

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GPS ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE
BAŞLANGIÇ FAZ BELİRSİZLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yük. Müh. Orhan KURT

**F.B.E Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 31 Ocak 2003
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL (YTÜ)
Prof. Dr. Tevfik AYAN (İTÜ)
Prof. Dr. Rasim DENİZ (İTÜ)
Prof. Dr. Ergün ÖZTÜRK (KÜ)

İSTANBUL, 2003

İÇİNDEKİLER

	Sayfa:
SİMGE LİSTESİ	i
KISALTMA LİSTESİ	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iii
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. GPS İLE KONUM BELİRLEME	4
2.1 GPS Ölçüleri	5
2.1.1 Kod Ölçüleri	5
2.2.2 Faz Ölçüleri	6
2.2 Bağlı Konum Belirleme	9
2.2.1 İki Kez Fark Alınmış Ölçülerle (DD) Matematik Model	9
2.2.1.1 DD Fonksiyonel Modelinin Oluşturulması	10
2.2.1.2 DD Stokastik Modelin Oluşturulması	14
3. KESTİRİM YÖNTEMLERİ	17
3.1 ℓ_2 -Norm Kestirimi	18
3.1.1 BFB Çözümü	20
3.1.1.1 BFB Parametrelerinin Kestirimi	21
3.1.1.2 BFB Parametrelerinin Geçerliliği	25
3.2 ℓ_1 -Norm Kestirimi	29
4. ARDIŞIK ÇÖZÜMLER	32
4.1 ℓ_2 -Norm Kestiriminde Ardışık Çözüm	32
4.2 ℓ_1 -Norm Kestiriminde Ardışık Çözüm	33
5. BAŞLANGIÇ FAZ BELİRSİZLİĞİ ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ	34
5.1 Temel Yaklaşımlar	35
5.1.1 Tek Frekanslı Alıcılarla BFB Çözümü	35
5.1.1.1 Tek Frekanslı Alıcılarda Yalnızca Faz Ölçüleri Kullanılarak BFB Çözümü	36
5.1.1.2 Tek Frekanslı Alıcılarda Kod ve Faz Ölçüleri Kullanılarak BFB Çözümü	36
5.1.2 Çift Frekanslı Alıcılarda BFB Çözümü	36
5.1.2.1 Çift Frekanslı Alıcılarda Yalnızca Faz Ölçüleri Kullanılarak BFB Çözümü	37
5.1.2.2 Çift Frekanslı Alıcılarda Kod ve Faz Ölçüleri Kullanılarak BFB Çözümü	38

5.1.3	Araştırma teknikleri.....	39
5.1.3.1	BFB Fonksiyon Yöntemi (AFM)	41
5.1.3.2	En Küçük Kareler BFB Araştırma Yöntemi (LSAST)	41
5.1.3.3	Hızlı BFB Çözüm Yöntemi (FARA).....	42
5.1.3.4	EKK–BFB’nin Korelasyonsuzlaştırılarak Dengelemesi (LAMBDA).....	43
5.1.3.5	Hızlı BFB Araştırma Filtresi (FASF).....	46
6.	GPS’DE HATA KAYNAKLARI	49
6.1	Modellenebilen Düzenli Hatalar	50
6.1.1	Uyduya Bağımlı Düzenli Hatalar	50
6.1.1.1	Uydu Yörünge Hataları	50
6.1.1.2	Uydu Saat Hataları	51
6.1.1.3	SA ve AS Etkileri	51
6.1.2	Alıcıya Bağımlı Düzenli Hatalar	52
6.1.2.1	Alıcı Saat Hatası	52
6.1.2.2	Sabit İstasyon Koordinat Hatası	52
6.1.3	Ölçüye Bağımlı Düzenli Hatalar	52
6.1.3.1	İyonosferik Refraksiyon	53
6.1.3.2	Troposferik Refraksiyon.....	55
6.1.3.3	Başlangıç Faz Belirsizliği (BFB)	56
6.2	Modellenemeyen Düzenli Hatalar ve Rasgele Gözlem Hataları.....	58
6.2.1	Rasgele Gözlem Hataları.....	58
6.2.2	Faz Sıçraması	59
6.2.3	Yansıma Hatası.....	59
6.2.4	Anten Faz Merkezi Kayıklığı ve Değişimi.....	60
7.	DENEYSEL ÇALIŞMA	61
7.1	Geliştirilen Yazılım Özellikleri	61
7.1.1	Gözlem Penceresi	61
7.1.2	GPS Ölçülerinin Simülasyonu.....	62
7.1.3	Gözlem Dosyalarının Değerlendirilmesi.....	67
7.1.3.1	ℓ_2 –Norm Kestirimi İle Değerlendirme	68
7.1.3.2	ℓ_1 –Norm Kestirimi İle Değerlendirme	69
7.2	BFB Kestirim Yöntemlerinin Başarılarının Test Edilmesi	70
7.3	BFB Kestiriminin Bağlı Konum Bilgilerine Etkisi	71
7.3.1	Gerçek GPS Gözlemleri İle BFB Kestiriminin Bağlı Konum Bilgileri Etkisi.....	71
7.3.2	Türetilmiş GPS Gözlemleri İle BFB Kestiriminin Bağlı Konum Bilgileri Etkisi.....	75
7.4	BFB Parametrelerinin Kestirimini Etkileyen Faktörler.....	79
7.4.1	İkinci Frekansın BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi	79
7.4.2	Uydu Sayısının ve Uydu Dağılımını BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi.....	80
7.4.3	Atmosferik Refraksiyonun BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi.....	89
7.4.4	Sabit İstasyon Koordinat Hatasının BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi	92
7.4.5	Çift Frekanslı Alıcılarda Faz Kombinasyonlarının BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi.....	97
7.5	ℓ_1 –Norm Yöntemi İle BFB Kestirimi	103
8.	BULGULAR VE İRDELEMELER	107
8.1	BFB Kestiriminin Bağlı Konum Bilgilerine Etkisi	108

8.2	Uydu Sayısının ve Uydu Dağılımının BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi....	108
8.3	Atmosferik Refraksiyonun BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi.....	109
8.4	Sabit İstasyon Koordinat Hatasının BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi	109
8.5	Çift Frekanslı Alıcılarda Faz Kombinasyonlarının BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi.....	110
8.6	ℓ_1 -Norm Yöntemi İle BFB Parametrelerinin Kestirimi.....	110
9.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	112
	KAYNAKLAR.....	114
	EKLER	120
Ek 1	Geliştirilmiş Saastamoinen Troposfer Modelinin Standart Atmosfere Göre Hesaplanmış Düzeltme Terimleri ($60^\circ \leq z_i^k \leq 80^\circ$) ve Troposferik Düzeltme Değerleri ($0^\circ \leq z_i^k \leq 80^\circ$)	121
Ek 2	Geliştirilen Yazılımın Formları ve Modülleri	122
Ek 3	RINEX-V2.0 Gözlem Dosyası Başlık Bölümü ve Yayın Efemerisi.....	123
Ek 4	RINEX-V2.0 Türetilen Gözlem Dosyaları ve Gerçek BFB Dosyaları	124
Ek 5	Ek 3'deki Yayın Efemeris Dosyası, Ek 4'deki Gözlem ve Gerçek BFB Dosyaları Kullanılarak 1_2 Bazı İçin EKK Kestirim Sonuçları.....	129
Ek 6	Ek 3'deki Yayın Efemeris Dosyası, Ek 4'deki Gözlem ve Gerçek BFB Dosyaları Kullanılarak 1_2 Bazı İçin EKT Kestirim Sonuçları	131
Ek 7	Gerçek Gözlem Dosyasının Başlık Bölümü, Bütün Epoklar Kullanılarak Elde Edilmiş DD-BFB Dosyaları ve Navigasyon Dosyası.....	132
Ek 8	Grafik Dosyalar İçin Hazırlanan Çıktı Dosyası	134
Ek 9	Ek 7'deki Bilgiler ile Türetilen Dosyaların Gerçek BFB'leri Ve Bütün Epoklar Kullanılarak Elde Edilen DD-BFB'leri.....	135
	ÖZGEÇMİŞ.....	136

SİMGE LİSTESİ

n	Epok sayısı
$m+1$	Uydu sayısı
$R_i^k(t)$	t anında i alıcısı ve k uydusu arasındaki metre birimli kod ölçüsü
e_i^k	i alıcısı ile k uydusu arasındaki kod ölçüsünün hatası
f_i	Kullanılan dalga boyunu frekansı ($L1$ için $i=1$, $L2$ için $i=2$)
$t_i(t)$	t anında i alıcında okunan zaman
$t^k(t)$	t anında k uydusunda okunan zaman
τ_i^k	Sinyalin k uydusundan i alıcısına giderken geçirdiği süre
$dt_i(t)$	t anında i alıcısı saat hatası
$dt^k(t)$	t anında k uydusu saat hatası
c	Işık hızı
I_i^k	i alıcısı ile k uydusu arasında iyonosferik refraksiyon etkisi
T_i^k	i alıcısı ile k uydusu arasında troposferik refraksiyon etkisi
ρ_i^k	i alıcısı ile k uydusu arasındaki geometrik uzaklık
dm_i^k	i alıcısı ile k uydusu arasındaki kod ölçüsü yansıma hatası
$d^k(t)$	k uydusunun sinyal üretici birimi ile anteni arasında kod ölçü sinyali gecikmesi
$d_i(t)$	i alıcı anteni ile kod korelasyon birimi arasında kod ölçüsü sinyali gecikmesi
$\underline{r}^k$	k uydu kütle merkezinin konum vektörü
$\underline{dr}^k$	k uydu anteninin dış merkezlik parametresi
$\underline{r}_i$	i alıcı anteninin konum vektörü
$\underline{dr}_i$	i alıcı anteninin dış merkezlik parametresi
$\phi_i^k(t)$	t anında i alıcısı ve k uydusu arasındaki ölçülebilen periyot birimli faz ölçüsü ($ \phi_i^k(t) < 1$)
$C_i^k(t)$	t anında alınan faz ölçüsünün sayabildiği tam dalga boylarının sayısı
$\phi_i^k(t)$	t anında i alıcısı ve k uydusu arasındaki saykıl periyot birimli faz ölçüsü
$\Phi_i^k(t)$	t anında i alıcısı ve k uydusu arasındaki metre birimli faz ölçüsü
N_i^k	i alıcısı ve k uydusu arasındaki başlangıç faz belirsizliği
ε_i^k	i alıcısı ile k uydusu arasındaki faz ölçüsünün hatası
δm_i^k	i alıcısı ile k uydusu arasında faz ölçüsü yansıma hatası
$\delta^k(t)$	k uydunun sinyal üretici birimi ile anteni arasında faz ölçüsü sinyali gecikmesi
$\delta_i(t)$	i alıcı anteni ile kod korelasyon birimi arasında faz ölçüsü için sinyali gecikmesi
$\square$	Reel sayılar kümesi
$\square$	Tam sayılar kümesi
$\underline{y}$	Ötelenmiş gözlemler vektörü
$\underline{E}$	Birim matris
z_i^k	i alıcısından k uydusuna olan düşey açı
ϕ_{ip}^m	Jeomanyetik kutup ile iyonosferik nokta arasındaki küresel uzaklık
$E\{\underline{x}\}$	$\underline{x}$ vektörünün ortalama değeri
$D\{\underline{x}\}$	$\underline{x}$ vektörünün varyans-kovaryans matrisi
$ \underline{x} $	$\underline{x}$ değişkeninin mutlak değeri
$\ \underline{x}\ $	$\underline{x}$ vektörünün normu
$\det(\underline{x})$	$\underline{x}$ matrisinin determinanı
$\text{iz}(\underline{x})$	$\underline{x}$ matrisinin izi
$\text{kşgn}(\underline{x})$	$\underline{x}$ matrisinin köşegen elemanları

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AD	Almanac Data
ADOP	Ambiguity Dilution of Precision
AFM	Ambiguity Function Method
AROF	Ambiguity Resolution On the Fly
AS	Anti-Spoofing
BE	Broadcast Ephemeris
BFB	Başlangıç Faz Belirsizliği
C/A-Code	Course/Acquisition Code Correlation
DD	Double Difference
DoD	Department of Defense
EKK	En Küçük Kareler
EKT	En Küçük Toplamlar
FASF	Fast Ambiguity Search Filter
FARA	Fast Ambiguity Resolution Approach
GPS	Global Positioning System
IF	Ionosphere-free
IGS	International GPS Service
IMSL	International Mathematic Source Library
IP	Ionosphere Point
LAMBDA	Least Ambiguity Decorelation Adjustment
LSAST	Least Square Ambiguity Search Technique
MsVB	Micro Soft Visual Basic
NAVSTAR	NAVigation System Using Time And Ranging
NIMA	National Imaginary and Mapping Agency
NGS	National Geodetic Survey
NL	Narrow-Lane
NNSS	Navy Navigation Satellite System
OMEGA	Optimal Method for Estimating GPS Ambiguity
OTF	On –The-Fly
OTR	On-The-Run
PE	Precise Ephemeris
P-Code	Precise/Protected Code Correlation
RDOP	Relative Dilution of Precision
RINEX-V2.0	Receiver Independent Exchange Format-Version 2.0
SA	Selective Availability
SD	Single Difference
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SP3	Standard Product #3
TD	Triple Difference
TVEC	Total Vertical Electron Content
UT	Universal Time
WGS84	World Geodetic System, 1984
WL	Wide-Lane

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Tamsayı Belirsizliğinin Geometrik Yorumu.....	7
Şekil 2.2	Bağıl konum belirleme.....	9
Şekil 2.3	DD'yi oluşturan ilk faz ölçüleri ve tamsayı bilinmeyenleri.....	11
Şekil 6.1	Bağıl konum belirlemede, sonucu etkileyen model hataları.....	49
Şekil 6.2	İyonosferik refraksiyonun geometrisi.....	54
Şekil 6.3	GPS alıcısında, ölçülebilen faz ölçüleri; $\phi_i^k(t_j)$ ($j=1,2,...,n_t$), sayılabilen tam dalga boyları; $C_i^k(t_j)$ ve BFB; $N_i^k(t_0)$	57
Şekil 7.1	Ek 3 ve Ek 4'deki türetilmiş dosyaların uydu sayısı ve dağılımı.....	62
Şekil 7.2	Ek 3 ve Ek 4'de başlık bölümünden türetilen 50 (15sn) epokluk gözlem dosyasındaki uydu sayısı ve dağılımı.....	64
Şekil 7.3	Ek 7'de başlık bölümü verilen gerçek gözlem dosyasının gözlem penceresi.....	66
Şekil 7.4	Ek 7'de başlık bölümü verilen gerçek gözlem dosyasının değerlendirilmesi sonucunda doğru BFB kestiriminin sonuçlar üzerine etkisi ve önerilen testlerin karşılaştırılması (Ek 8).....	73
Şekil 7.5	Ek 7'de başlık bölümü verilen gerçek gözlem dosyasının değerlendirilmesi sonucunda gerçel BFB kestiriminin sonuçlar üzerine etkisi.....	75
Şekil 7.6	Ek 7'de başlık bölümü verilen türetilmiş gözlem dosyasının değerlendirilmesi sonucunda tamsayı BFB kestiriminin sonuçlar üzerine etkisi.....	77
Şekil 7.7	Ek 7'de başlık bölümü verilen türetilmiş gözlem dosyasının değerlendirilmesi sonucunda gerçel BFB kestiriminin sonuçlar üzerine etkisi.....	78
Şekil 7.8	Ek 7'de başlık bölümü verilen gerçek gözlem dosyasının L1 ve L2 üzerinde kod-faz ölçülerinin değerlendirme sonuçları.....	80
Şekil 7.9	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının değerlendirme sonuçları.....	82
Şekil 7.10	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının değerlendirme sonuçları.....	84
Şekil 7.11	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının değerlendirme sonuçları.....	85
Şekil 7.12	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının değerlendirme sonuçları.....	87
Şekil 7.13	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının değerlendirme sonuçları.....	88
Şekil 7.14	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak 10km uzunluğunda türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının atmosferik etkiler için değerlendirme sonuçları.....	90
Şekil 7.15	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak 20km uzunluğunda türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının atmosferik etkiler için değerlendirme sonuçları.....	91
Şekil 7.16	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak 10km uzunluğunda türetilmiş 20 (1sn) epokluk gözlem dosyalarının alıcı koordinatlarının değiştirilerek değerlendirme sonuçları.....	93
Şekil 7.17	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak 20km uzunluğunda türetilmiş 20 (1sn) epokluk gözlem dosyalarının alıcı koordinatlarının değiştirilerek değerlendirme sonuçları.....	95

Şekil 7.18	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak 10km uzunluğunda türetilmiş 20 (1sn) epokluk, biri hatalı ve diğeri hatasız alıcı koordinatlarına sahip gözlem dosyalarının değerlendirilme sonuçlarının karşılaştırılması.....	96
Şekil 7.19	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü, yayın efemeris dosyaları ve Şekil 8.9'daki uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak; yalın DD matematik model ve geniş-bant/dar-bant faz kombinasyonları değerlendirilme sonuçlarının karşılaştırılması.	99
Şekil 7.20	Şekil 8.12'deki uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak; yalın DD matematik model ve geniş-bant faz kombinasyonlarının, en yakın tamsayıya yuvarlayarak BFB kestirimi sonuçlarının karşılaştırılması.	100
Şekil 7.21	Şekil 8.12'deki uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak; yalın DD matematik model ve geniş-bant faz kombinasyonlarının, LAMBDA yöntemi ile BFB kestirimi değerlendirme sonuçlarının karşılaştırılması.	101
Şekil 7.22	Şekil 8.12'deki uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak; yalın DD matematik model ve geniş-bant/L2 faz kombinasyonlarının LAMBDA yöntemi ile BFB kestirimi değerlendirme sonuçlarının karşılaştırılması.	102
Şekil 7.23	Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü, yayın efemeris dosyaları ve Şekil 8.2'deki uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak; ardışık EKT çözüm sonuçları.	105

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	BFB kestirimi ve geçerliliği ile ilgili yayın sayısı (Kim ve Langley, 2000b).....	2
Çizelge 3.1	OTF çözüm teknikleri için özellikler ve seçimler (Hofman-Wellenhof vd., 1997).	24
Çizelge 5.1	α ve β çarpanlarına göre çeşitli kombinasyonlar ve özellikleri.....	37
Çizelge 5.2	Bazı BFB çözüm tekniklerinin karakteristikleri (Kim ve Langley, 2000b).....	40
Çizelge 6.1	GPS’de çeşitli uydu yörünge bilgilerinin karşılaştırılması ²	51
Çizelge 6.2	GPS’deki ölçü türlerinin dalga boyları ve ölçü duyarlılıkları ($c \approx 300$ m MHz).....	59
Çizelge 7.1	Türetilmiş dosyaların TOPCON ve FrmANA yazılımları ile değerlendirme sonuçları.....	65
Çizelge 7.2	Gerçek dosyaların TOPCON ve FrmANA yazılımları ile değerlendirme sonuçları.....	66
Çizelge 7.3	Farklı uydu dağılımı için elde edilen en kötü sonuçların karşılaştırılması.....	86

ÖNSÖZ

GPS (Global Positioning System) ile gerçek zamanlı duyarlı konum belirleme problemlerinde ölçü süresinin kısaltılması etkin Başlangıç Faz Belirsizliği (BFB) kestirimine dayanmaktadır. Bu amaçla geliştirilen BFB kestirim yöntemlerinin çoğu, normal dağılımlı ölçüler ile en optimum sonucu veren En Küçük Kareler (EKK ya da λ_2 _Norm) yöntemini kullanmaktadır. EKK kestirimine dayanan BFB çözüm yöntemlerinin genel karakteristiğini çok iyi yansıtan LAMBDA (Least AMBiguity Decorelation Adjustment) yöntemi, kısa süreli GPS ölçmelerinde BFB çözümünü belirli sınırlar içerisinde gerçekleştirir. Bu çalışmada amaçlanan bu sınırları daraltmaktır. Bu amaç çerçevesinde, BFB kestirimini etkileyen faktörler incelenmiş ve BFB kestirim aşamasında LAMBDA yöntemi kullanılmıştır. Böylece LAMBDA yönteminin farklı koşullardaki başarısı da test edilmiştir. Bu çalışmada kaba hatalara karşı duyarlı olan EKK kestirimi yerine, En Küçük Toplamlar (EKT ya da λ_1 _Norm) kestirimi denenmiştir. EKT yönteminin, kendi çözüm biçimi ve bağıl konum belirleme probleminin geometrisinden kaynaklanan kondisyon probleminden dolayı, bu probleme uygun olmadığı görülmüştür. BFB kestirimini etkileyen faktörler ve EKT yöntemi, gerçek ve simülasyonla türetilen RINEX (Receiver Independent Exchange Format) formatındaki GPS ölçüleri üzerinde denemiş ve sonuçlara gidilmiştir.

Doktora çalışmam süresince yardım ve önerilerin esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU'na, bütün akademik çalışmalarım boyunca her sıkıntımı benimle paylaşan sevgili eşim Devrim KURT'a, maddi-manevi desteğini esirgemeyen babam Osman KURT'a ve aileme teşekkür ederim.

Bu çalışma için geliştirilen yazılımda LAMBDA yöntemini oluşturan programların elde edilmesinde yardım gördüğüm; “Delft Geodetic Computing Centre (LGR), Faculty of Geodesy, Delft University of Technology”, elemanları; Prof. Dr. Peter TEUNISSEN, Dr. Paul de JONGE, Dr. Christian TIBERIUS, Peter JOONSTEN'e, EKT kestirimi yapan alt programı sağlayan Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU'na, istatistik tablo değerleri hesaplayan alt programları sağlayan Kocaeli Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Ergün ÖZTÜRK 'e ve doğrusal programlama ile ilgili önerilerde bulunan Kocaeli Üniversitesi öğretim üyesi Doç. Dr. Haluk KONAK'a yardımlaşma anlayışı konusunda gösterdikleri incelik için sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

ÖZET

Bu tezin amacı GPS (Global Positioning System) ile bağıl konum belirlemede Başlangıç Faz Belirsizliği (BFB) kestirimini etkileyen faktörleri inceleyerek, yeni bir yöntem önermek ya da var olan yöntemlere katkıda bulunmaktır. Bu amaçla BFB kestiriminin genel karakterini iyi yansıtan ve en iyi bilinen yöntemlerden biri olan LAMBDA (Least Ambiguity Decorelation Adjustment) yöntemi üzerinde durulmuştur. BFB kestirimini etkileyen faktörler incelenirken bu yöntem kullanılmış ve bu yöntemin farklı koşullardaki başarısı da test edilmiştir. BFB kestirimini etkileyen faktörler simülasyonla türetilen gözlem dosyaları üzerinde tartışılmıştır. Ayrıca, BFB'nin geçerliği için önerilen test işlemlerinin güvenilirlikleri de simülasyonla türetilen bu dosyalar üzerinde incelenmiştir.

GPS'de iki ana konum belirleme yöntemi vardır. Bunlar mutlak konum belirleme ve bağıl konum belirlemedir. Mutlak konum belirleme genellikle navigasyon amaçlı olarak ya da bağıl konum belirlemedeki yaklaşık değerleri iyileştirmek için kullanılır. Bağıl konum belirleme ise duyarlı konum belirlemenin temelini oluşturur.

Duyarlı bağıl konum belirleme; gözlem türü ya da türlerine, matematik modele, atmosferik modele ve BFB kestirimine bağlı olarak değişir. Eğer baz uzunluğu yeterince kısa ($<10\text{km}$) ise, DD (Double Differences) faz ölçü modelinde atmosferik etkiler ihmal edilir. Modelde sadece baz bileşenleri ve BFB bilinmeyenleri kalır. BFB'nin tamsayı olma ön bilgisi baz uzunluklarının duyarlıklarını güçlendirmek için kullanılır. Genellikle, en büyük olasılıklı BFB kestirimi En Küçük Kareler (EKK ya da ℓ_2 _Norm) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. Tamsayı olması gereken BFB'nin en büyük olasılıklı değerinin doğrudan elde edilebilmesini sağlayan bir yöntem bulunmamaktadır. EKK yöntemine dayanan ayrı bir araştırma tekniği kullanılır. Bu araştırma işlemini gerçekleştiren bir çok yöntem vardır. LAMBDA yöntemi bunlardan biridir. LAMBDA yöntemi, özellikle kısa süreli GPS ölçülerinde doğru BFB değerini bulmada oldukça etkilidir. Buna rağmen, bu metot ve diğer metotlar doğru DD-BFB kestirimi yapabilmek için bazı kısıtlamalar altında birkaç epok ölçüye ihtiyaç duymaktadırlar.

BFB kestiriminin son noktası anlık kestirimdir. Eğer bu mümkün olursa, bir epokluk veri duyarlı konum belirleme için yeterli olacaktır. BFB kestirimi ile ilgili çalışmalara bu aşamaya ulaşınca kadar devam edilecektir. BFB kestiriminde son noktaya ulaşabilmek için, iki ana konu üzerinde çalışılmalıdır.

- Matematik modeli geliştirmek.
- Robust bir yöntem uygulamak.

Eğer ölçüler normal dağılımlı ve model hatası yok ise EKK yöntemi en optimum sonucu vermektedir. Fakat EKK yöntemi kaba hatalara karşı oldukça duyarlıdır. GPS ölçülerinin en önemli rasgele hata kaynaklarından olan küçük yansıma hataları kaba hata niteliğindedir ve bunların parametreler üzerindeki etkileri giderilmelidir. Bu çalışmada, EKK yöntemine göre kaba hatalara karşı duyarsız olan ve yukarıdaki ikinci maddeye giren En Küçük Toplam (EKT ya da ℓ_1 _Norm) yöntemi denenmiştir. Bu yöntemin, kendi çözümleme biçimi ve bağıl konum belirleme probleminin geometrisinden kaynaklanan kondisyon probleminden dolayı, bağıl konum belirlemeye uygun olmadığı kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: GPS ile Bağıl Konum Belirleme, En Küçük Kareler (ℓ_2 _Norm) ve En Küçük Toplam (ℓ_1 _Norm) Kestirimi, Başlangıç Faz Belirsizliği Çözümü ve Geçerliliği.

ABSTRACT

This research work proposes a new method or improves the well-known methods for ambiguity resolution at relative positioning with GPS (Global Positioning System), while effective factors on it are examined. For this reason, one of most known methods being LAMBDA (Least Ambiguity Decorelation Addjustment), which demonstrate general character of ambiguity estimation, is stood on. When the effective factors on ambiguity resolution are examined, the method is used and is also argued with its success of ambiguity estimation at different conditions. The factors on ambiguity estimation are studied on simulated GPS observation files at RINEX (Receiver Independent EXchange) format. Moreover, reliability of proposed test procedures for ambiguity validation also inspects on the simulated observation files.

There are two main positioning methods in GPS and the other methods are derived from them. These are point positioning and relative positioning. Generally, while the first use for navigation or improve approximated point coordinates before relative positioning because of meter accuracy, the second used to precise positioning.

Relative position with centimeter or sub centimeter precision is up to some restrictions which are observation type/types, mathematical model, atmospheric models and ambiguity estimation. The restrictions are altered according to baseline length. If the length of the baseline is sufficiently short ($<10\text{km}$), atmospheric effects are ignored at DD phase observation model. Then unknowns of baseline components and integer DD ambiguities are only remained in the model. Most likely integer ambiguities are generally determined by Least Squares (LS or ℓ_2 _Norm estimation). But the ambiguities after the LS are float numbers. Since it is known that the ambiguities are to be integer numbers, the most likely integer ambiguities are computed from the ordinary LS solution via a discrete search process. There are a lot of methods for that process. One of them is LAMBDA method. LAMBDA method is very efficient to find correct integer DD ambiguities for especially short observation time span. In spite of this, this method and the other methods need some epoch observations to estimate correct DD ambiguities under some restrictions

End point for DD integer ambiguity estimation is instantaneous estimation. If this is possible, one epoch data is enough to centimeter or sub centimeter precision of positioning. Studies about DD integer ambiguity estimation will continue to the stage. To reach the end point DD ambiguity estimation, one has to study on two main topics or improved them.

- To improve the mathematical model.
- To use robust estimation methods.

If observations are normally distributed and the model is complete, then the LS gives most optimum results for relative positioning, too. But, LS is very sensitive to outliers in the observations. Short multipath, one of important random errors sources, is like outlier and its effect has to be reduced on parameters. In this study, it is proposed ℓ_1 _Norm estimation that is more insensitive to outliers than LS for the second topic. End of this study, It is convinced that ℓ_1 _Norm estimation is not suitable for the relative positioning due to its solution type and condition problem in geometry of the relative position with GPS.

Keywords: Relative Positioning with GPS, ℓ_2 _Norm and ℓ_1 _Norm Estimations, Ambiguity Resolution and Validation.

1. GİRİŞ

Yapay uydular 30 yıldan fazladır duyarlı konum belirleme için kullanılmaktadır. NNSS (Navy Navigation Satellite System) ya da TRANSIT olarak adlandırılan ve 1967'den beri sivil amaçlar için oluşturulmuş olan sistemin kullanımı birkaç saatlik Doppler ölçülerinin değerlendirilmesi sonucu, desimetre doğrulukta mutlak konum belirlemeyi olanaklı kılmaktaydı. Bu uydu sistemi başlıca navigasyon amaçlı olarak, doğal kaynakların araştırılmasında ve jeodezik ağların ölçülmesinde kullanılmıştır. Bu durum NAVSTAR GPS'in (Navigation System Using Time And Ranging, Global Positioning System) ya da GPS'in ortaya çıkması ile değişmiştir. GPS, ABD'nin (Amerika Birleşik Devletleri) Savunma Dairesi tarafından başlatılmış ve geliştirilmiştir. Sistemin başlangıçtaki amacı, ABD'nin askeri hizmetlerinde navigasyon için kullanmaktır. Sistemin doğruluk potansiyelinin yüksek olması ve alıcı teknolojisindeki son gelişmeler, çeşitli sivil uygulamalarda (navigasyon, jeodezik konum belirleme, .. vb.) GPS kullanımından yararlanan kişi sayısını artmasına neden olmuştur (Frei, 1990; Hofmann-Wellenhof vd., 1997). Sistemin genel yapısı ve işleyişi ile ilgili genel bilgilere (Seeber, 1993; Hofmann-Wellenhof vd., 1997; Leick, 1997; Teunissen ve Kleusberg, 1998; Kahveci ve Yıldız, 2001) kaynaklarından ulaşılabilir.

Yermerkezli üç boyutlu konum belirleme sistemi (GPS) uydulardan yayımlanan radyo dalgaları yardımıyla, uydu yörünge parametrelerinin ve yayın zamanının yerdeki alıcılarla kaydedilmesi yoluyla uydu ile yer noktası arasındaki uzaklığın belirlenmesi temeline dayanır. Aynı yer noktasından dört uyduya olan uzaklıklar belirlenerek “Uzunluklarla Geriden Kestirme” yöntemiyle yer noktasının Yermerkezli Üç Boyutlu Koordinatları $(X,Y,Z)_{WGS84}$; uydu yörüngelerinin tanımlanmış olduğu Dünya Jeodezik Sistemi WGS84'de (World Geodetic System, 1984) hesaplanabilmekte ve GPS alıcılarının saat hataları belirlenebilmektedir (Öztürk, 1993).

Günümüzde sabit bir alıcı etrafındaki hareketli alıcılar ile sabit alıcıya olan uzaklıkları 10km'ye kadar olan komşu noktaların bağıl koordinatları $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_{WGS84}$, tekrarlama hızı hızlı statik yöntemle 2 ile 5 dakika arasında değişen kısa sürelerde santimetre duyarlılıkla elde edilmektedir. Kısa süreli ölçmelerde duyarlılığın oldukça artmasının nedeni Başlangıç Faz Belirsizliği (BFB) kestirim algoritmalarının gelişmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

GPS ile konum belirlemek için yapılan ölçüler, kod ve faz olmak üzere iki türdür. Kod ölçüleri genellikle navigasyon amaçlı kullanılırlar. Presizyonlu çalışmalarda ise faz ölçüleri kullanılır. Faz ölçülerinin tek zayıflığı, ölçüm başlangıç anında taşıyıcı dalgaının tam dalga

boylarının sayısının bilinmemesidir. Doğası gereği tamsayı olması gereken bu değer BFB olarak adlandırılır. Ortamdan, uydu-alıcı donanımından ..vd. nedenlerle oluşan hatalar faz ölçülerine ve dolayısı ile BFB'ne yansımaktadır. Doğrudan elde edilemeyen bu değer, ölçme modeli içerisine bilinmeyen parametre olarak eklenerek kestirilmeye çalışılır. Çözüm sonucunda rasgele ölçme hataları ve modelde yeterince yansıtılamayan bazı parametrelerin etkileri BFB gerçel sayı olarak elde edilmesine neden olur. Tamsayı olması gereken BFB'nin çözümü için En Küçük Kareler (EKK) kestirim fonksiyonu kullanan ve istatistik testlere dayanan bir çok çözüm yöntemi geliştirilmiştir ve halende geliştirilmektedir. Kim ve Langley (2000b) yayınlarında, BFB kestirimi ile ilgili çalışmaların yıllara göre artışını göstermektedirler (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1 BFB kestirimi ve geçerliliği ile ilgili yayın sayısı (Kim ve Langley, 2000b).

Yıllar	Yayın Sayısı
1981–1984	1
1985–1989	24
1990–1994	123
1995–1999	177
Toplam	325

Tamsayı belirsizliğinin çözümü için geliştirilen yöntemlerin çoğu, faz ölçülerin doğrusal kombinasyonlarından biri olan, iki kez fark alınmış gözlemleri (Double-Differences; DD) ve kestirim fonksiyonu olarak da EKK kestirim fonksiyonu kullanır. BFB'nin doğrusal kombinasyonları da tamsayı olacağından DD ölçülerinin BFB'leri de tamsayı olarak kestirilecektir. İki nokta arasındaki bağıl konum bilgileri, tamsayı olarak kestirilen BFB'lerine göre hesaplanır. BFB'nin tamsayı olarak kestirilmesi sonucunda elde edilen bağıl konum bilgilerinin duyarlılıkları, gerçel çözüm sonucunda bulunan bağıl konum bilgilerine göre çok daha iyidir.

Kinematik uygulamaların önem kazandığı günümüzde BFB araştırma teknikleri daha yaygın kullanılmaktadır. Ölçü sayısı kinematik uygulamalara göre daha fazla olan statik ölçmelerde de BFB araştırma teknikleri kolaylıkla kullanılabilir. Bu nedenle bu çalışmada BFB araştırma teknikleri daha yoğun olarak incelenecektir.

