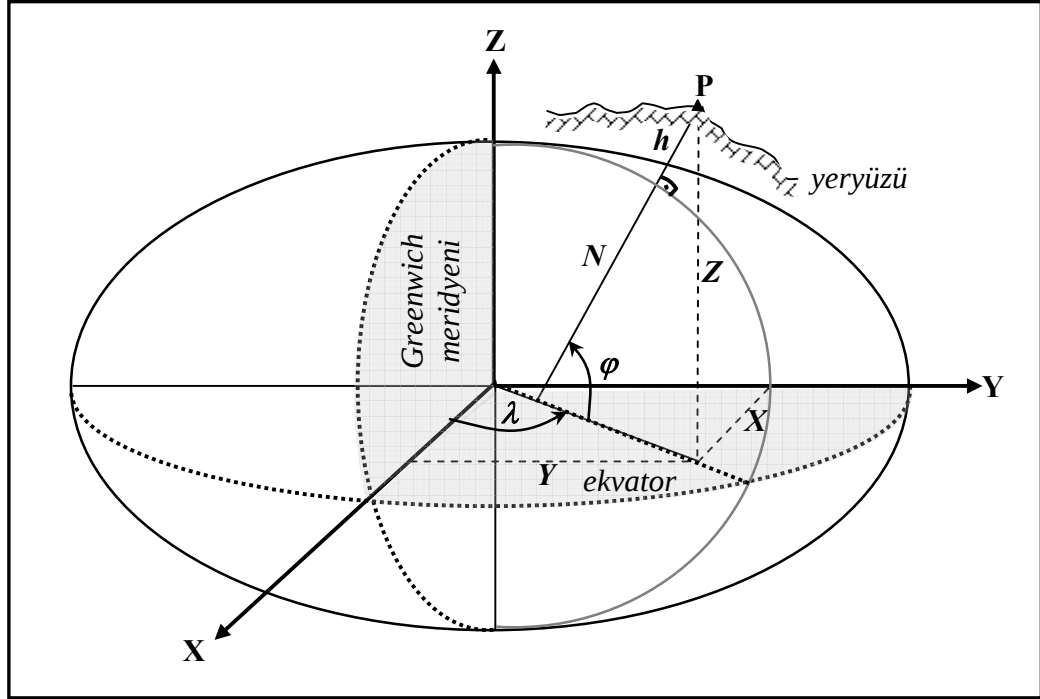
GPS tekniğ inin jeodezik uygulamalarında baz bileş enleri adı verilen ΔX , ΔY , ΔZ presizyonlu olarak belirlenmektedir. GPS ölç üleri olarak bu elemanların yada bunlardan türetilmiş büyüklüklerin yermerkezli (jeosentrik-global) üç boyutlu koordinat sistemlerinde dengelenmesi yoluna gidilir. GPS ölç üleri sayılan ΔX , ΔY , ΔZ elemanlarının, koordinat birliğ ini sağlamak koş ulu ile, yersel olarak gerçekleştirilen kenar, doğ rultu ve nivelman ölç üleriyle birlikte dengelenmesi de olasıdır. Bu tür dengeleme hesaplarına Bütünleş ik Dengeleme adı verilmektedir **(Leick, 1995; Türkezer, 1998; Güllü, 1998; Arslan, 1987a; Arslan, 1987b; Seeber, 1993)**.

Bu konuda uluslararası literatürde yapılan pratik amaçlı çalış malara örnek olarak, üç boyutlu transformasyon modelleri ile birlikte global jeodezik sistemde 3B bütünleş ik dengeleme **(Krakiwsky, 1974; Thomson, 1976)**, GPS, nivelman ve geoit yüksekliklerinin 1B bütünleş ik dengelemesi **(Kotsakis ve Sideris, 1999; Illner, 1995)**, lokal jeodezik sistemde 2B bütünleş ik dengeleme **(Illner, 1993)**, lokal jeodezik sistemde 3B bütünleş ik dengeleme **(Gründig ve diğ ., 1995; Niemeier, 1994)** ve global jeodezik sistemde 3B bütünleş ik dengeleme **(Boekelo, 1996)** verilebilir. Ulusal literatürde yapılan pratik amaçlı çalış malara ise, üç boyutlu transformasyon modelleri ile birlikte lokal jeodezik sistemde 3B bütünleş ik dengeleme **(Doğ an, 2000a; Doğ an 2000b; Demirel ve Doğ an, 1998; Öztürk, 1993)** örnek olarak verilebilir.

Dengeleme hesabının gerçekleştirileceğ i koordinat sistemi fonksiyonel model için önemlidir. Bu nedenle GPS ölç ülerinin ve nivelman ölç ülerinin ifade edildiğ i koordinat sistemlerini ve bunların birbirleriyle ilişkilerini bilmek gerekmektedir. Aşağıdaki bölümlerde bu konuda özet bilgiler yer almaktadır.

3.4.2 Global Jeodezik Koordinat Sistemi (X, Y, Z - ϕ , λ , h)

Koordinat sisteminin başlangıcı dönel elipsoidin merkezidir. +Z eksenini elipsoidin dönme ekseniniyle çakışık olarak kuzey kutup noktasından geçer. X eksenini, elipsoid yüzeyinde Greenwich' e karşılık gelen meridyen ile elipsoidin ekvator düzleminin arakesitidir. Y eksenini ekvator düzlemi üzerinde sağ el koordinat sistemine uygun olarak X ve Z eksenine dik olarak doğuya doğrudur (şekil 3.1) (Torge, 1980).



şekil 3.1 : Global Jeodezik Koordinat Sistemi

Dönel elipsoid üzerindeki noktaların konumları meridyen elipsleri ve paralel daireler ile tanımlanır. P noktasından geçen elipsoid 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 ekvatoral a ı λ jeodezik boylamdır.    nc  koordinat olarak da P noktası ile normalin yüzeyi deldiği nokta arasındaki uzunluk h elipsoidal y seklik olarak adlandırılır (şekil 3.1) (Gao, 2004b).

GPS tekniğinin 3B konum belirlemede kullandığı WGS84 sistemi, aşağıda parametreleri verilen WGS84 elipsoidine göre belirlenmiş, Global Jeodezik bir koordinat sistemidir (Tablo 3.2). WGS84 sistemi, Amerikan Savunma Dairesine (DoD) bağlı olarak, eski adıyla DMA (Defence Mapping Agency-Savunma Harita

Dairesi) olan NIMA (National Imagery and Mapping Agency-Ulusal Görüntü ve Harita Dairesi) tarafından pratik (uygulamaya yönelik) bir jeodezik referans sistemi olarak geliştirilmiştir (Leick, 1995; Seeber, 1993).

Tablo 3.2 : WGS84 elipsoidi parametreleri

Parametre Adı	Sembolü	Büyüklüğü
büyük yarı eksen	a	6378137.0 m
küçük yarı eksen	b	6356752.3142 m
basıklık	$1/f$	298.257223563
yeryuvarının ortalama açısal hızı	ω	$7292115.0 \times 10^{-11}$ rad/sn
yerçekimi sabiti	GM	3986004.4×10^8 m ³ /sn ²

Jeodezik koordinatlar (φ, λ) uzaydaki bir noktanın elipsoit yüzündeki karşılığı olan noktanın konumunu belirler. Bu nedenle bu koordinatlar jeodezik coğrafi koordinatlar olarak adlandırılır. Jeodezik koordinatlarda üçüncü boyut, yeryüzü noktasının, bu noktadan geçen elipsoit normalinin elipsoit yüzeyini kestiği noktadan olan uzaklığı olarak tanımlanır. Bu uzaklığa h elipsoidal yükseklik denir.

N meridyene dik doğrultudaki normal kesit eğrilik yarıçapı, a elipsoidin büyük yarı eksen, b elipsoidin küçük yarı eksen, e^2 birinci dışmerkezlik değeri ve e'^2 ikinci dışmerkezlik değeri olmak üzere jeodezik koordinatlar (φ, λ, h) ile kartezyen koordinatlar (X, Y, Z) arasındaki geçiş formülleri aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ Y &= (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \\ Z &= [N(1 - e^2) + h] \sin \varphi \end{aligned} \quad (3.16a)$$

Bu eşitliklerde,

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} ; \quad N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} \quad (3.16b)$$

anlamındadır.

(3.16a) eşitliğinin tersi olarak kartezyen koordinatlardan jeodezik koordinatlara geçmek istenildiğinde kapalı formüller veya iteratif yöntemlerden birisi tercih edilir. Kapalı formüller yardımıyla problem tek işlem adımıyla çözülmesine karşın iterasyonla çözüme gitmek jeodezide çok kullanılan bir yöntemdir. İterasyon

yalnızca elipsoid al enleminin (φ) hesabında kullanılır, kesin enlem bulunduğundan sonra elipsoid al yükseklik (h) hesaplanır.

Kapalı eşitlikler;

$$\begin{aligned}\varphi &= \arctan\left(\frac{Z + e'^2 b \sin^3 \theta}{\sqrt{X^2 + Y^2} - e^2 a \cos \theta}\right) \\ \lambda &= \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \\ h &= \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos \varphi} - N\end{aligned}\tag{3.17a}$$

şeklinde verilir. Bu eşitliklerde de,

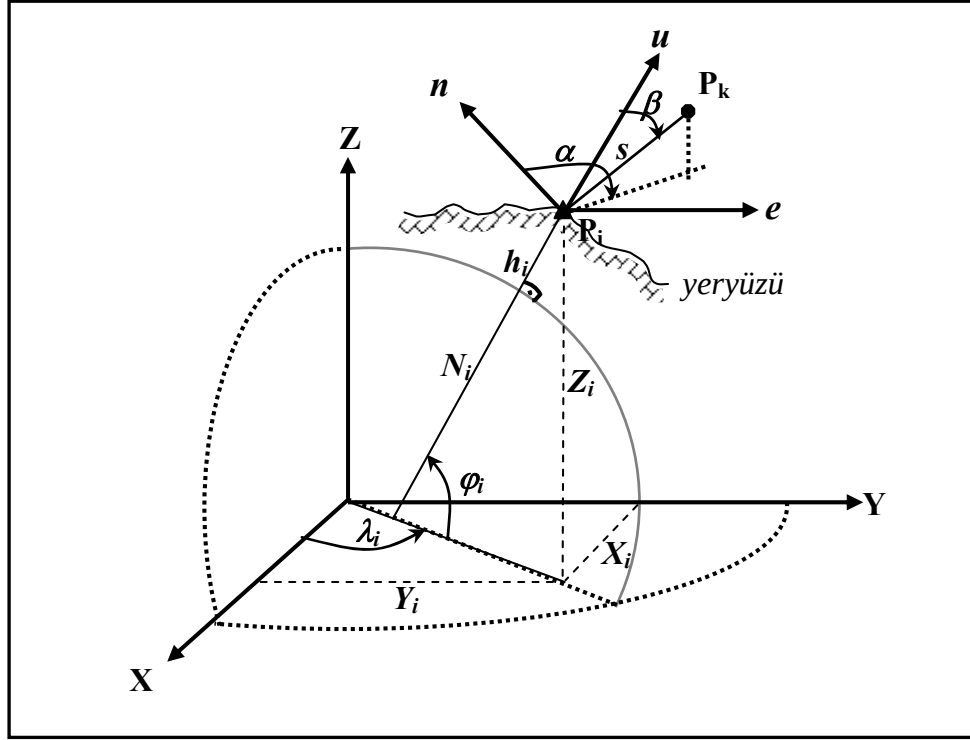
$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} ; \quad \theta = \arctan\left(\frac{Za}{b\sqrt{X^2 + Y^2}}\right)\tag{3.17b}$$

anlamındadır (Gao, 2004b; Leick, 1995; Seeber, 1993).

3.4.3 Lokal Jeodezik Koordinat Sistemi ($n, e, u - \alpha, \beta, s$)

Sistemin başlangıcı herhangi bir P noktasıdır. u eksen elipsoit normaline doğrultusunda olup artı yönü jeodezik başucunu gösterir. n eksen u eksenine dik ve P noktasının meridyen düzlemi içindedir ve artı yönü jeodezik kuzeyi gösterir. e eksen bir sol el sistemi oluşturacak biçimdedir ve artı yönü jeodezik doğuyu gösterir.

Lokal jeodezik kutupsal koordinatlar, lokal dik koordinat sistemindeki hedef noktasını sistemin merkezine bağlayan doğrultu ile tanımlanır. Başlangıç noktasından geçen meridyen veya kuzey eksen ile hedef doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki α açısı jeodezik azimut, elipsoit normali ile hedef doğrultusu arasındaki β açısı jeodezik zenit ve merkezi hedefe bağlayan doğrunun s uzunluğu noktayı tanımlayan parametrelerdir.



Şekil 3.2 : Lokal Jeodezik Koordinat Sistemi

Lokal jeodezik sistemde, kutupsal koordinatlardan (α, β, s) dik koordinatlara (n, e, u) geçiş eşitlikleri,

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ u \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos \alpha \sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \\ \cos \beta \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

olarak ifade edilir ve bu işlemin tersi olan dik koordinatlardan kutupsal koordinatlara geçiş eşitlikleri ise,

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan\left(\frac{e}{n}\right) \\ s &= \sqrt{n^2 + e^2 + u^2} \\ \beta &= \arccos\left(\frac{u}{s}\right) \end{aligned} \quad (3.19)$$

olarak verilir (Kahveci ve Yıldız, 2005; Gao, 2004b; Leick, 1995; Seeber, 1993).

3.4.4 Global ve Lokal Jeodezik Koordinat Sistemleri Arasındaki İlişkiler

Her iki koordinat sistemi P_i noktasından geçen elipsoit normali ile birbirine bağlı olduğundan 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 $R_3(\lambda)$ dönüklük matrisi ile çarpımına eşit olur. Y ekseninin $R_2[(\pi/2)-\varphi]$ kadar döndürülmesi sonucunda her iki sistemin eksenleri karşılıklı paralel duruma gelir. Her iki sistemin eksenleri birbirine paralel hale gelmiştir fakat $+X$ ve $+n$ eksenleri birbirine terstir bu durum S_I yansıma matrisi ile çözülür. Dönüklük ve yansıma matrisleri aşağıda verilmektedir (Leick, 1995; Seeber, 1993).

$$S_I = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

$$R_2[(\pi/2)-\varphi] = \begin{bmatrix} \sin \varphi & 0 & -\cos \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$R_3(\lambda) = \begin{bmatrix} \cos \lambda & \sin \lambda & 0 \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Bu matrisler yardımıyla koordinat sistemleri arasındaki ilişki,

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ u \end{bmatrix}_k = S_I R_2[(\pi/2)-\varphi_i] R_3(\lambda_i) \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ik} = R_{GL} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ik} \quad (3.23)$$

olur, Bu eşitlikteki R_{GL} dönüşüm matrisi,

$$\underline{R}_{GL} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

şeklinde. Bu dönüşüm matrisi başlangıç noktasının jeodezik koordinatlarına göre oluşturulur (Kahveci ve Yıldız, 2005; Gao, 2004b).

Bu işlemin tersi olan lokal jeodezik dik sistemden global jeodezik dik (kartezyen) sisteme geçiş eşitliği ise,

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ik} = \underline{R}_{LG} \begin{bmatrix} n \\ e \\ u \end{bmatrix}_k \quad (3.25)$$

şeklinde yazılır. Bu eşitlikteki,

$$\underline{R}_{LG} = \underline{R}_{GL}^{-1} = \underline{R}_{GL}^T \quad (3.26)$$

olur (Leick, 1995; Seeber, 1993).

Global ve lokal dik koordinatlar arasındaki geçiş eşitliklerinden başka, global dik koordinatlardan lokal kutupsal koordinatlara geçiş formülleri de aşağıdaki gibi türetilir. (3.23) numaralı eşitlik (3.19) numaralı eşitlikteki yerlerine yazılırsa, bu eşitlikler,

$$\begin{aligned} \alpha_{ik} &= \arctan\left(\frac{e_k}{n_k}\right) = \arctan\left(\frac{-\Delta X \sin \lambda + \Delta Y \cos \lambda}{-\Delta X \sin \varphi \cos \lambda - \Delta Y \sin \varphi \sin \lambda + \Delta Z \cos \varphi}\right) \\ \beta_{ik} &= \arccos\left(\frac{u_k}{s_{ik}}\right) = \arccos\left(\frac{\Delta X \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z \sin \varphi}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}}\right) \\ s_{ik} &= \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \end{aligned} \quad (3.27)$$

olur (Kahveci ve Yıldız, 2005; Gao, 2004b).

3.4.5 Yükseklik Sistemleri Arasındaki İlişki

Referans yüzeyi elipsoit olan elipsoidal yükseklik (h) ile referans yüzeyi geoit olan ortometrik yükseklik (H) arasındaki basit ilişki aşağıdaki gibi verilir (Şekil 3.3).

$$h = H + N \quad (3.28)$$

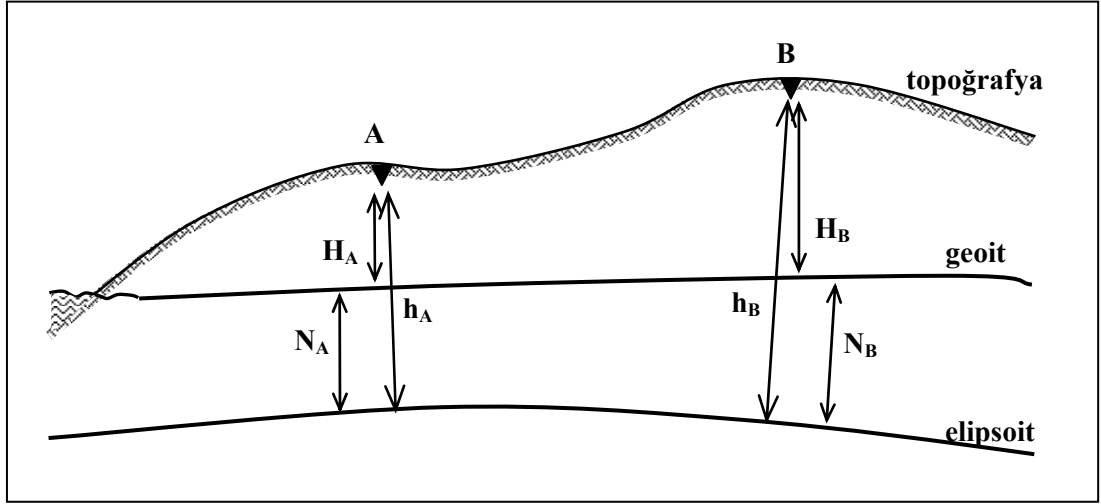
Bu eşitlikte geçen N değerine geoit yüksekliği (geoit ondülasyonu) denir ve geoidin referans elipsoidinden olan düşey uzaklığı olarak tanımlanır. (3.28) eşitliği, Şekil 3.3 de verildiği üzere, bir çalışma bölgesindeki A ve B gibi iki farklı nokta için yazılıp (eşitlik (3.29a)), bu eşitliklerin farkı alınırsa,

$$h_A = H_A + N_A ; h_B = H_B + N_B \quad (3.29a)$$

$$(h_B - h_A) = (H_B - H_A) + (N_B - N_A) \quad (3.29b)$$

$$\Delta h_{AB} = \Delta H_{AB} + \Delta N_{AB} \quad (3.29c)$$

olur.



Şekil 3.3 : Elipsoidal ve ortometrik yükseklik sistemi arasındaki ilişki

Burada, iki nokta arasındaki elipsoidal yükseklik farkı, GPS ölçülerinden türetilen bir geometrik büyüklük olup, nivelman ölçülerinden (ve gravite ölçülerinden) türetilen ortometrik yükseklik farkı ile doğrudan doğruya karşılaştırılamaz. Elipsoidal yükseklik ile ortometrik yükseklik arasındaki ilk önemli fark bunların sahip oldukları referanslardır. Bilindiği gibi elipsoidal yüksekliklerin referans yüzeyi elipsoit (WGS84 elipsoidi), ortometrik yüksekliklerin referans yüzeyi ise geoid dir. İkinci fark ise bu kavramların doğrultularından kaynaklanmaktadır. Elipsoit normali ile geoid normali arasındaki açısal farka jeodezide çekül sapması denir. Nivelman ölçülerinin GPS ölçüleri ile birlikte dengelenebilmesi için ΔH_{AB} yükseklik farklarının GPS ölçülerinin tanımlandığı koordinat sisteminde ifade edilmesi gerekmektedir.

Tezde yer alan dengelemeye konu olan ölçmeler, deniz seviyesi sayılabilecek bir yükseklikte ($H \cong 15-20 \text{ m}$) gerçekleştirilmiştir. İkinci olarak ölçme noktaları yatay düzlemde sayılabilecek kadar engebesiz bir topoğrafyada yer almaktadır. Ve üçüncü olarak ta noktalar arasındaki uzaklıklar çok kısadır ($S \cong 200 \text{ m}$). Pek çok deformasyon ölçmesi probleminde ortaya çıkabilecek bu özel durumlar elipsoit ve geoid normalleri arasındaki sapmanın yükseklik farklarına etkisinin ve iki nokta arasındaki geoid yükseklik farkının (ΔN_{AB}) göz ardı edilebilmesine olanak verir. Gerçektende lokal astronomik sistemde tanımlı ΔH_{AB} yükseklik farklarının global jeodezik sisteme dönüştürülmesinin göz ardı edilmesiyle ortaya çıkacak hata, hem GPS tekniği hem de presizyonlu nivelman ölçmelerinin hatalarının çok altında kalır.

Diğer yünden de, bu çalışmaya konu olan nivelman yükseklik farkı ölçüleriyle bunlara karşılık gelen GPS ölçülerinden türetilen yükseklik farklarının karşılaştırılmasından ortaya çıkan küçük farkların dağılımları incelendiğinde, bir sistematik olmadığı, tamamen rastlantısal görünümde oldukları ve ümit değerlerinin sıfır alınabileceği gözlenmektedir.

3.4.6 Global Jeodezik Sistemde Bütünleşik Dengelemenin Matematik Modeli

3.4.6.1 Fonksiyonel Model

Dengelemenin düzeltme denklemi olan $\hat{\underline{\ell}} = \underline{\ell} + \underline{v} = \underline{A} \hat{\underline{x}}$ ifadesinde yer alan $\underline{\ell}$ ölçmeleri, nivelmandan elde edilen yükseklik farkları (ΔH) ile GPS tekniğinin faz farkı ölçmelerinden, iki ağ noktası için ön hesaplarla türetilen, global jeodezik sistem içinde tanımlı $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ elipsoidal (jeodezik) dik koordinat farkları yada $\Delta\varphi, \Delta\lambda, \Delta h$ elipsoidal koordinat farklarıdır. $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ veya $\Delta\varphi, \Delta\lambda, \Delta h$ iki ağ noktası ile karakterize edilen bazın bileşenleri adını almaktadır.

Bu kısa açıklamadan görüldüğü gibi dengeleme hesabının bilinmeyenleri ya ağ noktalarının kartezyen koordinatları (X, Y, Z) ya da elipsoidal jeodezik koordinatları (φ, λ, h) olacaktır.

Bilinmeyen olarak φ, λ, h seçildiğinde baz bileşenlerinin de ön hesaplarla belirlenen $\Delta\varphi, \Delta\lambda, \Delta h$ olarak hesaplanması mantıklı olur. Düzeltme denklemleri $\varphi^0, \lambda^0, h^0$ yaklaşık koordinatları ve $\hat{\varphi} = \varphi^0 + \delta\varphi, \hat{\lambda} = \lambda^0 + \delta\lambda, \hat{h} = h^0 + \delta h$ eşitlikleri ile her baz için

$$\begin{aligned} v_{\Delta\varphi_{ik}} &= -\delta\varphi_i & + \delta\varphi_k & + \Delta\varphi_{ik}^0 - \Delta\varphi_{ik} \\ v_{\Delta\lambda_{ik}} &= -\delta\lambda_i & + \delta\lambda_k & + \Delta\lambda_{ik}^0 - \Delta\lambda_{ik} \\ v_{\Delta h_{ik}} &= -\delta h_i & + \delta h_k & + \Delta h_{ik}^0 - \Delta h_{ik} \end{aligned} \quad (3.30a)$$

olarak ve nivelmanla ölçülen her yükseklik farkı için

$$v_{\Delta H_{ik}} = -\delta h_i + \delta h_k + \Delta h_{ik}^0 - \Delta H_{ik} \quad (3.30b)$$

olarak yazılır.

Bilinmeyen olarak ağ noktalarının kartezyen koordinatları X, Y, Z seçildiğinde, baz bileşenlerinin de ön hesaplarla belirlenen $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ olarak hesaplanması uygun olur. Bu durumda düzeltme denklemleri X^0, Y^0, Z^0 yaklaşık koordinatları ve $\hat{X} = X^0 + \delta X, \hat{Y} = Y^0 + \delta Y, \hat{Z} = Z^0 + \delta Z$ eşitlikleri ile her baz için,

$$\begin{aligned} v_{\Delta X_{ik}} &= -\delta X_i & + \delta X_k & + \Delta X_{ik}^0 - \Delta X_{ik} \\ v_{\Delta Y_{ik}} &= -\delta Y_i & + \delta Y_k & + \Delta Y_{ik}^0 - \Delta Y_{ik} \\ v_{\Delta Z_{ik}} &= -\delta Z_i & + \delta Z_k & + \Delta Z_{ik}^0 - \Delta Z_{ik} \end{aligned} \quad (3.31a)$$

olarak ve nivelmanla ölçülen her yükseklik farkı için

$$v_{\Delta H_{ik}} = f_{\Delta H_{ik}}(X_i, Y_i, Z_i, X_k, Y_k, Z_k) - \Delta H_{ik} \quad (3.31b)$$

olarak yazılır. Burada ölçülen ΔH_{ik} yükseklik farkı, kartezyen koordinatların bir fonksiyonu olarak (3.23) ve (3.24) numaralı eşitliklerden

$$\Delta h = \cos \varphi \cos \lambda \Delta X + \cos \varphi \sin \lambda \Delta Y + \sin \varphi \Delta Z \quad (3.31c)$$

olarak elde edilir. Bu eşitlik bilinmeyenlerin yaklaşık değerlerine göre yazılırsa

$$\Delta H_{ik}^0 = \cos \varphi_i^0 \cos \lambda_i^0 \Delta X_{ik}^0 + \cos \varphi_i^0 \sin \lambda_i^0 \Delta Y_{ik}^0 + \sin \varphi_i^0 \Delta Z_{ik}^0 \quad (3.31d)$$

olur. Burada,

$$\begin{aligned} b_1 &= \cos \varphi_i^0 \cos \lambda_i^0 \\ b_2 &= \cos \varphi_i^0 \sin \lambda_i^0 \\ b_3 &= \sin \varphi_i^0 \end{aligned} \quad (3.31e)$$

olarak kısaltılır ve bu eşitlik lineerleştirilirse

$$\Delta H_{ik} = \Delta h_{ik}^0 - b_1 \delta X_i + b_1 \delta X_k - b_2 \delta Y_i + b_2 \delta Y_k - b_3 \delta Z_i + b_3 \delta Z_k \quad (3.31f)$$

olur. Böylece nivelmanla elde edilen yükseklik farkı için lineer düzeltme denklemi

$$v_{\Delta H_{ik}} = -b_1 \delta X_i - b_2 \delta Y_i - b_3 \delta Z_i + b_1 \delta X_k + b_2 \delta Y_k + b_3 \delta Z_k + \Delta h_{ik}^0 - \Delta H_{ik} \quad (3.31g)$$

elde edilir.

3.4.6.2 Stokastik Model

Dengelemeye konu olan GPS ölçü elemanları ΔX , ΔY , ΔZ , GPS tekniğinde pseudo uzaklık (pseudorange) denilen ve faz farkı yöntemiyle ölçülen uydu-yer istasyonu arasındaki uzaklıklardan türetilir. Bu nedenle de iki ağ noktası arasındaki uzaklığın bileşenleri olan ΔX_{ik} , ΔY_{ik} , ΔZ_{ik} öncelikle kendi aralarında korelasyonludur. Ayrıca bir uydu sinyali aynı zamanda farklı ağ noktalarında bulunan alıcılar tarafından da kayıt edildiğinden, iki ağ noktası arasındaki baz bileşenleri bir kez de diğer ΔX_{kj} , ΔY_{kj} , ΔZ_{kj} baz elemanları ile korelasyonludur. Ancak bu çalışmada aynı oturumda çözülen bazlar arasındaki korelasyon değerleri ihmal edilmiş ve sadece aynı baza ait ΔX , ΔY , ΔZ baz bileşenleri arasındaki korelasyonlar dikkate alınmıştır. Söz konusu olan matematiksel bir korelasyondur ve GPS ölçülerinin baz çözümleri adı verilen ön değerlendirme aşamasında, ölçü elemanlarının doğruluklarıyla birlikte hesaplanabilmektedir.

Deformasyon analizine temel oluşturan dengeleme hesabı için GPS ölçü elemanları ΔX , ΔY , ΔZ ve bu elemanlara ilişkin varyans-kovaryans matrisleri dengeleme probleminin verileri arasındadır. Diğer yönden nivelman ölçüleri hem kendi aralarında hem de GPS ölçülerinden bağımsızdır. Bunların doğrulukları $\sigma_{\Delta H}$ gidiş-dönüş ölçü farklarından veya lup kapanmalarından hesaplanabilir.

GPS ve nivelman ölçülerine ait kofaktörler matrisi,

$$\underline{Q}_{3B_i} = \begin{bmatrix} \underline{Q}_i^G & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{Q}_i^L \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

olarak oluşturulmaktadır. Bu eşitlik açık şekilde yazılırsa 3B bütünleşik dengelemenin varyans-kovaryans matrisi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$\underline{\Sigma}_{3B_i} = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta X}^2 & \sigma_{\Delta X \Delta Y} & \sigma_{\Delta X \Delta Z} & 0 \\ \sigma_{\Delta Y \Delta X} & \sigma_{\Delta Y}^2 & \sigma_{\Delta Y \Delta Z} & 0 \\ \sigma_{\Delta Z \Delta X} & \sigma_{\Delta Z \Delta Y} & \sigma_{\Delta Z}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta H}^2 \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

3.4.6.3 Varyans Bileşeni Tahmini (VBT)

Dengeleme hesabında stokastik model oluşturmada kullanılan bir başka yöntemde Varyans Bileşeni Tahmini (VBT) yöntemleridir. Bu yöntemde dengelemeye konu olan ölçülerin gerçekçi doğrulukları, dengeleme sonuçlarından yararlanılarak hesaplanır. Dengeleme işlemi ikinci bir kez yeni ağırlık matrisleriyle gerçekleştirilir.

VBT problemine ilk çözüm, 1924 yılında Helmert tarafından önerilmiştir (**Helmert, 1924**). Daha sonra, 1970 yılında C. R. Rao, Helmert'in geliştirdiği yöntemden haberdar olmaksızın, "Minimum Norm Quadratic Unbiased Estimation" (MINQUE) yöntemini önermiştir (**Rao, 1970**). Jeodezik ölçülerin normal dağılımda oldukları varsayıldığında, Helmert ve Rao tarafından önerilen her iki VBT yaklaşımı birbirlerine özdeşirler. Helmert ile başlayan ve günümüze kadar geliştirilen farklı VBT teknikleri kronolojik olarak, stokastik ve fonksiyonel modellerine göre **Erol (2007)** ve **Fotopoulos (2003)** de ayrıntılı olarak verilmektedir.

VBT teknikleri özellikle türdeş olmayan ölçülerin aynı dengeleme modeli içinde yer alması söz konusu olduğunda kullanılmaktadır. Bu kapsamda özellikle uydu bazlı ölçüler ile yersel ölçülerin kombinasyonu önemli bir uygulama alanıdır. Bu konuda yapılan bir çok çalışma bulunmaktadır. Presizyonlu mutlak konum belirlemek için GPS kod ve faz ölçülerinin kombinasyonu (**Tiberius ve Kenselaar, 2003**), GPS baz vektörlerinin kombinasyonu (**Crocetto ve diğ., 1999; Ananga ve diğ., 1994**), GPS konum doğruluğunu iyileştirmek için GPS faz ölçülerinden elde edilen ikili farkların kombinasyonu (**Wang ve diğ., 1998; Satirapod ve diğ., 2002**), SLR ölçülerinin kombinasyonu (**Kızılsu, 1998; Şahin, 1992**), presizyonlu geoit yüzeyi belirlemek için GPS, nivelman ve geoit yüksekliklerinin kombinasyonu (**Erol, 2007; Fotopoulos, 2005; Fotopoulos ve diğ., 2005; Fotopoulos, 2003; Fotopoulos, ve Sideris, 2003; Fotopoulos ve diğ., 2001; Fotopoulos ve diğ., 1999; Kotsakis ve Sideris, 1999**), 1B deformasyonların belirlenmesi amacı ile GPS ve nivelman ölçülerinin kombinasyonu (**Erol ve diğ., 2007b; İzvoltová, 2004**) bu konuda yapılan çalışmalara örnek olarak sayılabilir.

Varyans bileşenlerinin hesabında, kullanılmakta olan pek çok yöntem vardır (**Hsu, 1999; Crocetto ve diğ., 2000; Hsu, 2001**). Ancak bunlardan C.R. Rao tarafından geliştirilen MINQUE yöntemi uygulamada en çok tercih edilenidir. Bu çalışmada da bu yöntem kullanıldığından burada kısaca açıklanacaktır.

Yöntemin genel teorisi ve hesaplama algoritması, **Rao (1970), Rao (1971), Rao ve Mitra (1971)** ve **Rao ve Kleffe (1988)** de ayrıntılı olarak verilmektedir. MINQUE, bir karesel form yaklaşımı olup, minimum norm kriterini optimal olarak sağlayan kestirimi araştırır. Bu yöntemin nivelman ağlarına uygulanması, **Chen ve Chrzanowski (1985)** de, GPS ağlarında uygulanması, **Wang ve diğ. (1998)** de ve deformasyon analizi amaçlı çalışmalara uygulanması **Erol ve diğ. (2007b)** de konu edilmektedir.

Dengelemeye konu olan türdeş olmayan ölçüler türlerine göre k gruba ayrılırsa, her bir grup için hesaplanacak öncül varyanslar σ_{0i}^2 olmak üzere tüm ölçüler için varyans-kovaryans matrisi aşağıdaki gibi olur (**Fotopoulos ve Sideris, 2003; Sjöberg, 1995; Caspary, 1987; Sjöberg, 1984**).

$$\underline{\Sigma}_\ell = \begin{bmatrix} \sigma_{01}^2 \underline{Q}_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{02}^2 \underline{Q}_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{0k}^2 \underline{Q}_k \end{bmatrix} \quad (3.34a)$$

HELMERT-VBT yöntemine benzer olarak, MINQUE-VBT yönteminin çözümü için, RAO denklemi olarak anılan

$$\underline{S} \underline{\sigma}_{0i}^2 = \underline{q} \quad (3.34b)$$

bağıntısından hareket edilir. Bu ifade açık matris formunda yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1k} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{k1} & s_{k2} & \dots & s_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{01}^2 \\ \sigma_{02}^2 \\ \dots \\ \sigma_{0k}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_k \end{bmatrix} \quad (3.34c)$$

olur. $\underline{S}$ matrisinin s_{ij} elemanları ve $\underline{q}$ vektörünün karesel formu gösteren q_i elemanları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmektedir.

$$s_{ij} = iz(\underline{R} \underline{Q}_i \underline{R} \underline{Q}_j) ; \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (3.34d)$$

$$q_i = \underline{v}_i^T \underline{Q}_i^{-1} \underline{v}_i = \underline{\ell}_i^T \underline{R} \underline{Q}_i \underline{R} \underline{\ell}_i \quad (3.34e)$$

Burada $\underline{R}$ matrisi, simetrik bir matris olup RAO matrisi olarak adlandırılmakta ve aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\underline{R} = \underline{\Sigma}_\ell^{-1} [\underline{I} - \underline{A}(\underline{A}^T \underline{\Sigma}_\ell^{-1} \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{\Sigma}_\ell^{-1}] \quad (3.34f)$$

Yukarıdaki eşitliklerde geçen $\underline{Q}_i$ matrisleri her grup ölçü için pozitif tanımlı kofaktör matrisleridir. Karesel formların hesaplanmasında kullanılan $\underline{v}_i$ değerleri, her bir ölçü grubundaki $\underline{\ell}_i$ ölçüleri için, ilk (öncül) dengelemeden elde edilen düzeltmelerdir. $\underline{R}$ matrisinde yer alan $\underline{A}$ ve $\underline{\Sigma}_\ell$ terimleri öncül dengelemenin katsayılar matrisi ve ölçülerin varyans-kovaryans matrisidir.

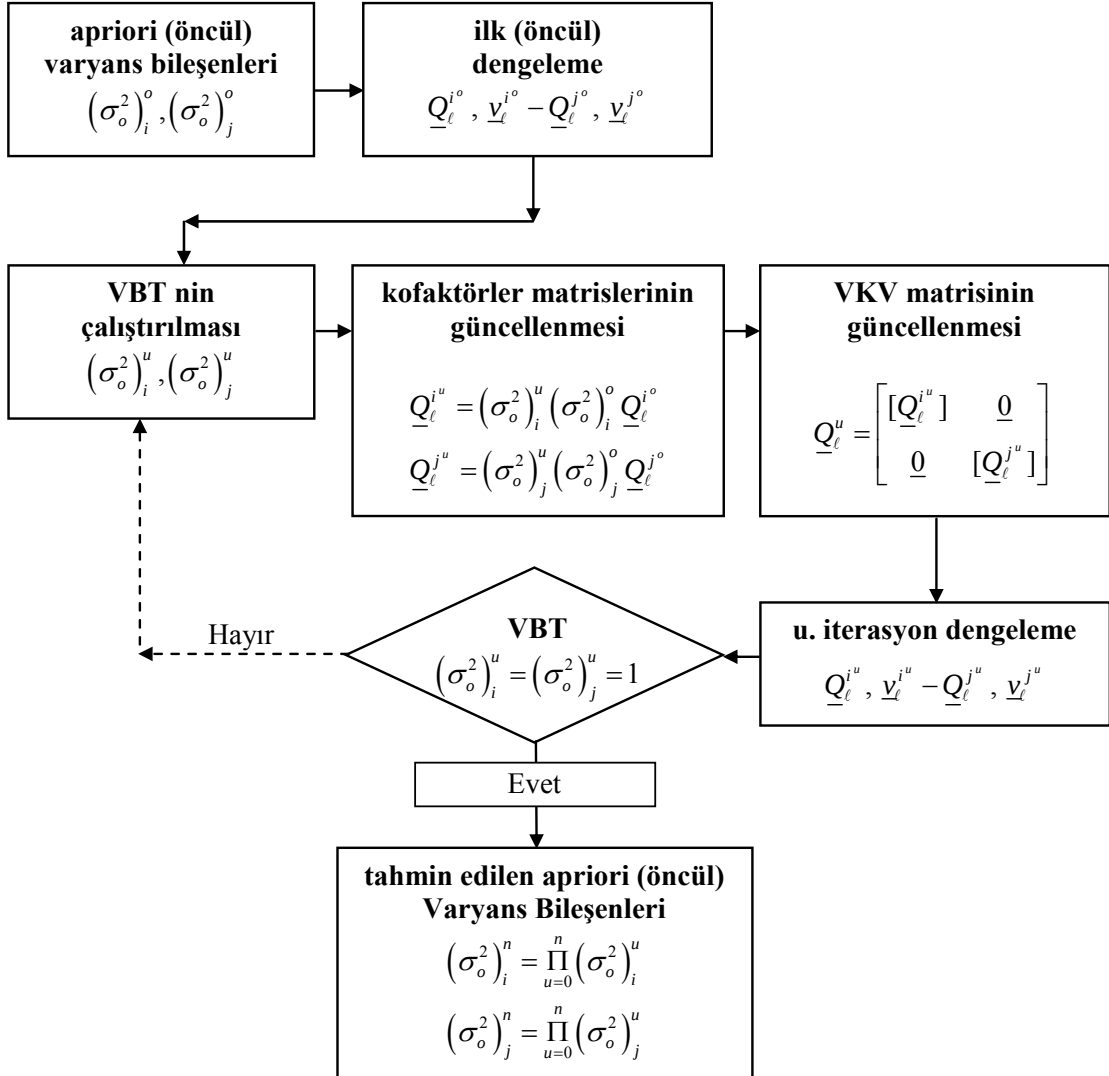
(3.34d) ve (3.34e) eşitlikleri (3.34c) eşitliğinde yerine konursa, aşağıdaki genel eşitlik elde edilir.

$$\begin{bmatrix} iz(\underline{RQ}_i \underline{RQ}_i) & iz(\underline{RQ}_i \underline{RQ}_j) & & iz(\underline{RQ}_i \underline{RQ}_k) \\ iz(\underline{RQ}_j \underline{RQ}_i) & iz(\underline{RQ}_j \underline{RQ}_j) & & iz(\underline{RQ}_j \underline{RQ}_k) \\ & & & \\ iz(\underline{RQ}_k \underline{RQ}_i) & iz(\underline{RQ}_k \underline{RQ}_j) & & iz(\underline{RQ}_k \underline{RQ}_k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{0i}^2 \\ \sigma_{0j}^2 \\ \\ \sigma_{0k}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\ell}_i^T \underline{RQ}_i \underline{R} \underline{\ell}_i \\ \underline{\ell}_j^T \underline{RQ}_j \underline{R} \underline{\ell}_j \\ \\ \underline{\ell}_k^T \underline{RQ}_k \underline{R} \underline{\ell}_k \end{bmatrix} \quad (3.34g)$$

Bu eşitlik ile σ_{0i}^2 , σ_{0j}^2 , σ_{0k}^2 varyans bileşenlerinin hesaplanacağı denklem elde edilmiş olur. Burada açıklanan varyans bileşenleri hesabı, bir öncül (ilk) dengeleme sonuçlarından yararlanmaktadır. Bu dengelemede öncül varyanslar ya alışılmış yöntemlerle belirlenir yada tüm ölçü grupları için eşit olarak ele alınır ve işleme iterasyonla devam edilir.

İlk MINQUE-VBT iterasyonundan hesaplanan $(\sigma_{0i}^2)^1$ varyans değerleri, bir sonraki dengelemede “*yeni*” öncül varyans değerleri olarak kabul edilir ve iterasyonlara böylelikle devam edilir. MINQUE algoritması iteratif olmasından dolayı iteratif MINQUE (iMINQUE) olarak adlandırılır. Her ölçü grubu için elde edilen öncül varyans değerleri birbirine eşit ($\sigma_{0i}^2 = \sigma_{0j}^2 = = \sigma_{0k}^2 = 1$) olduğunda, iterasyonlara son verilir. Sonuç olarak her ölçü grubunun öncül varyans bileşeninin son değeri iterasyonlar sonucu bulunan değerlerin çarpımına eşit olur ve aşağıdaki formülle elde edilir (eşitlik (3.35)). iMINQUE algoritmasının işlem adımları Şekil 3.4 de verilmektedir.

$$\sigma_{0i}^2 = \prod_{u=0}^n (\sigma_{0i}^2)^u \quad (3.35)$$



Şekil 3.4 : iMINQUE akış şeması (ölçü grupları $(i,j= 1,2,...k)$ ve iterasyon sayısı $(u=1,2,...n)$)

Bu başlıklar altında oluşturulan 1B bütünleşik stokastik ve fonksiyonel modelleri içeren matematiksel model, çalışmanın ileriki bölümlerinde, Varyans Tahminli Tek Boyutlu (1B) Bütünleşik Dengeleme Modeli (**VTBD1B**) olarak 3B bütünleşik stokastik ve fonksiyonel modelleri içeren matematiksel model ise Varyans Tahminli Üç Boyutlu (3B) Bütünleşik Dengeleme Modeli (**VTBD3B**) olarak adlandırılmıştır.

4. DEFORMASYON ANALİZİ

4.1 Genel Tanımlar

Büyük yapıların gerek inşası sırasında, gerekse yapının bitiminden sonra çevrenin yapıya etkisiyle veya yükleme nedeniyle yapıda meydana gelebilecek geometrik şekil değişimlerinin saptanması, çökme ve heyelanların belirlenmesi, buzulların hareketlerinin belirlenmesi, ya da yeryüzü kabuk hareketlerinin saptanması için yapılan ölçmelere “Deformasyon ölçmeleri”, bu ölçülerin değerlendirilerek deformasyonların saptanması ve yorumlanmasına da “Deformasyon Analizi” adı verilmektedir (Caspary, 1987; Özlüdemir, 1993).

Bir mühendislik yapısının güvenlik limitleri içinde hareket edip etmediğinin ve güvenli olup olmadığının kararının verilmesi için, yapının hareketlerinin uygun bir teknik ile izlenmesi ve olası deformasyonlarının analiz edilmesi gerekmektedir. En uygun izleme tekniğinin seçilmesi ve kullanılmasında temel olarak göz önünde bulundurulacak kriterler geniş biçimde giriş bölümünde verilmektedir. Belirtilen bu kriterler göz önünde bulundurularak, bir mühendislik yapısının izlenmesinde, jeodezik ya da jeodezik olmayan (jeoteknik-yapısal) izleme teknikleri ayrı ayrı veya beraber olarak kullanılabilir (Erol ve diğ., 2007b; Ogaja, 2002; USACE, 2002; Chrzanowski ve Chrzanowski, 1995).

Jeodezik olmayan teknikler genellikle kısa bazlarda başarılıdır, kullanımları kolaydır ve sürekli izleme gerektiren çalışmalara daha uygundur, yapının kendi içindeki rölatif deformasyonlarını gösterir ve başka bir teknikle mutlaka doğruluğu kontrol edilmelidir. Buna karşın jeodezik teknikler, sabit referans noktalarına göre yapının mutlak deformasyonlarını ve buna ek olarak yapı üzerindeki noktalar arasındaki rölatif deformasyonları da göstermektedir (Teskey, 1988; USACE, 2002). Bununla beraber Jeodezik deformasyon izleme teknikleri kendi içinde yersel (noktalar arası açı-uzunluk ve yükseklik farkı ölçmeleri) ve uydu (yapay veya doğal uydulara olan

uzaklık ölçmeleri ve buna bağlı belirlenen noktalar arası baz bileşenleri) teknikleri olarak sınıflandırılabilir.

1980'li yılların başlarına kadar, büyük mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesi ve araştırılmasında, konvansiyonel (klasik) ölçme teknikleri kullanılmaktaydı. Uydu teknolojilerindeki hızlı gelişmeler ve bu tekniklerin jeodezik uygulamalarda kullanılmaya başlanması, deformasyon ölçmeleri ve analizi çalışmalarında da etkisini göstermiştir (**Erol ve Ayan, 2003**). GNSS tekniklerinden GPS tekniği, gerek dünyada, gerekse de ülkemizde jeodezik uygulamalarda yaygın biçimde ve yoğun olarak kullanılmaktadır.

GPS tekniği, santimetre ve hatta bazı koşullar sağlandığında milimetre mertebesindeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılabilen bir yöntemdir (**Beutler ve diğ., 2001; Hartinger ve Brunner, 1998**). Uluslararası ve ulusal çalışmalarda, GPS tekniği tek başına yada başka bir teknikle beraber tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu deformasyonların belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak, sadece GPS tekniği kullanılarak, dünyada, köprü ve viyadük deformasyonlarının araştırılması (**Wieser ve Brunner, 2002; Roberts ve diğ., 2002**), barajlardaki deformasyonların araştırılması (**Hudnut, 1996**), çevresel etkiler ile yapı hareketlerinin araştırılması (**Ogaja, 2001; Guo ve Ge, 1997**), heyelanların izlenmesi (**Hartinger ve Brunner, 2000**), yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi (**Hwang ve diğ., 2004; Kim ve diğ., 2003; Vermeer, 2002; Chen ve Kakkuri, 1993**) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde ise, sadece GPS tekniği kullanılarak, iki boyutlu ve üç boyutlu yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi, gerilme analizleri (**Ayan ve diğ., 2004; Denli, 2004; Denli ve Deniz, 2003; Denli, 1998**) ve heyelanların izlenmesi (**Acar ve diğ., 2004**) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sadece GPS ölçmeleriyle gerçekleştirilen yukarıdaki çalışmalara ek olarak GPS ve yersel tekniklerinin kombinasyonu, dünyada, yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi (**Liu ve Chen, 1998; Dong ve diğ., 1998**), tek boyutlu hareketlerin belirlenmesi (**Bitelli ve diğ., 2000; Chang, 2000; Kapovic ve diğ., 2000; Chen ve Chrzanowski, 1990; Leal, 1989; Chrzanowski ve diğ., 1989**) çalışmaları ve ülkemizde, jeolojik sebeplerden kaynaklanan 1B ve 3B yapı (viyadük) hareketlerinin araştırılması (**Leinen ve diğ., 1999; Erol ve diğ., 2007b**), tek boyutlu hareketlerin belirlenmesi (**Gökalp, 1994**) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Buraya kadar sayılan

alışmalara ek olarak, sürekli GPS izleme teknikleri bir çok çalışmada uzun süreli deformasyon izlemeleri için büyük bir başarı göstermiştir. Pacoima barajı yapısal hareketlerinin sürekli GPS lmeleri ile izlenmesi **(Hudnut ve Behr, 1998; Behr ve diğ., 1998)** ve SWEPOS sistemi buzul altı bölgelerde deformasyonların sürekli GPS gözlemleri ile izlenmesi bu konudaki çalışmalara iyi birer örnektirler **(Hedling ve diğ., 2001; Scherneck ve diğ., 1998)**.

Yapıların sürekli olarak, GPS tekniğı ile veya jeodezik olmayan lme teknikleri ile izlenmesinden elde edilen, deformasyon amaçlı zaman serileri, zamana ve frekansa dayalı analiz teknikleriyle analiz edilirler. Zamana bağlı analiz tekniklerinde, korelasyon teknikleri kullanılarak zaman serilerindeki periyodik hareketler ortaya çıkarılır, ortaya çıkarılan bu periyodik hareketlerin büyüklükleri ise frekansa bağlı spektral analiz teknikleriyle belirlenir. Jeodezik amaçlı zaman serilerinin spektral analizleri genellikle, **Pagiatakis (1999), Wells ve diğ. (1985)** ve **Vaniek (1971)** de verilen En Kk Kareler Spektral Analizi (EKKSA-LSSA) tekniğı ile, zamansal analizleri ise **Box ve diğ. (1994)** ve **Pytharouli ve diğ. (2004)** de verilen oto korelasyon ve çapraz korelasyon teknikleri yardımıyla gerçekleştirilir. **Erol ve diğ. (2007a)**, dijital eğim ölçerlerle elde edilen zaman serileri ile yüksek yapılardaki deformasyonların EKKSA ile belirlenmesine, **Erol ve diğ. (2006a)** ve **Erol ve diğ. (2006b)**, ISTA-IGS istasyonunun hareketlerinin, dijital eğim ölçerlerle ve sürekli GPS gözlemleriyle elde edilen zaman serilerinin EKKSA ve Dalgacık (Wavelet) Analizine (D(W)A) göre analiz edilmesine, **Erol ve Erol (2006)** ise, mareograf istasyonlarında kayıt edilen deniz seviyesi değişimlerini içeren zaman serilerinin EKKSA ve D(W)A analizine göre analiz edilmesine örnek olarak gösterilebilir.

Teknolojideki gelişmelerin deformasyon analizine yukarıda açıklanan etkileri yanında, yöntemde yer alan jeodezik ağ geleneğinin hala sürdüğü söylenebilir. Deformasyon analizine konu bölge ya da yapı, genellikle, tesis edilmiş bir dizi noktayla temsil edilir. Bu nokta kümesi, yapılan jeodezik ölçmelerle bir jeodezik ağa dönüşür. Bu ağlar genellikle lokal ağlar olarak kurulur. Bu şekilde deformasyonların belirlenmesi amaçlı kurulan ağlar “Kontrol Ağları” olarak tanımlanır **(Tait, 2004; Biacs, 1989; Ayan, 1981; Ayan, 1982)**.

Ağ noktalarının seçimi bir çok durumda, arazinin topografyası ya da yapının durumuna bağlıdır. Nokta sayısı ise doğrudan doğruya analize konu olan bölge veya

yapıya, ya da deformasyonların beklenen yerine ve büyüklüğüne bağlıdır. Kontrol ağı üç ayrı özellikteki noktalardan oluşur. Bunlar, “Deformasyon (Obje) Noktaları”, “Sabit (Referans) Noktalar” ve “Yöneltme Noktaları” dır. Deformasyon noktaları, deformasyon incelemesine konu olan bölgeyi temsil edebilme özelliklerine sahip ekstrem deformasyon değerlerinin beklediği yerlerde ve genellikle yapı üzerinde seçilir. Üzerinde ölçme yapılabilecek olanların işareti pilye, diğerlerinin işaretleri ise uzun yıllar kaybolmayacak kalıcı ölçme işaretleri olur. Sabit (Referans) noktalar, deformasyon noktalarının kontrolü amacıyla deformasyon beklenmeyen yerlerde pilye olarak tesis edilen, uzun süre sabit kalacağı düşünülen noktalardır. Yöneltme noktaları, tesis edilen kontrol ağının yönlendirilmesi için kullanılmakta olup, günümüzde bu noktalar pek kullanılmamaktadır (Tait, 2004; Biacs, 1989; Ayan, 1981; Ayan, 1982).

Bir bölge ya da yapının deformasyonlarının belirlenmesi için, farklı zamanlarda, tesis edilen jeodezik kontrol ağındaki ölçüler, tekrarlanır. Yineleme ölçüleri arasındaki zaman (ölçme periyodu), muhtemel deformasyonların büyüklüğüne veya yapıya etkileyen kuvvetlerin değişimine bağlı olarak belirlenir. Ağda yapılan ilk ölçüler, “Sıfır ölçüsü” veya “Referans ölçüsü” adını alır. Yineleme ölçüleri ise, yineleme sırasına göre, 1. yineleme ölçüsü, 2. yineleme ölçüsü olarak, veya, t_1 ölçü grubu, t_2 ölçü grubu olarak adlandırılır.

Deformasyonların konvansiyonel (geleneksel-klasik-yersel) ölçme teknikleri ya da uydu teknikleri kullanılarak, statik modele göre jeodezik ölçülerle belirlenmesinde, iki-kampanyalı analiz yaklaşımı kullanılır. Bu yaklaşım, her bir ölçme kampanyasındaki ölçülerin, bağımsız olarak, En Küçük Kareler yöntemi ile dengelenmesi, global uygunluk testi ve iki kampanya arasındaki deformasyonların geometrik olarak irdelenmesi olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır (Niemeier ve diğ., 1982; Teskey ve Biacs, 1990; Chrzanowski ve diğ., 1991).

Birinci adımda t_1 ve t_2 zamanlarında gerçekleştirilmiş olan kampanyalardan elde edilen ölçüler, serbest ağ dengelemesi yaklaşımı ile ayrı ayrı dengelenir. Hesaplamalar sırasında, tüm ağ noktalarında deformasyon olabileceği varsayılır ve genel iz minimum çözümü yapılır. Ayrıca her iki kampanyadaki ölçülerin dengelemesinde, bilinmeyenlerin yaklaşık koordinatları olarak, aynı değerler

kullanılır. Her iki kampanya ölçülerinin dengelenmesinde, Bölüm 3’de açıklanan model testleri uygulanır, uyuşumsuz ölçüler ayıklanır.

İkinci adımda, $\Delta t = t_2 - t_1$ zaman aralığında sabit kalan ağ noktalarının belirlenmesi amacıyla, global uygunluk testi uygulanır. Global test aşamasında t_1 ve t_2 kampanyalarında elde edilen ölçüler, bütünleşik serbest ağ dengelemesi yaklaşımı ile dengelenir (Ayan,1982; Ayan, 1983; Ayan ve diğ., 1991). İki kampanyalı analizde, global uygunluk testi işlemine geçilmeden önce her iki ölçme kampanyasının serbest dengelemesinden elde edilen dengeleme sonrası (soncul (a-posteriori)) varyans (s_{01}^2 , s_{02}^2) değerlerinin kurulan sıfır hipotezine ($H_0: s_{01}^2 = s_{02}^2$) ve F-testine göre test edilmesi ve bu iki varyans değerinin ümit değerlerinin birbirine eşit olduğunun ispatlanması gerekmektedir. Eğer bu iki varyans değerinin birbirine eşitliği istatistiksel olarak kabul edilemezse, bu iki ölçme kampanyası için ortak bir varyans değeri türetilemez. Bu durumda, iki ölçü kampanyasının serbest dengelemeleri sırasında kurulan stokastik modellerin hatalı olduğuna karar verilir ve her iki ölçü kümesi için uygun stokastik modeller kuruluncaya kadar analiz işlemine başlanamaz (Chen, 1983; Caspary, 1987; Biacs, 1989; Setan, 1995; Setan, 1997).

Global uygunluk testi sonucu ağda bir şekil değiştirme olduğu sonucuna varılırsa, üçüncü adım olarak deformasyon büyüklüklerinin belirlenmesi ve lokalize edilmesi adımına geçilir.

4.2 Deformasyonların Belirlenmesi

4.2.1 Global Uygunluk Testi

Tesis edilen jeodezik kontrol ağının t_1 zamanında yapılan ölçüleri $\underline{\ell}_1$ ve t_2 zamanında yapılan ölçüleri $\underline{\ell}_2$ vektörleriyle ve koordinat bilinmeyenleri de sırasıyla $\underline{x}_1$ ve $\underline{x}_2$ vektörleriyle gösterilirse, bu durumda her iki kampanyanın ayrı ayrı serbest dengelemesi ve birlikte dengelemesi aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir. Jeodezik ağ noktalarının kampanyalar arasında hareket edip etmediklerinin ve varsa hareket vektörlerinin belirlenmesi için (4.1) eşitliğinden elde edilen koordinat bilinmeyenleri arasındaki farkların sıfır kabul edilip edilmeyeceğinin test edilmesi gerekir. Bunun için (4.2) eşitliğinde verilen sıfır hipotezi (H_0) kurulur. Ortaya konan

bu hipotezle her iki kampanyadan elde edilen koordinat bilinmeyenlerinin ümit değerinin eşit olduğu varsayılmaktadır.

$$\begin{aligned}\underline{\ell}_1 + \underline{v}_1 &= \underline{A}_1 \hat{\underline{x}}_1 ; \quad \underline{\Sigma}_{\ell_1} = \sigma_{01}^2 \underline{Q}_{\ell_1} \\ \underline{\ell}_2 + \underline{v}_2 &= \underline{A}_2 \hat{\underline{x}}_2 ; \quad \underline{\Sigma}_{\ell_2} = \sigma_{02}^2 \underline{Q}_{\ell_2} \\ \underline{\ell}_G + \underline{v}_G &= \underline{A}_G \hat{\underline{x}}_G ; \quad \underline{\Sigma}_{\ell_G} = \sigma_{0G}^2 \underline{Q}_{\ell_G}\end{aligned}\tag{4.1}$$

$$H_0 : E(\hat{\underline{x}}_1) = E(\hat{\underline{x}}_2) ; H_0 : \hat{\underline{x}}_1 = \hat{\underline{x}}_2 ; H_0 : d = \hat{\underline{x}}_2 - \hat{\underline{x}}_1 = 0\tag{4.2}$$

(4.2) eşitliğinde verilen sıfır hipotezinin test edilmesi için (4.1) eşitliğinden elde edilen aşağıdaki büyüklükler hesaplanır.

$$\begin{aligned}\Omega_1 &= \underline{v}_1^T \underline{P}_1 \underline{v}_1 ; \quad S_{01}^2 = \frac{\Omega_1}{f_1} \\ \Omega_2 &= \underline{v}_2^T \underline{P}_2 \underline{v}_2 ; \quad S_{02}^2 = \frac{\Omega_2}{f_2} \\ \Omega_G &= \underline{v}_G^T \underline{P}_G \underline{v}_G ; \quad S_{0G}^2 = \frac{\Omega_G}{f_G}\end{aligned}\tag{4.3}$$

(4.3) eşitliğinde verilen f_1 ($n_1 - u_1 + df$), f_2 ($n_2 - u_2 + df$) ve f_G ($n_G - u_G + df$) sırasıyla 1. kampanya serbest dengelemesinin, 2. kampanya serbest dengelemesinin ve birleşik kısmi iz minimum dengelemesinin serbestlik dereceleridir. (4.3) eşitliği yardımıyla Global test için aşağıdaki T_G test değeri elde edilir.

$$\Omega_0 = \Omega_1 + \Omega_2 ; \quad f_0 = f_1 + f_2 ; \quad r = f_G - f_0 ; \quad T_G = \frac{(\Omega_G - \Omega_0) / r}{(\Omega_0 / f_0)}\tag{4.4}$$

Global test için elde edilen bu T_G test büyüklüğü, Fischer dağılımından, r (*rank*) , f_0 ve $S=1-\alpha=0.95$ parametrelerine bağlı olarak alınan eşik değer ile karşılaştırılır. Eğer, $T_G < F_{r, f_0, 1-\alpha}$, ise $H_0 : d = \hat{\underline{x}}_2 - \hat{\underline{x}}_1 = 0$ olarak kurulan sıfır hipotezi kabul edilir. Böylelikle iki kampanya arasında ağdaki hareketsiz noktalar belirlenmiş olur. Buna karşın eğer, $T_G > F_{r, f_0, 1-\alpha}$ ise, ağ t_1 zamanından t_2 zamanına geçen süre içerisinde şekil değiştirmiştir sonucuna varılır ve sıfır hipotezi reddedilir. Bu durumda deformasyonların lokalizasyonu ve karesel formun ayrıştırılması adımına geçilir.