Duyarlı sonuçların elde edilebilmesi için gerekli olan BFB tamsayı değerlerinin kestirimi için geliştirilen ve önerilen yöntemlerin hiç birisi anlık (bir epokluk ölçü ile) ya da kısa sürelerde BFB belirlemede yeterince güvenilir değillerdir. Yöntemlerin güvenilirlikleri, alıcının çift ya da

tek frekanslı olmasına, uydu sayısına ve uydu geometrisine göre değişmektedir. Doktora çalışmasında BFB kestirimi için önerilecek olan yöntemin karşılaştırılacağı ve kabul görmüş bir yöntem olan LAMBDA (Least AMBiguity Decorelation Aadjustment) yöntemi için durum aynıdır. Buna rağmen, LAMBDA yöntemi uygun koşullarda (kullanılan alıcılar çift frekanslı ise, uydu sayısı ≥ 6 ve model hatası yok ise) anlık konum belirleme amacını sağlamaktadır. Odijk (2001) yayınında LAMBDA yönteminin 1 epokluk ölçü ile BFB kestiriminde başarılı olduğunu vurgulamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, BFB kestirimini etkileyen faktörleri inceleyerek, günümüzde kullanılan yöntemlerden daha güvenilir sonuçlar elde eden bir yöntem geliştirmek ya da mevcut yöntemlere katkıda bulunmaktır. Yapılan çalışmalar sonucunda önerilecek böyle bir yöntemin iki konu üzerinde yoğunlaştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

- DD matematik modelini güçlendirmek.
- Robust bir yöntem uygulamak.

Bu tezde, yukarıdaki ikinci maddeye giren kestirim fonksiyonu değişikliği denenmiş ve ℓ_2 -Norm (EKK) yerine ℓ_1 -Norm (En Küçük Toplam, EKT) kestirim fonksiyonu kullanılmıştır. ℓ_1 -Norm kestiriminde, yaygın olarak kullanılan DD matematik modeline Barrodale ve Roberts'in önerdikleri algoritmalar uygulanmıştır (Barrodale ve Roberts, 1973, 1974, 1978, 1980). ℓ_1 -Norm kestiriminin yapısı ve GPS ile bağlı konum belirlemenin yapısından dolayı, bu kestirimin bu probleme uygun olmadığına karar verilmiştir.

Yaygın olarak kullanılan ℓ_2 -Norm'a dayalı BFB kestirimini etkileyen faktörler incelenmiştir. Bu faktörler; atmosferik etkiler, uydu sayısı ve dağılımı, istasyon (alıcı) nokta koordinatlarındaki hatalar şeklinde sıralanabilir. Aynı zamanda farklı kaynaklarda verilen 10 km ya da 20 km kısa baz sınırı, yukarıdaki faktörler ışığında belirginleştirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca L1 ve L2 üzerinden faz kombinasyonlarının güvenilir BFB kestirimi üzerine etkileri tartışılmıştır.

Yukarıda bahsedilen incelemelerin hepsi, gerçek baz ve gerçek BFB'leri bilinen RINEX (Receiver Independent EXchange) formatında simülasyonla türetilen dosyalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Denemelerin çoğunda klasik araştırma tekniğine göre çok hızlı ve etkin olan LAMBDA yöntemi kullanılmıştır. Böylece, LAMBDA yönteminin farklı koşullardaki başarısı da test edilmiştir.

2. GPS İLE KONUM BELİRLEME

GPS ile konum belirleme; yer merkezli koordinatların $(X,Y,Z)_{WGS84}$ ya da sabit bir nokta ile diğer bir başka nokta arasındaki koordinat farklarının $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_{WGS84}$ belirlenmesi temeline dayanır. Birincisi mutlak konum belirleme, ikincisi ise bağıl konum belirleme olarak adlandırılır. Mutlak konum koordinatları metre civarında duyarlıklarda olup genellikle navigasyon amaçlı kullanılmaktadır. Bir noktanın sabit alınarak diğer bir başka noktanın koordinatlarının sabit noktaya göre belirlendiği, santimetre ve milimetre duyarlıklı konum bilgilerinin elde edildiği bağıl konum belirleme yönteminin jeodeziciler için önemi büyüktür. Duyarlı sonuçlar elde edilmesi nedeniyle jeodezik amaçlı ağlar bağıl konum koordinatlarıyla oluşturulurlar. Bu çalışmada bağıl konum belirleme ayrıntılı olarak işlenecek mutlak konum belirlemeye değinilmeyecektir. Mutlak konum belirleme için (Leick, 1995; Hofmann-Wellenhof vd., 1997; Strang ve Borre vd., 1997; Teunissen ve Kleusberg, 1998; Kurt, 1996) kaynaklarından yararlanılabilir.

Bağıl konum belirleme modeli; i ve j noktalarında k ve l gibi iki uyduya yapılan eş zamanlı gözlemlerle, bir kez fark alınmış (Single-Differences, SD), iki kez fark alınmış (DD) ve üç kez fark alınmış (Triple-Differences, TD) gözlemler şeklinde ölçülerin doğrusal kombinasyonları olarak düşünülebilir. Bir çok ölçü sonrası değerlendirme işlemlerinde bu ölçü kombinasyonları kullanılır.

Alıcıdan, atmosferden ve uydudan kaynaklanan düzenli hatalar ilk faz ölçülerine doğrudan yansır. Faz ölçülerin doğrusal kombinasyonları, ölçülen baz uzunluğuna göre bu düzenli hataların etkilerini azaltır ya da tamamen ortadan kaldırır. Örneğin alıcılar arasındaki SD uydu saat hatasını ortadan kaldırırken, uydu koordinat hatalarını ve atmosferik hataların etkilerini azaltır. DD alıcı saat hatalarının farklarını tamamen ortadan kaldırırken ve SD’de etkileri azalan diğer hataların etkilerini daha da azaltır. TD ise tamsayı bilinmeyen problemi etkisiz hale getirir ve kalan etkileri daha da azaltır.

SD bağıl konum belirleme modeli düzenli ve rasgele hataların etkilerini yeterince ortadan kaldıramaz. Bu durum BFB parametrelerinin baz bileşenleri bilinmeyenlerinden ayırtılamamasına neden olur. TD matematik modelinde, epoklar arası oluşan cebrik korelasyon ölçü süresi artıkça çözümü güçleştirmektedir. SD’ye göre daha çok hatayı elimine eden, TD’ye göre cebrik korelasyonu daha az olan ve stokastik modeli daha basit oluşturulan

DD bir çok ticari ve akademik çalışmalarda bağıl konum belirlemenin temel matematik modelini oluşturur. Tek sakıncası modelde BFB bilinmeyenlerini hala içermesidir.

Bu bölümde GPS ölçüleri tanımlanıp modellendikten sonra, bağıl konum belirlemede DD matematik modelin oluşturulmasından bahsedilecektir.

2.1 GPS Ölçüleri

GPS ölçüleri, uydudan yayınlanan sinyalin geçtiği yol boyunca geçirdiği sürenin ölçülmesi ile ya da alınan sinyal ile alıcıda üretilen aynı özellikli sinyalin karşılaştırılması ile oluşturulan faz farklarının ölçülmesi ile elde edilirler. Burada biri uyduda diğeri alıcıda olan iki saat vardır. Uydu ve alıcı saatlerinin kayıklıkları, atmosferik etkiler, uydu yörünge hataları vb. nedeniyle ilk ölçüler hatalıdır ve bu ölçüler psoydo uzunluklar olarak adlandırılır.

2.1.1 Kod Ölçüleri

Kod ölçüsü R_i^k , sinyalin alıcıya ulaştığı alıcı zamanındaki an t_i ve sinyalin uydudan yayınlandığı uydu zamanındaki an t^k arasındaki zaman farkının, ışığın boşluktaki hızı c ile çarpımına eşittir. Kod ölçüleri f_1 ve f_2 sinyal frekansları üzerinden duyarlı kod (P-kod) korelasyon kullanılarak ve/ya da f_1 sinyal frekansı üzerinden kaba kod (C/A-kod) korelasyonu kullanılarak elde edilirler (Teunissen ve Kleusberg, 1998).

Gerçek zaman t , sinyal seyahat süresi τ_i^k , uydunun kod üretici biriminde $t - \tau_i^k$ anında uydu saatinde okunan zaman $t^k(t - \tau_i^k)$, uyduda üretilen kodun alıcının kod korelasyon birimine ulaştığı t anında alıcıda okunan zaman $t_i(t)$, rasgele kod ölçü hatası e_i^k olmak üzere, kod ölçüsü (2.1) bağıntısına göre RINEX formatında metre birimli olarak kaydedilir:

$$R_i^k(t) = c [t_i(t) - t^k(t - \tau_i^k)] + e_i^k. \quad (2.1)$$

Uydu saat hatası $dt^k(t - \tau_i^k)$, alıcı saat hatası $dt_i(t)$ olmak üzere, gerçek zaman ile uydu ve alıcı zamanları arasındaki ilişki:

$$t_i(t) = t + dt_i(t), \quad (2.2)$$

$$t^k(t - \tau_i^k) = t - \tau_i^k + dt^k(t - \tau_i^k) \quad (2.3)$$

bağıntıları ile gerçekleştirilir. Sinyal seyahat süresi τ_i^k , kendisini oluşturan bileşenlere ayrıştırılırsa, (2.4) bağıntısı elde edilir:

$$\tau_i^k = d^k(t - \tau_i^k) + \{ I_i^k + T_i^k + \rho_i^k(t, t - \tau_i^k) + dm_i^k \} / c + d_i(t). \quad (2.4)$$

Burada, $d^k(t - \tau_i^k)$; uydunun sinyal üretici birim ile uydu anteni arasındaki sinyal gecikmesi, I_i^k ; iyonosferik refraksiyon etkisi, T_i^k ; troposferik refraksiyon etkisi, $\rho_i^k(t, t - \tau_i^k)$; uydu ile alıcı arasındaki geometrik uzunluk, dm_i^k ; sinyal yansıma (multipath) etkisi, $d_i(t)$; alıcı anteni ile alıcı kod korelasyon birimi arasındaki sinyal gecikmesidir. (2.2), (2.3) ve (2.4) eşitlikleri (2.1)'de yerine yazılırsa, kod ölçü modeli:

$$R_i^k(t) = \rho_i^k(t, t - \tau_i^k) + c [dt_i(t) - dt^k(t - \tau_i^k)] + I_i^k + T_i^k + dm_i^k + c [d_i(t) + d^k(t - \tau_i^k)] + e_i^k \quad (2.5)$$

şekline dönüşür. Uydunun kütle merkezinin konum vektörü $\underline{r}^k$ ve antenin dış merkezlik parametresi $d\underline{r}^k$, alıcı antenin konum vektörü $\underline{r}_i$ ve alıcı antenin dış merkezlik parametresi $d\underline{r}_i$ büyüklükleri yardımı ile uydu-alıcı arası geometrik uzunluk:

$$\rho_i^k(t, t - \tau_i^k) = \left\| \{ \underline{r}^k(t - \tau_i^k) + d\underline{r}^k(t - \tau_i^k) \} - \{ \underline{r}_i(t) + d\underline{r}_i(t) \} \right\| \quad (2.6)$$

bağıntısı ile modellenir. Burada, “ $\| \underline{x} \|$ ” gösterimi $\underline{x}$ vektörünün normu anlamındadır. (2.6)'daki geometrik uzunluk (2.5)'de yerine yazılırsa kod ölçüleri ile alıcı koordinatları ilişkilendirilmiş olur (Teunissen ve Kleusberg, 1998):

$$R_i^k(t) = \left\| \{ \underline{r}^k(t - \tau_i^k) + d\underline{r}^k(t - \tau_i^k) \} - \{ \underline{r}_i(t) + d\underline{r}_i(t) \} \right\| + I_i^k + T_i^k + dm_i^k + c [dt_i(t) - dt^k(t - \tau_i^k)] + c [d_i(t) + d^k(t - \tau_i^k)] + e_i^k. \quad (2.7)$$

Kod ölçüleriyle elde edilen uzunlukların duyarlılığı kullanılan dalga boyunun (ya da cip uzunluğunun) %1'i kadardır. Bu, kaba kod (C/A-Code) için 3m, duyarlı kod (P-Code) için 0.3m'dir. Son yıllardaki gelişmeler kod ölçüsü için duyarlılığın dalga boyu uzunluğunun % 0.1 civarında elde edileceğini göstermiştir (Hofmann-Wellenhof vd., 1997).

2.1.2 Faz Ölçüleri

Taşıyıcı faz ϕ_i^k , sinyalin alım anında alıcıda üretilen taşıyıcı dalganın fazı ϕ_i ile, sinyalin yayımlanma anında uyduda üretilen taşıyıcı dalganın fazı ϕ^k 'nin farkına eşittir ve RINEX formatındaki gözlem dosyalarında periyot birimli olarak yer alır. Uydu sinyali alındığında yalnızca faz parçaları ölçülür, tam dalga boyu sayısı bilinmez. Tam dalga boyu sayısı, taşıyıcı faz belirsizliği (Teunissen ve Kleusberg, 1998) ya da BFB olarak adlandırılır:

$$\phi_i^k(t) = \phi_i(t) - \phi^k(t - \tau_i^k) + N_i^k + \xi_i^k. \quad (2.8)$$

Burada, ξ_i^k ; taşıyıcı faz rasgele ölçü hatasıdır. Sabit frekans f_0 yardımıyla; alıcıda t anında alıcı zamanına göre üretilen faz:

$$\phi_i(t) = f_0 t_i(t) + \phi_i(t_0) = f_0 \{t + dt_i(t)\} + \phi_i(t_0) \quad (2.9)$$

ve uyduda $t - \tau_i^k$ zamanında uydu zamanına göre üretilen faz:

$$\phi^k(t - \tau_i^k) = f_0 t^k(t - \tau_i^k) + \phi^k(t_0) = f_0 \{t - \tau_i^k + dt^k(t - \tau_i^k)\} + \phi^k(t_0) \quad (2.10)$$

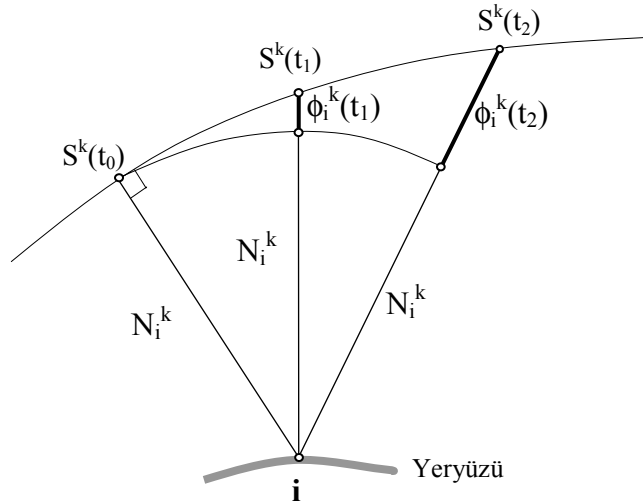
eşitliklerinin farkı alınarak aşağıdaki taşıyıcı faz ya da faz gözlem eşitliği bulunur:

$$\phi_i^k(t) = f_0 [\tau_i^k + dt_i(t) - dt^k(t - \tau_i^k)] + [\phi_i(t_0) - \phi^k(t_0)] + N_i^k + \xi_i^k. \quad (2.11)$$

Periyot birimindeki (2.11) eşitliği taşıyıcı dalganın dalga boyu $\lambda = c/f_0$ ile çarpılırsa uzunluk birimindeki faz gözlem eşitliği elde edilir:

$$\lambda \phi_i^k(t) = c \tau_i^k + c[dt_i(t) - dt^k(t - \tau_i^k)] + \lambda [\phi_i(t_0) - \phi^k(t_0)] + \lambda N_i^k + \varepsilon_i^k. \quad (2.12)$$

Kod ölçüleri için gözlem eşitliği (2.5)'e benzer olarak, eşitliğin sağındaki ilk iki terim taşıyıcı dalganın sinyal seyahat süresini ve alıcı-uydu saat hatalarını göstermektedir. Üçüncü terim alıcı ve uydu faz üreticilerinin sıfırdan farklı başlangıç fazlarını gösterir ve sabittir. Dördüncü terim BFB'ni temsil etmektedir. BFB'nin geometrik yorumu Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Başlangıç Faz Belirsizliğinin Geometrik Yorumu.

Taşıyıcı sinyal seyahat süresi yerine (2.4)'teki eşiti yazılıp ve denklem metrik büyüklüklere göre tekrar düzenlenirse, (2.13) faz ölçü denklemi elde edilir:

$$\Phi_i^k(t) = \rho_i^k(t, t - \tau_i^k) - I_i^k + T_i^k + \delta m_i^k + c [dt_i(t) - dt^k(t - \tau_i^k)]$$

$$+ c [\delta_i(t) - \delta^k(t-\tau_i^k)] + \lambda [\phi_i(t_0) - \phi^k(t_0)] + \lambda N_i^k + \epsilon_i^k. \quad (2.13)$$

Faz ölçüleri milimetreye karşılık gelen 0.01 periyottan daha iyi duyarlıkta elde edilebildiklerinden, duyarlılık gerektiren jeodezik çalışmalarda faz ölçüleri daha yaygın olarak kullanılır.

(2.5) eşitliği ile (2.13) eşitliğinin karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılır.

- Her iki denklemde geometrik uzaklık $\rho_i^k(t, t-\tau_i^k)$ yer almaktadır.
- Her iki denklemde saat hatası terimleri $c [dt_i(t) - dt^k(t-\tau_i^k)]$ yer almaktadır.
- Her iki denklemde troposferik refraksiyon etkisi T_i^k yer almaktadır.
- Her iki denklemde iyonosferik refraksiyon etkisi I_i^k ters işaretli olarak yer almaktadır.
- Kod ölçülerinin yansıma hatası dm_i^k , faz ölçü yansıma hatası δm_i^k ile değiştirilmiştir.
- Uydu kod donanım sinyal gecikmesi ve alıcı kod donanım sinyal gecikmesi $c[dt_i(t) - dt^k(t-\tau_i^k)]$, uydu faz donanım sinyal gecikmesi ve alıcı faz donanım sinyal gecikmesi $c[\delta_i(t) - \delta^k(t-\tau_i^k)]$ ile değiştirilmiştir.
- Sıfırda farklı başlangıç faz kayıklıkları $\lambda [\phi_i(t_0) - \phi^k(t_0)]$ ve BFB λN_i^k yeni iki terim olarak faz gözlem denklemlerinde yer almaktadır.

Son olarak, (2.13) eşitliğindeki geometrik uzunluk uydu-alıcı koordinatlarına ve uydu-alıcı antenlerinin faz merkezi kayıklıklarına göre açılırsa faz ölçüleri ile alıcı koordinatları ilişkilendirilmiş olur (Teunissen ve Kleusberg, 1998):

$$\Phi_i^k(t) = \left\| \{ \underline{r}_i^k(t-\tau_i^k) + d\underline{r}_i^k(t-\tau_i^k) \} - \{ \underline{r}_i(t) + d\underline{r}_i(t) \} \right\| - I_i^k + T_i^k + \delta m_i^k + c [\delta_i(t) - \delta^k(t-\tau_i^k)] + \lambda [\phi_i(t_0) - \phi^k(t_0)] + \lambda N_i^k + \epsilon_i^k. \quad (2.14)$$

Bir uydudan aynı anda iki noktada alınan faz ölçüleri, örneğin $\Phi_i^k(t)$ ve $\Phi_j^k(t)$ aynı uydulla ilgili oldukları için fiziksel olarak korelasyonludur. Genellikle fiziksel korelasyon göz ardı edilir ve sadece fark alma ile oluşan cebirsel korelasyon oluşturulur. Rasgele kod ölçü hataları vektörü $\underline{e}$ 'nin ve rasgele faz ölçü hataları vektörü $\underline{\epsilon}$ 'un umut değerleri sıfır ve varyansları sırası ile σ_R^2 ve σ_Φ^2 olan normal dağılımlı değişkenler oldukları kabulü yapılırsa, ilk kod ve ilk faz ölçüleri korelasyonsuz olurlar (Hofmann-Wellenhof vd., 1997; Santos vd., 1997).

$$\underline{e} \sim N(0, \sigma_R^2), \quad \underline{\epsilon} \sim N(0, \sigma_\Phi^2), \quad (2.15)$$

$$\underline{\Sigma}_P = \sigma_R^2 \underline{E}, \quad \underline{\Sigma}_\Phi = \sigma_\Phi^2 \underline{E}. \quad (2.16)$$

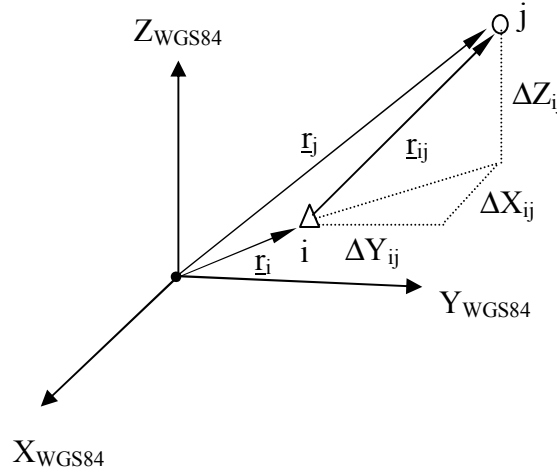
Burada, $\underline{\Sigma}_R$ ve $\underline{\Sigma}_\Phi$ sırasıyla kod ve faz ölçülerinin varyans-kovaryans matrisleri ve $\underline{E}$ birim matristir.

2.2 Bağıl Konum Belirleme

Bağıl konum belirlemenin amacı iki nokta arasındaki baz vektörünü hesaplamaktır. Bilinen nokta i, bilinmeyen nokta j ve baz vektörü $\underline{r}_{ij}$ 'yi göstermek üzere $\underline{r}_i$ vektörüne göre $\underline{r}_j$ vektörü,

$$\underline{r}_j = \underline{r}_i + \underline{r}_{ij} \quad (2.17)$$

ilişkisiyle tanımlanır (Şekil 2.2). Bilinen nokta koordinatları WGS84 koordinat sisteminde ve genellikle kod ölçülerinin çözümüyle yaklaşık olarak elde edilir. Kısa bazlarda, mutlak koordinat doğruluğu ± 20 m olan nokta, sabit olarak alınan nokta için yeterlidir.



Şekil 2.2 Bağıl konum belirleme.

BFB çözüm yöntemlerinde DD bağıl konum belirleme modeli kullanılacağından, bu çalışmada DD matematik modelinden ayrıntılı olarak bahsedilecektir. SD matematik modeli için (Wells vd., 1987; Leick, 1995; Hofmann-Wellenhof, 1997; Teunissen ve Kleusberg, 1998) kaynaklarından ve TD matematik modeli için (Wells vd., 1987; Leick, 1995; Kurt, 1996) kaynaklarından yararlanılabilir.

2.2.1 İki Kez Fark Alınmış (DD) Ölçülerle Matematik Model

Matematik modelin deterministik bölümünü yansıtan fonksiyonel model ilk kod ya da faz ölçülerinin doğrusal kombinasyonu ile oluşturulur. Matematik modelin belirsiz olan kısmını tamamlayan stokastik model ise ilk kod ya da faz ölçüleri arasında deterministik kısımda kurulan cebrik ilişkiden ve ilk ölçülerin öncül varyanslarından yararlanılarak kurulur. İlk

ölçüleri bağımsız kabul eden bu yaklaşım ölçüler arasındaki fiziksel korelasyonu yok sayar.

(Wang vd., 2002)'de bu yaklaşımın gerçekçi olmadığı vurgulanmaktadır. Bu yayında fiziksel korelasyonun da göz önüne alınarak, bağıl konum belirlemenin güvenilirliğinin artırılması gerektiğinin üzerinde durulmuştur. Tezin konusu gereği stokastik modelin fiziksel kısmına girilmemiş ve fiziksel korelasyon tez kapsamında anlatılan konular dışında bırakılmıştır. Ayrıntılı bilgi için (Wang vd., 2002) kaynağına başvurulabilir.

2.2.1.1 DD Fonksiyonel Modelinin Oluşturulması

Statik ya da kinematik bağıl konum belirlemede sabit nokta i ve bilinmeyen nokta j 'den sabit uydu k ve değişken uydu l 'ye yapılan eş zamanlı gözlemlerle elde edilen DD'nin kod ölçüleri için fonksiyonel modeli (2.7) eşitliğinden yararlanarak yazılırsa,

$$\begin{aligned} R_{ij}^{kl}(t) \approx & \left\| \{ \underline{r}^l(t-\tau_j^l) + d\underline{r}^l(t-\tau_j^l) \} - \{ \underline{r}_j(t) + d\underline{r}_j(t) \} \right\| - \left\| \{ \underline{r}^l(t-\tau_i^l) + d\underline{r}^l(t-\tau_i^l) \} - \{ \underline{r}_i(t) + d\underline{r}_i(t) \} \right\| \\ & - \left\| \{ \underline{r}^k(t-\tau_j^k) + d\underline{r}^k(t-\tau_j^k) \} - \{ \underline{r}_j(t) + d\underline{r}_j(t) \} \right\| + \left\| \{ \underline{r}^k(t-\tau_i^k) + d\underline{r}^k(t-\tau_i^k) \} - \{ \underline{r}_i(t) + d\underline{r}_i(t) \} \right\| \\ & + I_{ij}^{kl} + T_{ij}^{kl} + dm_{ij}^{kl} + e_{ij}^{kl} \end{aligned} \quad (2.18)$$

eşitliği elde edilir (Şekil 2.3). (2.7) ve (2.18) eşitlikleri karşılaştırıldığında, uydu-alıcı saat hatalarının, uydu-alıcı donanım sinyal gecikmelerinin tamamen ortadan kalktığı ve uydu-alıcı dış merkezlik parametrelerinin ihmal edilecek kadar azaldığı görülmektedir.

(2.18)'de kod ölçüleri fonksiyonel modeli (2.14) eşitliği yardımı ile faz ölçüleri için yazılırsa,

$$\begin{aligned} \Phi_{ij}^{kl}(t) \approx & \left\| \{ \underline{r}^l(t-\tau_j^l) + d\underline{r}^l(t-\tau_j^l) \} - \{ \underline{r}_j(t) + d\underline{r}_j(t) \} \right\| - \left\| \{ \underline{r}^l(t-\tau_i^l) + d\underline{r}^l(t-\tau_i^l) \} - \{ \underline{r}_i(t) + d\underline{r}_i(t) \} \right\| \\ & - \left\| \{ \underline{r}^k(t-\tau_j^k) + d\underline{r}^k(t-\tau_j^k) \} - \{ \underline{r}_j(t) + d\underline{r}_j(t) \} \right\| + \left\| \{ \underline{r}^k(t-\tau_i^k) + d\underline{r}^k(t-\tau_i^k) \} - \{ \underline{r}_i(t) + d\underline{r}_i(t) \} \right\| \\ & - I_{ij}^{kl} + T_{ij}^{kl} + \delta m_{ij}^{kl} + \lambda N_{ij}^{kl} + \epsilon_{ij}^{kl} \end{aligned} \quad (2.19)$$

eşitliği elde edilir (Şekil 2.3). (2.14) ve (2.19) karşılaştırıldığında, başlangıç faz kayıklıklarının, uydu-alıcı saat hatalarının, uydu alıcı donanım sinyal gecikmelerinin tamamen ortadan kalktığı ve uydu-alıcı faz merkezi kayıklıklarının da fark alınarak azaldığı görülmektedir. (2.18) ve (2.19) eşitlikleri GPS'de kullanılan taşıyıcı dalgaların ($L=1,2$ için $\lambda_1 \approx 0.19m$ ve $\lambda_2 \approx 0.24m$) her ikisine göre ve daha sade olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

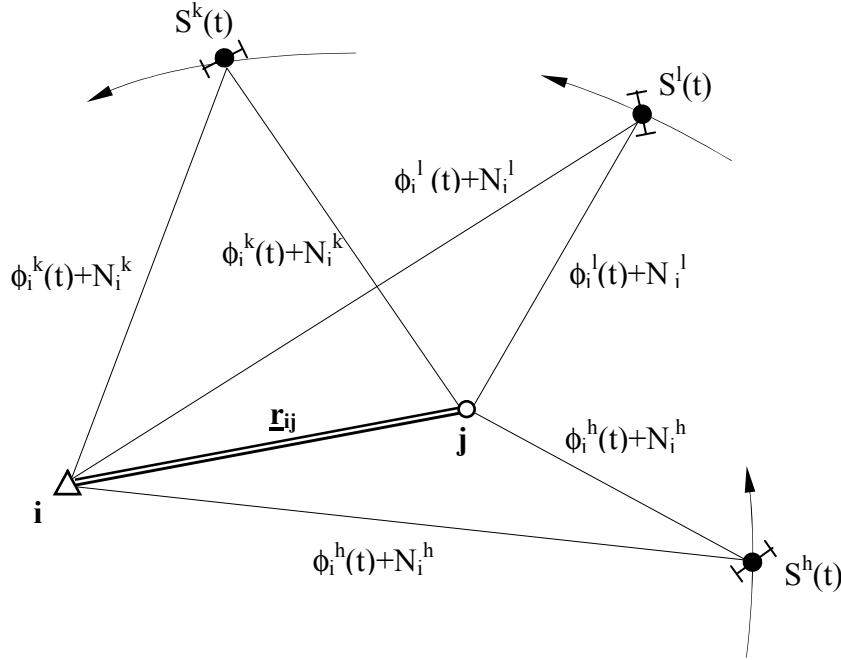
$$R_{ij,L}^{kl} \approx \left\| \underline{r}^l - \underline{r}_j \right\| - \left\| \underline{r}^l - \underline{r}_i \right\| - \left\| \underline{r}^k - \underline{r}_j \right\| + \left\| \underline{r}^k - \underline{r}_i \right\| + I_{ij,L}^{kl} + T_{ij}^{kl} + dm_{ij,L}^{kl} + e_{ij,L}^{kl}, \quad (2.20)$$

$$\Phi_{ij,L}^{kl} \approx \left\| \underline{r}^l - \underline{r}_j \right\| - \left\| \underline{r}^l - \underline{r}_i \right\| - \left\| \underline{r}^k - \underline{r}_j \right\| + \left\| \underline{r}^k - \underline{r}_i \right\| - I_{ij,L}^{kl} + T_{ij}^{kl} + \delta m_{ij,L}^{kl} + \lambda_L N_{ij,L}^{kl} + \epsilon_{ij,L}^{kl}. \quad (2.21)$$

Daha ayrıntılı bilgi için (Teunissen ve Kleusberg, 1998) kaynağından yararlanılabilir. (2.20) ve (2.21) eşitliklerinde geçen terimler (R_{ij}^{kl} , Φ_{ij}^{kl} , I_{ij}^{kl} ,) $\mathbf{x}$ bağımsız değişkeninden yararlanarak:

$$\mathbf{x}_{ij}^{kl} = \mathbf{x}_j^l - \mathbf{x}_i^l - \mathbf{x}_j^k + \mathbf{x}_i^k \quad (\mathbf{x} = P, \Phi, N, I, T, dm, e, \delta m, \varepsilon \dots) \quad (2.22)$$

şeklinde genel olarak gösterilebilir. (2.20) ve (2.21) eşitliklerinde troposferik refraksiyon her tür ölçü için aynıdır. İyonosferik refraksiyon ise taşıyıcı dalganın frekansına göre değişir. Konum vektörleri de aynı olan bu fonksiyonel modellerde geriye kalan bütün terimler farklılık gösterir.



Şekil 2.3 DD'yi oluşturan ilk faz ölçüleri ve tamsayı bilinmeyenleri.

Uydu sayısının bütün epoklarda aynı kaldığı ve sinyal kesilmesinin olmadığı durumlarda (kısa ölçü süreleri için daima geçerlidir), $m+1$ uydu sayısı, n epok sayısı olarak gösterilise, problemin tek anlamlı çözümü için

$$m \geq n + 3 \quad (2.23)$$

koşulu sağlanmalıdır. (2.20) ve (2.21) eşitlikleri doğrusallaştırılır, i noktası referans olarak kabul edilip $\Delta \underline{r}_i = \underline{0}$ alınırsa j noktasının koordinatları i noktasına göre hesaplanmış olur. Bağlı konum belirlemede de bazın uzunluğu 10km'yi geçmiyorsa,

- iyonosferik refraksiyon etkisi $I_{ij}^{kl} \approx 0$ alınır ya da modellenirse,

- troposferik refraksiyonun etkisi $T_{ij}^{kl} \approx 0$ alınır ya da modellenirse,
- yansıma hatasını etkisi dm_{ij}^{kl} ve δm_{ij}^{kl} (multipath) yeterince küçüldüğü varsayılırsa,

(2.24) ve (2.25) eşitlikleri elde edilir:

$$\Delta R_{ij}^{kl} \approx [(-\underline{u}_j^l)^T - (-\underline{u}_j^k)^T] \Delta \underline{r}_j + e_{ij}^{kl}, \quad (2.24)$$

$$\Delta \Phi_{ij}^{kl} \approx [(-\underline{u}_j^l)^T - (-\underline{u}_j^k)^T] \Delta \underline{r}_j + \lambda \Delta N_{ij}^{kl} + \epsilon_{ij}^{kl}, \quad (2.25)$$

$$\underline{u}_j^k = [\{ \underline{r}^k - (\underline{r}_j)^0 \} / (\rho_j^k)^0], \quad (\rho_j^k)^0 = \| \underline{r}^k - (\underline{r}_j)^0 \|,$$

$$\underline{u}_j^l = [\{ \underline{r}^l - (\underline{r}_j)^0 \} / (\rho_j^l)^0], \quad (\rho_j^l)^0 = \| \underline{r}^l - (\underline{r}_j)^0 \|.$$

Burada, $\underline{u}_j^k$, $\underline{u}_j^l$; j alıcısından sırası ile k ve l uydusuna olan birim vektörler, $\Delta \mathbf{x}_{ij}^{kl}$ ($\mathbf{x} = R, \Phi, N$); ötelenmiş ölçüler ya da bilinmeyen parametreleri göstermektedir (Teunissen ve Kleusberg, 1998).

Ötelenmiş gözlemler ya da bilinmeyen parametrelerin yaklaşık değerleri; istasyon noktalarının koordinatları, uyduların koordinatları ve modellenen düzenli hatalarla hesaplanırlar. $(\mathbf{x}_{ij}^{kl})^0$; ölçülerin ya da parametrelerin yaklaşık değerleridir. Örneğin $\mathbf{x} = R$ alınırsa $\Delta R_{ij}^{kl} = R_{ij}^{kl} - (R_{ij}^{kl})^0$ olur. Burada $(R_{ij}^{kl})^0 = (\rho_j^l)^0 - (\rho_j^k)^0 - (\rho_i^l)^0 - (\rho_i^k)^0$ 'dır. Diğer ötelenmiş değerler benzer şekilde türetilir.

Bütün ölçme süresince ölçülen kod ve faz ölçülerinden türetilen DD ölçüleri $\underline{y}$ vektöründe toplanırsa, fonksiyonel model:

$$\underline{y} = \underline{B} \underline{b} + \underline{A} \underline{a} + \underline{e}, \quad (2.26a)$$

$$\underline{y} = \underline{H} \underline{x} + \underline{e}. \quad (2.26b)$$

şeklindedir. (2.10a) eşitliğinde, $\underline{e}$ modellenemeyen düzenli hataları ya da eksik modellenen düzenli hataların artıkları ve rasgele ölçü hatalarının toplamı sonucunda oluşan hatalar vektörünü, $\underline{b}$ (kısa bazlarda) koordinat bilinmeyenleri vektörünü ve $\underline{a}$ DD ölçülenin BFB'lerinin toplandığı vektörü göstermektedir. $\underline{B}$ ve $\underline{A}$ matrisleri, sırası ile $\underline{b}$ ve $\underline{a}$ vektörlerinin katsayılar matrisleridir. (2.26b) eşitliğinde, bilinmeyenler vektörü $\underline{x}^T = [\underline{b}^T \underline{a}^T]$ ve katsayılar matrisi $\underline{H} = [\underline{B} \underline{A}]$ 'dır.

Teunissen (1997b) yayınında kısa bazlarda çeşitli amaçlar için tek bir baza ait matematik modelleri 3 ana başlık altında sınıflandırmıştır:

- Geometriye dayalı model,
- Geometriden bağımsız model,
- Zaman ortalamalı model.

(2.20) ve (2.21) eşitliklerinin doğrusallaştırılması sonucu elde edilen (2.24) ve (2.25) eşitlikleri geometriye dayalı DD matematik modelidir. Bu model ile oluşturulacak katsayılar matrisi alıcı-uydu geometrisini yansıtır ve bu modeldeki en önemli rolü üstlenir. En yaygın kullanılan modeldir.

(2.20) ve (2.21) eşitliklerinde $\rho_{ij}^{kl} = \|\underline{r}^l - \underline{r}_j\| - \|\underline{r}^l - \underline{r}_i\| - \|\underline{r}^k - \underline{r}_j\| + \|\underline{r}^k - \underline{r}_i\|$ alınırsa geometriden bağımsız DD matematik modelleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$R_{ij}^{kl} \approx \rho_{ij}^{kl} + e_{ij}^{kl}, \quad (2.27)$$

$$\Phi_{ij}^{kl} \approx \rho_{ij}^{kl} + \lambda N_{ij}^{kl} + \varepsilon_{ij}^{kl}. \quad (2.28)$$

(2.27) ve (2.28) eşitlikleri incelendiğinde alıcı-uydu arasındaki geometrinin ortadan kalktığı görülmektedir. Bu model baz koordinatlarını hesaplamada kullanılmaz, kısa bazlar için BFB'ni belirlemede kullanılan basit bir yöntemdir. BFB (2.27) ve (2.28) eşitliklerinden doğrudan bulunabilir. Ayrıca bu model iyonosferin etkili olduğu DD matematik modellerde, iyonosferik etkinin belirlenmesinde de kullanılır.

Zaman ortalamalı modelde, geometriye bağlı modeldeki vektörlerin ve matrislerin epoklar arası ortalaması alınır (Teunisen, 1997b). Teunisen (1997b) yayınında bu matematik modelleri tanıtmış ve geometriye dayalı model ile zaman ortalamalı modeli arasındaki ilişkiyi de göstermiştir. Bu çalışma boyunca geometriye dayalı DD matematik modeli kullanılacağından, diğer modeller için ayrıntılı bilgi (Teunisen, 1997b) kaynağından bulunabilir.

Statik DD Fonksiyonel Modeli

Statik bağıl konum belirlemede iki alıcı ölçü süresi boyunca sabit kalmaktadır. Kısa bazlarda, ölçü süresi boyunca uydu sayısının $(m+1)$ aynı kaldığı, sinyal kesilmesinin olmadığı düşünülürse, yalnızca bir faz ölçüsü için kurulan DD fonksiyonel modeli aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} \underline{y}_1 \\ \underline{y}_2 \\ \dots \\ \underline{y}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{B}(t_1) \lambda \underline{E} \\ \underline{B}(t_2) \lambda \underline{E} \\ \dots \dots \\ \underline{B}(t_k) \lambda \underline{E} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{b} \\ \underline{a} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{\varepsilon}_1 \\ \underline{\varepsilon}_2 \\ \dots \\ \underline{\varepsilon}_k \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Burada, $\underline{y}$ DD ötelenmiş gözlemler vektörü, $\underline{B}(t_k)$ k'inci epokla oluşturulan baz bileşenleri DD katsayılar matrisi, λ sinyalin dalga boyu, $\underline{E}$ birim matris, $\underline{a}$ DD-BFB'leri ve $\underline{b}$ baz bileşenleridir.

Kinematik DD Fonksiyonel Modeli

Bu modelde alıcının biri sabitken diğeri hareketli olduğu düşünülür. Bir önceki başlık altındaki koşullara göre yazılacak olan kinematik fonksiyonel modelde, BFB vektörü aynı kalırken, ikinci alıcının hareketinden dolayı baz bileşenleri vektörü değiştirmektedir.

$$\begin{bmatrix} \underline{y}_1 \\ \underline{y}_2 \\ \dots \\ \underline{y}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda \underline{E} & \underline{B}(t_1) & \underline{0} & \dots & \underline{0} \\ \lambda \underline{E} & \underline{0} & \underline{B}(t_2) & \dots & \underline{0} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda \underline{E} & \underline{0} & \underline{0} & \dots & \underline{B}(t_k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{a} \\ \underline{b}_1 \\ \underline{b}_2 \\ \dots \\ \underline{b}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{\varepsilon}_1 \\ \underline{\varepsilon}_2 \\ \dots \\ \underline{\varepsilon}_k \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Bu eşitlikte BFB vektörü, özellikle birinci sıraya alınmıştır. Kinematik modda ölçü yapılırken ikinci alıcı ilk ölçü noktasında bir süre kalır. Bunun amacı BFB'nin değerini kestirmektir. BFB'lerinin kestirilen değeri, uydu sayısının aynı kaldığı ve sinyal kesilmesi olmadığı durumda değişmez ve bütün epoklarda aynı kalır. BFB kestirilen bu tamsayı değerleri kullanarak milimetre duyarlıklılı kod ölçülerine dönüştürülen DD faz ölçüleri ile her epok için farklı olan baz bileşenleri santimetre duyarlılıkta elde edilir. Sinyal kesilmesi ya da uydu sayısında bir değişim olursa, yeni BFB tamsayı değerleri tekrar bulunarak yukarıdaki işleme devam edilir.

(2.29) ve (2.30) modellerinin BFB kestirimi açısından birbirinden çok farklı olmadığı görülmektedir. (2.30) modelinde önemli olan BFB'lerinin tamsayı değerlerinin en az veri ile elde edilmesidir. (2.29) eşitliğinde BFB tamsayı değerlerini kısa sürede çözülmesi santimetre ve santimetre altı duyarlılıklar için ölçü süresinin kısalmasına yardımcı olacaktır. Bu tez çalışması boyunca statik değerlendirme modeli üzerinde durulacaktır. Yukarıda da bahsedildiği gibi statik konum belirlemede geliştirilecek olan bir yöntemin kinematik modelde de kolaylıkla kullanılabileceği açıkça görülmektedir.

2.2.1.2 DD Stokastik Modelin Oluşturulması

Fark alınarak oluşturulan kod ya da faz kombinasyonlarının varyans-kovaryans matrisleri, bunları oluşturan fonksiyonel modelin matris vektör formunda yazılıp, ilk faz ölçülerinin varyans-kovaryansları yardımı ile genel hata yayılma kuralı ile elde edilirler. Ağırlık matrisi varyans-kovaryans matrislerinin tersi alınarak bulunur. DD ile oluşturulan ölçü kombinasyonlarının ağırlık matrisi, DD ölçü kombinasyonlarını oluşturan $\underline{F}$ ya da $\underline{G}$ matrisleri ve kod ya da faz ölçülerinin toplandığı vektör $\underline{x}$ ($\underline{x}=\underline{R}, \Phi$) yardımı ile hesaplanır (Şekil 2.3).

Sabit nokta i, bilinmeyen nokta j, uydu sayısı $m+1=4$, sabit uydu 1, değişken uydular 2, 3, 4 olmak üzere; 1-2, 1-3 ve 1-4 uydu çiftleri için yazılacak olan DD ölçüleri:

$$\underline{y} = \underline{F} \underline{x} \quad (2.31a)$$

eşitliği ile verilir. Burada, ilk faz ya da kod ölçüleri $\underline{x}$, bir uydu sabit DD ölçüler vektörü $\underline{y}$ ve bir uydu sabit DD ölçüleri türeten matris $\underline{F}$:

$$\underline{y} = \begin{bmatrix} \underline{x}_{ij}^{12} \\ \underline{x}_{ij}^{13} \\ \underline{x}_{ij}^{14} \end{bmatrix}, \quad \underline{F} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \underline{x} = \begin{bmatrix} \underline{x}_i^1 \\ \underline{x}_i^2 \\ \underline{x}_i^3 \\ \underline{x}_i^4 \\ \underline{x}_j^1 \\ \underline{x}_j^2 \\ \underline{x}_j^3 \\ \underline{x}_j^4 \end{bmatrix} \quad (2.31b)$$

şeklindedir. Kod ya da faz ölçülerini temsil eden bağımsız değişkenin fark alınmadan önceki varyans-kovaryans matrisi $\underline{\Sigma}_x = \sigma_x^2 \underline{E}$ ve ters ağırlık matrisi $\underline{Q}_x = \underline{E}$ olur. Bağımsız değişken ile türetilen bir uydu sabit DD ölçülerinin ters ağırlık matrisi:

$$\underline{Q}_y = \underline{F} \underline{Q}_x \underline{F}^T = \underline{F} \underline{F}^T = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 2 \\ 2 & 4 & 2 \\ 2 & 2 & 4 \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

şeklinde genel hata yayılma kuralı ile elde edilir. Yaygın olarak kullanılan matematik model bir uydu sabit alınarak oluşturulan bu modeldir. Eğer DD matematik modeli ardışık uydu çiftleri 1-2, 2-3 ve 3-4'e göre oluşturulursa ters ağırlık matrisi aşağıdaki gibi oluşturulmalıdır:

$$\underline{y} = \underline{G} \underline{x} . \quad (2.33a)$$

Burada, ilk faz ya da kod ölçüleri $\underline{x}$ (2.31b)'deki ile aynı kalırken, ardışık DD ölçüler vektörü $\underline{y}$ ve ilk ölçülerden ardışık DD ölçüleri türeten matris $\underline{G}$:

$$\underline{y} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{ij}^{12} \\ \mathbf{x}_{ij}^{23} \\ \mathbf{x}_{ij}^{34} \end{bmatrix}, \quad \underline{G} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.33b)$$

şeklinde oluşturulur. Bu eşitliklere genel hata yayılma kuralı uygulanırsa ardışık DD ölçülerinin ters ağırlık matrisi elde edilmiş olur:

$$\underline{Q}_y = \underline{G} \underline{G}^T = \begin{bmatrix} 4 & -2 & 0 \\ -2 & 4 & -2 \\ 0 & -2 & 4 \end{bmatrix}. \quad (2.34)$$

(2.34)'teki ters ağırlık matrisi bant genişliği 3 olan bir bant matristir. Uydu sayısı artsa da bu bandaki değerler değişmez. Uydu sayısının değişimi bu bant matrisin sadece boyutunu değiştirir. DD ölçülerinin varyans-kovaryans matrisleri, DD ölçülerinin ters ağırlık matrisleri (2.32) ve (2.34)'in ilk ölçülerin varyansı ile çarpılarak elde edilirler.

$$\underline{\Sigma}_y = \sigma_x^2 \underline{Q}_y \quad (2.35)$$

Birim ölçünün öncül varyansı σ^2 yardımı ile DD matematik modelin t anı için ağırlık matrisi,

$$\underline{P}(t) = \sigma^2 \underline{\Sigma}_y^{-1} \quad (2.36)$$

eşitliği ile hesaplanır (Santos vd.,1997). Ağırlık matrisi, uydu sayısı değişmediği sürece aynı ölçü türü için bütün epoklarda aynı kalır. Ağırlık matrisi, uydu sayısı değişimine göre (uydunun batması ya da doğması, sinyal kesilmesi, ...vb durumlarda) epoklar arasında farklılık gösterdiğinden zamana bağlı olarak gösterilmektedir.

KESTİRİM YÖNTEMLERİ

Jeodezik problemlerin çoğunda ölçü sayısı bilinmeyen sayısından büyüktür. Gereğinden fazla ölçü yapmanın amacı kestirilen parametrelerin güvenilirliğini artırmaktır. Bilinmeyen sayısından fazla olan ölçüler ile elde edilecek sonuçları tek anlamlı hale getirmek için ek fonksiyonlar kullanılır. Bu fonksiyonlar kestirim fonksiyonları olarak adlandırılır. Jeodezide ve uygulamalı bir çok bilim dalında gözlem hatlarının kareleri toplamının minimum yapıldığı kestirim fonksiyonunu kullanan EKK (ℓ_2 -Norm) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni gözlem hataları normal dağılmışsa ve model hatası yok ise en optimal çözümü vermesidir. Fakat EKK yöntemi kaba hatalı ölçülere karşı oldukça duyarlıdır ve kaba hatalı ölçülerin etkilerini kestirilen parametrelere ve düzeltmelere yansıtır. Bu özelliğinden dolayı EKK yöntemi robust bir yöntem değildir (Huber, 1981; Hekimoğlu, 1997,1998).

Jeodezik problemlerin çoğunda matematik model yeterince kurulabildiğinden robust yöntemler uyumsuz ölçüleri belirlemek için kullanılır. Uyumsuz ölçüler belirlendikten sonra yukarıda bahsedilen gerekçelerden dolayı EKK yöntemi ile parametreler ve duyarlılıkları kestirilir.

Bu çalışmada robust bir kestirim olarak kabul edilen ve gözlem hatalarının mutlak değerleri toplamının minimum yapıldığı kestirim fonksiyonunu kullanan EKT (ℓ_1 -Norm) yönteminin, BFB çözümünde kaba hataları belirlemek için uygun olup olmadığı tartışılacaktır. Problemin çözümünün doğrusal programlama ile gerçekleştirildiği EKT yönteminde, Barradole ile Roberts'in (1973, 1980) önerdikleri algoritmalar kullanılacaktır. Diğer robust yöntemlere bu tez kapsamı içinde girilmeyeceğinden ayrıntılı bilgi için (Huber, 1981; Fushs vd., 1983; Fritsch, 1985; Koch, 1999; Ata,1999) kaynaklarına başvurulabilir.

Bağıl konum belirlemede ve BFB çözümünde kullanılacak olan EKK kestirim fonksiyonu:

$$\sum e_i^2 = \min \quad (3.1)$$

ve EKT kestirim fonksiyonu:

$$\sum |e_i| = \min \quad (3.2)$$

şeklinde kısaca yazılabilir. Bu kestirim fonksiyonları ile bağıl konum belirlemenin ve BFB çözümünün nasıl gerçekleştirileceği ayrıntılı olarak incelenecektir.

ℓ_2 -Norm Kestirimi

Gauss-Markoff modeline göre, DD ölçülerinin matematik modeli (2.26a) ve (2.36) bağıntıları ile aşağıdaki gibi kurulur.

$$E\{\underline{y}\} = \underline{B}\underline{b} + \underline{A}\underline{a}, \quad D\{\underline{y}\} = \underline{\Sigma}_y = \sigma^2 \underline{P}^{-1}. \quad (3.3)$$

Rasgele gözlem hataları $\underline{e}$ olmak üzere, (3.3) matematik modeline EKK kestirim fonksiyonu $\underline{e}^T \underline{P} \underline{e} = \min$ uygulanırsa normal denklemlerin çözümü aşağıdaki gibi elde edilir. GPS'e özgü olan DD matematik modeli ve normal denklemlerin çözümü incelendiğinde iki farklı türde parametrenin var olduğu görülür:

$$\begin{bmatrix} \hat{\underline{b}} \\ \hat{\underline{a}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{\hat{\underline{b}}} & \underline{Q}_{\hat{\underline{b}}\hat{\underline{a}}} \\ \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}\hat{\underline{b}}} & \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{B}^T \underline{P} \underline{y} \\ \underline{A}^T \underline{P} \underline{y} \end{bmatrix}. \quad (3.4)$$

Burada, kısa bazlar için baz bileşenlerine ait bilinmeyenler $\hat{\underline{b}}$ ve bunların ters ağırlık matrisi $\underline{Q}_{\hat{\underline{b}}}$, BFB bilinmeyenlerinin tamsayı olması gereken gerçel değerleri $\hat{\underline{a}}$ ve bunların ters ağırlık matrisi $\underline{Q}_{\hat{\underline{a}}}$, baz bileşenleri bilinmeyenleri ve BFB bilinmeyenleri arasındaki ters ağırlık matrisi $\underline{Q}_{\hat{\underline{b}}\hat{\underline{a}}} = \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}\hat{\underline{b}}}^T$ ve (3.4) eşitliğinin en sağındaki vektör ise ilgili elemanlara karşılık gelen normal denklemlerin sabit terimler vektörünü göstermektedir. (3.4) eşitliğini istenilen koşullarda doğrudan çözen bir yöntem yoktur. (3.4)'da BFB'leri önce gerçel sayılar olarak kestirilir. Gerçel kestirim sonuçlarına dayalı olarak bir çok çözüm yöntemi geliştirilmiştir ve halen de geliştirilmektedir.

(3.4) eşitliklerinin gerçel çözümü sonucunda baz ve BFB bilinmeyenlerinin gerçel değerleri elde edilir. Ölçü süresi artırıldığında, gerçel çözüm tamsayılı çözüme yaklaşır. Gerçel çözüm sonucunda elde edilen j istasyon noktasının dengeli koordinatları i noktasına göre hesaplanmış olur.

$$\underline{r}_j = (\underline{r}_i)^0 + \hat{\underline{b}} \quad (3.5)$$

j istasyon noktasının dengeli koordinatlarını bulmakla, iki nokta arasındaki baz bileşenlerinin dengeli değerlerini bulmak eş anlamlıdır. Dengeleme bilinmeyenleri için de aynı durum söz

konusudur. Yani j istasyon noktasının dengeleme bilinmeyen i, j istasyonları arasındaki bağıl konumun dengeleme bilinmeyenleridir:

$$\underline{r}_{ij} = \underline{r}_j - \underline{r}_i = (\underline{r}_j)^0 - \underline{r}_i + \underline{\hat{b}} \quad (3.6)$$

DD ölçülerinin kestirilen düzeltmeleri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\underline{\hat{e}} = \underline{y} - \underline{B} \underline{\hat{b}} - \underline{A} \underline{\hat{a}}. \quad (3.7)$$

Sinyal kesilmesi olmadığı sürece, kısa bazlar için birim ölçünün karesel ortalama hatası şu bağıntı ile bulunur:

$$\hat{\sigma}^2 = \pm \sqrt{\underline{\hat{e}}^T \underline{P} \underline{\hat{e}} / (nm - m - 3)}. \quad (3.8)$$

Bağıl konum belirlemede amaçlanan baz bileşenleri ile ilgili kestirim bilgilerine ulaşmaktır. Bağıl konum belirleme parametrelerinin karesel ortalama hatası kestirim sonucunda bulunan (3.4) eşitliğindeki $\underline{Q}_{\hat{b}}$ alt matrisi yardımı ile hesaplanır:

$$\underline{Q}_{\hat{b}} = \begin{bmatrix} q_{\Delta X \Delta X} & q_{\Delta X \Delta Y} & q_{\Delta X \Delta Z} \\ q_{\Delta Y \Delta X} & q_{\Delta Y \Delta Y} & q_{\Delta Y \Delta Z} \\ q_{\Delta Z \Delta X} & q_{\Delta Z \Delta Y} & q_{\Delta Z \Delta Z} \end{bmatrix}. \quad (3.9)$$

(3.4) 'deki matrisin izinin karekökü bağıl konum duyarlılığının karesine karşılık gelen RDOP'u (Relative Dilution of Precision) tanımlar:

$$RDOP = \sqrt{\text{iz}(\underline{Q}_{\hat{b}})}. \quad (3.10)$$

Bağıl konum duyarlılığı, RDOP'dan ya da baz bileşenlerinin varyans-kovaryans matrisinden hesaplanır:

$$\hat{\sigma}_{\Delta P} = \hat{\sigma} RDOP = \sqrt{\hat{\sigma}_{\Delta X}^2 + \hat{\sigma}_{\Delta Y}^2 + \hat{\sigma}_{\Delta Z}^2}. \quad (3.11)$$

Baz bileşenlerinin duyarlılıkları da şöyle bulunur:

$$\hat{\sigma}_{\Delta \mathbf{N}} = \pm \hat{\sigma} \sqrt{q_{\Delta \mathbf{N} \Delta \mathbf{N}}}, \quad (\mathbf{N} = X, Y, Z). \quad (3.12)$$

(3.4) eşitliğindeki $\underline{Q}_{\hat{a}}$, BFB'nin ortalama duyarlık ölçütü ADOP'un (Ambiguity Dilution of Precision) belirlenmesinde kullanılır. Kısa süreli ölçme oturumlarında (kinematik uygulamalarda) gerçel çözüm sonucunda kestirilen BFB'ler arasındaki korelasyon çok

yüksektir. BFB'lerin tamsayı değerlerinin kestiriminin doğru olarak yapılmasında korelasyon etkili olduğundan; ADOP, diğer DOP ölçütlerine göre farklı hesaplanır. Korelasyonunda hesaba katılabilmesi için $\underline{Q}_a$ matrisinin bütün elemanlarını kapsayan determinanattan yararlanılır (Teunissen ve Odijk, 1997; Teunissen vd.1999b).

$$ADOP = \{ \sqrt{\det(\hat{\sigma}^2 \underline{Q}_a)} \}^{1/m} \quad (3.13)$$

Burada m DD-BFB sayısıdır. ADOP almanak dosyaları kullanılarak planlama aşamasında da hesaplanabilir (Teunissen ve Odijk, 1997; Teunissen vd.,1999b). Diğer DOP ölçütleri (PDOP, RDOP,..., vb.) de planlama aşamasında hesaplanabilir (Kurt, 1996, 1997)

DD eşitlikleri ile oluşturulan matematik modelin çözülmesi sonucu bazlara ait dengeli koordinat farkları ile bunların duyarlılıkları elde edilir. Koordinat farkları ölçüler olarak ele alınır ve ağ düzeninde tekrar dengelenerek noktaların yaklaşık WGS84'deki kartezyen koordinatları elde edilir. Tek bir baz için matematik model,

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ij} + \begin{bmatrix} v_{\Delta X} \\ v_{\Delta Y} \\ v_{\Delta Z} \end{bmatrix}_{ij} = [-\underline{E} \quad \underline{E}] \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ X_j \\ Y_j \\ Z_j \end{bmatrix}, \quad \Sigma_{ij}^{-1} = \begin{bmatrix} \hat{\sigma}_{\Delta X \Delta X} & \hat{\sigma}_{\Delta X \Delta Y} & \hat{\sigma}_{\Delta X \Delta Z} \\ \hat{\sigma}_{\Delta Y \Delta X} & \hat{\sigma}_{\Delta Y \Delta Y} & \hat{\sigma}_{\Delta Y \Delta Z} \\ \hat{\sigma}_{\Delta Z \Delta X} & \hat{\sigma}_{\Delta Z \Delta Y} & \hat{\sigma}_{\Delta Z \Delta Z} \end{bmatrix}^{-1} \quad (3.14)$$

şeklinde kurulur. Burada $\underline{E}$ birim matristir. Bir çok ticari yazılım bu tür çözüm gerçekleştirir. Yani önce noktalar arasındaki bağımsız bazlar $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_{ij}$ elde edilir ve daha sonra bu bazlar ağ düzeninde dengelenir (Kurt,1996,1997).

Bir kaç alıcı ile nokta konumları belirlenmeye çalışılırken, aynı anda ölçülen bazlar korelasyonlu olur. Bu çalışmada bu şekilde bir çözüm izlenmeyecektir. Yalnızca bir baza ait ön değerlendirmeden bahsedilecektir. Bir baza ait ön değerlendirme de kullanılacak ve geliştirilecek olan yöntemler, bazlar arasındaki korelasyonu da göz önünde alan çözümlere kolayca dönüştürülebilir. Aynı anda ölçülen bazlar arasındaki cebrik korelasyonun, GPS ağ dengelemesi üzerindeki etkileri ile bilgi için (Santos vd., 1997) kaynağına başvurulabilir.

3.1.1 BFB Çözümü

(3.3)-(3.4) eşitliklerinde elde edilen BFB'ler gerçel sayılardan oluşur. Doğası gereği tamsayı olması gereken BFB'lerin tamsayı değerleri gerçel çözümden yararlanarak elde edilir. Bu

işleme BFB'lerin tamsayı çözümü denir. Bu işlem iki kısımdan oluşur.

- BFB parametrelerinin kestirimi (ya da Tamsayı Kestirimi, {TK})
- BFB parametrelerinin geçerliliği (ya da Gerçek Tamsayı Kestirimi {GTK})

Birinci bölüm olan BFB kestirimi, bilinmeyen parametrelerin hesaplanmasında optimum kestiricilerin bulunması problemini yansıtır. Optimumluk genellikle EKK ilkesi üzerine kurulduğundan, buradaki problem de bilinmeyen BFB'nin EKK çözümünü bulmak olacaktır. İkinci kısım ise, kestirilen tamsayı BFB'lerin gerçek tamsayı BFB'leri temsil edip etmediği problemini kapsamaktadır.

GTK bölümü TK bölümünden önemlidir ve oldukça farklı bir yapıya sahiptir. BFB bulunurken bu bölümde daima Tamsayı En Küçük Kareler (TEKK) çözüm kullanılır (Teunissen ve Kleusberg,1998).

3.1.1.1 BFB Parametrelerinin Kestirimi

BFB'lerinin EKK yöntemine göre kestiriminde aşağıdaki amaçlar gerçekleştirmeye çalışılmaktadır. Gerçel sayılar kümesi $\mathbb{R}$ ve tamsayılar kümesi $\mathbb{Z}$ olmak üzere, bağıl konum belirlemenin matematik modeline göre EKK kestirim fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$(\underline{y} - \underline{B}\underline{b} - \underline{A}\underline{a})^T \underline{Q}_y^{-1} (\underline{y} - \underline{B}\underline{b} - \underline{A}\underline{a}) = \min, \quad \underline{b} \in \mathbb{Z}^3 \text{ ve } \underline{a} \in \mathbb{Z}^m \quad (3.15)$$

Karesel kestirim fonksiyonu olan (3.15) eşitliği, üç karesel ifadenin toplamı şeklinde ayrıştırılırsa,

$$(\underline{y} - \underline{B}\underline{b} - \underline{A}\underline{a})^T \underline{Q}_y^{-1} (\underline{y} - \underline{B}\underline{b} - \underline{A}\underline{a}) = \hat{\underline{e}}^T \underline{Q}_y^{-1} \hat{\underline{e}} + (\hat{\underline{b}} | \underline{a} - \underline{b})^T \underline{Q}_{\hat{\underline{b}}|\underline{a}}^{-1} (\hat{\underline{b}} | \underline{a} - \underline{b}) + (\hat{\underline{a}} - \underline{a})^T \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}}^{-1} (\hat{\underline{a}} - \underline{a}) \quad (3.16)$$

eşitliği elde edilir. Burada, gerçel (zorlamasız) çözüm sonucu BFB vektörü $\hat{\underline{a}}$, $\hat{\underline{a}}$ 'nın ters ağırlık matrisi $\underline{Q}_{\hat{\underline{a}}}$, $\underline{a}$ koşulu altında hesaplanmış koşullu baz vektörü $\hat{\underline{b}} | \underline{a}$, $\hat{\underline{b}} | \underline{a}$ 'nın ters ağırlık matrisi $\underline{Q}_{\hat{\underline{b}}|\underline{a}}$, gerçel (zorlamasız) çözüm sonucunda bulunan DD hata vektörü $\hat{\underline{e}}$ 'dir. Sağ

tarafındaki ikinci terim zorlamasız çözüm sonucunda $\hat{\underline{b}} | \underline{a} = \underline{b}$ ($\underline{b} \in \mathbb{Z}^3$ ve $\underline{a} \in \mathbb{Z}^m$) olacağından, bu terimin etkisi ortadan kalkar. Böylece kestirim sonucunda $\underline{b} \in \mathbb{Z}^3$, $\underline{a} \in \mathbb{Z}^m$ ve DD düzeltmelerinin vektörü $\hat{\underline{e}}$ elde edilir. (3.15) eşitliğindeki kestirim fonksiyonu ve koşulların ($\underline{a} \in \mathbb{Z}^m$ ve $\underline{b} \in \mathbb{Z}^3$) sağlanmaması gereklidir. Bu koşullar öngörülürse, (3.16) eşitliğinde yalnızca sağdaki ikinci terim ortadan kalkar ve (3.16) eşitliği aşağıdaki şekle dönüşür

(Teunissen,1995):

$$(\underline{y} - \underline{B}\underline{\hat{b}} - \underline{A}\underline{\hat{a}})^T \underline{Q}_y^{-1} (\underline{y} - \underline{B}\underline{\hat{b}} - \underline{A}\underline{\hat{a}}) = \underline{\hat{e}}^T \underline{Q}_y^{-1} \underline{\hat{e}} + (\underline{\hat{a}} - \underline{\hat{a}})^T \underline{Q}_a^{-1} (\underline{\hat{a}} - \underline{\hat{a}}). \quad (3.17)$$

Burada, tamsayı (zorlamalı) çözüm sonucu BFB vektörü $\underline{\hat{a}}$, $\underline{\hat{a}}$ koşulu altında hesaplanacak baz vektörü $\underline{\hat{b}} = \underline{\hat{b}} | \underline{\hat{a}}$ 'dır. (3.17)'nin EKK'ye göre çözümü üç aşamada gerçekleştirilir.

1. *Gerçel çözüm* ; (3.3)-(3.4) bu çözüme karşılık gelir.

2. *BFB Parametrelerinin kestirimi*; standart bir çözüm yöntemi yoktur. BFB kestirimi şöyle gerçekleştirilir. Çözüm olabilecek tamsayı BFB kombinasyonları belirlenir. Bu BFB kombinasyonları için (3.18) bağıntısında eşitliğin sol tarafı hesaplanır. Bunların içerisinde (3.18)'deki minimum koşulunu sağlayan BFB kombinasyonu çözüm olarak kabul edilir. (3.18) bağıntısı üzerinde gerçekleştirilen bu işlem biçimine BFB araştırma tekniği denir. Bu araştırma işlemi tamsayı BFB'leri üzerinde gerçekleştirildiğinden Tamsayı En Küçük Kareler (TEKK) olarak adlandırılır (Teunissen, 1995):

$$(\underline{\hat{a}} - \underline{a})^T \underline{Q}_a^{-1} (\underline{\hat{a}} - \underline{a}) = \min_{\underline{a} \in \square^m} \quad (3.18)$$

3. *Çözümün Sabitlenmesi*; yukarıda elde edilen tamsayı çözümler BFB'lerin doğru değerleri kabul edilerek baz bileşenleri ve ters ağırlıkları (3.19) ve (3.20)'den elde edilir:

$$\underline{\hat{b}} = \underline{\hat{b}} - \underline{Q}_{\hat{b}\hat{a}} \underline{Q}_a^{-1} (\underline{\hat{a}} - \underline{\hat{a}}), \quad (3.19)$$

$$\underline{Q}_{\hat{b}} = \underline{Q}_{\hat{b}} - \underline{Q}_{\hat{b}\hat{a}} \underline{Q}_a^{-1} \underline{Q}_{\hat{a}\hat{b}}. \quad (3.20)$$

Ölçü süreleri kısa ise gerçel çözüm sonucunda elde edilen baz bileşenlerinin duyarlılıkları oldukça kötüdür. Baz uzunluğuna göre uyduların oldukça yüksekte olması ve kısa ölçü sürelerinde uydu geometrisinin yeterince değişmemesi, BFB'nin baz bileşenlerinden ayrıştırılmasını güçleştirir. BFB'likleri çözüldüğünde faz ölçüleri çok yüksek duyarlıklılı kod ölçüleri gibi davrandıklarından (3.19)'da elde baz bileşenlerinin duyarlılıkları $iz(\underline{Q}_{\hat{b}}) \ll iz(\underline{Q}_{\hat{b}})$ 'dır (Teunissen vd.1995). Bu durum (3.20) eşitliği incelendiğinde de kolayca görülebilir. (3.17) bağıntısında BFB'lerin tamsayı değerleri yerine konularak tamsayı çözüm sonucu elde edilen karesel formun sayısal değeri hesaplanır:

$$\underline{\hat{e}}^T \underline{P} \underline{\hat{e}} = \underline{\hat{e}}^T \underline{P} \underline{\hat{e}} + (\underline{\hat{a}} - \underline{\hat{a}})^T \underline{Q}_a^{-1} (\underline{\hat{a}} - \underline{\hat{a}}). \quad (3.21)$$

(3.21) eşitliğine dikkat edilirse, EKK gerçel çözümü sonucunda BFB'lerin tamsayı olma koşulu (3.21) eşitliğinin sağ tarafındaki ikinci terim kadar model hatasına neden olur. Bu model hatası ne kadar küçük ise ya da tamsayı çözüm gerçel çözüme ne kadar yakınsa BFB'nin gerçek değerleri güvenilir olarak belirlenmiş demektir. GTK bölümündeki istatistik testler de bu ikinci terim üzerine kurulmuştur.

Kinematik uygulamaların önem kazandığı günümüzde de araştırma teknikleri daha yaygın kullanılmaktadır. Statik ölçmelerde de ölçü sayısı artığında araştırma teknikleri daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu nedenle bu çalışmada araştırma teknikleri daha yoğun olarak incelenecektir.