4.2.2 Deformasyon Büyüklüklerinin Bulunması ve Lokalize Edilmesi

Global uygunluk testi sonucu sıfır hipotezi reddedilir ve ağda Δt süresi içinde bir şekil değiştirme olduğu sonucuna varılırsa, hangi noktalarındaki hareketlerin anlamlı olup olmadıklarının test edilmesi gerekir. Bu işlem her nokta için ayrı ayrı olarak aşağıdaki formüller yardımıyla gerçekleştirilir.

$$d = \hat{x}_2 - \hat{x}_1; \quad s_0^2 = \frac{\Omega_0}{f_0}; \quad T_H = \frac{d^T Q_d^+ d}{r s_0^2}; \quad Q_d = Q_{x_1} + Q_{x_2} \quad (4.5)$$

(4.5) eşitliğine göre her nokta için ayrı ayrı hesaplanan T_H test büyüklüğü, Fischer dağılımından, r , f_0 ve $S=1-\alpha=0.95$ parametrelerine bağlı olarak alınan eşik değeri ile karşılaştırılır. Karşılaştırma bütün ağ noktaları için yapılır. Eğer $T_H > F_{r, f_0, 1-\alpha}$ ise bu noktadaki hareketin anlamlı olduğu sonucuna varılır. En büyük test büyüklüğüne sahip nokta, global test sonucunda ortaya çıkan ağ deformasyonundan sorumlu tutulur ve bu nokta deformasyon noktası olarak kabul edilerek dengeleme hesabı kalan noktaların datuma katkı vermesiyle kısmi iz minimum ilkesiyle yeniden gerçekleştirilir, global test tekrarlanır. Teste deformasyon noktası kalmıyuncaya kadar devam edilerek ağı deformasyona uğratan ve uğramayan noktaları belirlenir.

4.2.3 S-Transformasyonu Yardımıyla Deformasyon Analizi

İki farklı zamanda yapılan ölçülerle oluşan jeodezik ağı aynı datuma getirilmesi 1944 yılında W. BAARDA tarafından geliştirilmiş S-transformasyonu tekniği ile gerçekleştirilir.

S-transformasyonu, tüm iz minimum veya kısmi iz minimum şeklinde gerçekleştirilmiş serbest ağ dengelemesi sonuçlarını ($\underline{x}$ (bilinmeyenler) ve $\underline{Q}_x$ (bilinmeyenlerin kofaktörler matrisi)) başka herhangi bir dengeleme işlemine gerek duyulmadan ağıdaki diğer başka noktalara bağlı kısmi iz minimum çözümlerine dönüştürür. S-transformasyonu tekniği datum dönüşümü sağlamasının yanında, ard arda tekrarlı uygulanmasıyla ve global uygunluk testi-deformasyonların lokalize edilmesi-karesel formun ayrıştırılması işlemlerinin yardımıyla iki kampanya arasında sabit kalan veya hareketli olan nokta gruplarının ortaya çıkartılmasında da kullanılır (Baarda, 1973; Strang van Hees, 1982).

İki kampanyalı analiz işleminde, 1. kampanya (t_1) ölçülerinin serbest dengelemesi sonuçlarının i ve 2. kampanya (t_2) ölçülerinin serbest dengelemesi sonuçlarının j datumunda olduğu varsayılır ve bunların k gibi ortak bir datuma dönüştürülmesi gerekirse bu işlem, aşağıdaki formüllerde verilen S-transformasyonu eşitlikleriyle gerçekleştirilir (Caspary, 1987; Demirel, 1987; Welsch, 1993; Başkaya, 1995).

$$\underline{x}^k = \underline{S}_k \underline{x}^i \quad (4.6)$$

$$\underline{Q}_x^k = \underline{S}_k \underline{Q}_x^i \underline{S}_k^T \quad (4.7)$$

$$\underline{S}_k = \underline{I} - \underline{G} \left(\underline{G}^T \underline{E}_k \underline{G} \right)^{-1} \underline{G}^T \underline{E}_k \quad (4.8)$$

Bu eşitliklerdeki, $\underline{I}$ birim matris, $\underline{E}_k$ köşegen üzerindeki elemanları datum noktaları için 1 ve diğer noktalar için 0 olan datum belirleyici matrisdir (eşitlik (4.9)). $\underline{G}^T$ matrisi ise üç boyutlu ağlarda eşitlik (4.10) da verildiği şekilde tanımlanmaktadır.

$$\underline{E}_k = \begin{bmatrix} \underline{0} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{I} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{0} & \underline{0} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$$\underline{G}^T = \begin{array}{c} \begin{array}{cc} \text{1. nokta} & \text{2. nokta} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & \dots \\ 0 & -\bar{z}_{10} & \bar{y}_{10} & 0 & -\bar{z}_{20} & \bar{y}_{20} & \dots \\ \bar{z}_{10} & 0 & -\bar{x}_{10} & \bar{z}_{20} & 0 & -\bar{x}_{20} & \dots \\ -\bar{y}_{10} & \bar{x}_{10} & 0 & -\bar{y}_{20} & \bar{x}_{20} & 0 & \dots \\ \bar{x}_{10} & \bar{y}_{10} & \bar{z}_{10} & \bar{x}_{20} & \bar{y}_{20} & \bar{z}_{20} & \dots \end{bmatrix} \end{array} \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \dots \\ \dots \\ \dots \end{array} \right\} 3 \text{ Öteleme} \\ \left. \begin{array}{l} \dots \\ \dots \\ \dots \end{array} \right\} 3 \text{ Dönüklük} \\ \rightarrow 1 \text{ Ölçek} \end{array} \quad (4.10)$$

$\underline{G}^T$ Matrisindeki $\bar{x}_{i0}, \bar{y}_{i0}, \bar{z}_{i0}$ değerleri, kontrol ağı noktalarının, datum noktalarının ağırlık merkezine ötelenmiş ve normlandırılmış koordinatlarıdır (Denli, 1998).

Konvansiyonel-klasik üç boyutlu (3B) ağlarda datum defekti, ağdaki dış parametre sayısına bağlı olarak 7 dir. Bunun yanı sıra, GPS ağlarında ise her üç eksen

yönündeki ötelemelerin sayısına eşit ve 3 tür (Leick, 1995; Welsch, 1993). Diğer taraftan, konvensiyonel ağlarda, ağda gerçekleştirilen ölçüler ile ilişkili olarak, datum defekt sayısı kesin olarak bilinirken, GPS ağlarında atmosferik etkiler, farklı anten türlerinin kullanılması, uzun bazların çözümünde farklı uydu efemeris bilgilerinin kullanılması, alıcı antenlerinin lokal kuzey istikametine yönlendirilmemesi gibi hata kaynaklarından dolayı her zaman kesin olarak bilinemeyebilir (Blewitt, 1990).

t_1 ve t_2 zamanlarında gözlenen ağ geometrileri farklı ise, global test yalnızca eşlenik noktalar yardımıyla gerçekleştirilir. Bu noktalar datum noktaları adını da alır ve diğer noktalar, datuma katkısı olmayacak noktalar olarak gruplandırılır.

Ağ noktalarındaki significant hareketlerin araştırılmasında, sürekli datum dönüşümü uygulanır. Ancak, bunun öncesinde, birbirleri ile karşılaştırılacak olan ağlar herhangi bir datumda serbest ağ dengelemesi ile dengelenirler. Serbest dengeleme sonucunda, t_1 zamanında ölçülen kontrol ağı noktalarının bilinmeyenleri ve kofaktörleri, i datumunda olmak üzere, f (datum-eşlenik) ve n (deformasyon) noktaları olmak üzere iki gruba ayrılır (eşitlik (4.11)-(4.12)).

$$\underline{x}^i = \begin{bmatrix} \underline{x}_f^i \\ \underline{x}_n^i \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

$$\underline{Q}_x^i = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ff}^i & \underline{Q}_{fn}^i \\ \underline{Q}_{nf}^i & \underline{Q}_{nn}^i \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

Eşitliklerdeki, $\underline{x}^i$, 1. kampanyanın, i datumundaki bilinmeyenler vektörü, ve $\underline{Q}_x^i$, i datumundaki kofaktörler matrisidir. Transformasyon i datumundan k datumuna, $\underline{E}_k$ datum belirleme matrisinin yardımı ile gerçekleştirilir. Bu transformasyon aşağıda verildiği şekilde gerçekleştirilir.

$$\begin{bmatrix} \underline{x}_f^k \\ \underline{x}_n^k \end{bmatrix} = \underline{S}_k \begin{bmatrix} \underline{x}_f^i \\ \underline{x}_n^i \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

$$\underline{Q}_x^k = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ff}^k & \underline{Q}_{fn}^k \\ \underline{Q}_{nf}^k & \underline{Q}_{nn}^k \end{bmatrix} = \underline{S}_k \underline{Q}_x^i \underline{S}_k^T \quad (4.14)$$

(4.11) – (4.14) numaralı eşitliklerde verilen işlemler, t_2 zamanında gerçekleştirilen 2. kampanya ölçülerinin serbest dengelemesinden elde edilen, j datumundaki bilinmeyenlerin ve kofaktörler matrisinin k datumuna dönüştürülmesi için tekrarlanır. Böylece i datumundaki ve j datumundaki ağırlar S-transformasyonu yardımıyla aynı k datumuna, datum noktaları yardımıyla dönüştürülmüş olur. Sonuçta datum noktalarının k datumunda, 1. ve 2. kampanya için $(\underline{x}_f^k)_1$ ve $(\underline{x}_f^k)_2$ koordinat bilinmeyenleri ve bunların kofaktör matrisleri $(\underline{Q}_{ff}^k)_1$ ve $(\underline{Q}_{ff}^k)_2$ elde edilir. Global test yardımıyla datum noktalarında herhangi bir hareketin olup olmadığı test edilir. Global test için H_0 sıfır hipotezi ve T test büyüklüğü aşağıdaki gibi belirlenir (Pelzer, 1971; Mierlo, 1978; Gründig ve diğ., 1985; Caspary, 1987).

$$H_0 : E(\underline{x}_f^k)_1 = E(\underline{x}_f^k)_2 \quad (H_0: \text{sıfır hipotezi}) \quad (4.15)$$

$$\underline{d}_f = (\underline{x}_f^k)_2 - (\underline{x}_f^k)_1 \quad (\text{yer değiştirme vektörü}) \quad (4.16)$$

$$(\underline{Q}_{dd})_f = (\underline{Q}_{ff}^k)_1 + (\underline{Q}_{ff}^k)_2 \quad (\underline{d}_f \text{ nin kofaktör matrisi}) \quad (4.17)$$

$$\underline{R}_f = \underline{d}_f^T (\underline{Q}_{dd})_f^+ \underline{d}_f \quad (\text{karesel form}) \quad (4.18)$$

$$s_0^2 = \frac{f_1 s_{01}^2 + f_2 s_{02}^2}{f_1 + f_2} \quad (\text{birleşik varyans değeri}) \quad (4.19)$$

$$T = \frac{\underline{R}_f}{s_0^2 h_f} \quad (\text{test değeri}) \quad (4.20)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde, $\underline{R}_f$ karesel formun serbestlik derecesi, $h_f = \text{rank} \left\{ (\underline{Q}_{dd})_f \right\} = u_f - df$, u_f datum noktaları için bilinmeyen sayısı, df datum defekti sayısı, $(\underline{Q}_{dd})_f^+$ ise $(\underline{Q}_{dd})_f$ 'nin $(\underline{Q}_{dd})_f^+ = \left((\underline{Q}_{dd})_f + \underline{G}\underline{G}^T \right)^{-1} - \underline{G}\underline{G}^T$ olarak pseudo inversidir (Caspary, 1987).

Eğer test değeri $T > F_{h_f, f, 1-\alpha}$ ($f = f_1 + f_2$) ise, kontrol ağının datum noktalarının en az birinde veya bir bölümünde signifikant (anamlı) hareketlilik olduğu kararına varılır. Global testin sonucunda, datum noktalarının bir bölümünde, signifikant hareketlilik

saptanması halinde, hareketli olan noktaların belirlenmesi (deformasyonların lokalize edilmesi-karesel formun ayrıştırılması) amacıyla S-transformasyonu ve global test işlemine devam edilir (Chrzanowski ve Chen, 1986; Fraser ve Gründig, 1985).

Global test sonucunda ağın tümünün ya da eşlenik noktalar bloğunun herhangi bir bölümünde deformasyon olduğuna karar verilmiş ise, hareketli noktaların belirlenmesi ve araştırılmasına geçilir. Eşlenik noktalardan her birinin yer değiştirmiş olduğu düşünülerek serbest dengeleme ile i datumunda belirlenmiş bir kampanyaya ait $\underline{x}_i$ parametreler vektörünün eşlenik nokta koordinatlarını tanımlayan $\underline{x}_f^i$ vektörü; hareket ettiği varsayılan bir noktanın koordinatlarını içeren $\underline{x}_h^i$ ve sabit kabul edilen diğer eşlenik nokta koordinatlarını içeren $\underline{x}_s^i$ biçiminde alt vektörlerine ayrılır. Eşlenik olmayan noktalara ilişkin parametreler ve diğer bilinmeyenler $\underline{x}_n^i$ vektörü içinde toplandığına göre, (4.11) bilinmeyenler vektörü ve (4.12) kofaktörler matrisi,

$$\underline{x}^i = \begin{bmatrix} \underline{x}_s^i \\ \underline{x}_h^i \\ \underline{x}_n^i \end{bmatrix}; \quad \underline{Q}_x^i = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ss}^i & \underline{Q}_{sh}^i & \underline{Q}_{sn}^i \\ \underline{Q}_{hs}^i & \underline{Q}_{hh}^i & \underline{Q}_{hn}^i \\ \underline{Q}_{ns}^i & \underline{Q}_{nh}^i & \underline{Q}_{nn}^i \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

şeklinde tekrar düzenlenir (Mierlo, 1997; Caspary, 1987; Demirel,1987).

İki farklı zamanda ölçülen, i ve j gibi iki farklı datumda koordinatları belirlenen ağ şimdi, koordinatları $\underline{x}_s$ içinde toplanan ve sabit kabul edilen noktalara göre yeniden yeni bir k datumunda konumlandırılmalıdır. Bu durumda $\underline{x}_f$ vektörü içindeki bütün noktalar sırasıyla $\underline{x}_h$ vektörü içine alınır, yeni oluşan her $\underline{x}_s$ eşlenik nokta vektörüne göre belirlenen $\underline{E}_k$ ve $\underline{S}_k$ matrisleri kullanılarak (4.13)-(4.20) eşitlikleri hesaplanır ve global test tekrarlanır. Eşlenik noktalar kümesindeki her nokta için hesaplanan karesel formlar ($\underline{R}_s$) karşılaştırılır ve minimum karesel form değerini veren nokta, global test sonucunda eşlenik (sabit) noktalar kümesinde hareket olduğu kararı verilirse, $\underline{x}_n$ vektörüne dahil edilir. Daha sonra geri kalan eşlenik noktalar için bu başlık altındaki işlemler tekrarlanır ve her defasında tek nokta eşlenik nokta kümesinden çıkarılır. Global test geçerli oluncaya kadar ($T < F_{h_s, f, 1-\alpha}$) bu işleme devam edilir (Caspary, 1987; Demirel,1987).

Global test sonucu ağıdaki hareketsiz datum noktaları belirlendikten sonra, bu datum noktaları yardımıyla her iki ölçme kampanyası tekrar aynı datuma getirilir ve ağıdaki her nokta için aşağıdaki deformasyon vektörü oluşturulur **(Cooper, 1987)**.

Bir P noktası için 3B deformasyon vektörü,

$$d = \begin{bmatrix} (x_p^k)_2 - (x_p^k)_1 \\ (y_p^k)_2 - (y_p^k)_1 \\ (z_p^k)_2 - (z_p^k)_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

ve bu vektörün büyüklüğü:

$$|d| = \sqrt{\underline{d}^T \underline{d}} \quad (4.23)$$

belirlenir.

Yukarıda belirlenen deformasyon büyüklüğünün anlamlılığını test etmek için H_0 sıfır hipotezi aşağıdaki gibi kurulur.

$$H_0 : |d| = 0 \quad (4.24)$$

ve test büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$T = \frac{\underline{d}^T \underline{Q}_{dd}^{-1} \underline{d}}{3s_0^2} \quad (4.25)$$

bu test büyüklüğü Fischer dağılımından alınan $F_{3,f;1-\alpha}$ eşik değeri ile karşılaştırılır.

Eğer $T > F_{3,f;1-\alpha}$, ise P noktasının üç boyutlu konumundaki hareketin anlamlı olduğu sonucuna varılır, aksi durumda hareketin anlamlı olmadığı ve rastlantısal ölçü hatalarından kaynaklandığı kabul edilir **(Erol ve diğ., 2007b; Denli 1998)**.

5. UYGULAMA

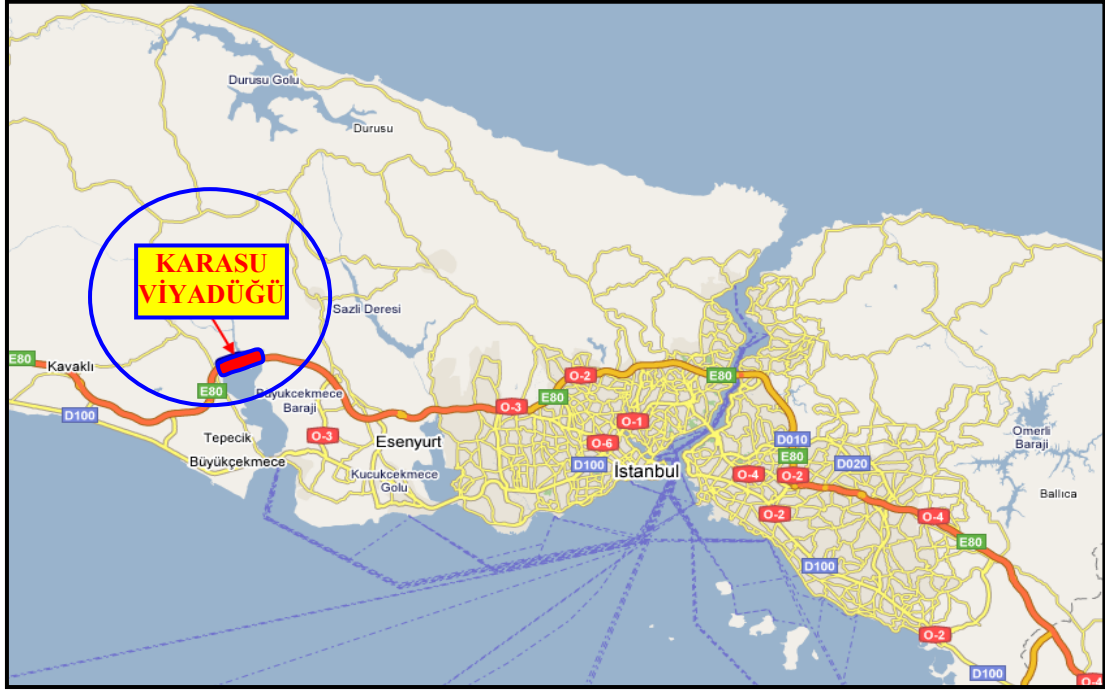
5.1 Çalışma Bölgesi, Viyadük ve Kontrol Ağı

5.1.1 Genel Bilgiler

Bu çalışmada, yaklaşık 20 milyon USD (Amerikan Doları) maliyetle, 1986 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığının ihalesiyle, Türk-Japon-İtalyan ortak konsorsiyumu tarafından inşa edilen Karasu viyadüğünün, zeminden kaynaklanan olası deformasyonlarının jeodezik yöntemlerle saptanması hedeflenmiştir. Bunun için tesis edilen jeodezik kontrol ağında altı-sekiz aylık aralıklarla iki yılda tamamlanan dört ayrı ölçme kampanyasından elde edilen GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri kullanılmıştır. Karasu viyadüğü, İstanbul'un yaklaşık 60 km batısında, Transit Avrupa Otoyolunun (TEM) Kınalı-Mahmutbey bölümü üzerinde, Çatalca kavşağına yakın, Büyükçekmece gölünü besleyen Karasu deresinin göle döküldüğü yerdedir (Şekil 5.1). Viyadüğün toplam uzunluğu 2160 metredir ve ilk 1000 metrelik bölümü Büyükçekmece Baraj Gölü üzerinden geçmektedir. Türkiye'nin en uzun viyadüklerinden birisidir. Viyadük suyla kaplı bataklık bir zeminde yükselen destekleyici ayaklar üzerinde inşa edilmiştir. Yapının olası deformasyonlarının belirlenmesi amacıyla tesis edilen jeodezik kontrol ağına ait ölçme kampanyaları, Almanya Volkswagen Vakfı (Volkswagen Stiftung-Almanya), Türkiye Cumhuriyeti Karayolları (TCK) 17. Bölge Müdürlüğü ve İTÜ Araştırma Fonunun katkılarıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçmeler ve analizler Darmstadt Teknik Üniversitesi, Fiziksel Jeodezi Enstitüsü ve İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı ortak projesi kapsamında tamamlanmıştır (Ayan ve Groten, 1999).

Bu çalışmada, GPS tekniğinin deformasyon belirleme amaçlı çalışmalarda kullanılabilirliği, sağladığı avantajlar, kullanım güçlükleri ile birlikte presizyonlu nivelman tekniğinin GPS tekniğine olan olumlu etkilerinin araştırılması da

amaçlanmaktadır. GPS tekniğinden elde edilen yükseklik bilgisinin doğruluğunun yatay konum doğruluklarına göre daha düşük olduğu bilinmektedir (**Featherstone ve diğ., 1998; Krauter, 1999**). Bu nedenle bu projede, GPS ölçüleri, presizyonlu nivelman ölçüleri ile desteklenmiştir.



Şekil 5.1 : Karasu viyadüğünün genel ve TEM (E80) üzerindeki konumu

Dört kampanya olarak ölçülmüş GPS ve nivelman verilerinin değerlendirilmesinde ve dengelenmesinde ilk olarak, GPS ölçülerinin nivelman sonuçları ile kontrolünü sağlamak amacıyla iki ölçme tekniğinden elde edilen ölçüler her kampanya için ayrı ayrı dengelenmiştir. Bu işlemden sonra GPS ve nivelman (NIV) ölçüleri Varyans Bileşeni Tahmini (VBT) tekniklerinin yardımıyla 1B ve 3B olarak birlikte (bütünleşik-BUT) dengelenmiştir. İki ölçü grubunun 1B olarak birlikte dengelenmesinin amacı düşey bileşenin doğruluğunu iyileştirmek ve daha gerçekçi ve güvenilir 1B deformasyon analizi gerçekleştirmektir. GPS ve nivelman verilerinin 3B olarak birlikte dengelenmesinin amacı ise tekrar düşey bileşenin doğruluğunu iyileştirmek ve buna bağlı olarak yatay ve üç boyutlu konum doğruluklarını da iyileştirmektir. Son olarak dört ölçme kampanyasının her biri için gerçekleştirilen 1B ve 3B ayırık ve bütünleşik dengelemelerinden elde edilen sonuçlar ile ardışık kampanyalar arasında 1B ve 3B deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

5.1.2 Yapının Teknik Özellikleri

Viyadük üstündeki yol, kuzey (sağ şerit-gidiş) ve güney (sol şerit-geliş) olmak üzere, birbirinden bağımsız iki köprüden oluşmaktadır. Köprüler 13 m genişliğinde olup, her köprü 4.0' er metrelik üç şerit ve 1.5 metrelik bir korkuluk şeridi içermektedir. Viyadüğün toplam genişliği $2 \times 3 \times 4.0 + 2 \times 1.5$ olmak üzere 26 metredir. Viyadüğün birbirinden bağımsız olarak inşa edilen kuzey ve güney yapılarının her biri, aralarında 40'ar metrelik mesafeler bulunan 55'er adet taşıyıcı ayak üzerinde bulunmaktadır. Değişik derinliklerde kazıklardan oluşan taşıyıcı ayakların toplam adedi 110 dur ve ayakların bir kısmı gölün içerisinde, balçık zeminde yer almaktadır. Diğer yönden viyadük tamamen kurbda olup $R = 3000-3500$ m dir. Boyuna eğim -0.03 ile başlamaktadır, 250 m sonra düşey kurb ile $+0.003$ e geçmektedir (TCK, 1987; Ayan ve Groten, 1999).

Özellikle yaz aylarında yoğun bir trafik yükü olan TEM otoyolundaki viyadüğün inşaatı sırasında, bölgedeki zemin özellikleri nedeniyle, öngörülen 5000-5500 kN zati ve hareketli yüklere karşı, 10 – 40 m derinlikteki taşıyıcı (sağlam) zemine girecek şekilde, 165 cm çapında fore kazık temeller kullanılmıştır. Köprüyü taşıyan her bir ayak, B25 tipi betondan dörtlü fore kazık grubuna oturmaktadır. Ayaklar 3.0×3.5 m boyutunda ve “H” biçimindedir Ayak kesiti 9.02 m^2 , yükseklikleri 4 – 12 m dir. Ayaklarda B30 tipi beton kullanılmıştır. İki bağımsız köprüyü taşıyan 110 adet taşıyıcı ayağı gösteren boy kesitler ve planlar Şekil A.1 de ve taşıyıcı ayak temel sistemi Şekil 5.2 de görülmektedir (TCK, 1987; Ayan ve Groten, 1999).

Su işleri (DSİ) tarafından bir baraj gövdesi inşa edilmiş, böylece bu doğal göl bir baraj gölüne dönüştürülerek kullanıma açılmıştır. Göl, 100 milyon m³ lük bir kapasite ile İstanbul'un su gereksiniminin önemli bir bölümünü karşılamaktadır (**İBB, 1995**). İstanbul şehrinin içme su kaynaklarından biri olan, özel koruma alanındaki bu gölün kıyıları erozyon, sedimantasyon ve potansiyel kütle hareketlerinin etkisi altındadır. Sahadaki litolojik, hidrolojik, jeolojik, tektonik yapı, iklim, eğim ve zayıf bitki örtüsünün varlığı bölgedeki kütle hareketlerinin nedenleri arasında sayılmaktadır (**Hacıyakupoğlu ve diğ., 2003**). Göl çevresinin alçak plato sahasını yüzeyleyen ana jeolojik formasyonları; kil ve kireçli toprak içerikli Silivri Formasyonu, kum, kil ve çakıl birimlerinden oluşan Çukurçeşme Formasyonu ile ince tabakalı kireçtaştının oluşturduğu Bakırköy Formasyonudur. Toprak ve kaya yapısı nedeniyle erozyona olduğu kadar kütle hareketlerine de oldukça elverişli olan Büyükçekmece gölü çevresinde, 1988 yılında hizmete açılan baraja, başta Karasu deresi olmak üzere, sularını boşaltan akaçlama sistemlerinin alüvyon getirisi ve göl havzasındaki tarım arazilerinde oluşan hızlı erozyon dikkat çekici boyutlardadır (**Ertek ve Kaya, 2001**).

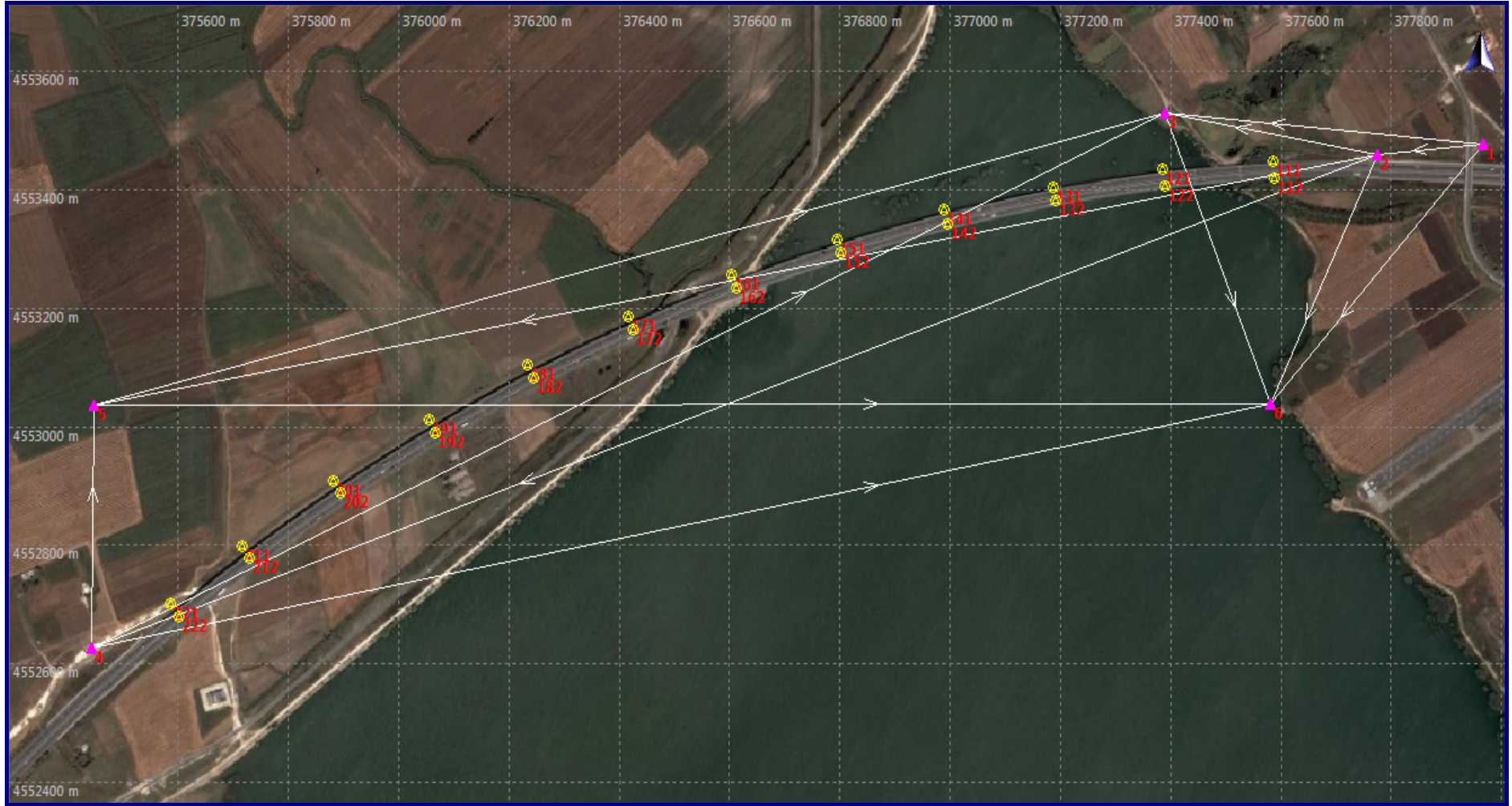
Yapının bulunduğu çevrenin jeolojik ve geoteknik özellikleri, sondajlar ve laboratuvar araştırmaları ile belirlenmiştir. Arazinin jeolojik özellikleri şöyle özetlenebilir. Önceki devirlerde büyük aşınmaya maruz kalan zemin, yakın geçmişte yeniden ve değişik bir biçimde erozyona uğramıştır. Vadiler daha da derinleşmiş, yüksek noktalarda erozyon dolayısıyla yeni çukurlar meydana gelmiştir. Yeniden erozyona maruz kalan az engebeli kısımlar büyük bir alana yayılmış, yükselme teorisinden önce, jeolojik geçmişte uzun süreli bir “hareketsiz” dönem geçirmiş ve bu oluşumların bir parçası olarak, söz konusu arazi parçası değişik zamanlarda su altında kalmıştır. Daha önce, sınırları bu günden çok daha içerde olan Büyükçekmece gölünün tabanında jeolojik bakımdan konsolide olmamış, oldukça derin ince taneli yumuşak mil ve kil birikimleri görülmektedir. Sondaj çalışmaları, geoteknik araştırmalar ve zemin deneyleri arazinin alüvyon tabakasının ancak 4 m lik bir dolgu taşıyabileceğini, bu dolgu üstündeki olası yüklemelerin, alüvyon üstündeki 3–4 m kalınlığındaki tabakanın kırılmasına neden olabileceğini işaret etmiştir. Nitekim aynı bölgede DSİ tarafından baraj gölü seddesi olarak yapılan 4-5 m yüksekliğindeki dolgularda 40-50 cm oturmalar gözlenmiştir. Ortalama taşıma kapasitesi (CU) < 0.5 kg/cm² değerinde olan alüvyon tabakasının altında ortalama

taşıma kapasitesi 15 kg/cm² olan kiltası, silttaşı, kumtaşı ve kireçtaşıdan oluşan yatak kayası bulunmaktadır. Netice olarak, üzerine gelecek yükleri taşıyamayacak olan söz konusu vadi üzerinde 165 cm çapında kazıklar üzerine oturtulmuş viyadük inşaatının yapılmasına karar verilmiştir (TCK, 1987; Ayan ve Groten, 1999).

5.1.4 Jeodezik Kontrol Ağı

Bir yapıda olası deformasyonların jeodezik yöntemlerle izlenmesinde, yapısal deformasyonların ortaya çıkarılmasına elverişli karakteristik noktalar seçilerek incelemeye alınır. Bu noktalar deformasyon noktası yada obje noktası adını alır. Ayrıca yapı dışında, stabil (sabit) olduğu düşünülen noktalarda arazide işaretlenir. Stabil noktalar (referans noktaları) ve deformasyon noktaları bir kontrol ağı oluşturacak biçimde, jeodezik ölçülerle birbirine bağlanır. Bu kontrol ağının geometrisi bir yandan uyşumsuz ölçüleri ortaya çıkaracak biçimde güvenilir olmalı, bir yandan nokta koordinatlarının yeterince doğrulukla elde edilmesine olanak vermeli, bir yandan da olası deformasyonları ortaya çıkarmaya yarayan testlere cevap verir durumda; başka bir deyişle duyarlı (sensitive) olmalıdır.

Türkiye'nin en uzun viyadüklerinden birinin deformasyonlarının belirlenmesi için bölgede lokal jeodezik bir kontrol ağı planlanmış ve tesis edilmiştir. Lokal jeodezik ağı, viyadük çevresine tesis edilen 6 adet referans noktası ile viyadük gövdesi üzerinde karşılıklı olarak her iki köprüde tesis edilen toplam 24 (2×12) adet deformasyon noktasından oluşmaktadır. Ağı noktalarının tümünün zemin işaretleri, merkezleştirme hatalarına meydan vermeyen, kolay ve presizyonlu bir tesviye olanağı sağlayan, çelik bir plaka üzerine donatılan vidalarla sağlanmıştır. Viyadükteki olası deformasyonları belirlemek için tesis edilen jeodezik kontrol ağı, referans noktaları arasındaki bazlar ile birlikte, viyadüğü ve bölgeye gösteren uydu resmi üzerinde Şekil 5.3 de verilmektedir.

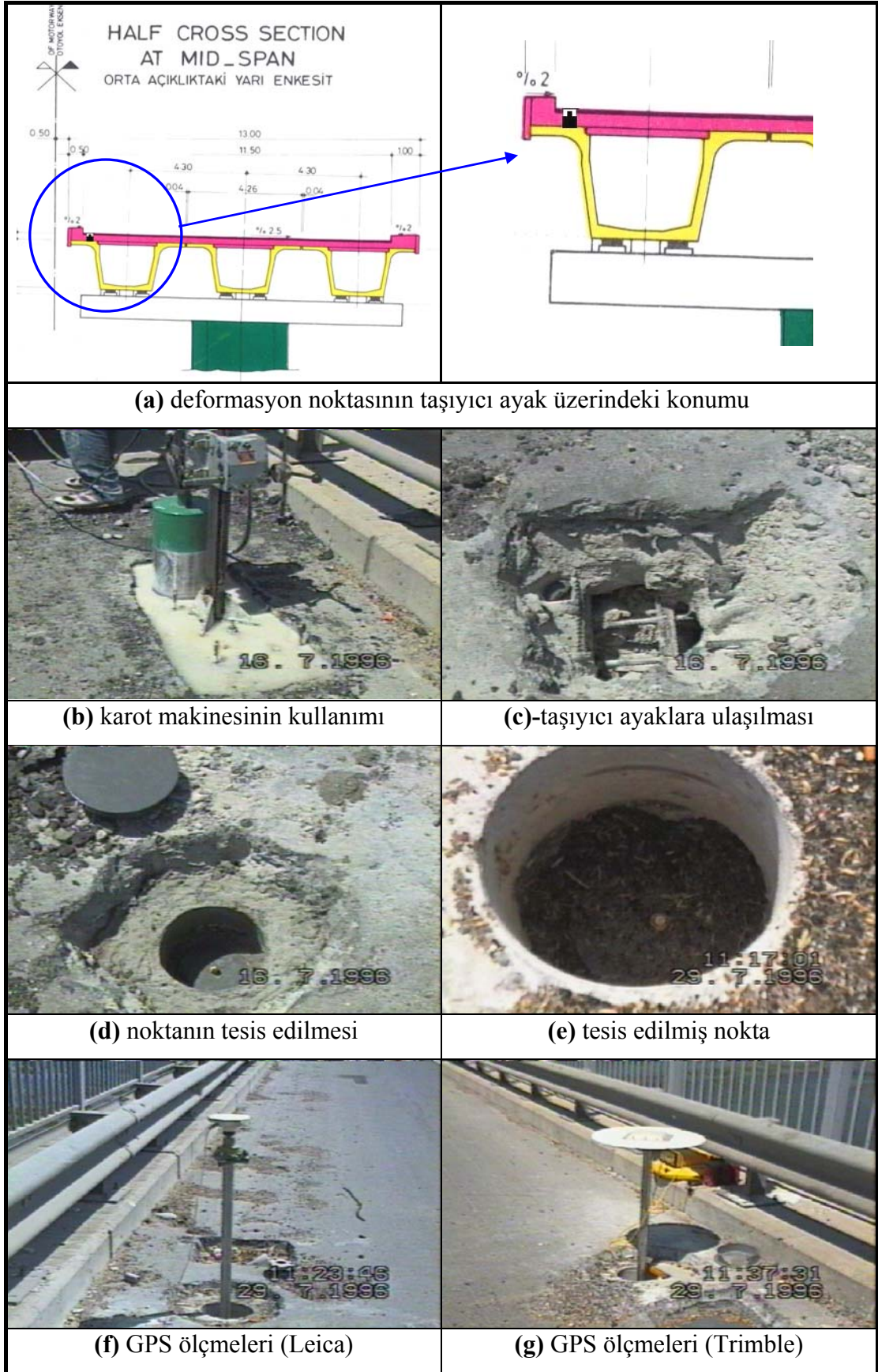


Şekil 5.3 : Karasu viyadüğü, çevresi ve deformasyonların belirlenmesi için tesis edilen jeodezik kontrol ağı

Kontrol ağının stabil noktaları, viyadük dışında, yamaçlar dışında ya düzlüklerde, yada yükselti üstlerinde seçilmiş ve kısmen eskiden inşa edilmiş yapılar üzerinde tesis edilmiştir. Altı stabil noktadan, ikisi, ikinci Dünya Savaşı sırasında tanklara karşı savunma üssü olarak 1940 lı yıllarda inşa edilmiş beton blok koruganları üzerindedir. Beton blok delinerek, zorunlu merkezlendirme donanımı yine betonla sabitleştirilmiştir. Kontrol ağının diğer iki noktası yine arazi dışında önceden inşa edilmiş, yük taşımayan tesisler üzerindedir. Viyadüğün başlangıç ve bitiş noktalarına rölatif olarak yakın olan, yine 10 – 14 yıl önce inşa edilmiş iki pilye de kontrol ağının diğer iki noktasını oluşturmaktadır. Bu pilyelerin zorunlu merkezlendirme donanımları, yukarıda açıklanan özelliklere uygundur (**Ayan ve Groten, 1999**).

Deformasyon noktaları, viyadük gövdesi üzerinde en stabil noktalar olan taşıyıcı ayakların üzerlerine (Şekil 5.4a), viyadüğün kuzey ve güney köprüleri üzerinde 200 m aralıklarla (5 taşıyıcı ayakta bir tane), emniyet şeridinin sağ tarafında, tabliye betonu yaklaşık 30 cm çapında 30 cm derinliğe (taşıyıcı ayak betonuna (Şekil 5.4a)) kadar karot makineleri ile delinmek suretiyle oluşturulan çukurlara tesis edilmiştir. Şekil 5.4b, 5.4c, 5.4d ve 5.4e deformasyon noktalarının tesis aşamalarını göstermektedir. Zorunlu merkezlendirme donanımlı ölçme noktası, açılan çukur tabanında, viyadük ayağı betonu içine betonla sabitleştirilmiştir. Böylece köprü ayaklarının olası hareketinin doğrudan saptanması öngörülmüştür. Her çukurun bir çelik kapağı vardır. Her ölçme kampanyası tamamlandığında, çukur bu kapakla kapatılmış ve üzeri asfaltlanmıştır. Altı-sekiz ay sonra bir sonraki ölçme kampanyasında asfalt kazınarak, çukurun içi temizlenerek ölçme noktasına ulaşılmıştır (**Ayan ve Groten, 1999**).

GPS alıcı antenlerinin noktalara merkezlendirilmesi, düzeçli bir üç ayak içine yerleştirilebilen, bu proje için tasarlanarak Almanya’da yaptırılan 1 m yüksekliğinde 4 cm çapında, alüminyum, düşeyliği bir düzeçle kontrol edilebilen özel jalonetler yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.4f, 5.4g).



Şekil 5.4 : Deformasyon noktalarının taşıyıcı ayak üzerindeki konumu (a), nokta tesis aşamaları (b, c, d, e) ve örnek GPS ölçmeleri (f, g)

5.2 Kontrol Ağının Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi

5.2.1 Donanım, Zamanlama ve Ölçme Ekibi

Jeodezik yöntemlerle deformasyonların izlenmesinde, belli zaman aralıklarında tekrarlanan ölçülerden hesaplanan nokta koordinatlarının değişimi analiz edilir. Projeye konu olan viyadüğün ayakları kış mevsiminde tamamen, yazın da kısmen sular altında kalmaktadır. Bu nedenle, viyadük üzerinde tesis edilen 24 (12 nokta $\times$ 2 köprü) deformasyon noktası ve viyadük çevresinde tesis edilen 6 referans noktasından oluşan 30 noktalık jeodezik kontrol ağında, yaklaşık altı-sekiz aylık aralıklarla, Mart-Nisan / Eylül-Ekim aylarında olmak üzere, iki yıl boyunca toplam dört ölçme kampanyası gerçekleştirilmiştir. Dört kampanyaya ait ölçme tarihleri, ölçme gün sayıları, ölçme ekibindeki kişi sayıları, yıllık periyotlar, kullanılan donanım ve sayıları Tablo 5.1 de verilmektedir.

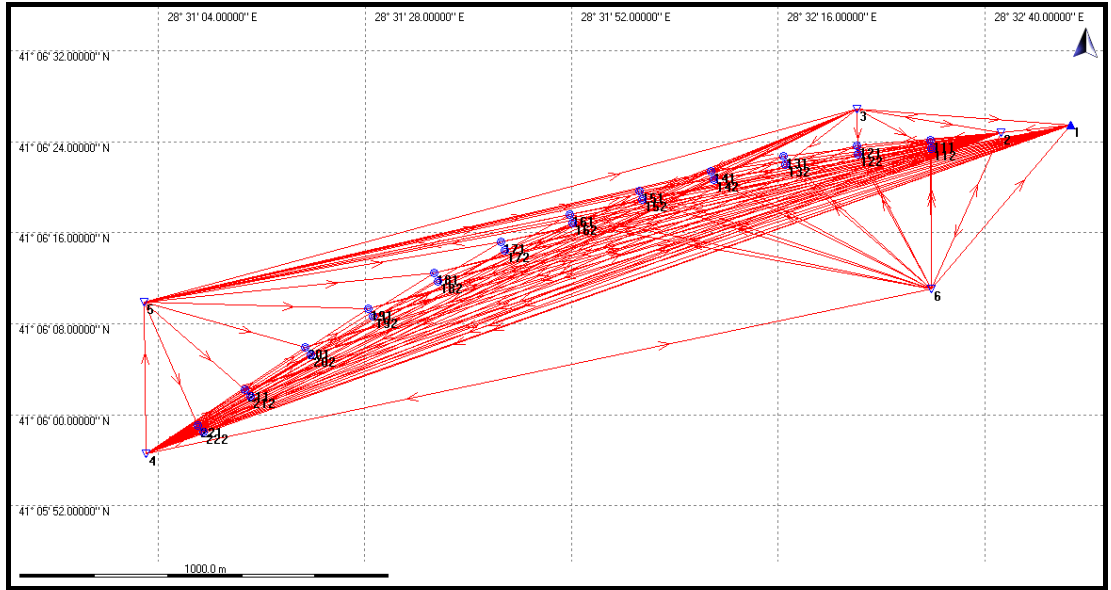
Tablo 5.1 : Kampanya tarihleri ve kullanılan ölçme donanımları

Kampanya		K1	K2	K3	K4
Tarih		Temmuz, 1996	Mart, 1997	Ekim, 1997	Nisan, 1998
Süre		10 gün	7 gün	7 gün	9 gün
Ekip		11 kişi	10 kişi	11 kişi	10 kişi
Periyot			0.61 yıl	0.58 yıl	0.54 yıl
GPS	Alıcı	Trimble 4000 SSI (4)	Trimble 4000 SSI (4)	Trimble 4000 SSI (4)	Trimble 4000 SSI (4)
		Leica Sistem 300 (2)	Leica Sistem 300 (6)	Leica Sistem 300 (6)	Leica Sistem 300 (6)
	Anten	COMP. L1/L2 GND (4)	COMP. L1/L2 GND (4)	COMP. L1/L2 GND (4)	COMP. L1/L2 GND (4)
		LEI AT 202/302 (2)	LEI AT 202/302 (5)	LEI AT 202/302 (5)	LEI AT 202/302 (5)
		LEI SR399 INT. (0)	LEI SR399 INT. (1)	LEI SR399 INT. (1)	LEI SR399 INT. (1)
NIV.	Nivo	Koni 007 (1)	Koni 007 (1)	Koni 007 (1)	Koni 007 (1)
	Mira	İnvar mira (2)	İnvar mira (2)	İnvar mira (2)	İnvar mira (2)

Noktaların, GPS tekniğinden elde edilecek üç boyutlu koordinat bileşenlerinin (X, Y, Z) doğruluğu olarak $\pm(1-3)$ mm hedeflenmiştir. Bu hedefi gerçekleştirmek için GPS ölçmeleri sırasında ek donanımlar (zorunlu merkezlendirme tertibatı, GPS anten yüksekliği ölçme tertibatı) kullanılmış ve amaca yönelik olarak özel olarak dikkatlice planlanmış GPS ölçme oturumları uygulanmıştır. Yükseklik bileşeninin kontrolünü yapabilmek ve doğruluğunu arttırabilmek için GPS ölçmelerinden ayrı olarak jeodezik ağ noktaları arasında gidiş-dönüş presizyonlu nivelman ölçmeleri gerçekleştirilmiştir (Ayan ve Groten, 1999).

5.2.2 GPS Ölçmeleri ve Değerlendirilmesi

Her ölçme kampanyasında, önce 6 noktadan oluşan referans ağı iki ayrı atmosfer koşulunda, iki ayrı günde ve günün değişik saatlerinde ortalama yedişer saat (birinci kampanyada dörder saat) gözlenmiştir. 24 adet olan deformasyon noktaları da yine iki ayrı atmosfer koşulunda, iki referans ağı noktasına bağlı olmak üzere üçer saat (birinci kampanyada dörder saat) gözlenmiştir. Böylelikle jeodezik kontrol ağı noktaları her kampanyada farklı uydu konfigürasyonlarından yararlanılarak iki ölçme kampanyası şeklinde iki defa ölçülmüştür. GPS oturumları sırasında, çift frekanslı, 12 kanallı, Leica ve Trimble marka GPS alıcı ve antenleri kullanılarak statik ölçme yöntemi uygulanmış, kaydedilen veriler arazide bilgisayara aktarılmıştır. Aynı noktada ardışık oturumların yapıldığı durumlarda ardışık ölçmeler arasında alıcı antenin merkezleştirilmesinde kullanılan düzeçli üç ayaklar ve içine yerleştirilen jalonetler yerinden kaldırılarak tekrar tesviyelenmiştir (Şekil 5.4f, 5.4g). Bu işlemin amacı, merkezleştirme nedeniyle ortaya çıkabilecek sistematik hataları ortadan kaldırmak ve bu yolla ardışık oturumlar arasında bağımsız ölçüler elde edebilmektir.



Şekil 5.5 : GPS ağı ve değerlendirilmesi sırasında çözülen baz bileşenleri

GPS ölçülerinin değerlendirilmesi için Bernese bilimsel yazılımı ve bu bilimsel yazılımının teorik altlıklarını kullanan Leica firmasına ait Ski-Pro (Static Kinematik Process) versiyon 3. ticari yazılımı ayrı ayrı test edilmiştir. Şekil 5.5 den görüleceği gibi bu çalışmadaki en uzun baz 2.5 km en kısa baz 200 m dir ve ayrıca her kampanyada ortalama 150 baz oluşmaktadır. Baz uzunlukları çok kısa olduğundan ve

dört kampanya boyunca çok sayıda baz oluştuğundan pratik sonuca gidebilmek ve GPS tekniğı kullanarak deformasyon ölçmeleri gerçekleştiren uygulayıcılara yol gösterici olabilmek için Ski-Pro v3. yazılımının kullanılması uygun görölmüştür. Ski-Pro yazılımının özelliklerini barındıran son versiyonu, Leica Geo Office (LGO) yazılımı, bilimsel yazılımlara benzer olarak GNSS uydu sistemlerine ait gözlemleri, tek ve çift frekanslı alıcılara ait statik ve hızlı statik yöntemlerle toplanmış gözlemleri, sürekli GPS istasyonlarına ait gözlemleri, farklı alıcılarla toplanan gözlemleri (RINEX olarak) değerlendirebilmekte, 80 km ye varan bazlarda başlangıç faz belirsizliğini (integer ambiguity) çözebilmekte, serbest ve dayalı ağ çözümlerini gerçekleştirebilmektedir. Ski-Pro yazılımı ile GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sırasında Tablo 5.2 de özetlenen strateji ve parametreler kullanılmıştır.

Leica SR399, Leica SR9500 ve Trimble 4000SSI alıcıları ile toplanan ham GPS gözlemleri, her iki alıcının üretici firması tarafından üretilen ve piyasaya sürölen yazılımlarla alıcıdan bağımsız RINEX gözlem ve navigasyon dosyaları haline getirilmiştir. Kampanya GPS gözlemlerinin RINEX formatına dönüştürölmesinde Leica alıcılar için SKI 2.3 ve Trimble alıcılar için GPSurvey yazılımları kullanılmıştır. Oluşturulan RINEX dosyaların başlık kısmındaki alıcı tipi ve anten tipi bilgileri kontrol edilmiştir. Kampanya ölçmeleri sırasında anten yükseklikleri, L1 ve L2 frekansı için ortak olan ortalama faz merkezine kadar, pratikte uygulanan ofset değerleri eklenerek kayıt edilmiştir. Bu durumda oluşturulan RINEX dosyalardaki bu anten yüksekliklerinin, ARP noktasına indirgenmesi söz konusu olmuştur. Bunun için kampanyalarda kullanılan anten tiplerine göre her RINEX dosyasındaki anten yüksekliğinden, o noktada kullanılan anten tipine bağlı olarak, Trimble COMPACT L1/L2 GND için 0.062 m, Leica AT202/302 için 0.039 m ve Leica SR399 INTERNAL için 0.091 m olan ofset değerleri çıkartılmış ve anten yükseklikleri ARP noktasına indirgenmiştir.

Tablo 5.2 : GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde kullanılan strateji ve parametreler

Parametre	Tercihler	Açıklamalar
Eğim açısı	15 derece	Hatasız ambiguity (tam dalga boyu sayısı) hesabı için, multipath ve atmosferik hatalardan daha az etkilenen gözlemleri kullanmak için tercih edilmiştir. Fakat uydu sayısındaki azalmadan dolayı ölçü sayısını azaltmaktadır, GDOP değeri büyümektedir.
Kayıt aralığı	15 saniye	Kapasiteleri yetersiz olan alıcı kayıt ünitelerinin günlük gözlemlerin tamamını kayıt edebilmesi için tercih edilmiştir. Yazılım minimum 0.1 saniye ve maksimum 60 saniye kayıt aralıklı gözlem dosyalarını kabul etmektedir.
Yörünge	IGS (hassas)	Baz çözümlerindeki yörünge hatalarını elemine etmek için tercih edilmiştir. Doğruluğu 5 cm dir. IGS tarafından ölçü zamanından 2 hafta sonra üretilir ve yayınlanır. IGS hassas yörünge bilgileri kullanılarak, 100 km lik bir bazdaki hata, 0.2 mm olarak elde edilmektedir. (Anlık yayın yörünge bilgilerinin doğruluğu 3 metredir)
Çözüm yöntemi	Otomatik	Yazılım, ambiguity çözümü için taşıyıcı frekansları veya kombinasyonlarını kullanarak istatistiksel olarak en doğru ve güvenilir sonucu verir. 15 km den kısa bazlar için L1 ve L2 frekanslarının ikisini de kullanır, (L1+L2) çözümünü gerçekleştirir.
Troposfer modeli	Saastamoinen	Baz çözümlerinin doğruluğunu etkileyen troposferik etkiler, Standart global atmosfer modellerinden türetilen basınç, sıcaklık ve nem değerlerinden hesaplanır. Uygulamada lokal olarak elde edilen atmosferik değerlerin kullanılmaması önerilir.
İyonosfer modeli	Otomatik	Yazılım oturum sürelerini dikkate alarak otomatik seçim yapar, 45 dakikadan daha uzun oturumlarda Computed Model kullanılır. 45 dakikadan kısa oturumlarda ise Klobuchar Model kullanılır. Eğer gözlem dosyalarının yanında navigasyon (almanak) dosyaları yoksa herhangi bir model kullanılmaz (No Model).
Faz merkezi değişimleri	IGS (PCV)	GPS gözlemleri sırasında kullanılan alıcı antenlerine ait rölatif faz merkezi değişimleri kullanılır, mutlak faz merkezi değişimlerinin kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır. IGS tarafından kullanıma sunulan bu bilgiler sinyalin antene geliş azimutuna ve eğim açısına göre faz merkezi değişim değerlerini içerir. Çözümlerde bu parametreleri kullanmamak sonuçlarda 10 cm ye varan yükseklik hatalarına sebep olabilir.

Verilerin değerlendirilmesi ve bazların hesaplanması için toplanan veriler her kampanya için Leica firmasına ait Ski-Pro yazılımında oluşturulmuş olan projelere aktarılmıştır. Ski-Pro yazılımına, Trimble alıcı antenleri ile yapılan gözlemlerde sorun yaşamamak için, bu antenlere ait faz merkezi değişimleri de eklenmiştir.

Tablo 5.3 : GPS tekrarlılıklarından türetilen doğruluk kriterleri

kampanya:	K1			K2		
boyut:	1B	2B	3B	1B	2B	3B
tekr. ölç. say.	106	106	106	140	140	140
$d_{min} - mm$	-16.97	0.60	1.34	0.02	0.32	0.69
$d_{max} - mm$	15.97	17.92	20.07	9.45	9.24	12.76
ort. tekr. fark. ($d_{ort} - mm$)	3.77	5.85	7.35	3.05	2.60	4.29
[dd]	2728.65	5386.87	8115.39	2012.14	1306.77	3318.41
ölç. grub. var. (σ_G^2)	25.74	50.82	76.56	14.37	9.33	23.70
ölç. grub. koh. (σ_G)	5.07	7.13	8.75	3.79	3.06	4.87
kampanya:	K3			K4		
boyut:	1B	2B	3B	1B	2B	3B
tekr. ölç. say.	160	160	160	181	181	181
$d_{min} - mm$	0.01	0.16	0.34	0.03	0.11	0.41
$d_{max} - mm$	8.55	9.13	9.70	9.21	12.98	13.10
ort. tekr. fark. ($d_{ort} - mm$)	3.53	2.92	4.89	2.42	2.47	3.81
[dd]	2880.12	1875.37	4755.37	1680.20	1917.13	3597.15
ölç. grub. var. (σ_G^2)	18.00	11.72	29.72	9.28	10.59	19.87
ölç. grub. koh. (σ_G)	4.24	3.42	5.45	3.05	3.25	4.46

Tablo 5.4 : 1B, 2B ve 3B lup kapanmaları ve türetilen doğruluk kriterleri

kampanya:	K1				K2			
boyut:	1B		2B	3B	1B		2B	3B
veri grubu:	NIV	GPS	GPS	GPS	NIV	GPS	GPS	GPS
lup sayısı	13	36	36	36	8	66	66	66
min.kap. ($W_{min} - mm$)	-1.9	-14.3	0.1	0.1	-3.1	-8.0	0.2	1.1
mak.kap. ($W_{max} - mm$)	0.7	8.3	14.3	17.0	2.3	9.3	6.5	9.8
ort.kap. ($W_{ort} - mm$)	0.4	5.3	5.4	8.0	1.1	3.2	2.6	4.4
bir.ölç.ort.var. (σ_o^2)	0.9	8.1	9.5	17.7	2.3	3.3	1.7	5.0
ölç.grub.ort.var. (σ_i^2)	0.1	13.4	15.4	28.8	0.3	5.2	2.8	8.0
kampanya:	K3				K4			
boyut:	1B		2B	3B	1B		2B	3B
veri grubu:	NIV	GPS	GPS	GPS	NIV	GPS	GPS	GPS
lup sayısı	8	73	73	73	13	70	70	70
min.kap. ($W_{min} - mm$)	-5.5	-7.7	0.4	1.0	-4.1	-8.3	0.2	0.7
mak.kap. ($W_{max} - mm$)	1.1	7.7	10.6	11.1	2.3	6.2	8.0	8.9
ort.kap. ($W_{ort} - mm$)	1.1	3.2	3.3	4.9	2.4	3.0	2.6	4.3
bir.ölç.ort.var. (σ_o^2)	2.7	4.8	5.1	9.9	16.3	3.1	2.1	5.2
ölç.grub.ort.var. (σ_i^2)	0.4	5.3	5.0	10.3	1.8	4.7	3.2	7.9

Baz çözümü sırasında öncelikle referans ağı noktaları arasındaki bazlar çözülmüş daha sonra referans ağı noktalarına bağlı olarak obje noktalarının bazları çözülmüştür. Hesaplanan baz sonuçları incelenmiş, aynı noktaya ait tekrarlı çözümler karşılaştırılmış (Tablo 5.3), bağımsız baz çözümlerinden oluşan lup kapanmaları incelenmiş (Tablo 5.4), sonuçlar yorumlanmış ve bazların bir sonraki adımda kullanılıp kullanılmayacağına karar verilmiştir. Kabul gören baz vektörlerinin çözümleri veri tabanına kaydedilmiştir. Kampanya için bütün bazlar çözümlü veri tabanına kayıt edildikten sonra dengeleme işlemine başlanabilir duruma gelmiştir. Tablo 5.3 1B, 2B ve 3B GPS baz çözümü tekrarlılıklarından elde edilen istatistiksel bilgileri, Tablo 5.4 ise 1B GPS ve NIV lup kapanmaları ile 2B ve 3B GPS lup kapanmalarına ilişkin istatistiksel değerleri içermektedir.

5.2.3 Presizyonlu Nivelman Ölçmeleri ve Değerlendirilmesi

GPS teknolojisi ile düşey konum belirleme doğruluğu, sistemin geometrik zayıflığından ve atmosferik hatalardan dolayı, yatay konum belirleme doğrulundan daha düşük olduğu için düşey konum belirlemeyi desteklemek üzere ek olarak presizyonlu nivelman ölçmeleri yapılmıştır. Ölçmeler için viyadük üzerindeki 134 (24 ana + 120 ara) deformasyon noktası ve viyadük çevresindeki 4 referans noktası (1, 2, 3 ve 4 numaralı noktalar) kullanılmıştır. Anlamlı olduğuna matematik istatistik test yöntemleriyle karar verilen en küçük yükseklik değişimi, yükseklik ölçmelerinin presizyonuna bağlı olduğundan bu çalışmada çok yüksek presizyon amaçlanış ve bu nedenle presizyonlu nivelman tekniği uygulanmıştır. Nivelman ölçmelerinde Carl Zeiss Jena firmasının KONI 007 kompansatörlü, okuma inceliğini arttıran paralel yüzü plakalı mikrometre donanımlı, nivosu kullanılmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 : Nivelman ölçmelerinde kullanılan presizyonlu nivo (Koni 007)

Mira olarak, 0.5 cm bölümlü, üç metrelik, iki bölümlü, 606.5 sabitli Kern marka invar miraları tercih edilmiştir. Presizyonlu nivelman okumaları, miralar 7 kg ağırlığındaki demir altlıklar üzerine, iki jalon desteği ile tutularak gerçekleştirilmiştir. Böylece miraların ölçme süresince çökmemesi ve sallanmadan düşey konumda tutulması sağlanmıştır. Nivelman ölçmelerinin tümü, gidiş-dönüş olarak ve 20 m gözleme uzaklığı ile gerçekleştirilmiştir. Nivelman ölçmeleri sırasında hataları minimize etmek için demir altlıklar, jalon destekler ve düzeçlerin kullanılması yanında, aynı tip miraların kullanılmasına ve maksimum 20 m uzaklıkta olmak üzere iki miraya eşit mesafeden ortadan okuma yapılmasına dikkat edilmiştir.