Hemen hemen bütün algoritmaların kestirim aşamaları yukarıda bahsedilen üç adımda gerçekleştirilir. Ayrı bir başlık altında işlenecek olan BFB'lerin EKK yöntemine göre çözümleri, yukarıda bahsedilen ikinci aşamaya karşılık gelmektedir. BFB'nin EKK yöntemine göre kestiriminde tarihsel olarak aşağıdaki aşamalar izlenmiştir.

Gerçel BFB çözümü: EKK göre zorlamasız çözüm sonucunda elde edilen BFB'leri gerçel sayılardır. Yukarıda (3.3)-(3.12)'ye kadar gerçekleştirilen kestirim işlemi doğrudan kullanılır. Çok kısa bazlarda, ölçü süresi uzarsa gerçel BFB'leri tamsayı değerlerine yakınsar:

$$\forall \hat{b} \in \square^3 \text{ ve } \forall \hat{a} \in \square^m. \quad (3.22)$$

BFB kestirimi başarısız olduğunda reel çözüm çok iyi alternatif çözümdür. Gözlem süresi kısa ise reel çözüm o derece kötüleşir (Hofman-Wellenhof vd., 1997).

Gerçel BFB çözümünün en yakın tamsayıya yuvarlatılması: Zorlamasız çözüm sonucunda elde edilen BFB'lerinin gerçel değerleri en yakın tamsayıya yuvarlanır. Gerçel çözümdeki koşullara benzer durumlarda, yani kısa bazlarda ve uzun ölçü sürelerinde BFB'leri arasındaki korelasyon küçülür, bunun sonucu olarak reel çözümler de tamsayı değerlerine yakınsar. Bu koşullar altında elde edilen reel sayılar en yakın tamsayıya yuvarlanır:

$$\bar{a} = \text{round}(\hat{a}), \quad \forall \bar{a} \in \square^m. \quad (3.23)$$

Gerçel çözümdeki duruma benzer olarak, ölçü süresi kısaldığında BFB kestirimi zayıflamaya başlayacaktır.

Araştırma tekniği ile BFB parametrelerinin bulunması: Ölçü süresi kısaldıkça, reel çözüm sonucunda elde edilen BFB'leri arasındaki korelasyon katsayısı bire yaklaşır. Bu nedenle, BFB'leri arasındaki korelasyonları da hesaba katan çözümler gerçeğe en yakın çözümleri

verir. (3.18) bağıntısı ile tanımlanan hiper elipsoit içerisindeki bütün tamsayı vektörlerini tek tek deneyen araştırma teknikleri gerçel çözüme en yakın sonucu veren BFB'leri vektörünü bulur. Bu işleme de Tamsayı Dengeleme (Integer Adjustment) adı verilir:

$$(\hat{\underline{a}} - \underline{\tilde{a}})^T \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}}^{-1} (\hat{\underline{a}} - \underline{\tilde{a}}) = \min \quad \Rightarrow \quad \forall \underline{\tilde{a}} \in \square^m. \quad (3.24)$$

Araştırma teknikleri statik ve kinematik uygulamaların hepsinde uygulanabilir. Kinematik uygulamalarda (alıcılardan en az birinin hareketli olduğu durumda) BFB kestirimi AROF (Ambiguity Resolution On the Fly), OTF (On –The-Fly) ya da bazen OTR (On-The-Run) olarak isimlendirilir. Farklı isimlendirilmelerine karşın hepsi aynı olguyu niteler (Hofman-Wellenhof vd., 1997).

Hofman-Wellenhof vd. (1997) kaynağında Çizelge 9.11 ile OTF çözüm tekniklerinin uygulanabilmesi için özellikler ve seçimler sunmuştur (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 OTF çözüm teknikleri için özellikler ve seçimler (Hofman-Wellenhof vd., 1997).

Başlangıç çözümü	- Kod ölçüleri ile çözüm X,Y,Z ve duyarlılıkları $\sigma_X, \sigma_Y, \sigma_Z$ - Faz ölçüleri ile çözüm X,Y,Z, N_j ve duyarlılıkları $\sigma_X, \sigma_Y, \sigma_Z, \sigma_{N_j}$
Araştırma bölgesi	- Test noktaları (3 boyutlu uzayda) - BFB kümelerinde (m boyutlu uzayda)
Araştırma aralığı	$k\sigma_X, k\sigma_Y, k\sigma_Z$ $k\sigma_{N_j}$
k'nın belirlenmesi	- Deneysel olarak - İstatistiksel olarak
Olası BFB'nin azaltılması	- Grid ayırarak (iyi, kaba) - Uygun DD kombinasyonu seçerek - İstatistiksel olarak (örneğin BFB'lerin korelasyonları)
Kriter seçimi	- Maksimum BFB fonksiyonu - Minimum varyans σ_0^2
BFB çözümü kabul kriteri	- En büyük ve ikinci en büyük BFB fonksiyon değerlerini oranı - En küçük ve ikinci en küçük varyans oranı
Gözlem aralığı	- Anlık - Birkaç dakika
Gerekli olan veri miktarı	- Tek ya da çift frekans - Yalnız faz ya da faz ve kod

Statik BFB kestirimi ile OTF arasındaki fark, baz bilinmeyenleri statik konum belirlemede bir noktaya aitken, OTF'de baz bilinmeyenleri alıcının hareketine göre farklılık gösterir. OTF

ölçü süresi başlangıcında uydu sayısı ve dağılımına göre değişen sürede ölçüye ihtiyaç duyarken, statik konum belirlemede BFB kestirimi bütün ölçülerin oluşturduğu normal denklemler kullanılarak yapılır. OTF’de BFB değerleri sabitlenene kadar her bir epokda kestirilmeye çalışılır. GTK bölümünü oluşturan çeşitli deneysel ve istatistik testler sonucu BFB’nin çözüldüğü kararı verildikten sonra, uydu sayısı aynı ve sinyal kesilmesi olmama koşulu ile ölçü sonuna kadar kestirilen bu BFB’ler kullanılır. Sinyal kesilmesi ya da yeni bir uydunun GPS alıcısının görüş alanına girmesi sonucunda, bu uydula ilişkili olan BFB’ler ek parametre olarak modele eklenir ve bu parametre yukarıdakine benzer şekilde kestirilmeye çalışılır. OTF için geliştirilen bir çok yöntem statik konum belirleme için rahatlıkla kullanılabilir. BFB belirleme yöntemlerine sonraki bölümlerde değinilecektir.

3.1.1.2 BFB Parametrelerinin Geçerliliği

Elde edilen gerçel ve son çözümlerin güvenilirliği hipotez testleri ile gerçekleştirilir. $\underline{y}$ ötelenmiş gözlemler vektörü, σ ; öncül standart sapma, $\underline{a}$ tamsayı bilinmeyenler (BFB), $\underline{b}$ reel bilinmeyenler ve $\underline{e}$ düzeltmeler vektörü olmak üzere;

$$H_1 : \underline{y} \in \mathbb{R}^k \quad \underline{\Sigma}_y = \sigma^2 \underline{Q}_y, \quad (3.25a)$$

$$H_2 : \underline{y} = \underline{A} \underline{a} + \underline{B} \underline{b} + \underline{e}, \quad \underline{\Sigma}_y = \sigma^2 \underline{Q}_y, \quad \underline{a} \in \square^m, \underline{b} \in \square^n, \underline{e} \in \square^k \quad (3.25b)$$

$$H_3 : \underline{y} = \underline{A} \underline{\tilde{a}} + \underline{B} \underline{b} + \underline{e}, \quad \underline{\Sigma}_y = \sigma^2 \underline{Q}_y, \quad \underline{\tilde{a}} \in \square^m, \underline{b} \in \square^n, \underline{e} \in \square^k \quad (3.25c)$$

hipotezleri kurulur. H_1 ilk gözlemleri, H_2 tüm bilinmeyenlerin gerçel sayı olarak elde edildiği hipotezi ve H_3 tamsayı kestirim hipotezini göstermektedir. Bu üç hipotez zorlama bakımından $H_3 \subset H_2 \subset H_1$ şeklinde sıralanır. Birinci hipotezde ölçüler üzerinde hiç bir zorlama yoktur. İkinci hipotezde düzeltmelerin kereleri toplamı minimum koşulu vardır ama bilinmeyenler serbesttir. Üçüncü hipotezde ise bazı bilinmeyenlerin tamsayı olma koşulu vardır.

Öncül varyans σ^2 biliniyorsa; reel çözüm için model testi H_1 ’e göre H_2 karşılaştırılarak aşağıdaki koşullarından biri ile gerçekleştirilir:

$$(k-m-n) \hat{\sigma}^2 / \sigma^2 < \chi^2_{(k-m-n, 1-\alpha)} \quad (3.26a)$$

veya

$$\hat{\sigma}^2 / \sigma^2 < F_{(k-m-n, \infty, 1-\alpha)}. \quad (3.26b)$$

(3.26) koşulu sağlanıyorsa model hatası ya da uyuşumsuz ölçü yok demektir. H_2 red edilirse,

örneğin troposfer, yansıma, ... ,vb. yeterince modellenememiş (model hataları) ya da örneğin faz ölçülerinde kaba hatalı ölçüler, sinyal atlaması, ..., vb. var demektir. Belirlenip, giderilmelidir. H_2 hipotezinin geçerliliği sağlandıktan sonra H_3 hipotezi test edilir. H_3 , kestirilen tamsayı bilinmeyenleri $\hat{\underline{a}}$ vektörünün gerçek $\underline{a}$ vektörünü yeterince yansıtıp yansıtılmadığını test eder. H_1 'e göre H_3 aşağıdaki koşullardan biri ile test edilir. Aşağıdaki

$$(k-n) \hat{\sigma}^2 / \sigma^2 < \chi^2_{(k-n, 1-\alpha)} \quad (3.27a)$$

ya da

$$\hat{\sigma}^2 / \sigma^2 < F_{(k-n, \infty, 1-\alpha)} \quad (3.27b)$$

ya da

$$(\hat{\underline{a}} - \hat{\underline{a}})^T \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}}^{-1} (\hat{\underline{a}} - \hat{\underline{a}}) / m \hat{\sigma}^2 < F_{(m, \infty, 1-\alpha)} \quad (3.27c)$$

testleri, kestirilen BFB'lerin gerçek BFB'lere uygunluğunu göstermektedir.

Öncül varyans σ^2 bilinmiyorsa test işlemleri; H_1 'e göre H_2 ve H_1 'e göre H_3 testleri gerçekleştirilemez. (3.27b) ve (3.27c) bağıntılarında öncül varyans yerine $\hat{\sigma}^2$ yazılarak tamsayı çözümün reel çözüm ile eşdeğerliği,

$$\hat{\sigma}^2 / \hat{\sigma}^2 < F_{(k-n, k-n-m, 1-\alpha)} \quad (3.28a)$$

ya da

$$(\hat{\underline{a}} - \hat{\underline{a}})^T \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}}^{-1} (\hat{\underline{a}} - \hat{\underline{a}}) / m \hat{\sigma}^2 < F_{(m, k-m-n, 1-\alpha)} \quad (3.28b)$$

testleri ile gerçekleştirilir.

Kestirilen BFB $\hat{\underline{a}}$ 'nin, diğer olası BFB kombinasyonlarından ayrıştırılmasında yaygın olarak kullanılan test; $\hat{\underline{a}}$ 'ya en yakın ikinci en iyi çözüm vektörü $\hat{\underline{a}}'$ ile karşılaştırılarak

$$\hat{\sigma}'^2 / \hat{\sigma}^2 > F_{(k-m-n, k-m-n, 1-\alpha)} \quad (3.29a)$$

ya da

$$(\hat{\underline{a}} - \hat{\underline{a}}')^T \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}}^{-1} (\hat{\underline{a}} - \hat{\underline{a}}') / m \hat{\sigma}^2 \geq F_{(m, k-m-n, 1-\alpha)} \quad (3.29b)$$

şeklinde gerçekleştirilen testtir. En iyi BFB çözümünü ayrıştırma amacına uygun olarak önerilen başka bir test *W-Test*; birinci ve ikinci en iyi BFB çözümleri sonucunda elde edilen

model hatalarının EKK çözümüne etkileri

$$\Omega_1 = (\hat{\underline{a}} - \underline{\check{a}})^T \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}}^{-1} (\hat{\underline{a}} - \underline{\check{a}}), \quad (3.30a)$$

$$\Omega_2 = (\hat{\underline{a}} - \underline{\check{a}}')^T \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}}^{-1} (\hat{\underline{a}} - \underline{\check{a}}') \quad (3.30b)$$

kullanılarak türetilen test büyüklüğüdür. (3.30)'dan yararlanarak fark vektörü ve onun standart sapması aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d = \Omega_2 - \Omega_1, \quad (3.31a)$$

$$\hat{\sigma}_d = \hat{\sigma}^2 \sqrt{4(\underline{\check{a}}' - \underline{\check{a}})^T \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}}^{-1} (\underline{\check{a}}' - \underline{\check{a}})}. \quad (3.31b)$$

(3.31) bağıntıları yardımı ile W-test büyüklüğü

$$W = d / \hat{\sigma}_d \sim t_{(m, 1-\alpha)} \quad (3.32)$$

şeklinde hesaplanır (Wang vd. 2000). Burada $\hat{\sigma}^2$ yerine σ^2 kullanılırsa test büyüklüğü normal dağılım kullanılarak test edilir. Her iki test yöntemi (3.29) ve (3.32) testlerinin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği (Wang vd. 2000)'de gösterildiğinden doktora çalışmasında (3.29a) kullanılacaktır.

Başarı Olasılığı; iki türlü belirlenir. Bunlardan birisi normal dağılımlı oldukları düşünülen EKK amacı altında hesaplanan gerçel ya da tamsayı bilinmeyenlerin, stokastik bilgilerinden ve normal dağılım fonksiyonundan yararlanılarak bulunur (Teunissen vd., 1998; Teunissen, 1998b). İkincisi ise, bütün parametrelerin gerçek değerinin bilindiği simülasyonla üretilmiş dosyalar üzerinde, yöntemlerin bu gerçek değerleri yakalama oranının tüm deney sayısına bölümü ile elde edilir. İkinci seçenek daha güvenilir sonuçlar verecektir. Birincisi, EKK çözümleri sonuçlarına dayalı olarak üretildiğinden EKK'in sonuçlarından da etkilenecektir.

Normal dağılım fonksiyonu kullanılarak başarı oranı hesaplanmak istenirse, standartlaştırılmış normal dağılım fonksiyonundan yararlanılır. Y rasgele değişkeni X rasgele değişkenin standartlaşması ile elde edilmiştir:

$$Y = (X - \mu) / \sigma. \quad (3.33)$$

Burada, $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ ve $Y \sim N(0, 1)$ 'dir. Standartlaştırılmış herhangi bir y değerinin olasılığı

$$f(y) = 1/(2\pi)^{0.5} \exp(-y^2/2) \quad (3.34)$$

ile hesaplanır. Standartlaştırılmış herhangi bir değerin y_i 'den küçük olma olasılığı, dağılım fonksiyonu ile hesaplanır:

$$P(Y \leq y_i) = F(y_i) = \int_{-\infty}^{y_i} f(\epsilon) d\epsilon. \quad (3.35)$$

(3.33) bağıntısının integralini almak yerine polinomal yaklaşımı kullanmak hesaplama açısından daha uygun olacaktır:

$$P(Y \leq y_i) = F(y_i) = 1 - \exp(-y_i^2/2) / (2\pi)^{0.5} \{0.4361836 t - 0.1201676 t^2 + 0.9372980 t^3\}, \quad (3.36a)$$

$$t = 1 / (1 + 0.33267 y_i). \quad (3.36b)$$

(3.36) bağıntısı $y_i \geq 0$ için geçerlidir ve hesaplama doğruluğu 10^{-5} 'dir (Koch, 1997). $y_i < 0$ için normal dağılımın simetri özelliğinden yararlanılarak

$$F(-y_i) = 1 - F(y_i) \quad (3.37)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Y'nin $\pm y_i$ aralığında değer alma olasılığı (3.35)-(3.37)'den yararlanılarak aşağıdaki gibi bulunur:

$$P(-y_i < Y < y_i) = \int_{-y_i}^{y_i} f(\epsilon) d\epsilon = F(y_i) - \{1 - F(y_i)\}. \quad (3.38)$$

Teunissen (1998b) yayınında başarı olasılığını başarı oranı olarak alınabileceğini göstermiştir. Aynı yayında, en yakın tamsayıya yuvarlamanın ve ardışık en yakın tamsayıya yuvarlamanın olasılık sınırlarını bulmuştur. Ardışık en yakın tamsayıya yuvarlama LAMBDA yönteminin BFB'lerinin araştırılmasında kullanılır ve en yakın tamsayıya yuvarlamaya göre başarı olasılığı daha yüksektir (Teunissen, 1998b). Ardışık en yakın tamsayıya yuvarlamada kullanılan üst sınır başarı olasılığını (oranı) hesaplamakta kullanılabilir. Bu büyüklük kullanılan BFB kestiricisinden bağımsızdır ve ADOP yardımı ile de hesaplanabilir. ADOP hesaplayabilmek için ölçü değerlerine ihtiyaç yoktur. İstasyon noktasının yaklaşık koordinatları, almanak bilgileri ve öncül varyans ADOP'un hesaplanması için yeterlidir. Bu nedenle planlama aşamasında da kullanılabilir. LAMBDA yöntemi içerisinde kullanılan ardışık tamsayıya yuvarlamanın başarı olasılığı,

$$\prod_{i=1}^m \{2F(1/[2\hat{\sigma}_{\hat{a}_{i|I}}]) - 1\} = P(\underline{\tilde{a}} = \underline{a}) \leq \{2F(1/[2ADOP]) - 1\}^m \quad (3.39)$$

ile hesaplanır. Burada koşullu standart sapma $\hat{\sigma}_{\hat{a}_{i|I}}$, gerçel çözüm sonucunda elde edilen

varyans kovaryans matrisinin ayrıştırılmasından elde edilir:

$$\hat{\sigma}^2 \underline{Q}_{\hat{a}} = \underline{L} \underline{D} \underline{L}^T, \quad (3.40a)$$

$$\text{ksgn}(\underline{D}) = [\hat{\sigma}_{\hat{a}_{1|I}} \hat{\sigma}_{\hat{a}_{2|I}} \dots \hat{\sigma}_{\hat{a}_{m|I}}]. \quad (3.40b)$$

(3.39) bağıntısındaki ADOP, BFB'nin varyans-kovaryans matrisinden hesaplanmalıdır. Yani birimi periyot olmalıdır (Teunissen, 1998b;1999c; Teunissen vd, 1998;1999a; Vergahen, 2001):

$$\text{ADOP} = \{ \sqrt{\det(\hat{\sigma}^2 \underline{Q}_{\hat{a}})} \}^{1/m}. \quad (3.41)$$

Eğer ADOP (3.13) bağıntısındaki gibi ters ağırlık matrisinden hesaplanırsa, (3.39)'da kullanabilmek için

$$\text{ADOP} = \hat{\sigma} \{ \sqrt{\det(\underline{Q}_{\hat{a}})} \}^{1/m} \quad (3.42)$$

ile hesaplanmalıdır. (3.41) ve (3.42) bağıntıları arasındaki ilişki determinant özelliği olan $\det(\hat{\sigma}^2 \underline{Q}_{\hat{a}}) = \hat{\sigma}^{2m} \det(\underline{Q}_{\hat{a}})$ 'dan kolayca görülebilir (Ulsoy, 1980).

BFB geçerliliği yukarıdaki test işlemlerine göre gerçekleştirilecektir. Diğer önerilen EKK yöntemine dayalı test işlemleri yukarıda bahsedilenlere eşdeğerdir. Bunlara örnek olarak (Han vd., 1996; Han, 1997) kaynaklarındakiler verilebilir.

Wang vd. (2000) yayınlarında, birinci ve ikinci en iyi BFB çözümlerini karşılaştıran F-testi, W-testi ve başarı olasılığı testlerini karşılaştırmıştır. Bu yayında ilk iki testin sonuçlarının birbirine yakın, üçüncüsünün ise diğerlerine yakın ve bu test ile onlardan daha iyimser sonuçlar elde edildiğini göstermiştir (Wang vd. 2000).

ℓ_1 -Norm Kestirimi

Uyuşumsuz ölçülere karşı duyarsız olan EKT (ℓ_1 -Norm) yöntemi robust bir kestirimdir (Koch, 1999). EKK ile karşılaştırıldığında hesaplama güçlüğü olduğundan yaygın olarak kullanılmayan bir yöntemdir. Bilgisayar teknolojisinin gelişimine paralel olarak EKT dayalı çözüm yöntemlerinin kullanımını artırmıştır. Özellikle uyuşumsuz ölçülerin ayıklanmasında kullanılan yöntem, veriler normal dağılımlı ise EKK yöntemine yakın sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada EKT yönteminin seçilmesinin nedeni, uyuşumsuz ölçülere benzer etkilere neden olan küçük yansıma hatlarını (multipath) ayıklamaktır. EKT çözümü için kullanılacak

olan algoritmalar Barrodale ve Roberts (1973, 1974, 1978, 1980) tarafından önerilmiştir.

Barrodale ve Roberts'in (1973, 1974) önerdikleri algoritma, sadece düzeltme denklemlerinin EKT göre çözümü gerçekleştirmektedir. Aynı yazarların (1978, 1980)'de önerdikleri algoritma ise aralarında koşul denklemleri bulunan EKT çözümünü gerçekleştirmektedir. Her iki algoritmanın teorik tartışmaları (1973, 1978) yıllarındaki yayınlarda, bunların FORTRAN dilindeki kodları ise (1974, 1980) tarihli yayınlarında verilmektedir.

EKT yönteminde kestirim fonksiyonu düzeltmelerin mutlak değerlerinin toplamını minimum yapmaktır:

$$\underline{e} = \underline{H} \underline{x} - \underline{y}, \quad (3.43a)$$

$$\sum_{i=1}^n |e_i| = \sum_{i=1}^n |\underline{h}_i^T \underline{x} - y_i| \Rightarrow \min. \quad (3.43b)$$

(3.43b) bağıntısında, n ölçü sayısını, e_i i 'inci düzeltmeyi, $\underline{h}_i^T$ i 'inci düzeltmeye ait katsayılar vektörünü, $\underline{x}$ bilinmeyenleri, y_i i 'inci ötelenmiş gözlemi göstermektedir. (3.43)'deki problemi çözebilmek için doğrusal programlamada simplex yönteminden yararlanılır. Doğrusal programlama ile çözüm yapabilmek için hesaplanan bilinmeyenlerin ve düzeltmelerin pozitif değerli büyüklükler olması gerekir. (3.43) problemini doğrusal programlamaya uygun hale getirmek için ek bilinmeyen ve düzeltmeler tanımlanır. Bunlar, EKT yönteminin çözümü sırasında kullanılacak olan matrislerin boyutlarının büyümesine neden olur. Barrodale ve Roberts (1973)'deki değiştirilmiş simleks algoritmaları, düzeltme denklemlerinin matris boyutları ne olursa olsun sadece iki sütun ve iki satır ekleyen bir çözüm yapmaktadırlar. Buda bilgisayarda boyut ve zamanın daha etkin kullanılması sağlamaktadır (Barrodale ve Roberts, 1973).

(3.43b) eşitliğindeki $e_i = u_i - v_i$ ve $\underline{x} = \underline{\kappa} - \underline{\eta}$ şeklinde pozitif değişkenler olarak tanımlanırsa, (3.43b)'de EKT yöntemi aşağıdaki doğrusal programlama optimum çözümüne uygun hale gelir (Barrodale ve Roberts, 1973):

$$\text{Minimumlaşsın} : \sum_{i=1}^n |u_i + v_i| \quad (3.44a)$$

$$\text{Sağlansın} : y_i = \underline{h}_i^T \underline{\kappa} - \underline{h}_i^T \underline{\eta} + u_i - v_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3.44b)$$

$$\text{Kısıtlamalar} : \underline{\kappa}, \underline{\eta} \geq \underline{0} \quad \text{ve} \quad u_i, v_i \geq 0 \quad (3.44c)$$

Barrodale ve Roberts (1973)'deki çalışmalarında (3.44) eşitlikleri için önerilen simleks

algoritmalarını tartışmaktadır. Bu algoritmaların çözümünde boyutun büyüdüğünü ve kendi algoritmalarının daha etkin sonuç verdiğini söylemektedirler. Ayrıca, (3.44)'e simplex yönteminin doğrudan uygulanması ile etkin bir algoritmaya ulaşamayacağını vurgulamaktadırlar. Ayrıntılı bilgi için (Barrodale ve Roberts, 1973,1980) kaynaklarından yararlanılabilir. Bu çalışmada doğrusal programlama çözüm yöntemleri ile ilgili tartışılmayacaktır, Barrodale ve Roberts (1974, 1980)'deki algoritmaları bağıl konum belirleme probleminde doğrudan kullanılacaktır. Ayrıntılı bilgi için (Barrodale ve Roberts, 1972, 1978; Sivri, 1998; Sezginman, 2001) kaynaklarından yararlanılabilir.

Barrodale ve Roberts (1978, 1980)'de önerdikleri algoritma (3.45a) düzeltme denklemlerini, (3.45b-3.45c) koşul denklemleri ile genişleterek yukarıdaki algoritmaya benzer çözüm yapar.

$$\underline{y} = \underline{H} \underline{x} + \underline{e} \quad (3.45a)$$

$$\underline{C} \underline{x} = \underline{c} \quad (3.45b)$$

$$\underline{D} \underline{x} \leq \underline{d} \quad (3.45c)$$

(3.45b) ve (3.45c) denklemleri kullanılmazsa, bu çözüm için geliştirilen algoritmanın çözümü bir önceki algoritmaya dönüşür ve aynı sonuçları verir. Ayrıntılı bilgi için (Barrodale ve Roberts, 1978, 1980) kaynaklarından yararlanılabilir.

(3.3) matematik modeline Barrodale ve Roberts (1973, 1980) algoritmalarını uygulayabilmek için, DD ölçülerinin ağırlıklarını kaldırmak gerekmektedir. Barrodale ve Roberts (1980) yayınlarında ağırlıkların düzeltme denklemleri ile çarpılarak kaldırılabilceğini önermektedirler. (3.3)'deki fonksiyonel model ağırlık matrisi ile çarpılırsa

$$E\{\underline{\tilde{y}}\} = \underline{\tilde{B}} \underline{b} + \underline{\tilde{A}} \underline{a} = \underline{\tilde{H}} \underline{x} \quad (3.46)$$

elde edilir. Burada, $\underline{\tilde{y}} = \underline{P} \underline{y}$, $\underline{\tilde{B}} = \underline{P} \underline{B}$, $\underline{\tilde{A}} = \underline{P} \underline{A}$, $\underline{\tilde{H}} = \underline{P} \underline{H}$ ve EKT yöntemine göre kestirilen gözlem hataları $\underline{\tilde{e}} = \underline{P} \underline{e}$ 'dir. (3.46) modeli bu hali ile Barrodale ve Roberts'in (1974,1980) algoritmalarında kolaylıkla kullanılabilir.

ARDIŞIK ÇÖZÜMLER

GPS ile bağılı konum belirlemede kullanılan temel matematik model DD modeldir. İlk ölçüler arasındaki fiziksel korelasyonlar göz ardı edilirse, DD matematik model epoklar arası bağımsız denklem takımlarına dönüşür. GPS ölçülerinin serbestlik derecesi yüksek olduğundan, DD matematik modelin epoklar arası korelasyonsuz olma özelliğinden yararlanılarak çözüm ardışık olarak gerçekleştirilir. Bu bölüm altında EKK ve EKT yöntemlerinin ardışık olarak nasıl gerçekleştirileceği gösterilecektir.

4.1 ℓ_2 -Norm Kestiriminde Ardışık Çözüm

Bölüm 2’de (2.29) numaralı statik fonksiyonel modelde $[\underline{B}(t_i) \quad \lambda \underline{E}] = \underline{H}_i$ ($i=1,2,...,n$, n ; epok sayısı) ve (2.36)’daki $\underline{P}_i = \underline{P}(t_i) = \underline{Q}_y^{-1}$ alınırsa, matematik modeli epoklar arası korelasyonsuz olan aşağıdaki modele dönüşür:

$$\begin{bmatrix} \underline{y}_1 \\ \underline{y}_2 \\ \dots \\ \underline{y}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{H}_1 \\ \underline{H}_2 \\ \dots \\ \underline{H}_n \end{bmatrix} \underline{x} + \begin{bmatrix} \underline{e}_1 \\ \underline{e}_2 \\ \dots \\ \underline{e}_n \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{P}_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \underline{P}_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \underline{P}_n \end{bmatrix} \text{ ya da } \begin{bmatrix} \underline{P}_1 \\ \underline{P}_2 \\ \dots \\ \underline{P}_n \end{bmatrix}. \quad (4.1)$$

(4.1) eşitliğinin tamamı kullanılarak yapılacak dengeleme yerine, her epok sonrasında elde edilen normal denklemler değerlendirilerek işlem yapılır. j ’inci gözlem epoğu için elde edilen normal denklemler

$$\sum_{k=1}^j (\underline{H}_k^T \underline{P}_k \underline{H}_k) \underline{x}_j = \sum_{k=1}^j (\underline{H}_k^T \underline{P}_k \underline{y}_k) \quad (j=1,2,...,n) \quad (4.2)$$

olarak elde edilirse, j ’inci gözlem epoğundan sonra $\underline{x}_j$ bilinmeyenleri kestirilebilir:

$$\hat{\underline{x}}_j = \{ \sum_{k=1}^j (\underline{H}_k^T \underline{P}_k \underline{H}_k) \}^{-1} \sum_{k=1}^j (\underline{H}_k^T \underline{P}_k \underline{y}_k) = \underline{Q}_j \sum_{k=1}^j (\underline{H}_k^T \underline{P}_k \underline{y}_k). \quad (4.3)$$

(4.3) eşitliğinde, ölçü sayısının bilinmeyen sayısından büyük olmasına dikkat edilmelidir. Bu durum sadece faz ölçüleri ile kurulan matematik modelde ortaya çıkar ve genellikle $j=2$ ’den (uydu sayısı ≥ 4 olmak koşulu ile ikinci epokdan) sonra çözüme gidilir. Dengeleme sonuçlarının kalitesinin denetlenmesinde, sonuçların test edilebilmesinde ve EKK yöntemi

kullanan BFB çözüm yöntemlerinin uygulanabilmesi için kullanılan duyarlık ölçütlerinin de hesaplanması gerekir. Duyarlık ölçütleri, deterministik kısma benzer şekilde ardışık olarak hesaplanır. Düzeltmelerin karesel formu ve birim ölçünün karesel ortalama hatası

$$(\hat{\underline{e}}^T \underline{P} \hat{\underline{e}})_j = \left\{ \sum_{k=1}^j (\underline{H}_k^T \underline{P}_k \underline{y}_k) \right\} - \hat{\underline{x}}_j^T \left\{ \sum_{k=1}^j (\underline{H}_k^T \underline{P}_k \underline{H}_k) \right\} \hat{\underline{x}}_j, \quad (4.4)$$

$$\hat{\sigma}_j = \sqrt{(\hat{\underline{e}}^T \underline{P} \hat{\underline{e}})_j / (jm - m - 3)} \quad (4.5)$$

elde edilir. (4.5)'da jm ; ölçü sayısı ve $m+3$; bilinmeyen sayısıdır. Bilinmeyenlerin varyans-kovaryans matrisi ise (4.3) ve (4.5)'den yararlanarak elde edilir:

$$\underline{\Sigma}_j = \hat{\sigma}_j^2 \underline{Q}_j. \quad (4.6)$$

j 'inci epok için elde edilen (4.3) ve (4.6) eşitlikleri, EKK yöntemini kullanan bütün BFB çözüm yöntemleri için yeterlidir. EKK yöntemi ile ardışık dengeleme ilgili geniş bilgi (Frei, 1990; Öztürk, E., 1991; Hofmann-Wellenhof vd., 1997) kaynaklarından bulunabilir.

4.2 ℓ_1 -Norm Kestiriminde Ardışık Çözüm

Ölçü süresinin başlangıcından itibaren elde edilen faz ve kod ölçüleri ile oluşturulan DD matematik model, bir önceki bölümde (4.1) eşitliği ile verilmiştir. Bu eşitlikteki matematik model incelendiğinde aynı dalga boyu üzerinden oluşturulan DD ölçülerin (faz ya da kod) cebrik olarak korelasyonlu ve farklı türden ölçülerin ($L1$ ve $L2$ dalga boyu üzerinde faz ve kod) duyarlıklarının (ağırlıklarını) farklı olduğu görülmektedir. EKT yöntemi uygulayabilmek için cebrik korelasyonun ve ağırlıkların kaldırılması gerekmektedir. (4.1)'deki fonksiyonel model (3.46) denklemlere benzer şekilde stokastik model ile çarpılırsa aşağıdaki indirgenmiş düzeltme denklemleri elde edilir:

$$\begin{bmatrix} \tilde{\underline{y}}_1 \\ \tilde{\underline{y}}_2 \\ \dots \\ \tilde{\underline{y}}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{\underline{H}}_1 \\ \tilde{\underline{H}}_2 \\ \dots \\ \tilde{\underline{H}}_n \end{bmatrix} \underline{\underline{x}} + \begin{bmatrix} \tilde{\underline{e}}_1 \\ \tilde{\underline{e}}_2 \\ \dots \\ \tilde{\underline{e}}_n \end{bmatrix}. \quad (4.7)$$

EKT yöntemi (4.7) eşitliğinde düzeltmelerin mutlak değerleri toplamını minimum yapan bilinmeyen sayısı kadar ölçüyü kestirimde kullanan yöntemdir. Bu eşitliğin tamamını kullanarak bu işlemi gerçekleştirmek oldukça zaman almaktadır. (4.7)'yi bütün çözmek yerine ardışık iki epoğun bilinmeyen sayısı kadar en uygun ölçüleri seçilebilir ve bir sonraki epokla

bu işlem tekrarlanabilir. GPS ölçülerin doğasına uygun ve daha hızlı olacak bu yöntem, ardışık EKK yöntemine benzer olarak ardışık EKT olarak adlandırılabilir.

5. BAŞLANGIÇ FAZ BELİRSİZLİĞİ ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

BFB parametrelerinin kestirimi EKK çözümüne dayanan üç alan üzerinde gerçekleştirilir:

- Ölçüler üzerinde gerçekleştirilen BFB çözümü,
- Koordinatlar üzerinde yapılan araştırma teknikleri,
- BFB parametreleri üzerinde yapılan araştırma teknikleri.

Birinci maddedeki BFB çözüm yöntemleri en basit olanlardır. Bunlar C/A ya da P-kod ölçülerinden yararlanarak istenilen faz ölçüsünün BFB'sini doğrudan çözer. Bu yöntemler ham C/A ve P-kod ölçülerinin duyarlıklarına bağlı olduğundan, genellikle BFB belirlemede yeterince iyi değillerdir. Kestirilen BFB'ler, L1 ve L2 faz ölçülerinin doğrusal kombinasyonları ile iyileştirilirler. Doğrusal kombinasyonlar ile ilgili yoğun bilgi verebilecek çok az yayın vardır (Kim ve Langley, 2000b).

İkinci maddeye örnek olarak ilk BFB çözüm yöntemi olan AFM (Ambiguity Function Method) yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntem faz ölçülerinin anlık ölçülebilen kısmı olan faz parçalarını kullanmaktadır. Bu nedenle faz ölçülerinin tam dalga boylarının değişiminden ya da sinyal kesilmesinden etkilenmez. Han ve Rizos (1996)'da yöntemin orijinal algoritmasını önemli derecede geliştirmelerine rağmen, hesaplama hız yönünden diğer yöntemlere göre zayıftır ve tarihsel açıdan diğer yöntemlere göre biraz daha önemli yer tutmaktadır (Kim ve Langley, 2000b).

Üçüncü grupta yer alan BFB yöntemleri yaygın olanlardır ve çoğu TEKK teorisine esas olarak geliştirilmişlerdir. BFB parametrelerinin kestirimi, §3.1.1.1 başlığı altında anlatıldığı gibi üç adımda gerçekleştirilir. Gerçek çözüm, BFB parametrelerinin kestirimi ve baz koordinatlarının BFB parametrelerinin tamsayı değerlerine göre hesaplanması şeklindedir. Her bir teknik gerçek çözüm sonucunda elde edilen BFB'lerden ve varyans-kovaryans matrislerinden yararlanır ve BFB kestirimi bölümünde farklı algoritmalar kullanır. Üçüncü sınıfın özelliklerini gösteren bazı teknikler aşağıda verilmiştir (Kim ve Langley, 2000b).

- LSAST (Least Square Ambiguity Search Tecnique), En küçük kareler BFB araştırma tekniği,
- FARA (Fast Ambiguity Resolution Approach), Hızlı BFB çözümü yaklaşımı,
- LAMBDA, EKK-BFB'nin korelasyonsuzlaştırılarak dengelemesi,
- FASF (Fast Ambiguity Search Filter), Hızlı BFB araştırma filtresi,
- OMEGA, (Optimal Method for Estimating GPS Ambiguity) GPS'de BFB kestirimi için optimum yöntem.

EKK yöntemine dayanan bu teknikler üçüncü gruba giren BFB çözüm yöntemlerinin genel özelliklerini anlaşılmasında yeterli olacaktır ve §5.1.3 araştırma teknikleri başlığı altında ayrıntılı olarak incelenecektir

Yöntemler anlatılırken indis karmaşasından kurtulabilmek için DD fonksiyonel modeli daha yalın bir biçime getirilecektir. Geometriden bağımsız (2.27) ve (2.28) kod-faz ölçüleri için yazılan DD fonksiyonel modeli,

$$\phi_L = (1/\lambda_L) \Phi_L = (1/\lambda_L) \rho + T - I_L + N_L + \bullet_L, \quad (5.1a)$$

$$R_L = \rho + T + I_L + e_L, \quad (5.1b)$$

şeklinde daha sade bir hale dönüştürülebilir. Burada $\mathbf{x}_L \equiv \mathbf{x}_{ij,L}^{kl}$ ($\mathbf{x} = \Phi, \rho, N, T, I, \bullet$ ve $L=1,2$) olarak ve $\xi_L = \varepsilon_L / \lambda_L$ alınmıştır. Kısa bazlarda DD matematik modeli kullanıldığında iyonosfer, troposfer ve bazı küçük hataların etkileri ihmal edilirse,

$$\phi_L = (1/\lambda_L) \Phi_L = (1/\lambda_L) \rho + N_L + \bullet_L, \quad (5.2a)$$

$$R_L = \rho + e_L, \quad (5.2b)$$

DD eşitlikleri biraz daha basit hale dönüşmüş olur. BFB'ni çözebilmek için EKK yöntemine dayalı bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada, diğer tekniklerin ve konunun anlaşılmasında anahtar rol oynayabilecek yöntemler sunulacaktır.

5.1 Temel Yaklaşımlar

Tezin dördüncü bölümünde Çizelge 3.1'deki özelliklerin bazıları göz önünde bulundurularak geliştirilen ve EKK'lere dayalı bir çok yöntem vardır. Bu yöntemlerin bir çoğu genel bakış açısıyla birbirlerine benzemektedir ve birbirlerinin bazı özelliklerini de kullanır. Bu çalışmada temel yaklaşım olarak kabul edilen ve en çok bilinen yöntemlerden bahsedilecektir (Hofmann-Welenhhof vd., 1997; Kim ve Langley, 2000b).

5.1.1 Tek Frekanslı Alıcılarla BFB Çözümü

Tek frekanslı alıcılarda sadece L1 taşıyıcı faz ve kod ölçüsü ya da L2 faz ya da kod ölçüsüne ulaşılabilir. Bu ölçü türleri ile gerçekleştirilecek olan BFB çözümü yalnızca faz ve faz-kod ölçüleri olmak üzere genel iki sınıfa ayrılabilir.

5.1.1.1 Tek Frekanslı Alıcılarda Yalnızca Faz Ölçüleri Kullanılarak BFB Çözümü

Yalnızca tek frekanslı faz ölçülerine (L1 ya da L2) ulaşılabiliriyorsa, aşağıdaki doğrudan yaklaşım kullanılır. Faz ölçüleri istenilen bir matematik model (genellikle DD)'ye göre modellenir. Seçilen modele göre bilinmeyenler belirlenir. Örneğin kısa bazlarda DD matematik modeli nokta koordinatları ve BFB'lerden oluşur. BFB'ler genel bir dengeleme ile gerçel sayılar olarak kestirilir. Duyarlılığı en küçük olan BFB'nin gerçel değeri en yakın tamsayıya yuvarlanır. Bu BFB bilinmeyenler vektöründen çıkarılarak, dengeleme işlemi bütün BFB'leri aynı şekilde belirleyebilmek için ardışık olarak gerçekleştirilir. Kısa bazlarda DD matematik modelde başarılı olan bir yöntemdir (Hofmann-Welenhhof vd.,1997).

5.1.1.2 Tek Frekanslı Alıcılarda Kod ve Faz Ölçüleri Kullanılarak BFB Çözümü

(5.2) eşitliklerinde L=1 (ya da L=2) alınır ve eşitlik düzenlenirse, tek frekanslı bir alıcı ile kısa bazlarda DD fonksiyonel modeli aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\Phi_1 = \rho + \lambda_1 N_1 + \varepsilon_1 , \quad (5.3a)$$

$$P_1 = \rho + \quad + e_1 . \quad (5.3b)$$

(5.3b) eşitliği (5.3a)'dan çıkarılıp BFB'ne göre düzenlenirse

$$N_1 = (\Phi_1 - P_1) / \lambda_1 + (\varepsilon_1 - e_1) / \lambda_1 \quad (5.4)$$

elde edilir. Sinyal kesilmesi olmadığı sürece, aynı alıcı-uydu kombinasyonları için elde edilen BFB'lerin ortalaması alınarak daha güvenilir sonuçlar elde edilir. Bulunan BFB doğrulukları kod ölçü doğruluğuna ($e_1 \gg \varepsilon_1$) ve ölçü süresine bağlıdır.

Bir diğer yöntem ise, (5.3) eşikleri ile fonksiyonel model kurulur. Kod-faz ölçüleri kullanılan alıcıların özelliklerine göre birbirlerine göre ağırlıklandırılıp gerçel çözüm yapılır. Daha sonra bir önceki konu başlığı altında anlatılan yöntemle göre BFB belirlenir.

5.1.2 Çift Frekanslı Alıcılarda BFB Çözümü

Çift frekanslı ölçüler kullanıldığında BFB çözümü hızı ve güvenilirliği önemli derecede artmaktadır. Çift frekanslı faz ya da faz-kod ölçüleri ile çeşitli doğrusal kombinasyonlar oluşturulabildiğinden bir çok avantajı vardır. Bunlardan en önemlisi duyarlık bakımından birbirine yakın olan (faz) ölçüler arasında da ölçü kombinasyonu oluşturmayı olanaklı kılmasıdır. Tek frekanslı alıcılarda olduğu gibi, çift frekanslı alıcılarda elde edilen bütün ölçüler uygun şekilde ağırlıklandırılarak birlikte değerlendirilebilir. Bu da BFB çözümünü

oldukça güçlendirmektedir.

5.1.2.1 Çift Frekanslı Alıcılarda Yalnızca Faz Ölçüleri Kullanılarak BFB Çözümü

En çok kullanılanlar geniş-bant (Wide-Lane, WL), dar-bant (Narrow-Lane, NL) ve iyonosferden bağımsız (IF) faz ölçü kombinasyonlarıdır. (5.3a) eşitliğindeki faz ölçü fonksiyonel modeli $L=1,2$ için yazılıp, sırası ile α ve β katsayılarıyla çarpılırsa (5.5) eşitlikleri elde edilir:

$$\alpha \phi_1 = (\alpha/\lambda_1) \Phi_1 = (\alpha/\lambda_1) \rho + \alpha N_1 + \alpha \bullet_1, \quad (5.5a)$$

$$\beta \phi_2 = (\beta/\lambda_2) \Phi_2 = (\beta/\lambda_2) \rho + \beta N_2 + \beta \bullet_2. \quad (5.5b)$$

(5.5) eşitlikleri birbiri ile toplanırsa

$$\alpha \phi_1 + \beta \phi_2 = (\alpha/\lambda_1) \Phi_1 + (\beta/\lambda_2) \Phi_2 = (\alpha/\lambda_1 + \beta/\lambda_2) \rho + \alpha N_1 + \beta N_2 + \alpha \bullet_1 + \beta \bullet_2 \quad (5.6)$$

elde edilir. $\aleph_{\alpha\beta} = \alpha \aleph_1 + \beta \aleph_2$ ($\aleph = \phi, N, \bullet$) kısaltmaları yapılır ve (5.6) eşitliğinden $\lambda_{\alpha\beta} = \lambda_1 \lambda_2 / (\alpha \lambda_2 + \beta \lambda_1)$ türetilirse $\lambda_{\alpha\beta} \phi_{\alpha\beta} = \Phi_{\alpha\beta}$ kombinasyonu için

$$\lambda_{\alpha\beta} \phi_{\alpha\beta} = \Phi_{\alpha\beta} = \rho + \lambda_{\alpha\beta} N_{\alpha\beta} + \bullet_{\alpha\beta} \quad (5.7)$$

elde edilir. Metrik birimli ölçüler ile $\Phi_{\alpha\beta} = \{\alpha \lambda_2 / (\alpha \lambda_2 + \beta \lambda_1)\} \Phi_1 + \{\beta \lambda_1 / (\alpha \lambda_2 + \beta \lambda_1)\} \Phi_2$ olarak elde edilir (Teunissen ve Kleusberg, 1998). (5.6) eşitliği çift frekanslı faz ölçüleri için genel fonksiyonel modeldir. α ve β çarpanları değiştirilerek farklı kombinasyonlar oluşturulabilir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 α ve β çarpanlarına göre çeşitli kombinasyonlar ve özellikleri.

α	β	$\sim f_{\alpha\beta}$ (MHz)	$\sim \lambda_{\alpha\beta}$ (m)	Özellği
1	-1	347.82	0.862	Dalga boyu L1 ve L2'den büyüktür
1	1	2803.02	0.107	Dalga boyu L1 ve L2'den küçüktür
1	$-f_2/f_1$	618.85	0.484	İyonosferik etkiyi ortadan kaldırır

$\phi_w = \phi_1 - \phi_2$ fazının frekansı $f_w = 347.82$ MHz ve dalga boyu $\lambda_w = 86.2$ cm dir (Çizelge 5.1). L1 (0.190m) ve L2 (0.244m) sinyal fazının dalga boyuna göre oldukça büyüktür ve BFB çözümünde önemli kolaylık sağlamaktadır (Hofmann-Welshhof vd., 1997). (5.7) ve (5.2) eşitliğinden yararlanarak DD fonksiyonel modele göre WL faz ölçüsü

$$\Phi_{1,-1} = \Phi_w = \rho + \lambda_w N_w + \epsilon_w \quad (5.8)$$

elde edilir.(5.8) eşitliğinde WL faz dalga boyu L1 ve L2 dalga boylarından yaklaşık dört kat daha büyük olan BFB'leri, baz bileşenleri ile beraber bilinmeyen parametreler olarak standart dengeleme modeline göre çözülür. Gerçek çözüm sonucunda elde edilen WL faz ölçüsünün BFB'leri kendisini üreten ana dalga boylarına göre daha kolay çözülür.

Ana dalga boylarını elde etmek için (5.2a) eşitliğinden (5.8) eşitliği çıkarılırsa

$$N_L = \{ \Phi_L - \Phi_W + \lambda_w N_w + (\epsilon_L - \epsilon_w) \} / \lambda_L \quad (5.9)$$

(5.9) eşitliğinde modellenemeyen ya da ihmal edilen düzenli hatalar ve ölçü hatalarından oluşan hataların farkı $(\epsilon_L - \epsilon_w) < \lambda_L$ ($L=1,2$) olacağından istenilen dalga boyunun DD BFB belirlenmiş olur.

WL ya da NL'da elde edilen BFB'leri tamsayılar olarak elde edilirken, iyonosferden bağımsız (Ionosphere-Free, IF) kombinasyonda BFB'leri tamsayı doğasını kaybeder. IF daha çok iyonosferik etkiyi ortadan kaldırmak için kullanılır. Çeşitli doğrusal ölçü kombinasyonları ile ilgili geniş bilgi (Beutler vd. 1989) kaynağından bulunabilir.

5.1.2.2 Çift Frekanslı Alıcılarda Kod ve Faz Ölçüleri Kullanılarak BFB Çözümü

WL ölçüsü ile BFB çözümünün en önemli eksikliği baz uzunluğunun artması ile iyonosferik refraksiyondan o oranda etkilenmesidir. Bu eksiklik faz ve kod ölçü kombinasyonları ile elimine edilebilir. (5.2)'de geometriden bağımsız DD fonksiyonel modeli $L=1,2$ alınır ve troposferik etkinin iyi modellendiği ya da $\rho = \rho^* + T(\rho^*)$ (DD troposferik etkiden bağımsız DD geometrik uzunluk) olduğu düşünülürse,

$$\Phi_1 = \rho + \lambda_1 N_1 - I_1 + \epsilon_1, \quad (5.10a)$$

$$\Phi_2 = \rho + \lambda_2 N_2 - (\lambda_2/\lambda_1)^2 I_1 + \epsilon_2, \quad (5.10b)$$

$$P_1 = \rho + I_1 + e_1, \quad (5.10c)$$

$$P_2 = \rho + (\lambda_2/\lambda_1)^2 I_1 + e_2, \quad (5.10d)$$

elde edilir. Burada $I_2 = (f_1/f_2)^2 I_1 = (\lambda_2/\lambda_1)^2 I_1$ olarak alınmıştır (Teunissen ve Kleusberg, 1998). Orta ve uzun bazlar için yazılan (5.10)'daki DD fonksiyonel modellerinde 4 ölçü ve 4 bilinmeyen (ρ, N_1, N_2, I_1) vardır. (5.10) eşitlikleri doğrudan çözülerek bu dört bilinmeyen hesaplanabilir. Ya da önce $I \approx 0$ alınarak BFB'leri EKK ile hesaplanır. BFB'leri bilinen kabul edilerek I_1 tekrar bulunur ve modele eklenerek BFB'leri tekrar hesaplanır. Ayrıntılı bilgi için (Strang ve Borre, 1997) kaynağından yararlanılabilir.

Her bir dalga boyundaki faz ölçülerini, kendi dalga boyundaki kod ölçüsünden çıkarırsak,

$$(1/\lambda_1) (\Phi_1 - P_1) = N_1 - (1/\lambda_1) 2 I_1 + (1/\lambda_1) e_1 , \quad (5.11a)$$

$$(1/\lambda_2) (\Phi_2 - P_2) = N_2 - (1/\lambda_2) (\lambda_2/\lambda_1)^2 2 I_1 + (1/\lambda_2) e_1 . \quad (5.11b)$$

eşitlikleri elde edilir. (5.11a)'dan (5.11b) çıkarılır ve bir WL ölçü modeli göz önünde bulundurulursa,

$$(1/\lambda_w) \{ \Phi_w - P_1 + P_2 \} = N_w - (1/\lambda_w) (\lambda_2/\lambda_1)^2 2 I_1 + (1/\lambda_w) e_w \quad (5.12)$$

elde edilir. (5.12) eşitliğinin her iki tarafı λ_w ile çarpılırsa bu eşitlik metrik hale dönüşür.

$$\Phi_w - P_1 + P_2 = \lambda_w N_w - (\lambda_2/\lambda_1)^2 2 I_1 + e_w . \quad (5.13)$$

Kod-faz ölçü hataları farkı ve modelellenemeyen düzenli hataları temsil eden e_w ihmal edilirse; geriye ölçülen büyüklükler, BFB ve iyonosferik refraksiyon bilinmeyi kalır. (5.10d) eşitliği (5.10c)'den çıkarılır, $e_1 \approx e_2$ kabul edilir ve I_1 'e göre yeniden düzenlenirse aşağıdaki bağıntı bulunur:

$$I_1 = \{ P_1 - P_2 \} \lambda_1^2 / \{ \lambda_1^2 - \lambda_2^2 \} . \quad (5.14)$$

İyonosferik düzeltmenin ölçülerden bulunan değeri (5.11)'de yerine konularak, iyonosferden bağımsız WL faz ölçü modeli elde edilir.

$$\lambda_w N_w = \Phi_w + \{ 2 \lambda_2^2 / (\lambda_1^2 - \lambda_2^2) - 1 \} \{ P_1 - P_2 \} . \quad (5.15)$$

(5.15) eşitliği N_w yalnız kalacak şekilde tekrar düzenlenirse, iyonosferden bağımsız WL eşitliği elde edilir.

$$N_w = (1/\lambda_w) \Phi_w - (1/\lambda_w) \{ \lambda_1 - \lambda_2 \} / \{ \lambda_1 + \lambda_2 \} \{ P_1 - P_2 \} . \quad (5.16)$$

(5.16) eşitliği ile N_w her bir oturum ve her bir epok için belirlenebilir. (5.16) eşitliği iyonosferden bağımsız WL-BFB değerinin hesaplanmasını sağlar. Elde edilen bu değerler kullanılarak baz bileşenleri doğrudan hesaplanır.

Çift frekanslı alıcılarla elde edilen ölçüler yardımı ile BFB'ni kestirimi ilgili başka bir yöntem (Sjöberg , 1998) kaynağında bulunabilir.

5.1.3 Araştırma teknikleri

Araştırma teknikleri stokastik bilgilere ve istatistik testlere dayalı oluşturulan bir güven

bölgesinde çözüm olabilecek bütün kombinasyonlar denenir. Aşağıda verilen bağıntıyı sağlayan çözüm en uygun çözümdür.

$$(\hat{\mathbf{a}} - \mathbf{a})^T \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{a}}}^{-1} (\hat{\mathbf{a}} - \mathbf{a}) = \min, \quad \forall \mathbf{a} \in \square^m. \quad (5.17)$$

(5.17) bağıntısı, merkezi BFB'nin gerçel çözüm sonucunda elde edilen $\hat{\mathbf{a}}$ vektörü olan bir hiper elipsoit tanımlar. Bu hiper elipsoidin çevrelediği hacim içindeki tamsayılardan oluşan bütün elemanların (5.17) bağıntısına en uygun olanı araştırılır. Bu problemi çözebilmenin bilinen tek yolu araştırma tekniği ile BFB'lerin en uygun tamsayı değerini bulmaktır. (5.17) bağıntısı gerçel çözümleri tamsayıya zorladığı için *Tamsayı Dengeleme* olarak da adlandırılır (Teunissen,1995). Bu nedenle yeni yöntemler araştırma tekniği hızlandırıcı ve güvenliğini artırıcı yönde geliştirilmiştir ve geliştirilmektedir.

Çizelge 5.2 Bazı BFB çözüm tekniklerinin karakteristikleri (Kim ve Langley, 2000b).

Teknik	Başlıca Yazar(lar)	BFB Araştırma Yöntemi	Veri İşleme Yöntemi	Araştırma Uzayının Elde Edilmesinde Kullanılan Yöntem	Yılı
*AFM	Counselman ve Gourevitch	Bağımsız	Tek/Çok-epok	Koşullu	1981
*LSAST	Hatch	Bağımsız	Tek-epok	Yok	1990
*FARA	Frei ve Beutler	Tamamen	Çok-epok	Koşullu	1990
*LAMBDA	Teunissen	Tamamen	Çok-epok	Dönüşüm/Koşullu	1993
*FASF	Chen ve Lachapelle	Tamamen	Çok-epok	Koşullu	1995
OMEGA	Kim ve Langley	Bağımsız	Tek/Çok-epok	Dönüşüm/koşullu	1999

Araştırma tekniği istatistik testlerle güçlendirilebilir. Kinematik çalışmalarda faz-kod ölçülerine ve araştırma tekniğine dayalı BFB çözüm yöntemlerinin kullanımı günümüzde yaygındır. Statik ya da OTF çözümünde kullanılmak üzere bir çok araştırma tekniği geliştirmiştir. Araştırma bölgeleri; ölçülere, hesaplanacak olan koordinatlara ya da kestirilecek olan BFB'lerine göre EKK çözümün gerçel sonuçlarına dayalı bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bunların çoğu araştırma bölgesini BFB'ne dayalı gerçekleştirmektedir (Kim ve Langley, 2000b). Bu çalışmada bunlardan yalnızca Çizelge 5.2'de gösterilen ilk beşinden ("*") bahsedilecek ve LAMBDA yöntemi üzerinde ayrıntılı olarak durulacaktır. OMEGA yöntemi temel düşüncesi LSAST yöntemine dayanmaktadır, bu nedenle bu yöntem üzerinde durulmamıştır. Bu yöntem ile ilgili ayrıntılı bilgi (Kim ve Langley, 1999; 2000a)

yayınlarından bulunabilir.

Araştırma tekniklerinin önemli genel özellikleri, EKK ve kullanılacak yönteme göre belirlenen araştırma bölgesi içine düşen BFB'lerini bir kümede toplayıp, deneysel ya da istatistik testlere dayalı belirlenen kriterlere göre istenen amaca en uygun BFB çözümünü üretmektir.

5.1.3.1 BFB Fonksiyon Yöntemi (AFM)

Araştırma bölgesini koordinatlar üzerine kuran en iyi bilinen yöntem AFM yöntemidir. AFM yöntemi ilk önce Counselman ve Grourevitch tarafından önerilmiştir. Matematik formülü aşağıdaki gibidir:

$$AFM(x_j, y_j, z_j) = \left(\sum_{q=1}^n \sum_{p=1}^m \sum_{s=1}^2 \cos\{2\pi [\phi^{qps} - (\phi^{qps})^0]\} \right) / (n m 2). \quad (5.18)$$

Burada, (x_j, y_j, z_j) bilinmeyen nokta koordinatları, $(m+1)$ gözlenen uydu sayısı, n gözlenen epok sayısı, 2 kullanılan dalga boyu sayısı, ve $2\pi[\phi^{qps} - (\phi^{qps})^0]$ ölçülen faz ile sabit ve bilinmeyen nokta koordinatları yardımı kullanılarak hesaplanan faz farkının radyan birimindeki değeridir.

Araştırma hacmi kod ölçüleri (ya da faz ölçüleri ile iyileştirilmiş kod ölçüleri) kullanılarak ön dengeleme sonucu elde edilen j noktasının koordinatları ve varyans-kovaryansları ile belirlenir. j istasyon noktasının hesaplanan koordinatları etrafında $\pm k \hat{\sigma}_x$ ($x=x, y, z$) alınarak oluşturulan üç boyutlu hacim araştırma bölgesini oluşturur. j istasyon noktasının koordinatları bu üç boyutlu karelej ağı içerisinde değiştirilerek (5.18) bağıntısı ile AFM değerleri hesaplanır. Maksimum değerli AFM j istasyon noktası için gerçel çözüm sonucu gibi kabul edilir. Bu koordinatlar kullanılarak BFB'lerinin tamsayı değerleri kestirilir. Çözülen BFB kullanılarak baz koordinatları hesaplanır (Weisenburger, 1997).

Bu yöntemin en büyük avantajı, GPS'de ölçülebilen faz parçasını kullandığından sinyal kesilmesinden bağımsızdır. Dezavantajı ise başlangıç çözümüne bağlı olarak değişen araştırma bölgesi hacminin büyük olmasıdır. Ayrıntılı bilgi için (Corbett vd., 1995; Leick, 1995; Han ve Rizos, 1996; Weisenburger, 1997; Hofmann-Wellenhof vd., 1997) kaynaklarından yararlanılabilir. Aynı yöntemin ikiden fazla istasyon için uygulaması (Retscher ve Mok, 1999) kaynağında bulunabilir.

5.1.3.2 En Küçük Kareler BFB Araştırma Yöntemi (LSAST)

Yöntem ilk kez Hatch tarafından önerilmiştir. LSAST yöntemi, yaklaşık konum koordinatlarına ihtiyaç duyar. Yaklaşık konum kod ölçüleri ile hesaplanabilir ve araştırma bölgesi bu yaklaşık çözüm sonuçları etrafında $3\hat{\sigma}$ aralığında seçilir. Yöntemin ana özelliği BFB'leri birinci ve ikinci grup olmak üzere iki ana gruba ayırmaktır. Birinci grup en iyi PDOP değerine sahip 4 uydudan seçilir. Bu uydular için araştırma bölgesi içerisine düşen olası BFB kombinasyonları belirlenir. Geriye kalan ikinci grup BFB'ler, birinci grubun olası BFB kombinasyonlarını elimine etmek için kullanılır (Hofmann-Wellenhof vd., 1997).

Mümkün olabilecek BFB çözümleri aşağıdaki yolla bulunabilir. Basit olarak yazılacak olan DD faz eşitliği vektör formunda aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\underline{\Phi} - \lambda \underline{N} = \underline{e} \rho \quad (5.19)$$

Burada, $\underline{\Phi}$ DD faz ölçü vektörü, $\underline{N}$ BFB vektörü, $\underline{e}$ bir vektörü, ρ DD geometrik uzunluğudur. (5.19) eşitliği j noktasın göre doğrusallaştırılır ve 4 uydu için 3 DD faz eşitliği seçilirse, j noktasının tek anlamlı koordinatları katsayılar matrisinin tersi yardımı ile aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_1 - \lambda N_1 \\ \Phi_2 - \lambda N_2 \\ \Phi_3 - \lambda N_3 \end{bmatrix}. \quad (5.20)$$

Burada eşitliğin sağ tarafındaki katsayılar matrisini değiştirmeden BFB'ler değiştirilerek koordinat bilinmeyenlerindeki değişime göre potansiyel BFB çözüm kümeleri belirlenir. Bu BFB çözüm kümeleri ile elde edilen konum bilgileri kullanılarak ikinci grubun BFB'leri çözülmeye çalışılır. Her iki gruptan elde edilen BFB'leri sabitlenerek baz çözümü gerçekleştirilir. Baz çözümleri sonucunda elde edilen birim ölçünün karesel ortalama hatasının minimum olduğu BFB kombinasyonu, BFB tamsayı çözüm kümesini verir. İdeal olanı, gerçek BFB kümesini kalmasıdır. Bu durum olmazsa, en küçük kereler toplamı minimum yapan çözüm ile ikinci en iyi çözüm karşılaştırılmalıdır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı kaba hatalara karşı duyarlı olmasıdır. Seçilen birinci grup uydularda meydana gelebilecek olan kaba hatanın diğer sonuçları bozacağı açıktır (Hofmann-Wellenhof vd., 1997; Weisenburger, 1997).

5.1.3.3 Hızlı BFB Çözüm Yöntemi (FARA)

AFM yönteme alternatif bir yöntem olarak FARA, Frei ve Beutler tarafından önerilmiştir. Bu yöntem gerçel çözüm sonuçlarına dayanan ve potansiyel BFB kümelerini iki teste göre hesaplayan bir yöntemdir (Frei, 1990; Weisenburger, 1997).

Araştırma bölgesini BFB'ye göre belirleyen daha önceki BFB çözüm yöntemlerinde minimum ve maksimum sınırlar gerçel çözüm sonucunda elde edilen BFB varyanslarına göre belirleniyordu. Bu yöntemin en önemli özelliklerinden biri, gerçel çözüm sonucunda elde edilen varyans-kovaryans matrisinin köşegen dışındaki terimlerini de hesaba katmasıdır. Bir başka deyişle gerçel çözüm sonucunda korelasyonlu olan BFB arasındaki korelasyonu da hesaba katan test yöntemini seçmesidir.

Birinci test işleminde, olası BFB kombinasyonlarının sınırlarını belirleyen sabit katsayı $k=t_{(nm-m-3, 1-\alpha/2)}$ 'nin (t -dağılımı sınır değeri) istatistik tablo değeridir ve BFB sınırları aşağıdaki bağıntı ile belirlenir:

$$P(\hat{N}_i - k \hat{\sigma}_i \leq \check{N}_i \leq \hat{N}_i + k \hat{\sigma}_i) = 1 - \alpha. \quad (5.21)$$

i 'inci BFB için (5.21) aralığına düşen tüm tamsayı değerler belirlenir. İkinci test ise, BFB arasındaki korelasyonları da değerlendirir ve istatistik testlere dayandırılır:

$$P(\hat{N}^{ij} - k \hat{\sigma}^{ij} \leq \check{N}^{ij} \leq \hat{N}^{ij} + k \hat{\sigma}^{ij}) = 1 - \alpha, \quad (5.22)$$

$$\hat{N}^{ij} = \hat{N}_i - \hat{N}_j,$$

$$\hat{\sigma}^{ij} = \sqrt{\hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_j^2 - 2\hat{\sigma}_{ij}^2}.$$

Birinci testi sağlayan olası BFB kombinasyonları ikinci testten yararlanılarak indirgenir. TEKK ilkesi her iki testi geçen potansiyel BFB kombinasyonları ile gerçekleştirilir. (5.21) ve (5.22) eşitliklerinde: $\hat{N}_i$ gerçel çözüm sonucunda bulunan i 'inci BFB, $\hat{\sigma}_i$ i 'inci BFB'nin duyarlılığı, $\check{N}_i$ i 'inci BFB'nin tamsayı değerleri, $nm-m-3$ serbestlik derecesi, α yanılma olasılığıdır (Frei, 1990; Weisenburger, 1997).

5.1.3.4 EKK-BFB'nin Korelasyonsuzlaştırılarak Dengelemesi (LAMBDA)

LAMBDA yöntemi Teunissen tarafından önerilmiştir. Yöntem, gerçel çözüm sonucunda elde edilen gerçel BFB ve bunların varyans-kovaryanslarına dayanır. Bu yöntemde tersi ve kendisi tamsayı elemanlardan oluşan bir dönüşüm matrisinden yararlanılarak gerçel çözüm sonuçları

ve bunların varyans-kovaryansları başka bir uzaya dönüştürülür. Elde edilen bu dönüştürülmüş gerçel çözümler arasındaki korelasyon, dönüşümden öncekilere göre oldukça düşüktür. Korelasyonun önemli derecede azalması potansiyel BFB kombinasyon sayısını da oldukça azalttığından, araştırma yöntemi orijinal BFB'lerine uygulanan araştırma yöntemine göre oldukça hızlı gerçekleştirilir (Teunissen, 1995; Teunissen vd., 1995; Jonge ve Tiberius, 1996; Teunissen vd., 1997).

Yöntemin ana ilkesi, bütün araştırma yöntemleri gibi (5.17) bağıntısına dayanır. Yöntemde BFB'lerinin gerçel değerleri $\hat{\underline{a}}$ ve ters ağırlık matris $\underline{Q}_{\hat{\underline{a}}}$, tamsayılı bir dönüşüm ile başka bir uzaya dönüştürülür:

$$\underline{z} = \underline{Z} \underline{a} , \quad (5.23)$$

$$\hat{\underline{z}} = \underline{Z} \hat{\underline{a}} , \quad (5.24)$$

$$\underline{Q}_{\hat{\underline{z}}} = \underline{Z} \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}} \underline{Z}^T . \quad (5.25)$$

Buradaki $\underline{Z}$ matrisi özel bir matris olup, hem tamsayılardan oluşur, hem de bu uzayda oluşan $\underline{Q}_{\hat{\underline{z}}}$ matrisini hemen hemen köşegenleştirir. Ters ağırlık matrisinin köşegenleşmesi, araştırma tekniğinin arama bölgesini küçültmekte yöntemi de hızlandırmaktadır. Araştırma tekniği dönüştürülmüş elemanlar üzerinden (5.17) bağıntısı ile,

$$(\hat{\underline{z}} - \underline{z})^T \underline{Q}_{\hat{\underline{z}}}^{-1} (\hat{\underline{z}} - \underline{z}) = \min , \quad \forall \underline{z} \in \square \quad (5.26)$$

daha kısa sürede gerçekleştirilir. Başka bir uzayda elde edilen dönüştürülmüş BFB'nin tamsayı değerleri ters dönüşümle kendi uzayına dönüştürülür.

$$\hat{\underline{a}} = \underline{Z}^{-1} \hat{\underline{z}} , \quad \forall \hat{\underline{a}} \in \square \quad (5.27)$$

(5.27)'deki bağıntıda $\underline{Z}^{-1}$ 'in elemanları da yine tamsayılardan oluştuğundan, dönüşüm sonucunda BFB'nin tamsayı değerleri dönüşümden önceki araştırma tekniğine göre çok daha hızlı bulunur.

Gerçel çözüm sonucunda elde edilen BFB'lerinin güven hiper elipsoidlerinin hacmi, potansiyel BFB'lerinin sayısını belirler. Teunissen (1995) ve Teunissen vd. (1997) yayınlarında güven hiper elipsoidinin hacmi ile olası BFB kombinasyonları arasındaki ilişkiyi göstermiştir. Yöntemin esası güven hiperelipsoidinin şeklini belirleyen, BFB'leri arasındaki korelasyondur. Korelasyon yüksek ise güven hiper elipsoidinin büyük yarı eksenini ile küçük yarı eksenini

arsındaki oran çok yüksektir. Ölçü süresi kısaldığında (özellikle kinematik uygulamalarda) hiper elipsoidi basıktır. Bu durum, gerçek BFB'lerin kestirim güvenilirliğini artırmakta ve BFB çözüm süresini azaltmaktadır. Homojen-izotrop bir yapıya yakın olan güven hiper elipsoidinde BFB'leri bulma güvenilirliği ve araştırma hızı artmaktadır. Yöntemin temel ilkesi basık olan güven hiper elipsoidini tamsayılı bir dönüşüm ile homojen-izotrop bir yapıya yaklaştırarak araştırmanın etkinliğini artırmaktır.