Şekil 5.7 de verilen nivelman ağında gidiş-dönüş olarak gerçekleştirilen nivelman ölçmeleri yardımıyla her kampanya nivelman ölçü grubu için Tablo 5.5 de verilen doğruluk kriterleri hesaplanmıştır. Fakat ikili ölçü gruplarından türetilen bu doğruluk kriterlerinin ölçü grupları için gerçekçi doğruluk kriterlerini yansıtmadığı Şekil 5.7 de verilen lup kapanması değerleri incelendiğinde açıkça anlaşılmaktadır. Şekil 5.7 de her kampanyada oluşan nivelman halkalarının kapanmaları verildiği gibi bu değerlere ilişkin istatistiksel bilgiler Tablo 5.4 de verilmektedir. Şekil 5.7 de verilen her kampanya için nivelman ağının toplam lup kapanmaları karşılaştırıldığında 4.kampanyaya ait olan kapanma değeri dikkat çekicidir.

Tablo 5.5 : Gidiş-dönüş nivelmanından türetilen doğruluk kriterleri

kampanya:	K1	K2	K3	K4
gid.- dön. ölçü sayısı (n)	40	6	19	17
d_{min} / d_{max} (mm)	-1.08 / 0.82	-0.74 / 1.48	-0.76 / 0.76	-0.74 / 1.20
ort. gid.-dön.fark (d_{ort} -mm)	0.34	0.77	0.31	0.36
[Pdd]	48.07	16.45	32.63	44.57
bir. ölç. var. (σ_o^2)	0.60	1.37	0.86	1.31
bir. ölç. koh. (σ_o)	0.77	1.17	0.93	1.14
ölç. grub. ort. var. (σ_N^2)	0.04	0.10	0.06	0.08
ölç. grub. ort. koh. (σ_N)	0.20	0.32	0.24	0.29

Şekil 5.7 : Nivelman ağı ve dört kampanya lup kapanmaları

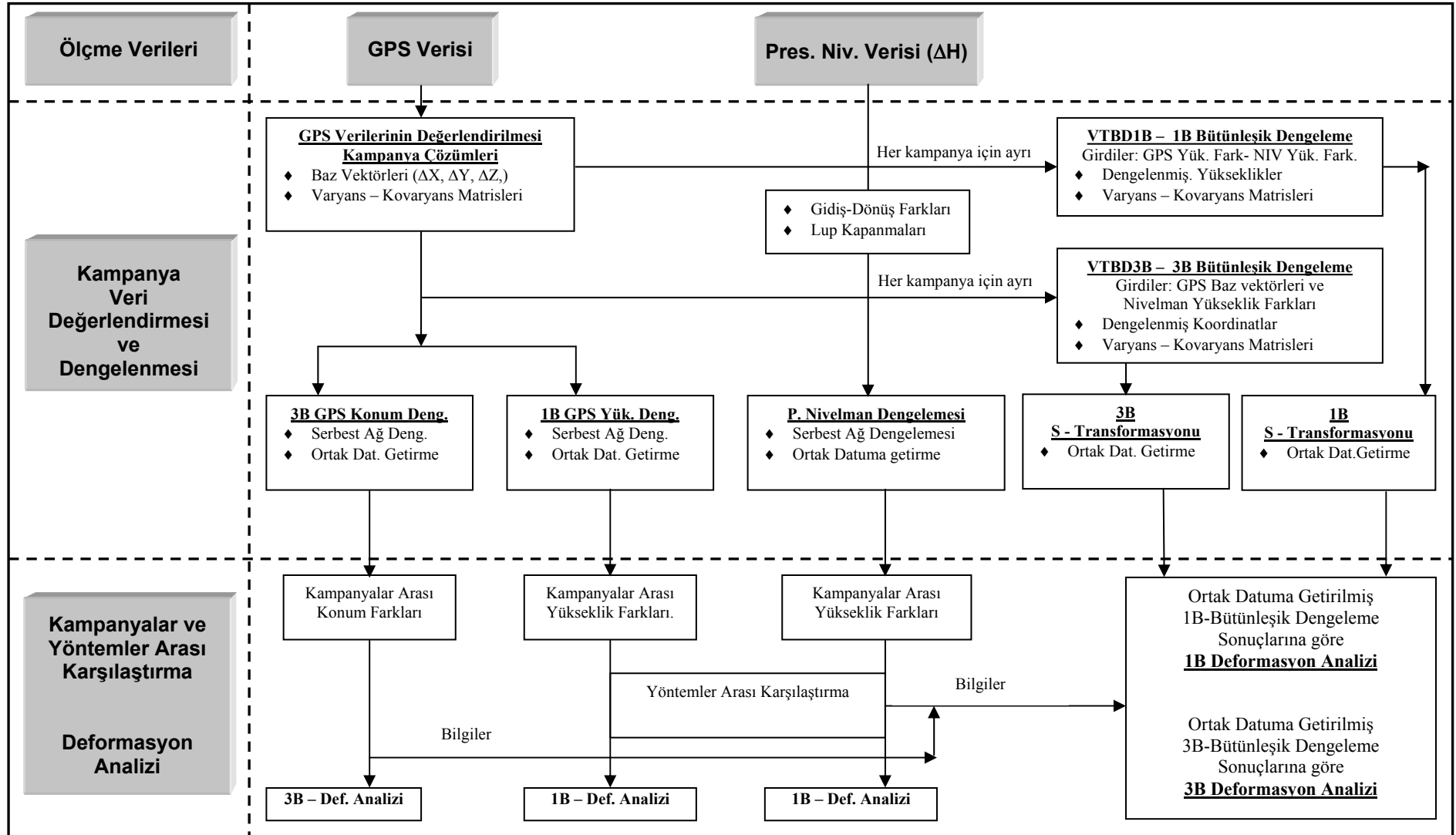
5.3 Ölçülerin Dengelenmesi ve Deformasyon Analizi

5.3.1 Dengeleme ve Analiz Adımları

Bu çalışmada, GPS ve nivelman verileri kullanılarak bir mühendislik yapısının olası deformasyonlarının saptanması amaçlanmıştır. Bu temel amaç yanında, ek olarak gerçekleştirilen nivelman ölçülerinin salt GPS ölçüleriyle elde edilen X,Y,Z (veya ϕ , λ , h) konum bilgilerine etkileri; i-) yatay ve düşey konum bilinmeyenleri, ii-) bunların doğrulukları ve iii-) deformasyon büyüklükleri bağlamında araştırılmıştır.

Yüksekliklerin belirlenmesinde, GPS ölçülerine göre nivelman ölçülerinin daha iyi bir doğruluk sağladığı bilinmektedir. Diğer taraftan, 3B konum bilgisi yalnızca GPS ölçmeleri ile sağlanabilmektedir. Bu nedenle üç boyutlu deformasyon analizi çalışmaları için, adı geçen iki tekniğin kombinasyonunun yararlı olabileceği düşünülmektedir. İki ölçme tekniğinin 3B olarak birlikte kullanılmasının üç boyutlu konum bileşenlerini ve doğruluklarını iyileştireceği ve yalnızca GPS ölçüleri kullanılarak yapılacak bir 3B deformasyon analizine kıyasla daha güvenilir, gerçekçi sonuçlar elde edileceği beklenmektedir. Bu açıklamaya uygun olarak çalışmanın üç boyutlu analiz kısmında iki yaklaşım uygulanmıştır. Birinci yaklaşımda sadece GPS tekniğinden elde edilen üç boyutlu baz vektörleri kullanılarak dengeleme ve analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci adımda ise GPS baz vektörlerine presizyonlu nivelman ölçüleri eklenerek oluşturulan veri grubu bütünleşik olarak dengelenmiş ve üç boyutlu analiz tekrarlanmıştır. Bu işlem sonucunda nivelman ölçülerinin üç boyutlu sonuçlara etkisi incelenmiştir

Şekil 5.8 de özetlendiği şekilde, deformasyonların 1B analizinde, üç farklı yaklaşım uygulanmıştır. İlk iki yaklaşımda, sırasıyla, presizyonlu nivelman ve GPS ölçmelerinden türetilen yükseklik farkları, ayrı ayrı dengelenmiş ve deformasyon analizinde kullanılmıştır. Üçüncü yaklaşımda ise, her iki ölçme tekniğinden elde edilen yükseklik farklarının kombinasyonu 1B olarak dengelenmiş ve deformasyonların analizi için kullanılmıştır. Böylelikle presizyonlu nivelman tekniğinin üstünlüğü, GPS tekniğine olan olumlu katkısı ve GPS tekniğinin 1B deformasyon analizindeki başarısı test edilmiştir.



Şekil 5.8 : GPS ve nivelman verilerin değerlendirilmesi, dengelenmesi, karşılaştırılması, kombinasyonu ve analizi

Ayrıca, 1B, 3B dengelemeler ve analizlere ek olarak üç boyutlu dengelemelerden ayrıştırılan 2B doğruluklar, bilinmeyenler ve deformasyon vektörleri incelenmiş, presizyonlu nivelman tekniğinin yatay konum doğruluğuna, bilinmeyenlerine ve deformasyon vektörlerine olan etkisi irdelenmiştir. 1B ve 3B bütünleşik dengelemelerde her iki ölçü grubunun en uygun biçimde kombinasyonunda, ölçü gruplarının öncül varyanslarının kestirimi için üçüncü bölümde bahsedilen MINQUE - VBT yaklaşımı uygulanmıştır.

Presizyonlu nivelman ölçülerinin tek boyutlu (1B) dengelemesi ve analizi, GPS değerlendirmesinden elde edilen yükseklik farklarının tek boyutlu (1B) dengelemesi ve analizi, GPS değerlendirmesinden elde edilen baz vektörlerinin üç boyutlu (3B) dengelemesi ve analizi ve iki farklı teknikten elde edilen veri gruplarının tek boyutlu (1B) ve üç boyutlu (3B) bütünleşik dengelemesi ve analizi Şekil 5.8 de üç ayrı adım olarak verilen genel değerlendirme, dengeleme, karşılaştırma ve analiz özet çizelgesi doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

5.3.2 GPS ve Nivelman Ölçülerinin Varyans Bileşenlerinin Belirlenmesi

GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinden, üç boyutlu baz bileşenleri ve bu baz bileşenlerine ait Varyans KoVaryans (VKV) matrisleri elde edilir. Fakat elde edilen bu VKV matrisleri oldukça iyimser olup gerçekçi değildir. Çünkü ölçü sayısının çokluğu yapay bir iyileşme görünümü yaratmakta ve GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sırasında aynı oturumda yapılan gözlemler arasındaki fiziksel, matematiksel korelasyonlar ihmal edilmektedir. Baz çözümü sırasında, sadece bir bazın bileşenleri arasındaki matematiksel korelasyon dikkate alınmaktadır (Vincenty, 1987; Beutler ve diğ., 1987; Hollmann ve diğ., 1990; Ananga ve diğ., 1994; El-Rabbany, 1994; Han ve Rizos, 1995a). Elde edilen bu iyimser VKV matrislerinin gerçekçi sonuçlar yansıtması için literatürde farklı çözümler önerilmektedir. Örneğin, Craymer ve diğ. (1990) ve Heus ve diğ. (2000), bu matrisin 10 sayısı ile ölçeklendirilmesini (çarpılmasını), Leinen ve diğ. (1999), baz bileşenlerinin standart sapmalarının 40 sayısı ile ölçeklendirilmesini önermiştir. El-Rabbany (1994) ise aynı oturumda yapılan baz çözümleri arasında fiziksel korelasyon modelleri önermiştir. Han ve Rizos (1995a), Han ve Rizos (1995b) ise VKV matrisleri ve öncül varyanslar için, uydulardan toplanan ölçü sayısına,

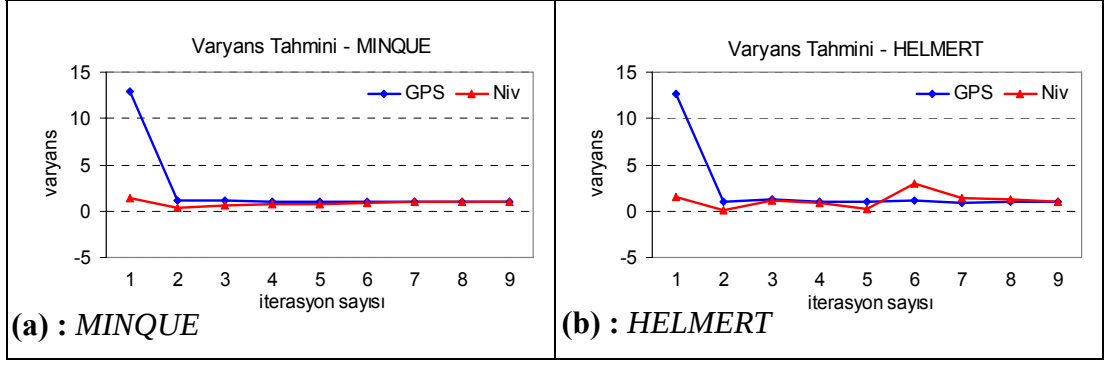
oturumda kullanılan alıcı sayısına, ölçüler arasındaki korelasyon değerlerine ve her ölçü için elde edilen düzeltme değerlerine bağlı ölçeklendirme modelleri önermiştir. **Craymer ve diğ. (1990)** ve **Leinen ve diğ. (1999)** çalışmalarında önerilen deneysel olarak bulunmuş ölçeklendirme katsayıları, literatürde belirtildiği gibi, genellikle GPS lup kapanmalarından veya tekrarlı baz çözümlerinden elde edilmiştir. Bununla beraber bazı GPS değerlendirme yazılımlarının dengeleme modüllerinde baz bileşenlerine ait kofaktörler matrisleri 10 sayısı ile çarpılarak ölçeklendirilmektedir. Örneğin bu çalışmada kullanılan değerlendirme yazılımının dengeleme modeli (Ski-Pro) böyledir.

Yukarıda açıklanan literatürlerdeki modeller sadece GPS baz çözümlerinin gerçekçi doğruluklarının belirlenmesi için önerilmiştir. Bu çalışmada, iki farklı ölçme tekniğinden elde edilen ölçü grupları söz konusudur (GPS ve Nivelman). Bu iki ölçü grubunun öncül varyanslarının birbirlerine göre (göreceli olarak) belirlenmesi demek her ölçü grubunun gerçekçi VKV matrislerinin oluşturulması anlamına gelecektir. İki veya daha fazla farklı ölçü grubunun birbirlerine göre varyanslarının belirlenmesinde Varyans Bileşeni Tahmini (VBT) yöntemleri kullanılır.

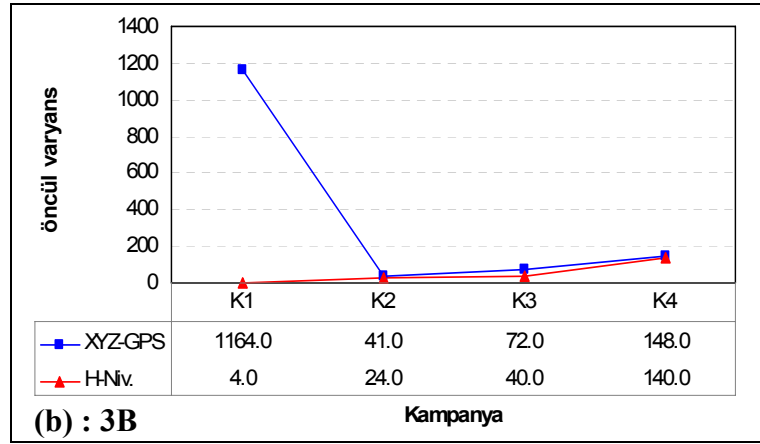
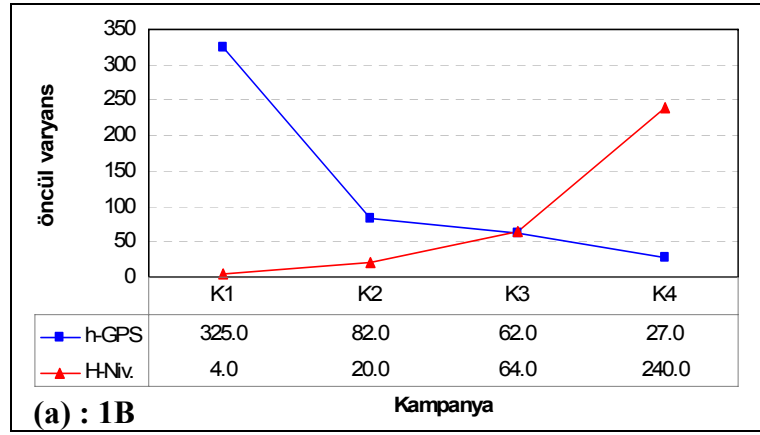
En küçük kareler yöntemine göre bilinmeyen parametrelerin kestiriminde, ölçülerin ağırlıkları stokastik model için gerekli en temel bilgidir. Varyans Bileşen Tahmininin amacı, öncül varyans-kovaryans (VKV) matrislerinin oluşturulmasında, ölçülere ilişkin gerçekçi ve güvenilir dengeleme öncesi (öncül) varyans değerlerinin türetilmesidir. Uygun olmayan stokastik modellerin kullanılması, dengeleme hesabı sonuçlarında sistematik sapmalara neden olabilir ve bu sapmalar deformasyon analizinde, noktalardaki signifikant (anlamalı) deformasyonlar olarak algılanabilir (**Crocetto ve diğ., 2000**).

GPS ve nivelman ölçülerinin tek boyutlu kombinasyonunda VBT tekniklerinin performansı ve ayrıca nivelman ölçü sayısının VBT tekniklerindeki önemi, **Erol ve diğ. (2004c)** ve **Erol ve Ayan (2005)** de verilmektedir.

Şekil 5.9, örnek bir kampanya için GPS ve nivelman ölçülerinin kombinasyonu sırasında Helmert'in HELMERT-VBT ve Rao'nun MINQUE-VBT yöntemlerinin uygulama sonuçlarını göstermektedir. Şekil 5.9 da görüldüğü gibi, uygulanan her iki VBT tekniği belirli sayıdaki iterasyonlar sonrasında aynı sonucu sağlamıştır.



Şekil 5.9 : VBT tekniklerinin iterasyon sonuçları



Şekil 5.10 : MINQUE-VBT yönteminden elde edilen öncül varyans bileşenleri

Dört kampanyanın her biri için GPS ve presizyonlu nivelman ölçmelerinin tek boyutlu (1B) ve üç boyutlu (3B) MINQUE-VBT işlemleri gerçekleştirilmiş ve her ölçü grubu için öncül varyans değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.10). Her kampanya ve her boyut (1B ve 3B) için ayrı ayrı olmak üzere, VBT işlemleri, Matlab programlama dilinde hazırlanan, Varyans Tahmini Bütünleşik Dengeleme (VTBD) olarak isimlendirilen (tek boyutlu-VTBD1B ve üç boyutlu-VTBD3B), kodlarla

gerçekleştirilmiştir. 1B ve 3B bütünleşik dengelemenin, VBT ile gerçekleştirilen ve büyük ölçüde tüm kampanyalar için hemen hemen 4.iterasyonda sabitleşme eğilimi gösteren varyans bileşeni değerlerinden türetilen öncül varyansları (σ_{0i}^2) ve bu öncül varyans bileşenleri ile ölçeklendirilen VKV matrislerinin köşegen terimlerinden türetilen doğruluk kriterleri ($(\sigma_{AB}^2)_{GPS}$, $(\sigma_{AH}^2)_{NIV}$) karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 5.6).

Tablo 5.6 : 3B ve 1B VBT sonrası ölçü grupları için elde edilen öncül varyans değerleri

Doğruluk Kriteri varyans	3B Bütünleşik Dengeleme				1B Bütünleşik Dengeleme			
	K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4
$(\sigma_0^2)_{GPS}$	1164.0	41.0	72.0	148.0	325.0	82.0	62.0	27.0
$(\sigma_0^2)_{NIV}$	4.0	24.0	40.0	140.0	4.0	20.0	64.0	240.0
$(\sigma_{AB}^2)_{GPS}$	290.0	9.0	15.0	20.0	125.0	21.0	20.0	16.0
$(\sigma_{AH}^2)_{NIV}$	0.2	1.0	1.5	4.0	0.2	0.8	2.0	8.0

Bu tablo, bir yandan dengeleme ve analizde kullanılan ölçü ağırlıklarına temel oluştururken bir yandan da kampanyalar arası gerçekleştirilen ölçü doğrulukları hakkında bilgi vermektedir.

5.3.3 Üç Boyutlu (3B) Dengelemeler ve Analizler

5.3.3.1 Üç Boyutlu (3B) Dengelemeler

Bu çalışmada, ilk adım olarak, kontrol ağı GPS ölçüleri her kampanya için ayrı ayrı olmak üzere değerlendirilmiş ve dengelenmiştir. Daha sonra nivelman ölçüleri de ayrı ayrı dengelenmiştir. Bu şekilde her iki ölçme tekniğinden elde edilen ölçülerin kalitesi ve bilinmeyenlerin doğruluğu hakkında ilk izlenimler elde edilmiştir. Ayrıca verilerdeki olası birtakım ölçme hataları ve kampanyalar arası sabit kalmayan ağ noktalarına ilişkin ilk ipuçları ortaya çıkarılmıştır. Bu aşamada, özellikle GPS ölçmeleri sırasında yapılan anten yüksekliği ölçmeleri, presizyonlu nivelman ölçülerinin yardımıyla kontrol edilmiş ve yapılan hatalar açığa çıkartılmıştır. Ayrıca dört kampanya boyunca her iki ölçme tekniğinin kalitesinin ne şekilde değiştiği bu ilk adımdaki işlemler sonucu ortaya çıkmıştır. İlk adımda elde edilen bu sonuçlarla çalışmanın ileriki adımları için uygun bir Deformasyon Analizi stratejisi ortaya konulmuştur. İlk adımdaki bu işlemlerden sonra, 3B bütünleşik dengelemeler

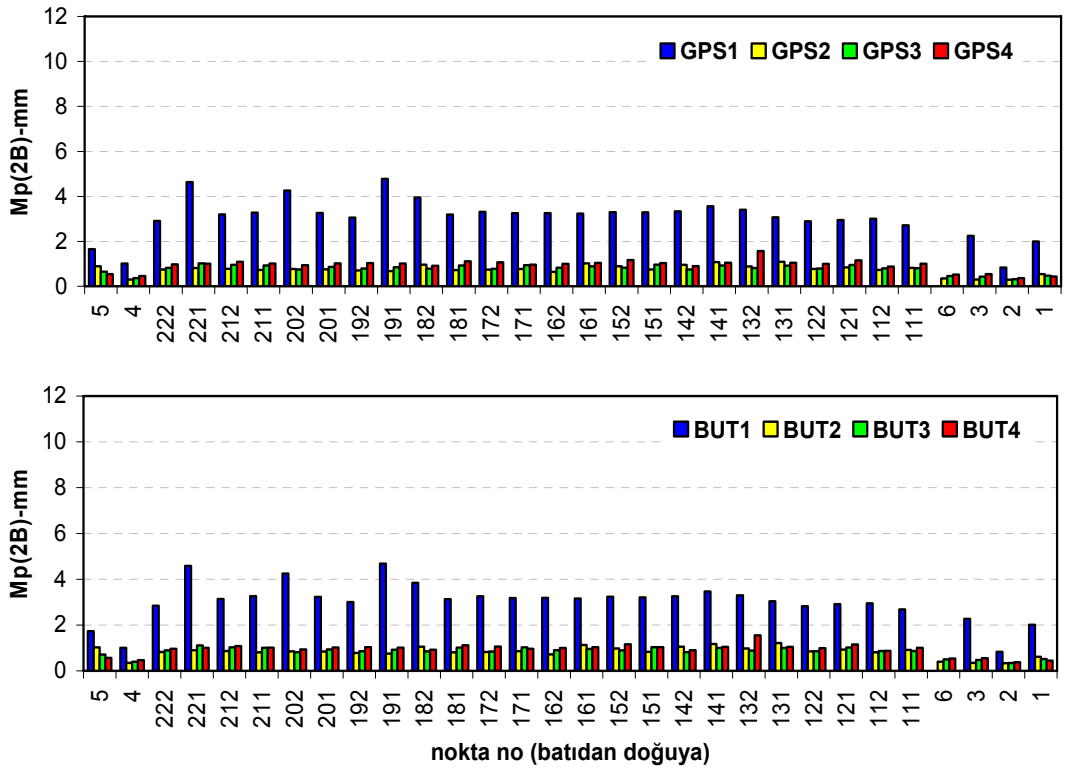
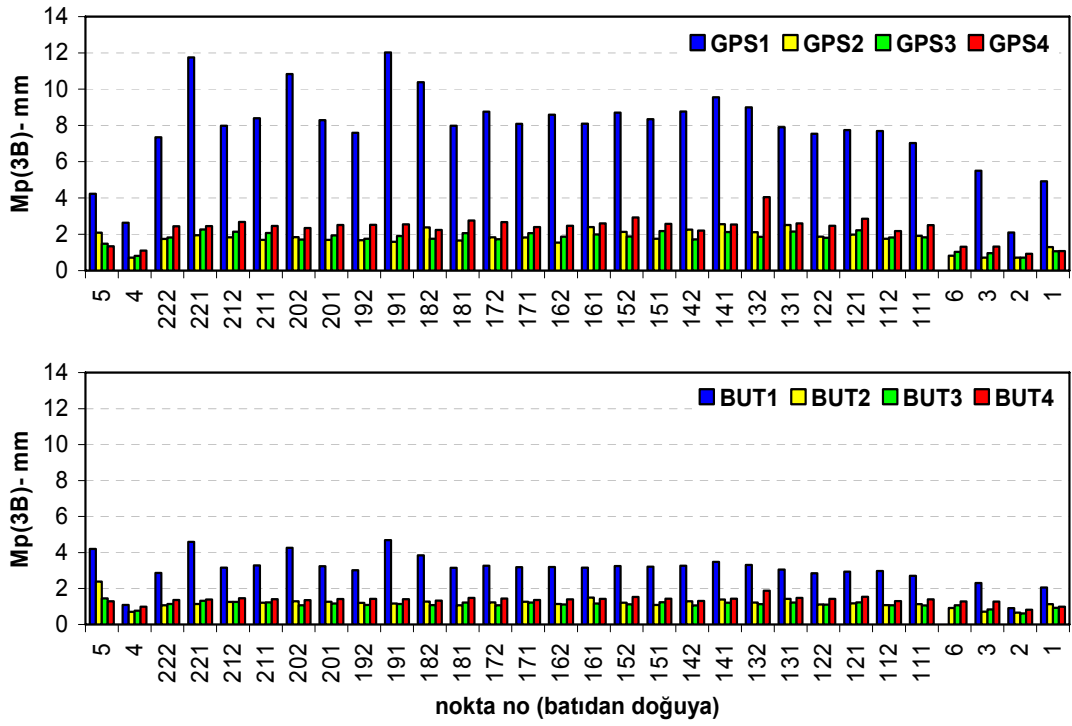
gerçekleştirilmiştir ve nivelman ölçülerinin GPS tekniğinden elde edilen 1B, 2B ve 3B doğruluklara ve bilinmeyenlere etkisi gözlenmiştir.

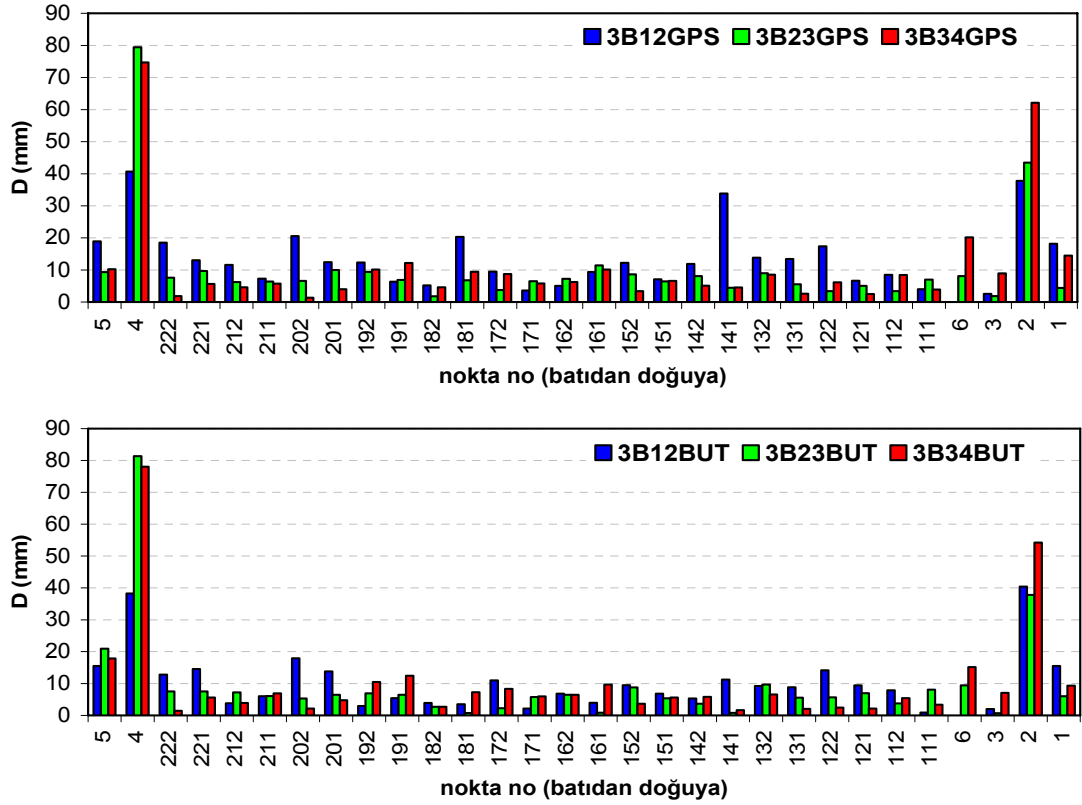
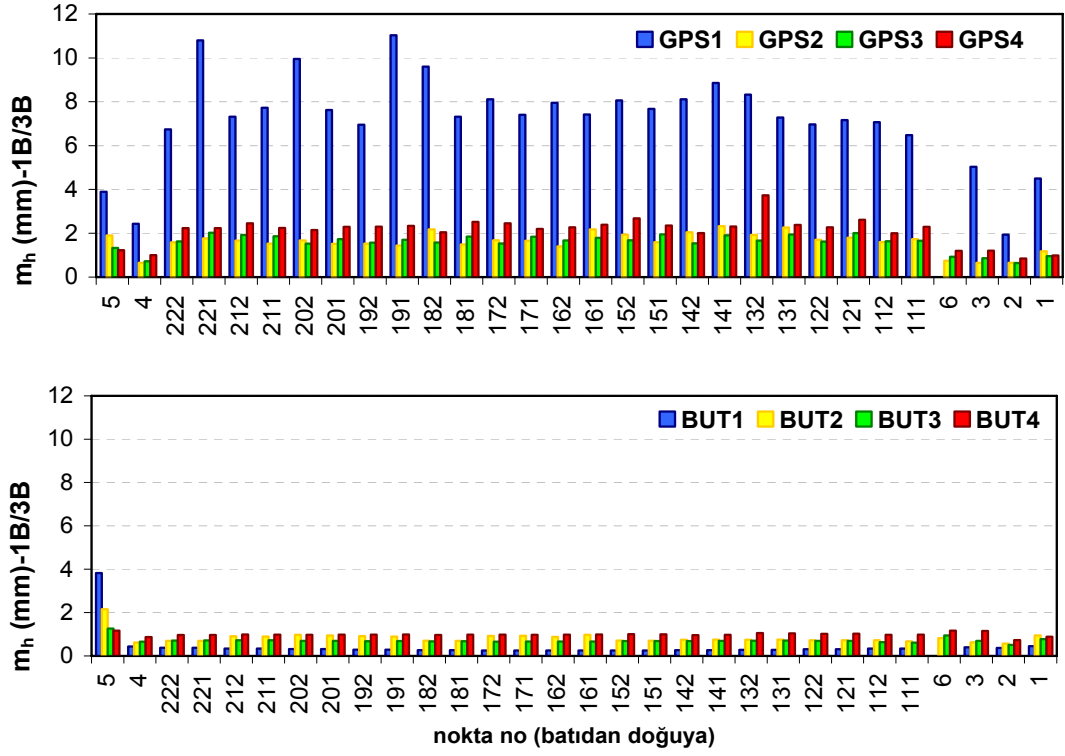
Tablo 5.7 : 3B dengelemelere ait istatistiksel ve özet bilgiler

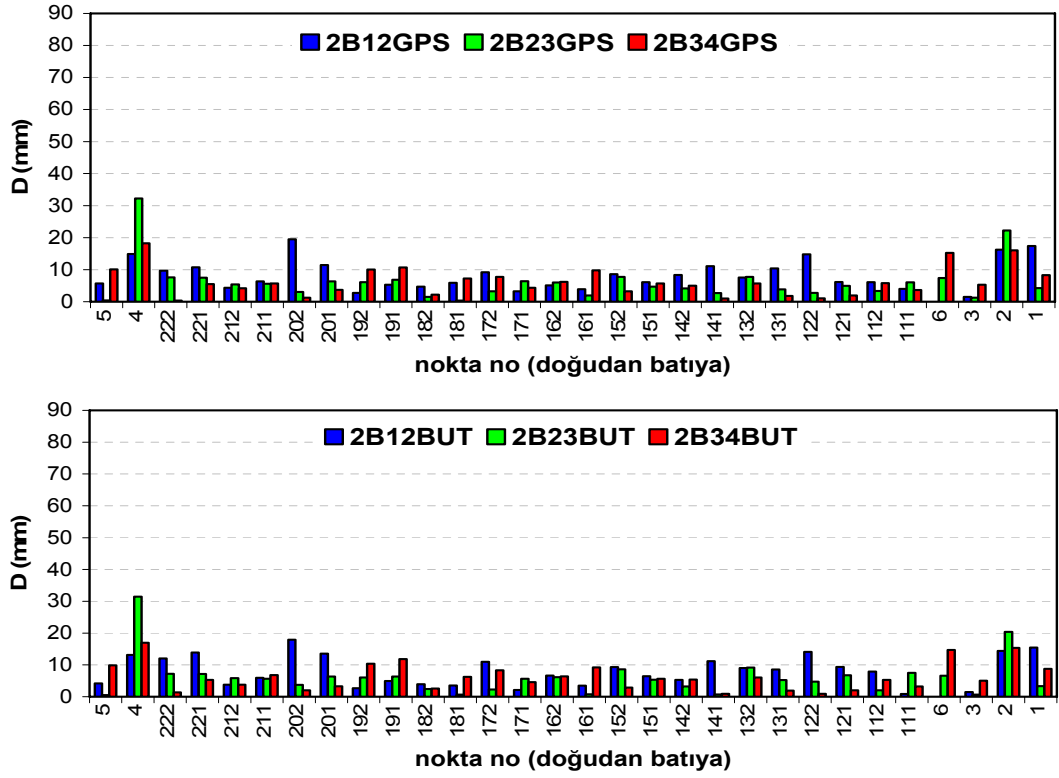
kampanya:	K1		K2		K3		K4	
veri grubu:	GPS	BUT	GPS	BUT	GPS	BUT	GPS	BUT
ort. önc. var. oranı	*	290.0 / 0.2	*	9.0 / 1.0	*	15.0 / 1.5	*	20.0 / 4.0
ölçü say (n)	318	358	420	455	480	521	543	582
bilin. say (u)	87	87	90	90	90	90	90	90
ser. der. (f)	234	274	333	368	393	434	456	495
mak. düz. ($v_{max}-mm$)	11.95	18.63	9.65	11.84	15.83	16.73	12.19	11.17
min. düz. ($v_{min}-mm$)	-12.53	-18.69	-5.28	-7.98	-9.71	-9.99	-12.41	-11.95
[Pvv]	73.11	274.10	337.26	368.01	238.57	433.98	236.62	495.03
son. var. (s_o^2) -BUT	0.31	1.00	1.01	1.00	0.61	1.00	0.52	1.00
son. var. (s_o^2) -GPS	362.42	*	6.35	*	6.52	*	8.82	*

Üç boyutlu konum bilgisi sadece GPS ölçülerinden elde edilmektedir bu sebepten üç boyutlu dengelemelerde ve analizlerde, GPS ve BUT (GPS+Nivelman) olmak üzere iki veri grubu kullanılmıştır. Üç boyutlu dengelemelerde GPS baz vektörleri (ΔX , ΔY , ΔZ (ΔB)), ölçü olarak seçilmiş ve bu ölçülere ait kofaktörler matrisi de ($Q_{\Delta B \Delta B}$) stokastik modelin oluşturulmasında kullanılmıştır. Tablo 5.7 de her kampanyanın GPS ve BUT dengelemelerine ait istatistiksel bilgileri (ölçü gruplarına ait ortalama öncül varyanslar, ölçü sayıları, bilinmeyen sayıları, maksimum ve minimum düzeltme değerleri ve soncul varyanslar) verilmektedir. Üç boyutlu GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen 3B bilinmeyenler ve doğrulukları, bu değerlerden türetilen 2B, 1B bilinmeyenler ve doğrulukları ile birlikte tablo olarak EK B, Tablo B.1, B.2, B.3 ve B.4 de verilmektedir. Dört kampanya boyunca GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen 3B doğruluklar, her veri grubunun kendi içinde kampanyalar boyunca elde ettiği doğrulukları daha kolay karşılaştırabilmek için, kampanya sırasına göre Şekil 5.11 de verilmektedir. Konum doğruluklarının kampanyalar boyunca değişimini ve nivelman ölçülerinin konum doğruluklarına etkisini daha iyi gösterebilmek için Şekil 5.12 de yatay konum (Şekil 5.12a) ve düşey konum (Şekil 5.12b) doğrulukları ayrı ayrı sergilenmiştir. Şekil 5.12a ve 5.12b incelendiğinde nivelman ölçülerinin düşey konum doğruluğuna olumlu etkisinin, beklendiği gibi oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yatay konum doğruluklarına etkisi ise Şekil 5.12a dan görüldüğü gibi, grafiklerden görülemeyecek kadar az olmuştur. Bu sonuç birazda, GPS ölçmelerinde uygulanan, özenli donanım, uzun ölçme süresi ve tekrarlı ölçmelerle sağlanan yüksek yatay konum doğruluğu ile açıklanmaktadır. GPS ile sağlanan yatay konum doğrulukları 1.Kampanya hariç, her

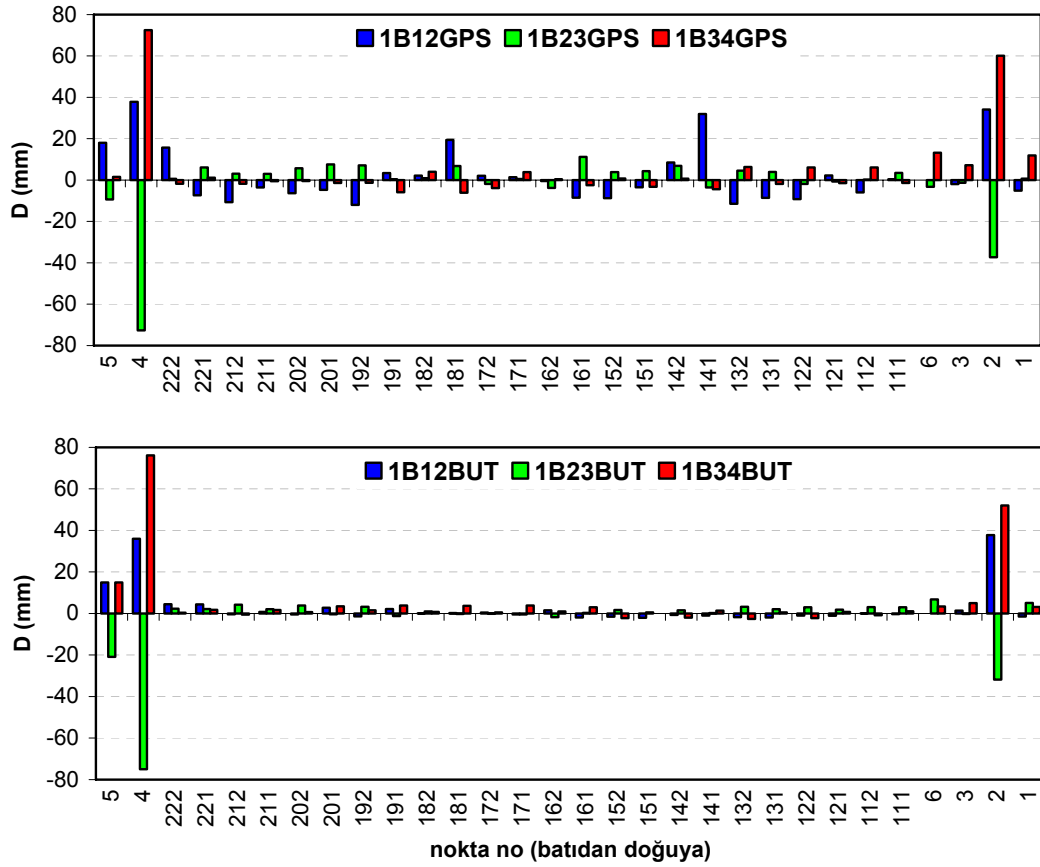
noktada 2 mm nin altındadır. Bu durum elbette ek ölçülerle ve özellikle nivelman ölçüleri ile iyileştirilmesi zor bir sonuçtur.







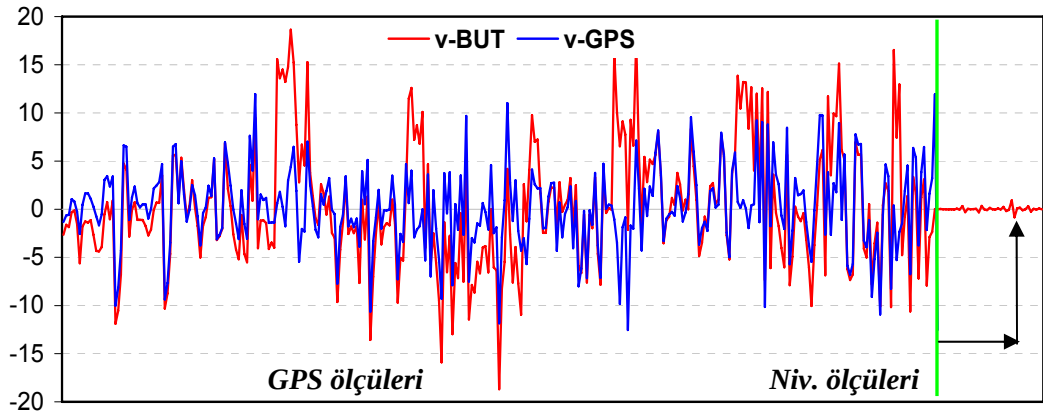
Şekil 5.14a : Sıralı ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen iki boyutlu (2B-yatay) deformasyon vektörleri (mm)



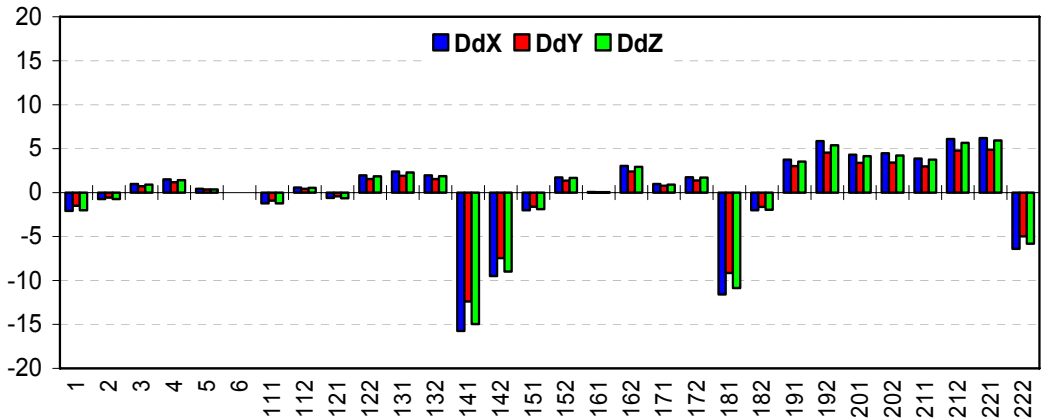
Şekil 5.14b : Sıralı ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen tek boyutlu (1B-düşey) deformasyon vektörleri (DU-mm)

Şekil 5.13, Şekil 5.14a ve Şekil 5.14b de nivelman ölçülerinin araştırmaya konu olan 3B, 2B ve 1B deformasyon vektörlerinin büyüklükleri üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Şekil 5.13 de verilen söz konusu 3B deformasyon büyüklükleri daha sonra istatistiksel testlere konu olacaktır.

Nivelman ölçülerinin etkilerinin daha iyi gözlenebilmesi için, nivelman ölçüleriyle, GPS ölçülerinin düzeltmelerinin ve koordinat bilinmeyenlerinin değişimi de örnek olarak 1.kampanya için Şekil 5.15 de gösterilmiştir. Dört kampanya boyunca nivelman ölçülerinin en fazla etkili olduğu kampanya 1.kampanya olup, en az etkili olduğu kampanya 4.kampanyadır.



a-) GPS ve Nivelman ölçülerinin dengeleme sonrası düzeltme değerleri (mm)



b-) GPS ve BUT dengelemeleri sonrası bilinmeyenlerin değişimi (mm)

Şekil 5.15 : 1. Kampanya, 3B GPS ve BUT dengelemelerde, nivelman ölçülerinin GPS ölçü düzeltmelerine etkisi (a) ve bilinmeyenlerin değişimi-nivelman ölçülerinin 3B bilinmeyenlere etkisi (b)

5.3.3.2 Üç Boyutlu (3B) Deformasyon Analizleri

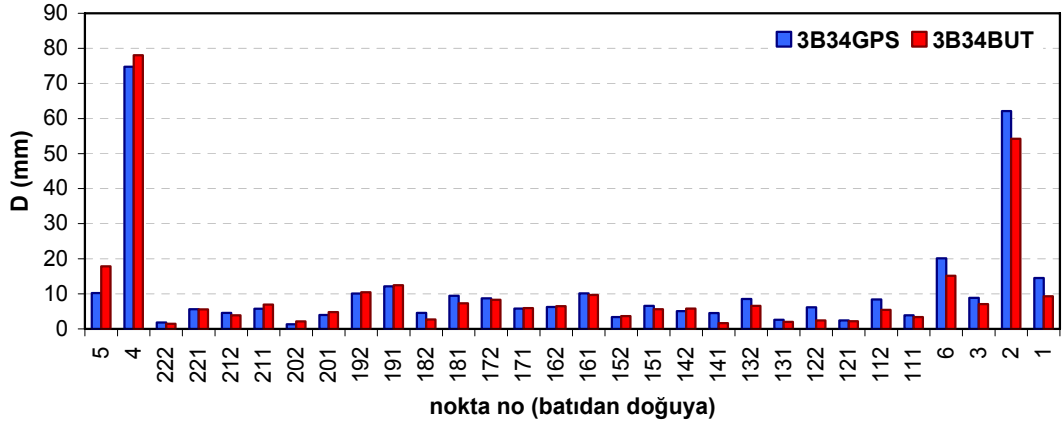
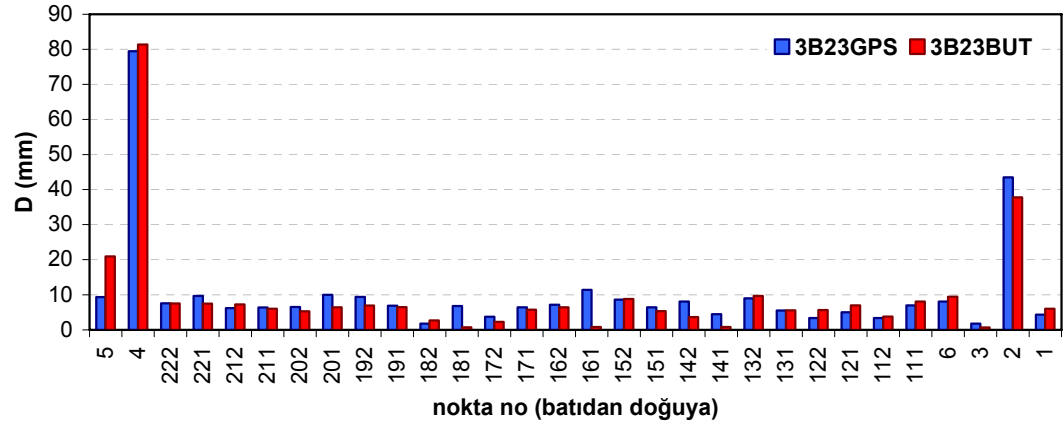
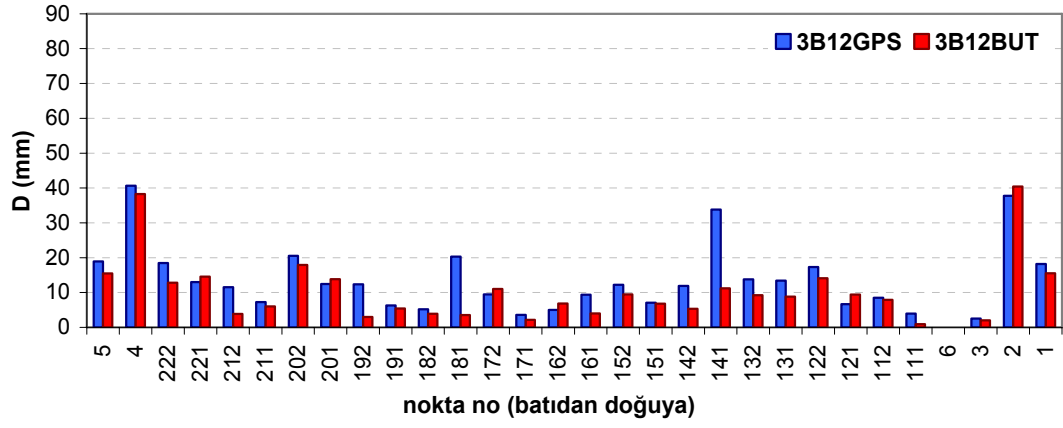
Her kampanyanın 3B GPS ve BUT serbest dengelemeleri tamamlandıktan ve doğruluk karşılaştırmaları yapıldıktan sonra, her iki veri grubuyla ardışık kampanyalar arası 3B deformasyon analizine geçilmiştir. S-Transformasyonu tekniği kullanılarak ardışık kampanyalar arası hareketsiz kalan nokta blokları belirlenmiş ve kampanyalar aynı datuma getirilmiştir. Ardışık kampanyalar arasındaki 3B deformasyon analizleri ve global test sonuçları örnek olarak 1. ve 2. kampanyalar arası sonuçları ile Tablo 5.8 ve Şekil 5.16 da ve tümüyle de EK C de, Tablo C.1a, C.1b ve C.1c olarak verilmektedir.

Deformasyon analizi sonuçlarına bakıldığında, kontrol ağının viyadük üzerindeki pek çok noktasında ve viyadük dışındaki noktaların bazılarında kanıtlanabilir deformasyonlar görülmektedir. Kampanyaların 3B GPS analizleri ile BUT (Nivelman+GPS) analizleri sonuçları karşılaştırıldığında, öncelikle deformasyon büyüklüklerinin önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Bazı noktalarda, örneğin 1. ve 2.kampanyalar arası analizdeki 222 numaralı noktada yalnız GPS dengelemelerinden $D=18.46$ mm kanıtlanamamış deformasyon elde edilmişken BUT dengeleme analizinden $D= 12.82$ mm significant deformasyon elde edilmiştir. Bu durum pek çok kez tekrarlanmıştır. Burada nivelman ölçülerinin test güvenilirliğine de katkısı olduğu sonucu çıkarılabilir.

Diğer yönden özellikle GPS ölçülerinin doğruluklarının daha çok yükseldiği 2.kampanya ve 3.kampanya analizinde deformasyon vektörlerinin mutlak değerce küçüldüğü ama significant deformasyonların yaygınlaştığı görülmektedir. Bu kampanyalara ait GPS analizinde yalnız 5 noktada, BUT analizde ise bu noktalardan başka 4 noktada daha deformasyon kanıtlanamamıştır. Benzer görünüm üçüncü ve dördüncü kampanya analizinde de görülmektedir.

Tablo 5.8 : Ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT deformasyon analizi (1. ve 2. kampanya arasında)

NN	DX	DY	DZ	D	Test	Fisher	HİPOTEZ	NN	DX	DY	DZ	D	Test	Fisher	HİPOTEZ
GPS12	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		.95;3,f	(D=0)	BUT12	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		.95;3,f	(D=0)
5	15.89	2.89	9.84	18.91	1.92	2.62	GEÇERLİ	5	12.69	2.48	8.54	15.49	2.82	2.62	GEÇERLİ
4	34.26	2.29	21.77	40.66	14.28	2.62	GEÇERSİZ	4	31.49	2.46	21.60	38.26	453.11	2.62	GEÇERSİZ
222	6.11	0.60	17.41	18.46	2.22	2.62	GEÇERLİ	222	-2.68	-4.23	11.80	12.82	13.32	2.62	GEÇERSİZ
221	-11.32	5.72	-2.84	13.00	1.99	2.62	GEÇERLİ	221	-5.44	12.43	5.33	14.57	13.71	2.62	GEÇERSİZ
212	-4.07	-3.67	-10.16	11.55	0.58	2.62	GEÇERLİ	212	1.12	2.16	-2.94	3.82	0.53	2.62	GEÇERLİ
211	-2.20	-6.89	0.58	7.26	1.14	2.62	GEÇERLİ	211	-0.90	-4.14	4.26	6.00	1.24	2.62	GEÇERLİ
202	9.77	-3.45	-17.72	20.53	5.39	2.62	GEÇERSİZ	202	12.27	-0.17	-13.05	17.91	3.66	2.62	GEÇERSİZ
201	-11.76	2.50	3.17	12.43	3.61	2.62	GEÇERSİZ	201	-8.25	6.65	8.87	13.82	7.55	2.62	GEÇERSİZ
192	-8.23	-6.57	-6.43	12.34	0.32	2.62	GEÇERLİ	192	-2.52	-1.11	1.09	2.96	1.27	2.62	GEÇERLİ
191	2.49	5.78	-0.35	6.30	0.39	2.62	GEÇERLİ	191	0.53	5.39	-0.14	5.42	3.46	2.62	GEÇERSİZ
182	1.37	4.93	-0.87	5.19	0.41	2.62	GEÇERLİ	182	-0.99	3.69	-0.92	3.93	0.20	2.62	GEÇERLİ
181	16.15	8.99	8.36	20.29	1.57	2.62	GEÇERLİ	181	2.80	-0.87	-1.98	3.53	0.49	2.62	GEÇERLİ
172	-3.81	-2.22	8.38	9.47	2.13	2.62	GEÇERLİ	172	-5.93	-3.52	8.57	11.00	2.35	2.62	GEÇERLİ
171	1.37	3.12	-1.06	3.57	0.24	2.62	GEÇERLİ	171	-0.75	1.80	-0.94	2.16	0.30	2.62	GEÇERLİ
162	-3.54	-0.87	3.46	5.03	0.91	2.62	GEÇERLİ	162	-3.26	-0.69	5.99	6.85	1.93	2.62	GEÇERLİ
161	-3.58	-6.35	-5.88	9.36	0.45	2.62	GEÇERLİ	161	-0.26	-3.93	-0.57	3.98	2.62	2.62	GEÇERLİ
152	-5.63	-10.70	-1.66	12.21	1.33	2.62	GEÇERLİ	152	-1.98	-8.31	4.08	9.47	2.60	2.62	GEÇERLİ
151	1.30	-6.12	-3.28	7.06	1.44	2.62	GEÇERLİ	151	1.42	-6.56	-0.97	6.79	3.12	2.62	GEÇERSİZ
142	4.59	10.70	2.40	11.89	1.31	2.62	GEÇERLİ	142	-2.06	4.64	-1.60	5.32	0.78	2.62	GEÇERLİ
141	29.07	10.94	13.38	33.82	5.35	2.62	GEÇERSİZ	141	7.25	-6.96	-5.01	11.23	2.91	2.62	GEÇERSİZ
132	-13.08	-3.64	-2.36	13.78	3.17	2.62	GEÇERSİZ	132	-7.58	-0.56	5.22	9.22	3.17	2.62	GEÇERSİZ
131	0.30	0.19	-13.42	13.42	3.43	2.62	GEÇERSİZ	131	3.80	1.73	-7.75	8.80	3.32	2.62	GEÇERSİZ
122	4.57	-11.19	-12.43	17.34	7.28	2.62	GEÇERSİZ	122	9.11	-9.19	-5.67	14.13	5.42	2.62	GEÇERSİZ
121	-0.12	-3.65	5.56	6.65	1.90	2.62	GEÇERLİ	121	-2.89	-7.27	5.28	9.44	2.31	2.62	GEÇERLİ
112	-2.35	-7.77	-2.46	8.48	0.79	2.62	GEÇERLİ	112	0.89	-7.19	3.16	7.90	1.09	2.62	GEÇERLİ
111	1.03	3.07	-2.29	3.97	0.76	2.62	GEÇERLİ	111	0.03	0.44	-0.78	0.90	0.42	2.62	GEÇERLİ
6								6							
3	-1.69	0.64	-1.76	2.52	0.21	2.62	GEÇERLİ	3	-0.05	0.26	1.99	2.01	1.77	2.62	GEÇERLİ
2	33.59	13.62	10.60	37.76	26.91	2.62	GEÇERSİZ	2	35.36	12.74	14.89	40.43	547.29	2.62	GEÇERSİZ
1	8.31	-0.23	-16.16	18.17	11.54	2.62	GEÇERSİZ	1	10.06	-1.37	-11.74	15.52	7.21	2.62	GEÇERSİZ
3 5 111 112 121 142 151 152 161 162 171 172 182								3 111 112 121 142 152 161 171 181 192							
Noktalarına dayalı olarak GLOBAL TEST								Noktalarına dayalı olarak GLOBAL TEST							
h	f	s_o^2	R	Test	Fisher			h	f	s_o^2	R	Test	Fisher		
33	567	0.72	33.22	1.39	1.46			24	642	1.00	39.77	1.66	1.53		



Şekil 5.16 : 3B GPS ve BUT dengellemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası üç boyutlu (3B) deformasyon vektörleri (mm)

Kampanyalar arası nivelman ölçüleri kendi aralarında karşılaştırıldığında, viyadük noktalarında daha az, diğerlerinde daha çok olmak üzere önemli yükseklik değişimlerinin meydana geldiği gözlenmektedir. Bu durum arazinin jeolojik yapısı hakkındaki bilgilerle birlikte değerlendirildiğinde, daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak için, üç boyutlu deformasyon vektörü içindeki yükseklik bileşenini mercek altına alarak araştırmayı derinleştirmek gereği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle deformasyon analizinin bir kez de tek boyutlu olarak düşey konum bileşenleri ile gerçekleştirilmesi yoluna gidilmiştir.