BFB'nin varyans-kovaryans matrisi $\underline{\Sigma}_a$ olmak üzere, bu matrisin ayrıştırılması aşağıdaki gibi gerçekleştirilir (Jong ve Tiberius, 1996):

$$\underline{\Sigma}_a = \underline{L}^T \underline{D} \underline{L} \quad (5.28)$$

(5.28)'de, $\underline{L}$ alt üçgen matris, $\underline{D}$ köşegen matris olmak üzere dönüşüm matris $\underline{Z}$ aşağıdaki gibi bulunur.

$$\hat{\underline{z}} = \underline{Z}^T \hat{\underline{a}}, \quad (5.29)$$

$$\underline{\Sigma}_z = \underline{Z}^T \underline{\Sigma}_a \underline{Z} = \underline{Z}^T \underline{L}^T \underline{D} \underline{L} \underline{Z}. \quad (5.30)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, $\hat{\underline{z}}$ dönüştürülmüş gerçel BFB'leri, $\underline{Z}$ dönüşüm matrisi, $\hat{\underline{a}}$ gerçel çözüm sonucunda bulunan BFB'leri, $\underline{\Sigma}_z$ dönüştürülmüş BFB'nin varyans-kovaryans matrisini gösterir. (5.30) eşitliğinde $\underline{Z} = \underline{L}^{-1}$ seçilseydi $\underline{\Sigma}_z = \underline{D}$ olurdu. Bu durumda BFB'leri arasında korelasyon olmaz ve güven hiperelipsoidi izotrop olurdu. Böylece gerçel BFB'leri en yakın tamsayıya yuvarlanabilirdi. BFB'lerinin tamsayı olma koşulu, dönüşümde kullanılacak matrisin ve tersinin elemanlarının da tamsayılı olma koşulunu gerektirmektedir. Teunissen (1995) yayınında, bu durumu “kabul edilebilir dönüşüm” kavramı ile netleştirmiştir. Kabul edilebilir $\underline{Z}$ dönüşüm matrisini oluşturabilmek için aşağıdaki üç koşula sağlanmalıdır:

- BFB'lerinin tamsayı doğası korunmalı ($\det(\underline{Z}) = \pm 1$),
- Dönüşüm, orijinal BFB'nin çok boyutlu olan güven hiper elipsoidinin hacmini korumalı,
- BFB'leri arasındaki korelasyonları azaltmalıdır.

Yukarıdaki istekleri sağlayan dönüşümlerden bir tanesi Gauss dönüşümüdür. İki boyutlu dönüşüm matrisi aşağıdaki gibi gösterilir (Teunissen 1995; Teunissen ve Kleusberg, 1998; Weisenburger, 1997).

$$\underline{Z} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \alpha & 1 \end{bmatrix} \quad (5.31)$$

Burada, $\alpha = -\sigma_{12}/\sigma_{11}$ ile 1 ve 2 numaralı BFB'leri tamamen korelasyonsuz hale getirilir. $\alpha = -[\sigma_{12}/\sigma_{11}]$ (nint{ $\mathbf{x}$ } = [$\mathbf{x}$]) ile en yakın tamsayıya yuvarlanırsa, korelasyon orijinal 1 ve 2 BFB'lerine göre küçültülmüş olur. Korelasyonun maksimum indirgenmesi uygulanacak olan dönüşümün sırasını değiştirmekle elde edilir (Jong ve Tiberius, 1996). Çok boyutlu Gauss dönüşümü (Jong ve Tiberius, 1996) kaynağından ve NGS(2002a) internet adresinden bulunabilir⁵. $\underline{Z}$ matrisinin hesaplanması ile ilgili matematik temeller ve algoritma hakkında ayrıntılı bilgi için (Jong ve Tiberius, 1996; Liu vd., 1999) kaynaklarından yararlanılabilir. $\underline{Z}$ matrisinin hesaplanması ile ilgili kaynak kodlar MGP ve NGS(2002a) internet adreslerinden bulunabilir^{4,5}. Ayrıca LAMBDA yöntemi ile ilgili kaynak kod isteğe bağlı olarak MGP internet adresinden sağlanabilir⁴.

LAMBDA yönteminde, BFB'leri arasındaki korelasyonun orijinal BFB'lerine göre oldukça azaltıldığı bir uzaya dönüştürülmesine rağmen araştırma tekniğini kullanır. LAMBDA yöntemindeki araştırma işlemi Ardışık Koşullu Dengelemeye göre gerçekleştirilir (Jong ve Tiberius, 1996).

5.1.3.5 Hızlı BFB Araştırma Filtresi (FASF)

İlk olarak Chen ve Lachapelle tarafından geliştirilmiştir. FASF yöntemi de, yukarıda bahsedilen yöntemlere benzer olarak çözüme, gerçel çözümden sonra başlar ve araştırma bölgesi stratejisi tekrarlı ve ardışık hesaplamaya dayanır (Chen, 1994; Weisenburger, 1997).

Yukarıdaki yöntemlere benzemeyen FASF araştırma bölgesini yinelemeli olarak hesaplar. m adet BFB; $N_1, N_2, \dots, N_m$ olsun. Eğer bu BFB vektöründeki N_1 bilinseydi, diğer BFB'nin kovaryansları değişecek ve küçülecektir.

DD sadece faz ya da faz-kod ölçüleri kullanılarak oluşturulan normal denklemler aşağıdaki gibi elde edilsin:

$$\begin{bmatrix} \underline{G}_b & \underline{G}_{ba} \\ \underline{G}_{ab} & \underline{G}_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{b} \\ \underline{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{g}_b \\ \underline{g}_a \end{bmatrix} \quad (5.32)$$

Burada; $\underline{G}_b = \underline{B}^T \underline{P} \underline{B}$, $\underline{G}_{ab}^T = \underline{G}_{ba} = \underline{B}^T \underline{P} \underline{A}$, $\underline{G}_a = \underline{A}^T \underline{P} \underline{A}$, $\underline{g}_b = \underline{B}^T \underline{P} \underline{y}$ ve $\underline{g}_a = \underline{A}^T \underline{P} \underline{y}$ 'dir. (5.32)

eşitliğindeki normal denklemlerde baz bilinmeyenleri indirgenirse

$$\tilde{\underline{G}}_a \underline{a} = \tilde{\underline{g}}_a \quad (5.33)$$

elde edilir. Bu eşitlikte $\tilde{\underline{G}}_a = \underline{G}_a - \underline{G}_{ab} \underline{G}_a^{-1} \underline{G}_{ba}$ ve $\tilde{\underline{g}}_a = \underline{g}_a - \underline{G}_{ab} \underline{G}_b^{-1} \underline{g}_b$ 'dir. (5.33)'de bilinmeyen olarak sadece BFB vektörü kalmış ve baz bileşenleri indirgenmiştir. (5.33) normal denklemlerinin çözümü sonucunda $\hat{\underline{a}} = [\hat{N}_1, \hat{N}_2, \dots, \hat{N}_{i-1}, \hat{N}_i, \hat{N}_{i+1}, \dots, \hat{N}_m]^T$ vektörü elde edilmiştir. FASF uygulanarak $\hat{N}_i$ elemanına kadar gelindiğini düşünelim. Öyleyse $\hat{\underline{a}} = [\hat{N}_1, \hat{N}_2, \dots, \hat{N}_{i-1}, \hat{N}_i, \hat{N}_{i+1}, \dots, \hat{N}_m]^T = [\hat{\underline{a}}_A \hat{\underline{a}}_B]^T$ olacaktır. i 'ye kadar olan bütün BFB'nin doğru tamsayı değerleri bulunmuştur ve $\hat{\underline{a}}_A$ vektöründe toplanmıştır. i 'den m 'ye kadar olan BFB'leri $\hat{\underline{a}}_B$ vektöründe toplanmıştır ve bunların tamsayı değerleri aşağıdaki gibi bulunur. $\hat{\underline{a}}$ vektörü tamsayı değeri bilinen BFB'ler ve bilinmeyenler olarak (5.32) eşitliğine benzer şekilde ikiye ayrıştırılırsa

$$\begin{bmatrix} \tilde{\underline{G}}_A & \tilde{\underline{G}}_{AB} \\ \tilde{\underline{G}}_{BA} & \tilde{\underline{G}}_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\underline{a}}_A \\ \hat{\underline{a}}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{\underline{g}}_A \\ \tilde{\underline{g}}_B \end{bmatrix} \quad (5.34)$$

elde edilir. (5.34) eşitliği bütün BFB'lerinin gerçel çözümlerini göstermektedir. $\hat{\underline{a}}_A$ A grubunun tamsayı değerlerini göstermek şartıyla; B grubunun A grubunun tamsayı değerleri koşulu altında elde edilen gerçel kestirim değerleri

$$\hat{\underline{a}}_{B|A} = \tilde{\underline{G}}_B^{-1} \{ \tilde{\underline{g}}_B - \tilde{\underline{G}}_{BA} \hat{\underline{a}}_A \} \quad (5.35)$$

elde edilir. (5.34) eşitliğinde ikinci grup BFB vektörünü, birinci grup BFB'den herhangi birini bir tamsayıya sabitlemeden bunların gerçel değerleri ile elde edersek

$$\hat{\underline{a}}_B = \tilde{\underline{G}}_B^{-1} \{ \tilde{\underline{g}}_B - \tilde{\underline{G}}_{BA} \hat{\underline{a}}_A \} \quad (5.36)$$

elde edilir. (5.36) eşitliği (5.35)'den çıkarılırsa

$$\hat{\underline{a}}_{B|A} = \hat{\underline{a}}_B - \tilde{\underline{G}}_B^{-1} \tilde{\underline{G}}_{BA} (\hat{\underline{a}}_A - \hat{\underline{a}}_A), \quad (5.37a)$$

$$\hat{\underline{a}}_{B|A} = \hat{\underline{a}}_B - \underline{C} (\hat{\underline{a}}_A - \hat{\underline{a}}_A) \quad (5.37b)$$

elde edilir. (5.37b)'de $\underline{C} = \tilde{\underline{G}}_B^{-1} \tilde{\underline{G}}_{BA}$ 'dır. (5.37b) eşitliği FASF yönteminin özelliğine göre yalnızca i 'inci BFB'nin gerçel çözümü için A koşulu altında yazılırsa

$$\hat{N}_{i|A} = \hat{N}_i - \underline{c}_i^T (\hat{\underline{a}}_A - \hat{\underline{a}}_A) \quad (5.38)$$

elde edilir. Burada $\underline{c}_i^T$ vektörü $\underline{C}$ matrisinin birinci satırıdır. (5.38) çözümü sonucunda bulunan gerçel değer ve duyarlılığı kullanılarak araştırma bölgesinin sınırları hesaplanır (Chen, 1994).

$$\hat{N}_{i|A} - k \hat{\sigma}_{i|A} \leq \check{N}_i \leq \hat{N}_{i|A} + k \hat{\sigma}_{i|A} \quad (5.39)$$

$$\hat{\sigma}_{i|A} = \pm \hat{\sigma} \sqrt{(\tilde{G}_B^{-1})_{11}}$$

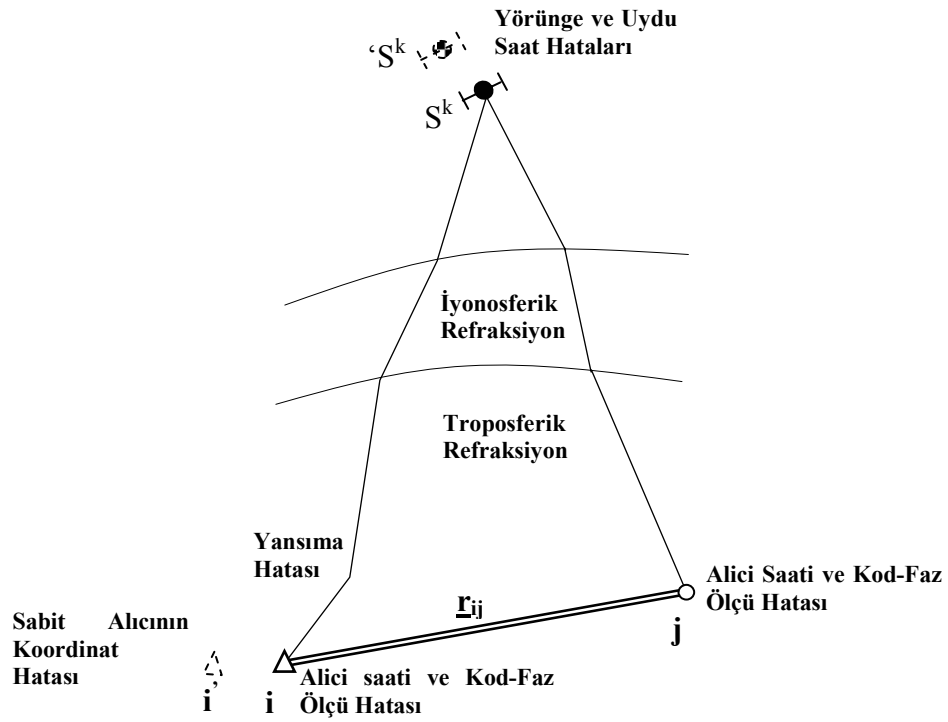
Burada, $\check{N}_i$ i'inci BFB tamsayı değeri, k i'inci BFB'nin alabileceği maksimum tamsayı değerini kapsatacak olan ölçek katsayısıdır (GPS ölçüleri epoklar arası korelasyonsuz oldukları varsayılp istatistik tablo değerlerinden yararlanılarak belirlenebilir). $\underline{c}_i^T$ vektörü ve $k \hat{\sigma}_{i|A}$ değeri $\check{a}_A$ vektörünün elemanlarından bağımsızdır. Birinci BFB için hesaplamak $\hat{N}_1$, $\hat{\sigma}_1$ ve $\check{N}_1$ değerleri, diğer BFB'nin herhangi birisi tamsayıya sabitlenmeden hesaplanır. Birinci BFB'nin alabileceği bütün tamsayı değerlere göre (5.38) ve (5.39) kullanılarak $i=2,3,...,m$ BFB'lerinin tamsayı değerleri hesaplanır. Böylece tekrarlamalı ve ardışık olarak bütün BFB'lerinin alabilecekleri tamsayı değerlerinin oluşturdukları kombinasyonlar araştırılmış olur (Chen, 1994). Her bir tamsayı kombinasyonu sonucunda düzeltmelerin karesel formu; $\Omega_{\check{a}}$ hesaplanır.

$$(\Omega_{\check{a}})_j = \Omega + (\hat{\underline{a}} - \check{\underline{a}}_j)^T Q_{\check{a}}^{-1} (\hat{\underline{a}} - \check{\underline{a}}_j) \quad \{j=1,2,...,p\} \quad (5.40)$$

(5.40)'de Ω gerçel çözüm sonucunda bulunan düzeltmelerin karesel formu, p ise BFB parametrelerinin olası kombinasyonlarının sayısıdır. Karesel formun minimum olduğu BFB vektörü çözümdür.

6. GPS'DE HATA KAYNAKLARI

Bu çalışmada, BFB kestirimi için önerilen testleri denetleyebilmek amacıyla gerçek değerleri bilinen GPS gözlem dosyaları türetilacaktır. Gözlem dosyalarının gerçeğe uygun olarak türetilmek için GPS gözlemlerindeki hata kaynaklarının tanımlanması gerekmektedir.



Şekil 6.1 Bağıl konum belirlemede, sonucu etkileyen model hataları.

GPS hata kaynakları düzenli ve rasgele olmak üzere iki gruba ayrılabilir (Şekil 6.1).

- Modellenebilen düzenli hatalar
 - Uyduya bağımlı düzenli hatalar
 - Yörünge hataları
 - Uydu saat hataları

- SA ve AS etkileri
- Alıcıya bağımlı düzenli hatalar
 - Alıcı saat hataları
 - Sabit istasyon koordinat hataları
- Ölçüye bağımlı düzenli hatalar
 - İyonosferik refraksiyon
 - Troposferik refraksiyon
 - BFB hatası
- Modellenemeyen düzenli hatalar ve rasgele gözlem hatalar
 - Yeterince modellenemeyen, artık hatalar
 - Faz ölçülerinde meydana gelen rasgele faz sıçramaları
 - Yansıma hatası
 - Anten faz merkezi kayıklığı ve değişimi
 - Rasgele gözlem hataları

6.1 Modelleneyen Düzenli Hatalar

Yeterince modelleneyen ve etkileri ihmal edilebilecek kadar azaltılabilen ya da ölçülerin özel kombinasyonları sonucu ortadan kaldırılabilen model hatalarıdır.

6.1.1 Uyduya Bağımlı Düzenli Hatalar

Uyduya ya da GPS'in uzay bölümüne bağımlı olan hatalar, modelleneyen ya da etkileri azaltılabilen model hatalarıdır.

6.1.1.1 Uydu Yörünge Hataları

Uydunun bilinen konumu ($\underline{r}'$) ile gerçek konumu ($\underline{r}$) arasındaki fark vektörü ($\underline{dr}$) uydu yörünge hatasıdır. $\|\underline{dr}\|$ uydu konum hatası, $\|\underline{b}\|$ baz uzunluğu olmak üzere, mutlak konum belirleme ve bağıl konum belirlemedeki etkileri kabaca aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir:

$$\underline{dr} = \underline{r}' - \underline{r} , \quad (6.1)$$

$$\text{Mutlak Konum Belirleme Hatası} \approx \text{PDOP} * \|\underline{dr}\| , \quad (6.2)$$

$$\text{Bağıl Konum Belirleme Hatası} \approx \{ \|\underline{dr}\| / \|\underline{r}\| \} \|\underline{b}\| . \quad (6.3)$$

Baz uzunluğu arttıkça yörünge hatasının etkisi de artmaktadır [8]. Uydu yörünge bilgileri; uyduların önceden izlenmiş yörüngelerinden yararlanarak kestirilen ve kullanıcılara ölçme

anında ulaşan yayın yörünge bilgileri (Broadcast Ephemerides, BE) ve ölçme anındaki izlenmiş uyd u yörüngelerini de kapsayan ve ölçü sonrası değerlendirmeye tabi tutularak belirlenen duyarlı yörünge bilgileri (Precise Ephemeris, PE), olarak bilinen iki temel yörünge bilgisi ile kullanıcılara ulaştırılırlar. Duyarlı yörünge bilgileri, ölçme anında kullanıcıya ulaşmaz, daha geç elde edilirler. Bunun nedeni toplanan verilerin, ana istasyonda toplanması, yörünge hesaplamaları ve kullanıcılara dağıtılması sırasında yaşanılan gecikmedir. Planlama amacıyla üretilmiş olan ve kullanıcının önceden ulaşabileceği almanak bilgileri (Almanac Data, AD), GPS navigasyon mesajları ile birlikte ölçme anında elde edilirler.

IGS çeşitli uyd u yörünge bilgilerini; duyarlılık, erişilebilirlik süresi ve gözlem aralığı açısından tablo halinde karşılaştırmıştır [2].

Çizelge 6.1 GPS’de çeşitli uyd u yörünge bilgilerinin karşılaştırılması [2].

Yörünge Türü	Formatı	Doğruluk	Gecikme	Güncelleme	Gözlem Arlığı
BE	RINEX	~260cm/~7ns	Gerçek zamanlı	—	Günlük
Kestirilmiş PE	SP3	~25cm/~5ns	Gerçek zamanlı	Günde iki kez	15dak/15dak
Hızlı PE	SP3	5cm/0.2ns	17 saat	Günlük	15dak/5dak
Sonuç PE	SP3	<5cm/0.1ns	~13gün	Haftalık	15dak/5dak

Yörünge türleri ve ilgili daha ayrıntılı bilgi (Seeber, 1993; Leick, 1995; Hofmann-Wellenhof vd., 1997) kaynaklarından, duyarlı yörünge formatı SP3 (Standart Product #3) ile ilgili bilgi ve veriler GIBS, IGS, NGS ve NIMA kuruluşlarından elde edilebilir [1, 2, 6, 7].

6.1.1.2 Uyd u Saat Hataları

GPS uyd u saatlerindeki sabit kayıklık, zaman ölçęi değişim miktarı ve zaman ölçęinin hızı parametreleri, uyd u efemerislerine benzer yolla belirlenir ve yörünge bilgileri ile birlikte kullanıcılara ulaştırılır. Kullanıcıların ulaşabildikleri saat düzeltme terimleri, ölçme modellerinde kullanabilecekleri uyd u saat hatalarının bir kestirimidir. Rasgele değişim gösteren uyd u saat hataları kestirilemezler, uyd u saat hataları için böyle bir deterministik model 20 nanosaniye ya da uzunluk olarak 6m doğruluğundadır ve en son güncellenen navigasyon mesajının zamanına bağlı olarak değişir [8].

6.1.1.3 SA ve AS Etkileri

SA (Selective Availability), delta (δ) ve epsilon (ϵ) olarak bilinen iki farklı bileşenden oluşur. δ -bileşeni, bilinçli olarak uyd u saatinin frekansı ile oynanarak, kod ve faz uzunluk ölçülerinin olduğundan uzun ya da kısa olarak üretilmesine neden olur. SA’nın saat parametrelerinin

kasıtlı bozulduğu bileşeni altında (δ -bileşeni) faz ve kod ölçülerinde 10-100 metre hatalara neden olurlar [3, 8] .

SA'nın ϵ -bileşeni, ölçme anında yayınlanan uydu yörüngelerini tanımlayan parametrelere hatalar yüklenmesi ile gerçekleştirilir. Konum belirleme amacı ile kullanılan uydu yörünge bilgileri, üzerlerine yüklenen hataları alıcı konum bilgileri üzerine yayarlar.

AS (Anti-Spoofing), P-kod karakteristiğini değiştirerek GPS sinyalinin yapısını bozar. P-kodu, W-kod olarak adlandırılan bir kodla karıştırılır, bunun sonucunda Y-kodu oluşur. Daha sonra bu kod taşıyıcı dalga üzerine modüle edilir ve böylece alıcının P-kod ölçüsü yapması engellenmiş olur. Bir çok alıcı üreticisi, sadece küçük bir hata ile P-kod ölçüsü yapabilen (çapraz korelasyon) teknikler geliştirmişlerdir [3]. AS P-kod üzerinde etkilidir, P-kod ölçüsü yapmayan alıcılarda bu etkiden söz edilemez.

Günümüzde, SA etkisi kaldırılmış AS etkisi halen devam etmektedir.

6.1.2 Alıcıya Bağımlı Düzenli Hatalar

Kullanıcı bölümüne ya da alıcıya bağlı olan modellenenebilen ya da etkileri azaltılabilen model hatalarıdır.

6.1.2.1 Alıcı Saat Hatası

Alıcı saatleri, kod korelasyonuna göre çalışan alıcılarda SA altında normal çalışma koşullarına göre yaklaşık 0.1 μ s civarında GPS zamanına senkronize edilmişlerdir. SA kapalıyken muhtemelen 0.01 μ s seviyesinde olan saat hatalarıdır. Artık olan saat hataları birkaç 10m basamağına karşılık geldiğinden göz önünde bulundurulmalıdır [8].

6.1.2.2 Sabit İstasyon Koordinat Hatası

Diferansiyel GPS ile konum belirlemede, GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sırasında sabit olan alıcının koordinatları değişmez alınır. Bağlı konum belirlemede sabit alınan alıcının koordinatlarındaki hata, baz bileşenlerinin ve koordinatları hesaplanacak ikinci alıcının koordinatlarının hatalı olmasına neden olur. Buradaki hatanın bağlı konum belirlemedeki etkisi uydu yörünge hatalarının bağlı konum belirlemedeki etkileri gibi düşünülebilir. Daha doğru bağlı konumlama yapabilmek için, referans seçilen alıcının koordinatlarının belirlendiği uydu yörüngelerinin koordinat referansı daha doğru olmalıdır. Referans istasyon hatasının bağlı konum belirlemedeki etkisi (6.3) bağıntısındaki $\|\underline{dr}\|$ sabit istasyon hatası ve $\|\underline{r}\|$ istasyon noktasının yer vektörü kabul edilerek, bu bağıntıdan kabaca hesaplanabilir.

6.1.3 Ölçüye Bağımlı Düzenli Hatalar

Sinyalin geçtiği ortam ve alıcı-uydu kombinasyonuna bağlı olan yeterince modellenen ya da model etkileri yeterince azaltılabilen düzenli hatalardır. Atmosferik etkiler ve BFB'liği bu türe girer. Atmosferik etkiler için detaylı bilgi (Leick, 1995; Hofmann-Wellenhof vd., 1997) kaynaklarından bulunabilir.

Uydu sinyalleri, uydudan alıcıya seyahat ederken farklı atmosfer katmanlarından geçerler. Genellikle GPS'de atmosferi iki katman olarak düşünülür. Nötüral özellik gösteren 0–50 km arası oluşan atmosfer katmanı troposfer, iyonize özellik gösteren 50-1000km arası atmosfer katmanı ise iyonosfer olarak adlandır (Hofmann-Wellenhof vd., 1997).

6.1.3.1 İyonosferik Refraksiyon

Güneş'ten gelen ultraviyole ışınlar gaz molekülerinin iyonlaştırır ve bir elektronlarını kaybetmelerine neden olur. Serbest kalan bu elektronlar mikrodalga sinyallerinin bu katmandaki yayılışını (hızını, yönünü ve polarizasyonunu) etkiler. En büyük etki sinyalin hızında olur ve iyonosferin öncelikli etkileri ölçülen uzunluklar üzerinedir [8]. Sinyal iyonosferden geçerken, faz ve kod ölçülerini eşit, fakat farklı yönlerde etkiler. Kod ölçüleri geometrik uzunluğa göre uzun ölçülürken, faz ölçüleri için durum bunun tersidir. Kod ölçülerindeki uzama ya da faz ölçülerindeki kısalma sinyalin geçtiği yol boyunca olan elektron yoğunluğunu gösteren TVEC'e (Total Vertical Electron Content) bağlıdır. TVEC miktarı, alıcının manyetik enlemine, zamana ve uydu yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir.

Bu çalışmada simülasyonla elde edilecek RINEX dosyalarını türetirken iyonosferik etkiyi yansıtacak iki tür iyonosferik model kullanılmıştır. Bunlarda birincisi, alıcı ile uydu arasında sinyalin geçtiği yol boyunca $1m^2$ kesitli koridor boyunca toplam elektron miktarına göre oluşturulan modeldir (Hofmann-Wellenhof vd., 1997). Bu model aşağıdaki gibi verilir:

$$I_i^k = 40.3 \text{ TVEC} / \{ f^2 \cos(z_i^k) \}, \quad (6.4)$$

$$\sin(z_i^k) = R_E \sin(z_i^k) / (R_E + h_m). \quad (6.5)$$

(6.4) ve (6.5) bağıntılarında geçen büyüklükler [birimleri]: I_i^k iyonosferik refraksiyon [m], (z_i^k) iyonosferik noktadaki (Ionosphere Point, IP) düşey açı, f kullanılan dalga boyunun frekansı [Hz], TVEC düşeyde $1m^2$ kesit alanına sahip koridor da bulunan toplam elektron miktarı (10^{16} - 10^{18}), R_E alıcının bulunduğu noktada ortalama eğrilik yarıçapı [m]; h_m iyonosfer

yüksekliğinin ortalama değeri (300km-400km), (z_i^k) uydunun alıcıya göre düşey açısıdır (Hofmann-Wellenhof vd., 1997).

İkinci iyonosferik refraksiyon modeli; ölçme anında alınan yayın efemeris bilgilerinin başlık bölümünde yer alan katsayılar yardımı ile hesaplanan Klobuchar modelidir. Klobuchar modelinin FORTRAN77 programlama dilindeki kaynak kodları NGS(2002a) İnternet sitesinde *GPSToolbox* dizininden alınabilir [5]:

$$I_i^k = c / \cos(z_i^k) \cdot (A_1 + A_2 \cos \{2\pi (t-A_3) / A_4\}), \quad (6.6)$$

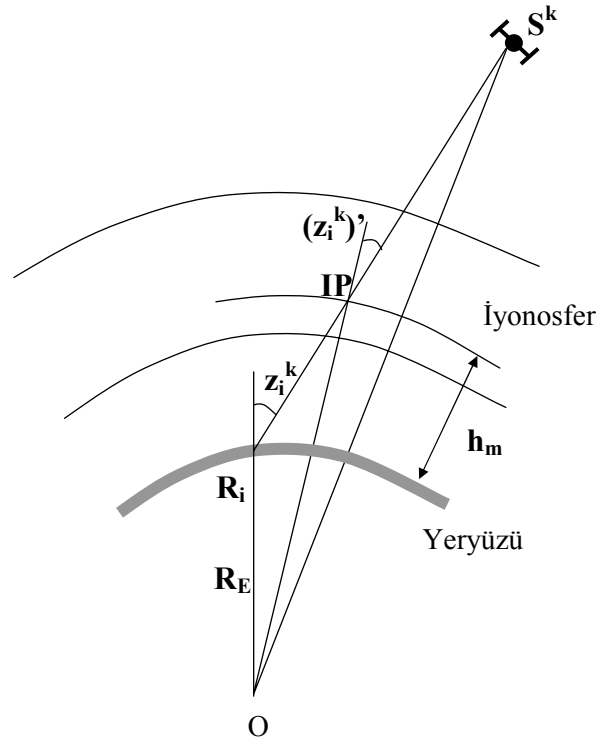
Burada,

$$A_1 = 5 \cdot 10^{-9} \text{sn} = 5 \text{ns}, \quad A_2 = \alpha_1 + \alpha_2 (\varphi_{IP}^m) + \alpha_3 (\varphi_{IP}^m)^2 + \alpha_4 (\varphi_{IP}^m)^3,$$

$$A_3 = 14^h \text{ Yerel zaman}, \quad A_4 = \beta_1 + \beta_2 (\varphi_{IP}^m) + \beta_3 (\varphi_{IP}^m)^2 + \beta_4 (\varphi_{IP}^m)^3 \text{ olarak verilir.}$$

A_1 , A_3 ve c (ışık hızı) sabit değerlerdir. α_i , β_i ($i=1,2,3,4$) değerleri uydulara yüklenir ve efemeris bilgileri yardımı ile kullanıcılara ulaştırılır. t parametresi IP noktasının (Şekil 6.2) yerel yıldız zamanıdır ve aşağıdaki bağıntıdan elde edilebilir:

$$t = \lambda_{IP} / 15 + t_{UT} \quad (6.7)$$



Şekil 6.2 İyonosferik refraksiyonun geometrisi.

Pozitif yönü doğuya olan λ_{IP} iyonosferik nokta için derece birimli jeomanyetik boylamdır. t_{UT} gözlem anındaki evrensel zamandır (UT). ϕ_{IP}^m ; jeomanyetik kutup ile iyonosferik nokta arasındaki küresel uzaklıktır. ϕ_P , λ_P manyetik kutup ve ϕ_{IP} , λ_{IP} iyonosferik nokta koordinatları olmak üzere ϕ_{IP}^m aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (Hofmann-Wellenhof vd., 1997):

$$\cos \phi_{IP}^m = \sin \phi_{IP} \sin \phi_P + \cos \phi_{IP} \cos \phi_P \cos(\lambda_{IP} - \lambda_P) \quad (6.8)$$

Klobuchar iyonosferik refraksiyon modelinin katsayıları önceden gözlenmiş değerlere göre hesaplandığından gerçeğe daha yakındır. Fakat, α ve β katsayıları eski tip alıcılarda kaydedilmiyorsa iyonosferik refraksiyonun yaklaşık değeri birinci modelle elde edilebilir.

6.1.3.2 Troposferik Refraksiyon

Sinyalin refraksiyonuna neden olan nötr atmosfer katmanını troposfer, yeryüzünden yaklaşık 8km'ye kadar olan kısımdır (bu kalınlık ekvator da bunun yaklaşık iki katına ulaşır). Nötr olan atmosferin bir diğer bileşeni de stratosferdir, yeryüzünden 50km yüksekliğe kadar uzanır ve iyonosferik katmanının tabanını oluşturur. Troposfer katmanını, nötr atmosferik refraksiyonun en önemli kısmını oluşturduğundan adını buradan almıştır.

Gaz kanunlarından türetilen Saastamoinen modeli, bu çalışmada troposferik refraksiyon modeli olarak seçilmiştir. Diğer troposfer modelleri için (Brunner, 1988; Mekik, 1996; Hofmann-Wellenhof vd., 1997) kaynaklarına bakılabilir. Saastamoinen modeli

$$T_i^k = 0.002277 / \cos z_i^k \{ p_i + (1255 / K_i + 0.05) e_i - B_i \tan^2 z_i^k \} + \delta R_i^k \quad (6.9)$$

şeklindedir. Burada geçen terimler [birimleri], z_i^k düşey açı, p_i [mb] atmosfer basıncı; K_i [Kelvin⁰] ısı; e_i [mb] kısmi buhar basıncı ve B_i [mb], δR_i^k [m] düzeltme terimleridir. Bu birimler kullanılarak elde edilen troposferik etki metre birimli olarak elde edilir ve programlamaya çok yatkın bir modeldir. (6.9)'daki modelde p_i , e_i ve K_i terimleri ($K^0 = 273.15 + C^0$) ölçülür ya da deniz yüzeyindeki standart değerler ($Rh_0 = \%50$, $p_0 = 1013.25$ mb ve $K_0 = 291.15^\circ K$) göre aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$p_i = p_0 (1 - 0.0226 H_i)^{5.225}, \quad (6.10a)$$

$$K_i = K_0 - 6.5 H_i, \quad (6.10b)$$

$$e_i = 0.0611 \text{Exp}\{16.27 (K_i - 273.15) / K_i\} Rh_i, \quad (6.10c)$$

$$Rh_i = Rh_0 \text{Exp}(-0.6396 H_i) . \quad (6.10d)$$

Burada, H_i [km] yükseklik, Rh_i [%] H_i yüksekliğindeki bağıl nem, p_i [mb] H_i yüksekliğindeki basınç ve e_i [mb] H_i yüksekliğindeki kısmi buhar basıncıdır. B_i ve δR_i^k düzeltme terimleri tablolar halinde verilmiştir (Hofmann-Wellenhof vd., 1997). Hofman-Wellenhof (1997) kaynağında B_i terimi için sayfa 116 Çizelge 6.3 verilen değerler kullanılarak EKK yöntemine göre duyarlılığı $m_0=0.0003\text{mb}$ olan aşağıdaki üçüncü derece fonksiyon kestirilmiştir:

$$B_i = 1.15606093882392 - 0.159150677080913(H_i) + 9.57874628337407e-03(H_i)^2 - 2.93928609941929e-04(H_i)^3 . \quad (6.11)$$

Burada, H_i [km] yükseklik, B_i [mb] düzeltme terimidir. δR_i^k düzeltme terimi için aynı kaynakta sayfa 117 Çizelge 6.4'de verilen değerler kullanılarak duyarlılığı $m_0=0.0005\text{m}$ olan aşağıdaki beşinci derece fonksiyon kestirilmiştir:

$$\begin{aligned} \delta R_i^k = & -609.610702514648 - 11.8119828940835(H_i) + 44.6912622451782(z_i^k) \\ & - 0.16035255692168 (H_i)^2 + 0.709754265204538(z_i^k)(H_i) - 1.30892039835453(z_i^k)^2 \\ & - 1.29978003914299e-03(H_i)^3 + 7.39649404463449e-03(z_i^k)(H_i)^2 \\ & - 1.59749988906697e-02(z_i^k)^2(H_i) + 1.91466081887484e-02 (z_i^k)^3 \\ & - 9.34165498177875e-05(H_i)^4 + 5.29255210760526e-05(z_i^k)(H_i)^3 \\ & - 1.14026200378481e-04(z_i^k)^2(H_i)^2 + 1.59671786935434e-04(z_i^k)^3(H_i) \\ & - 1.39901935654052e-04(z_i^k)^4 + 1.36997738186908e-06(H_i)^5 \\ & + 1.02215044995582e-06(z_i^k)(H_i)^4 - 4.64516644206299e-07(z_i^k)^2(H_i)^3 \\ & + 5.86290376617619e-07(z_i^k)^3(H_i)^2 - 5.98198493406699e-07(z_i^k)^4(H_i) \\ & + 4.08581552591158e-07 (z_i^k)^5 . \end{aligned} \quad (6.12)$$

Yukarıdaki fonksiyonda, z_i^k [°] düşey açı, H_i [km] yükseklik ve δR_i^k [m] düzeltme terimidir. (6.12) bağıntısı $60^\circ \leq z_i^k \leq 80^\circ$ aralığı için kestirilmiştir. $z_i^k < 60^\circ$ için $\delta R_i^k = 0$ alınır.

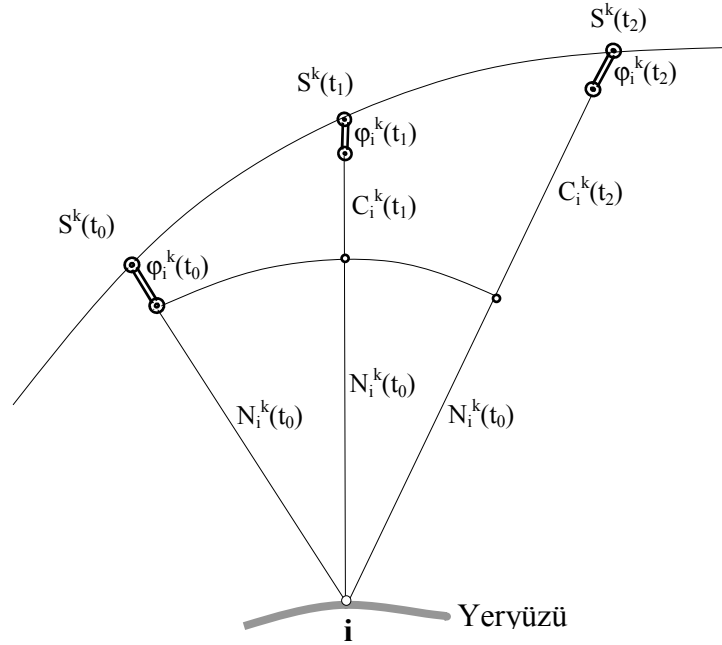
Yukarıda kestirilen fonksiyonlar ve standart atmosfer değerleri kullanılarak, Saastamoinen modeline göre elde edilen düzeltme değerleri ve troposferik düzeltme miktarları Ek 1'de verilmiştir.

6.1.3.3 Başlangıç Faz Belirsizliği (BFB)

t_j anındaki taşıyıcı faz ölçüsü $\phi_i^k(t_j)$, sinyalin alım anında alıcıda üretilen taşıyıcı dalganın fazı $\phi_i(t_j)$ ile sinyalin yayımlanma anında uyduda üretilen taşıyıcı dalganın fazı $\phi^k(t_j - \tau_i^k(t_j))$ farkına eşittir ve RINEX formatında periyot (cycle) biriminde verilir. $\phi_i^k(t_j)$ iki ayrı bileşenden oluşur. Bunlardan biri ölçülebilen kısım olan faz parçası $\phi_i^k(t_j)$ ve diğeri ise alıcıda sayılabilen (ya da ölçülebilen) tam periyotların sayısı $C_i^k(t_j)$ 'dir. Ölçü başlangıcında t_0 'dan itibaren ölçülemeyen tam dalga boyu sayısı $N_i^k(t_0)$ bilinmez. $N_i^k(t_0)$, taşıyıcı faz belirsizliği (Teunissen ve Kleusberg, 1998) ya da başlangıç faz belirsizliği (BFB) olarak adlandırılır (Şekil 6.3). Sinyal kesilmesi olmadığı sürece BFB aynı kalır:

$$\phi_i^k(t_j) + N_i^k(t_0) + \Delta_i^k(t_j) = \phi_i^k(t_j) + C_i^k(t_j) + N_i^k(t_0) + \Delta_i^k(t_j). \quad (6.13)$$

Bu eşitlikte, t_j ölçü epoklarını ($j=0,1,2,\dots$), $\Delta_i^k(t_j)$ düzenli ve rasgele hataları göstermektedir. Bu bölüm altında anlatılan düzenli ve rasgele hata kaynaklarının oluşturduğu $\Delta_i^k(t_j)$, konum belirlemede kurulan matematik model içerisinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir. (6.13) eşitliğinden t_0 anı için $C_i^k(t_0)=0$ {ya da $\phi_i^k(t_0)=\phi_i^k(t_0)$ } olduğu görülmektedir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 GPS alıcısında, ölçülebilen faz ölçüleri; $\phi_i^k(t_j)$ ($j=1,2,\dots,n_t$), sayılabilen tam dalga boyları; $C_i^k(t_j)$ ve BFB; $N_i^k(t_0)$.

BFB matematik model içerisine bilinmeyen parametre olarak eklenir ve bağıl konum parametreleri ile birlikte kestirilir. Tamsayı olması gereken BFB belirlendiğinde faz ölçüleri

milimetre duyarlıklı kod ölçüleri gibi davranırlar. BFB'nin yanlış belirlenmesi model hatalarına neden olur.

Şekil 6.3 göz önünde bulundurularak BFB için aşağıdakiler söylenebilir:

- BFB parametresi bir tam sayıdır (bir taşıyıcı dalga boyu çarpanıdır)
- L1 ve L2 faz ölçüleri için farklı değerler alır.
- Her bir uydu ve alıcı çifti için farklı BFB bilinmeyi vardır.
- Bir uydu-alıcı çifti için sinyal kesilmesi olmadığı sürece aynı kalır.
- Faz ölçüleri, bir gözlem epoğundan diğerine uydu-alıcı arasındaki uzaklığın değişim ölçüsüdür.
- BFB'nin belirlenmesi, belirsizliğin çözümlenmesi olarak adlandırılır. Düzenli ve rasgele hatalar $\{ \Delta_i^k(t_j) \}$ nedeni ile çözülmesi kolay bir problem değildir.

BFB'nin doğru belirlenmemesi durumunda da şu olumsuzluklar sıralanabilir:

- Bir epok ölçü ile anlık konum belirleme mümkün olmaz.
- Doğası gereği tamsayı olması gereken BFB'nin kestirilecek ek parametre olarak matematik modele eklenmesi, çözümü daha karmaşık hale getirir [8].

BFB'nin belirlenmesinde kullanılan en güçlü çözüm, DD faz ölçüleri kullanılarak yapılan çözümdür. DD matematik modelde bir çok düzenli ve rasgele hata kaynağı tamamen ortadan kalkacağından ya da etkisi BFB problemini etkilemeyecek kadar küçük kalacağından (özellikle kısa bazlarda), BFB kestirimi için en önemli matematik modeldir. Bir çok ticari ve akademik yazılım ölçü sonrası değerlendirme (post processing) işleminde temel model olarak DD'yi kullanmaktadır. DD-BFB'leri belirlendiğinde DD faz ölçüleri milimetre duyarlıklı uzunluk ölçüleri gibi davrandıklarından, bunlara bağlı olarak elde edilen parametrelerinin duyarlılıkları da bu oranda iyi olacaktır.

6.2 Modellenemeyen Düzenli Hatalar ve Rasgele Gözlem Hatalar

Bir çok yazılımda temel model olarak kullanılan DD matematik modeli; iki GPS alıcısı ile alınan faz ölçüleri kullanılarak kısa bazlar için kurulursa; iyonosferden bağımsız ölçü modeli kullanılmamış ise; iki alıcı arasındaki DD iyonosferik refraksiyon etkisi baz uzunluğuna göre modelde yer alacaktır. Göz ardı edilen DD troposferik etki de iyonosferik etkiye benzer nitelikte modelde yer alacaktır. Bu etkilerin toplamı baz çözümlerinde, özellikle kısa bazlarda (<10km) çok küçük etkilere neden olur. Bu başlık altında bu artık etkilerden değil, dikkat edilmesi gereken ve baz çözümlerinde anlamlı değişikliklere neden olan aşağıdaki belirtilen

hata kaynaklarından bahsedilecektir:

- Taşıyıcı faz ölçülerindeki faz sıçramaları
- Yansıma hatası ve sinyal girişimi
- Anten faz merkezi değişimi

6.2.1 Rasgele Gözlem Hataları

Kod ve faz ölçülerinin duyarlılıkları kullanılan dalga boyunun (ya da cip uzunluğunun) %1'i kadardır (Hofmann-Wellenhof vd., 1997), [8]. Faz ve kod ölçülerinin temel frekansları (f_0) kullanılarak ölçü duyarlılıkları (6.14) bağıntısı ile hesaplanabilir (Çizelge 6.2).

$$\lambda = c / f_0 \quad (6.14)$$

Burada, λ dalga boyu ve c ışık hızıdır.

Çizelge 6.2 GPS'deki ölçü türlerinin dalga boyları ve ölçü duyarlılıkları($c \approx 300$ m MHz).

i	Ölçü Türü	f_{0i} (MHz)	$\sim \lambda_i$ (m)	$\sim \sigma_i$ (m)
1	C/A-kod	1.023	300	3
2	P-kod	10.230	30	0.3
3	L1-faz	1575.420	0.19	0.002
4	L2-faz	1227.600	0.24	0.002

Çizelge 6.2 incelendiğinde L1 ve L2 dalga boyları kullanılarak elde edilen faz ölçü duyarlılıkları birbirine yakın oldukları görülebilir.

6.2.2 Faz Sıçraması

Bir GPS alıcısı tarafından alınan sinyal; (a) kinematik konum belirlemede gezici antenin kapanması ya da çok hızlı hareketi nedeniyle, (b) iyonosferik aktivite ve yansıma girişimi nedeni ile sinyalin çok fazla bozulması, (c) alınan sinyalin zayıf olması ya da bir başka deyişle SNR sayısının düşük olmasından dolayı, kesintiye uğrayabilir [8].

Şekil 6.3'de i alıcısından k uydusuna t_0 ve t_1 epoklarında yapılan faz ölçülerini göz önünde bulunduralım. Bu iki epok arasındaki ölçme aralığı küçük ($t_1 = t_0 + 1 \text{ sn}$) ise, t_0 ve t_1 epokları için (6.13) bağıntısından $\Delta_i^k(t_0) \approx \Delta_i^k(t_1)$ olacaktır. t_1 epogunda sinyal kesilmesi var ise yeni başlangıç faz bilinmeyen, t_1 epogundan sonra $N_i^k(t_1) = N_i^k(t_0) + C_i^k(t_1)$ ve faz sıçraması da $C_i^k(t_1)$ olacaktır. Faz sıçraması BFB değerlerinin değişmesine neden olur.

Uygulamada faz sıçraması genellikle verilerin önceden işlenmesi ile belirlenir ve giderilir.

Faz sıçraması belirlemek için; konum belirleme moduna, baz uzunluğuna, elde edilen verilere, anten yapısına ...vb. bağlı olan bir çok yöntem uygulanmıştır. Faz sıçraması ile ilgili ayrıntılı bilgi için (Leick, 1995; Hofmann-Wellenhof vd., 1997) kaynaklarına bakılabilir [8].

6.2.3 Yansıma Hatası

Yansıma hatası, uydudan yayınlanan sinyal alıcı antenine gelmeden önce, yansıtıcı bir yüzeyden yansiyarak alıcıya ulaşmasından kaynaklanan hatadır. Sinyal uydunun parçalarından birinden (örneğin güneş panellerinden) yansiyabilir. Kullanıcı bu hatayı gidermek için hiç bir şey yapamayacağından ihmal edilir. Yansıma hatasında kastedilen genellikle alıcı anten çevresindeki yansıtıcı yüzeylerden kaynaklananlardır. Bunlar sürekli (birkaç epokluk) ya da tek epokluk olabilir ve BFB değerlerini etkilemez [3].

Yansıma hatası, kullanılan frekansın fonksiyonu olarak faz-kod ölçülerinde sıçramalara neden olur. Teorik olarak maksimum yansıma hatası kod ölçülerinde olur, kod ölçülerin çip uzunluğunun yarısı kadardır. Yansıma hatası, Çizelge 6.2'den yararlanarak C/A-kod ölçüsü için 150m, P-kod ölçü içinde 15m civarındadır. Meydana gelen yansıma hataları bunlardan daha küçüktür (genellikle <15m). Faz ölçüleri için yansıma hataları dalga boyunun bir çeyreğini aşmaz. L1 ya da L2 dalga boyları için 5-6cm civarındadır (Hofmann-Wellenhof vd., 1997), [8].

6.2.4 Anten Faz Merkezi Kayıklığı ve Değişimi

Bütün GPS ölçüleri uydu anteninin elektrik faz merkezi ile alıcı anteninin elektrik merkezi arasında yapılmaktadır. İdeal olan elektrik merkezi ile fiziksel merkezin çakışmasıdır, ancak bu iki merkez arasında sabit bir kayıklık olabilmektedir. Bu anten üreticilerinin gidermesi gereken bir problemdir. Gelen sinyalin yönü ve gücüne göre antenin elektrik faz merkezinin konumu değiştiğinden, uydu-alıcı geometrisinin değişimi de aynı etkiyi yapacaktır. Testler, bazı anten tipleri için bu değişimin küçük, bazıları içinde büyük olduğunu göstermiştir ve genellikle santimetre düzeyinde kalırlar. Anten tipleri için (Seeber, 1993; Kahveci, 2001) kaynaklarından yararlanılabilir [8]. Çeşitli jeodezik anten türleri için anten faz merkezi değişim modelleri IGS'den elde edilebilir (Hofmann-Wellenhof vd., 1997), [2, 8].

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada EKK ve EKT yöntemlerinin BFB kestirimi üzerindeki başarıları test edilecektir. Başarı testi ölçü süresi kıstas alınarak, RINEX-V2.0 formatında gerçek değerleri bilinen simülasyonla türetilmiş dosyalar ya da gerçek gözlem dosyalar üzerinden gerçekleştirilecektir. Başarı testi yapılırken, EKK yöntemiyle elde edilen BFB parametrelerinin geçerliliği ile ilgili önerilen testlerin güvenilirliği de incelenecektir.

Bu bölümde;

- MsVB (Micro Soft Visual Basic) programlama dilinde geliştirilen programın ana hatlarından ve programın türettiği gözlem ve çıktı dosyalarından,
- EKK yöntemine dayalı sonuçlar türeten LAMBDA yönteminin kestirim sonuçları ve BFB geçerliliği için önerilen testlerin performansından,
- doğru BFB kestirimini etkileyen faktörlerden,
- faz ölçülerinin doğrusal kombinasyonlarının doğru BFB kestirimi üzerine etkilerinden,
- EKT yönteminin BFB kestirimine uygunluğu ve başarısından,

sayısal örnekler üzerinde bahsedilecek ve sonuçlara gidilecektir.

7.1 Geliştirilen Yazılımın Özellikleri

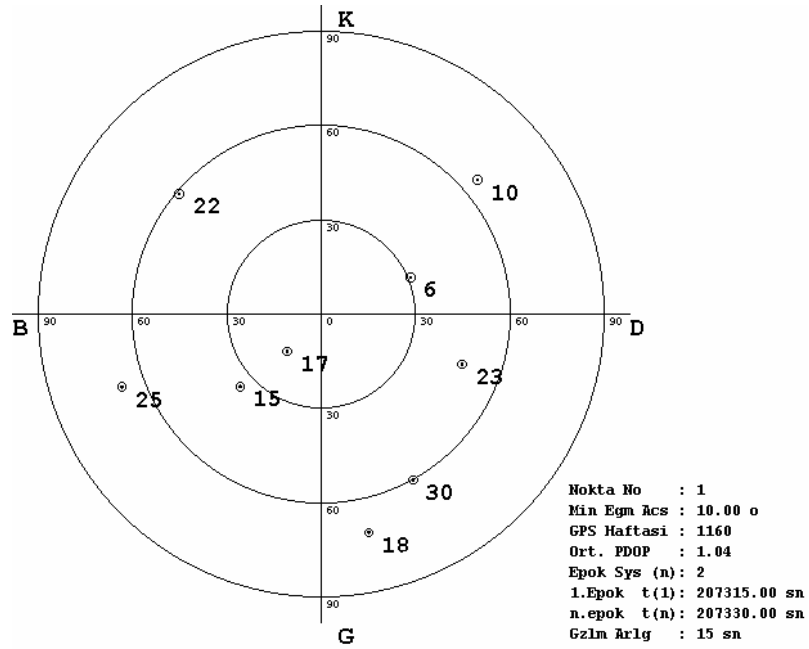
Bu çalışma için geliştirilen programın formları, modülleri ve kaynakları hakkında genel bilgi Ek 2’de verilmiştir. Formlarda istenen işlemler gerçekleştirilirken modüllerdeki alt programlar kullanılmıştır. Bu çalışmaya uygun olarak tasarlanan yazılımın ana bölümleri şunlardır:

- Uydu dağılımını ve sayısını gösteren bölüm,
- RINEX-V2.0 formatında dosya türeten simülasyon bölümü,
- Türetilen ya da gerçek gözlem dosyaları ile oluşturulan DD matematik modeli EKK ve EKT yöntemini kullanarak değerlendiren bölümler.

7.1.1 Gözlem Penceresi

Ölçü dosyası esas alınarak alıcının konumuna göre uyduların sayılarını ve dağılımlarını gösteren gök haritasıdır. Gözlem penceresinin amacı uyduların dağılımlarının BFB’ne olan etkisini araştırmaktır. Ek 3 ve Ek 4’de simülasyon bölümünde türetilen dosyalardaki uydu dağılımı Şekil 7.1’de gösterilmektedir. Şekil 7.1 incelendiğinde uydu sayısının ($m+1=9$) ve uydu dağılımının (PDOP=1.04) oldukça iyi olduğu görülmektedir (Şekil 7.1).

Ölçü süresi kısa olan dosyalar ile çalışılacağından, ölçü süresi boyunca uydu sayısı aynı kalır ve uydu dağılımı da çok yavaş değişir. Uydu sayısı ve dağılımının fonksiyonu olan PDOP un ortalama değeri her bir epoğun PDOP değeri olarak alınabilir. Ayrıca yine çalışmasında yararı olabilecek bazı küçük bilgiler (nokta numarası, minimum eğim açısı, GPS haftası, ortalama PDOP, epok sayısı, başlangıç epoğunun GPS zamanı, bitiş epoğunun GPS zamanı, epok aralığı) de gözlem penceresi lejantında yer almaktadır (Şekil 7.1). Yukarıdaki işlemlerin gerçekleştirildiği formun adı (FrmGzlmPncr.frm)'dir.



Şekil 7.1 Ek 3 ve Ek 4'deki türetilmiş dosyaların uydu sayısı ve dağılımı.

Gözlem penceresi, koordinat hesaplayan form (FrmKoord.frm) ve gözlem dosyası (FrmSmltn.frm) türeten formlar ile istenilen uydu sayısında, istenilen uydu dağılımında ve istenilen baz uzunluğunda dosyaların türetilebileceği görülmektedir.

7.1.2 GPS Ölçülerinin Simülasyonu

Bölüm 6'da anlatılan düzenli ve rasgele gözlem hatalarının hepsi simülasyonla türetilebilir. Çalışmada böyle bir yola gidilmemiş sadece alıcı saat hatası (isteğe bağlı), uydu saat hatası ve atmosferik etkiler simüle edilmiştir. Program, RINEX-V2.0 formatına uygun olarak L1 ve L2 üzerinden faz, kod ve duyarlı kod ölçülerine istenilen duyarlılıkta normal dağılımlı rasgele hatalar eklenmektedir. Ölçü duyarlılıkları isteğe göre form üzerinde girilebilir. Simülasyonla elde edilen faz ya da kod ölçüleri (2.7) ve (2.13)'den

$$\Phi_i^k(t) = \|\underline{r}^k(t-\tau_i^k) - \underline{r}_i(t)\| - I_i^k(t) + T_i^k(t) + c [\delta_i(t) - \delta^k(t-\tau_i^k)] + \lambda N_i^k + \varepsilon_i^k(t), \quad (7.1a)$$

$$R_i^k(t) = \|\underline{r}^k(t-\tau_i^k) - \underline{r}_i(t)\| + I_i^k(t) + T_i^k(t) + c [\delta_i(t) - \delta^k(t-\tau_i^k)] + e_i^k(t), \quad (7.1b)$$

şeklinde yazılabilir. (2.7) ve (2.13)'deki diğer etkiler DD matematik modelde fark alınarak ortadan kalktığı için gözlemlere eklenmemiştir. Saat hatalarının da fark alınarak oluşturulan DD matematik modelde yer almayacağı açıktır. Fakat bu hataların etkileri büyük olduğundan, türetilen ilk gözlemler gerçeğe yakın olmayacaktır. Bu nedenle saat hataları da gözlem denklemlerine eklenmiştir. Uydu saat hataları uydu yörünge bilgilerinde yer alan ikinci dereceden polinom katsayıları kullanılarak hesaplanır. Alıcı saat hatası ise, katsayıları ilk gözlem anına göre belirlenmiş ikinci dereceden polinom kullanılarak hesaplanır. Bu polinomun katsayıları form üzerinden girilir.

Ek 3'deki RINEX formatındaki gözlem dosyasının başlık bölümü ve yayın (ya da duyarlı) efemeris bilgileri simülasyonla türetilecek dosya için yeterlidir (Ek 3). Girilen dosyaları adları şunlardır.

- “1___0921.02o” isimli gözlem dosyasının başlık bölümü.
- “1___0921.02n” yayın efemeris dosyası.

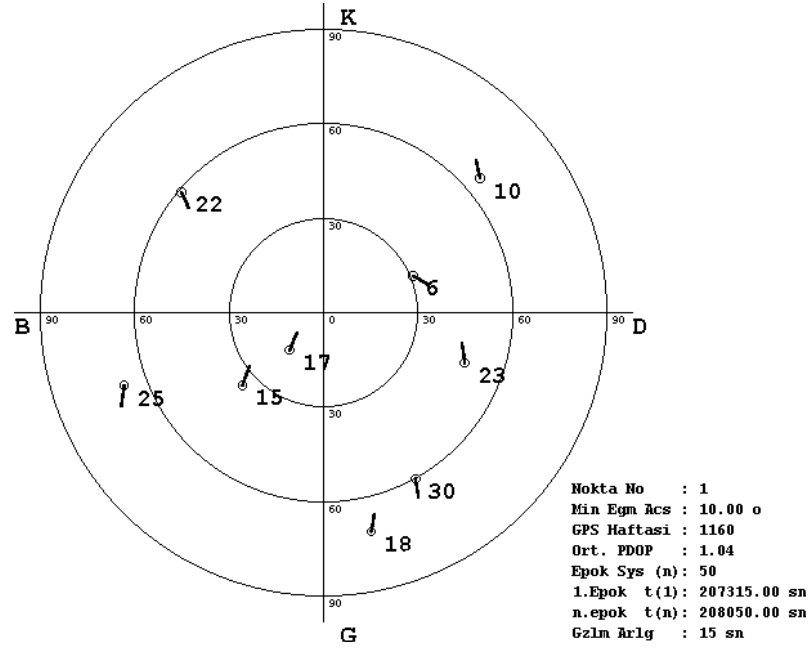
Form üzerinden kullanılacak yörünge dosya türü, türetilen sistematik ve rasgele hataların gösterilip gösterilmeyeceği seçilebilir. Gözlemlenecek uyduların, minimum yükseklik açısı, gözlem aralığı, epok sayısı, alıcı saat hatasının polinom katsayıları ve ölçülerin eklenecek normal dağılımlı düzeltmelerin standart sapmaları girilir. İlk gözlem anı RINEX'in başlık bölümünden alınır. Form çalıştırıldığında sadece gözlem dosyasının başlık bölümü yüklenir, program yayın efemerisi dosyasını kendisi bulur. Başlık bölümünden aldığı ilk gözlem anına göre beş tür dosya üretir.

- “1___092a.02o” isimli gözlem dosyası (Ek 4).
- “1___092a.02n” yayın efemeris dosyası (Ek 3).
- “1___092a.02g” gerçek BFB dosyası (Ek 4).
- “1___092a.02b” sistematik ve rasgele hatalar dosyası (isteğe bağlı) (Ek 4).
- “1___092a.02d” bütün ölçülerle kestirilmiş DD-BFB dosyası (Ek 4).

Form üzerinde girilen aynı değerler kullanıldığında türetilen normal dağılmış rasgele düzeltmeler değişir. Yani rasgele hataların oluşturduğu serinin başlangıç değeri daima farklı değerler alır. Farklı ölçü türleri içinde durum aynıdır (Ek 4). Burada IMSL rasgele sayı üretici kullanılmıştır.

Program önce gözlem epoğuna en yakın olan yayın efemerisi bilgilerini alır. Daha sonra yayın efemerislerinden yararlanarak uydunun istenilen yükseklik açısının altında olup olmadığını belirler. Eğer uydu bütün epoklarda istenilen yükseklik açısının üzerinde ise bu uydu için yukarıdaki beş dosyadaki değerleri türetir. Gözlem dosyasında uyduların sıraları en yüksek uyduya göre belirlenmiştir. Türetilen gözlem dosyasındaki SNR sayısı bu yükseklik açısına göre belirlenmiştir. Ek 4'deki gözlem dosyası incelendiğinde SNR sayısının yukarıdan aşağıya azaldığı görülmektedir.

Simülasyonun gerçekleştirildiği form FrmSmltn.frm'dir. Bu formda istenilen baz uzunluğunda gözlem dosyası türetebilmek için, üç boyutlu uzaydaki doğru denkleminde yararlanarak hareketli nokta koordinatları kestiren ve RINEX formatına uygun yaklaşık koordinat satırı türeten FrmKoord.frm isimli yardımcı bir form da kullanılmaktadır.



Şekil 7.2 Ek 3 ve Ek 4'de başlık bölümünden türetilen 50 (15sn) epokluk gözlem dosyasındaki uydu sayısı ve dağılımı.

Ayrıca ana formda EKK metoduna dayalı gerçek RINEX dosyaları değerlendirilirken ek iki dosya daha türetilir. Bütün epoklar işleme katıldıktan sonra DD-BFB çözümü yapılır. Bu çözüm sonucunda bulunan DD-BFB'ler iki dosyaya kaydedilir. Bu dosyaların başlık bölümü RINEX formatından esinlenerek oluşturulmuştur (Ek 4). Nokta adları kısmında sabit istasyon önce, hareketli nokta ise sonra yazılmıştır. Bunun tersi olan dosya ise hareketli dosya adı ile yazılmıştır. Bunun nedeni değerlendirme sırasında sabit ve hareketli dosyanın değiştirilmesine karar verildiğinde sonuçların karşılaştırılacağı dosyanın bulunmasını sağlamaktır (Ek 4).

Gerçek (ya da türetilmiş) dosyalardan kestirilen DD-BFB dosya örneği Ek 3 ve Ek 4’de türetilmiş olan dosyalar kullanılarak oluşturulmuş ve Ek 4’de uzantının son harfi “d” olan (“1__92a.02d”, “2__92a.02d”) dosyaları ile verilmiştir. “g” uzantılı dosya bulunulan noktada yapıldığı düşünülen faz ölçülerinin fark alınmadan önceki BFB’lerini ve noktanın kartezyen koordinatlarını gösterirken, “d” uzantılı dosya ise türetilen ya da gerçek RINEX dosyalarından DD matematik modele göre kestirilmiş olan DD-BFB’lerini ve sabit-hareketli noktalar arasındaki bağıl koordinatları göstermektedir. Bu DD-BFB’lerin yalnızca başlık bölümünde yer alan iki nokta için geçerli olduğu da açıkça görülmektedir.

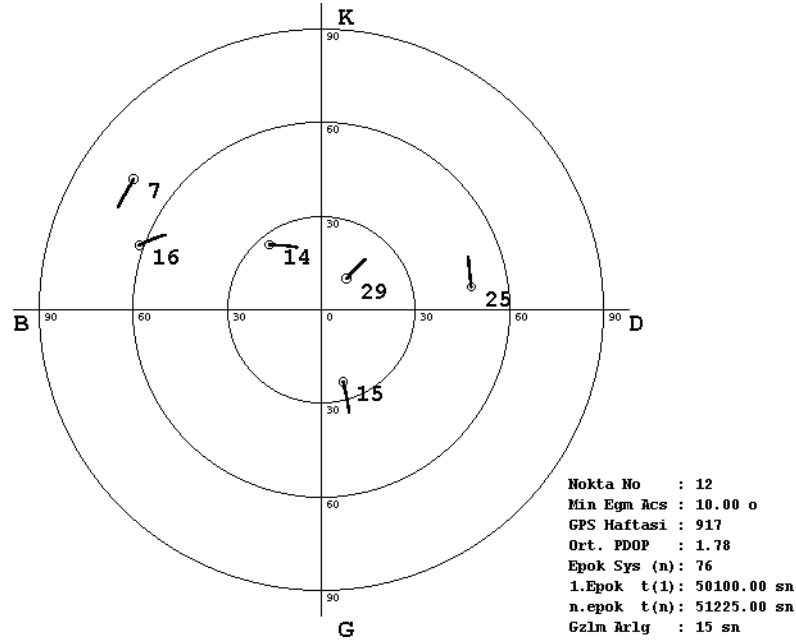
Simülasyonla türetilen gözlem dosyalarının gerçeğe yakınlığını test etmek için, Şekil 7.1’de verilen uydu konfigürasyonu kullanılarak 10km baz uzunluğunun elde edileceği gözlemler türetilmiştir (Şekil 7.2). Uydu dağılımı aynı olan Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de ölçü sayısı farklıdır. Şekil 7.2’de ölçü sayısının fazla alınmasının nedeni ticari bir yazılım olan TOPCON (TURBO-SII) yazılımının BFB çözümü için daha fazla ölçüye ihtiyaç duymasındır.

Baz uzunluğunun ve bileşenlerinin gerçek değerleri Çizelge 7.1’de verilmiştir. Türetilen bu gözlem dosyaları, bu çalışma için geliştirilen programla ve TOPCON (TURBO-SII) firmasının çift frekanslı alıcıları için geliştirdiği 01.01.2000 versiyonlu GPS ölçüleri değerlendirme yazılımı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda bulunan sonuçlar Çizelge 7.1’de sunulmuştur.

Çizelge 7.1 Türetilmiş dosyaların TOPCON ve FrmANA yazılımları ile değerlendirme sonuçları.

DN	BN		Gerçek Değer (m)	TOPCON (m)	Fark (mm)	FrmANA (m)	Fark (mm)
1	2	ΔX	-3089.4795	-3089.4886	9.1	-3089.4792	0.3
		ΔY	-6511.3589	-6511.3610	2.1	-6511.3581	-0.8
		ΔZ	6932.3388	6932.3335	5.3	6932.3389	-0.1
		S	9999.9999	10000.0005	-0.6	9999.9999	0.0

Çizelge 7.1’deki değerler incelendiğinde simülasyon dosyasının yeterince gerçekçi olduğu görülmektedir. TOPCON yazılımının baz bileşenlerindeki farkın büyük olması kullanılan atmosferik modelle ya da çözüm yöntemi farklılığı ile açıklanabilir (TOPCON yazılımı çözümde Kalman filtresi kullanmaktadır). Buna rağmen TOPCON yazılımı ile elde edilen baz sonuçlarının gerçek değerlerden olan farkları santimetre altında kalmaktadır.



Şekil 7.3 Ek 7’de başlık bölümü verilen gerçek gözlem dosyasının gözlem penceresi.

Her iki yazılımın sonuçlarını birbirlerine göre karşılaştırabilmek için Şekil 7.3’de sayısı ve dağılımı verilen 76 epokluk gerçek gözlem dosyası kullanılmıştır. Her iki yazılım ile edilen sonuçlar Çizelge 7.2’de sunulmuştur.

Çizelge 7.2 Gerçek dosyaların TOPCON ve FrmANA yazılımları ile değerlendirme sonuçları.

DN	BN		TOPCON (m)	FrMAna (m)	Fark (mm)
12	4	ΔX	-7797.2274	-7497.2289	1.5
		ΔY	5576.1681	5576.1657	2.4
		ΔZ	3883.4205	3883.4240	-3.5
		S	10118.4498	10118.4508	-1.0

Çizelge 7.2 incelendiğinde her iki yazılımın türettiği sonuçlar arasındaki farklar milimetre civarında kalmaktadır. Her iki yazılımın eşdeğer sonuçlar türettiği söylenebilir.