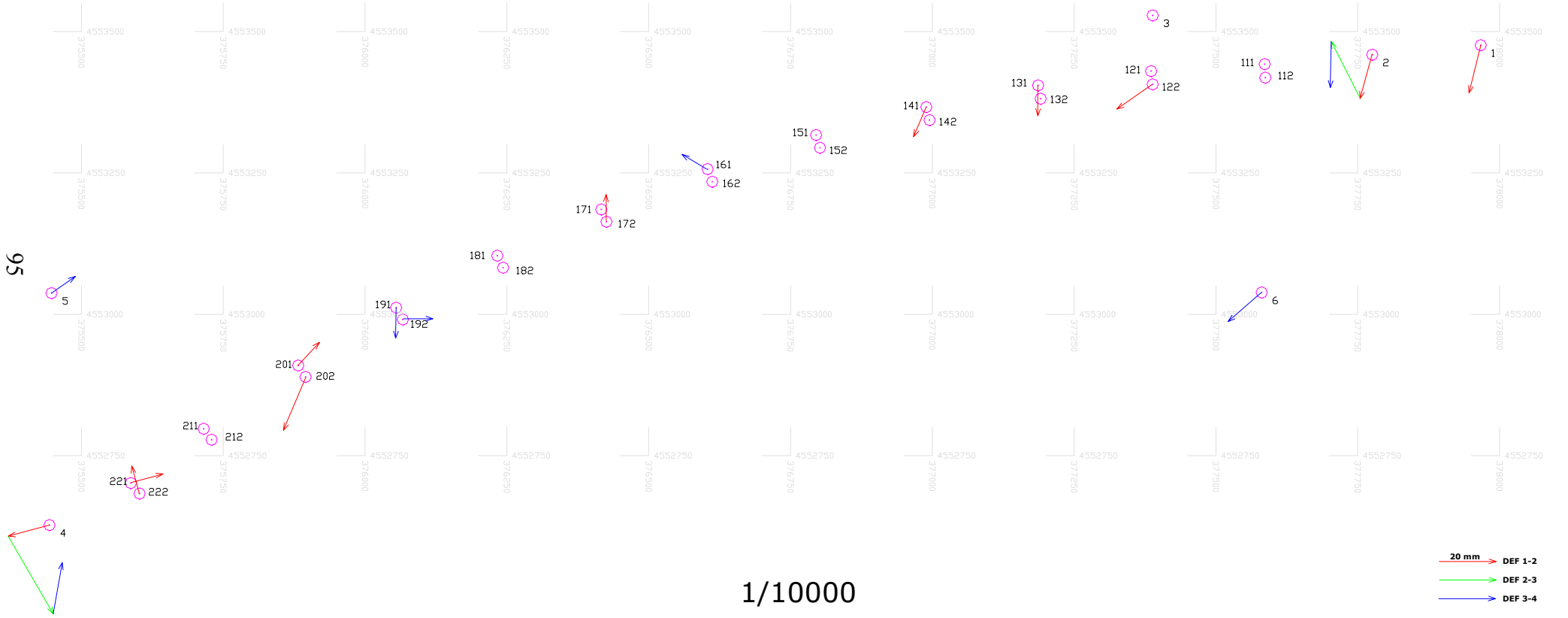
Ardışık kampanyalar arasındaki 3B konum değişimlerine benzer olarak, 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arasındaki 2B yatay konum ve 1B yükseklik değişimleri, her ardışık kampanya için GPS ve BUT dengelemesinden elde edilen değişimlerin kolayca karşılaştırılması için ayrıntılı olarak Tablo C.2a, C.2b ve C.2c de ve grafik olarak Şekil C.1b ve C.1c de verilmektedir. 1. ve 2.kampanyalar arasındaki 2B ve 1B deformasyon vektörleri örnek olarak Tablo 5.9 da verilmektedir.

Üç boyutlu çalışmanın son adımı olarak, iki boyutlu-yatay (2B) konum değişimleri, GPS ve BUT veri grupları kullanılarak elde edilen ardışık kampanyalar arasında deformasyonlar aynı olduğu için tek bir ölçekli çizim olarak Şekil 5.17 de verilmiştir.

Tablo 5.9 : 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası 2B konum ve 1B yükseklik değişimleri (mm)

NN	DN	DE	D	DU	t_D	t_D	NN	DN	DE	D	DU	t_D	t_D
GPS12	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(grad)	(derece)	BUT12	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(grad)	(derece)
5	-2.71	-5.04	5.72	18.01	268.62	241.75	5	-1.67	-3.88	4.22	14.91	274.08	246.67
4	-4.05	-14.31	14.87	37.80	282.45	254.20	4	-2.68	-12.87	13.14	35.94	286.91	258.22
222	9.40	-2.38	9.70	15.69	384.18	345.77	222	11.77	-2.43	12.02	4.46	387.02	348.31
221	2.55	10.40	10.71	-7.34	84.68	76.21	221	3.25	13.51	13.90	4.37	84.95	76.46
212	-4.14	-1.34	4.35	-10.62	219.95	197.96	212	-3.54	1.36	3.79	-0.41	176.62	158.95
211	3.89	-5.01	6.34	-3.54	342.00	307.80	211	5.03	-3.21	5.96	0.72	363.86	327.47
202	-17.93	-7.67	19.50	-6.37	225.72	203.15	202	-16.87	-6.01	17.91	-0.51	221.77	199.59
201	8.39	7.78	11.44	-4.74	47.63	42.86	201	9.36	9.79	13.54	2.76	51.41	46.27
192	1.98	-1.88	2.74	-12.01	351.64	316.47	192	2.63	0.23	2.64	-1.35	5.52	4.97
191	-3.51	3.95	5.28	3.41	146.22	131.60	191	-2.10	4.49	4.95	2.19	127.89	115.10
182	-2.95	3.64	4.68	2.16	143.37	129.03	182	-1.28	3.72	3.93	0.07	121.18	109.06
181	-5.93	0.17	5.93	19.42	198.12	178.31	181	-2.83	-2.10	3.53	0.24	240.69	216.62
172	9.20	-0.07	9.20	2.08	399.51	359.56	172	10.99	-0.27	10.99	0.44	398.45	358.61
171	-2.54	2.06	3.26	1.38	156.62	140.96	171	-0.84	1.94	2.11	-0.47	125.94	113.34
162	5.00	0.93	5.08	-0.41	11.68	10.51	162	6.61	0.95	6.68	1.53	9.09	8.18
161	-0.45	-3.87	3.89	-8.46	292.66	263.39	161	0.96	-3.33	3.47	-1.96	317.81	286.03
152	5.37	-6.68	8.57	-8.74	343.10	308.79	152	6.82	-6.36	9.33	-1.61	352.25	317.02
151	-1.32	-5.98	6.13	-3.50	286.13	257.52	151	0.51	-6.45	6.47	-2.06	305.04	274.53
142	-4.21	7.21	8.34	8.47	133.63	120.27	142	-1.47	5.06	5.27	-0.75	118.05	106.25
141	-10.21	-4.31	11.08	31.93	225.46	202.91	141	-5.78	-9.57	11.18	-1.00	265.44	238.89
132	6.91	3.04	7.55	-11.42	26.42	23.78	132	8.49	3.13	9.05	-1.79	22.49	20.24
131	-10.41	0.03	10.41	-8.60	199.80	179.82	131	-8.58	-0.29	8.58	-1.96	202.19	181.97
122	-8.56	-12.04	14.77	-9.20	260.64	234.58	122	-6.65	-12.43	14.10	-1.00	268.72	241.85
121	5.33	-3.12	6.18	2.25	366.34	329.70	121	7.92	-5.01	9.38	-1.06	364.09	327.68
112	1.89	-5.76	6.06	-5.97	320.22	288.20	112	4.12	-6.74	7.90	0.08	334.92	301.42
111	-3.34	2.20	4.00	0.33	162.95	146.65	111	-0.75	0.37	0.84	-0.33	170.50	153.45
6						0.00	6						0.00
3	-0.52	1.43	1.52	-1.99	122.21	109.99	3	1.45	0.25	1.47	1.37	10.91	9.82
2	-15.69	-4.09	16.21	34.11	216.24	194.61	2	-13.20	-5.68	14.37	37.79	225.87	203.28
1	-16.86	-4.14	17.36	-5.16	215.32	193.79	1	-14.22	-6.01	15.44	-1.55	225.44	202.89

KARASU VİYADÜĞÜ



Şekil 5.17 : 3B BUT (GPS+NIV) dengelemesinden elde edilen ardışık kampanyalar arası iki boyutlu (2B) yatay deformasyonlar

5.3.4 Tek Boyutlu (1B) Dengelemeler ve Analizler

5.3.4.1 Tek Boyutlu (1B) Dengelemeler

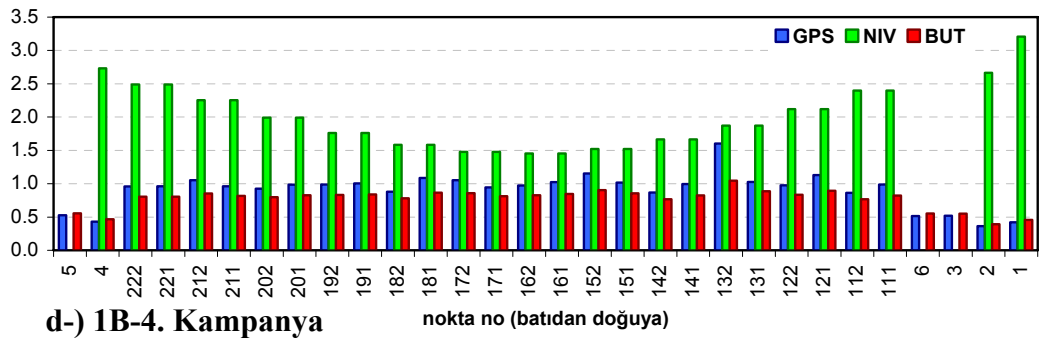
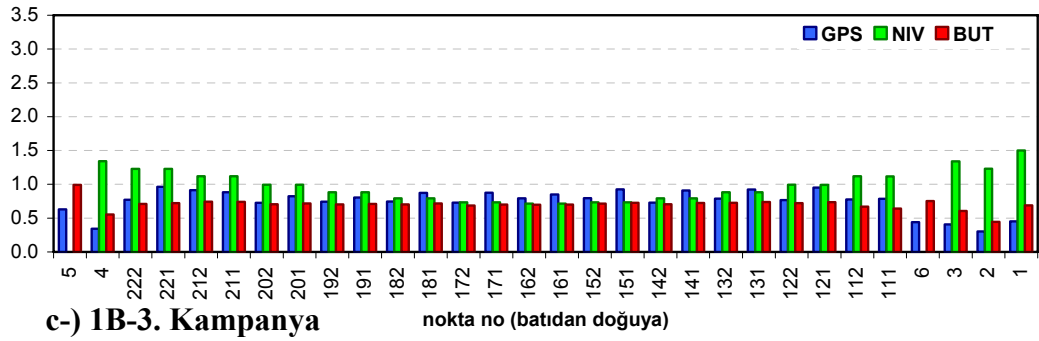
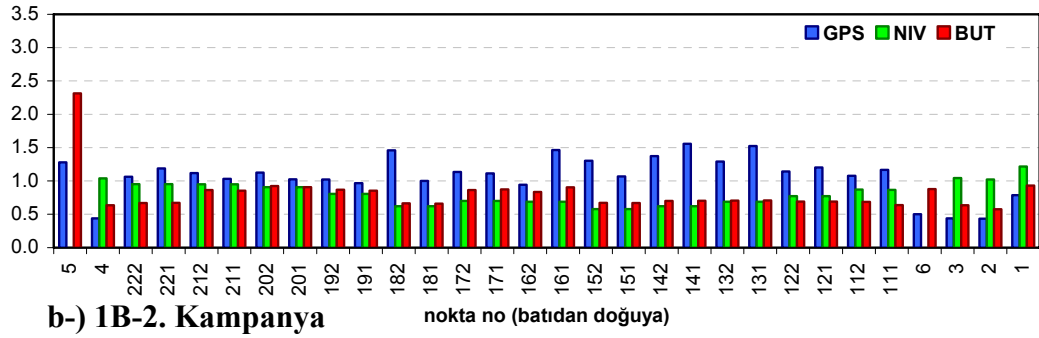
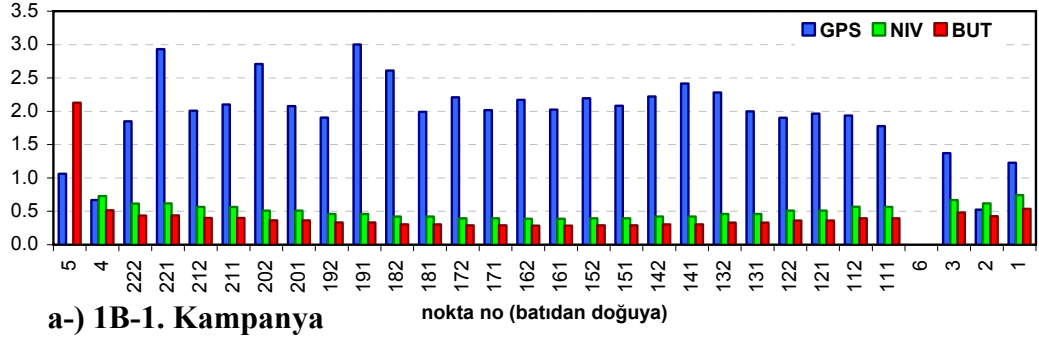
Üç boyutlu dengelemeler sonucu, nivelman ölçülerinin GPS sisteminin sadece yükseklik bileşenini ve doğruluğunu etkilediği, yatay konum bilinmeyenlerine ve doğruluklarına etkisinin yok denecek kadar az olduğu görülmüştür. Bu durumda düşey konum değişimlerini daha iyi analiz edebilmek için yalnızca yükseklik değişimlerini konu alan bir boyutlu dengelemeler ve analizler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.10 : 1B dengelemelere ait istatistiksel ve özet bilgiler

kampanya:	K1			K2		
veri grubu:	GPS	NIV	BUT	GPS	NIV	BUT
ort. önc. var. oranı ($\sigma_{oG}^2/\sigma_{oN}^2$)	*	*	125.0 / 0.2	*	*	21.0 / 0.8
ölçü sayısı (n)	106	40	146	140	35	175
bilinmeyen sayısı (u)	29	28	29	30	28	30
serbestlik derecesi (f)	78	13	118	111	8	146
maks. düz. (v_{max-mm})	8.66	0.88	26.35	10.19	0.53	14.16
min. düz. (v_{min-mm})	-10.38	-0.88	-18.35	-6.18	-0.53	-12.04
karese form ($[P_{vv}]$)	10.64	12.43	117.98	41.80	3.92	146.85
soncul varyans (s_o^2) Q-BUT	0.14	0.96	1.00	0.38	0.49	1.00
soncul varyans (s_o^2) Q-NIV	*	0.25	*	*	0.39	*
kampanya:	K3			K4		
veri grubu:	GPS	NIV	BUT	GPS	NIV	BUT
ort. önc. var. oranı ($\sigma_{oG}^2/\sigma_{oN}^2$)	*	*	20.0 / 2.0	*	*	16.0 / 8.0
ölçü sayısı (n)	160	41	201	181	39	220
bilinmeyen sayısı (u)	30	28	30	30	27	30
serbestlik derecesi (f)	131	14	172	152	13	191
maks. düz. (v_{max-mm})	12.49	1.85	12.89	16.07	1.92	15.79
min. düz. (v_{min-mm})	-9.65	-1.93	-9.23	-10.08	-1.92	-11.12
karese form ($[P_{vv}]$)	31.11	3.64	171.99	119.91	3.90	191.02
soncul varyans (s_o^2) Q-BUT	0.24	0.26	1.00	0.79	0.30	1.00
soncul varyans (s_o^2) Q-NIV	*	0.51	*	*	1.06	*

1B dengelemede, öncelikle presizyonlu nivelmandan elde edilen yükseklik farkları (ΔH) için, teorik olarak literatürde verilen $\sigma_{\Delta H} = 0.5 \text{ mm} \sqrt{S_{(km)}}$ eşitliğinden elde edilen standart sapmalarla kofaktörler matrisi oluşturulmuş ve dengeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinden elde edilen elipsoidal yükseklik farklarının (Δh) dengelenmesinde ise stokastik model, bu ölçülere ait GPS değerlendirmeden gelen kofaktörler ($Q_{\Delta h \Delta h}$) matrisi kullanılarak oluşturulmuştur. 1B BUT dengelemede GPS ve nivelman yükseklik farkları ve bu ölçü gruplarının VBT

tekniki kullanılarak ölçeklendirilen kofaktörler matrislerinden elde edilen VKV matrisleri kullanılmıştır. Tablo 5.10, kampanyalara ait 1B GPS, NIV ve BUT dengelemelere ait istatistiksel ve özet bilgileri içermektedir.

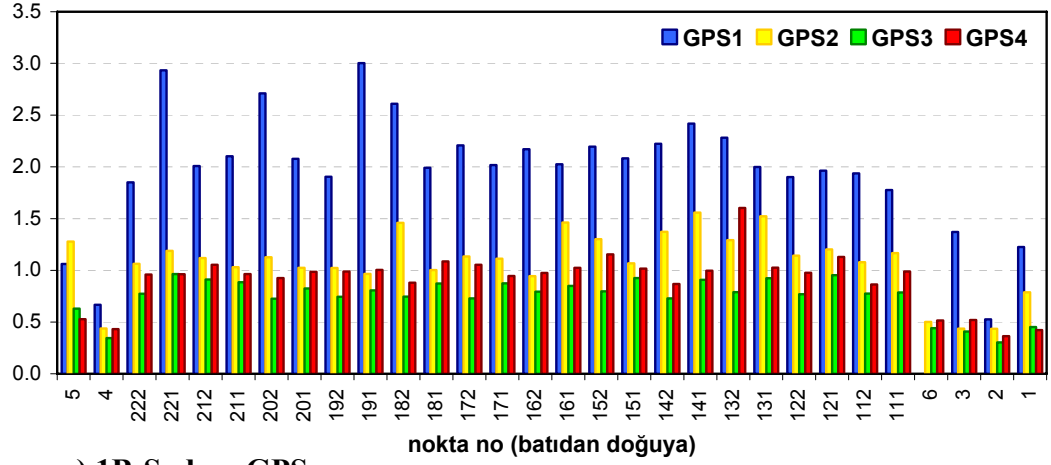


Şekil 5.18 : 1B dengelemeler sonucu bulunan doğruluklar ($m_H - mm$)

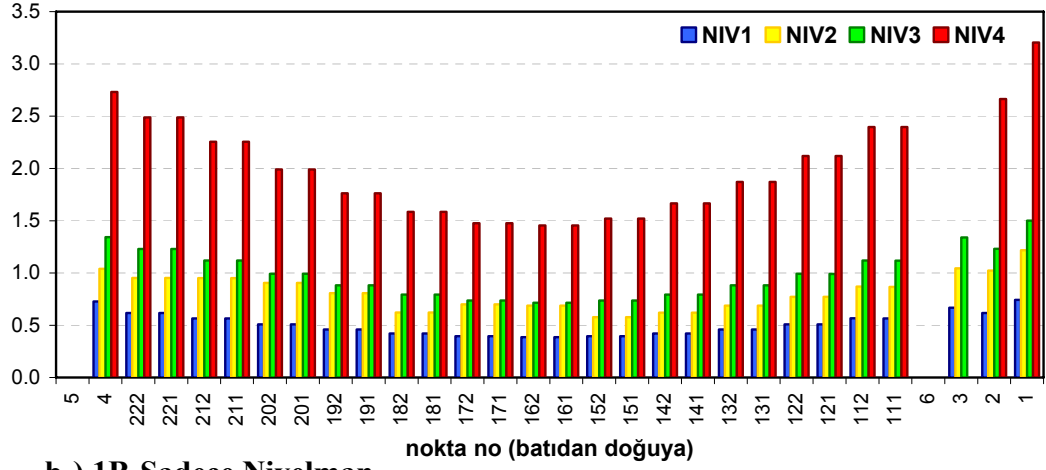
Her kampanyanın GPS, Nivelman (NIV) ve Bütünleşik (BUT) veri grupları ile gerçekleştirilen 1B serbest dengelemeleri sonucu bulunan yükseklikleri ve doğrulukları tablo olarak, kampanya sırasına göre Tablo D.1a, D.1b, D.1c ve D.1d de verilmektedir. Kampanya sırasına göre tablo şeklinde verilen yükseklik doğruluklarının grafik gösterimleri ise Şekil D.1a, D.1b, D.1c ve D.1d de yer almaktadır. Ayrıca her kampanya için üç veri grubunun (GPS, NIV, BUT) yükseklik doğrulukları, veri gruplarının kalitesi hakkında daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek için, grafik olarak Şekil 5.18 de verilmektedir. Bununla beraber dört kampanya boyunca sadece GPS (GPS1, GPS2, GPS3, GPS4) sadece nivelman (NIV1, NIV2, NIV3, NIV4) ve bütünleşik (BUT1, BUT2, BUT3, BUT4) verilerden elde edilen yükseklik doğruluklarını gösteren grafikler, tekniklerden elde edilen verilerin kampanyalar boyunca kalitesinin ne şekilde değiştiğini daha iyi anlaya bilmek için, Şekil 5.19 de verilmektedir.

Şekil 5.19 incelendiğinde, 4.kampanya hariç kampanyalar boyunca GPS ölçme doğruluğunun arttığı buna karşın nivelman ölçme doğruluğunun azaldığı görülmektedir. Bütünleşik veri gruplarından elde edilen yükseklik doğrulukları ise GPS ve nivelman tekniklerinin verdiği doğruluklardan daha iyi değerlerdir. BUT veri grupları bütün kampanyalarda en iyi doğruluk değerini vermekle beraber en iyi sonuç 1. kampanyada elde edilmiştir. Fakat bu karşılaştırma yapılırken GPS, NIV ve BUT dengelemelerinde kullanılan ölçü sayısına dikkat çekmek gerekmektedir. GPS dengelemelerindeki ölçü sayısı nivelman dengelemelerindeki ölçü sayısının ortalama dört katıdır (Tablo 5.10).

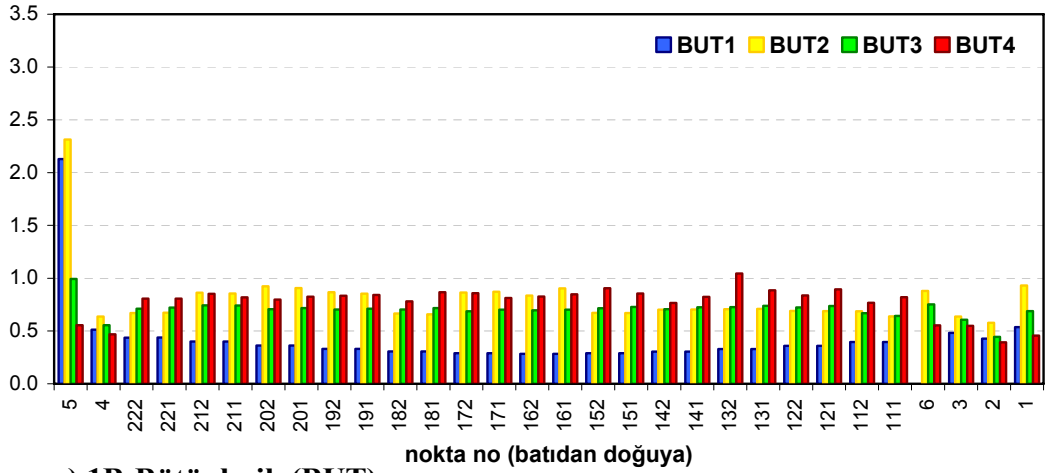
Tek boyutlu (1B) GPS ve BUT dengelemelerinden ve üç boyutlu (3B) GPS ve BUT dengelemelerinden elde edilen yükseklik doğrulukları kampanya sırasına göre, Şekil 5.19 da ve Şekil 5.12b de verilmektedir. 1B GPS dengelemesinden ve 3B GPS dengelemesinden elde edilen yükseklik doğrulukları incelendiğinde, iki dengeleme işleminden birbirinden farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Bununla beraber 1B BUT dengelemesinden ve 3B BUT dengelemesinden elde edilen yükseklik doğrulukları incelendiğinde, her iki dengelemeden elde edilen yükseklik doğruluklarının yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu anlaşılmaktadır.



a-) 1B-Sadece GPS

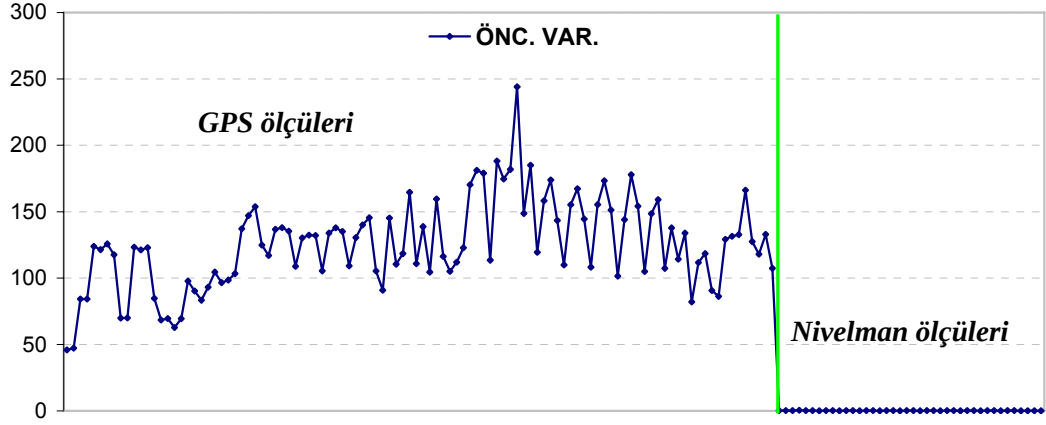


b-) 1B-Sadece Nivelman

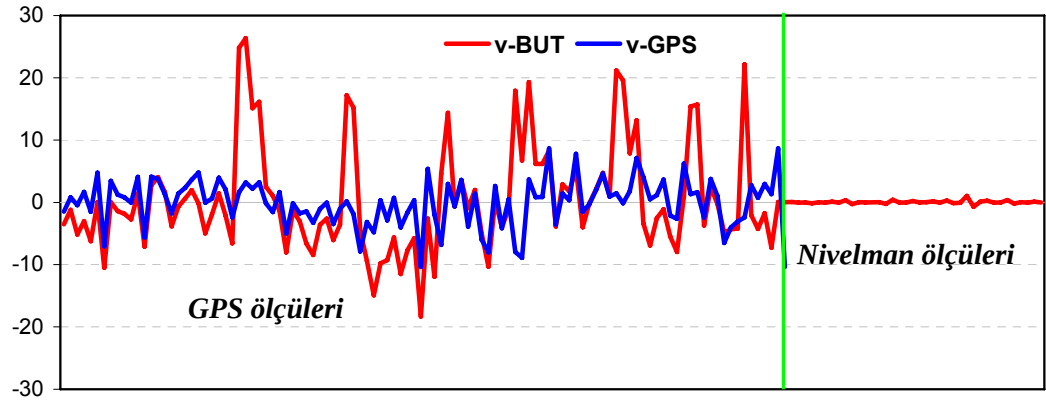


c-) 1B-Bütünleşik (BUT)

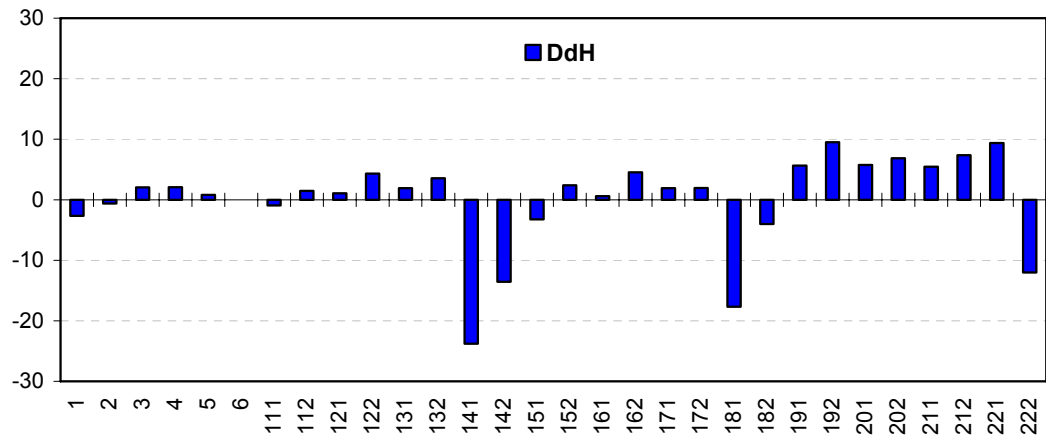
Şekil 5.19 : 1B dengelemeler sonucu bulunan doğruluklar (m_H - mm)



a-) GPS ve Nivelman ölçülerinin dengeleme öncesi varyansları (mm^2)



b-) GPS ve Nivelman ölçülerinin dengeleme sonrası düzeltme değerleri (mm)



c-) GPS ve BUT dengellemeleri sonrası bilinmeyenlerin değişimi (mm)

Şekil 5.20 : 1. Kampanya, 1B GPS ve BUT dengellemelerde öncül varyanslar (a), düzeltme değerleri (b) ve bilinmeyenlerin değişimi-nivelman ölçülerinin bilinmeyenlere etkisi (c)

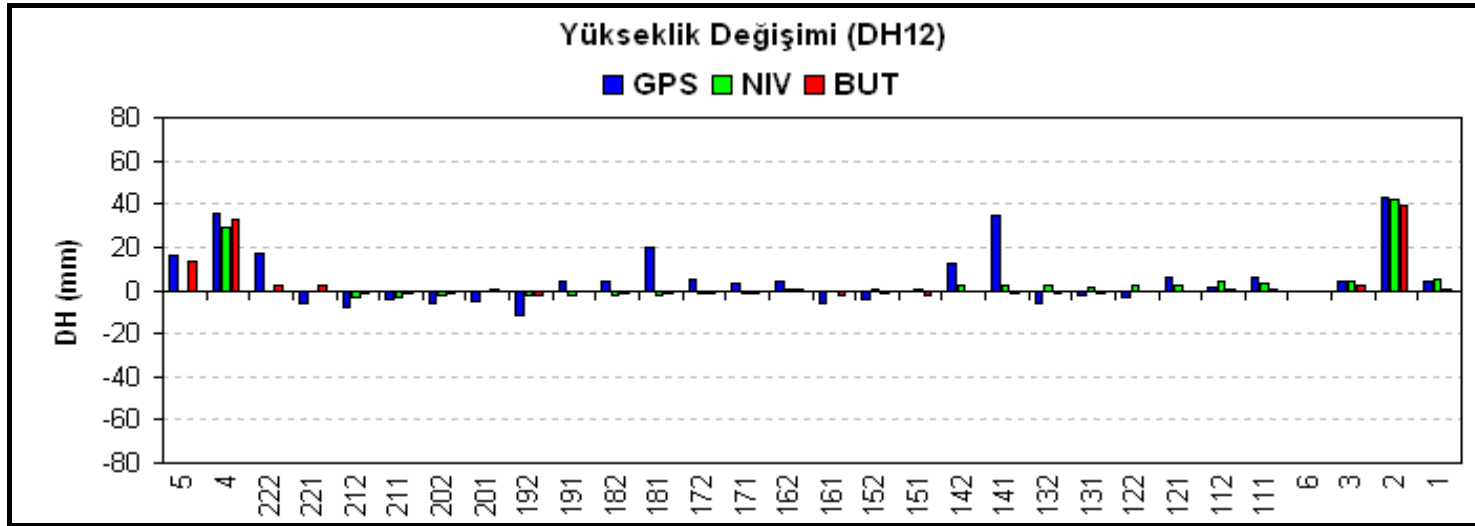
Tek boyutlu bütünleşik dengeleme sırasında, GPS ve nivelman ölçülerinin dengeleme öncesi varyans değerleri, presizyonlu nivelman ölçülerinin GPS ölçülerinin düzeltme değerlerine ve bilinmeyenlere olan etkileri örnek olarak 1.kampanya için Şekil 5.20 de verilmektedir. Diğer kampanyalar içinde sonuçlar benzer olup nivelman ölçülerinin düzeltme değerlerine ve bilinmeyenlere en fazla etkisi 1.kampanyada en az etkisi 4.kampanyadadır.

5.3.4.2 Tek Boyutlu (1B) Deformasyon Analizleri

Her üç veri grubunun her kampanya için 1B serbest dengelemeleri tamamlandıktan sonra her veri grubuyla ardışık kampanyalar arası 1B deformasyon analizine geçilmiştir. Öncelikle global test (S-Transformasyonu ile) yardımıyla her veri grubu için ardışık kampanyalar arası hareketsiz kalan nokta blokları belirlenmiştir. Global test sonuçları, örnek olarak 1. ve 2. kampanyalar arasında Tablo 5.12 de ve bütün ardışık kampanyalar için EK E, Tablo E.1b, E.2b ve E.3b de ayrıntılı olarak verilmektedir. Sabit nokta bloklarının belirlenmesinden sonra, S-Transformasyonu yardımıyla, her ardışık veri grubu için bilinmeyenler ve kofaktör matrisleri aynı ortak bir datuma dönüştürülmüştür. Bu işlemten sonra her noktanın yükseklik değişimleri istatistik testlere göre analiz edilmiş ve hareketlerin anlamlılıkları hipotezlere göre karara bağlanmıştır. 1. ve 2. kampanyalar arasındaki deformasyon analizi Tablo 5.11 ve Şekil 5.21 de örnek olarak verilmiştir. Her veri grubunun ardışık kampanyalar arasındaki 1B deformasyon analizleri ise tablo olarak Tablo E.1a, E.2a ve E.3a da ve grafik olarak Şekil E.1a, E.2a ve E.3a da ayrıntılı olarak verilmiştir. Şekil 5.22 ise özet olarak üç farklı veri grubu için ardışık kampanyalar arası yükseklik değişimlerini göstermektedir.

Tablo 5.11 : Ardişik kampanyalar arası 1B GPS, Nivelman (NIV) ve Bütünleşik (BUT) deformasyon analizi (1. ve 2. kampanya arasında)

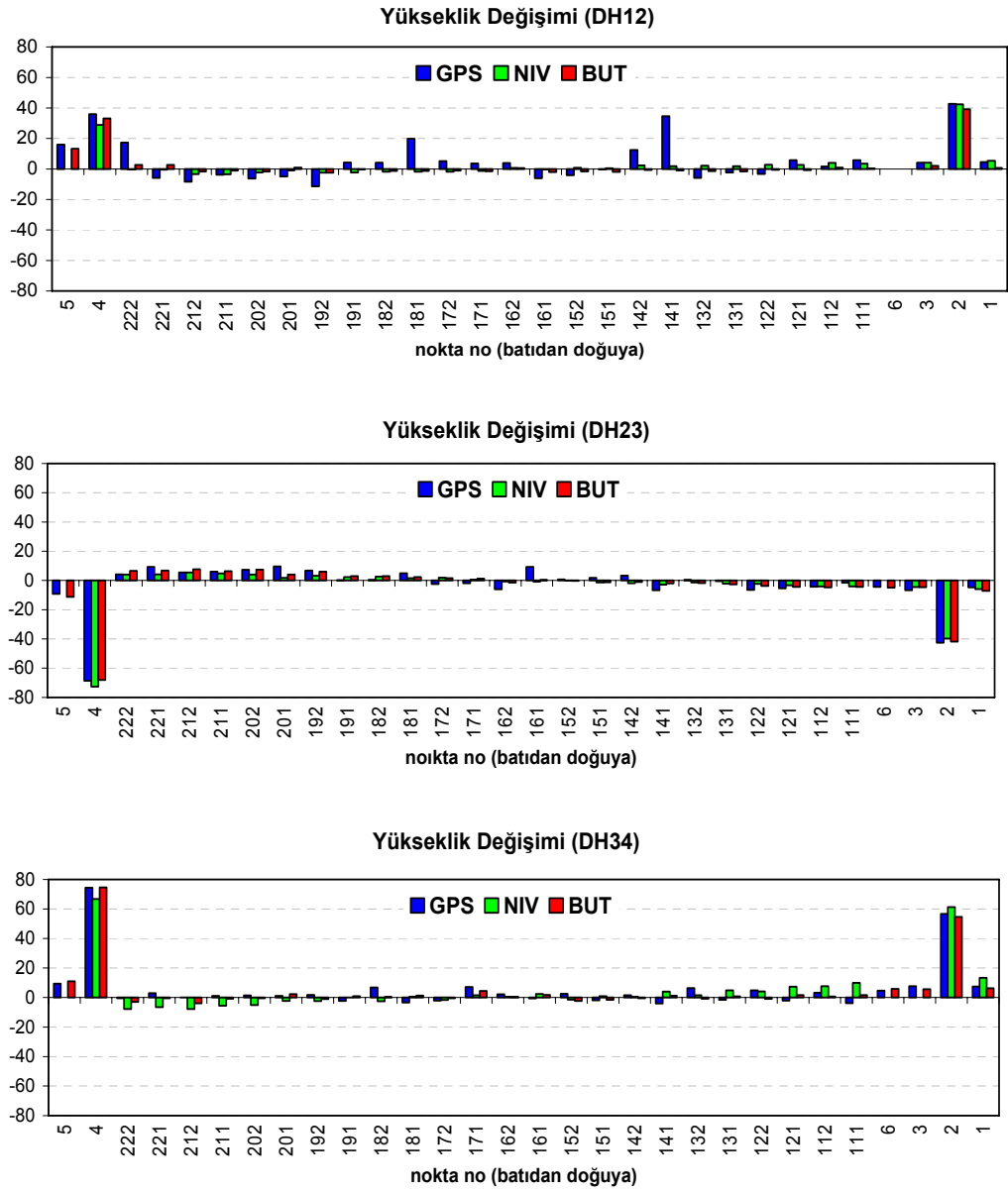
NN GPS12	H1 (mm)	H2 (mm)	DH (mm)	Test	Fisher .95;1,f	NN NIV12	H1 (mm)	H2 (mm)	DH (mm)	Test	Fisher .95;1,f	NN BUT12	H1 (mm)	H2 (mm)	DH (mm)	Test	Fisher .95;1,f
5	0.27	16.23	15.96	41.00	3.90	5						5	2.53	15.76	13.24	8.55	3.88
4	35.34	71.36	36.01	600.92	3.90	4	36.21	65.08	28.88	215.55	4.32	4	36.31	69.50	33.18	765.30	3.88
222	-25.03	-7.68	17.35	21.12	3.90	222	-9.89	-10.24	-0.34	0.04	4.32	222	-9.96	-7.29	2.67	5.58	3.88
221	-2.36	-8.18	-5.82	1.10	3.90	221	-8.59	-9.09	-0.50	0.08	4.32	221	-8.68	-6.09	2.59	5.18	3.88
212	-2.66	-10.94	-8.29	4.14	3.90	212	-6.82	-10.18	-3.36	3.88	4.32	212	-6.98	-8.68	-1.70	1.82	3.88
211	-3.26	-7.07	-3.81	0.89	3.90	211	-5.56	-9.05	-3.49	4.19	4.32	211	-5.68	-6.81	-1.12	0.77	3.88
202	-1.28	-7.57	-6.30	1.54	3.90	202	-4.85	-7.18	-2.33	2.13	4.32	202	-5.10	-6.79	-1.68	1.71	3.88
201	-2.46	-7.46	-5.00	1.57	3.90	201	-4.93	-5.85	-0.92	0.33	4.32	201	-5.17	-4.33	0.85	0.43	3.88
192	3.39	-7.99	-11.38	8.70	3.90	192	-2.74	-5.18	-2.43	3.05	4.32	192	-3.07	-5.43	-2.36	3.89	3.88
191	-0.71	3.49	4.20	0.57	3.90	191	-2.94	-5.25	-2.31	2.76	4.32	191	-3.30	-3.56	-0.26	0.05	3.88
182	-9.22	-5.06	4.16	0.70	3.90	182	-1.68	-3.58	-1.89	3.23	4.32	182	-2.19	-3.54	-1.35	1.98	3.88
181	-22.04	-2.23	19.81	23.94	3.90	181	-0.80	-2.65	-1.85	3.09	4.32	181	-1.33	-2.58	-1.24	1.69	3.88
172	-1.67	3.54	5.20	1.52	3.90	172	-0.01	-1.79	-1.78	2.21	4.32	172	-0.57	-1.65	-1.08	0.87	3.88
171	-0.30	3.29	3.59	0.83	3.90	171	1.42	0.06	-1.36	1.29	4.32	171	0.81	-0.70	-1.51	1.66	3.88
162	2.44	6.34	3.90	0.91	3.90	162	1.61	2.30	0.69	0.33	4.32	162	0.94	1.51	0.57	0.26	3.88
161	0.20	-5.85	-6.04	2.10	3.90	161	3.31	2.97	-0.34	0.08	4.32	161	2.62	0.59	-2.03	2.86	3.88
152	1.19	-2.86	-4.04	0.92	3.90	152	2.60	3.39	0.79	0.56	4.32	152	1.82	0.22	-1.60	2.86	3.88
151	-3.08	-3.32	-0.24	0.00	3.90	151	4.02	4.49	0.47	0.20	4.32	151	3.20	1.23	-1.97	4.31	3.88
142	-14.26	-1.85	12.40	7.55	3.90	142	3.18	5.47	2.29	3.73	4.32	142	2.33	1.65	-0.68	0.47	3.88
141	-23.04	11.53	34.56	46.10	3.90	141	4.64	6.51	1.87	2.48	4.32	141	3.78	2.76	-1.02	1.06	3.88
132	3.52	-2.29	-5.80	1.77	3.90	132	3.83	5.91	2.08	2.33	4.32	132	3.01	1.57	-1.44	1.99	3.88
131	3.01	0.66	-2.35	0.32	3.90	131	4.99	6.77	1.78	1.71	4.32	131	4.13	2.48	-1.65	2.60	3.88
122	4.95	1.63	-3.32	0.82	3.90	122	4.54	7.29	2.76	3.10	4.32	122	3.66	3.08	-0.58	0.31	3.88
121	2.97	8.69	5.72	2.14	3.90	121	5.78	8.38	2.60	2.76	4.32	121	4.93	4.21	-0.72	0.47	3.88
112	2.65	4.25	1.60	0.19	3.90	112	5.16	9.16	4.00	5.00	4.32	112	4.22	5.10	0.88	0.67	3.88
111	0.59	6.32	5.74	2.56	3.90	111	5.45	9.01	3.56	3.97	4.32	111	4.54	4.99	0.44	0.18	3.88
6						6						6					
3	1.55	5.70	4.14	2.61	3.90	3	3.46	7.49	4.03	3.65	4.32	3	2.54	4.55	2.01	3.21	3.88
2	-1.46	41.23	42.69	1245.54	3.90	2	3.16	45.54	42.38	413.19	4.32	2	2.20	41.34	39.15	1455.68	3.88
1	1.29	5.77	4.49	3.35	3.90	1	8.06	13.44	5.38	4.77	4.32	1	6.98	7.73	0.75	0.26	3.88



Şekil 5.21 : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT yükseklik değişimleri (1. ve 2. kampanyalar arası)

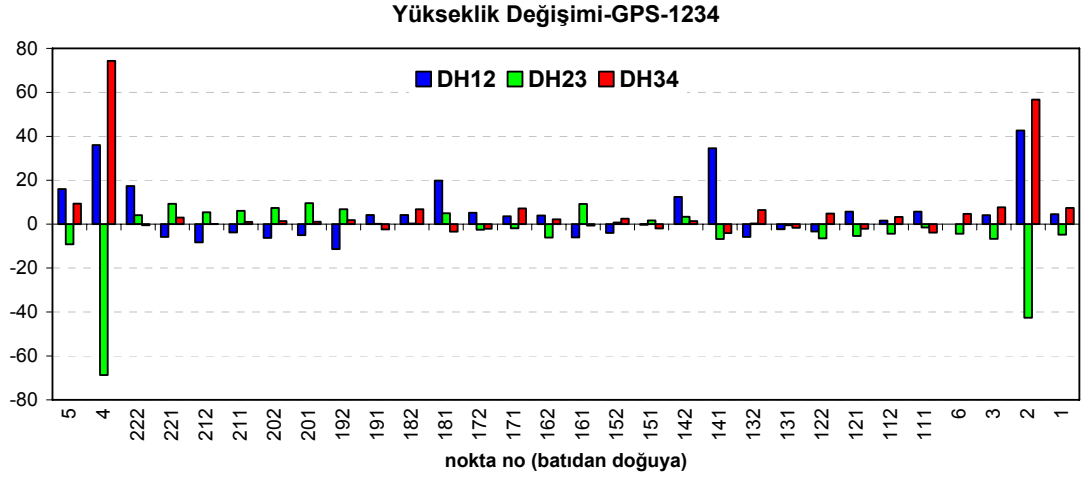
Tablo 5.12 : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT global test sonuçları (1. ve 2. kampanyalar arası)

1B-K1/2	HNS	f	s_o^2	h	F_{test}	$F_{eşik}$
GPS-1/2	9	161	0.23	19	1.62	1.65
NIV-1/2	4	21	0.74	23	2.05	2.06
BUT-1/2	5	236	1.00	23	1.50	1.58
Hareketli Noktalar	HNS: Hareketli Nokta Sayısı HNN: Hareketli Nokta Numaraları					
HNN-GPS	2 4 5 141 142 181 192 212 222					
HNN-NIV	1 2 4 112					
HNN-BUT	2 4 5 221 222					

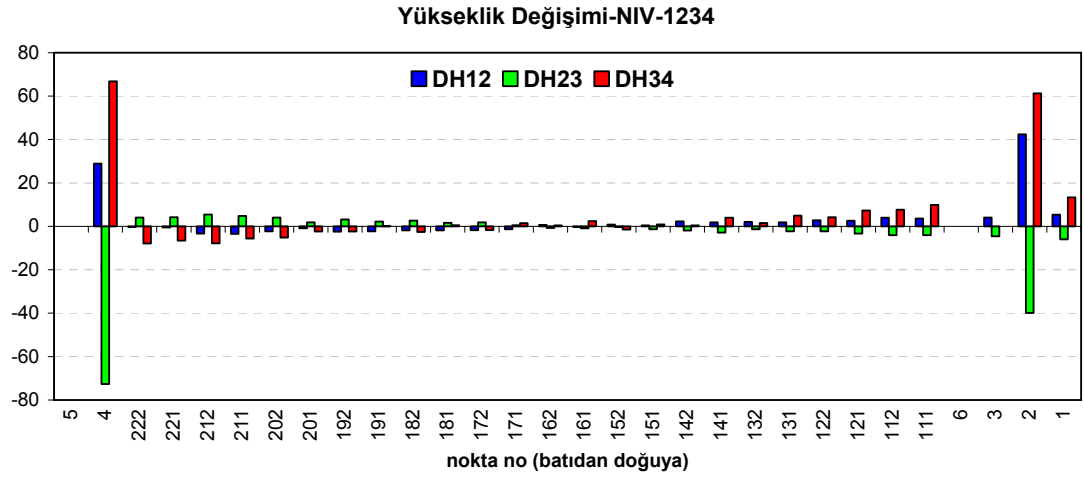


Şekil 5.22 : Ardışık kampanyalar arası GPS, NIV, BUT yükseklik değişimleri (mm)

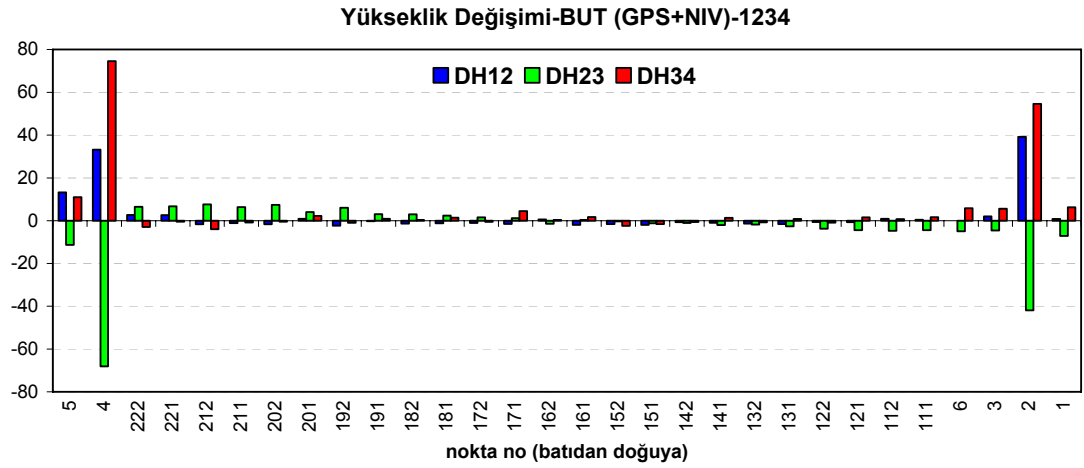
Şekil 5.22 de, her veri grubundan elde edilen ardışık kampanyalar arası yükseklik değişimleri ayrı ayrı verilen grafiklerde görülmektedir. Böylelikle her veri grubunun barındırdığı zayıflıklar ve avantajlar ortaya çıkmakta ve deformasyon belirleme başarısı anlaşılmaktadır. Şekil 5.22' ye ek olarak, her veri grubunun (GPS, NIV, BUT) ayrı ayrı sıralı ardışık kampanyalar arası (DH12, DH23, DH34) yükseklik değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.23 de verilmektedir. Şekil 5.23 incelendiğinde her veri grubunun 1. kampanyadan 4. kampanyaya kadar olan yükseklik değişimleri görülmektedir.



a-) 1B-Sadece GPS



b-) 1B-Sadece NIV

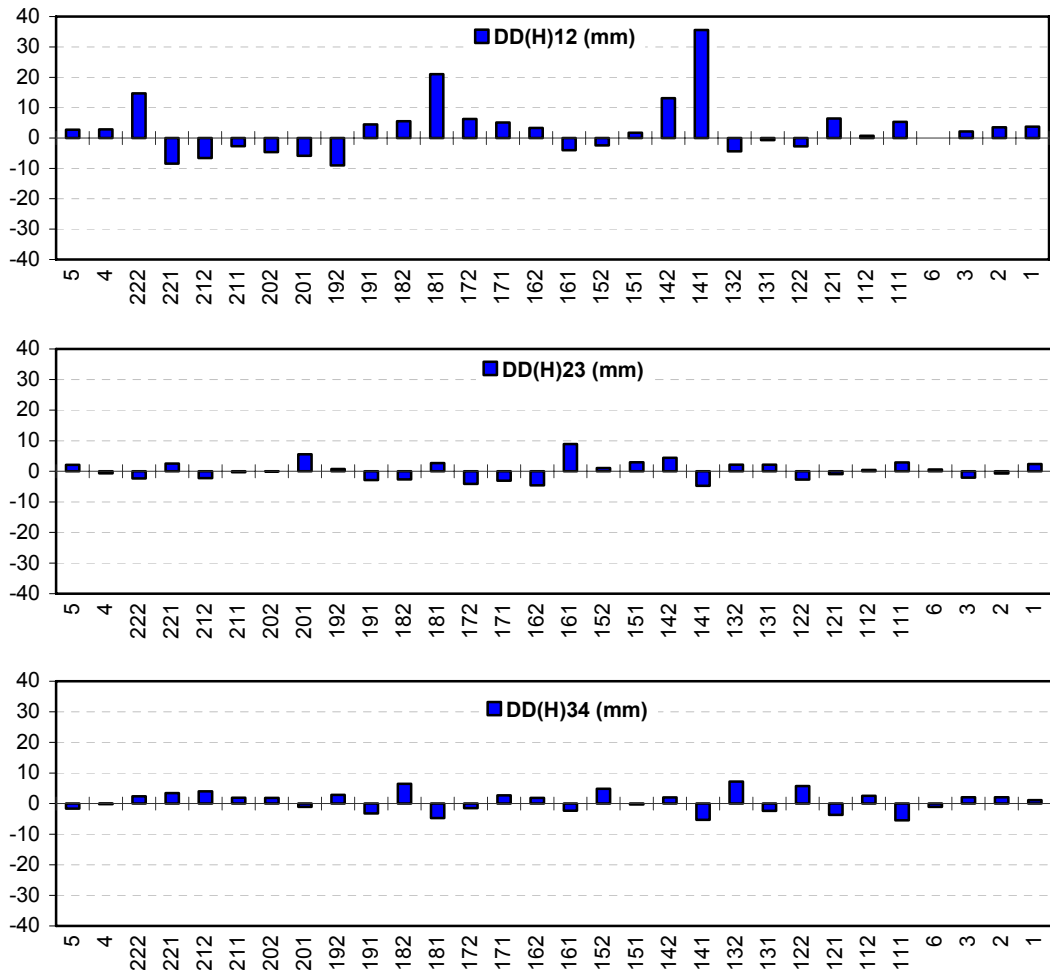


c-) 1B-Bütünleşik (BUT)

Şekil 5.23 : 1B GPS, NIV ve BUT dengelemelerinden elde edilen ardışık kampanyalar arası yükseklik değişimleri (DH-mm)

Böylelikle her veri grubunun bütün kampanyalar boyunca zamana bağlı deformasyon belirleme başarısı daha iyi anlaşılmaktadır. Özellikle DH12 analizinde GPS ölçülerinden elde edilen yükseklik değişimlerine dikkat çekmek gerekir.

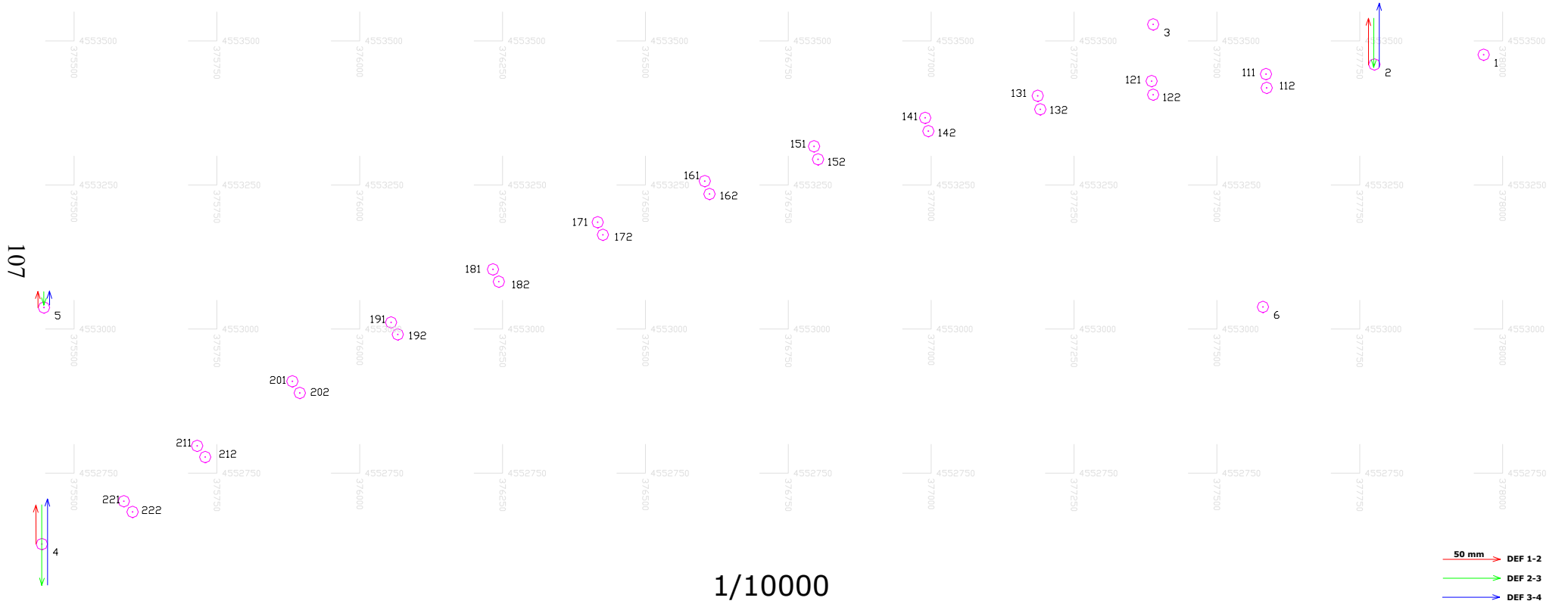
1B dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arasındaki yükseklik değişimleri ve Şekil 5.14b de verilen, 3B dengelemelerinden ayrıştırılan 1B sıralı ardışık kampanyalar arası yükseklik değişimleri karşılaştırıldığında, elde edilen sonuçların benzer olduğu görülmektedir. Presizyonlu nivelman ölçülerinin ardışık kampanyalar arasındaki yükseklik değişimlerine olan etkileri Şekil 5.24 de verilmektedir. En fazla etki 1. ve 2. kampanyalar arasındaki deformasyon vektörlerinde olup en az etki 3. ve 4. kampanyalar arasındaki vektörlerdedir.



Şekil 5.24 : Presizyonlu nivelman ölçülerinin ardışık kampanyalar arasındaki deformasyon vektörlerine olan etkileri

Tek boyutlu (1B) çalışmanın son adımı olarak, BUT veri grupları kullanılarak elde edilen ardışık kampanyalar arasında yükseklik değişimlerini gösteren ölçekli çizim Şekil 5.25 de verilmiştir.

KARASU VİYADÜĞÜ



Şekil 5.25 : 1B BUT (GPS+NIV) dengelemeden elde edilen ardışık kampanyalar arası yükseklik deformasyonları

5.4 Uygulama Sonuçları ve Yorumlar

5.4.1 Üç Boyutlu Sonuçlar ve Nivelmanın Etkisi

5.4.1.1 3B Dengeleme ve Analiz Sonuçları

Her kampanyanın, GPS ve BUT üç boyutlu dengelemeleri sonucu elde edilen ortalama doğruluk değerleri ve istatistikleri Tablo 5.13 de verilmektedir. Kestirilen öncül varyanslara göre ölçeklendirilen kofaktörler matrisleri kullanılarak yapılan üç boyutlu (3B) GPS ve BUT dengelemeler sonucunda bulunan üç boyutlu nokta konum doğrulukları incelendiğinde (Tablo 5.13), genel olarak, 1. kampanya hariç diğer kampanyalarda üç boyutlu nokta konum doğruluklarının yaklaşık olarak eşit olduğu hem sadece GPS hem de BUT dengeleme sonuçlarından görülmektedir.

Tablo 5.13 : Üç boyutlu (3B) dengelemelerden elde edilen ortalama üç boyutlu, iki boyutlu ve tek boyutlu konum ve yükseklik doğrulukları (m_p , m_h - mm)

Veri \ Kamp.	İstatistik	K1	K2	K3	K4
GPS (3B)	maks.	12.02	2.56	2.27	4.05
	min.	2.10	0.71	0.71	0.92
	ort	8.0	2.0	2.0	2.4
BUT (3B)	maks.	4.69	1.49	1.32	1.88
	min.	0.91	0.66	0.61	0.82
	ort	3.1	1.2	1.2	1.4
GPS (2B)	maks.	4.78	1.09	1.02	1.57
	min.	0.83	0.30	0.32	0.37
	ort	3.2	0.9	0.9	1.0
BUT (2B)	maks.	4.68	1.21	1.11	1.55
	min.	0.83	0.34	0.34	0.37
	ort	3.1	0.9	0.9	1.0
GPS (1B)	maks.	11.03	2.32	2.03	3.73
	min.	1.93	0.65	0.64	0.84
	ort	8.0	1.8	1.8	2.2
BUT (1B)	maks.	0.44	0.97	0.95	1.16
	min.	0.25	0.57	0.50	0.73
	ort	0.4	0.8	0.7	0.8

Bununla beraber her kampanya için ayrı ayrı ve bütün kampanyalar için genel olarak düşünüldüğünde, bütünleşik dengelemeden ve sadece GPS dengelemesinden bulunan 3B nokta konum doğrulukları incelendiğinde bütünleşik dengelemelerden bulunan nokta konum doğruluklarının sadece GPS dengelemelerinden bulunan nokta konum

doğruluklarına göre dikkate değer bir artış gösterdiği görülmektedir (1. kampanya için %150, diğer kampanyalar için ise %60). Genel olarak dört kampanya için sadece GPS dengelemesinden elde edilen ortalama üç boyutlu nokta konum doğruluğu 4 mm iken, dört kampanya için BUT dengelemeden elde edilen ortalama üç boyutlu nokta konum doğruluğu 2 mm dir. Görüldüğü gibi bütünleşik dengelemeyle üç boyutlu nokta konum doğruluğu ortalama %100 lük bir iyileşme sağlamıştır (Şekil 5.11).

Tablo 5.13 de, dört kampanya için GPS ve BUT üç boyutlu dengelemeler sonucu elde edilen üç boyutlu nokta konum doğruluklarının ayrıştırılmasıyla elde edilen ortalama iki boyutlu ve tek boyutlu konum doğrulukları ve istatistikleri de verilmektedir. Genel olarak 1. kampanyadan son kampanyaya kadar iki boyutlu ve tek boyutlu nokta konum doğruluklarının 3B konum doğruluklarına benzer özellikte olduğu hem sadece GPS hem de BUT dengeleme sonuçlarından görülmektedir. Bununla beraber her kampanya için ayrı ayrı ve bütün kampanyalar için genel olarak düşünüldüğünde, bütünleşik dengelemeden ve sadece GPS dengelemesinden bulunan iki boyutlu nokta konum doğrulukları incelendiğinde; bütünleşik dengelemelerden bulunan iki boyutlu nokta konum doğruluklarının sadece GPS dengelemelerinden bulunan iki boyutlu nokta konum doğruluklarına göre herhangi bir iyileşme göstermediği görülmektedir (Şekil 5.12a). Bu durumun tersine, üç boyutlu nokta konum doğruluklarındaki iyileşmeye benzer olarak 3B BUT dengelemelerden ayrıştırılan 1B yükseklik doğruluklarının da 3B GPS dengelemelerinden ayrıştırılan yükseklik doğruluklarına göre önemli derecede iyileşme gösterdiği görülmektedir. Bu iyileşme 1.kampanya için %2000, 2., 3. ve 4.kampanyalar için ise %100 düzeyindedir (Şekil 5.12b).

Bütünleşik dengelemeler sonucu bulunan tek boyutlu ve üç boyutlu nokta konum doğruluklarının sadece GPS dengelemelerinden elde edilen tek boyutlu ve üç boyutlu nokta konum doğruluklarına göre dikkate değer artışlar göstermesine karşın iki boyutlu nokta konum doğruluklarında herhangi bir iyileşme olmaması ilginç bir sonuç olarak karşımıza çıkmıştır. Bu durumda: bütünleşik dengelemeler sonucu elde edilen üç boyutlu nokta konum doğruluklarındaki iyileşmenin sadece yükseklik bileşeninin doğruluğundaki artıştan kaynaklandığı sonucuna varılabilir.

Çalışmanın üç boyutlu (3B) deformasyon analizi kısmında, iki farklı veri grubuyla (GPS, BUT) yapılan dengelemeler, global testler ve S-transformasyonları yardımıyla ardışık kampanyalar arasındaki üç boyutlu konum değişimleri irdelenmiştir.

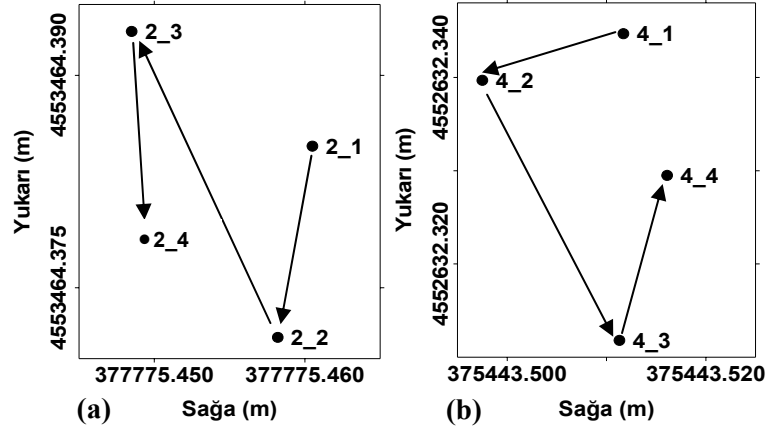
1. ve 2. kampanyalar arasında, sadece GPS ölçüleriyle yapılan üç boyutlu deformasyon analizi sonucunda, 1, 2, 122, 131, 132, 141, 201, 202 ve 4 numaralı noktalarda anlamlı deformasyonların olduğu ve maksimum konum değişiminin tek boyutlu deformasyon analizindeki sonuçlara benzer olarak, proje başlangıcında hareketsiz olarak kabul edilen viyadük çevresinde tesis edilen 6 referans noktasından ikisi olan ve tesis cinsi pilye olan 2 ve 4 numaralı noktalarda 38 mm ve 41 mm büyüklüğünde olduğu anlaşılmıştır. Bu iki noktaya ek olarak, yine viyadük çevresinde referans noktası olarak 3×3×3 m lik beton blok üzerine zorunlu merkezleştirme donanımına uygun tesis edilen 1 numaralı noktada da 19 mm lik anlamlı bir hareket saptanmıştır. Viyadük çevresindeki bu noktalara ek olarak, viyadük taşıyıcı ayakları üzerine tesis edilen, 122 numaralı noktada 17 mm, 131 ve 132 numaralı noktalarda 13 mm, 141 numaralı noktada 34 mm, 201 numaralı noktada 12 mm ve 202 numaralı noktada 21 mm lik anlamlı hareketlerin olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara ek olarak, 181 numaralı noktadaki 20 mm, 221 numaralı noktadaki 13 mm, 222 numaralı noktadaki 18 mm ve viyadük çevresindeki bir başka referans noktası olan 5 numaralı noktadaki 19 mm lik yer değiştirmeler anlamlı deformasyonlar olarak bulunmamıştır. Sadece GPS ölçüleriyle yapılan analizde anlamlı hareketler olarak görülmeyen 5, 221 ve 222 numaralı noktalardaki üç boyutlu deformasyonlar, GPS baz bileşenlerine nivelman ölçülerinin eklenmesiyle oluşan veri gruplarıyla yapılan bütünleşik deformasyon analizi sonuçlarında ise anlamlı bulunmuştur. Bu sonucun sebebi, bu noktalardaki üç boyutlu nokta konum doğruluklarının nivelman ölçülerinin katkısıyla artması ve deformasyon büyüklüklerinin küçülmesidir. Sadece GPS ölçüleriyle yapılan analizde viyadük üzerindeki 222, 212, 192, 181, 161, 142 ve 141 numaralı noktalardaki üç boyutlu yer değiştirmelerin, bütünleşik deformasyon analizindeki nivelman ölçülerinin etkisiyle deformasyon büyüklüklerinde dikkat çekici değişimler gözlenmiştir (Şekil 5.13, Şekil 5.16, Tablo C.1a, Şekil C.1a).

2. ve 3. kampanyalar arasında, sadece GPS ölçüleriyle yapılan üç boyutlu deformasyon analizi sonucunda, 3, 5, 141, 181 ve 182 numaralı noktalar hariç olmak

üzere geri kalan bütün noktalarda anlamlı deformasyonların olduğu ve maksimum konum değişiminin tek boyutlu deformasyon analizindeki sonuçlara benzer olarak, 2 ve 4 numaralı noktalarda 43.5 mm ve 79.4 mm büyüklüğünde olduğu anlaşılmıştır. 2 ve 4 numaralı referans noktalarındaki maksimum deformasyon vektörlerinin haricinde viyadük üzerindeki maksimum üç boyutlu deformasyon 11.4 mm ile 161 numaralı noktadadır. Bütünleşik deformasyon analizi sonuçlarında ise, 161 numaralı noktadaki deformasyon vektörü 0.8 mm ye gerilemiştir ve global test sırasında sabit nokta bloğunda kalmıştır. Bu sonuç, nivelman ölçülerinin üç boyutlu deformasyon analizindeki önemini bir kez daha göstermektedir. 2. ve 3. kampanyalar GPS ölçülerinin en yüksek doğrulukta yapıldığı kampanyalardır, bu sebepten bu kampanyalar arası yapılan deformasyon analizinde, genel olarak bir çok noktada varolan yer değiştirmeler anlamlı bulunmuştur (Şekil 5.13, Şekil 5.16, Tablo C.1b ve Şekil C.1a).

3. ve 4. kampanyalar arasında, sadece GPS ölçüleriyle yapılan üç boyutlu deformasyon analizi sonucunda, global test sonucu bulunan sabit nokta bloğunun (121, 122, 131, 141, 202 ve 222 numaralı noktalar) dışındaki bütün noktalarda anlamlı deformasyonların olduğu ve maksimum üç boyutlu deformasyonların, tek boyutlu deformasyon analizindeki sonuçlara benzer olarak, 2 ve 4 numaralı noktalarda 62.2 mm ve 74.7 mm büyüklüğünde olduğu anlaşılmıştır. 2 ve 4 numaralı referans noktalarındaki maksimum deformasyon vektörlerinin yanında yine referans nokta olarak tesis edilen 6 numaralı noktada 20 mm, 1 numaralı noktada 14.5 mm ve 5 numaralı noktada 10.2 mm lik yer değiştirmeler vardır ve bu deformasyonlar anlamlı bulunmuştur. Viyadük üzerindeki maksimum üç boyutlu deformasyon 12.2 mm ile 191 numaralı noktada olup 161 ve 192 numaralı noktalarda da 10 mm lik anlamlı hareket gözlenmektedir. Bütünleşik deformasyon analizi sonuçları ise sadece GPS ölçüleriyle yapılan deformasyon analizi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir. Çünkü 4. kampanyada gerçekleştirilen nivelman ölçülerinin, GPS ölçüleri üzerine etkisi en az bu kampanyada kendisini göstermektedir. 3. ve 4. kampanyalar GPS ölçülerinin yüksek doğrulukta yapıldığı kampanyalar olup 4. kampanyada nivelman ölçülerinin doğrulukları düşüktür. Bu sebepten bu kampanyalar arası yapılan deformasyon analizinde, nivelman ölçülerinin olumlu etkisi minimum değerlerine gerilemiştir (Şekil 5.13, Şekil 5.16, Tablo C.1c ve Şekil C.1a).

Kampanyalar için iki boyutlu dengelemeler ve dolayısıyla kampanyalar arası iki boyutlu deformasyon analizi yapılmamıştır. İki boyutlu deformasyon vektörleri, üç boyutlu deformasyon vektörlerinden ayrıştırılmıştır (Tablo C.2 ve Şekil C.1b).



Şekil 5.26 : 2 (a) ve 4 (b) numaralı noktalardaki yatay (2B) yer değiştirmeler

Üç boyutlu analizler sonucu, maksimum deformasyonların 2 ve 4 numaralı noktalarda olduğu görülmüştür, maksimum iki boyutlu (yatay) yer değiştirmeler de bu noktalarda kendini göstermektedir. Maksimum yatay yer değiştirmeler 2. ve 3. kampanyalar arasında olup 2 numaralı noktada 20 mm ve 4 numaralı noktada 30 mm dir. (Şekil 5.26).

5.4.1.2 Nivelmanın 3B Sonuçlara Etkisi

Şekil 5.11, 5.12a, 5.12b ve Tablo 5.13 incelendiğinde, nivelman ölçülerinin, GPS değerlendirmesinden elde edilen baz bileşenlerinin dengelemesiyle elde edilen 2B yatay konum doğruluklarına herhangi bir etkisinin olmadığı ve 3B nokta konum doğruluklarına olan olumlu etkisinin sadece 1B yükseklik bileşenine olan olumlu etkisinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.14 : Üç boyutlu (3B) dengelemelerden elde edilen istatistiksel değerler

Kamp.	istat.	$\Delta\delta XYZ$ (mm)	VAR.-GPS (mm ²)	VAR.-NIV. (mm ²)	v-B-GPS (mm)	v-B-NIV (mm)	v-G (mm)	Δv (mm)
K1	maks.	6.20	14.31	0.07	18.63	0.91	11.95	6.94
	min.	-15.74	0.60	0.01	-18.69	-0.85	-12.53	-17.24
K2	maks.	6.43	2.44	1.07	11.84	2.16	9.65	6.02
	min.	-3.80	0.23	0.18	-7.97	-2.10	-5.28	-4.97
K3	maks.	3.75	1.28	0.67	16.73	2.12	15.83	4.84
	min.	-3.76	0.25	0.16	-9.99	-4.35	-9.71	-5.29
K4	maks.	3.12	1.67	1.46	11.17	4.61	12.19	3.23
	min.	-2.35	0.38	0.41	-11.95	-3.44	-12.41	-3.86

Tablo 5.14, 3B GPS ve BUT dengelemelerinden elde edilen üç boyutlu koordinat bilinmeyenlerinin farklarının ($\Delta\delta XYZ$), GPS ve nivelman ölçülerine gelen düzeltme değerlerinin (**v-B-GPS**, **v-B-NIV**, **v-G**), GPS ölçülerinin iki farklı dengeleme işleminden gelen düzeltme değerlerinin farklarının (Δv) ve ayrıca bütünleşik dengeleme sonrası GPS ve nivelman ölçülerinin soncul varyanslarının (**VAR.-GPS**, **VAR.-NIV**), istatistiklerini göstermektedir. Tablo 5.14 incelendiğinde, 3B bütünleşik ve 3B salt GPS dengelemelerinden elde edilen üç boyutlu koordinat bilinmeyenlerinin farklarının kampanyaların sırasına göre azaldığı, bununla birlikte aynı şekilde GPS ölçülerine gelen düzeltme değerlerinin farkının da azaldığı açıkça görülmektedir. Nivelman ölçülerinin, kampanya sırasına göre öncül varyans değerleri büyüdüğü için, bu ölçülerin kampanya sırasına göre koordinat bilinmeyenlerine ve GPS ölçülerinin düzeltmelerine olan etkisi azalmıştır. Aynı zamanda sadece GPS ölçüleriyle yapılan dengelemede, GPS ölçülerine gelen düzeltmelerin bütünleşik dengelemede GPS ölçmelerine gelen düzeltme değerlerinden genel olarak daha küçük olduğu görülmektedir. Üç boyutlu koordinat bilinmeyenlerinin maksimum farkı (nivelman ölçülerinin 3B konum bilinmeyenlerine etkisi) 15 mm ile 1. kampanyada 141 numaralı noktada olup, 181 numaralı noktada 11 mm, 142 numaralı noktada 9 mm ve 222 numaralı noktalarda 6 mm farklar elde edilmiştir. 2. kampanyada ise maksimum üç boyutlu koordinat bilinmeyenlerinin farkı 141 numaralı noktada 6 mm, 3. ve 4. kampanyalarda ise bilinmeyenlerin farkı 4 mm nin altında kalmaktadır. Nivelman ölçülerinin 2B bilinmeyenlere etkisi 1.kampanyada maksimum 3 mm olup 2., 3. ve 4. kampanyalarda 1 mm' nin altında kalmaktadır. Nivelman ölçülerinin 1B bilinmeyenlere etkisi ise 1.kampanyada maksimum 25 mm ile 141 numaralı noktada, 2.kampanyada maksimum 10 mm ile tekrar 141 numaralı noktada, 3. ve 4. kampanyalarda ise maksimum 5 mm ile 212 ve 132 numaralı noktalardadır.

1. ve 2. kampanyalar arası yapılan deformasyon analizinde, nivelman ölçülerinin 1B deformasyon vektörlerine etkisi maksimum düzeyde olup 33 mm, 3B deformasyon vektörlerine etkisi yine maksimum düzeyde olup 23 mm fakat 2B deformasyon vektörlerine maksimum etkisi sadece 3 mm dir. Bu etkiler 2-3 ve 3-4 ardışık kampanyaları arasında yapılan analizlerde sırasıyla 1B da 12 mm ve 13 mm, 3B da 12 mm ve 8 mm iken 2B da 2 mm ve 1 mm dir (Tablo 5.15).

Tablo 5.15 : Nivelman ölçülerinin ardışık kampanyalar arası tek boyutlu iki boyutlu ve üç boyutlu deformasyon vektörlerine etkisini gösterir istatistik bilgiler

boyut	istatistik	$\Delta D12$	$\Delta D23$	$\Delta D34$
1B	maks. (mm)	32.93	11.59	9.79
	NN.	(141)	(5)	(6)
	min. (mm)	-11.71	-10.05	-13.36
	NN.	(221)	(6)	(5)
2B	maks. (mm)	3.16	1.97	1.24
	NN.	(111)	(141)	(4)
	min. (mm)	-3.20	-1.97	-1.16
	NN.	(121)	(122)	(191)
3B	maks. (mm)	22.59	10.59	7.93
	NN.	(141)	(161)	(2)
	min. (mm)	-2.79	-11.59	-7.65
	NN.	(121)	(5)	(5)

1. ve 2. kampanyalar arasındaki 3B deformasyon vektörlerine nivelman ölçülerinin maksimum etkisi, 22.6 mm ile 141 numaralı noktada olup 181 numaralı noktada da 16.8 mm lik bir etki görülmektedir. Viyadük üzerinde yer alan bu deformasyon noktalarındaki konum değişimlerine nivelman ölçülerinin gözlenen bu etkisi, üç boyutlu deformasyon analizinde de bu ölçü grubunun önemini vurgulamaktadır.

5.4.2 Tek Boyutlu Sonuçlar ve Nivelmanın Etkisi

5.4.2.1 1B Dengeleme ve Analiz Sonuçları

Nivelman ölçülerinin GPS yükseklik bileşenlerine, doğruluklarına ve deformasyon vektörlerine olan etkisini daha iyi algılayabilmek ve nivelman ölçülerinin yükseklik değişimlerinin analizindeki başarısını net bir şekilde görebilmek için 1B GPS, NIV ve BUT=GPS+NIV dengelemeler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu 1B dengelemeler sonucunda bulunan nokta yüksekliklerinin doğrulukları incelendiğinde, bütünleşik dengelemeden bulunan yükseklik doğruluklarının GPS ve NIV dengelemesinden bulunan yükseklik doğruluklarına göre daha iyi olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.18, Şekil 5.19). Bununla beraber, Tablo 5.16 da görüleceği gibi, 1B GPS dengelemesinden elde edilen yükseklik doğruluklarının kampanyalar boyunca arttığı, NIV dengelemesinden elde edilen yükseklik doğruluklarının kampanyalar boyunca azaldığı gözlenmektedir. Üç farklı veri grubuyla 1B ve iki farklı veri grubuyla 3B dengelemelerden elde edilen yükseklik doğruluklarının özet karşılaştırmaları Tablo 5.16 da verilmektedir.

Tablo 5.16 : Tek boyutlu (1B) ve Üç boyutlu (3B) dengelemelerden elde edilen ortalama yükseklik doğrulukları (m_H - mm)

Veri \ Kamp.	K1	K2	K3	K4
GPS (1B)	2.0	1.2	0.8	1.0
GPS (1B/3B)	8.0	1.8	1.8	2.2
NIV (1B)	0.5	0.8	1.0	2.0
BUT (1B)	0.4	0.8	0.7	0.8
BUT (1B/3B)	0.4	0.8	0.7	0.8

Tek boyutlu (1B) dengelemeler sonucu bulunan nokta yükseklik doğrulukları ile üç boyutlu (3B) dengelemelerden ayrıştırılan nokta yükseklik doğruluklarını kampanya ve yöntem açısından karşılaştıracak olursak (Tablo 5.16):

Birinci (1.) kampanya için 1B dengelemeden elde edilen BUT yükseklik doğruluklarının GPS yükseklik doğruluklarına göre %500 arttığı görülmektedir. Bununla beraber, 3B dengelemeden elde edilen BUT yükseklik doğruluklarının GPS yükseklik doğruluklarına göre %2000 arttığı görülmektedir. Bu iki ayrı dengeleme (1B ve 3B) işleminden elde edilen BUT yükseklik doğrulukları ortalama 0.4 mm civarında iken sadece GPS den elde edilen ortalama yükseklik doğruluklarının birbirlerinden bu kadar farklı olmasının sebebi (1B da 2.0 mm, 3B da 8.0 mm): 3B dengeleme işleminden ayrıştırılan yükseklik doğruluklarının, birbirleriyle yüksek korelasyonlu olan üç boyutlu kartezyen koordinatların doğruluklarından etkilenmesidir. Bu paragrafta sadece 1. kampanya için açıklanan bu durum diğer kampanyalar içinde geçerlidir. Fakat yükseklik doğruluklarındaki artış oranları değişken olup, 1B dengelemedeki doğruluk artışı ortalama %30, 3B dengelemeden elde edilen yükseklik doğruluklarındaki artış ise ortalama %100 seviyesindedir.

Kampanya sırasına göre 1B GPS ve BUT dengelemeden elde edilen yükseklik doğrulukları tekrar incelenirse (1. kampanya hariç): BUT dengelemeden elde edilen yükseklik doğruluklarının genel olarak GPS tekniğinden elde edilen yükseklik doğruluklarına göre %30 artış gösterdiği, bununla beraber, 3B dengelemeden elde edilen BUT yükseklik doğruluklarının genel olarak GPS yükseklik doğruluklarına göre ortalama %100 arttığı anlaşılmaktadır. Bir başka dikkate değer sonuç ise, ister 1B BUT ister 3B BUT dengeleme yapılsın, elde edilen yükseklik doğruluklarının aynı olmasıdır, fakat bu durum 1B sadece GPS ve 3B sadece GPS dengelemelerinden elde edilen yükseklik doğruluklarında farklıdır (%100 lük bir değişim söz konusudur).

Çalışmanın tek boyutlu (1B) deformasyon analizi kısmında, 3 farklı veri grubuyla (GPS, NIV, BUT) yapılan dengelemeler, global testler ve S-transformasyonları yardımıyla ardışık kampanyalar arasındaki yükseklik değişimleri irdelenmiştir.

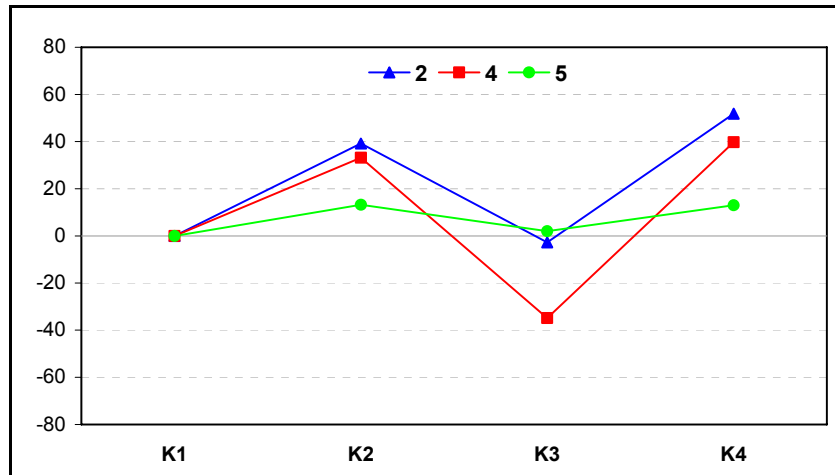
1. ve 2. kampanyalar arasında, sadece GPS ölçüleriyle yapılan analiz işlemlerinde 2, 4, 5, 141, 142, 181, 192, 212, 222 numaralı noktalarda deformasyon olduğu ve maksimum yükseklik değişimlerinin ise proje başlangıcında hareketsiz olarak kabul edilen viyadük çevresinde tesis edilen 6 referans noktasından ikisi olan ve tesis cinsi pilye olan 2 ve 4 numaralı noktalarda, 42 mm ve 36 mm büyüklüğünde, olduğu anlaşılmıştır. Bu noktalara ek olarak ayrıca yine viyadük çevresinde referans noktası olarak tesis edilen 5 numaralı noktada da 16 mm lik anlamlı (signifikant) bir hareket saptanmıştır. Viyadük çevresindeki bu noktalara ek olarak viyadük taşıyıcı ayakları üzerine tesis edilen 141 numaralı noktada 34 mm lik ve 181 numaralı noktada ise 20 mm lik hareket olduğu görülmektedir. Sadece nivelman ölçüleriyle yapılan analiz işlemlerinde ise 1, 2, 4, ve 112 numaralı noktalarda deformasyon olduğu ve maksimum deformasyonların GPS ölçüleriyle yapılan analize benzer olarak 2 ve 4 numaralı noktalarda aynı büyüklükte olduğu görülmektedir. Fakat GPS ölçüleriyle yapılan analizden farklı olarak nivelman ölçüleriyle yapılan analiz sonucunda viyadük üzerindeki noktalarda anlamlı hareketlerin olmadığı anlaşılmaktadır. Bu durumda, GPS ölçüleriyle yapılan analiz sonucunda viyadük üzerindeki noktalarda ortaya çıkan anlamlı yükseklik değişikliklerinin GPS ölçmeleri sırasında yapılan hatalardan kaynaklandığı söylenebilir ve bu hatanın 1. kampanyadaki anten yüksekliği ölçmeleri sırasında yapılmış olması ihtimali büyüktür. Yapılan bu iki analize ek olarak, GPS ve nivelman ölçülerinin kombinasyonu ile gerçekleştirilen deformasyon analizinde ise, diğer iki teknikten elde edilen sonuçlara benzer olarak 2, 4, 5, 221, 222 numaralı noktalarda anlamlı hareketler bulunmuştur. Maksimum hareketlerin tekrar 2 ve 4 numaralı noktalarda aynı büyüklükte olduğu görülmektedir. Her ne kadar 221 ve 222 numaralı noktalarda da hareket varmış gibi görülse de, bu noktalardaki hareket vektörlerinin küçüldüğü ve buna ek olarak yükseklik doğruluklarının arttığı fark edilmektedir. Üç farklı veri grubuyla yapılan 3 farklı analizden ortaya çıkarılan sonuç, her üç veri grubuyla elde edilen sonuçların benzerliği ve 1. ve 2. kampanyalar arası sadece viyadük çevresindeki 2, 4 ve 5 numaralı noktalarda anlamlı hareketliliğin olduğudur (Tablo E.1a ve Şekil E.1a)

2. ve 3. kampanyalar arası, sadece GPS ölçüleriyle yapılan tek boyutlu deformasyon analizi sonucu; 111, 131, 132, 142, 151, 152, 171, 172, 182 ve 191 numaralı noktalar hariç diğer bütün noktalarda anlamlı deformasyonlar görülmektedir. Maksimum yükseklik değişimleri ise 2 ve 4 numaralı noktalarda olup büyüklükleri -43 mm ve -69 mm dir. Sadece nivelman ölçüleriyle yapılan analiz işlemlerinde ise 1, 2, 4, 202, 211 ve 212 numaralı noktalarda deformasyon olduğu ve maksimum deformasyonların GPS ölçüleriyle yapılan analize benzer olarak 2 ve 4 numaralı noktalarda aynı büyüklükte olduğu görülmektedir. Sadece GPS ölçüleriyle yapılan deformasyon analizi sonucu, sadece nivelman ölçüleriyle yapılan deformasyon analizi sonuçlarından farklı olarak viyadük üzerinde de bazı noktalarda deformasyon varmış gibi görülmektedir. Bütünleşik deformasyon analizi sonucunda ise, sadece GPS ölçüleriyle yapılan deformasyon analizi sonuçlarına benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu durumun sebebi sadece GPS ölçüleriyle bulunan sonuçlara benzer olarak, bütünleşik dengeleme sonucu nokta yükseklik doğruluklarının artmış olmasıdır. Her üç veri grubuyla yapılan deformasyon analizi sonuçları birbirlerine benzer olup, 2. ve 3. kampanyalar arası anlamlı yükseklik değişimlerinin 2, 4, ve 5 numaralı noktalarda olduğu anlaşılmaktadır (Tablo E.2a ve Şekil E.2a).

3. ve 4. kampanyalar arasında, sadece GPS ölçüleriyle yapılan tek boyutlu deformasyon analizi sonucu, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 122, 132, 171 ve 182 numaralı noktalarda anlamlı deformasyon olduğu saptanmış ve maksimum yükseklik değişimlerinin önceki üç ardışık kampanya arasında yapılan iki analiz işleminin sonuçlarına benzer olarak 2 ve 4 numaralı noktalarda 57 mm ve 74 mm olarak bulunmuştur. Viyadük üzerindeki bazı noktalarda da anlamlı hareketlerin olduğu görülmüş olsa bile bu noktalardaki yükseklik değişimlerinin 2 ve 4 numaralı noktalarda olan yükseklik değişimlerinin onda biri büyüklüğünde olduğu fark edilmektedir. Ayrıca nivelman ölçüleriyle yapılan deformasyon analizinde, GPS ölçüleriyle viyadük üzerindeki noktalarda bulunan hareketler doğrulanmamaktadır. Nivelman ölçüleriyle yapılan tek boyutlu deformasyon analizi sonucu, 1, 2, 4, 111, 121 ve 212 numaralı noktalarda anlamlı hareket olduğu ve maksimum hareketlerin, önceki sonuçlara benzer olarak, 2 ve 4 numaralı noktalarda benzer büyüklükte olduğu anlaşılmaktadır. Bütünleşik deformasyon analizi sonucunda ise, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 171 ve 212 numaralı noktalarda anlamlı hareketler olduğu görülmekte, 2 ve 4 numaralı noktalardaki maksimum değişimler doğrulanmaktadır. Her üç veri grubuyla

yapılan deformasyon analizleri birbirlerini doğrulamakla beraber, 3. ve 4. kampanyalar arası sadece viyadük çevresindeki 2, 4 ve 5 numaralı noktalarda anlamlı hareketliliğin olduğu anlaşılmaktadır (Tablo E.3a ve Şekil E.3a).

Sadece GPS ölçüleriyle, sadece nivelman ölçüleriyle ve bütünleşik ölçülerle 1-2, 2-3 ve 3-4 ardışık kampanyalar arası yapılan deformasyon analizi sonuçları genel olarak birbirlerini doğrularken, sadece GPS ölçüleriyle yapılan 1-2 deformasyon analizi sonucu (1. kampanyadaki anten yüksekliği ölçümlerinden kaynaklanan problemlerden dolayı) viyadük üzerindeki noktalarda bulunan anlamlı deformasyon değerlerinin bütünleşik veri gruplarıyla yapılan daha gerçekçi deformasyon analizleri sonucu gerçekte varolmadıkları anlaşılmıştır. Özellikle 1. ve 2. kampanyalar arasında sadece GPS ölçüleriyle yapılan deformasyon analizinden elde edilen sonuçlarda, GPS oturumları sırasında sıkça karşılaşılan anten yüksekliği ölçme hatalarına karşı nivelman tekniğinin nasıl harici bir kontrol sağladığı görülmüştür. Bu sonuç, deformasyonların izlenmesi ve analizinde nivelman ölçmelerinin GPS tekniğine olan katkısının önemine ve gerekliliğine işaret etmektedir. Ayrıca bu sonuç kampanyalarda zorunlu merkezleştirme sistemlerinin ve anten yüksekliği ölçmek için kullanılan özel donanımların gerekliliğini de göstermektedir.



Şekil 5.27 : 1B deformasyon analizi sonucu hareketli bulunan noktalar, ve deformasyon büyüklükleri (DH - mm)

Özet olarak üç farklı ölçü grubuyla, dört kampanyadan oluşan bu çalışmada, ardışık iki kampanyadan oluşan tek boyutlu üç deformasyon analizi sonucunda, projenin başında sabit olarak düşünülen ve referans noktası olarak viyadük çevresinde seçilen, tesisleri pilye olan, 2, 4 ve tesisi beton blok olan 5 numaralı noktalarda, bütün veri

gruplarının birbirini doğruladığı sonuçlara göre, anlamlı yükseklik değişimleri bulunmuştur. Bu noktalardaki yükseklik değişimleri kampanya sırasına göre Şekil 5.27 de verilmektedir.

5.4.2.2 Nivelmanın 1B Sonuçlara Etkisi

Tablo 5.17, 1B BUT ve GPS dengelemelerinden elde edilen yükseklik bilinmeyenlerinin farkının, iki ayrı dengelemeden elde edilen GPS yükseklik farkı düzeltme değerlerinin farkının, GPS ve nivelman ölçülerine gelen düzeltmelerin, istatistiklerini ve ayrıca bütünleşik dengeleme sonrası GPS ve nivelman ölçülerinin soncul varyans değerlerinin istatistiklerini göstermektedir. Tablo 5.17 incelendiğinde, 1B bütünleşik ve 1B sadece GPS dengelemelerinden elde edilen yükseklik bilinmeyenlerinin farkının, kampanyaların sırasına göre azaldığı, bununla birlikte aynı şekilde ölçülere gelen düzeltme değerlerinin farkının da azaldığı açıkça görülmektedir. Bu sonuç, “nivelman ölçülerinin öncül varyans değerleri büyüdüğü için, kampanya sırasına göre yükseklik bilinmeyenlerine ve GPS ölçülerinin düzeltmelerine olan etkisi azalmıştır” şeklinde yorumlanabilir. Aynı zamanda sadece GPS ölçüleriyle yapılan dengelemede GPS ölçülerine gelen düzeltmelerin bütünleşik dengelemedeki GPS ölçmelerine gelen düzeltme değerlerinden genel olarak daha küçük oldukları görülmektedir. Bütünleşik dengeleme sırasında nivelman ölçülerinin GPS ölçülerini ne şekilde zorladıkları ve nivelman ölçülerine gelen düzeltme değerlerinin GPS ölçülerine gelen düzeltme değerlerine göre ne derecede küçük olduğu açık şekilde görülebilir.

Tablo 5.17 : Tek boyutlu (1B) dengelemelerden elde edilen istatistiksel değerler

Kamp.	istat.	Δh (mm)	VAR.-GPS (mm ²)	VAR.-NIV. (mm ²)	v-B-GPS (mm)	v-B-NIV (mm)	v-G (mm)	Δv (mm)
K1	maks.	9.50	5.08	0.12	26.35	1.03	8.66	10.12
	min.	-23.78	0.05	0.01	-18.35	-0.72	-10.38	-25.85
K2	maks.	9.93	2.05	0.88	14.16	2.93	10.19	9.26
	min.	-6.19	0.41	0.14	-12.04	-1.77	-6.18	-8.43
K3	maks.	5.12	1.64	0.82	12.89	2.38	12.49	6.45
	min.	-4.99	0.53	0.25	-9.23	-5.75	-9.65	-6.31
K4	maks.	4.04	1.37	1.77	15.79	6.56	16.07	4.00
	min.	-2.16	0.34	0.34	-11.12	-6.36	-10.08	-2.51

Yükseklik bilinmeyenlerinin maksimum farkı (nivelman ölçülerinin yükseklik bilinmeyenlerine maksimum etkisi) 24 mm ile 1. kampanyada 141 numaralı noktada olup 181 numaralı noktada 18 mm, 142 ve 222 numaralı noktalarda 13 mm dir. 2. kampanyada ise maksimum yükseklik bilinmeyi farkı 141 numaralı noktada 10 mm, 3. ve 4. kampanyalarda ise yükseklik bilinmeyi farkları 5 mm nin altında kalmaktadır. Tablo 5.17 de, $\Delta\delta h$, GPS dengelemesinden ve bütünleşik dengelemeden bulunan yükseklik bilinmeyenleri arasındaki farkı, **VAR.-GPS** ve **VAR.-NIV**, sırasıyla GPS ve Nivelman ölçüleri için bütünleşik dengeleme sonrasında elde edilen soncul varyans değerlerini, **v-B-GPS** ve **v-B-NIV**, sırasıyla bütünleşik dengeleme sonrası GPS ve nivelman ölçülerine gelen düzeltme değerlerini, **v-G**, sadece GPS dengelemesi sonrası GPS ölçülerine gelen düzeltme değerlerini ve son olarak Δv , GPS dengelemesinden ve bütünleşik dengelemeden GPS ölçüleri için bulunan düzeltme değerlerinin farkını göstermektedir.

Tablo 5.18 : Nivelman ölçülerinin ardışık kampanyalar arası tek boyutlu deformasyon vektörlerine etkisini gösterir istatistik bilgiler

boyut	istatistik	$\Delta D12$	$\Delta D23$	$\Delta D34$
1B	maks. (mm)	35.58	8.88	7.22
	NN.	(141)	(161)	(132)
	min. (mm)	-9.02	-4.74	-5.49
	NN.	(192)	(141)	(111)

Ardışık kampanyalar arası bulunan tek boyutlu (yükseklik) deformasyon vektörlerine, nivelman ölçülerinin etkisi, maksimum 36 mm ile 1. ve 2. kampanya arasındaki deformasyon analizinde 141 numaralı noktada olup yine bu kampanyalar arasında 181 numaralı noktada 21 mm lik, 142 ve 222 numaralı noktalarda ise 14 mm lik etki bulunmaktadır. 2. ve 3. kampanyalar arasında bulunan deformasyon vektörlerine ise nivelman ölçülerinin etkisi maksimum 9 mm ile 161 numaralı noktada olup 3. ve 4. kampanyalar arası 7 mm ile 132 numaralı noktadadır (Tablo 5.18). Tablo 5.18 de görüldüğü gibi nivelman ölçülerinin tek boyutlu deformasyon vektörlerine etkisi viyadük üzerindeki deformasyon noktalarında kendisini göstermektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye'nin, yapıldığı tarihteki en uzun viyadüğü olan (2160 m) Karasu viyadüğü, ülkenin en önemli karayolu olan TEM üzerinde, İstanbul gibi bir metropole 60 km uzaklıkta olup sorunlu bir zemin üzerine inşaa edilmiştir. Zemin kışın tamamen sular altında kalmakta, yazın ise kısmen kurumaktadır. Viyadük, önlem olarak, derinliği ortalama 30 metreye varan kazıklar üzerine, gidiş ve dönüş ayrı ayrı olmak üzere iki bağımsız köprü halinde inşaa edilmiştir. Bu özellikleri itibariyle, yapının deformasyon incelemesine iyi bir konu oluşturacağı düşünülerak, İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi Anabilim Dalı tarafından iki proje önerilmiştir. Önce Darmstadt Teknik Üniversitesi, Fiziksel Jeodezi Enstitüsü ile ortak olarak Almanya Volkswagen Vakfından finans desteği sağlanmış daha sonra İTÜ Araştırma Projesi kabul edilmiştir.

Deformasyon analizi için 6 noktalı bir referans ağı tesis edilmiş, viyadük üzerinde ve doğrudan taşıyıcı ayaklarla bağlantılı olarak 200 metre aralıklarla seçilen 24 adet obje noktasının hem referans ağı noktalarına hem de birbirlerine göre hareketlerinin saptanması amaçlanmış ve bunun için 30 noktadan oluşan bu jeodezik ağda 1996-1998 yılları arasında, altı-sekiz aylık aralıklarla, GPS ve presizyonlu nivelman ölçülerini içeren dört ölçme kampanyası gerçekleştirilmiştir. GPS ölçüleri, bu proje için hazırlanmış özel zorunlu merkezleştirme donanımlarıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, giriş bölümünde açıklanan teorik ve pratik amaçlar doğrultusunda, presizyonlu nivelman ölçülerinin dengelemesi ve analizi, GPS değerlendirmesinden elde edilen baz vektörlerinin dengelemesi ve analizi ve ayrıca iki farklı teknikten elde edilen veri gruplarının tek boyutlu (1B) ve üç boyutlu (3B) bütünleşik dengelemesi ve analizi gerçekleştirilmiştir. GPS ve nivelman tekniklerinden elde edilen ölçülerin 1B ve 3B kombinasyonunda ve bütünleşik dengelemesinde her iki ölçü grubunun öncül varyans değerlerinin belirlenmesi için varyans bileşeni tahmini (VBT) tekniği kullanılmıştır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen 1B ve 3B ayırık dengeleme ve deformasyon analizlerinin yanında, gerçekleştirilen bütünleşik dengelemeler ve analizlerle, nivelman ölçülerinin tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu doğruluklara, bilinmeyenlere ve deformasyon vektörlerine olan etkisi de incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarında: Transit Avrupa Otopanının önemli bir bağlantı noktasında yer alan Karasu viyadüğünün deformasyonlarının değerlendirilmesinin ve ortaya konmasının yanı sıra, büyük mühendislik yapılarındaki deformasyonlarının araştırılmasında uygulanacak ölçme ve analiz yöntemleri konusunda da gelecek çalışmalara katkı sağlanmıştır.

İlk ölçme kampanyasında, referans ağı 4 er saatlik oturumlarla iki kez ölçülmüş, bu ölçmeler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerlendirmede Leica Geo Office (LGO) yazılımının özelliklerini barındıran yine Leica firmasına ait Static Kinematic Professional (Ski-Pro) yazılımının kullanımı amaçlanmıştır. Çünkü, GPS ölçüleriyle deformasyon analizi konusunda pratikte görev alan uygulamacılara ışık tutulması bu çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır. Her ne kadar baz uzunlukları 0.2-2.5 km arasında olsa da değerlendirme sonuçlarının Bernese 4.2 yazılımı ile kontrol edilmesi yoluna da gidilmiştir.

İlk kampanyanın referans ağı GPS ölçmelerinden elde edilen ortalama doğruluklar, yatay konumda $m_{P(2B)} = \pm 1.6 \text{ mm}$ ve yükseklikte $m_h = \pm 3.6 \text{ mm}$ düzeyindedir. Viyadük üzerinde yer alan deformasyon noktaları ise en az iki bağımsız referans noktasından hesaplanabilecek bir biçimde 4 er saatlik iki oturum şeklinde ölçülmüştür. Bu noktalarda ulaşılan konum doğruluğu, yatayda $m_{P(2B)} = \pm 3.4 \text{ mm}$, yükseklikte $m_h = \pm 8.1 \text{ mm}$ dir. Presizyonlu nivelman ölçüleriyle elde edilen doğruluk ise $m_{\Delta H} = \pm 0.4 \text{ mm}$ dir. Presizyonlu nivelman ölçüleri ile GPS baz bileşenlerinin bütünleşik olarak dengelenmesiyle elde edilen ortalama konum doğrulukları ise bütün noktalar için yatayda $m_{P(2B)} = \pm 3.0 \text{ mm}$ ve yükseklikte $m_h = \pm 0.4 \text{ mm}$ dir.

İlk kampanya GPS ölçmelerinin değerlendirmeleri sonucunda oturum süreleri açısından bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Bu incelemede oturum sürelerinin gerçekçi olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Dört saatlik oturum süreleri içerisinde , sürekli üçer saatlik oturum sürelerine karşılık sinyal kayıtları alınarak üçer saatlik

oturumlardan oluşan ölçü grupları oluşturulmuştur. Bu yeni oturumların ayrı ayrı değerlendirilmelerinden elde edilen sonuçlar dört saatlik oturum sonuçlarıyla karşılaştırılmış, çözümlerin ve doğrulukların değişimlerinin önemsiz olduğu görülerek daha sonraki ölçme kampanyalarında üçer saatlik ölçme oturumları planlanmıştır. Bu sonuç önemli bir zaman avantajı sağlamış, ölçme kampanyalarındaki GPS ölçmelerinin süresi gün sayısı olarak 1/3 kadar kısalmıştır. Çünkü bir günde bir oturum fazla gerçekleştirme olanağı sağlanmıştır. Diğer yönden zorunlu merkezleştirme donanımları yeniden gözden geçirilmiş, ölçme çubuklarının gövdelerine de düzeçler yerleştirilmiş ve tüm düzeçler ikinci ölçme kampanyasından önce özenle kontrol edilip düzenlenmiştir.

Yeni önlemlerle başlatılan ikinci ölçme kampanyası, birinci kampanyadan 2 gün daha az olarak 5 gün sürmüş ve yatay konumda $m_{P(2B)} = \pm 1.1 \text{ mm}$ (maksimum) ve $m_{P(2B)} = \pm 0.9 \text{ mm}$ (ortalama); düşey konumda $m_h = \pm 2.3 \text{ mm}$ (maksimum) ve $m_h = \pm 1.8 \text{ mm}$ (ortalama) doğrulukları sağlamıştır. İkinci kampanyada presizyonlu nivelman ölçülerinden elde edilen doğruluk olarak $m_{\Delta H} = \pm 0.6 \text{ mm}$ elde edilmiştir. Bu kampanyada, presizyonlu nivelman ölçüleri ile GPS baz bileşenlerinin bütünleşik olarak dengelenmesiyle elde edilen ortalama konum doğrulukları ise yatayda $m_{P(2B)} = \pm 0.9 \text{ mm}$ ve yükseklikte $m_h = \pm 0.8 \text{ mm}$ dir.

Üçüncü ve dördüncü kampanya GPS ölçmelerinin değerlendirilmelerinden elde edilen yatay ve düşey doğruluklarda genelde ikinci kampanya düzeyinde olup üçüncü kampanyada ikinci kampanyaya eşit, dördüncü kampanyada ise ikinci ve üçüncü kampanyaya göre biraz daha düşüktür. Üçüncü kampanya nivelman ölçmelerinde birinci ve ikinci kampanyada ulaşılan doğruluk sağlanmış olmasına karşın dördüncü kampanya nivelman ölçmelerinde önemli bir doğruluk düşüşü ile karşılaşmıştır ve $m_{\Delta H} = \pm 1.9 \text{ mm}$ elde edilmiştir. Dördüncü kampanyada, nivelman ölçülerinin kampanya değerlendirmelerinin, ölçmeleri izleyen yakın günlerde gerçekleştirilememiş olması nedeniyle bu ölçüler yinelenememiştir.

GPS ölçmelerinde 4 adet Trimble 4000 SSI ve 6 adet Leica Sistem 300 alıcısı ve anteni (birinci kampanyada 2 adet Leica Sistem 300) kullanılmıştır. Bu ayrı marka alıcı ve antenlerin birlikte aynı ağ içinde ve tek bir yazılımda değerlendirilebilmeleri için, iki farklı firmanın kendi alıcıları için ürettikleri ticari yazılımlar ile binary

formatında elde edilen gözlem dosyaları alıcıdan bağımsız gözlem formatı olan RINEX formatına dönüştürülmüş ve ascii formatındaki bu gözlem dosyalarındaki anten yükseklikleri anten referans noktasına (ARP) kadar indirgenmiştir. Ayrıca alıcı antenlerine ait faz merkezi değişimleri de yazılıma eklenmiştir. Alıcı anteni faz merkezleri, ne geometrik nede fiziksel bir noktadır ve sinyalin eğim açısı ve azimutuna bağlı olarak değişir. Farklı firmalara ait farklı antenlerin faz merkezi değişimleri de farklı olduğundan rölatif konum belirlemede iki nokta arasındaki baz bileşenleri faz merkezi değişimlerinden etkilenmektedir. Bu sebepten kısa baz uzunluğuna sahip ağlarda aynı marka ve model anten kullanılarak anten faz merkezi değişimlerinden kaynaklanan hatalar elemine edilebilmektedir. Ayrıca deformasyon belirleme amaçlı tesis edilen ağlarda aynı marka ve model GPS alıcılarının kullanılması da önemlidir. Çünkü aynı marka ve model alıcılarda aynı tip kuartz saatler ve aynı L2 sinyali izleme tekniği kullanılmaktadır. Böylece, rölatif konum belirlemeyle saat hatları elemine olmakta ve L2 sinyali üzerindeki şifrelenmiş P(Y) koddan kaynaklanan faz kayıklıklarının (cycle slips) etkisi azaltılmaktadır.

Kampanya ölçülerinin karşılaştırılması önce 3B GPS ölçü sonuçları ile gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırmada viyadük üzerindeki bazı noktalarda, deformasyon olarak algılanabilecek yükseklik değişimlerinin olduğu görülmüştür. Fakat nivelman ölçüleri ile gerçekleştirilen karşılaştırmalar sonucunda viyadük üzerindeki bu noktalarda görülen hareketlerin aslında alıcı anteni yüksekliği ölçmelerinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Nivelman ölçülerinin bu türden hatalar için önemli bir kontrol görevi üstlendiği görülmüştür.

Kampanya GPS değerlendirmelerine nivelman ölçüleri de katılarak, üçüncü bölümde (3.31) ve (3.32) eşitlikleriyle verilen VTBD3B modeli ile gerçekleştirilen 3B bütünleşik dengelemede, presizyonlu nivelman ölçülerinin kontrol ağına önemli bir etki yaptığı, yükseklik bilinmeyenlerini ve onların doğruluklarını değiştirdiği görülmüştür. Nivelman ölçülerinin dengelemeye katılmasıyla yatay konum bilinmeyenlerinde de küçük dahi olsa değişimler gözlenmiştir. Bu değişimler birinci kampanyada maksimum 3 mm, ikinci kampanyada maksimum 1 mm ve diğer kampanyalarda 0.5 mm düzeyindedir. Nivelman ölçülerinin 3B dengelemeye eklenmesiyle, yükseklik bilinmeyenleri ve doğruluklarındaki dikkate değer değişim kendini 2B bilinmeyenlerde küçük de olsa göstermiş fakat 2B yatay konum doğruluklarında herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Sonuçta, bütünleşik

dengelemeyle elde edilen üç boyutlu nokta konum bilinmeyenlerindeki ve nokta konum doğruluklarındaki değişimlerin büyük oranda nivelman ölçülerinin yükseklik bilinmeyenlerine ve doğruluklarına olan olumlu etkilerinden ortaya çıktığı anlaşılmıştır.

Kampanyalar arası deformasyon analizinde ilk göze çarpan gerçek, düşey yöndeki deformasyonların, arazi taban su seviyesinin mevsimsel değişimi ile büyük oranda korelasyonlu olduğudur. Çünkü ölçme kampanyalarının arda arda ikili gruplar halinde ardışık olarak I-II, II-III, III-IV analizlerinde köprü ayaklarından daha çok referans ağı (proje başlangıcında sabit oldukları varsayılan) noktalarında çökme ve yükselmeler görülmüştür. Üç boyutlu deformasyon analizlerinde ortaya çıkan bir başka gerçekte GPS ve BUT analiz sonuçları incelendiğinde görülmüştür. Nivelman ölçülerinin etkisiyle 3B deformasyon vektörleri küçülmüş ve nokta konum doğrulukları artmıştır. Böylece test güvenilirliği de artmıştır.

Üç boyutlu dengelemeler sonucu, nivelman ölçülerinin GPS sisteminin sadece yükseklik bileşenini ve doğruluğunu etkilediği, yatay konum bilinmeyenlerine ve doğruluklarına etkisinin yok denecek kadar az olduğu görülmüştür. Bu durumda düşey konum değişimlerini daha iyi analiz edebilmek için yalnızca yükseklik değişimlerini konu alan bir boyutlu analizler gerçekleştirilmiştir. 3B bütünsel dengelemeye benzer olarak yine GPS yükseklik farkları ile presizyonlu nivelman yükseklik farklarının birlikte kullanıldığı, ikinci bölümde açıklanan VTBD1B modeline göre yapılan dengeleme işlemlerinde ölçü gruplarının dengeleme öncesi varyans değerleri MINQUE-VBT tekniği ile elde edilmiştir.

Kampanya GPS değerlendirmelerinden elde edilen GPS yükseklik farklarına nivelman ölçüleri de katılarak gerçekleştirilen 1B bütünsel dengelemede, presizyonlu nivelman ölçülerinin yükseklik bilinmeyenlerine ve onların doğruluklarına dikkate değer etkileri görülmüştür. Bütünsel dengelemeden elde edilen yükseklik doğruluklarının genel olarak 1B GPS dengelemesinden elde edilen yükseklik doğruluklarına göre %30 artış gösterdiği görülmüştür (1. kampanyada yükseklik doğrulukları %500 artmıştır). Nivelman ölçülerinin birinci kampanyadaki yükseklik bilinmeyenlerine etkisi maksimum 24 mm ile viyadük üzerindeki 141 numaralı noktadır. Bu etki ikinci kampanyada 10 mm ile tekrar 141 numaralı noktada, üçüncü ve dördüncü kampanyalarda tekrar viyadük üzerindeki noktalarda maksimum 5 mm dir.

1B analizler sonucunda, 3B dengelemelerden elde edilen yükseklik değişimlerine benzer sonuçlar bulunmuştur. Kampanyaların 1B GPS dengelemeleri sonucu gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre hem bazı referans ağı noktalarında hem de viyadük üzerindeki bazı obje noktalarında anlamlı hareketler ortaya çıkmıştır. Bu durumun aksine sadece nivelman ölçüleriyle yapılan analiz sonucunda, viyadük üzerindeki noktalarda anlamlı yükseklik değişimleri olmadığı ve maksimum yükseklik değişimlerinin 2, 4 ve 5 numaralı referans ağı noktalarında yükselme, çökme ve tekrar yükselme şeklinde periyodik olduğu görülmüştür. Viyadük üzerindeki noktalarda da anlamlı olmasa da 5 mm'yi geçmeyen yükselme ve çökme hareketleri fark edilmiştir. Kontrol ağının 2, 4 ve 5 numaralı noktalarında daha belirgin ortaya çıkan bu yükselme ve çökme hareketleri bütünleşik dengelemelerden elde edilen sonuçlara göre şu şekilde olmuştur: Önce 2 numaralı nokta 39 mm, 4 numaralı nokta 33 mm ve 5 numaralı nokta 13 mm yükselmiştir, sonra 2 numaralı nokta 42 mm, 4 numaralı nokta 68 mm ve 5 numaralı nokta 11 mm çökmüştür ve daha sonra tekrar 2 numaralı nokta 55 mm, 4 numaralı nokta 75 mm ve 5 numaralı nokta 11 mm yükselmiştir. Benzeri durum çok daha küçük boyutlarda (5 mm nin altında) köprü ayakları için de akla gelebilir. 2, 4 ve 5 numaralı referans noktalarındaki düşey yöndeki bu hareketlerin viyadük ayaklarındaki deformasyon noktalarındaki hareketlere göre daha büyük olmasının sebebi, pilye ve beton blok olarak tesis edilmiş olan referans noktalarının temellerinin viyadük ayak temelleri kadar sağlam zemine (ortalama 30 m derinliğe) girmemesi olarak açıklanabilir. Bölge jeolojisi, zemin yapısının suyla doyması ve kuruması halinde ortaya çıkan bu yükselme ve çökme hareketinin uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca 1, 3 ve 6 numaralı diğer referans ağı noktalarındaki hareketlerin 2, 4 ve 5 numaralı referans ağı noktalardaki hareketlere göre daha küçük olmasının sebebi, bölgedeki farklı jeolojik formasyonların ve nokta tesis cinslerinin bir özelliği olarak ortaya çıkmaktadır. Üzerlerinde 3 ve 6 numaralı noktaların bulunduğu, II. Dünya savaşı sırasında tanklara karşı inşaa edilmiş 100-300 ton ağırlığındaki beton bloklardan oluşan koruganların, arazi taban su seviyesinin değişimi ile düşey yönde hareket edebileceği daha önceden hesaba katılamamıştır. Viyadüğün ortalama 30 metre derinliğe kadar giden sürtünme ve uç kazığı olarak dizayn edilmiş olan fore kazık temellerine de bu etkinin faal olduğunu ancak viyadük köprülerinin bu gün için bu durumdan etkilenmediğini söylemek mümkündür.

GPS+NIV ölçmeleri ile gerçekleştirilen ardışık kampanyalar arası deformasyon analizlerinde ortaya çıkarılabilen en küçük deformasyon büyüklüğü 3 mm düzeyindedir. Ulaşılan bu doğruluk ve 30 noktalı bir kontrol ağının ölçülme süresinin sadece 5 gün olması GPS tekniğinin sağladığı konfor ve avantajları göstermektedir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bilgi birikiminden, diğer araştırmacı ve uygulamacılara aktarılacak öneriler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

- Bu çalışma içerisinde de uygulanan bazı özel önlemlerin alınması koşulu ile GPS tekniği kullanılarak deformasyon ölçmeleri yapılabilir. Bu ölçmelere nivelman ölçülerinin katılması düşey konum bilinmeyenlerini ve doğruluklarını olumlu olarak etkilemekte ve dolayısıyla nivelman ölçüleri düşey hareketlerin daha doğru bir şekilde belirlenmesine önemli bir katkı sağlamaktadır. Keza nivelman ölçüleri yatay konum bileşenlerini çok küçük değerlerle etkilemektedir. Ancak yatay konum doğruluklarına herhangi olumlu bir etkileri görülmemektedir. Yatay deformasyonların belirlenmesinde iç geometrideki bozulmaları daha iyi ortaya koymada açı ve kenar ölçmelerinin özellikle küçük alanlarda faydalı olacağı söylenebilir.
- Deformasyon analizinde ölçmeler kadar matematik modelin geçerliliği de önemlidir. Gerçekçi bir stokastik model oluşturmada VBT yöntemlerinin kullanılması önerilir. Ancak bu yöntemlerin kullanılmasında kontrol ağının geometrik yapısına dikkat edilmeli, ölçülerin serbestlik derecesi bileşenlerinin yüksek (0.70 den büyük) olması sağlanmalıdır.
- Büyük mühendislik yapılarındaki deformasyon analizi amacına yönelik jeodezik ölçmelerde GPS tekniği uygulanabilir ve bu ölçülerin değerlendirmelerinde alıcı üreten firmalar tarafından sunulan ticari yazılımların kullanılması mümkün olabilir (baz uzunluklarının 10 km yi aşmaması şartıyla). Ancak deformasyon analizi için bu amaca yönelik üç boyutlu analiz yazılımlarına gereksinim vardır.
- GPS antenlerinin zorunlu merkezlendirmesi standart donanımlarla sağlanamamaktadır. Bu çalışma için geliştirilmiş, sinyal yansımaları önlemek amacıyla alıcı antenleri yerden 1 m yükseklikte tutan, alüminyum alaşımlı zorunlu merkezlendirme donanımları geliştirilmiştir. GPS ölçmeleri sırasında, hem taşıyıcı gövdede hem de tabanda olmak üzere birbirinden bağımsız düzeçlerle donatılmış bu türden ek donanımlara mutlak gereksinim vardır.

- Bu çalışmada GPS ölçülerinden elde edilen elipsoidal yükseklik farkları, nivelman yükseklik farkları ile eşdeğer kabul edilmiştir. Deniz yüzeyinden 20-30 metre yükseklikte ve engebesiz bir arazide tesis edilmiş olan kontrol ağının, hemen hemen aynı yatay düzlemde (viyadük üzerinde) gerçekleştirilen ve birbirinden 200 m uzaklıkta bulunan deformasyon noktaları arasında geoid yüksekliği değişiminin (ΔN) ölçü doğruluğu altında kaldığı varsayılmıştır. Bu dış koşulların sağlanmadığı deformasyon ölçmelerinde, geoid yüzeyi dalgalanmalarının da gözetileceği bir analiz modeli için ayrıca astro-jeodezik çekül sapmalarının kullanılması gerekir. Çünkü elipsoit ve geoid normallerinin doğrultu farkını veren çekül sapmaları geoid ondülasyonları interpolasyonu için uygun verilerdir.
- Deformasyon ölçmeleri sırasında aynı marka ve model GPS alıcı ve antenlerinin kullanılması önerilmektedir. Farklı marka ve model antenlerin kullanılması durumunda, GPS değerlendirmesi sırasında, IGS tarafından internet üzerinden yayınlanan ve her anten için farklı olan anten faz merkezi değişimi parametrelerinin kullanılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Acar, M., Özlüdemir, M.T., Çelik, R.N., Erol, S., Ayan, T.,** 2004. Landslide Monitoring Through Kalman Filtering: A Case Study in Gürpınar, *Proceedings CD, ISPRS XXth Congress*, Temmuz 12-23, İstanbul.
- Alsalman, A.S.A.,** 1999. Evaluating the Accuracy of Differential Trigonometric and GPS Levelling. *Surveying and Land Information Systems*, **59**, 47–51.
- Ananga, N., Coleman, R. ve Rizos, C.,** 1994. Variance-covariance estimation of GPS networks. *Bulletin Geodesique*, **68**, 77-87.
- Arslan, E.,** 1987a. Ülke Nirengi Ağlarında İki ve Üç Boyutlu Dengeleme Modellerinin Uygulamalı Karşılaştırması, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arslan, E.,** 1987b. Jeodezik Ağların Elipsoid Yüzünde Dengelenmesi. *İTÜ Dergisi*, **45:3**, 4–12.
- Ayan T.,** 1981. Jeodezik Ağların Analizi, Ders Notu. İTÜ Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ayan, T.,** 1982. Jeodezik Ağlarla Deformasyon Analizine Genel Bakış. *İTÜ Dergisi*, **40:1**, 20–25.
- Ayan, T.,** 1983. Bağlı Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi. *Harita Dergisi*, **91**, 1-11.
- Ayan, T., Aksoy, A., Deniz, R., Arslan, E., Çelik, R. N., Özşamlı, C., Denli, H., Erol, S., Erol (Özöner), B.,** 1999. İstanbul GPS Nirengi Ağı (İGNA99). *İstanbul Teknik Üniversitesi Raporu*, İTÜ 1997/3882, İstanbul.
- Ayan, T., Çelik, R.N., Alanko, G., Denli, H., Özlüdemir, T., Groten, E., Leinen, S. ve Traiser, J.,** 1997. Die ersten Ergebnisse der Deformationsmessungen mit GPS auf dem Karasu – Viaduk, *Proceedings of 2nd Turkish – German Geodetic Days*, 28 – 30 Mayıs, Berlin, Almanya.
- Ayan, T., Deniz, R., Arslan, E., Çelik, R. N., Denli, H.H., Akyılmaz, O., Özşamlı, C., Özlüdemir, M.T., Erol, S., Erol, B., Acar, M., Mercan, H.,**

- Tekdal, E.**, 2006. İstanbul GPS Nirengi Ağı (İGNA05) 2005-2006 Yenileme Ölçü ve Değerlendirmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Raporu*, Cilt 1, İstanbul.
- Ayan, T., Deniz, R., Çelik, R.N., Arslan, E., Özlüdemir, M.T., Güney, C., Özöner, B., Erol, S. ve Akyılmaz, O.**, 2004. Jeodezik Amaçlı Yerel GPS Ağları. *TUJK 2002 Yılı Bilimsel Toplantısı, Bildiriler ve Konuşma Tutanakları*, s. 199-216, Ed. O. Gürkan, HKMO ve TUJK, İstanbul.
- Ayan, T., Groten, E.**, 1999. Mühendislik Yapılarında Deformasyonların Uydu Jeodezisi Yöntemleri “GPS” ile İzlenmesi. *Araştırma Projesi Raporu*, İTÜ 786, İstanbul.
- Ayan, T., Tekin, E., Deniz, R., Külür, S., Toz, G., Çelik, R. N. ve Özşamlı, C.**, 1991. Büyükçekmece Gürpınar Köyü Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması, Teknik Rapor, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, Türkiye.
- Ayhan, M. E., Demir, C., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Aktuğ, B., Açıkgöz, M., Fırat, O., Şengün, Y. S., Cingöz, A., Gürdal, M. A., Kurt, A. I., Ocak, M., Türkezer, A., Yıldız, H., Bayazıt, N., Ata, M., Çağlar, Y. and Özerkan, A.**, 2002. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A) Raporu, *Harita Dergisi-Özel Sayısı*, **16**, Harita Genel Komutanlığı, Ankara, Türkiye.
- Baarda, W.**, 1973. S-transformation and criterion matrices, Netherlands Geodetic Commission Publications on Geodesy, New Series, 5(1), Hollanda.
- Başkaya, B.**, 1995. S-Transformasyonu ve Yatay Kontrol Ağlarında Deformasyon Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baykal, O.**, 1985. Presizyonlu Nivelman Tekniği, Ders Notu. İTÜ Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Behr, J.A., Hudnut, K.W. ve King, N.E.**, 1998. Monitoring Structural Deformation at Pacoima Dam, California Using Continuous GPS, *Seismological Research Letters*, **69**, 299-308.
- Beutler, G., Bauersima, I., Gurtner, W. ve Rothacher, M.**, 1987. Correlation between simultaneous GPS double difference carrier phase observations in the multistation mode: implementation considerations and first experiences. *Manuscripta Geodaetica*, **12**, 40-44.

- Beutler, G.**, 1992. The Impact of the International GPS Service for Geodynamics on the Surveying and Mapping Community. *International Union of Surveying and Mapping (IUSM) Presented papers of the Working Group Sessions*, Washington, Amerika, s. 84–94.
- Beutler, G., Bock, H., Brockman, E., Dach, R., Fridez, P., Gurtner, W., Hugentobler, U., Ineichen, D., Johnson, J., Meindl, M., Mervart, L., Rothacher, M., Schaer, S., Springer, T. ve Weber, R.**, 2001. Bernese GPS Software Version 4.2., Astronomical Institute, Bern Üniversitesi, Bern, İsviçre.
- Biacs, Z. F.**, 1989. Estimation and hypothesis testing for deformation analysis in special purpose networks, *Yüksek Lisans Tezi*, Calgary Üniversitesi, Kanada.
- Bitelli, G., Bonsignore, F. ve Unguendoli, M.**, 2000. Levelling and GPS networks to monitor ground subsidence in the Southern Po Valley. *Journal of Geodynamics*, **30**, 355–369.
- Blewitt, G.**, 1990. GPS Techniques for Monitoring Geodynamics at Regional Scales, *In Proceeding of Second International Symposium on GPS*, Kanada, s. 495-507.
- Blewitt, G.**, 1997. Basics of the GPS Technique: Observation Equations. in *Geodetic Applications of GPS*, s. 2-46, Swedish Land Survey, İsveç.
- Blewitt, G.**, 1998. GPS Data Processing Methodology: From Theory to Applications. in *GPS for Geodesy, 2nd Edition*, s. 231-270, Eds. P.J.G. Teunissen ve A. Kleusberg, Springer-Verlag, Berlin.
- Boekelo, G.**, 1996. Adjustment Models and Mapping. *Hydrographic Journal*, **2**, 1–4.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C.**, 1994. Time Series Analysis- Forecasting and Control, Prentice-Hall, New Jersey.
- Brockmann, E. ve Gurtner, W.**, 1996. Combination of GPS Solutions for Densification of the European Network: Concepts and Results Derived from 5 European Associated Analysis Centers of the IGS, in *EUREF Publication No.5, Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften*, Ankara, 22-25 Mayıs, s. 152-157.
- Brunner F.K., Hartinger H. ve Troyer L.**, 1999. GPS Signal Diffraction Modelling: the Stochastic SIGMA- Δ Model, *Journal of Geodesy*, **73**, 259-267.

- Bruyninx, C.,** 2002. The Global Positioning System: Present Status and Modernization Plans, *Proceedings GNSS Workshop*, Brüksel, Belçika, s. 1-7.
- Cannon, M.E. ve Lachapelle, G.,** 2003. GPS Positioning, ENGO 561 Ders Notu, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Calgary Üniversitesi, Kanada.
- Caspary, W.F.,** 1987. Concepts of Network and Deformation Analysis. Monograph 11, School of Surveying-The University of New South Wales, Kensington.
- Chang, C.C.,** 2000. Estimation of Local Subsidence Using GPS and Levelling Combined Data, *Surveying and Land Information System*, **2:60**, 85-94.
- Chen, R. ve Kakkuri, J.,** 1993. Capability of GPS Technique for Local Crustal Deformation Detection, *Bildiriler Kitabı, the CRCM'93*, Kobe, Japonya. 6-11 Aralık. s. 209-213.
- Chen, Y.Q.,** 1983. Analysis of deformation surveys—a generalized method, *Technical Report*, No. 94, Department of Surveying Engineering, New Brunswick Üniversitesi, Kanada.
- Chen, Y.G. ve Chrzanowski, A.,** 1985. Assessment of levelling measurements using the theory of MINQUE, *Proceeding of 3rd International Symposium North American Vertical Datum*, Rockville, s.389-400.
- Chen, Y.G. ve Chrzanowski, A.,** 1990. Integration of GPS with Levelling in Ground Subsidence Studies: Mathematical Modelling. *A collection of 8th International Symposium on Geodetic Computation*, s. 21-30, Ed. C. Junyong, International Academic Publishers, Beijing.
- Chen, D. ve Lachapelle, G.,** 1994. A Comparison of the FASF and Least-Squares Search Algorithms for On-the-Fly Ambiguity Resolution. *Journal of the Institute of Navigation*, **42:2**, 371–390.
- Chrzanowski, A. ve Chrzanowski, A.S.,** 1995. Identification of dam deformation mechanism, *In Proceedings of the MWA International Conference on Dam Engineering*, Kuala Lumpur, s.179-187.
- Chrzanowski, A. ve Chen, Y.Q.,** 1986. Report of the ad hoc committee on the analysis of deformation surveys, *In Proc. of the FIG XVIII International Congress*, Toronto, Kanada, s.167-185.
- Chrzanowski, A., Chen, Y., Leeman, R:W. ve Leal, J.,** 1989. Integration of the Global Positioning System with Geodetic Levelling Surveys in Ground Subsidence Studies, *CISM Journal ACSGC*, **43**, 377–386.

- Chrzanowski A., Chen, Y.Q., Secord, J.M. ve Chrzanowski, A.S., 1991.** Problems and solutions in the integrated monitoring and analysis of dam deformations, *CISM Journal*, **45:4**, 547-560.
- Cooper, M.A.R., 1987.** Control surveys in civil engineering, Blackwell Scientific, Oxford.
- Crocetto, N., Gatti, M., Materazzo, C. ve Toscano, L., 1999.** A Computer Program for the Variance-Covariance Estimation of GPS Baseline Vectors, *Proceedings of the ISPRS WG VI/3 Meeting International Cooperation and Technology Transfer, M. Cunietti Memorial Meeting*, 15-19 Şubat, Parma, İtalya, s. 185-192.
- Crocetto, N., Gatti, M. ve Russo P., 2000.** Simplified formulae for the BIQUE estimation of variance components in disjunctive observation groups. *Journal of Geodesy*, **74**, 447-457.
- Çelik, R.N., Ayan, T., Denli, H., Özlüdemir, T., Erol, S., Özöner, B., Apaydın, N., Erinçer, M., Leinen, S. ve Groten, E., 2001.** Monitoring Deformation on Karasu Viaduct Using GPS & Precise Leveling Techniques. *NATO Science Series, Series E: Applied Sciences*, vol. 373, s. 407-415, Ed. M. Erdik, M. Çelebi ve N. Apaydın, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Daghay, S., Moins, M., Bruyninx, C., Rolain, Y. ve Roosbeek, F., 2005.** Impact of the Combined GPS + Galileo Satellite Geometry on Positioning Precision., *Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for Europe (EUREF)*, Viyana, Avusturya, 1-4 Haziran.
- Daly, P. ve Misra, P. N., 1996.** GPS and Global Navigation Satellite System. in *Global Positioning System: Theory and Applications*, vol. 164, s. 243-272, Eds. B.W. Parkinson ve J.J. Spilker, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington.
- Demirel, H., 1987.** S-Transformasyonu ve Deformasyon Analizi, *Bildiriler Kitabı, Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 23-27 Şubat, s. 593-608.
- Demirel, H., 2005.** Dengeleme Hesabı. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Demirel, H. ve Doğan, U., 1998.** GPS Ölçülerinin Yersel Ölçülerle Birlikte Dengelenmesinde Üç Boyutlu Geometrik Modeller. *Harita Dergisi*, **119**, 15–32.

- Denli, H.H.**, 1998. GPS ile Marmara Bölgesindeki Yer Kabuğu Hareketlerinin Belirlenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Denli, H.H.**, 2003. Global Congruency Test Methods for GPS Networks. *Journal of Surveying Engineering*, **129:3**, 95-98.
- Denli, H.H.**, 2004. Crustal Deformation Analysis in the Marmara Sea Region. *Journal of Surveying Engineering*, **130:4**, 151-155.
- Doğan, U.**, 2000a. GPS Ölçüleri ile Yersel Ölçülerin Birlikte Dengelenmesi. *YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü 2000 Seminerleri*, 27-37.
- Doğan, U.**, 2000b. Global Datumdan-Yerel Datuma Dönüşümde Yüksekliğin Yatay Konuma Etkisi. *YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü 2000 Seminerleri*, 70-82.
- Dong, D., Herring, T.A. ve King, R.W.**, 1998. Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data, *Journal of Geodesy*, **72**, 200-214.
- Eckl, M.C., Snay, R.A., Soler, T., Cline, M.W. ve Mader, G.L.**, 2001. Accuracy of GPS-Derived Relative Positions as a Function of Interstation Distance and Observing-Session Duration, *Journal of Geodesy*, **75**, 633-640.
- El-Rabbany, A.E.S.**, 1994. The effect of physical correlations on the ambiguity resolution and accuracy estimation in GPS differential positioning, *Doktora Tezi*, New Brunswick Üniversitesi, Jeodezi ve Geomatik Mühendisliği Bölümü, Kanada.
- Eren, K. ve Uzel, T.**, 1995. GPS Ölçmeleri. Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- Erol, B.**, 2007. Investigations on Local Geoids for Geodetic Applications, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erol, B., Erol, S. ve Çelik, R.N.**, 2007a. Monitoring and Analysing structural movements with inclination sensors. *International Association of Geodesy Symposia, vol. 131, Geodetic Deformation Monitoring: From Geophysical to Engineering Roles*, s. 116-125, Ed. F. Sanso and J. Antonio Gil, Springer-Verlag, Berlin.
- Erol, S.**, 1999. Karasu Viyadüğünde GPS ile Deformasyon Ölçmeleri ve Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Erol, S. ve Ayan, T., 2003.** An Investigation on Deformation Measurements of Engineering Structures with GPS and Levelling Data, *International Symposium of Modern Technologies, Education and Professional Practice in Globalizing World*, 6-8 Kasım, Sofya, Bulgaristan.
- Erol, S. ve Ayan, T., 2005.** GPS ve Nivelman Verilerinin Kombinasyonu ve Deformasyon Analizi, *Türkiye 10. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Mart 28-Nisan 1, Ankara.
- Erol, S. ve Erol, B., 2006.** Analysing and Prediction of Sea Level Variations for Semi-Enclosed Seas: Case Study over Turkey, *the Firts International Symposium of International Gravity Field Service-Gravity Field of the Earth*, 28 Ağustos-1 Eylül, İstanbul, Türkiye.
- Erol, S., Çelik, R. N., Erol, B., ve Ayan, T., 2004a.** Assessment of Satellite Based and Terrestrial Measurement Techniques in Monitoring Vertical Deformations, *Proceedings CD, FIG Working Week 2004*, 22-27 Mayıs, Atina, Yunanistan.
- Erol, S., Erol, B. ve Ayan, T., 2004b.** A General Review of the Deformation Monitoring Techniques and a Case Study: Analysing Deformations Using GPS/Levelling, *Bildiriler CDsi, ISPRS XXth Congress*, Temmuz 12-23, İstanbul.
- Erol, S., Erol, B. ve Ayan, T., 2007b.** Analysing the deformations of a Bridge using GPS and Levelling Data. *International Association of Geodesy Symposia, vol. 131, Geodetic Deformation Monitoring: From Geophysical to Engineering Roles*, s. 224-253, Ed. F. Sanso and J. Antonio Gil, Springer-Verlag, Berlin.
- Erol, S., Erol, B. ve Ayan, T. 2007c.** Combination of GPS and Levelling Data in terms of 1D, 2D and 3D Deformation Analysis, *International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) XXIV General Assembly*, Perugia, İtalya, Temmuz 2-13.
- Erol, S., Erol, B. ve Çelik, R.N., 2006a.** Monitoring and Analyzing Movements of Geodetic Monuments, *Bildiriler Kitabı, FIG Working Week 2006*, Kasım 08-13, Munich.
- Erol, S., Erol, B. ve Çelik, R.N., 2006b.** Analysis of ISTA-IGS station using geodetic and non-geodetic techniques. *Geophysical Research Abstracts*, **8**, 00697.

- Erol, S., Erol, B. ve Ayan, T.,** 2006c. Optimal Combination of GPS and Levelling Data, *Bildiriler Kitabı, the Fifth International Symposium of Turkish-German Joint Geodetic Days: Geodesy and Geoinformation in the Service of our Daily Life*, Mart 28-31, Berlin.
- Erol, S., Tait, M., Erol, B. ve Ayan, T.,** 2004c. 1D and 3D Analyses of Deformations in Engineering Structures Using GPS and Terrestrial Data, *Bildiriler Kitabı, FIG INGEO*, Kasım 11-13, Bratislava, Slovakia.
- Ertek, T.A. ve Kaya, H.,** 2001. Effect of the natural hazards on the landscape of Büyükçekmece lake, *Bildiri Kitabı, the Fifth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST-01), Cilt 1*, Hammamet, Tunus, 385-394.
- Featherstone, W. E., Denith, M. C. ve Kirby, J. F.** 1998. Strategies for the Accurate Determination of Orthometric Heights from GPS. *Survey Review*, **34:267**, 278-296.
- Fotopoulos, G.,** 2003. An Analysis on the Optimal Combination of Geoid, Orthometric and Ellipsoidal Height Data, *Doktora Tezi*, Calgary Üniversitesi, Kanada.
- Fotopoulos, G. ve Sideris M.G.,** 2003. On the estimation of variance components using GPS, geoid and levelling data, *Canadian Geophysical Union Annual meeting: Challenges and opportunities for geophysics in Canada*, Banff, Kanada, 10-14 Mayıs.
- Fotopoulos, G.,** 2005. Calibration of geoid error models via a combined adjustment of ellipsoidal, orthometric and gravimetric geoid height data. *Journal of Geodesy*, **79**, 111-123.
- Fotopoulos, G., Kotsakis, C. ve Sideris M.G.,** 1999. Evaluation of Geoid Models and Their Use in Combined GPS/Levelling/Geoid Height Network Adjustment. *Calgary Üniversitesi Raporu*, Calgary.
- Fotopoulos, G., Kotsakis, C. ve Sideris M.G.,** 2001. How accurately can we determine orthometric height differences from GPS and geoid data?. *Journal of Surveying Engineering*, **129:1**, 1-10.
- Fotopoulos, G., Kotsakis, C. ve Sideris, M.G.,** 2005. Estimation of Variance Components Through a Combined Adjustment of GPS, Geoid and Levelling Data. *International Association of Geodesy Symposia, Vol.*

128, *A Window on the Future of Geodesy*, s. 440-445, Ed. F. Sanso, Springer-Verlag, Berlin.

Francisco, S.G., 1996. GPS Operational Control Segment. in *Global Positioning System: Theory and Applications*, vol. 164, s. 435-465, Eds. B.W. Parkinson ve J.J. Spilker, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington.

Fraser, C.S. ve Gründig, L., 1985. The analysis of photogrammetric deformation measurements on Turtle Mountain, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **51:2**, 207-216.

Gao, Y., 2004a. Advanced Estimation Methods and Analysis, Ders Notu, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Calgary Üniversitesi, Kanada.

Gao, Y., 2004b. Geodetic Positioning, Ders Notu, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Calgary Üniversitesi, Kanada.

Ghilani, C.D. ve Wolf, P.R., 2006. Adjustment Computations Spatial Data Analysis. John Willey & Sons Inc., New Jersey.

Gili, J.A., Corominas, J. ve Rius, J., 2000. Using Global Positioning System Techniques in Landslide Monitoring. *Engineering Geology*, **55**, 167-192.

Gökalp, E., 1997. Deformasyon Ağlarındaki Referans ve Obje Noktalarının Hareketli Olup Olmadığının Belirlenmesi, *Harita Dergisi*, **117**, 8-19.

Gökalp, E., 1994. Combination of GPS and geodetic levelling in subsidence monitoring, *Bildiriler Kitabı, the first Turkish International Symposium on Deformations*, İstanbul, Türkiye. 5-9 Eylül. s. 182-192.

Grafarend, E.W., 1984. Variance-Covariance Components Estimation, Theoretical Results and Geodetic Applications, *16th European Meeting of Statisticians*, Marburg.

Groten, E., Leinen, S. ve Ayan, T., 1998. Deformation monitoring around a large viaduct close to Istanbul using GPS and Levelling, *Proceedings of 2nd Int. Symp. Geodynamics of the Alps – Adris Area by means of Terrestrial Methods*, 28 Eylül-2 Ekim, Dobrovnik.

Gründig, L., Neureither, M., Bahndorf, J., 1985. Detection and localization of geometrical movements. *ASCE Journal of Surveying Engineering*, **111:2**, 118-132.

- Gründig, L., Aschoff, B., ve Milev, I., 1995.** Combined 3D-Adjustment of GPS- And Terrestrial Observations for the Densification of Geodetic Networks, *Bildiriler Kitabı, the First Turkish-German Joint Geodetic Days*, İstanbul, Türkiye. 27-29 Eylül.
- Guo, J. ve Ge, S., 1997.** Research of Displacement and Frequency of tall Bulding under Wind Load Using GPS, *Proceedings of the 10th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Eylül, Kansas City, ABD, s. 1385-1388.
- Güllü, M., 1998.** GPS ve Yersel gözlemlerin birlikte dengelenmesi, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Hacıyakupoğlu, S., Ertek, T.A., Çelebi, N., Karahan, G., Öztürk, F., Erginal, A.E. ve Kaya, H., 2003.** Büyükçekmece Gölü Havzasındaki CS-137 Kullanımına Dayalı Erozyon Araştırmalarına ait İlk Not, *Kuvaterner Çalıştay IV*, İ.T.Ü. Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Han, S. ve Rizos, C., 1995a.** Standardization of the variance-covariance matrix for GPS rapid static positioning. *Geomatics Research Australasia*, **62**, 37-54.
- Han, S. ve Rizos, C., 1995b.** Selecting and scaling of simultaneous baseline for GPS network adjustment, or correct procedures for processing trivial baselines. *Geomatics Research Australasia*, **63**, 51-66.
- Hartinger, H. ve Brunner, F.K., 2000.** Development of a monitoring system of landslide motions using GPS, *Proceedings of the 9th FIG Symposium on Deformation Measurements*, Olsztyn. Eylül, s. 29-38.
- Hartinger, H. ve Brunner, F.K., 1998.** Experimental detection of deformations using GPS, in *Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*, s. 145-152, Eds. Kahmen, H., Brückl, E., Wunderlich, T., IAG Special Commission 4, Eisenstadt.
- Hartinger, H. ve Brunner, F.K., 1999.** Variances of GPS Phase Observations: the SIGMA- ϵ Model. *GPS Solutions*, **2:4**, 35–43.
- Harvey, B. R., 1991.** Practical Least Squares and Statistics for Surveyors, The School of Surveying, University of New South Wales, Kensington, N.S.W.
- Hedling, G., Jonsson, B., Lilje, C. ve Lilje, M., 2001.** SWEPOS – The Swedish Network of Permanent GPS reference Station (Status February 2001),

FIG Working Week, International Conference on New Technology for a New Century, Seul, Kore. 6-11 Mayıs.

- Hekimoğlu, Ş., Demirel, H. ve Aydın, C.,** 2002. Reliability of the Conventional Deformation Analysis Methods for Vertical Networks, *Bildiriler Kitabı, FIG XXII International Congress*, Washington, D.C., ABD. 19-26 Nisan. s. 1-13.
- Helmert, F.R.,** 1924. Die Ausgleichungsrechnung nach der Methode der Kleinsten Quadratic, AUFL., 3, Leipzig/Berlin, Almanya.
- Heus, H., Martens, M. ve Marel, H.,** 2000. Re-weighting of GPS baselines for vertical deformation analysis. *International Association of Geodesy Symposia, vol. 121, Geodesy Beyond 2000-The Challenges of the First Decade*, s. 381-386, Ed. K.P. Schwarz, Springer-Verlag, Berlin.
- Hewitson, S. ve Jinling, W.,** 2004. GPS/GLONASS/GALILEO Integration: Separation of Outliers, *the 4th Trans-Tasman Surveyors Conference*, Auckland, Yeni Zellanda, 13-16 Ekim.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Collins, J.,** 1997. Global Positioning System: Theory and Practice. Springer-Verlag, Viyana.
- Hollmann, R., Oswald, W. ve Welsch, W.,** 1990. Processing of GPS phase observations in everyday life: how much can various network solutions differ and how can they be compared?. *Manuscripta Geodaetica*, **15**, 124-136.
- Hopfield, H.S.,** 1970. Tropospheric Effect on Electromagnetically Measured Range: Prediction from Surface Weather Data. Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, Baltimore.
- Hsu, R.,** 1999. An alternative expression for the variance factors in using Iterated Almost Unbiased Estimation. *Journal of Geodesy*, **73**, 173-179.
- Hsu, R.,** 2001. Helmert Method as Equivalent of Iterated Almost Unbiased Estimation. *Journal of Surveying Engineering*, **127:3**, 79-89.
- Hudnut, K.W.,** 1996. Continuous GPS Monitoring of dam Deformation. *EOS*, **77:46**, 139–140.
- Hudnut, K.W. ve Behr, J.A.,** 1998. Continuous GPS monitoring structural deformation at Pacoima Dam, California. *Seismological Research Letters*, **69:4**, 299–308.

- Hugentobler, U., Dach, R., Fridez, P. ve Meindl, M.,** 2006. (Eds). Bernese GPS Software Version 5.0, Astronomical Institute University of Bern, İsviçre.
- Hwang, C., Lee, L.H., Yu, S.B. ve Rizos, C.,** 2004. Single- and Multiepoch Analyses of Global Positioning System Baseline Network: Application to Coordinate and Velocity Determinations in Central Taiwan. *Journal of Surveying Engineering*, **130:2**, 86-94.
- ICD-GPS-200C,** 2003. Navstar GPS Space Segment / Navigation User Interfaces. Revision C. GPS NAVSTAR JPO., ABD.
- Illner, M. ve Jäger, R.,** 1993. Integration von GPS in Verdichtungsnetzen. *ZfV*, **11**, 552–574.
- Illner, M. ve Jäger, R.,** 1995. Integration von GPS-Höhen ins Landesnetz-Konzept und Realisierung im Programmsystem HEIDI. *AVN*, **1**, 1–18.
- Ižvoltová, J.,** 2004. Evaluation of GPS Measurements of Railway Track Geometric Position, *Proceedings of INGEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference and Engineering Surveying*, Bratislava, Slovakia. 11-13 Kasım. s. 1-10.
- İBB,** 1995. 1/50000 ölçekli İstanbul Metropolitan Alanı Alt Bölge Nazım İmar Planı Raporu. *İstanbul Büyükşehir Belediyesi*, İstanbul.
- İnandık, H.,** 1965. Türkiye Gölleri (Morfolojik ve Hidrolojik Özellikleri). *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları*, 44, İstanbul.
- Janes, H.W., Langley, R.B. ve Newby, S.P.,** 1991. Analysis of Tropospheric Delay Prediction Models: Comparisons with Ray-Tracing Implications for GPS Relative Positioning, *Bulletin Géodésique*, **65**, 151–161.
- Kahveci, M.,** 1997. Türkiye Koşullarında Yapılan GPS Gözlemlerinde Ortam Etkilerinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F.,** 2005. GPS (Global Konum Belirleme Sistemi) Teori ve Uygulama. Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Kaniuth, K., Kleuren, D. ve Tremel, H.,** 1998. Sensitivity of GPS Height Estimates to Tropospheric Delay Modelling, *AVN*, **6**, 200–307.
- Kaplan, E.D.,** 1996. Understanding GPS-Principles and Applications. Artech House Publishers, Norwood, Boston.

- Kapovic, Z., Ratkajec, M. ve Mastelic-Ivic, S.,** 2000. Combination of GPS and Precise Levelling in Measurements of Vertical Bridge Deformations. *Acta Geod. Geoph. Hung.*, **35:2**, 219–226.
- Kızılsu, G.,** 1998. Lageos I ve Lageos II için doğruluk analizi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kim, D.D., Langley, R.B., Bond, J. ve Chrzanowski, A.,** 2003. Local deformation monitoring using GPS in an open pit mine: initial study. *GPS Solutions*, **7**, 176–185.
- Kleusberg, A.,** 1998. Atmospheric Models from GPS. *GPS for Geodesy*, s. 599-623, Eds. P.J.G. Teunissen ve A. Kleusberg, Springer.
- Klobuchar, J.A.,** 1996. Ionospheric Effects on GPS. *Global Positioning System: Theory and Applications*, s. 485-515, Eds. B.W. Parkinson ve J.J. Spilker, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington.
- Kotsakis, C. ve Sideris, M.G.,** 1999. On the adjustment of combined GPS/levelling/geoid networks. *Journal of Geodesy*, **73**, 412–421.
- Krakiwsky, E.J.,** 1974. Mathematical Models for the Combination of Terrestrial and Satellite Networks. *The Canadian Surveyor*, **28:5**, 606-614.
- Krauter, A.,** 1999. Role of the Geometry in GPS Positioning. *Periodica Polytechnica Ser. Civ. Eng.*, **43:1**, 43-53.
- Lachapelle, G. ve Cannon, M.E.,** 2004. GPS Theory and Applications, Ders Notu, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Calgary Üniversitesi, Kanada.
- Landau, H.,** 1990. GPS Processing Techniques in Geodetic Networks, *In Proceeding of Second International Symposium on GPS*, Kanada, s.373-386.
- Langley, R.B.,** 1998. Propagation of the GPS Signals. *GPS for Geodesy*, s. 111-149, Eds. P.J.G. Teunissen ve A. Kleusberg, Springer.
- Langley, R.B.,** 1997. GPS Receiver System Noise. *GPS World*, 40-45.
- Leal, J.,** 1989. Integration of GPS and Levelling for Subsidence Monitoring Studies at Costa Bolivar Oil Fields, Venezuela, *Yüksek Lisans Tezi*, New Brunswick Üniversitesi, Kanada.
- Leick, A.,** 1995. GPS Satellite Surveying. John Willey & Sons Inc., New Jersey.
- Leinen, S., Groten, E. ve Ayan, T.,** 1998. The combined use of GPS and Levelling for Deformation monitoring – Experiences from a large viaduct,

Proceedings of 9th Int. Symp. On Recent Crustal Movements, 14 – 19
Kasım, Kahire, Mısır.

- Leinen, S., Groten, E., Ayan, T., Alanko, G., Çelik, R.N., Denli, H.H., Özlüdemir, M.T. ve Erol, S.,** 1999. Deformation Monitoring of Karasu Viaduct with GPS and Levelling, *Bildiriler Kitabı, the Third Turkish-German Joint Geodetic Days*, İstanbul, Türkiye. 1-4 Haziran. s. 61-70.
- Liu, Q.W. ve Chen, Y.Q.,** 1998. Combining the geodetic models of vertical crustal deformation. *Journal of Geodesy*, **72**, 673–683.
- Mader, G.,** 1999. GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey, *GPS Solutions*, **3:1**, 298-302.
- Mekik, Ç.,** 1999. GPS’e atmosferin etkileri. *Harita Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi*, **86**, 14–20.
- Meyer, T.H. ve Hiscox, A.L.,** 2005. Position Errors Caused by GPS Height of Instrument Blunders. *Survey Review*, **38**, 262-273.
- Mierlo, V.J.,** 1978. A testing procedure for analysing geodetic measurements, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Deformation Measurements by Geodetic Methods*, Bonn, Almanya, s. 321-352.
- Mierlo V. J.,** 1997. Geodetic Deformation Analysis Alternative Similarity and Congruency Test, *Proceedings of 2nd Turkish – German Geodetic Days*, 28 – 30 Mayıs, Berlin, Almanya.
- Mikhail, E.M.,** 1976. Observations and Least Squares. Harper&Row Publishers, New York.
- NGS,** 1986. Geodetic Glossary, National Geodetic Survey, 86-61105, Rockville, MD.
- Niemeier, W.,** 1994. Datumfree approach for a combined 3D – adjustment of terrestrial and GPS observations, *Bildiriler Kitabı, the first Turkish International Symposium on Deformations*, İstanbul, Türkiye. 5-9 Eylül, s. 136-148.
- Niemeier, W., Teskey, W.F. ve Lyall, R.G.,** 1982. Precision, reliability and sensitivity aspects of an openpit monitoring network, *Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry and Surveying*, **37**, 1-27.

- Ogaja, C.**, 2002. A Framework in Support of Structural Monitoring by Real Time Kinematic GPS (RTK-GPS) and Multisensor Data, *Doktora Tezi*, New South Wales Üniversitesi, Sidney, Avusturalya.
- Ogaja, C.**, 2001. On-line GPS Integrity Monitoring and Deformation Analysis for Structural Monitoring Applications, in *Proceedings of 14th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation*, Salt Lake City, Amerika, 11-14 Eylül, s. 989-999.
- O'Keefe, K.**, 2001. Availability and Reliability Advantages of Galileo/GPS Integration, *Proceedings of the Satellite Division of the Institute of Navigation 14th International Technical Meeting*, 11-14 Eylül, Salt Lake City, Utah, s. 2096-2104.
- Özlüdemir, M.T.**, 1983. Düşey Kontrol Ağlarında Deformasyon Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özlüdemir, M.T. ve Ayan, T.**, 2003. GPS ile konum belirlemede stokastik modellerin etkileri. *İTÜ Dergisi*, **2:1**, 45–54.
- Öztürk, E.**, 1993. Ülke Nirengi Ağı Sıklaştırması için Yersel Gözlemlerle GPS Ölçülerinin Birlikte Dengelenmesi. *Proceedings of the Prof. Dr. H. Wolf Jeodezi Sempozyumu*, İstanbul, 3-5 Kasım, s. 81-89.
- Öztürk, E. ve Atasoy, V.**, 1984. Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri ve Sonuçların Yorumu. *Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi*, **50**, 27–40.
- Pagiatakis, S.D.**, 1999. Stochastic Significance of Peaks in the Least-Squares Spectrum, *Journal of Geodesy*, **73**, 67-78.
- Parkinson, B.W.**, 1996. GPS Error Analysis. in *Global Positioning System: Theory and Applications*, vol. 164, s. 469-483, Eds. B.W. Parkinson ve J.J. Spilker, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington.
- Pelzer, H.**, 1971. Zur analyse geodatischer deformationsmessungen, Deutsche Geodatische Kommission, Reihe C, Heft 164, 1–86, Münih, Almanya.
- Pelzer, H.**, 1984. Systematic Instrumental Errors in Precise Levelling. in *Contributions to the workshop on Precise Levelling*, s. 3-17, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.
- Pytharouli, S.V., Kontogianni, P., Psimoulis ve Stiros, S.**, 2004. Spectral Analysis Techniques in Deformation Analysis Studies. *Proceedings of the INGEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European*

Conference on Engineering Surveying, Bratislava, Slovakia, Kasım 11-13.

- Radovanovic, R.S.**, 2000. High Precision Deformation Monitoring by Multipath Mitigation via Day-To-Day Correlation Analysis, *Proceedings of ION-GPS 2000*, 10-15 Eylül, Salt Lake City, Amerika.
- Radovanovic, R.S.**, 2002. Adjustment of satellite-based ranging observations for precise positioning and deformation monitoring, *Doktora Tezi*, Calgary Üniversitesi, Kanada.
- Rao, C.R.**, 1970. Estimation of Heterogeneous Variances in Linear Models, *Journal of American Statistical Association*, **65**, 161 – 172.
- Rao, C.R.**, 1971. Estimation of Variance Components – MINQUE Theory, *Journal of Multivariate Statistics*, **1**, 257-275.
- Rao, C.R., ve Kleffe, J.**, 1988. Estimation of Variance Components and Applications, North-Holland Series in Statistics and Probability, 3, Hollanda.
- Rao, C.R., ve Mitra, S.K.**, 1971. Generalized inverse of matrices and its applications, John Willey, New York.
- Raquet, J.**, 1998. Development of a Method for Kinematic GPS Carrier-Phase Ambiguity Resolution Using Multiple Reference Receivers, *Doktora Tezi*, Calgary Üniversitesi, Kanada.
- Ray, J.K.**, 2000. Mitigation of GPS Code and Carrier Phase Multipath Effects Using a Multi-Antenna System, *Doktora Tezi*, Calgary Üniversitesi, Kanada.
- Remondi, B.**, 1984. Using the Global Positioning System Phase Observable for Relative Geodesy : Modelling, Processing and Results, *Doktora Tezi*, Texas at Austin Üniversitesi, ABD.
- Rizos, C.**, 1999. Satellite Ephemeris Bias-Principles and Practice of GPS Surveying. New South Wales Üniversitesi, Sidney, Avustralya. http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap6/6212.htm, (Ocak, 2000)
- Rizos, C., Higgins, M. ve Hewitson, S.**, 2005. New GNSS Developments and their Impact on Survey Service Providers and Surveyors, *Proceedings SSC2005 Spatial Intelligence, Innovation and Praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute*, Eylül, Melbourne, Avustralya.

- Roberts, G.W., Meng, X., Dodson, A.H. ve Cosser, E.,** 2002. Multipath Mitigation for Bridge Deformation Monitoring. *Journal of Global Positioning Systems*, **1:1**, 25-33.
- Rocken, C. ve Meertens, C.,** 1991. Monitoring selective availability dither frequencies and their effect on GPS data, *Journal of Geodesy*, **65:3**, 162-169.
- Roulston, A., Nicholas, T. ve Zhang, K.** 2000. An Evaluation of Various GPS Satellite Ephemerides, *Proceedings of ION-GPS 2000*, 10-15 Eylül, Salt Lake City, Amerika, s. 45-54.
- Saastamoinen, J.,** 1972. Atmospheric Correction for the Troposphere and Stratosphere in Radio Ranging of Satellites. Monograph 15, American Geophysical Union, Washington.
- Satirapod, C., Wang, J. ve Rizos, C.,** 2002. A Simplified MINQUE Procedure for the Estimation of Variance-Covariance Components of GPS Observables. *Survey Review*, **36:286**, 582-590.
- Scherneck, H.G., Johansson, J.M., Mitrovica, J.X. and Davis, J.L.,** 1998. The BIFROST project: GPS determined 3-D displacement rates in Fennoscandia from 800 days of continuous observations in the SWEPOS network, *Tectonophysics*, **294**, 305-321.
- Seeber, G.,** 1993. Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications, Walter de Gruyter, New York.
- Setan, H.,** 1995. Functional and stochastic models for geometrical detection of spatial deformation in engineering: a practical approach, *Doktora Tezi*, Şehir Üniversitesi, Londra.
- Setan, H.,** 1997. A flexible analysis procedure for geometrical detection of spatial deformation. *Photogrammetric Record*, **15:90**, 841-861.
- Sheng, L.,** 2005. The feasibility of replacing price levelling with GPS for permasoft deformation monitoring, *Yüksek Lisans Tezi*, Calgary Üniversitesi, Kanada
- Sjöberg, L.,** 1984. Non-negative Variance Component Estimation in the Gauss-Helmert Adjustment Model, *Manuscripta Geodaetica*, **9**, 247-280.
- Sjöberg, L.,** 1995. The Best Quadratic Minimum Biased non-negative Definite Estimator for an additive two variance component model. *Manuscripta Geodaetica*, **20**, 139-144.

- Spilker, J.J.**, 1996. Tropospheric Effects on GPS. in *Global Positioning System: Theory and Applications*, vol. 164, s. 517-545, Eds. B.W. Parkinson ve J.J. Spilker, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington.
- Strang van Hees, G.L.**, 1982. Variance-covariance transformations of geodetic networks, *Manuscripta Geodaetica*, **7**, 1–20.
- Strang, G. ve Borre, K.**, 1997. Linear Algebra, Geodesy, and GPS. Wellesley-Cambridge Press, Wellesley.
- Şahin, M., Cross, P.A. ve Sellers, P.C.**, 1992. Variance Component Estimation applied to Satellite Laser Ranging. *Bulletin Geodesique*, **66:3**, 284-295.
- Tait, M.**, 2004. Geomatics Networks, Ders Notu, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Calgary Üniversitesi, Kanada.
- TCK**, 1987. Karasu Viyadüğü. *Karayolları Genel Müdürlüğü 17. Bölge Müdürlüğü*, Türkiye Cumhuriyeti Karayolları, İstanbul.
- Teskey, W.F.**, 1986. Integrated analysis of deformations, *Proceedings of the Deformations Measurements Workshop*, Massachusetts Institute of Technology, s. 221-233.
- Teskey, W.F.**, 1988, Special survey instrumentation for deformation measurements, *Journal of Surveying Engineering*, **114:1**, 2-12.
- Teskey, W.F., and Biacs, Z.F.**, 1990. A PC-based program system for adjustment and deformation analysis of precise engineering and monitoring networks. *Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry and Surveying*, **52**, 37-55.
- Teunissen, P.J.G. ve Kleusberg, A.**, 1998. GPS for Geodesy. Springer-Verlag, Berlin.
- Teunissen, P.J.G. ve Tiberius**, 1994. Integer Least-Squares Estimation of the GPS Phase Ambiguities, *In Proceedings of the International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy*, Calgary, s.221-231.
- Thomson, D.B.**, 1976. A Study of the Combination of Terrestrial and Satellite Geodetic Networks, *Doktora Tezi*, New Brunswick Üniversitesi, Kanada.

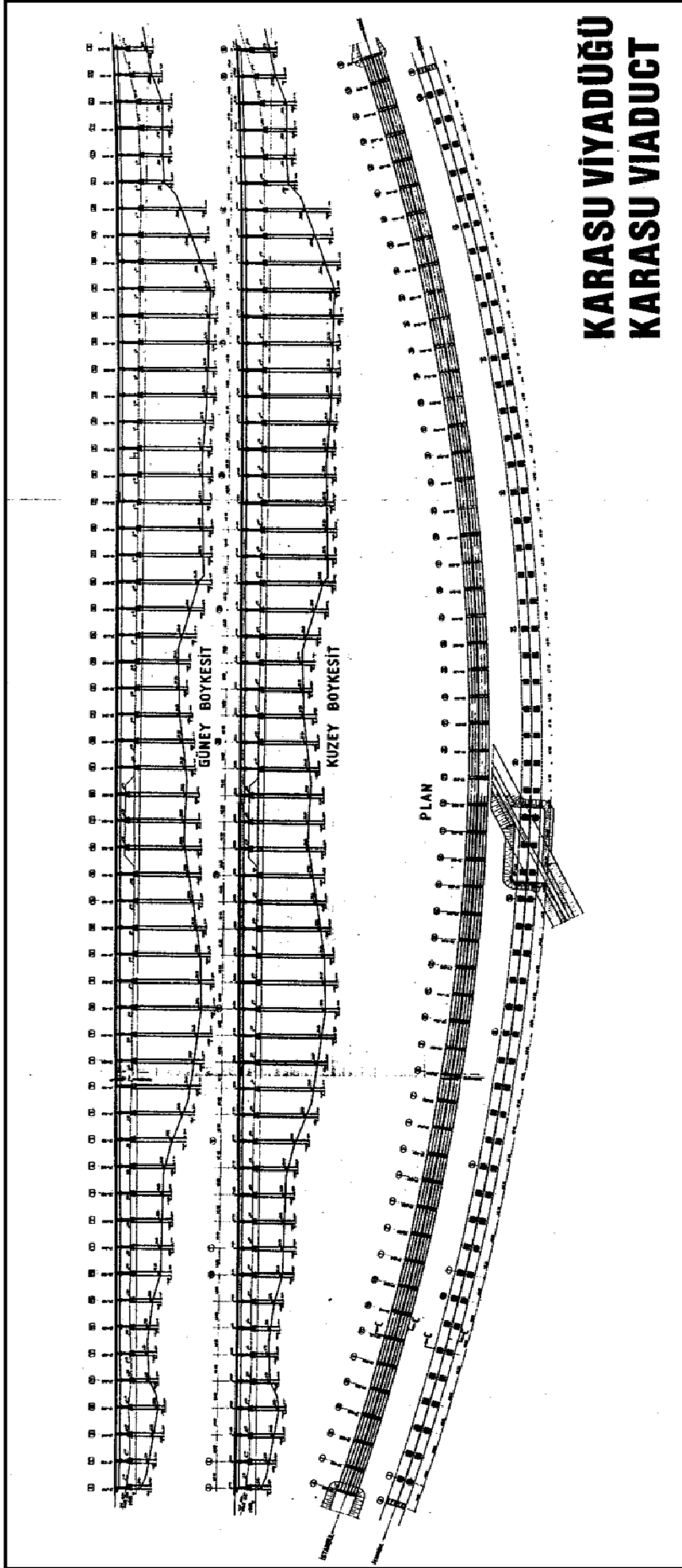
- Tiberius, C. ve Kenselaar, P.**, 2003. Variance Component Estimation and Precise GPS Positioning: Case Study. *Journal of Surveying Engineering*, **129:1**, 11-18.
- Tiryakioğlu, İ., Güllü, M., Baybura, T. ve Erdoğan, S.**, 2005. GPS Sinyal Yansımasının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması, *Bildiriler Kitabı, İkinci Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye. 23-25 Kasım. s. 534-543.
- Torge, W.**, 1980. Geodesy, Walter de Gruyter, Berlin-New York.
- Türkezer, A.**, 1998. Yersel ve GPS Ölçülerinin 3 Boyutlu Geometrik Modeller Dengelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Üstün, A.**, 1996. Datum Dönüşümleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Üstün, A.**, 2002. Bölgesel ve Global Yükseklik Sistemlerinin Oluşturulmasında GPS'nin Katkısı Üzerine Bir İnceleme: Antalya-Samsun Mareograf İstasyonları Arasında GPS Nivelmanı Örneği, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vaniček, P.**, 1971. Further Development and Properties of the Spectral Analysis by Least-Squares. *Astrophysics and Space Science* 12, 10-33, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht Holland, Kluwer Academic Publishers, Hollanda.
- Vermeer, M.**, 2002. Review of the GPS Deformation Monitoring Studies. *Radiation and Nuclear Safety Authority*, STUK-YTO-TR 186, Helsinki.
- Vincenty, T.**, 1987. On the use of GPS vectors in densification adjustments. *Surveying and Mapping*, **47:2**, 103-108.
- Wang, J., Stewart, M. ve Tsakiri M.**, 1998. Stochastic Modelling for Static GPS Baseline Data Processing, *Journal of Surveying Engineering*, **124:4**, 171-181.
- Wells, D.E., Vaniček, P. ve Pagiatakis, S. D.**, 1985. Least Squares Spectral Analysis Revisited. Technical Report 84, Department of Surveying Engineering, New Brunswick Üniversitesi, Kanada.
- Welsch, W.M.**, 1978. A posteriori Varianzenschätzung nach Helmert, *AVN*, **85**, 55-63.

- Welsch, W.M.**, 1993. A General 7-parameter Transformation for the Combination, Comparison and Accuracy Control of Terrestrial and Satellite Network Observations, *Manuscripta Geodaetica*, **18**, 295-305.
- Wieser, A. ve Brunner, F.K.**, 2002. Analysis of Bridge Deformations using Continuous GPS measurements, in *INGEO 2002 the 2nd Conference of Engineering Surveying*, pp. 45-52, Eds. Kopáček, A. & Kyrinovič, P.
- Wooden, W.H.**, 1985. Navstar Global Positioning System: 1985, *In Proceeding of the First International Symposium on Precise Positioning with Global Positioning Sytem*, 15-19 Nisan, Rockville, Maryland, s.23-32
- Wübbena, G., Schmitz, M., Menge, F., Böder, H. ve Seeber, G.**, 2000. Automated Absolute Field Calibration of GPS Antennas in Real-time, *Proceedings of ION-GPS 2000*, 10-15 Eylül, Salt Lake City, Amerika.
- USACE**, 2003. Engineering and Design-NAVSTAR Global Positioning System Surveying, *US Army Corps of Engineers*, EM-1110-1-1003, Washington DC, Amerika.
- USACE**, 2002. Structrual Deformation Surveying, *US Army Corps of Engineers*, EM-1110-2-1009, Washington DC, Amerika.

EKLER

EK A

- Viyadük taşıyıcı ayakları



Şekil A.1 : Karasu viyadüğü taşıyıcı ayaklarının (2×55 adet) planı ve boy kesitleri

EK B

- 3B dengeleme sonuçları

Tablo B.1a : 1.Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları

NN K1G	X (m)	Y (m)	Z (m)	m _x (mm)	m _y (mm)	m _z (mm)	m _{P(3B)} (mm)	NN K1G	φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)	m _φ (mm)	m _λ (mm)	m _{P(2B)} (mm)	m _h (mm)	NN K1G
5	4229174.658	2297911.157	4171057.305	2.59	2.20	2.52	4.23	5	41° 06' 09.69752" N	28° 31' 02.39239" E	51.139	1.16	1.18	1.66	3.89	5
4	4229418.776	2298047.588	4170756.751	1.62	1.37	1.57	2.64	4	41° 05' 56.39692" N	28° 31' 02.53510" E	64.279	0.71	0.73	1.02	2.43	4
222	4229301.307	2298163.305	4170792.518	4.58	3.85	4.27	7.35	222	41° 05' 58.29277" N	28° 31' 09.29550" E	51.644	2.09	2.03	2.91	6.74	222
221	4229298.547	2298144.057	4170806.672	7.12	6.15	7.04	11.75	221	41° 05' 58.88603" N	28° 31' 08.62723" E	52.196	3.37	3.19	4.64	10.80	221
212	4229183.375	2298241.974	4170864.062	4.93	4.20	4.67	7.99	212	41° 06' 01.44809" N	28° 31' 14.67057" E	48.895	2.28	2.25	3.20	7.32	212
211	4229179.554	2298223.580	4170878.850	5.12	4.32	5.06	8.39	211	41° 06' 02.06802" N	28° 31' 14.05617" E	49.469	2.30	2.34	3.28	7.73	211
202	4229038.572	2298349.504	4170949.049	6.76	5.54	6.39	10.83	202	41° 06' 05.14116" N	28° 31' 21.68232" E	47.582	2.84	3.18	4.26	9.95	202
201	4229033.790	2298331.759	4170964.431	5.05	4.29	4.99	8.29	201	41° 06' 05.78699" N	28° 31' 21.11203" E	48.143	2.32	2.29	3.26	7.63	201
192	4228897.052	2298465.706	4171027.423	4.72	3.96	4.44	7.59	192	41° 06' 08.52285" N	28° 31' 28.95364" E	47.221	2.22	2.10	3.06	6.95	192
191	4228891.175	2298448.834	4171043.354	7.30	6.32	7.16	12.02	191	41° 06' 09.19373" N	28° 31' 28.43864" E	47.732	3.50	3.25	4.78	11.03	191
182	4228758.174	2298589.706	4171098.127	6.31	5.49	6.16	10.38	182	41° 06' 11.58824" N	28° 31' 36.46470" E	46.380	2.70	2.89	3.95	9.60	182
181	4228751.389	2298573.942	4171114.367	4.88	4.23	4.69	7.98	181	41° 06' 12.27239" N	28° 31' 36.01001" E	46.891	2.26	2.26	3.19	7.31	181
172	4228622.761	2298721.740	4171161.267	5.32	4.57	5.26	8.76	172	41° 06' 14.32208" N	28° 31' 44.20753" E	45.757	2.28	2.40	3.31	8.11	172
171	4228615.177	2298706.820	4171177.908	4.93	4.30	4.75	8.08	171	41° 06' 15.02241" N	28° 31' 43.80099" E	46.307	2.36	2.24	3.25	7.40	171
162	4228491.276	2298861.174	4171216.713	5.21	4.49	5.15	8.59	162	41° 06' 16.71898" N	28° 31' 52.14875" E	45.345	2.24	2.36	3.25	7.96	162
161	4228482.949	2298846.841	4171233.771	4.95	4.29	4.76	8.09	161	41° 06' 17.43744" N	28° 31' 51.77955" E	45.889	2.33	2.24	3.23	7.42	161
152	4228363.981	2299006.975	4171263.880	5.29	4.54	5.21	8.71	152	41° 06' 18.77025" N	28° 32' 00.24409" E	44.563	2.22	2.44	3.30	8.06	152
151	4228354.890	2298993.637	4171281.108	5.10	4.43	4.89	8.34	151	41° 06' 19.49704" N	28° 31' 59.92801" E	45.070	2.33	2.32	3.29	7.67	151
142	4228241.688	2299159.203	4171302.794	5.40	4.56	5.20	8.77	142	41° 06' 20.46069" N	28° 32' 08.47914" E	43.985	2.33	2.37	3.33	8.11	142
141	4228231.634	2299146.910	4171320.439	5.87	4.96	5.66	9.55	141	41° 06' 21.20506" N	28° 32' 08.22214" E	44.505	2.51	2.53	3.56	8.86	141
132	4228124.435	2299317.621	4171333.469	5.48	4.74	5.32	8.99	132	41° 06' 21.79234" N	28° 32' 16.84417" E	43.560	2.38	2.43	3.40	8.32	132
131	4228113.628	2299306.153	4171351.480	4.83	4.09	4.73	7.90	131	41° 06' 22.55136" N	28° 32' 16.63367" E	44.120	2.08	2.26	3.07	7.28	131
122	4228013.412	2299481.531	4171354.774	4.61	3.95	4.48	7.54	122	41° 06' 22.72240" N	28° 32' 25.28850" E	43.083	1.98	2.10	2.89	6.96	122
121	4228001.677	2299471.591	4171372.817	4.73	3.98	4.66	7.74	121	41° 06' 23.48402" N	28° 32' 25.15456" E	43.600	2.00	2.17	2.95	7.16	121
112	4227910.279	2299651.245	4171366.610	4.69	4.03	4.56	7.69	112	41° 06' 23.21419" N	28° 32' 33.78984" E	43.699	2.12	2.14	3.01	7.07	112
111	4227897.613	2299642.561	4171384.941	4.29	3.64	4.21	7.03	111	41° 06' 23.98749" N	28° 32' 33.72227" E	44.240	1.86	1.97	2.71	6.48	111
6								6								6
3	4227943.217	2299440.993	4171445.851	3.42	2.77	3.30	5.50	3	41° 06' 26.67395" N	28° 32' 25.19960" E	41.906	1.56	1.61	2.24	5.03	3
2	4227797.381	2299803.579	4171401.688	1.29	1.09	1.26	2.10	2	41° 06' 24.63330" N	28° 32' 41.83688" E	46.880	0.59	0.59	0.83	1.93	2
1	4227697.971	2299966.821	4171420.167	3.05	2.49	2.95	4.92	1	41° 06' 25.28322" N	28° 32' 50.01841" E	52.009	1.40	1.42	2.00	4.49	1

Tablo B.1b : 1.Kampanya 3B BUT dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları

NN K1B	X (m)	Y (m)	Z (m)	m _x (mm)	m _y (mm)	m _z (mm)	m _{P(3B)} (mm)	NN K1B	φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)	m _φ (mm)	m _λ (mm)	m _{P(2B)} (mm)	m _h (mm)	NN K1B
5	4229174.658	2297911.157	4171057.304	2.56	2.19	2.49	4.20	5	41° 06' 09.69750" N	28° 31' 02.39239" E	51.139	1.22	1.23	1.73	3.82	5
4	4229418.774	2298047.587	4170756.749	0.57	0.70	0.61	1.09	4	41° 05' 56.39692" N	28° 31' 02.53510" E	64.276	0.72	0.69	1.00	0.44	4
222	4229301.314	2298163.310	4170792.524	1.45	1.88	1.60	2.87	222	41° 05' 58.29274" N	28° 31' 09.29555" E	51.654	2.11	1.91	2.84	0.37	222
221	4229298.541	2298144.052	4170806.666	2.05	3.17	2.63	4.60	221	41° 05' 58.88605" N	28° 31' 08.62717" E	52.186	3.47	2.99	4.58	0.37	221
212	4229183.369	2298241.969	4170864.056	1.56	2.11	1.75	3.16	212	41° 06' 01.44811" N	28° 31' 14.67050" E	48.886	2.31	2.12	3.14	0.34	212
211	4229179.550	2298223.577	4170878.847	1.56	2.26	1.80	3.28	211	41° 06' 02.06805" N	28° 31' 14.05614" E	49.463	2.38	2.24	3.26	0.34	211
202	4229038.567	2298349.500	4170949.044	2.30	2.84	2.19	4.26	202	41° 06' 05.14117" N	28° 31' 21.68228" E	47.574	2.90	3.11	4.25	0.31	202
201	4229033.786	2298331.756	4170964.426	1.58	2.18	1.81	3.24	201	41° 06' 05.78698" N	28° 31' 21.11200" E	48.136	2.39	2.17	3.23	0.31	201
192	4228897.047	2298465.702	4171027.418	1.52	1.97	1.71	3.02	192	41° 06' 08.52286" N	28° 31' 28.95359" E	47.213	2.25	1.99	3.00	0.29	192
191	4228891.172	2298448.831	4171043.351	2.21	3.12	2.71	4.69	191	41° 06' 09.19374" N	28° 31' 28.43858" E	47.727	3.59	3.00	4.68	0.29	191
182	4228758.176	2298589.707	4171098.129	1.82	2.68	2.09	3.85	182	41° 06' 11.58824" N	28° 31' 36.46470" E	46.383	2.76	2.67	3.84	0.27	182
181	4228751.400	2298573.951	4171114.378	1.44	2.19	1.74	3.15	181	41° 06' 12.27237" N	28° 31' 36.01013" E	46.909	2.30	2.13	3.13	0.27	181
172	4228622.760	2298721.739	4171161.266	1.51	2.28	1.78	3.26	172	41° 06' 14.32209" N	28° 31' 44.20751" E	45.755	2.35	2.25	3.25	0.25	172
171	4228615.176	2298706.819	4171177.907	1.43	2.19	1.82	3.19	171	41° 06' 15.02242" N	28° 31' 43.80097" E	46.305	2.40	2.08	3.18	0.25	171
162	4228491.273	2298861.172	4171216.710	1.49	2.23	1.74	3.19	162	41° 06' 16.71899" N	28° 31' 52.14874" E	45.341	2.30	2.20	3.18	0.25	162
161	4228482.949	2298846.841	4171233.771	1.48	2.15	1.79	3.17	161	41° 06' 17.43744" N	28° 31' 51.77955" E	45.889	2.37	2.09	3.16	0.25	161
152	4228363.979	2299006.974	4171263.878	1.56	2.27	1.73	3.25	152	41° 06' 18.77025" N	28° 32' 00.24409" E	44.560	2.28	2.30	3.24	0.25	152
151	4228354.892	2298993.638	4171281.110	1.49	2.21	1.79	3.21	151	41° 06' 19.49704" N	28° 31' 59.92800" E	45.073	2.37	2.15	3.20	0.25	151
142	4228241.697	2299159.210	4171302.803	1.61	2.20	1.80	3.27	142	41° 06' 20.46067" N	28° 32' 08.47922" E	43.999	2.38	2.22	3.26	0.26	142
141	4228231.649	2299146.923	4171320.454	1.69	2.35	1.93	3.48	141	41° 06' 21.20502" N	28° 32' 08.22232" E	44.530	2.56	2.34	3.47	0.26	141
132	4228124.433	2299317.620	4171333.467	1.56	2.27	1.84	3.31	132	41° 06' 21.79234" N	28° 32' 16.84418" E	43.557	2.42	2.24	3.30	0.28	132
131	4228113.626	2299306.151	4171351.478	1.52	2.10	1.62	3.05	131	41° 06' 22.55137" N	28° 32' 16.63364" E	44.117	2.14	2.16	3.04	0.28	131
122	4228013.410	2299481.530	4171354.772	1.41	1.93	1.54	2.84	122	41° 06' 22.72240" N	28° 32' 25.28850" E	43.080	2.03	1.97	2.83	0.31	122
121	4228001.678	2299471.592	4171372.818	1.49	1.99	1.57	2.93	121	41° 06' 23.48402" N	28° 32' 25.15457" E	43.601	2.06	2.06	2.92	0.31	121
112	4227910.279	2299651.245	4171366.610	1.46	1.99	1.65	2.97	112	41° 06' 23.21419" N	28° 32' 33.78984" E	43.699	2.17	2.00	2.95	0.34	112
111	4227897.614	2299642.562	4171384.942	1.35	1.83	1.46	2.70	111	41° 06' 23.98748" N	28° 32' 33.72229" E	44.242	1.92	1.87	2.68	0.34	111
6								6								6
3	4227943.216	2299440.992	4171445.850	1.21	1.52	1.24	2.30	3	41° 06' 26.67395" N	28° 32' 25.19959" E	41.904	1.62	1.59	2.27	0.40	3
2	4227797.381	2299803.580	4171401.689	0.47	0.59	0.51	0.91	2	41° 06' 24.63332" N	28° 32' 41.83691" E	46.881	0.60	0.57	0.83	0.37	2
1	4227697.973	2299966.823	4171420.169	1.09	1.35	1.12	2.06	1	41° 06' 25.28321" N	28° 32' 50.01844" E	52.012	1.45	1.40	2.01	0.44	1

Tablo B.2a : 2.Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları

NN K2G	X (m)	Y (m)	Z (m)	m _x (mm)	m _y (mm)	m _z (mm)	m _{P(3B)} (mm)	NN K2G	φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)	m _φ (mm)	m _λ (mm)	m _{P(2B)} (mm)	m _h (mm)	NN K2G
5	4229174.666	2297911.161	4171057.310	1.28	1.07	1.27	2.09	5	41° 06' 09.69746" N	28° 31' 02.39238" E	51.149	0.67	0.59	0.89	1.90	5
4	4229418.802	2298047.591	4170756.770	0.44	0.37	0.43	0.72	4	41° 05' 56.39687" N	28° 31' 02.53468" E	64.310	0.23	0.20	0.30	0.65	4
222	4229301.305	2298163.306	4170792.533	1.08	0.90	1.05	1.75	222	41° 05' 58.29315" N	28° 31' 09.29559" E	51.653	0.57	0.49	0.75	1.58	222
221	4229298.528	2298144.064	4170806.666	1.18	0.99	1.19	1.95	221	41° 05' 58.88619" N	28° 31' 08.62788" E	52.182	0.63	0.52	0.82	1.77	221
212	4229183.364	2298241.971	4170864.050	1.12	0.94	1.11	1.84	212	41° 06' 01.44802" N	28° 31' 14.67069" E	48.879	0.59	0.50	0.78	1.66	212
211	4229179.544	2298223.574	4170878.849	1.03	0.86	1.03	1.69	211	41° 06' 02.06823" N	28° 31' 14.05613" E	49.459	0.55	0.48	0.73	1.53	211
202	4229038.575	2298349.501	4170949.029	1.14	0.95	1.10	1.84	202	41° 06' 05.14064" N	28° 31' 21.68214" E	47.569	0.59	0.50	0.77	1.68	202
201	4229033.772	2298331.762	4170964.432	1.04	0.87	1.02	1.70	201	41° 06' 05.78732" N	28° 31' 21.11252" E	48.132	0.57	0.49	0.76	1.52	201
192	4228897.038	2298465.700	4171027.415	1.03	0.86	1.00	1.68	192	41° 06' 08.52297" N	28° 31' 28.95370" E	47.205	0.53	0.46	0.71	1.52	192
191	4228891.172	2298448.840	4171043.352	0.96	0.81	0.97	1.59	191	41° 06' 09.19367" N	28° 31' 28.43892" E	47.731	0.51	0.45	0.68	1.44	191
182	4228758.170	2298589.711	4171098.125	1.47	1.22	1.43	2.38	182	41° 06' 11.58821" N	28° 31' 36.46496" E	46.377	0.73	0.64	0.96	2.17	182
181	4228751.400	2298573.951	4171114.375	1.02	0.84	1.00	1.66	181	41° 06' 12.27229" N	28° 31' 36.01013" E	46.907	0.54	0.48	0.72	1.49	181
172	4228622.753	2298721.738	4171161.275	1.13	0.94	1.11	1.84	172	41° 06' 14.32244" N	28° 31' 44.20761" E	45.756	0.56	0.49	0.75	1.68	172
171	4228615.174	2298706.823	4171177.906	1.11	0.92	1.11	1.82	171	41° 06' 15.02240" N	28° 31' 43.80118" E	46.304	0.60	0.49	0.77	1.65	171
162	4228491.269	2298861.173	4171216.716	0.95	0.79	0.93	1.54	162	41° 06' 16.71921" N	28° 31' 52.14886" E	45.342	0.49	0.42	0.65	1.40	162
161	4228482.942	2298846.835	4171233.764	1.49	1.22	1.44	2.40	161	41° 06' 17.43748" N	28° 31' 51.77946" E	45.878	0.77	0.67	1.02	2.17	161
152	4228363.972	2299006.964	4171263.879	1.31	1.09	1.28	2.13	152	41° 06' 18.77048" N	28° 32' 00.24387" E	44.552	0.67	0.58	0.89	1.93	152
151	4228354.889	2298993.631	4171281.105	1.09	0.90	1.05	1.76	151	41° 06' 19.49705" N	28° 31' 59.92779" E	45.065	0.57	0.50	0.75	1.59	151
142	4228241.690	2299159.213	4171302.798	1.39	1.16	1.35	2.26	142	41° 06' 20.46063" N	28° 32' 08.47949" E	43.992	0.71	0.64	0.96	2.04	142
141	4228231.661	2299146.921	4171320.453	1.59	1.30	1.52	2.56	141	41° 06' 21.20480" N	28° 32' 08.22200" E	44.536	0.83	0.68	1.07	2.32	141
132	4228124.421	2299317.617	4171333.468	1.30	1.08	1.27	2.12	132	41° 06' 21.79261" N	28° 32' 16.84432" E	43.549	0.67	0.58	0.89	1.92	132
131	4228113.628	2299306.152	4171351.469	1.56	1.24	1.53	2.51	131	41° 06' 22.55109" N	28° 32' 16.63366" E	44.112	0.84	0.70	1.09	2.26	131
122	4228013.416	2299481.519	4171354.764	1.15	0.95	1.12	1.87	122	41° 06' 22.72219" N	28° 32' 25.28798" E	43.075	0.58	0.51	0.77	1.70	122
121	4228001.677	2299471.587	4171372.825	1.22	1.00	1.19	1.98	121	41° 06' 23.48425" N	28° 32' 25.15440" E	43.603	0.66	0.52	0.84	1.79	121
112	4227910.277	2299651.237	4171366.611	1.09	0.89	1.06	1.76	112	41° 06' 23.21432" N	28° 32' 33.78957" E	43.695	0.55	0.48	0.73	1.60	112
111	4227897.615	2299642.563	4171384.941	1.18	0.97	1.15	1.92	111	41° 06' 23.98744" N	28° 32' 33.72233" E	44.242	0.64	0.52	0.82	1.73	111
6	4228129.955	2299770.605	4171080.500	0.50	0.42	0.50	0.82	6	41° 06' 10.89773" N	28° 32' 33.78509" E	43.983	0.27	0.23	0.35	0.74	6
3	4227943.215	2299440.993	4171445.851	0.44	0.37	0.43	0.72	3	41° 06' 26.67398" N	28° 32' 25.19963" E	41.904	0.23	0.20	0.31	0.65	3
2	4227797.416	2299803.592	4171401.702	0.44	0.36	0.43	0.71	2	41° 06' 24.63287" N	28° 32' 41.83666" E	46.917	0.23	0.19	0.30	0.65	2
1	4227697.981	2299966.820	4171420.155	0.79	0.66	0.79	1.29	1	41° 06' 25.28275" N	28° 32' 50.01817" E	52.007	0.41	0.36	0.55	1.17	1

Tablo B.2b : 2.Kampanya 3B BUT dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları

NN K2B	X (m)	Y (m)	Z (m)	m _x (mm)	m _y (mm)	m _z (mm)	m _{P(3B)} (mm)	NN K2B	φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)	m _φ (mm)	m _λ (mm)	m _{P(2B)} (mm)	m _h (mm)	NN K2B
5	4229174.666	2297911.161	4171057.310	1.46	1.21	1.44	2.38	5	41° 06' 09.69747" N	28° 31' 02.39238" E	51.149	0.77	0.67	1.02	2.15	5
4	4229418.800	2298047.590	4170756.769	0.43	0.37	0.42	0.71	4	41° 05' 56.39687" N	28° 31' 02.53467" E	64.308	0.26	0.22	0.35	0.62	4
222	4229301.306	2298163.307	4170792.533	0.61	0.61	0.64	1.08	222	41° 05' 58.29315" N	28° 31' 09.29559" E	51.654	0.65	0.52	0.83	0.69	222
221	4229298.530	2298144.066	4170806.669	0.64	0.64	0.69	1.13	221	41° 05' 58.88618" N	28° 31' 08.62791" E	52.186	0.72	0.54	0.90	0.69	221
212	4229183.365	2298241.972	4170864.051	0.72	0.69	0.75	1.25	212	41° 06' 01.44802" N	28° 31' 14.67070" E	48.881	0.68	0.54	0.86	0.91	212
211	4229179.544	2298223.574	4170878.849	0.70	0.66	0.73	1.21	211	41° 06' 02.06823" N	28° 31' 14.05613" E	49.459	0.63	0.51	0.81	0.89	211
202	4229038.575	2298349.501	4170949.029	0.75	0.71	0.77	1.29	202	41° 06' 05.14064" N	28° 31' 21.68214" E	47.570	0.66	0.53	0.85	0.97	202
201	4229033.773	2298331.763	4170964.433	0.75	0.68	0.76	1.27	201	41° 06' 05.78732" N	28° 31' 21.11254" E	48.134	0.65	0.53	0.84	0.94	201
192	4228897.040	2298465.702	4171027.417	0.71	0.66	0.72	1.20	192	41° 06' 08.52296" N	28° 31' 28.95371" E	47.207	0.61	0.50	0.78	0.91	192
191	4228891.168	2298448.837	4171043.348	0.69	0.63	0.71	1.17	191	41° 06' 09.19368" N	28° 31' 28.43888" E	47.725	0.58	0.48	0.75	0.89	191
182	4228758.171	2298589.712	4171098.126	0.70	0.75	0.75	1.27	182	41° 06' 11.58821" N	28° 31' 36.46497" E	46.379	0.82	0.67	1.06	0.70	182
181	4228751.399	2298573.951	4171114.374	0.61	0.61	0.63	1.06	181	41° 06' 12.27229" N	28° 31' 36.01012" E	46.906	0.61	0.52	0.80	0.69	181
172	4228622.750	2298721.736	4171161.272	0.71	0.69	0.74	1.23	172	41° 06' 14.32245" N	28° 31' 44.20759" E	45.751	0.64	0.52	0.83	0.92	172
171	4228615.172	2298706.821	4171177.904	0.73	0.69	0.77	1.26	171	41° 06' 15.02240" N	28° 31' 43.80116" E	46.301	0.68	0.52	0.86	0.93	171
162	4228491.267	2298861.171	4171216.714	0.67	0.62	0.68	1.14	162	41° 06' 16.71922" N	28° 31' 52.14885" E	45.339	0.56	0.46	0.72	0.88	162
161	4228482.946	2298846.838	4171233.768	0.86	0.84	0.88	1.49	161	41° 06' 17.43746" N	28° 31' 51.77949" E	45.884	0.87	0.72	1.13	0.97	161
152	4228363.974	2299006.966	4171263.881	0.67	0.70	0.72	1.21	152	41° 06' 18.77048" N	28° 32' 00.24389" E	44.555	0.76	0.62	0.98	0.71	152
151	4228354.891	2298993.632	4171281.107	0.63	0.62	0.64	1.09	151	41° 06' 19.49704" N	28° 31' 59.92781" E	45.068	0.64	0.53	0.83	0.71	151
142	4228241.693	2299159.215	4171302.800	0.72	0.76	0.76	1.29	142	41° 06' 20.46062" N	28° 32' 08.47951" E	43.996	0.81	0.67	1.05	0.74	142
141	4228231.654	2299146.916	4171320.447	0.78	0.80	0.83	1.39	141	41° 06' 21.20482" N	28° 32' 08.22195" E	44.526	0.94	0.71	1.17	0.75	141
132	4228124.424	2299317.619	4171333.470	0.69	0.71	0.73	1.23	132	41° 06' 21.79260" N	28° 32' 16.84434" E	43.553	0.76	0.61	0.97	0.74	132
131	4228113.628	2299306.153	4171351.469	0.83	0.78	0.85	1.43	131	41° 06' 22.55109" N	28° 32' 16.63366" E	44.113	0.95	0.75	1.21	0.75	131
122	4228013.417	2299481.520	4171354.765	0.63	0.64	0.66	1.12	122	41° 06' 22.72218" N	28° 32' 25.28799" E	43.077	0.65	0.54	0.85	0.72	122
121	4228001.674	2299471.584	4171372.822	0.66	0.67	0.71	1.18	121	41° 06' 23.48426" N	28° 32' 25.15437" E	43.598	0.75	0.56	0.93	0.72	121
112	4227910.278	2299651.238	4171366.611	0.61	0.62	0.64	1.08	112	41° 06' 23.21431" N	28° 32' 33.78958" E	43.696	0.63	0.51	0.81	0.72	112
111	4227897.613	2299642.562	4171384.940	0.64	0.64	0.68	1.13	111	41° 06' 23.98744" N	28° 32' 33.72232" E	44.240	0.72	0.55	0.91	0.67	111
6	4228129.954	2299770.605	4171080.499	0.56	0.46	0.55	0.91	6	41° 06' 10.89773" N	28° 32' 33.78508" E	43.982	0.30	0.26	0.40	0.82	6
3	4227943.215	2299440.992	4171445.850	0.43	0.37	0.43	0.71	3	41° 06' 26.67398" N	28° 32' 25.19962" E	41.903	0.26	0.23	0.35	0.62	3
2	4227797.416	2299803.592	4171401.703	0.40	0.34	0.40	0.66	2	41° 06' 24.63287" N	28° 32' 41.83666" E	46.917	0.26	0.22	0.34	0.57	2
1	4227697.982	2299966.821	4171420.156	0.67	0.59	0.68	1.13	1	41° 06' 25.28275" N	28° 32' 50.01818" E	52.009	0.47	0.39	0.62	0.95	1

Tablo B.3a : 3.Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları

NN K3G	X (m)	Y (m)	Z (m)	m _x (mm)	m _y (mm)	m _z (mm)	m _{P(3B)} (mm)	NN K3G	φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)	m _φ (mm)	m _λ (mm)	m _{P(2B)} (mm)	m _h (mm)	NN K3G
5	4229174.661	2297911.161	4171057.307	0.94	0.74	0.88	1.48	5	41° 06' 09.69747" N	28° 31' 02.39248" E	51.144	0.50	0.42	0.65	1.33	5
4	4229418.766	2298047.591	4170756.706	0.51	0.40	0.48	0.81	4	41° 05' 56.39597" N	28° 31' 02.53542" E	64.244	0.27	0.24	0.36	0.72	4
222	4229301.306	2298163.317	4170792.537	1.14	0.91	1.09	1.82	222	41° 05' 58.29313" N	28° 31' 09.29597" E	51.660	0.62	0.54	0.82	1.63	222
221	4229298.537	2298144.074	4170806.670	1.42	1.13	1.36	2.27	221	41° 05' 58.88599" N	28° 31' 08.62808" E	52.194	0.78	0.66	1.02	2.03	221
212	4229183.372	2298241.971	4170864.055	1.34	1.08	1.28	2.14	212	41° 06' 01.44801" N	28° 31' 14.67052" E	48.888	0.72	0.63	0.95	1.92	212
211	4229179.548	2298223.574	4170878.858	1.31	1.04	1.23	2.08	211	41° 06' 02.06839" N	28° 31' 14.05606" E	49.468	0.70	0.61	0.93	1.86	211
202	4229038.583	2298349.506	4170949.034	1.07	0.85	1.02	1.71	202	41° 06' 05.14056" N	28° 31' 21.68217" E	47.580	0.58	0.49	0.76	1.53	202
201	4229033.782	2298331.770	4170964.435	1.22	0.96	1.16	1.94	201	41° 06' 05.78713" N	28° 31' 21.11261" E	48.144	0.65	0.57	0.86	1.74	201
192	4228897.044	2298465.700	4171027.426	1.10	0.88	1.04	1.75	192	41° 06' 08.52313" N	28° 31' 28.95358" E	47.216	0.60	0.52	0.79	1.57	192
191	4228891.172	2298448.837	4171043.359	1.20	0.94	1.13	1.90	191	41° 06' 09.19387" N	28° 31' 28.43881" E	47.735	0.65	0.55	0.85	1.70	191
182	4228758.173	2298589.713	4171098.126	1.10	0.88	1.05	1.76	182	41° 06' 11.58816" N	28° 31' 36.46498" E	46.381	0.60	0.51	0.79	1.57	182
181	4228751.405	2298573.955	4171114.381	1.31	1.01	1.24	2.07	181	41° 06' 12.27230" N	28° 31' 36.01018" E	46.916	0.72	0.60	0.93	1.84	181
172	4228622.751	2298721.738	4171161.278	1.08	0.86	1.03	1.72	172	41° 06' 14.32256" N	28° 31' 44.20766" E	45.757	0.60	0.50	0.78	1.54	172
171	4228615.175	2298706.818	4171177.911	1.31	1.02	1.23	2.07	171	41° 06' 15.02254" N	28° 31' 43.80096" E	46.307	0.72	0.62	0.94	1.84	171
162	4228491.263	2298861.176	4171216.716	1.17	0.93	1.12	1.87	162	41° 06' 16.71928" N	28° 31' 52.14910" E	45.339	0.62	0.55	0.83	1.68	162
161	4228482.949	2298846.840	4171233.774	1.26	0.99	1.18	2.00	161	41° 06' 17.43753" N	28° 31' 51.77951" E	45.891	0.69	0.56	0.89	1.79	161
152	4228363.977	2299006.971	4171263.877	1.17	0.94	1.12	1.88	152	41° 06' 18.77029" N	28° 32' 00.24402" E	44.556	0.63	0.54	0.83	1.68	152
151	4228354.892	2298993.635	4171281.106	1.36	1.10	1.30	2.18	151	41° 06' 19.49698" N	28° 31' 59.92789" E	45.070	0.75	0.61	0.97	1.95	151
142	4228241.693	2299159.213	4171302.806	1.07	0.86	1.03	1.71	142	41° 06' 20.46079" N	28° 32' 08.47942" E	43.999	0.57	0.49	0.75	1.54	142
141	4228231.658	2299146.916	4171320.453	1.35	1.06	1.25	2.12	141	41° 06' 21.20490" N	28° 32' 08.22187" E	44.532	0.72	0.59	0.93	1.91	141
132	4228124.430	2299317.614	4171333.467	1.17	0.93	1.11	1.86	132	41° 06' 21.79246" N	28° 32' 16.84401" E	43.553	0.61	0.55	0.82	1.67	132
131	4228113.633	2299306.150	4171351.469	1.38	1.06	1.27	2.15	131	41° 06' 22.55103" N	28° 32' 16.63346" E	44.115	0.71	0.60	0.93	1.94	131
122	4228013.416	2299481.517	4171354.760	1.13	0.90	1.08	1.81	122	41° 06' 22.72213" N	28° 32' 25.28789" E	43.072	0.60	0.53	0.79	1.62	122
121	4228001.679	2299471.586	4171372.820	1.42	1.10	1.30	2.22	121	41° 06' 23.48411" N	28° 32' 25.15433" E	43.601	0.72	0.61	0.95	2.01	121
112	4227910.275	2299651.235	4171366.613	1.14	0.91	1.08	1.82	112	41° 06' 23.21444" N	28° 32' 33.78954" E	43.694	0.59	0.53	0.80	1.63	112
111	4227897.621	2299642.559	4171384.940	1.16	0.92	1.09	1.84	111	41° 06' 23.98733" N	28° 32' 33.72203" E	44.244	0.63	0.51	0.81	1.65	111
6	4228129.950	2299770.608	4171080.502	0.66	0.52	0.61	1.04	6	41° 06' 10.89784" N	28° 32' 33.78529" E	43.982	0.35	0.30	0.46	0.93	6
3	4227943.213	2299440.989	4171445.850	0.61	0.48	0.57	0.96	3	41° 06' 26.67404" N	28° 32' 25.19954" E	41.901	0.33	0.28	0.43	0.86	3
2	4227797.384	2299803.560	4171401.692	0.45	0.36	0.42	0.71	2	41° 06' 24.63354" N	28° 32' 41.83610" E	46.878	0.24	0.20	0.32	0.64	2
1	4227697.978	2299966.819	4171420.157	0.66	0.53	0.64	1.07	1	41° 06' 25.28287" N	28° 32' 50.01819" E	52.006	0.36	0.31	0.47	0.95	1

Tablo B.3b : 3.Kampanya 3B BUT dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları

NN K3B	X (m)	Y (m)	Z (m)	m _x (mm)	m _y (mm)	m _z (mm)	m _{P(3B)} (mm)	NN K3B	φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)	m _φ (mm)	m _λ (mm)	m _{P(2B)} (mm)	m _h (mm)	NN K3B
5	4229174.659	2297911.160	4171057.305	0.91	0.73	0.86	1.45	5	41° 06' 09.69747" N	28° 31' 02.39248" E	51.141	0.55	0.46	0.72	1.26	5
4	4229418.765	2298047.590	4170756.705	0.47	0.39	0.46	0.77	4	41° 05' 56.39598" N	28° 31' 02.53540" E	64.243	0.30	0.26	0.40	0.65	4
222	4229301.309	2298163.319	4170792.540	0.64	0.66	0.67	1.14	222	41° 05' 58.29313" N	28° 31' 09.29599" E	51.665	0.68	0.57	0.89	0.71	222
221	4229298.539	2298144.075	4170806.671	0.72	0.79	0.77	1.32	221	41° 05' 58.88597" N	28° 31' 08.62807" E	52.196	0.85	0.71	1.11	0.71	221
212	4229183.376	2298241.974	4170864.058	0.68	0.76	0.73	1.26	212	41° 06' 01.44797" N	28° 31' 14.67055" E	48.893	0.78	0.67	1.03	0.72	212
211	4229179.549	2298223.574	4170878.859	0.69	0.73	0.72	1.23	211	41° 06' 02.06839" N	28° 31' 14.05604" E	49.469	0.76	0.65	1.00	0.72	211
202	4229038.584	2298349.506	4170949.034	0.61	0.62	0.63	1.07	202	41° 06' 05.14054" N	28° 31' 21.68215" E	47.581	0.63	0.52	0.82	0.69	202
201	4229033.780	2298331.769	4170964.434	0.65	0.69	0.68	1.17	201	41° 06' 05.78715" N	28° 31' 21.11261" E	48.142	0.71	0.61	0.94	0.70	201
192	4228897.045	2298465.701	4171027.427	0.61	0.64	0.64	1.09	192	41° 06' 08.52313" N	28° 31' 28.95359" E	47.217	0.65	0.56	0.86	0.68	192
191	4228891.169	2298448.835	4171043.357	0.64	0.67	0.67	1.15	191	41° 06' 09.19390" N	28° 31' 28.43880" E	47.730	0.71	0.59	0.92	0.68	191
182	4228758.176	2298589.715	4171098.129	0.61	0.63	0.64	1.08	182	41° 06' 11.58816" N	28° 31' 36.46500" E	46.385	0.65	0.54	0.85	0.67	182
181	4228751.403	2298573.953	4171114.378	0.68	0.71	0.72	1.22	181	41° 06' 12.27229" N	28° 31' 36.01014" E	46.912	0.78	0.64	1.01	0.67	181
172	4228622.751	2298721.738	4171161.277	0.60	0.62	0.63	1.07	172	41° 06' 14.32254" N	28° 31' 44.20766" E	45.756	0.65	0.54	0.84	0.65	172
171	4228615.174	2298706.818	4171177.910	0.68	0.73	0.71	1.22	171	41° 06' 15.02254" N	28° 31' 43.80098" E	46.305	0.78	0.67	1.03	0.66	171
162	4228491.264	2298861.177	4171216.717	0.62	0.66	0.65	1.12	162	41° 06' 16.71928" N	28° 31' 52.14911" E	45.341	0.68	0.59	0.90	0.66	162
161	4228482.947	2298846.839	4171233.772	0.66	0.68	0.69	1.17	161	41° 06' 17.43752" N	28° 31' 51.77951" E	45.888	0.75	0.60	0.96	0.66	161
152	4228363.979	2299006.972	4171263.879	0.63	0.66	0.66	1.12	152	41° 06' 18.77029" N	28° 32' 00.24402" E	44.559	0.69	0.57	0.89	0.68	152
151	4228354.893	2298993.636	4171281.107	0.68	0.73	0.74	1.24	151	41° 06' 19.49697" N	28° 31' 59.92791" E	45.071	0.81	0.64	1.03	0.68	151
142	4228241.693	2299159.213	4171302.805	0.60	0.62	0.62	1.06	142	41° 06' 20.46076" N	28° 32' 08.47942" E	43.999	0.62	0.52	0.81	0.69	142
141	4228231.654	2299146.914	4171320.450	0.68	0.71	0.71	1.21	141	41° 06' 21.20492" N	28° 32' 08.22188" E	44.527	0.78	0.62	1.00	0.69	141
132	4228124.432	2299317.615	4171333.468	0.64	0.66	0.66	1.13	132	41° 06' 21.79243" N	28° 32' 16.84401" E	43.556	0.66	0.59	0.88	0.70	132
131	4228113.632	2299306.150	4171351.468	0.69	0.72	0.71	1.22	131	41° 06' 22.55102" N	28° 32' 16.63348" E	44.114	0.76	0.64	1.00	0.71	131
122	4228013.420	2299481.519	4171354.763	0.62	0.65	0.64	1.10	122	41° 06' 22.72210" N	28° 32' 25.28789" E	43.077	0.65	0.56	0.86	0.69	122
121	4228001.677	2299471.584	4171372.818	0.69	0.73	0.71	1.23	121	41° 06' 23.48412" N	28° 32' 25.15429" E	43.598	0.77	0.66	1.01	0.70	121
112	4227910.275	2299651.236	4171366.613	0.59	0.64	0.62	1.07	112	41° 06' 23.21443" N	28° 32' 33.78958" E	43.695	0.65	0.57	0.86	0.63	112
111	4227897.617	2299642.557	4171384.937	0.59	0.61	0.63	1.06	111	41° 06' 23.98735" N	28° 32' 33.72204" E	44.239	0.68	0.54	0.86	0.61	111
6	4228129.949	2299770.608	4171080.501	0.68	0.54	0.63	1.07	6	41° 06' 10.89783" N	28° 32' 33.78531" E	43.981	0.39	0.33	0.51	0.95	6
3	4227943.213	2299440.989	4171445.850	0.51	0.43	0.49	0.83	3	41° 06' 26.67404" N	28° 32' 25.19954" E	41.901	0.36	0.31	0.47	0.69	3
2	4227797.385	2299803.561	4171401.693	0.37	0.32	0.36	0.61	2	41° 06' 24.63353" N	28° 32' 41.83612" E	46.879	0.26	0.22	0.34	0.50	2
1	4227697.978	2299966.819	4171420.157	0.56	0.49	0.56	0.93	1	41° 06' 25.28287" N	28° 32' 50.01819" E	52.006	0.39	0.33	0.52	0.77	1

Tablo B.4a : 4.Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları

NN K4G	X (m)	Y (m)	Z (m)	m _x (mm)	m _y (mm)	m _z (mm)	m _{P(3B)} (mm)	NN K4G	φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)	m _φ (mm)	m _λ (mm)	m _{P(2B)} (mm)	m _h (mm)	NN K4G
5	4229174.657	2297911.165	4171057.314	0.84	0.69	0.80	1.35	5	41° 06' 09.69768" N	28° 31' 02.39271" E	51.147	0.39	0.39	0.55	1.23	5
4	4229418.801	2298047.611	4170756.764	0.68	0.56	0.66	1.10	4	41° 05' 56.39653" N	28° 31' 02.53545" E	64.313	0.32	0.32	0.45	1.00	4
222	4229301.304	2298163.314	4170792.532	1.52	1.23	1.45	2.44	222	41° 05' 58.29308" N	28° 31' 09.29590" E	51.655	0.69	0.69	0.97	2.23	222
221	4229298.540	2298144.067	4170806.667	1.53	1.25	1.46	2.45	221	41° 05' 58.88594" N	28° 31' 08.62775" E	52.191	0.71	0.72	1.01	2.24	221
212	4229183.366	2298241.969	4170864.053	1.67	1.37	1.58	2.68	212	41° 06' 01.44809" N	28° 31' 14.67056" E	48.882	0.76	0.78	1.09	2.45	212
211	4229179.546	2298223.576	4170878.852	1.52	1.25	1.47	2.46	211	41° 06' 02.06826" N	28° 31' 14.05618" E	49.463	0.73	0.70	1.01	2.24	211
202	4229038.581	2298349.504	4170949.030	1.46	1.19	1.39	2.34	202	41° 06' 05.14052" N	28° 31' 21.68214" E	47.575	0.67	0.67	0.94	2.15	202
201	4229033.781	2298331.764	4170964.432	1.56	1.27	1.49	2.51	201	41° 06' 05.78714" N	28° 31' 21.11240" E	48.139	0.72	0.72	1.02	2.29	201
192	4228897.036	2298465.707	4171027.423	1.57	1.29	1.50	2.52	192	41° 06' 08.52314" N	28° 31' 28.95400" E	47.211	0.74	0.73	1.04	2.30	192
191	4228891.172	2298448.836	4171043.346	1.59	1.29	1.51	2.54	191	41° 06' 09.19357" N	28° 31' 28.43877" E	47.726	0.72	0.72	1.02	2.33	191
182	4228758.174	2298589.711	4171098.127	1.40	1.14	1.33	2.24	182	41° 06' 11.58819" N	28° 31' 36.46489" E	46.381	0.65	0.65	0.92	2.04	182
181	4228751.401	2298573.945	4171114.377	1.71	1.40	1.65	2.76	181	41° 06' 12.27238" N	28° 31' 36.00988" E	46.907	0.79	0.79	1.12	2.52	181
172	4228622.750	2298721.737	4171161.268	1.67	1.35	1.59	2.67	172	41° 06' 14.32234" N	28° 31' 44.20764" E	45.749	0.75	0.76	1.07	2.45	172
171	4228615.176	2298706.821	4171177.909	1.49	1.22	1.43	2.40	171	41° 06' 15.02245" N	28° 31' 43.80105" E	46.307	0.68	0.68	0.97	2.20	171
162	4228491.264	2298861.172	4171216.712	1.55	1.26	1.47	2.48	162	41° 06' 16.71920" N	28° 31' 52.14892" E	45.336	0.69	0.72	1.00	2.27	162
161	4228482.944	2298846.829	4171233.775	1.63	1.33	1.54	2.60	161	41° 06' 17.43776" N	28° 31' 51.77920" E	45.884	0.73	0.74	1.04	2.38	161
152	4228363.971	2299006.974	4171263.876	1.79	1.50	1.76	2.93	152	41° 06' 18.77035" N	28° 32' 00.24426" E	44.553	0.82	0.83	1.17	2.68	152
151	4228354.888	2298993.629	4171281.102	1.60	1.30	1.54	2.57	151	41° 06' 19.49701" N	28° 31' 59.92775" E	45.062	0.74	0.72	1.04	2.36	151
142	4228241.690	2299159.208	4171302.805	1.37	1.12	1.31	2.20	142	41° 06' 20.46087" N	28° 32' 08.47929" E	43.995	0.62	0.65	0.90	2.01	142
141	4228231.648	2299146.915	4171320.449	1.57	1.29	1.52	2.54	141	41° 06' 21.20500" N	28° 32' 08.22204" E	44.523	0.74	0.75	1.05	2.31	141
132	4228124.432	2299317.614	4171333.465	2.55	2.03	2.40	4.05	132	41° 06' 21.79237" N	28° 32' 16.84397" E	43.553	1.10	1.12	1.57	3.73	132
131	4228113.624	2299306.151	4171351.466	1.62	1.32	1.55	2.60	131	41° 06' 22.55111" N	28° 32' 16.63368" E	44.108	0.73	0.76	1.05	2.38	131
122	4228013.412	2299481.520	4171354.761	1.54	1.26	1.47	2.47	122	41° 06' 22.72220" N	28° 32' 25.28809" E	43.071	0.70	0.70	0.99	2.27	122
121	4228001.672	2299471.585	4171372.815	1.79	1.45	1.69	2.86	121	41° 06' 23.48413" N	28° 32' 25.15443" E	43.593	0.81	0.83	1.16	2.61	121
112	4227910.273	2299651.238	4171366.609	1.37	1.11	1.29	2.18	112	41° 06' 23.21435" N	28° 32' 33.78970" E	43.691	0.62	0.62	0.88	2.00	112
111	4227897.612	2299642.556	4171384.936	1.56	1.27	1.49	2.50	111	41° 06' 23.98743" N	28° 32' 33.72210" E	44.235	0.72	0.71	1.01	2.29	111
6	4228129.957	2299770.604	4171080.494	0.82	0.66	0.78	1.31	6	41° 06' 10.89755" N	28° 32' 33.78500" E	43.980	0.37	0.37	0.52	1.20	6
3	4227943.214	2299440.993	4171445.849	0.82	0.67	0.78	1.32	3	41° 06' 26.67395" N	28° 32' 25.19967" E	41.903	0.38	0.38	0.54	1.21	3
2	4227797.423	2299803.587	4171401.715	0.58	0.46	0.55	0.92	2	41° 06' 24.63309" N	28° 32' 41.83632" E	46.928	0.26	0.26	0.37	0.84	2
1	4227697.978	2299966.816	4171420.161	0.67	0.54	0.64	1.07	1	41° 06' 25.28299" N	28° 32' 50.01808" E	52.008	0.31	0.30	0.43	0.98	1

Tablo B.4b : 4.Kampanya 3B BUT dengelemesinden elde edilen 3B, 2B ve 1B bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları

NN K4B	X (m)	Y (m)	Z (m)	m _x (mm)	m _y (mm)	m _z (mm)	m _{P(3B)} (mm)	NN K4B	φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)	m _φ (mm)	m _λ (mm)	m _{P(2B)} (mm)	m _h (mm)	NN K4B
5	4229174.657	2297911.165	4171057.314	0.80	0.67	0.77	1.29	5	41° 06' 09.69768" N	28° 31' 02.39271" E	51.147	0.40	0.40	0.57	1.16	5
4	4229418.800	2298047.610	4170756.762	0.60	0.51	0.59	0.99	4	41° 05' 56.39651" N	28° 31' 02.53544" E	64.310	0.33	0.32	0.46	0.87	4
222	4229301.305	2298163.315	4170792.534	0.80	0.78	0.79	1.37	222	41° 05' 58.29310" N	28° 31' 09.29592" E	51.657	0.70	0.67	0.97	0.97	222
221	4229298.539	2298144.067	4170806.666	0.81	0.80	0.80	1.39	221	41° 05' 58.88593" N	28° 31' 08.62777" E	52.190	0.72	0.70	1.00	0.97	221
212	4229183.368	2298241.971	4170864.056	0.84	0.86	0.83	1.46	212	41° 06' 01.44811" N	28° 31' 14.67060" E	48.886	0.77	0.75	1.08	0.98	212
211	4229179.546	2298223.576	4170878.852	0.81	0.80	0.82	1.41	211	41° 06' 02.06826" N	28° 31' 14.05618" E	49.463	0.74	0.68	1.01	0.98	211
202	4229038.580	2298349.503	4170949.029	0.79	0.78	0.78	1.35	202	41° 06' 05.14053" N	28° 31' 21.68212" E	47.574	0.67	0.65	0.94	0.97	202
201	4229033.780	2298331.763	4170964.431	0.83	0.81	0.81	1.41	201	41° 06' 05.78714" N	28° 31' 21.11239" E	48.138	0.73	0.71	1.02	0.98	201
192	4228897.036	2298465.707	4171027.424	0.82	0.84	0.82	1.43	192	41° 06' 08.52316" N	28° 31' 28.95400" E	47.212	0.75	0.72	1.04	0.98	192
191	4228891.173	2298448.837	4171043.347	0.82	0.82	0.81	1.41	191	41° 06' 09.19356" N	28° 31' 28.43879" E	47.727	0.73	0.70	1.01	0.98	191
182	4228758.172	2298589.710	4171098.126	0.78	0.76	0.77	1.33	182	41° 06' 11.58821" N	28° 31' 36.46489" E	46.379	0.66	0.64	0.92	0.96	182
181	4228751.403	2298573.946	4171114.378	0.83	0.88	0.85	1.48	181	41° 06' 12.27236" N	28° 31' 36.00988" E	46.909	0.80	0.77	1.11	0.98	181
172	4228622.751	2298721.737	4171161.269	0.83	0.84	0.82	1.44	172	41° 06' 14.32235" N	28° 31' 44.20762" E	45.750	0.76	0.74	1.06	0.98	172
171	4228615.173	2298706.819	4171177.907	0.79	0.79	0.79	1.37	171	41° 06' 15.02247" N	28° 31' 43.80104" E	46.303	0.69	0.67	0.96	0.97	171
162	4228491.263	2298861.172	4171216.712	0.81	0.82	0.79	1.40	162	41° 06' 16.71922" N	28° 31' 52.14895" E	45.335	0.70	0.71	1.00	0.98	162
161	4228482.945	2298846.830	4171233.775	0.82	0.84	0.81	1.43	161	41° 06' 17.43773" N	28° 31' 51.77921" E	45.885	0.74	0.72	1.03	0.98	161
152	4228363.970	2299006.973	4171263.875	0.84	0.93	0.88	1.53	152	41° 06' 18.77035" N	28° 32' 00.24424" E	44.551	0.84	0.80	1.16	1.00	152
151	4228354.891	2298993.631	4171281.104	0.82	0.83	0.83	1.43	151	41° 06' 19.49699" N	28° 31' 59.92776" E	45.066	0.75	0.71	1.03	1.00	151
142	4228241.688	2299159.207	4171302.803	0.76	0.76	0.75	1.31	142	41° 06' 20.46087" N	28° 32' 08.47929" E	43.992	0.63	0.64	0.90	0.96	142
141	4228231.649	2299146.915	4171320.449	0.82	0.84	0.82	1.43	141	41° 06' 21.20498" N	28° 32' 08.22202" E	44.523	0.75	0.73	1.05	0.97	141
132	4228124.428	2299317.612	4171333.463	1.05	1.16	1.05	1.88	132	41° 06' 21.79242" N	28° 32' 16.84398" E	43.549	1.10	1.09	1.55	1.06	132
131	4228113.626	2299306.152	4171351.467	0.85	0.86	0.84	1.48	131	41° 06' 22.55109" N	28° 32' 16.63368" E	44.110	0.74	0.75	1.05	1.04	131
122	4228013.412	2299481.520	4171354.761	0.82	0.83	0.82	1.42	122	41° 06' 22.72220" N	28° 32' 25.28809" E	43.071	0.71	0.69	0.99	1.02	122
121	4228001.673	2299471.586	4171372.816	0.88	0.92	0.87	1.54	121	41° 06' 23.48412" N	28° 32' 25.15445" E	43.594	0.82	0.81	1.15	1.03	121
112	4227910.273	2299651.238	4171366.608	0.76	0.75	0.75	1.30	112	41° 06' 23.21432" N	28° 32' 33.78970" E	43.691	0.62	0.61	0.87	0.97	112
111	4227897.613	2299642.556	4171384.937	0.81	0.81	0.81	1.40	111	41° 06' 23.98744" N	28° 32' 33.72208" E	44.236	0.73	0.69	1.00	0.98	111
6	4228129.958	2299770.605	4171080.495	0.80	0.65	0.76	1.28	6	41° 06' 10.89755" N	28° 32' 33.78501" E	43.982	0.38	0.38	0.54	1.16	6
3	4227943.214	2299440.993	4171445.849	0.79	0.66	0.75	1.27	3	41° 06' 26.67395" N	28° 32' 25.19967" E	41.903	0.39	0.39	0.55	1.15	3
2	4227797.423	2299803.587	4171401.716	0.51	0.42	0.48	0.82	2	41° 06' 24.63312" N	28° 32' 41.83632" E	46.929	0.26	0.26	0.37	0.73	2
1	4227697.978	2299966.816	4171420.161	0.61	0.51	0.59	0.99	1	41° 06' 25.28299" N	28° 32' 50.01808" E	52.008	0.32	0.31	0.44	0.89	1

EK C

- 3B deformasyon analizleri

Tablo C.1a : Ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT deformasyon analizi (1. ve 2. kampanya arasında)

NN	DX	DY	DZ	D	Test	Fisher	HİPOTEZ	NN	DX	DY	DZ	D	Test	Fisher	HİPOTEZ
GPS12	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		.95;3,f	(D=0)	BUT12	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		.95;3,f	(D=0)
5	15.89	2.89	9.84	18.91	1.92	2.62	GEÇERLİ	5	12.69	2.48	8.54	15.49	2.82	2.62	GEÇERLİ
4	34.26	2.29	21.77	40.66	14.28	2.62	GEÇERSİZ	4	31.49	2.46	21.60	38.26	453.11	2.62	GEÇERSİZ
222	6.11	0.60	17.41	18.46	2.22	2.62	GEÇERLİ	222	-2.68	-4.23	11.80	12.82	13.32	2.62	GEÇERSİZ
221	-11.32	5.72	-2.84	13.00	1.99	2.62	GEÇERLİ	221	-5.44	12.43	5.33	14.57	13.71	2.62	GEÇERSİZ
212	-4.07	-3.67	-10.16	11.55	0.58	2.62	GEÇERLİ	212	1.12	2.16	-2.94	3.82	0.53	2.62	GEÇERLİ
211	-2.20	-6.89	0.58	7.26	1.14	2.62	GEÇERLİ	211	-0.90	-4.14	4.26	6.00	1.24	2.62	GEÇERLİ
202	9.77	-3.45	-17.72	20.53	5.39	2.62	GEÇERSİZ	202	12.27	-0.17	-13.05	17.91	3.66	2.62	GEÇERSİZ
201	-11.76	2.50	3.17	12.43	3.61	2.62	GEÇERSİZ	201	-8.25	6.65	8.87	13.82	7.55	2.62	GEÇERSİZ
192	-8.23	-6.57	-6.43	12.34	0.32	2.62	GEÇERLİ	192	-2.52	-1.11	1.09	2.96	1.27	2.62	GEÇERLİ
191	2.49	5.78	-0.35	6.30	0.39	2.62	GEÇERLİ	191	0.53	5.39	-0.14	5.42	3.46	2.62	GEÇERSİZ
182	1.37	4.93	-0.87	5.19	0.41	2.62	GEÇERLİ	182	-0.99	3.69	-0.92	3.93	0.20	2.62	GEÇERLİ
181	16.15	8.99	8.36	20.29	1.57	2.62	GEÇERLİ	181	2.80	-0.87	-1.98	3.53	0.49	2.62	GEÇERLİ
172	-3.81	-2.22	8.38	9.47	2.13	2.62	GEÇERLİ	172	-5.93	-3.52	8.57	11.00	2.35	2.62	GEÇERLİ
171	1.37	3.12	-1.06	3.57	0.24	2.62	GEÇERLİ	171	-0.75	1.80	-0.94	2.16	0.30	2.62	GEÇERLİ
162	-3.54	-0.87	3.46	5.03	0.91	2.62	GEÇERLİ	162	-3.26	-0.69	5.99	6.85	1.93	2.62	GEÇERLİ
161	-3.58	-6.35	-5.88	9.36	0.45	2.62	GEÇERLİ	161	-0.26	-3.93	-0.57	3.98	2.62	2.62	GEÇERLİ
152	-5.63	-10.70	-1.66	12.21	1.33	2.62	GEÇERLİ	152	-1.98	-8.31	4.08	9.47	2.60	2.62	GEÇERLİ
151	1.30	-6.12	-3.28	7.06	1.44	2.62	GEÇERLİ	151	1.42	-6.56	-0.97	6.79	3.12	2.62	GEÇERSİZ
142	4.59	10.70	2.40	11.89	1.31	2.62	GEÇERLİ	142	-2.06	4.64	-1.60	5.32	0.78	2.62	GEÇERLİ
141	29.07	10.94	13.38	33.82	5.35	2.62	GEÇERSİZ	141	7.25	-6.96	-5.01	11.23	2.91	2.62	GEÇERSİZ
132	-13.08	-3.64	-2.36	13.78	3.17	2.62	GEÇERSİZ	132	-7.58	-0.56	5.22	9.22	3.17	2.62	GEÇERSİZ
131	0.30	0.19	-13.42	13.42	3.43	2.62	GEÇERSİZ	131	3.80	1.73	-7.75	8.80	3.32	2.62	GEÇERSİZ
122	4.57	-11.19	-12.43	17.34	7.28	2.62	GEÇERSİZ	122	9.11	-9.19	-5.67	14.13	5.42	2.62	GEÇERSİZ
121	-0.12	-3.65	5.56	6.65	1.90	2.62	GEÇERLİ	121	-2.89	-7.27	5.28	9.44	2.31	2.62	GEÇERLİ
112	-2.35	-7.77	-2.46	8.48	0.79	2.62	GEÇERLİ	112	0.89	-7.19	3.16	7.90	1.09	2.62	GEÇERLİ
111	1.03	3.07	-2.29	3.97	0.76	2.62	GEÇERLİ	111	0.03	0.44	-0.78	0.90	0.42	2.62	GEÇERLİ
6								6							
3	-1.69	0.64	-1.76	2.52	0.21	2.62	GEÇERLİ	3	-0.05	0.26	1.99	2.01	1.77	2.62	GEÇERLİ
2	33.59	13.62	10.60	37.76	26.91	2.62	GEÇERSİZ	2	35.36	12.74	14.89	40.43	547.29	2.62	GEÇERSİZ
1	8.31	-0.23	-16.16	18.17	11.54	2.62	GEÇERSİZ	1	10.06	-1.37	-11.74	15.52	7.21	2.62	GEÇERSİZ
3 5 111 112 121 142 151 152 161 162 171 172 182								3 111 112 121 142 152 161 171 181 192							
Noktalarına dayalı olarak GLOBAL TEST								Noktalarına dayalı olarak GLOBAL TEST							
h	f	s ₀ ²	R	Test	Fisher			h	f	s ₀ ²	R	Test	Fisher		
33	567	0.72	33.22	1.39	1.46			24	642	1.00	39.77	1.66	1.53		

Tablo C.1b : Ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT deformasyon analizi (2. ve 3. kampanya arasında)

NN	DX	DY	DZ	D	Test	Fisher	HİPOTEZ	NN	DX	DY	DZ	D	Test	Fisher	HİPOTEZ
GPS23	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		.95;3,f	(D=0)	BUT23	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		.95;3,f	(D=0)
5	-6.50	-3.21	-5.90	9.35	1.53	2.62	GEÇERLİ	5	-14.02	-7.90	-13.40	20.94	1.30	2.62	GEÇERLİ
4	-38.78	-4.01	-69.22	79.44	297.78	2.62	GEÇERSİZ	4	-40.16	-5.66	-70.53	81.36	98.99	2.62	GEÇERSİZ
222	-2.32	7.17	-0.55	7.56	12.01	2.62	GEÇERSİZ	222	-0.87	7.48	0.28	7.54	6.88	2.62	GEÇERSİZ
221	6.64	6.91	-1.23	9.67	7.26	2.62	GEÇERSİZ	221	4.53	4.61	-3.82	7.51	4.57	2.62	GEÇERSİZ
212	5.28	-3.08	1.08	6.21	8.00	2.62	GEÇERSİZ	212	6.53	-2.79	1.50	7.26	5.64	2.62	GEÇERSİZ
211	1.39	-3.49	5.13	6.36	6.12	2.62	GEÇERSİZ	211	1.25	-4.05	4.28	6.03	3.84	2.62	GEÇERSİZ
202	5.85	2.54	1.41	6.54	3.29	2.62	GEÇERSİZ	202	5.06	1.63	-0.21	5.32	2.43	2.62	GEÇERLİ
201	8.36	5.37	0.29	9.95	8.71	2.62	GEÇERSİZ	201	3.53	1.60	-5.13	6.43	5.76	2.62	GEÇERSİZ
192	3.45	-2.16	8.45	9.38	13.82	2.62	GEÇERSİZ	192	1.51	-3.89	5.54	6.94	7.22	2.62	GEÇERSİZ
191	-1.52	-4.74	4.76	6.89	11.51	2.62	GEÇERSİZ	191	-2.30	-5.10	3.24	6.47	6.69	2.62	GEÇERSİZ
182	1.44	0.87	-0.54	1.77	2.29	2.62	GEÇERLİ	182	2.13	1.13	-1.18	2.69	1.25	2.62	GEÇERLİ
181	4.39	2.84	4.36	6.81	1.58	2.62	GEÇERLİ	181	0.29	-0.04	-0.66	0.73	0.52	2.62	GEÇERLİ
172	-3.45	-0.89	1.13	3.73	9.08	2.62	GEÇERSİZ	172	-1.82	0.32	1.31	2.26	1.55	2.62	GEÇERLİ
171	0.16	-5.44	3.48	6.46	12.35	2.62	GEÇERSİZ	171	0.10	-5.38	2.07	5.76	7.57	2.62	GEÇERSİZ
162	-6.25	3.29	-1.25	7.18	23.15	2.62	GEÇERSİZ	162	-4.32	4.69	-1.00	6.45	16.36	2.62	GEÇERSİZ
161	6.03	5.12	8.24	11.42	5.04	2.62	GEÇERSİZ	161	-0.41	0.33	0.64	0.83	0.37	2.62	GEÇERLİ
152	3.97	7.32	-2.23	8.62	18.35	2.62	GEÇERSİZ	152	3.43	6.66	-4.56	8.77	18.21	2.62	GEÇERSİZ
151	3.25	5.53	0.34	6.43	6.29	2.62	GEÇERSİZ	151	1.52	4.14	-3.05	5.36	6.72	2.62	GEÇERSİZ
142	2.55	0.60	7.63	8.07	10.06	2.62	GEÇERSİZ	142	0.05	-1.56	3.28	3.63	3.08	2.62	GEÇERSİZ
141	-3.22	-3.04	-0.54	4.46	1.65	2.62	GEÇERLİ	141	-0.02	-0.51	0.64	0.82	0.34	2.62	GEÇERLİ
132	8.79	-1.50	-1.09	8.98	31.79	2.62	GEÇERSİZ	132	8.98	-1.88	-3.11	9.69	29.56	2.62	GEÇERSİZ
131	5.47	-0.17	0.50	5.49	8.62	2.62	GEÇERSİZ	131	5.21	-0.63	-1.85	5.56	6.70	2.62	GEÇERSİZ
122	0.47	-0.05	-3.34	3.38	6.00	2.62	GEÇERSİZ	122	4.85	2.48	-1.62	5.69	6.62	2.62	GEÇERSİZ
121	2.48	1.14	-4.22	5.02	7.38	2.62	GEÇERSİZ	121	5.07	2.77	-3.91	6.98	9.69	2.62	GEÇERSİZ
112	-2.39	1.16	2.08	3.37	12.22	2.62	GEÇERSİZ	112	0.77	2.66	2.56	3.78	1.62	2.62	GEÇERLİ
111	6.79	-1.25	-0.93	6.97	18.54	2.62	GEÇERSİZ	111	7.62	-1.20	-2.41	8.08	17.01	2.62	GEÇERSİZ
6	-6.69	4.42	-0.68	8.05	54.58	2.62	GEÇERSİZ	6	1.25	8.21	4.51	9.45	24.17	2.62	GEÇERSİZ
3	-1.54	-0.92	0.17	1.80	2.52	2.62	GEÇERLİ	3	0.14	0.22	-0.62	0.67	0.48	2.62	GEÇERLİ
2	-31.36	-28.50	-9.65	43.46	377.17	2.62	GEÇERSİZ	2	-26.45	-25.88	-7.65	37.79	155.73	2.62	GEÇERSİZ
1	-2.50	2.85	2.12	4.35	10.22	2.62	GEÇERSİZ	1	1.71	4.68	3.37	6.02	3.33	2.62	GEÇERSİZ
3 141 181								3 112 141 161 172 181							
Noktalarına dayalı olarak GLOBAL TEST								Noktalarına dayalı olarak GLOBAL TEST							
h	f	s ₀ ²	R	Test	Fisher			h	f	s ₀ ²	R	Test	Fisher		
3	726	0.79	3.00	1.26	2.62			12	802	1.00	20.34	1.69	1.76		

Tablo C.1c : Ardışık kampanyalar arası 3B GPS ve BUT deformasyon analizi (3. ve 4. kampanya arasında)

NN	DX	DY	DZ	D	Test	Fisher	HİPOTEZ		NN	DX	DY	DZ	D	Test	Fisher	HİPOTEZ
GPS34	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		.95;3,f	(D=0)		BUT34	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		.95;3,f	(D=0)
5	-6.30	5.87	5.50	10.22	37.07	2.62	GEÇERSİZ		5	3.08	11.78	13.08	17.87	12.25	2.62	GEÇERSİZ
4	36.15	23.13	61.17	74.73	324.00	2.62	GEÇERSİZ		4	39.06	25.76	62.45	78.04	64.86	2.62	GEÇERSİZ
222	-0.93	-0.81	-1.33	1.81	1.90	2.62	GEÇERLİ		222	0.73	0.95	-0.80	1.44	0.14	2.62	GEÇERLİ
221	3.87	-4.10	0.14	5.64	7.70	2.62	GEÇERSİZ		221	4.62	-3.14	-0.22	5.59	2.33	2.62	GEÇERLİ
212	-4.31	0.21	1.49	4.56	4.63	2.62	GEÇERSİZ		212	-3.27	1.35	1.57	3.87	1.37	2.62	GEÇERLİ
211	-0.40	4.82	-3.12	5.76	7.60	2.62	GEÇERSİZ		211	1.37	6.38	-2.36	6.94	3.23	2.62	GEÇERSİZ
202	0.16	0.61	-1.16	1.32	0.48	2.62	GEÇERLİ		202	1.21	1.48	-0.98	2.15	0.39	2.62	GEÇERLİ
201	0.76	-3.81	-0.75	3.95	3.80	2.62	GEÇERSİZ		201	4.26	-1.31	1.69	4.77	1.68	2.62	GEÇERLİ
192	-5.59	8.36	-0.91	10.09	34.97	2.62	GEÇERSİZ		192	-3.52	9.86	0.35	10.47	13.51	2.62	GEÇERSİZ
191	2.39	1.06	-11.89	12.17	33.30	2.62	GEÇERSİZ		191	9.06	5.67	-6.41	12.46	15.34	2.62	GEÇERSİZ
182	3.84	-0.40	2.42	4.56	5.64	2.62	GEÇERSİZ		182	2.01	-1.80	0.17	2.70	7.89	2.62	GEÇERSİZ
181	-1.42	-8.85	-2.97	9.44	13.41	2.62	GEÇERSİZ		181	5.23	-4.33	2.66	7.29	9.33	2.62	GEÇERSİZ
172	2.46	-0.06	-8.33	8.69	20.43	2.62	GEÇERSİZ		172	5.50	1.97	-5.93	8.32	10.13	2.62	GEÇERSİZ
171	4.48	3.62	-0.66	5.80	4.98	2.62	GEÇERSİZ		171	4.75	3.49	-0.89	5.96	3.96	2.62	GEÇERSİZ
162	4.69	-3.40	-2.27	6.23	15.77	2.62	GEÇERSİZ		162	5.30	-3.15	-2.01	6.49	8.58	2.62	GEÇERSİZ
161	-0.55	-9.86	2.19	10.12	27.84	2.62	GEÇERSİZ		161	3.25	-7.40	5.35	9.69	14.97	2.62	GEÇERSİZ
152	-1.07	3.13	0.62	3.37	4.39	2.62	GEÇERSİZ		152	-2.97	1.58	-1.34	3.63	3.73	2.62	GEÇERSİZ
151	0.80	-6.05	-2.43	6.58	11.41	2.62	GEÇERSİZ		151	3.05	-4.67	-0.53	5.61	6.31	2.62	GEÇERSİZ
142	2.39	-4.35	1.11	5.08	11.38	2.62	GEÇERSİZ		142	0.66	-5.74	-0.58	5.81	7.52	2.62	GEÇERSİZ
141	-3.66	-1.46	-2.23	4.53	1.53	2.62	GEÇERLİ		141	0.24	1.11	1.20	1.65	0.94	2.62	GEÇERLİ
132	8.47	0.11	1.08	8.54	8.10	2.62	GEÇERSİZ		132	2.51	-4.18	-4.38	6.56	5.52	2.62	GEÇERSİZ
131	-2.24	0.80	-1.00	2.58	1.96	2.62	GEÇERLİ		131	-0.71	1.84	0.47	2.03	1.04	2.62	GEÇERLİ
122	3.40	2.95	4.21	6.16	2.17	2.62	GEÇERLİ		122	-2.14	-0.86	-0.74	2.43	2.30	2.62	GEÇERLİ
121	0.37	-0.33	-2.40	2.45	1.77	2.62	GEÇERLİ		121	1.80	0.71	-1.01	2.18	1.15	2.62	GEÇERLİ
112	7.98	2.66	-0.19	8.42	12.85	2.62	GEÇERSİZ		112	3.18	-0.47	-4.35	5.41	5.75	2.62	GEÇERSİZ
111	0.29	-3.87	-0.29	3.90	7.18	2.62	GEÇERSİZ		111	1.77	-2.58	1.24	3.37	4.42	2.62	GEÇERSİZ
6	19.98	-2.20	1.09	20.13	229.07	2.62	GEÇERSİZ		6	13.14	-5.61	-5.07	15.16	91.33	2.62	GEÇERSİZ
3	8.11	3.56	0.75	8.89	22.29	2.62	GEÇERSİZ		3	6.72	2.28	-0.33	7.10	10.78	2.62	GEÇERSİZ
2	49.16	26.36	27.42	62.15	285.13	2.62	GEÇERSİZ		2	43.64	22.85	22.66	54.22	251.77	2.62	GEÇERSİZ
1	10.92	-3.34	8.91	14.49	41.15	2.62	GEÇERSİZ		1	4.88	-7.02	3.67	9.31	17.42	2.62	GEÇERSİZ
121 122 131 141 202 222									121 122 131 141 202 222							
Noktalarına dayalı olarak GLOBAL TEST									Noktalarına dayalı olarak GLOBAL TEST							
h	f	s ₀ ²	R	Test	Fisher				h	f	s ₀ ²	R	Test	Fisher		
12	849	0.56	11.59	1.73	1.76				12	929	1.00	12.81	1.07	1.76		

Tablo C.2a : 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası 2B konum ve 1B yükseklik değişimleri (mm)

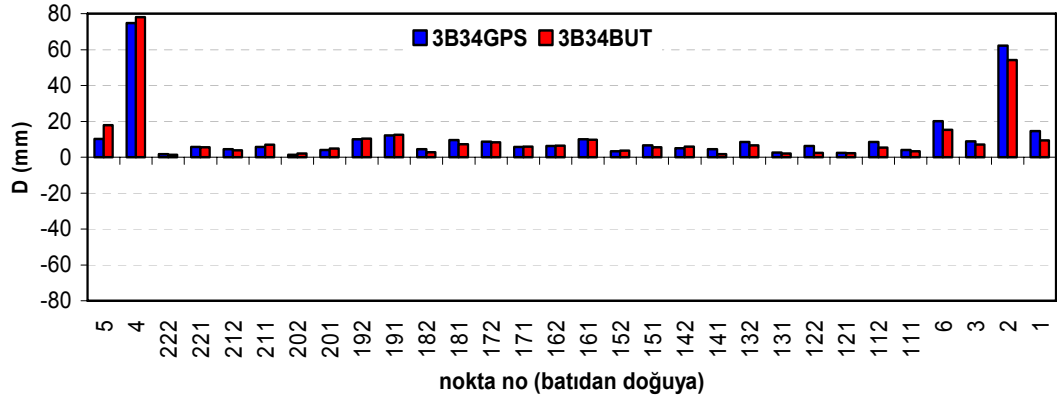
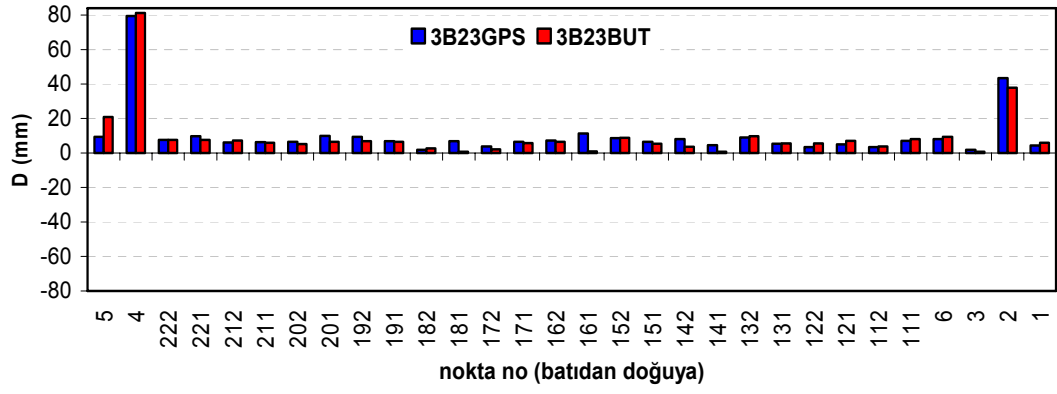
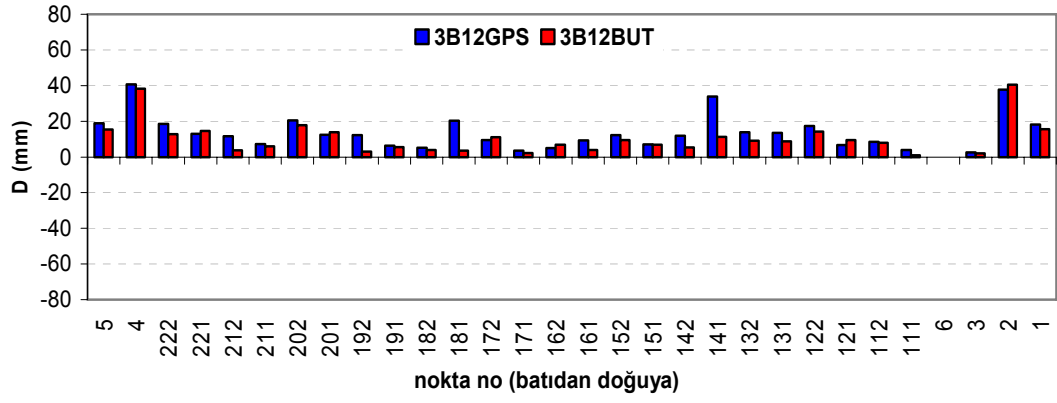
NN	DN	DE	D	DU	t _D	t _D	NN	DN	DE	D	DU	t _D	t _D
GPS12	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(grad)	(derece)	BUT12	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(grad)	(derece)
5	-2.71	-5.04	5.72	18.01	268.62	241.75	5	-1.67	-3.88	4.22	14.91	274.08	246.67
4	-4.05	-14.31	14.87	37.80	282.45	254.20	4	-2.68	-12.87	13.14	35.94	286.91	258.22
222	9.40	-2.38	9.70	15.69	384.18	345.77	222	11.77	-2.43	12.02	4.46	387.02	348.31
221	2.55	10.40	10.71	-7.34	84.68	76.21	221	3.25	13.51	13.90	4.37	84.95	76.46
212	-4.14	-1.34	4.35	-10.62	219.95	197.96	212	-3.54	1.36	3.79	-0.41	176.62	158.95
211	3.89	-5.01	6.34	-3.54	342.00	307.80	211	5.03	-3.21	5.96	0.72	363.86	327.47
202	-17.93	-7.67	19.50	-6.37	225.72	203.15	202	-16.87	-6.01	17.91	-0.51	221.77	199.59
201	8.39	7.78	11.44	-4.74	47.63	42.86	201	9.36	9.79	13.54	2.76	51.41	46.27
192	1.98	-1.88	2.74	-12.01	351.64	316.47	192	2.63	0.23	2.64	-1.35	5.52	4.97
191	-3.51	3.95	5.28	3.41	146.22	131.60	191	-2.10	4.49	4.95	2.19	127.89	115.10
182	-2.95	3.64	4.68	2.16	143.37	129.03	182	-1.28	3.72	3.93	0.07	121.18	109.06
181	-5.93	0.17	5.93	19.42	198.12	178.31	181	-2.83	-2.10	3.53	0.24	240.69	216.62
172	9.20	-0.07	9.20	2.08	399.51	359.56	172	10.99	-0.27	10.99	0.44	398.45	358.61
171	-2.54	2.06	3.26	1.38	156.62	140.96	171	-0.84	1.94	2.11	-0.47	125.94	113.34
162	5.00	0.93	5.08	-0.41	11.68	10.51	162	6.61	0.95	6.68	1.53	9.09	8.18
161	-0.45	-3.87	3.89	-8.46	292.66	263.39	161	0.96	-3.33	3.47	-1.96	317.81	286.03
152	5.37	-6.68	8.57	-8.74	343.10	308.79	152	6.82	-6.36	9.33	-1.61	352.25	317.02
151	-1.32	-5.98	6.13	-3.50	286.13	257.52	151	0.51	-6.45	6.47	-2.06	305.04	274.53
142	-4.21	7.21	8.34	8.47	133.63	120.27	142	-1.47	5.06	5.27	-0.75	118.05	106.25
141	-10.21	-4.31	11.08	31.93	225.46	202.91	141	-5.78	-9.57	11.18	-1.00	265.44	238.89
132	6.91	3.04	7.55	-11.42	26.42	23.78	132	8.49	3.13	9.05	-1.79	22.49	20.24
131	-10.41	0.03	10.41	-8.60	199.80	179.82	131	-8.58	-0.29	8.58	-1.96	202.19	181.97
122	-8.56	-12.04	14.77	-9.20	260.64	234.58	122	-6.65	-12.43	14.10	-1.00	268.72	241.85
121	5.33	-3.12	6.18	2.25	366.34	329.70	121	7.92	-5.01	9.38	-1.06	364.09	327.68
112	1.89	-5.76	6.06	-5.97	320.22	288.20	112	4.12	-6.74	7.90	0.08	334.92	301.42
111	-3.34	2.20	4.00	0.33	162.95	146.65	111	-0.75	0.37	0.84	-0.33	170.50	153.45
6						0.00	6						0.00
3	-0.52	1.43	1.52	-1.99	122.21	109.99	3	1.45	0.25	1.47	1.37	10.91	9.82
2	-15.69	-4.09	16.21	34.11	216.24	194.61	2	-13.20	-5.68	14.37	37.79	225.87	203.28
1	-16.86	-4.14	17.36	-5.16	215.32	193.79	1	-14.22	-6.01	15.44	-1.55	225.44	202.89

Tablo C.2b : 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası 2B konum ve 1B yükseklik değişimleri (mm)

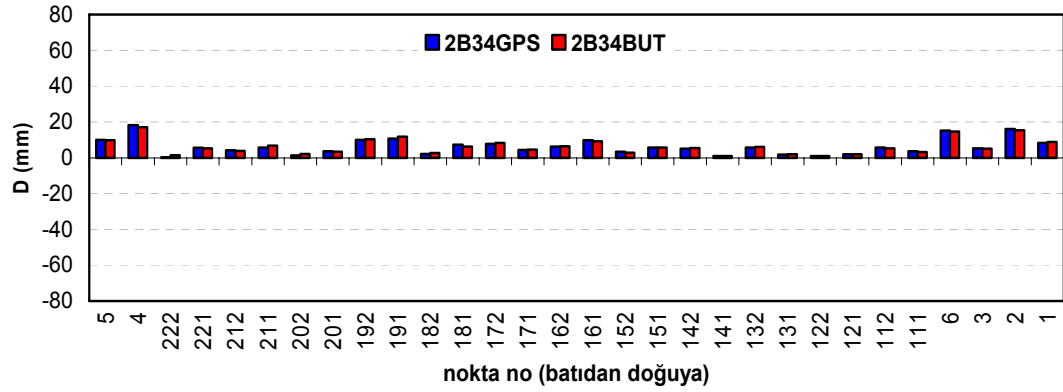
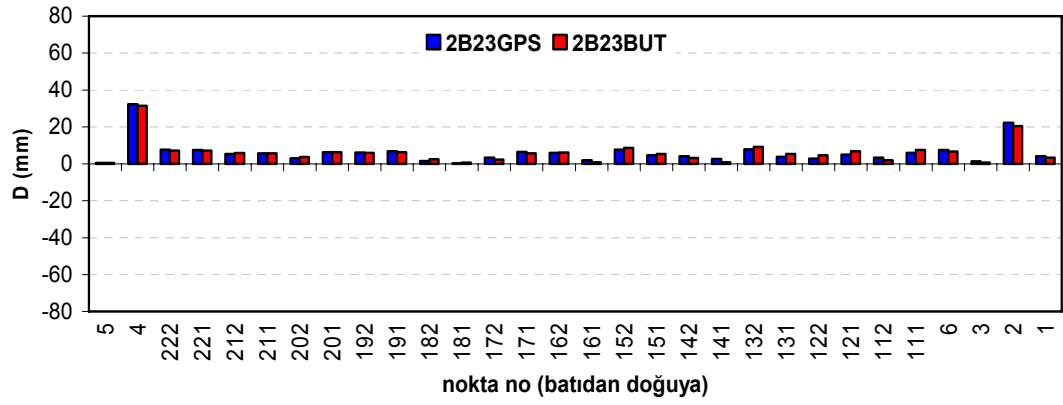
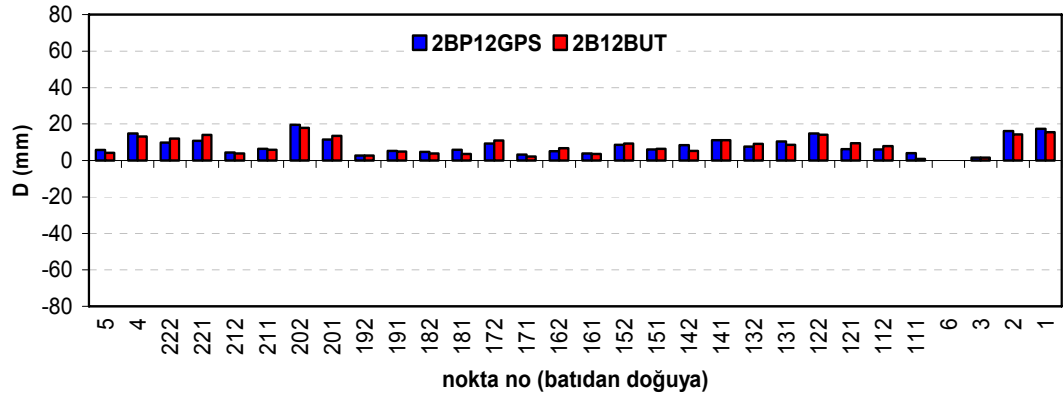
NN	DN	DE	D	DU	t _D	t _D	NN	DN	DE	D	DU	t _D	t _D
GPS23	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(grad)	(derece)	BUT23	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(grad)	(derece)
5	0.31	0.29	0.43	-9.33	47.75	42.98	5	0.47	-0.26	0.53	-20.92	367.83	331.04
4	-28.56	15.01	32.26	-72.69	169.20	152.28	4	-28.12	14.18	31.49	-75.01	170.26	153.24
222	-1.33	7.47	7.59	0.61	111.18	100.06	222	-1.61	7.02	7.20	2.30	114.33	102.90
221	-6.88	2.91	7.47	6.06	174.51	157.06	221	-6.91	1.89	7.16	2.14	182.96	164.66
212	-1.26	-5.25	5.40	3.12	285.02	256.52	212	-1.75	-5.56	5.83	4.28	280.65	252.58
211	4.13	-3.74	5.58	3.02	353.14	317.83	211	3.76	-4.18	5.62	2.08	346.66	311.99
202	-3.00	-0.57	3.06	5.73	211.98	190.78	202	-3.60	-1.03	3.74	3.82	217.73	195.95
201	-6.26	0.78	6.31	7.64	192.08	172.88	201	-6.37	-0.26	6.37	-0.46	202.65	182.38
192	4.97	-3.52	6.09	7.08	360.79	324.71	192	4.47	-4.06	6.04	3.24	353.10	317.79
191	5.91	-3.50	6.87	0.37	365.97	329.37	191	5.34	-3.38	6.32	-1.25	364.05	327.64
182	-1.47	0.12	1.47	0.92	194.70	175.23	182	-2.46	-0.04	2.46	1.00	200.93	180.84
181	-0.10	0.36	0.37	6.81	117.94	106.15	181	-0.63	-0.14	0.64	-0.20	214.34	192.91
172	3.13	0.88	3.25	-1.92	17.43	15.69	172	2.00	1.12	2.29	-0.16	32.56	29.31
171	4.22	-4.84	6.42	0.49	345.62	311.06	171	3.11	-4.70	5.64	-0.53	337.21	303.49
162	1.67	5.77	6.01	-3.74	82.04	73.84	162	0.26	6.18	6.19	-1.81	97.37	87.64
161	1.11	1.62	1.96	11.20	61.61	55.45	161	0.56	0.54	0.78	0.27	49.12	44.21
152	-6.26	4.51	7.71	3.83	160.28	144.25	152	-7.56	4.13	8.61	1.67	168.18	151.36
151	-3.41	3.26	4.71	4.36	151.42	136.28	151	-4.45	2.97	5.35	0.53	162.46	146.21
142	4.10	-0.67	4.15	6.87	389.73	350.76	142	2.91	-1.41	3.24	1.53	371.38	334.24
141	2.44	-1.20	2.72	-3.56	371.02	333.92	141	0.61	-0.44	0.75	0.21	360.22	324.20
132	-5.44	-5.52	7.75	4.56	250.45	225.41	132	-6.94	-5.97	9.15	3.24	245.21	220.69
131	-2.77	-2.71	3.88	3.93	249.36	224.42	131	-4.20	-3.15	5.25	2.07	240.93	216.84
122	-2.74	-0.33	2.76	-1.87	207.54	186.79	122	-4.73	-0.18	4.73	2.99	202.45	182.21
121	-4.93	-0.09	4.93	-0.74	201.18	181.06	121	-6.76	0.03	6.76	1.82	199.76	179.78
112	2.62	2.11	3.37	0.19	43.15	38.84	112	0.61	1.90	2.00	3.11	80.37	72.33
111	-4.23	-4.30	6.03	3.48	250.53	225.48	111	-5.90	-4.68	7.53	2.96	242.72	218.45
6	1.93	7.15	7.41	-3.28	83.22	74.90	6	0.07	6.58	6.59	6.77	99.35	89.42
3	1.28	-0.03	1.28	-1.32	398.66	358.79	3	-0.63	0.08	0.64	-0.19	191.94	172.75
2	19.79	-10.10	22.22	-37.29	369.95	332.96	2	17.71	-10.11	20.39	-31.86	366.98	330.28
1	2.15	3.65	4.24	0.73	66.17	59.55	1	0.11	3.32	3.32	5.05	97.98	88.18

Tablo C.2c : 3B GPS ve BUT dengelemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası 2B konum ve 1B yükseklik değişimleri (mm)

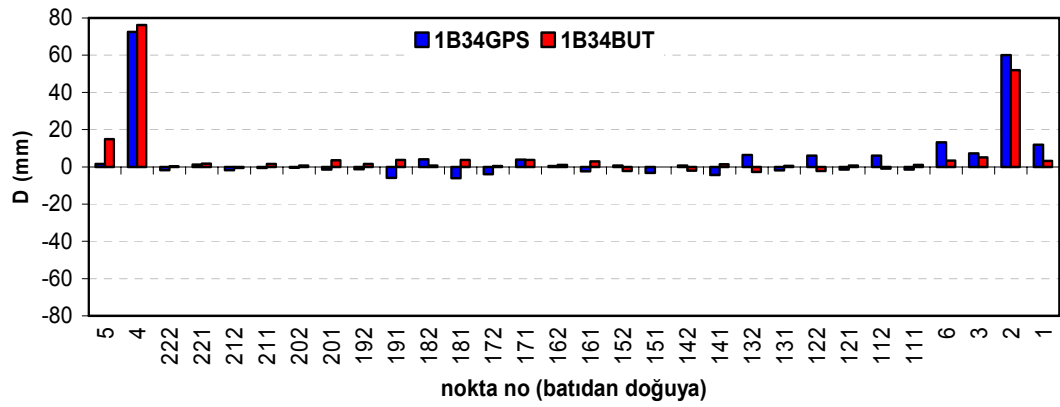
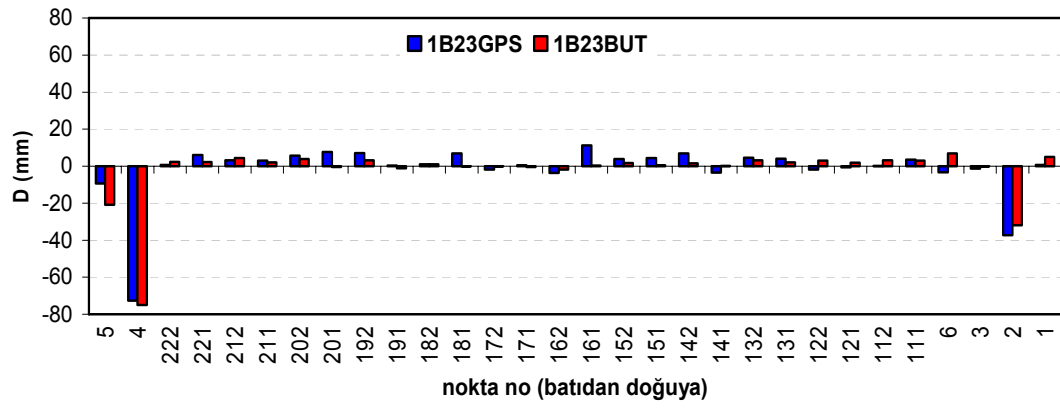
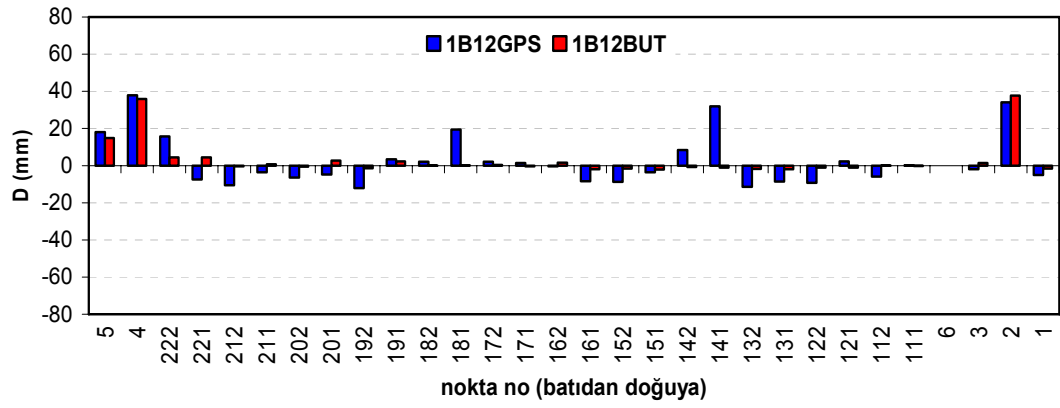
NN	DN	DE	D	DU	t _D	t _D	NN	DN	DE	D	DU	t _D	t _D
GPS34	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(grad)	(derece)	BUT34	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(grad)	(derece)
5	5.94	8.17	10.10	1.55	59.96	53.96	5	4.38	8.89	9.91	14.91	70.86	63.77
4	17.96	3.06	18.22	72.47	10.75	9.68	4	16.51	3.97	16.98	76.15	15.01	13.51
222	-0.21	-0.27	0.34	-1.78	258.12	232.31	222	-1.35	0.41	1.41	0.33	181.24	163.11
221	-0.85	-5.45	5.52	1.18	290.20	261.18	221	-1.91	-4.92	5.28	1.73	276.42	248.78
212	3.54	2.24	4.19	-1.80	35.90	32.31	212	2.61	2.76	3.80	-0.56	51.69	46.52
211	-3.63	4.43	5.73	-0.59	143.72	129.35	211	-4.63	4.96	6.78	1.65	147.81	133.03
202	-1.16	0.46	1.25	-0.43	175.94	158.35	202	-1.92	0.75	2.06	0.68	176.40	158.76
201	0.19	-3.71	3.71	-1.36	303.33	273.00	201	-0.79	-3.20	3.29	3.50	284.48	256.03
192	-0.08	10.01	10.01	-1.29	100.52	90.47	192	-0.78	10.37	10.40	1.51	104.80	94.32
191	-10.67	-0.21	10.67	-5.85	201.26	181.13	191	-11.81	0.71	11.83	3.80	196.17	176.55
182	-0.27	-2.18	2.20	3.99	292.09	262.88	182	-0.52	-2.54	2.59	0.74	287.25	258.52
181	1.36	-7.10	7.23	-6.07	312.03	280.83	181	0.38	-6.26	6.27	3.67	303.86	273.48
172	-7.68	-1.23	7.78	-3.86	210.11	189.10	172	-8.25	-0.87	8.30	0.48	206.68	186.01
171	-4.22	1.04	4.35	3.84	184.66	166.19	171	-4.52	0.70	4.57	3.81	190.27	171.24
162	-3.36	-5.23	6.21	0.39	263.70	237.33	162	-3.67	-5.25	6.41	1.01	261.17	235.06
161	5.07	-8.40	9.81	-2.47	334.56	301.10	161	4.47	-8.03	9.19	2.94	332.32	299.09
152	0.11	3.26	3.26	0.83	97.89	88.10	152	0.25	2.84	2.85	-2.27	94.38	84.95
151	-0.40	-5.70	5.72	-3.25	295.57	266.01	151	-0.77	-5.61	5.66	-0.03	291.34	262.21
142	0.82	-4.96	5.03	0.75	310.42	279.38	142	0.99	-5.30	5.39	-2.05	311.77	280.59
141	0.89	0.46	1.00	-4.42	30.37	27.34	141	0.39	0.82	0.91	1.38	72.10	64.89
132	-4.11	-3.95	5.70	6.35	248.72	223.85	132	-3.50	-4.93	6.05	-2.68	260.71	234.64
131	0.29	1.78	1.80	-1.85	89.61	80.65	131	0.22	1.92	1.93	0.51	92.84	83.56
122	0.28	0.97	1.01	6.08	81.86	73.67	122	0.89	0.21	0.92	-2.24	14.82	13.34
121	-1.92	-0.46	1.97	-1.45	215.08	193.57	121	-2.01	-0.24	2.03	0.79	207.68	186.91
112	-5.59	-1.47	5.78	6.12	216.37	194.73	112	-4.93	-1.97	5.31	-0.89	224.16	201.74
111	0.83	-3.55	3.64	-1.39	314.62	283.15	111	0.76	-3.14	3.23	1.11	315.02	283.52
6	-10.04	-11.47	15.24	13.16	254.25	228.82	6	-9.58	-11.17	14.72	3.37	254.89	229.40
3	-5.24	-0.74	5.29	7.15	208.99	188.09	3	-4.89	-1.18	5.03	5.00	215.03	193.53
2	-16.00	-0.31	16.00	60.06	201.23	181.10	2	-15.34	-0.69	15.35	51.97	202.87	182.58
1	1.46	-8.15	8.28	11.89	311.29	280.16	1	2.15	-8.49	8.76	3.16	315.82	284.24



Şekil C.1a : 3B GPS ve BUT dengellemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası üç boyutlu (3B) konum değişimleri (mm)



Şekil C.1b : 3B GPS ve BUT dengellemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası iki boyutlu (2B-yatay) konum değişimleri (mm)



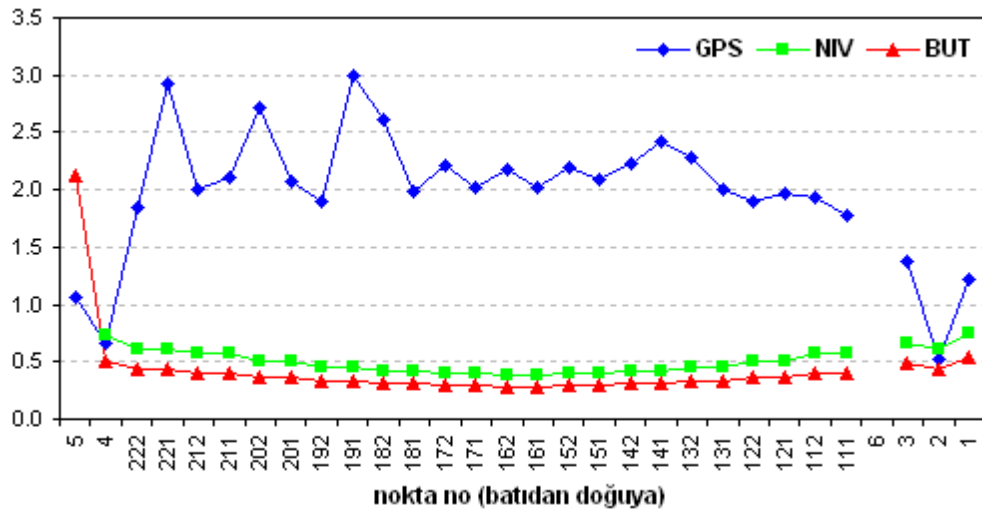
Şekil C.1c : 3B GPS ve BUT dengellemelerden elde edilen ardışık kampanyalar arası tek boyutlu (1B) yükseklik değişimleri (mm)

EK D

- 1B dengeleme sonuçları

Tablo D.1a : 1. Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan yükseklikler ve doğrulukları

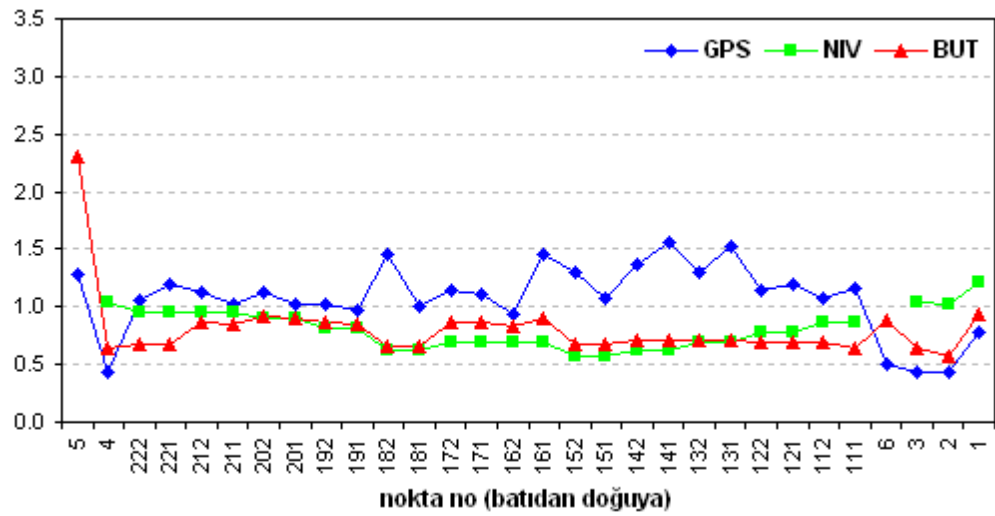
NN K1	H1G (m)	m _{H1G} (mm)	H1N (m)	m _{H1N} (mm)	H1B (m)	m _{H1B} (mm)
5	51.1393	1.06			51.1385	2.13
4	64.2793	0.67	64.2767	0.73	64.2773	0.51
222	51.6423	1.85	51.6539	0.62	51.6543	0.44
221	52.1954	2.93	52.1856	0.62	52.1861	0.44
212	48.8938	2.01	48.8861	0.57	48.8865	0.40
211	49.4683	2.10	49.4625	0.57	49.4629	0.40
202	47.5814	2.71	47.5742	0.51	47.5746	0.36
201	48.1417	2.08	48.1357	0.51	48.1360	0.36
192	47.2223	1.91	47.2126	0.46	47.2128	0.33
191	47.7324	3.00	47.7266	0.46	47.7268	0.33
182	46.3782	2.61	46.3821	0.42	46.3822	0.31
181	46.8918	1.99	46.9094	0.42	46.9094	0.31
172	45.7562	2.21	45.7543	0.40	45.7543	0.29
171	46.3069	2.02	46.3050	0.40	46.3050	0.29
162	45.3448	2.17	45.3404	0.39	45.3403	0.28
161	45.8893	2.02	45.8888	0.39	45.8887	0.28
152	44.5620	2.20	44.5598	0.40	44.5596	0.29
151	45.0699	2.08	45.0734	0.40	45.0732	0.29
142	43.9857	2.22	43.9995	0.42	43.9992	0.31
141	44.5055	2.42	44.5296	0.42	44.5293	0.31
132	43.5608	2.28	43.5576	0.46	43.5573	0.33
131	44.1185	2.00	44.1169	0.46	44.1166	0.33
122	43.0839	1.90	43.0799	0.51	43.0795	0.36
121	43.6018	1.96	43.6010	0.51	43.6007	0.36
112	43.6992	1.94	43.6981	0.57	43.6977	0.40
111	44.2410	1.78	44.2423	0.57	44.2419	0.40
6						
3	41.9059	1.37	41.9042	0.67	41.9038	0.48
2	46.8801	0.53	46.8812	0.62	46.8808	0.43
1	52.0089	1.23	52.0120	0.74	52.0116	0.54



Şekil D.1a : 1.Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan doğruluklar (m_H -mm)

Tablo D.1b : 2. Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan yükseklikler ve doğrulukları

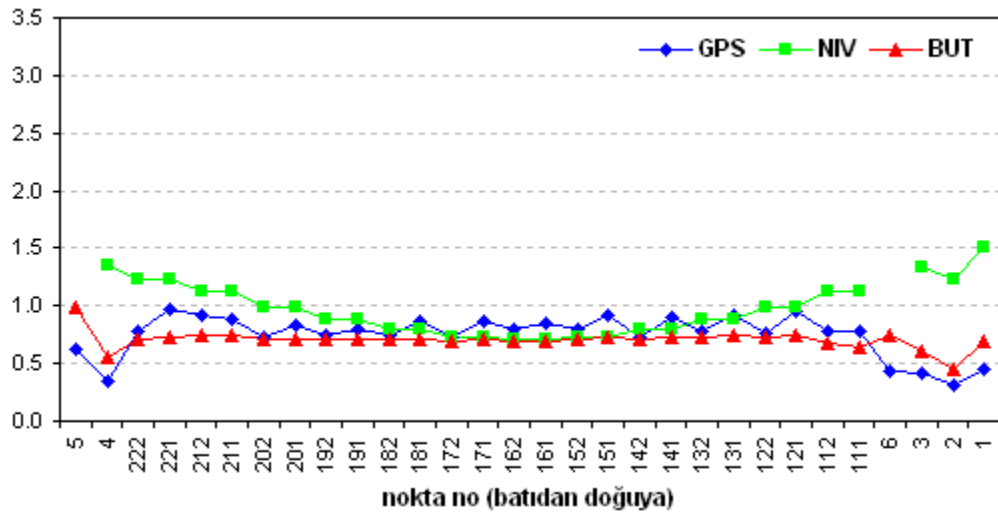
NN K2	H2G (m)	m _{H2G} (mm)	H2N (m)	m _{H2N} (mm)	H2B (m)	m _{H2B} (mm)
5	51.1495	1.28			51.1490	2.31
4	64.3098	0.44	64.3026	1.04	64.3076	0.64
222	51.6532	1.06	51.6505	0.95	51.6538	0.67
221	52.1815	1.19	52.1822	0.95	52.1855	0.67
212	48.8791	1.12	48.8798	0.95	48.8816	0.86
211	49.4589	1.03	49.4560	0.95	49.4588	0.86
202	47.5693	1.13	47.5690	0.91	47.5699	0.92
201	48.1315	1.02	48.1319	0.91	48.1341	0.91
192	47.2049	1.02	47.2072	0.81	47.2076	0.87
191	47.7310	0.97	47.7213	0.81	47.7242	0.85
182	46.3767	1.46	46.3774	0.62	46.3784	0.67
181	46.9067	1.00	46.9047	0.62	46.9058	0.66
172	45.7557	1.14	45.7496	0.70	45.7509	0.86
171	46.3045	1.11	46.3008	0.70	46.3010	0.87
162	45.3425	0.94	45.3383	0.69	45.3385	0.84
161	45.8778	1.46	45.8856	0.69	45.8840	0.90
152	44.5523	1.30	44.5577	0.58	44.5556	0.67
151	45.0649	1.07	45.0710	0.58	45.0687	0.67
142	43.9924	1.37	43.9990	0.62	43.9963	0.70
141	44.5360	1.56	44.5286	0.62	44.5261	0.70
132	43.5493	1.29	43.5568	0.69	43.5537	0.71
131	44.1121	1.52	44.1159	0.69	44.1128	0.71
122	43.0749	1.14	43.0798	0.77	43.0768	0.69
121	43.6033	1.20	43.6008	0.77	43.5979	0.69
112	43.6951	1.08	43.6993	0.87	43.6963	0.69
111	44.2426	1.17	44.2430	0.87	44.2401	0.64
6	43.9826	0.50			43.9820	0.88
3	41.9045	0.44	41.9054	1.05	41.9034	0.64
2	46.9170	0.43	46.9207	1.02	46.9174	0.58
1	52.0074	0.79	52.0146	1.22	52.0095	0.93



Şekil D.1b : 2.Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan doğruluklar (m_H -mm)

Tablo D.1c : 3. Kampanya, 1B dengellemeler sonucu bulunan yükseklikler ve doğrulukları

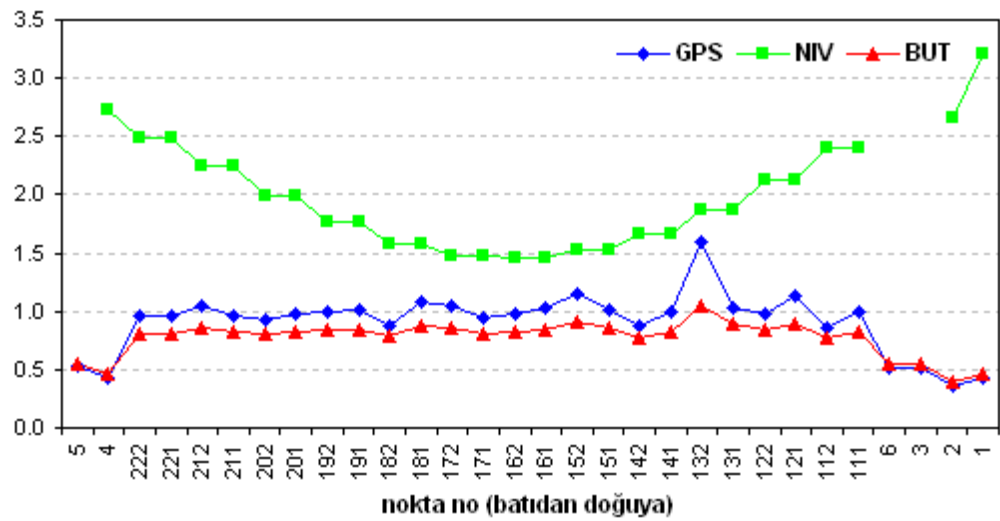
NN	H3G	m _{H3G}	H3N	m _{H3N}	H3B	m _{H3B}
K3	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)
5	51.1438	0.63			51.1414	0.99
4	64.2445	0.34	64.2340	1.34	64.2432	0.55
222	51.6608	0.77	51.6585	1.23	51.6640	0.71
221	52.1942	0.96	52.1903	1.23	52.1959	0.72
212	48.8879	0.91	48.8892	1.12	48.8929	0.74
211	49.4684	0.88	49.4649	1.12	49.4688	0.74
202	47.5801	0.73	47.5770	0.99	47.5809	0.71
201	48.1445	0.83	48.1377	0.99	48.1418	0.72
192	47.2151	0.74	47.2144	0.88	47.2173	0.70
191	47.7346	0.81	47.7276	0.88	47.7309	0.71
182	46.3804	0.75	46.3840	0.79	46.3850	0.70
181	46.9151	0.87	46.9102	0.79	46.9118	0.72
172	45.7566	0.73	45.7555	0.74	45.7561	0.69
171	46.3060	0.87	46.3053	0.74	46.3059	0.70
162	45.3399	0.79	45.3415	0.72	45.3407	0.70
161	45.8905	0.85	45.8888	0.72	45.8880	0.70
152	44.5564	0.80	44.5615	0.74	44.5589	0.72
151	45.0701	0.92	45.0737	0.74	45.0711	0.73
142	43.9991	0.73	44.0010	0.79	43.9989	0.71
141	44.5327	0.91	44.5297	0.79	44.5277	0.72
132	43.5531	0.79	43.5594	0.88	43.5555	0.73
131	44.1150	0.92	44.1176	0.88	44.1138	0.74
122	43.0718	0.77	43.0815	0.99	43.0767	0.72
121	43.6014	0.95	43.6014	0.99	43.5971	0.74
112	43.6941	0.78	43.6992	1.12	43.6952	0.67
111	44.2445	0.79	44.2429	1.12	44.2394	0.64
6	43.9817	0.44			43.9807	0.75
3	41.9012	0.41	41.9048	1.34	41.9024	0.61
2	46.8778	0.30	46.8849	1.23	46.8791	0.45
1	52.0060	0.45	52.0127	1.50	52.0060	0.69



Şekil D.1c : 3.Kampanya, 1B dengellemeler sonucu bulunan doğruluklar (m_H -mm)

Tablo D.1d : 4. Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan yükseklikler ve doğrulukları

NN	H4G	m _{H4G}	H4N	m _{H4N}	H4B	m _{H4B}
K4	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)
5	51.1471	0.53			51.1471	0.56
4	64.3129	0.43	64.2955	2.73	64.3125	0.47
222	51.6543	0.96	51.6454	2.49	51.6557	0.81
221	52.1911	0.96	52.1785	2.49	52.1902	0.81
212	48.8820	1.05	48.8762	2.26	48.8837	0.85
211	49.4634	0.96	49.4540	2.26	49.4626	0.82
202	47.5754	0.93	47.5667	1.99	47.5751	0.80
201	48.1396	0.99	48.1301	1.99	48.1388	0.83
192	47.2109	0.99	47.2068	1.76	47.2110	0.83
191	47.7262	1.00	47.7225	1.76	47.7265	0.84
182	46.3812	0.88	46.3762	1.58	46.3800	0.78
181	46.9057	1.09	46.9055	1.58	46.9078	0.87
172	45.7485	1.05	45.7486	1.48	45.7503	0.86
171	46.3072	0.95	46.3015	1.48	46.3050	0.81
162	45.3360	0.97	45.3368	1.45	45.3357	0.83
161	45.8838	1.02	45.8859	1.45	45.8844	0.85
152	44.5529	1.15	44.5548	1.52	44.5512	0.91
151	45.0621	1.02	45.0694	1.52	45.0642	0.86
142	43.9945	0.87	43.9962	1.67	43.9931	0.77
141	44.5226	1.00	44.5284	1.67	44.5237	0.82
132	43.5535	1.60	43.5558	1.87	43.5494	1.05
131	44.1074	1.03	44.1172	1.87	44.1093	0.89
122	43.0706	0.98	43.0804	2.12	43.0705	0.84
121	43.5932	1.13	43.6035	2.12	43.5934	0.90
112	43.6914	0.86	43.7016	2.40	43.6906	0.77
111	44.2346	0.99	44.2476	2.40	44.2357	0.82
6	43.9804	0.52			43.9812	0.55
3	41.9028	0.52			41.9027	0.55
2	46.9285	0.36	46.9409	2.67	46.9285	0.39
1	52.0074	0.42	52.0208	3.21	52.0070	0.46



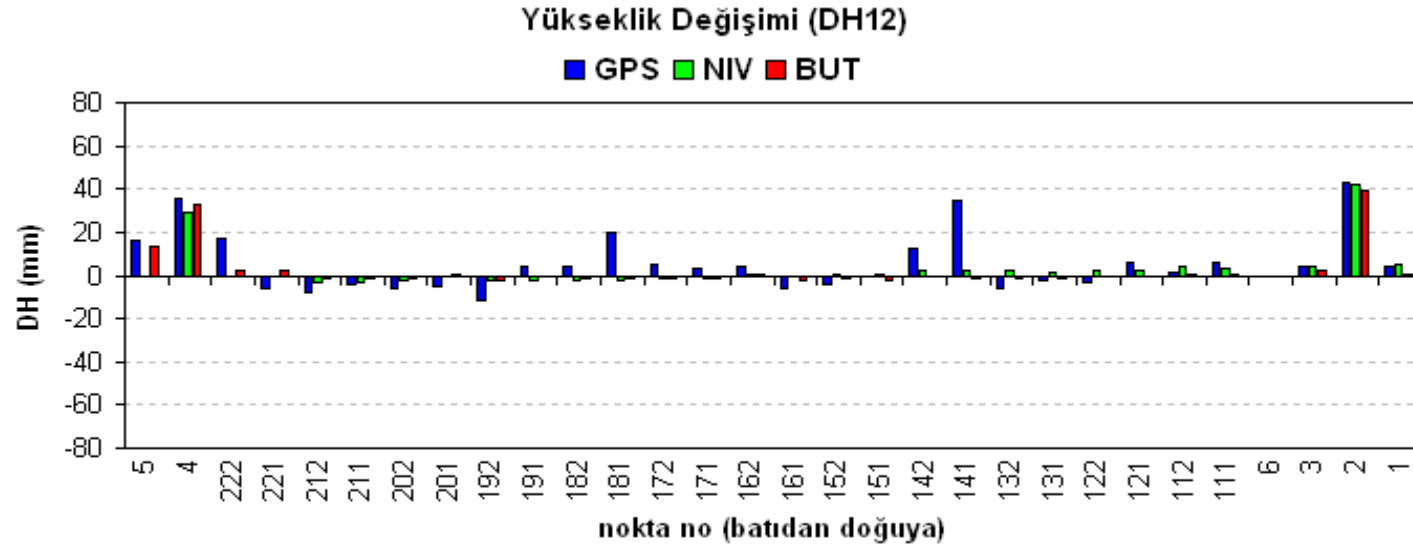
Şekil D.1d : 4.Kampanya, 1B dengelemeler sonucu bulunan doğruluklar (m_H -mm)

EK E

- 1B deformasyon analizleri

Tablo E.1a : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, Nivelman (NIV) ve Bütünleşik (BUT) deformasyon analizi (1. ve 2. kampanya arasında)

NN	H1	H2	DH	Test	Fisher	NN	H1	H2	DH	Test	Fisher	NN	H1	H2	DH	Test	Fisher
GPS12	(mm)	(mm)	(mm)		.95;1,f	NIV12	(mm)	(mm)	(mm)		.95;1,f	BUT12	(mm)	(mm)	(mm)		.95;1,f
5	0.27	16.23	15.96	41.00	3.90	5						5	2.53	15.76	13.24	8.55	3.88
4	35.34	71.36	36.01	600.92	3.90	4	36.21	65.08	28.88	215.55	4.32	4	36.31	69.50	33.18	765.30	3.88
222	-25.03	-7.68	17.35	21.12	3.90	222	-9.89	-10.24	-0.34	0.04	4.32	222	-9.96	-7.29	2.67	5.58	3.88
221	-2.36	-8.18	-5.82	1.10	3.90	221	-8.59	-9.09	-0.50	0.08	4.32	221	-8.68	-6.09	2.59	5.18	3.88
212	-2.66	-10.94	-8.29	4.14	3.90	212	-6.82	-10.18	-3.36	3.88	4.32	212	-6.98	-8.68	-1.70	1.82	3.88
211	-3.26	-7.07	-3.81	0.89	3.90	211	-5.56	-9.05	-3.49	4.19	4.32	211	-5.68	-6.81	-1.12	0.77	3.88
202	-1.28	-7.57	-6.30	1.54	3.90	202	-4.85	-7.18	-2.33	2.13	4.32	202	-5.10	-6.79	-1.68	1.71	3.88
201	-2.46	-7.46	-5.00	1.57	3.90	201	-4.93	-5.85	-0.92	0.33	4.32	201	-5.17	-4.33	0.85	0.43	3.88
192	3.39	-7.99	-11.38	8.70	3.90	192	-2.74	-5.18	-2.43	3.05	4.32	192	-3.07	-5.43	-2.36	3.89	3.88
191	-0.71	3.49	4.20	0.57	3.90	191	-2.94	-5.25	-2.31	2.76	4.32	191	-3.30	-3.56	-0.26	0.05	3.88
182	-9.22	-5.06	4.16	0.70	3.90	182	-1.68	-3.58	-1.89	3.23	4.32	182	-2.19	-3.54	-1.35	1.98	3.88
181	-22.04	-2.23	19.81	23.94	3.90	181	-0.80	-2.65	-1.85	3.09	4.32	181	-1.33	-2.58	-1.24	1.69	3.88
172	-1.67	3.54	5.20	1.52	3.90	172	-0.01	-1.79	-1.78	2.21	4.32	172	-0.57	-1.65	-1.08	0.87	3.88
171	-0.30	3.29	3.59	0.83	3.90	171	1.42	0.06	-1.36	1.29	4.32	171	0.81	-0.70	-1.51	1.66	3.88
162	2.44	6.34	3.90	0.91	3.90	162	1.61	2.30	0.69	0.33	4.32	162	0.94	1.51	0.57	0.26	3.88
161	0.20	-5.85	-6.04	2.10	3.90	161	3.31	2.97	-0.34	0.08	4.32	161	2.62	0.59	-2.03	2.86	3.88
152	1.19	-2.86	-4.04	0.92	3.90	152	2.60	3.39	0.79	0.56	4.32	152	1.82	0.22	-1.60	2.86	3.88
151	-3.08	-3.32	-0.24	0.00	3.90	151	4.02	4.49	0.47	0.20	4.32	151	3.20	1.23	-1.97	4.31	3.88
142	-14.26	-1.85	12.40	7.55	3.90	142	3.18	5.47	2.29	3.73	4.32	142	2.33	1.65	-0.68	0.47	3.88
141	-23.04	11.53	34.56	46.10	3.90	141	4.64	6.51	1.87	2.48	4.32	141	3.78	2.76	-1.02	1.06	3.88
132	3.52	-2.29	-5.80	1.77	3.90	132	3.83	5.91	2.08	2.33	4.32	132	3.01	1.57	-1.44	1.99	3.88
131	3.01	0.66	-2.35	0.32	3.90	131	4.99	6.77	1.78	1.71	4.32	131	4.13	2.48	-1.65	2.60	3.88
122	4.95	1.63	-3.32	0.82	3.90	122	4.54	7.29	2.76	3.10	4.32	122	3.66	3.08	-0.58	0.31	3.88
121	2.97	8.69	5.72	2.14	3.90	121	5.78	8.38	2.60	2.76	4.32	121	4.93	4.21	-0.72	0.47	3.88
112	2.65	4.25	1.60	0.19	3.90	112	5.16	9.16	4.00	5.00	4.32	112	4.22	5.10	0.88	0.67	3.88
111	0.59	6.32	5.74	2.56	3.90	111	5.45	9.01	3.56	3.97	4.32	111	4.54	4.99	0.44	0.18	3.88
6						6						6					
3	1.55	5.70	4.14	2.61	3.90	3	3.46	7.49	4.03	3.65	4.32	3	2.54	4.55	2.01	3.21	3.88
2	-1.46	41.23	42.69	1245.54	3.90	2	3.16	45.54	42.38	413.19	4.32	2	2.20	41.34	39.15	1455.68	3.88
1	1.29	5.77	4.49	3.35	3.90	1	8.06	13.44	5.38	4.77	4.32	1	6.98	7.73	0.75	0.26	3.88



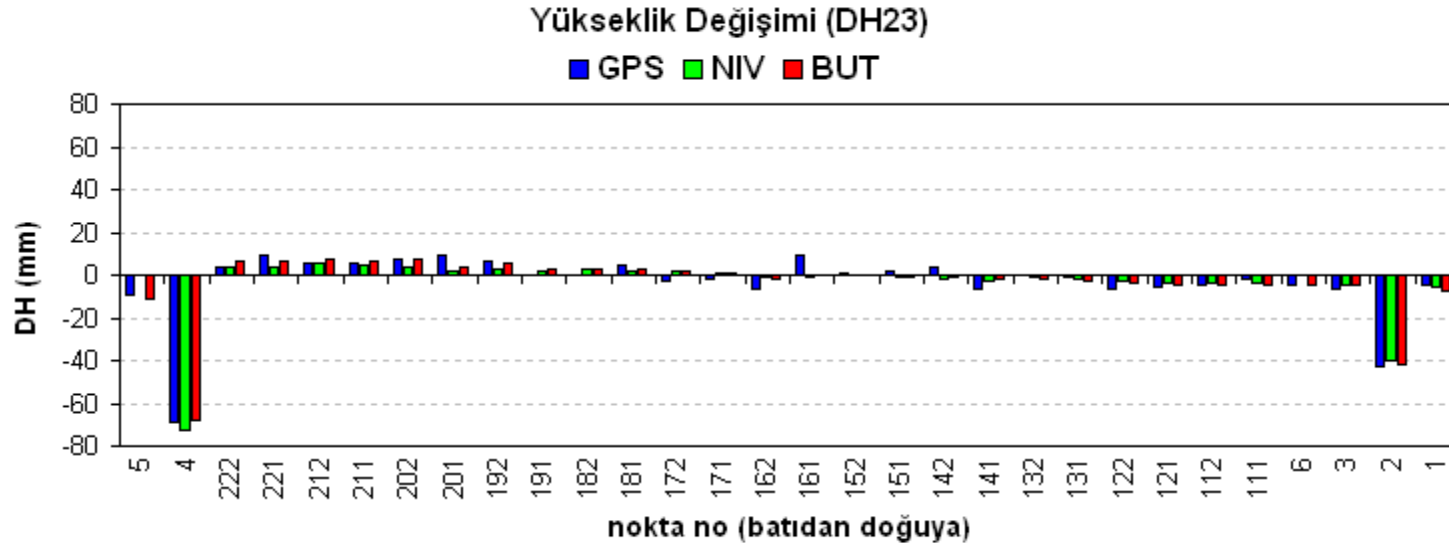
Şekil E.1a : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT yükseklik değişimleri (1. ve 2. kampanyalar arası)

Tablo E.1b : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT global test sonuçları (1. ve 2. kampanyalar arası)

1B-K12	HNS	f	s_o^2	h	F_{test}	F_{esik}
GPS-12	9	161	0.23	19	1.62	1.65
NIV-12	4	21	0.74	23	2.05	2.06
BUT-12	5	236	1.00	23	1.50	1.58
Hareketli Noktalar						
HNN-GPS	2 4 5 141 142 181 192 212 222					
HNN-NIV	1 2 4 112					
HNN-BUT	2 4 5 221 222					

Tablo E.2a : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, Nivelman (NIV) ve Bütünleşik (BUT) deformasyon analizi (2. ve 3. kampanya arasında)

NN	H2	H3	DH	Test	Fisher	NN	H2	H3	DH	Test	Fisher	NN	H2	H3	DH	Test	Fisher
GPS23	(mm)	(mm)	(mm)		.95;1,f	NIV23	(mm)	(mm)	(mm)		.95;1,f	BUT23	(mm)	(mm)	(mm)		.95;1,f
5	15.64	6.46	-9.17	20.52	3.88	5						5	15.38	4.11	-11.27	11.59	3.87
4	70.90	2.17	-68.73	5135.11	3.88	4	64.14	-8.47	-72.61	812.41	4.30	4	68.95	0.90	-68.05	3016.12	3.87
222	-8.97	-4.84	4.13	4.42	3.88	222	-11.20	-7.18	4.02	3.00	4.30	222	-8.11	-1.63	6.48	20.32	3.87
221	-11.23	-1.98	9.25	16.22	3.88	221	-10.05	-5.91	4.14	3.18	4.30	221	-6.93	-0.18	6.75	21.59	3.87
212	-12.34	-6.94	5.40	6.20	3.88	212	-11.12	-5.70	5.42	6.36	4.30	212	-9.52	-1.90	7.62	22.12	3.87
211	-7.60	-1.59	6.01	8.46	3.88	211	-9.99	-5.18	4.81	5.01	4.30	211	-7.43	-1.12	6.32	15.34	3.87
202	-8.30	-0.97	7.33	13.75	3.88	202	-8.14	-4.10	4.04	4.39	4.30	202	-7.46	-0.09	7.37	20.53	3.87
201	-7.58	1.96	9.55	22.91	3.88	201	-6.75	-4.97	1.78	0.85	4.30	201	-4.71	-0.68	4.04	6.17	3.87
192	-8.90	-2.15	6.76	12.69	3.88	192	-6.08	-2.91	3.17	3.50	4.30	192	-5.95	0.10	6.04	14.76	3.87
191	3.03	3.17	0.14	0.01	3.88	191	-6.17	-3.93	2.24	1.74	4.30	191	-3.48	-0.47	3.01	3.68	3.87
182	-5.61	-5.32	0.29	0.02	3.88	182	-4.45	-1.81	2.64	3.36	4.30	182	-3.67	-0.70	2.97	4.45	3.87
181	-2.03	2.95	4.98	6.02	3.88	181	-3.56	-2.01	1.55	1.16	4.30	181	-2.67	-0.34	2.33	2.70	3.87
172	2.93	0.40	-2.53	1.96	3.88	172	-2.66	-0.79	1.87	1.78	4.30	172	-1.66	-0.07	1.59	1.06	3.87
171	2.39	0.50	-1.89	0.96	3.88	171	-0.84	-0.35	0.48	0.12	4.30	171	-0.84	0.37	1.21	0.59	3.87
162	5.20	-0.86	-6.06	10.41	3.88	162	1.44	0.69	-0.76	0.31	4.30	162	1.46	0.00	-1.46	0.92	3.87
161	-6.21	3.02	9.22	14.45	3.88	161	2.12	1.22	-0.89	0.43	4.30	161	0.27	0.61	0.34	0.05	3.87
152	-3.44	-2.71	0.74	0.14	3.88	152	2.51	2.26	-0.25	0.04	4.30	152	0.13	-0.20	-0.32	0.05	3.87
151	-2.97	-1.28	1.69	0.76	3.88	151	3.63	2.31	-1.32	1.00	4.30	151	1.11	-0.15	-1.26	0.77	3.87
142	-2.44	0.86	3.31	2.69	3.88	142	4.64	2.71	-1.93	1.79	4.30	142	1.80	0.74	-1.06	0.55	3.87
141	12.59	5.82	-6.77	6.87	3.88	141	5.67	2.75	-2.92	4.10	4.30	141	2.94	0.91	-2.04	1.96	3.87
132	-2.88	-2.56	0.32	0.03	3.88	132	5.10	3.72	-1.38	0.73	4.30	132	1.76	-0.07	-1.83	1.57	3.87
131	1.73	1.21	-0.52	0.05	3.88	131	5.96	3.66	-2.30	2.02	4.30	131	2.68	0.01	-2.67	3.28	3.87
122	1.04	-5.48	-6.52	10.33	3.88	122	6.51	4.17	-2.34	1.60	4.30	122	3.31	-0.49	-3.79	6.88	3.87
121	9.62	4.23	-5.39	5.57	3.88	121	7.57	4.20	-3.37	3.33	4.30	121	4.48	0.03	-4.46	9.27	3.87
112	3.65	-0.70	-4.35	4.85	3.88	112	8.38	4.27	-4.11	3.83	4.30	112	5.20	0.42	-4.79	11.99	3.87
111	7.27	5.73	-1.54	0.67	3.88	111	8.18	4.12	-4.07	3.76	4.30	111	5.09	0.66	-4.43	11.42	3.87
6	5.53	1.14	-4.39	16.02	3.88	6						6	5.13	0.19	-4.94	9.17	3.87
3	5.27	-1.44	-6.71	43.84	3.88	3	6.67	2.11	-4.56	3.28	4.30	3	4.43	-0.17	-4.61	13.28	3.87
2	40.49	-2.13	-42.62	2183.56	3.88	2	44.72	4.86	-39.86	283.64	4.30	2	41.16	-0.75	-41.90	1583.93	3.87
1	4.84	0.05	-4.79	11.80	3.88	1	12.63	6.66	-5.97	4.37	4.30	1	7.28	0.12	-7.16	19.44	3.87



Şekil E.2a : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT yükseklik değişimleri (2. ve 3. kampanyalar arası)

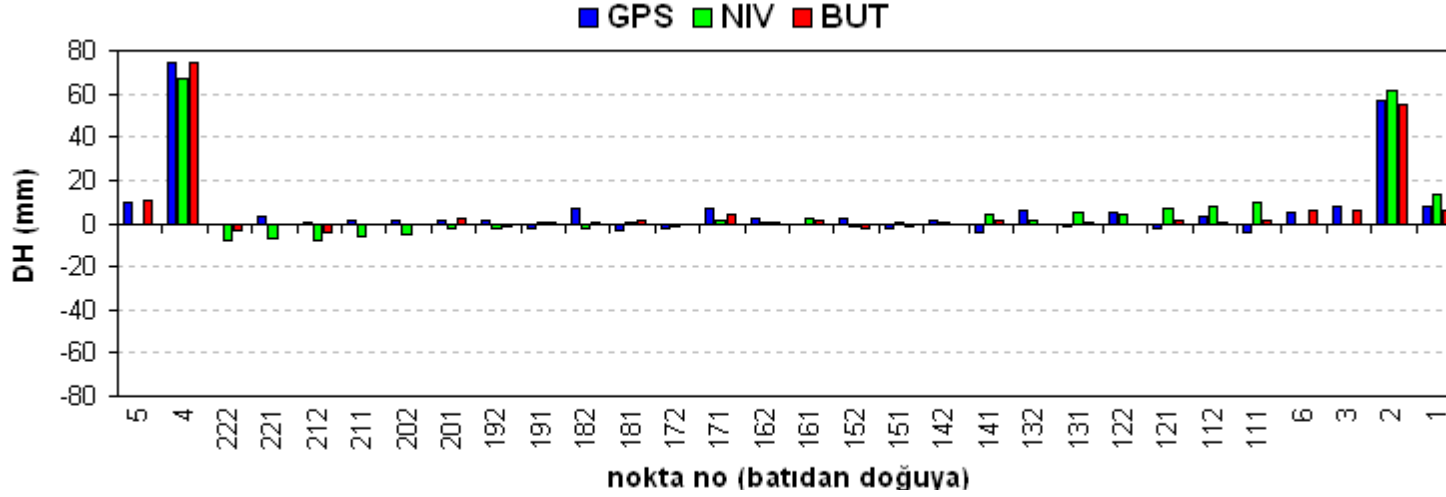
Tablo E.2b : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT global test sonuçları (2. ve 3. kampanyalar arası)

1B-K23	HNS	f	s_o^2	h	F_{test}	$F_{eşik}$
GPS-23	20	242	0.30	9	1.48	1.92
NIV-23	6	22	0.34	21	2.05	2.06
BUT-23	17	318	1.00	12	1.18	1.78
Hareketli Noktalar						
HNN-GPS	1 2 3 4 5 6 112 121 122 141 161 162 181 192 201 202 211 212 221 222					
HNN-NIV	1 2 4 202 211 212					
HNN-BUT	1 2 3 4 5 6 111 112 121 122 192 201 202 211 212 221 222					

Tablo E.3a : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, Nivelman (NIV) ve Bütünleşik (BUT) deformasyon analizi (3. ve 4. kampanya arasında)

GN	H3	H4	DH	Test	Fisher	GN	H3	H4	DH	Test	Fisher	GN	H3	H4	DH	Test	Fisher
GPS34	(mm)	(mm)	(mm)		.95;1,f	NIV34	(mm)	(mm)	(mm)		.95;1,f	BUT34	(mm)	(mm)	(mm)		.95;1,f
5	6.47	15.80	9.33	38.49	3.87	5						5	4.23	15.21	10.98	40.20	3.87
4	2.17	76.53	74.36	6353.48	3.87	4	-8.14	58.65	66.79	240.66	4.23	4	1.02	75.61	74.59	4648.86	3.87
222	-4.83	-5.37	-0.53	0.07	3.87	222	-6.85	-14.76	-7.90	4.12	4.23	222	-1.50	-4.45	-2.94	3.68	3.87
221	-1.97	1.03	3.00	1.67	3.87	221	-5.58	-12.16	-6.58	2.85	4.23	221	-0.05	-0.52	-0.47	0.09	3.87
212	-6.93	-6.86	0.07	0.00	3.87	212	-5.37	-13.20	-7.82	4.97	4.23	212	-1.78	-5.74	-3.96	5.70	3.87
211	-1.58	-0.52	1.06	0.24	3.87	211	-4.85	-10.48	-5.63	2.58	4.23	211	-0.99	-1.85	-0.85	0.29	3.87
202	-0.96	0.43	1.39	0.55	3.87	202	-3.77	-8.92	-5.15	2.90	4.23	202	0.04	-0.47	-0.50	0.11	3.87
201	1.97	3.09	1.13	0.29	3.87	201	-4.64	-6.99	-2.35	0.61	4.23	201	-0.55	1.68	2.24	2.09	3.87
192	-2.14	-0.33	1.81	0.86	3.87	192	-2.58	-4.99	-2.41	0.86	4.23	192	0.22	-0.82	-1.04	0.46	3.87
191	3.18	0.81	-2.37	1.32	3.87	191	-3.60	-3.52	0.09	0.00	4.23	191	-0.35	0.51	0.85	0.30	3.87
182	-5.32	1.43	6.75	11.74	3.87	182	-1.48	-4.08	-2.60	1.31	4.23	182	-0.58	-0.28	0.30	0.04	3.87
181	2.96	-0.46	-3.42	2.35	3.87	181	-1.68	-1.16	0.52	0.05	4.23	181	-0.22	1.13	1.35	0.72	3.87
172	0.40	-1.69	-2.09	1.13	3.87	172	-0.47	-2.14	-1.68	0.65	4.23	172	0.06	-0.51	-0.57	0.13	3.87
171	0.50	7.66	7.16	10.14	3.87	171	-0.03	1.42	1.45	0.48	4.23	171	0.50	4.92	4.42	7.87	3.87
162	-0.85	1.32	2.17	1.16	3.87	162	1.01	1.49	0.48	0.05	4.23	162	0.12	0.42	0.30	0.04	3.87
161	3.02	2.40	-0.62	0.08	3.87	161	1.55	3.96	2.41	1.34	4.23	161	0.73	2.43	1.70	1.21	3.87
152	-2.70	-0.23	2.47	1.32	3.87	152	2.58	1.12	-1.47	0.42	4.23	152	-0.07	-2.45	-2.37	2.18	3.87
151	-1.27	-3.21	-1.94	0.72	3.87	151	2.63	3.53	0.90	0.16	4.23	151	-0.02	-1.65	-1.62	1.07	3.87
142	0.87	2.31	1.44	0.61	3.87	142	3.04	3.47	0.43	0.03	4.23	142	0.86	0.29	-0.57	0.15	3.87
141	5.82	1.76	-4.06	3.31	3.87	141	3.08	7.01	3.94	2.30	4.23	141	1.03	2.31	1.28	0.69	3.87
132	-2.55	3.83	6.38	6.00	3.87	132	4.04	5.58	1.54	0.26	4.23	132	0.05	-0.79	-0.84	0.23	3.87
131	1.21	-0.41	-1.63	0.51	3.87	131	3.98	8.87	4.89	2.62	4.23	131	0.13	0.89	0.76	0.22	3.87
122	-5.48	-0.64	4.83	5.96	3.87	122	4.49	8.65	4.16	1.41	4.23	122	-0.36	-1.29	-0.92	0.36	3.87
121	4.24	2.11	-2.12	0.79	3.87	121	4.53	11.83	7.30	4.33	4.23	121	0.15	1.75	1.60	0.97	3.87
112	-0.69	2.58	3.27	2.90	3.87	112	4.59	12.25	7.66	3.61	4.23	112	0.54	1.24	0.70	0.24	3.87
111	5.73	1.87	-3.86	3.66	3.87	111	4.44	14.30	9.85	5.96	4.23	111	0.78	2.41	1.63	1.24	3.87
6	1.14	5.84	4.70	16.94	3.87	6						6	0.32	6.13	5.81	17.40	3.87
3	-1.43	6.23	7.66	47.96	3.87	3						3	-0.05	5.53	5.58	20.86	3.87
2	-2.12	54.58	56.70	4765.30	3.87	2	5.16	66.44	61.28	185.65	4.23	2	-0.62	53.97	54.59	3710.35	3.87
1	0.06	7.46	7.41	43.03	3.87	1	6.96	20.29	13.33	6.20	4.23	1	0.24	6.50	6.25	24.42	3.87

Yükseklik Değişimi (DH34)



Şekil E.3a : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT yükseklik değişimleri (3. ve 4. kampanyalar arası)

Tablo E.3b : Ardışık kampanyalar arası 1B GPS, NIV ve BUT global test sonuçları (3. ve 4. kampanyalar arası)

1B-K34	HNS	f	s_o^2	h	F_{test}	F_{esik}
GPS-34	9	283	0.53	20	1.60	1.61
NIV-34	5	26	0.29	21	1.96	1.98
BUT-34	8	363	1.00	21	1.52	1.59
Hareketli Noktalar						
HNN-GPS	1 2 3 4 5 6 132 171 182					
HNN-NIV	1 2 4 111 212					
HNN-BUT	1 2 3 4 5 6 171 212					

ÖZGEÇMİŞ



Serdar EROL 1974 yılında Marmaris’de doğdu. Orta ve lise öğrenimini 1985-1991 yılları arasında Muğla’da tamamladı. 1992 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinde (KTÜ) başladığı Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Lisans Eğitimini 1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesinde (İTÜ) tamamladı. Yüksek Lisans çalışmasını 1998 de İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Programında tamamlayarak Yüksek Mühendis ünvanı aldı. Yüksek lisans tez çalışması Mühendislik

Yapılarındaki Deformasyonların GPS Tekniği ile İzlenmesi ve Analizidir. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Doktora Programındaki öğrenimini 1999 yılından bu yana sürdürmektedir. 1998 yılından beri de İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Çalışmalarının bir bölümünü 2004-2005 yılları arasında Calgary Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü Prof. Dr. Bill Teskey yönetimindeki Metroloji Çalışma Gurubunda gerçekleştirmiştir. Bilimsel ve teknik ilgi alanları arasında jeodezi, GPS, deformasyonların jeodezik ve jeoteknik tekniklerle izlenmesi ve analizi, farklı veri guruplarının matematiksel ve stokastik kombinasyonu, zaman serilerinin spektral analizi yer almaktadır.

e-posta: erol@itu.edu.tr