TOPCON yazılım çıktılarında BFB’leri gösterilmediği için, bu anlamda bir karşılaştırma yapılamamıştır. Daha sonraki başlıklar altında BFB değerlerinin doğru ya da yanlış kestirilmesinin bazı sonuçlarını nasıl etkilediği gösterilecektir. Şu aşamada söylenebilecek olan, santimetre altı duyarlıklarda kestirim yapabilmek için BFB’nin tamsayı değerlerinin doğru olarak kestirilmesi gerektiridir. Çizelge 7.1-7.2’deki sonuçlar incelendiğinde, her iki yazılımında 50 epokluk simülasyon gözlem dosyası ve 76 epokluk gerçek gözlem dosyası için

doğru BFB kestirimi yapmış olduğudur.

7.1.3 Gözlem Dosyalarının Değerlendirilmesi

Önceki başlıklar altında anlatılan programlar ile türetilen ya da gerçek GPS dosyalarının değerlendirildiği formlar, EKK ya da EKT kestirimi yapan iki ana bölüme ayrılmıştır. Her iki bölümde, tek bir epok için L1 ve L2 üzerinden faz ve kod ölçüleri ile kurulan DD matematik model:

$$E\left\{\begin{bmatrix} \Delta\Phi_1 + I_1 - T \\ \Delta\Phi_2 + I_2 - T \\ \Delta R_1 - I_1 - T \\ \Delta R_2 - I_2 - T \end{bmatrix}\right\} = \begin{bmatrix} \underline{B} & \lambda_1 \underline{E} & \underline{0} \\ \underline{B} & \underline{0} & \lambda_2 \underline{E} \\ \underline{B} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{B} & \underline{0} & \underline{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{b} \\ \underline{a}_1 \\ \underline{a}_2 \end{bmatrix}, \quad D\left\{\begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ R_1 \\ R_2 \end{bmatrix}\right\} = \begin{bmatrix} \Sigma_{\Phi_1} & \underline{0} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \Sigma_{\Phi_2} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{0} & \Sigma_{R_1} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{0} & \underline{0} & \Sigma_{R_2} \end{bmatrix} \quad (7.2)$$

$$\Sigma_{\mathbf{N}_L} = \sigma_{\mathbf{N}_L}^2 \underline{Q}_y$$

şeklimdedir. Burada, DD ölçüler ve atmosferik etkiler $\mathbf{N}_L$ ($\mathbf{N}=\Phi, R, I, T$ ve $L=1,2$), baz bilinmeyenlerinin katsayılar matrisi $\underline{B}$, dalga boyu λ_L , $m+1$ uydu sayısı için m boyutlu birim matris $\underline{E}$, $\mathbf{N}_L$ ölçüsünün varyans-kovaryans matrisi $\Sigma_{\mathbf{N}_L}$ 'dir. Bu matematik modelde birim ölçü olarak L1 üzerinde faz ölçüsü seçilmiş ve diğer ölçüler bu ölçüye göre ağırlıklandırılmıştır.

Geliştirilen yazılımın L2:3 alt formunda L1 ve L2 üzerinden faz ölçülerinin istenilen doğrusal kombinasyonlarını değerlendirebilmektedir. Buradaki doğrusal kombinasyonlar için kurulan model (5.7) bağıntısında genelleştirilmiştir. (7.2) bağıntısındaki ilk iki faz ölçü vektöründen (5.7) bağıntısındaki α , β ve δ , γ katsayılarına bağlı olarak DD matematik modeli aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

$$E\left\{\begin{bmatrix} \Delta\Phi_{\alpha\beta} + I_{\alpha\beta} - T_{\alpha\beta} \\ \Delta\Phi_{\delta\gamma} + I_{\delta\gamma} - T_{\delta\gamma} \end{bmatrix}\right\} = \begin{bmatrix} \underline{B} & \lambda_{\alpha\beta} \underline{E} & \underline{0} \\ \underline{B} & \underline{0} & \lambda_{\delta\gamma} \underline{E} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{b} \\ \underline{a}_{\alpha\beta} \\ \underline{a}_{\delta\gamma} \end{bmatrix}, \quad D\left\{\begin{bmatrix} \Phi_{\alpha\beta} \\ \Phi_{\delta\gamma} \end{bmatrix}\right\} = \begin{bmatrix} \Sigma_{\alpha\beta} & \Sigma_{\alpha\beta\delta\gamma} \\ \Sigma_{\alpha\beta\delta\gamma} & \Sigma_{\delta\gamma} \end{bmatrix}, \quad (7.3)$$

$$\Sigma_{\alpha\beta} = \alpha^2 \Sigma_{\Phi_1} + \beta^2 \Sigma_{\Phi_2},$$

$$\Sigma_{\delta\gamma} = \delta^2 \Sigma_{\Phi_1} + \gamma^2 \Sigma_{\Phi_2},$$

$$\Sigma_{\alpha\beta\delta\gamma} = \alpha\delta \Sigma_{\Phi_1} + \beta\gamma \Sigma_{\Phi_2}.$$

(7.2) eşitliğindeki kod ölçülerinde hiçbir değişiklik yapılmadan doğrudan (7.3) denklemlerinin altına eklenmesi, L1 ve L2 dalga boyları arasında oluşturulan faz kombinasyon modelini güçlendirirken, yeni tamsayı bilinmeyenleri üzerinde hiçbir olumsuz

etkileri olmayacaktır. Bu durum, (7.3) modelindeki baz bileşenleri bilinmeyenlerinin aynı kalmasından ve kod ölçüleri ile BFB'ler arasında matematiksel bir ilişki olmamasından kolayca görülmektedir.

EKK bölümünde BFB kestirimi için gerçel çözüm, en yakın tamsayı çözüm, ardışık koşullu dengeleme çözümü ve LAMBDA yöntemi uygulanmıştır. OTF için LAMBDA yönteminin tercih edilme nedeni, dünyaca kabul görmüş bir yöntem olması, kaynak kodlarına ve yöntemin esasları hakkındaki yayınlara çok kolay ulaşılmasıdır. İsteyenler MGP internet adresinden istediği bilgiye ve yardıma ulaşabilir [4]. MATLAB ve FORTRAN programlama dillerindeki kodlarına kolaylıkla ulaşılabilen algoritmanın, izinli olarak kullanılması koşulu dışında hiç bir kısıtlaması yoktur [4].

EKT yöntemi içinde Barrodale ve Roberts (1973, 1978)'de önerdikleri algoritmalar kullanılmıştır. Bu algoritmaların seçilmesinin sebebi, bilgisayarda etkin kullanılabilmesi, bilinen doğrusal programlama çözümlerine göre bellekte daha az yer kaplaması ve yine kaynak kodlarına kolay ulaşılabilmesidir (Barrodale ve Roberts 1973, 1974, 1978, 1980).

Yukarıda bahsedilen iki kestirim türünde de DD matematik modeli kullanılmıştır. Her iki bölümde de, iki dalga boyunda istenilen ölçü türleri seçilebilmekte ya da hepsi birlikte değerlendirilebilmektedir. Yine her iki kestirim türünde de simülasyon bölümünde fark alınma ile oluşan DD-BFB'lerin gerçek değerleri ve kestirim değerleri bulunabilmektedir.

7.1.3.1 ℓ_2 -Norm Kestirimi İle Değerlendirme

EKK kestiriminde BFB kestiriminde kullanılan LAMBDA yönteminin FORTRAN ve MATLAB kaynak kodları MGP internet adresinden elde edilebilir [4]. Çalışmada FORTRAN kaynak kodu MsVB koduna dönüştürülmüş, modül olarak yazılıma eklemiştir. EKK yöntemi ile BFB kestiriminde bu yöntem üzerinde yoğunlaşmıştır ve EKK yöntemi denildiğinde BFB çözümü için LAMBDA yönteminin kullanıldığı anlaşılmalıdır.

Bu bölüm üç ayrı formdan oluşur.

- L2: 1 ; Her epoktan sonra BFB kestirimi yapan, kestirim ve test sonuçların açıkça gösteren form.
- L2: 2 ; Her epoktan sonra BFB kestirimi yapan, sadece BFB'lerin kestirim değerlerini ve geçerlilik testlerini gösteren form.
- L2: 3 ; Çift frekanslı alıcılar için, faz ölçülerinin doğrusal kombinasyonlarını oluşturabilen, her epokdan sonra BFB kestirimi yapan ve sadece BFB'ler ile geçerlilik

testlerini gösteren form.

Bunlardan en çok kullanılacak olan form L2:2 ve L2:3 formudur. Her epoktan sonra BFB kestirimi ve geçerlilik testi yapılır. Bu formlarda, gerçek değerleri bilinen türetilmiş dosyalar ya da gerçek gözlem dosyalarının değerlendirilmesi sonucu elde edilen kestirim ve test değerlerinin hangi epoklarda istenilen koşulları sağladığı görülmeye çalışılmıştır.

Ek 3 ve Ek 4'deki iki epokluk dosyalar kullanılarak, her iki dalga boyunda faz ve kod ölçüleri ile ulaşılan sonuçlar Ek 5'da sunulmuştur. Bu çıktı dosyasının başında değerlendirmeye giren gözlem dosyaları, gerçek BFB dosyaları ve kullanılan yayın efemeris dosyaları yer alır. Daha sonra ölçü epogu gelir. Ölçü epogunu izleyen tabloda sırası ile sabit uydu numarası, diğer uydu numaraları, gerçek BFB'ler, kestirilen BFB'ler ve bunların (her iki dalga boyu için) farkları yer alır. Bir sonraki tabloda ilk üç satırdaki sütun sırası; durulan ve bakılan noktalara ait nokta adları, gerçek bağıl koordinat bileşenleri, kestirilen bağıl koordinat bileşenleri, bunları farkları ve baz duyarlılıkları şeklindedir. Dördüncü satırda bazın gerçek uzunluğu ve kestirilen uzunluğu yer almaktadır. Buraya kadar olan kısım BFB'lerinin kestirimi bölümünü oluşturur. Bir sonraki tabloda ise bu kestirimlerin geçerlilik testleri yer almaktadır. Bu tablonun birinci sütünü sırası ile; öncül standart sapma, soncul standart sapma, en iyi BFB çözümüne karşılık gelen standart sapma ve en iyi ikinci BFB çözümüne karşılık gelen standart sapma bulunmaktadır. İkinci sütun bunların sayısal değerlerini ve üçüncü sütunda bunların serbestlik derecelerini gösterir. Dördüncü sütun art arda gelen büyüklüklerin uygun dağılımlara göre test büyüklükleridir (birinci test büyüklüğü (3.26a), ikinci test büyüklüğü (3.28a) ve üçüncü test büyüklüğü (3.29a) bağıntılarına göre hesaplanmıştır). Beşinci sütun ise bu test büyüklüklerine karşılık gelen test dağılımların tablo değerleridir (Ek 5).

Şekil 7.1 ve Ek 5'deki sonuçlar incelendiğinde, bu uydu sayısı, bu uydu dağılımı ve her iki frekanstaki faz ve kod ölçüleri kullanıldığında LAMBDA yönteminin epok çözümünde başarılı olduğu da görülmektedir. Ayrıca gerçek BFB'ni çözümünün gerçek baz bileşenlerinin ve baz uzunluğunun tek epokta dahi bulunmasında ne kadar önemli olduğu da görülmektedir.

Üçüncü formda çift frekanslı alıcılar için faz ölçüleri arasında (7.3) eşitliğine göre istenilen doğrusal kombinasyonda baz bileşenlerinin değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Sonuç çıktı L2:2 formunun aynısıdır.

7.1.3.2 ℓ_1 -Norm Kestirimi İle Değerlendirme

EKT yöntemi ile BFB kestiriminde Barrodale ve Roberts'in (1973, 1980) önerdikleri algoritmalar kullanılmıştır. Doğrusal programlamaya dayalı sonuçlar üreten bu algoritmalar,

bellekte az yer kaplamaları ve etkin programlama dili nedeni ile tercih edilmiştir. Ayrıca kaynak kodlara (Barradole, vd. 1973, 1980) kaynaklarından ulaşılabilir. Bu algoritmalar orijinal FORTRAN77 kodundan MsVB koduna dönüştürülmüştür.

Bu bölüm iki ayrı formadan oluşur.

- L1: 1 ; Bağımlı epoklarda EKT yöntemi kullanan form.
- L1: 2 ; Bağımsız epoklarda EKT yöntemi kullanan form.

Bu formlar, her epoktan sonra BFB kestirimini Barrodale ve Roberts (1972, 1973)'e göre yapar. Çıktı sonuçları, geçerlilik testi haricinde EKK bölümündeki gibidir.

Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyaları sadece faz ölçüleri kullanılarak L1: 2 formuna göre değerlendirilmiş sonuçlar Ek 6'de sunulmuştur. Ek 6'de bulunan sonuçlarda kullanılan (3.46) matematik modeli:

$$\tilde{\mathbf{e}} = \tilde{\mathbf{H}} \mathbf{x} - \tilde{\mathbf{y}}, \quad (\tilde{\mathbf{x}} = \mathbf{P} \mathbf{x} \mid \{\mathbf{x} = \mathbf{e}, \mathbf{H}, \mathbf{y}\}) \quad (7.4)$$

kullanılmıştır. Bu örnekteki uydu sayısına ve dağılımına göre EKK yöntemine dayalı algoritma, bağımsız epoklarda başarılı sonuçlar vermiş gibi görülmektedir. EKT yöntemi, bu yöntemin yapısı ve bağıl konum belirleme probleminin geometrisinden dolayı bu probleme uygun bir yöntem değildir. (Ek 6)'de gösterilen sonuçlar yanıltıcıdır. EKT yönteminin bu probleme uygunsuzluğu konusuna daha sonra geniş olarak yer verileceğinden, bu başlık altında ayrıntılı olarak bahsedilmeyecektir. Bu durum üzerinde daha sonra açıkça tartışılacaktır, bu başlık altında problemin genel yapısı ve türetilen çıktı dosyaları hakkında ön bilgiler vermek amaçlanmıştır.

7.2 BFB Kestirim Yöntemlerinin Başarılarının Test Edilmesi

Kestirim yönteminin başarısı, türetilen ve gerçek RINEX dosyaları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Türetilen dosyalarda ilk faz ölçülerinin BFB'leri bilindiğinden, kestirilen DD-BFB bu gerçek değerler ile türetilen DD-BFB'ler ile karşılaştırılmıştır. Gerçek RINEX dosyalarında ise, baz bileşenleri ve DD-BFB'leri bütün epoklardaki ölçüler kullanılarak LAMBDA yöntemine göre kestirilmiştir. Kestirilen bu baz bileşenleri ve DD-BFB'leri bir dosyada toplanmıştır ve değerler gerçek değerler olarak kabul edilmiştir. Karşılaştırma, gerçek değerden olan farklardan hesaplanan karesel ortalama hata yardımı ile hesaplanmış ve grafiklerle sunulmuştur.

$$\sigma_a = \left| \pm \sqrt{(\underline{a} - \tilde{\underline{a}})^T (\underline{a} - \tilde{\underline{a}}) / m} \right| \quad (7.5)$$

Burada, $\underline{a}$;gerçek ve türetilen dosyalardan elde edilen ve gerçek kabul edilen DD-BFB'leri, $\tilde{\underline{a}}$ EKT ya da EKK yöntemine göre kestirilen DD-BFB'leri, m DD-BFB sayısını ve σ_a gerçek ve kestirilen DD-BFB'lerinin eşdeğerliğini gösteren karesel ortalama hata değerini göstermektedir. Böyle bir seçime gidilmesini amacı, her epok sonrasında elde edilen DD-BFB'lerin doğru değerlerinin bulunup bulunmadığını gösterebilecek tek bir değer elde edebilmek ve eksenlerden birinde GPS zamanı gösterilirken diğerinde de sadece σ_a 'nın pozitif yönünün gösterilebileceği sade grafikler oluşturmaktır. DD-BFB'lerin gerçek değerleri bulunduğu $\sigma_a=0$ olacağından, gerçek DD-BFB kestirimin hangi epokta gerçekleştiği açıkça görülebilecektir. Bu test, doğruluk testi olarak adlandırılacaktır.

7.3 BFB Kestiriminin Bağlı Konum Bilgilerine Etkisi

Bağlı konum belirlemede konum bilgilerinin santimetre ya da santimetre altı doğruluklarda elde edilmesi BFB'nin tamsayı değerinin doğru olarak kestirilmesine bağlıdır. BFB kestiriminin önemini vurgulamak için gerçel çözüm ve LAMBDA yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçların bağlı koordinatlar üzerine etkisi hem gerçek hem de simülasyonla türetilen dosyalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu dosyaların RINEX formatındaki başlık bölümü ve navigasyon dosyası Ek 7'de sunulmuştur.

7.3.1 Gerçek GPS Gözlemleri İle BFB Kestiriminin Bağlı Konum Bilgilerine Etkisi

Ek 7'deki 76 epokluk ölçüler fazla yer kaplayacağı için verilmemiş, sadece bu gözlem dosyalarındaki uydu dağılımını gösteren gözlem penceresi Şekil 7.3'de gösterilmiştir (Şekil 7.3). Ortalama PDOP=1.78 olan 15sn aralıklı 76 epokluk ölçüye (76*5) sahip bu gözlem dosyaları gerçel ve tamsayı BFB çözümüne göre değerlendirilmiş, her iki kestirimin bağlı koordinatlar üzerine olan etkileri grafiklerde sunulmuştur. Ek 7'de gösterilen DD-BFB dosyaları 76 epokluk iki dalga boyu üzerinden değerlendirilerek bulunmuştur. Daha sonraki değerlendirmede bu değerler gerçek değerler olarak kabul edilmiştir.

Gerçek gözlem dosyaları sadece L1 üzerinden kod ve faz ölçüleri kullanılmış bütün epoklar (19 dakikalık ölçü) kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 7.4).

Olası BFB'ler kestirildiğinde sonuçlar hemen gerçek değerlerine yakınsamaktadır. Şekil 7.4'de orta soldaki grafik, L1 üzerinden kod ve faz ölçülerinden yararlanılarak LAMBDA yöntemine göre kestirilen değerlerin (7.5) bağıntısından hesaplanan karesel ortalama hatanın

epok sayısına göre değişimini göstermektedir. Bu grafiğin hemen altındaki grafik ise gerçek olarak kabul edilen baz bileşenleri ile kestirilen baz bileşenleri farkları ile elde edilen

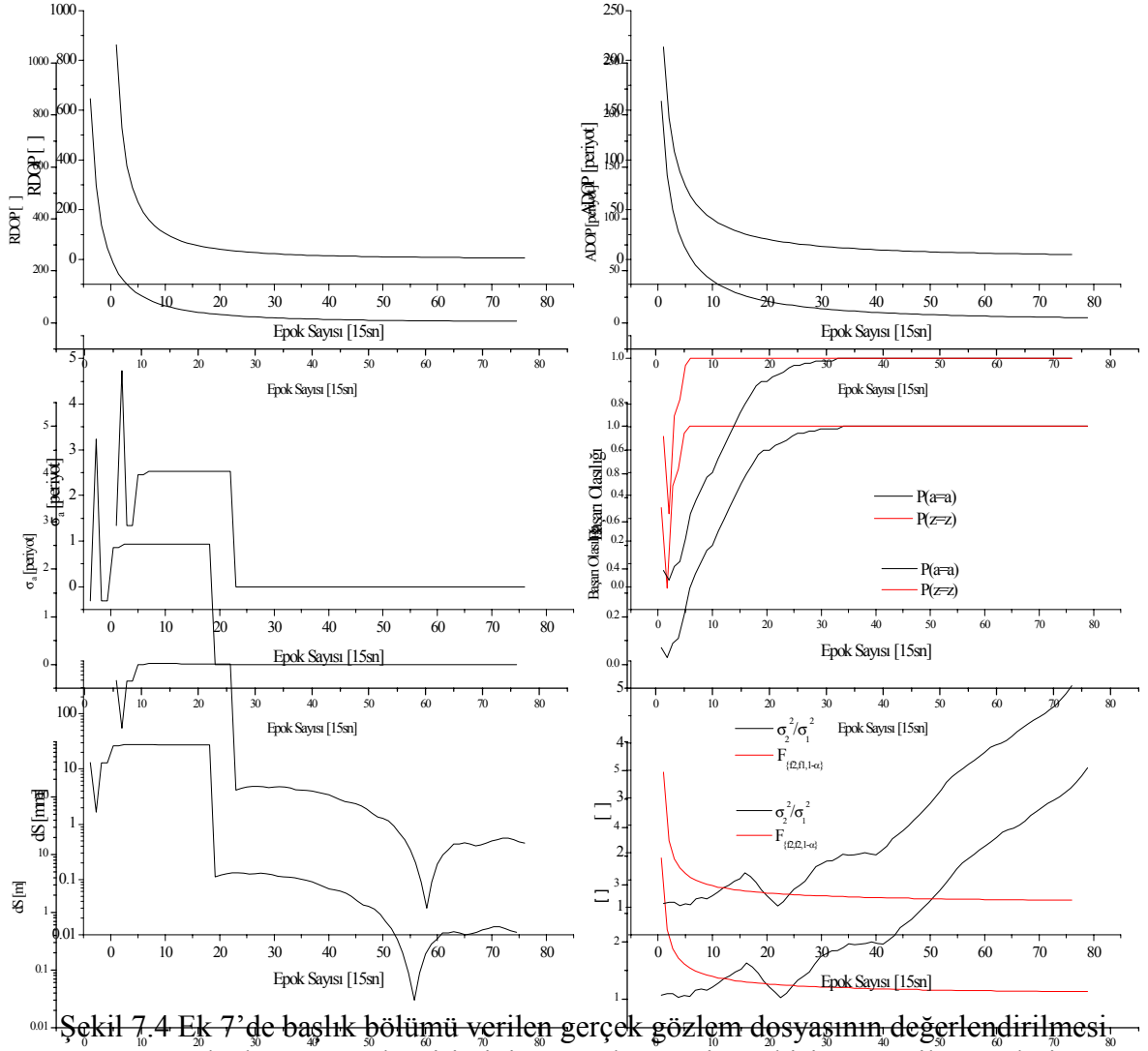
$$dS = |S_T - S_E| = \sqrt{(\Delta X_T - \Delta X_E)^2 + (\Delta Y_T - \Delta Y_E)^2 + (\Delta Z_T - \Delta Z_E)^2} \quad (7.6)$$

büyükliğünün ($\mathbf{x}_T$ gerçek değerler, $\mathbf{x}_E$ kestirilen değerler, $\mathbf{x}=S$, ΔX , ΔY , ΔZ) epoklara göre değişimini göstermektedir. Orta sağdaki grafik Teunissen tarafından önerilen başarı olasılığının, $\underline{Z}$ dönüşümünden önceki (siyah grafik) ve sonraki (kırmızı grafik) değerlerinin epoklara göre değişim grafiğini göstermektedir. Buradaki başarı olasılıkları gerçel çözüm sonucunda ve $\underline{Z}$ dönüşümünden sonra elde edilen varyans-kovaryans matrisinden elde edilmiştir. Bu grafiğin altındaki grafik ise, en iyi BFB'nin diğer olası BFB'lerden ayrıştırılmasını sağlayan test büyüklüğünün epoklara göre değişimini göstermektedir. Aynı grafik üzerinde kırmızı renkli olarak gösterilen grafik ise F-dağılımı tablo değerlerinin epoklara göre değişimini göstermektedir. Şekil 7.4'de sol taraftaki ilk iki grafik, kestirilen BFB'lerin ve baz uzunluklarının gerçek değerlerinin yararlanılarak epoklara göre değişimini göstermektedir. Sağ taraftaki iki grafik ise gerçek değerlerin bilinmediği durumlarda BFB kestiriminin geçerlilik testleri için kullanılır. Sol taraftaki grafiklerin hesaplandığı büyüklükler ℓ_2 -Norm kestirim sonuçlarına dayalı olarak hesaplanmaktadır (Şekil 7.4).

Şekil 7.4'de elde edilen değerler L2:2 formu çalıştırılarak elde edilmiştir. Bu formun özelliği önceki epoklarda yapılan ölçüleri de hesaba katarak bulunulan epokta BFB kestirimi yapmaktadır. Her epok sonucunda elde edilen değerler Ek 8'de verilen dosyaya yazdırılır. Ek 8'deki dosyada hesaplanan değerlerin sütun sırası [birimi]; epok sayısı, GPS zamanı [sn], birinci epoktan itibaren geçen süre [sn], RDOP, ADOP [periyot] (4.41'den hesaplanmıştır), σ_a [periyot], koşullu standart sapmalar ile hesaplanan başarı olasılığı, $\underline{Z}$ dönüşümü yapılmış koşullu standart sapmalar ile hesaplanan başarı olasılığı, gerçek baz ve kestirilen baz uzunluğu arasındaki fark ve duyarlılığı [mm], en iyi BFB kümesi ayırım testi büyüklüğü, en iyi BFB kümesi ayırım testine karşılık gelen test dağılımının (F-dağılımının) tablo değeri, sırası ile gerçek ve kestirilen bağıl koordinat farkları ve duyarlılıkları [mm] ve gerçek baz ve kestirilen baz uzunluğu arasındaki fark ve duyarlılığı [mm] şeklindedir (Ek 8).

Şekil 7.4'de ilk sırada RDOP (soldaki) ve ADOP (sağdaki) epoklara göre değişim grafikleridir. RDOP baz bileşenlerinin kestirimi için duyarlık ölçütü iken, ADOP'a da BFB kestiriminin duyarlık ölçütüdür. En üsteki bu iki grafik baz bileşenlerinin ve BFB kestiriminin güvenilirliklerinin epok sayısı ile nasıl arttığını göstermektedir.

Epok sayısına göre Şekil 7.4’de verilen bütün grafiklerin birbiri ile denk oldukları açıkça görülmektedir. σ_a ve dS grafikleri doğruluğu yansıtırken, başarı olasılığı ve ayırma testleri güvenilirliği yansıtmaktadır. Buradaki sonuçların tutarlılığı; o andaki uydu sayısına, uydu dağılımına, kullanılan ölçü türlerine, kullanılan matematik modele ve ölçülerin normal dağılımlı olup olmamalarına bağlı olarak değişir. Bu çalışmada grafikte gösterilen doğruluk ölçütleri esas alınacaktır. Diğer ölçütler bu ölçütlerle karşılaştırılacaktır.



Şekil 7.4 orta solda olanı her epok sonrasında kestirilen BFB’lerin, gerçek BFB değerlerini kestirebilme doğruluğunu göstermektedir. Logaritmik gösterim tercih edilen sol alttaki grafik; doğru BFB kestiriminin olduğu epoktan sonra bağıl konum doğruluklarının santimetre ya da santimetre altına düştüğünü göstermektedir. Bu grafiklerden de görüleceği gibi 23. epokta sonra BFB’lerinin gerçek değerlerine ulaşılmıştır. Bu epoktan sonra BFB kestirimine devam edilmiş ve 24, 25,...,76 numaralı epoklarda da aynı BFB değerine ulaşılmıştır (Şekil 7.3, Ek 8).

Orta sağıdaki grafik ise gerçek değerlerini bilmediğimiz BFB'lerin, geçerlilik testinde bir önceki doğruluk testi yerine kullanabileceğimiz ve EKK sonuçlarına dayalı olarak türetilen başarı olasılıklarını temsil etmektedir. Başarı olasılıkları (3.39) bağıntısında kestirilen BFB'lerin gerçek BFB'lere eşit olma olasılığını gösteren,

$$P(\underline{\hat{a}} = \underline{a}) = \prod_{i=1}^m \{2F(1/2 \hat{\sigma}_{\hat{a}_i|I}) - 1\} \quad (7.7a)$$

LAMBDA yönteminin de

$$P(\underline{\hat{z}} = \underline{z}) = \prod_{i=1}^m \{2F(1/2 \hat{\sigma}_{\hat{z}_i|I}) - 1\} \quad (7.7b)$$

bağıntılarından hesaplanmıştır. Bağıntıda geçen büyüklükler dördüncü bölümde açıkça anlatılmıştır. Burada hesaplanan başarı olasılığı aynı zamanda başarı oranı olarak da kullanılmaktadır. Bu grafik incelendiğinde kestirilen BFB'lerin gerçek değerlerinin bulunduğu epokta sonra $P(\underline{\hat{a}} = \underline{a}) \geq 0.94$ olmaktadır (Şekil 7.4, Ek 8). Başarı oranı uydu sayısına, uydu dağılımına, kullanılan matematik modele bağlı olan bir büyüklüktür. Faz ya da kod ölçüleri için ulaşılabilecek duyarlılıkların önceden kestirilebileceği alıcılar ile yapılacak olan BFB kestiriminin başarı olasılığı da planlama aşamasında aynı bağıntı ile hesaplanabilir. Aynı zamanda LAMBDA yönteminin başarı olasılığı (kırmızı grafik), normal araştırma tekniğinden (siyah grafik) daha yüksek olduğu da görülmektedir (Şekil 7.4).

Şekil 7.4'de sağ alt grafikteki siyah çizgi (3.29a) ile verilen test büyüklüğü ($\hat{\sigma}'^2 / \hat{\sigma}^2 > c$) epoklara göre değişimini göstermektedir. Burada c büyüklüğü deneysel gözlemlere dayalı sabit bir büyüklük olarak (örneğin Hofmann-Wellenhof 1997'de $c=3$ olarak önermektedir) ya da istatistik tablo değerlerine bağlı bir büyüklük olarak belirlenir. Bu grafikte kırmızı ile gösterilen büyüklük F-dağılım tablolarından alınmış ($c=F_{(f1,f2,0.95)}$) ve epoklara göre değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde bu iki grafiğin en son kesişme noktasına karşılık gelen epokta,

$$(\underline{\hat{a}} - \underline{\hat{a}})^T \underline{Q}_{\hat{a}}^{-1} (\underline{\hat{a}} - \underline{\hat{a}}) = \min, \quad \forall \underline{\hat{a}} \in \square^m \quad (7.8a)$$

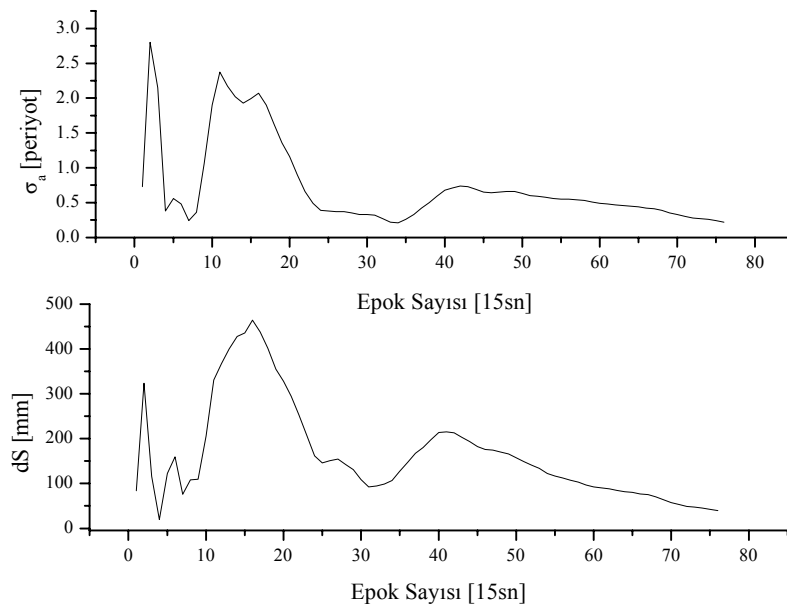
ya da

$$(\underline{\hat{z}} - \underline{\hat{z}})^T \underline{Z} \underline{Q}_{\hat{z}}^{-1} \underline{Z}^T (\underline{\hat{z}} - \underline{\hat{z}}) = \min, \quad \forall \underline{\hat{z}} \in \square^m \quad (7.8b)$$

koşulunu sağlayan en olasılıklı BFB değerini 0.95 güvenirlikle gerçek değeri yansıttığına karar verilir. Sağ taraftaki başarı olasılığı ve en iyi BFB grubunu ayırma testleri EKK yöntemi

sonuçlarına dayanmaktadır. Sağ taraftaki tablolar geçek BFB'lerin elde edildiği epok (>23) ve güvenilirlik (0.95) yönünden incelendiğinde bu gözlem dosyası için denk sonuçlar vermektedir.

Yukarıda kullanılan gerçek gözlem dosyaları gerçel çözüme göre değerlendirilmiş sonuçlar Şekil 7.5'de grafiksel olarak sunulmuştur. Şekil 7.5'de yalnızca doğruluk ölçütleri verilmiştir. RDOP, ADOP ve başarı oranı değerleri gerçel çözüm sonuçlarına dayandığı için tamsayı kestiriminde elde edilen grafikler gerçel çözüm için de geçerlidir. Burada gerçel çözüm sonucunda elde edilen gerçel BFB'ler kullanıldığından ℓ_2 -Norm kestirimine dayanan bu değerler tek anlamlıdır, yani ikinci en iyi kestirim değeri yoktur. Bu nedenle Şekil 7.4'ün sağ alt köşesindeki ikinci grafik gerçel çözüm için anlamsızdır.



Şekil 7.5 Ek 7'de başlık bölümü verilen gerçek gözlem dosyasının değerlendirilmesi sonucunda gerçel BFB kestiriminin sonuçlar üzerine etkisi.

Şekil 7.5 incelendiğinde gerçel çözüm sonucunda bulunan BFB'lerinin 19 dakikalık gözlem süresi sonuna doğru gerçek BFB'lere yaklaştığı görülmektedir. Buna paralel olarak baz uzunluğunu kestirimi de iyileşmektedir. Ölçü süresi artırılsaydı gerçel BFB'ler tamsayı değerlerine daha çok yakınsayacaktı. Kinematik uygulamaların önem kazandığı günümüzde, gerçel çözümün başarısızlığı Şekil 7.4 ve Şekil 7.5 karşılaştırılarak açıkça görülmektedir.

7.3.2 Türetilmiş GPS Gözlemleri İle BFB Kestiriminin Bağlı Konum Bilgilerine Etkisi

Yukarıda kullanılan gerçek dosyaların Ek 7'de verilen başlık bölümü ve navigasyon dosyası kullanılarak 30 epokluk (15sn aralıklı) ölçü türetilmiştir. Türetilen dosyalarda alıcı saat hatası için (7.9) polinomu kullanılmıştır:

$$\delta t_i = (2.252e-4) + (1.477e-7) \{ t_i(k) - t_i(1) \} + (0.112e-13) \{ t_i(k) - t_i(1) \}^2. \quad (7.9)$$

Ayrıca, Ek 7’de verilen navigasyon dosyası eski tip bir alıcıya ait olduğundan, Klobuchar modeli katsayıları bu dosyada yer almamaktadır. Bu nedenle türetilen dosyalarda iyonosferik etki için (6.4) ile verilen

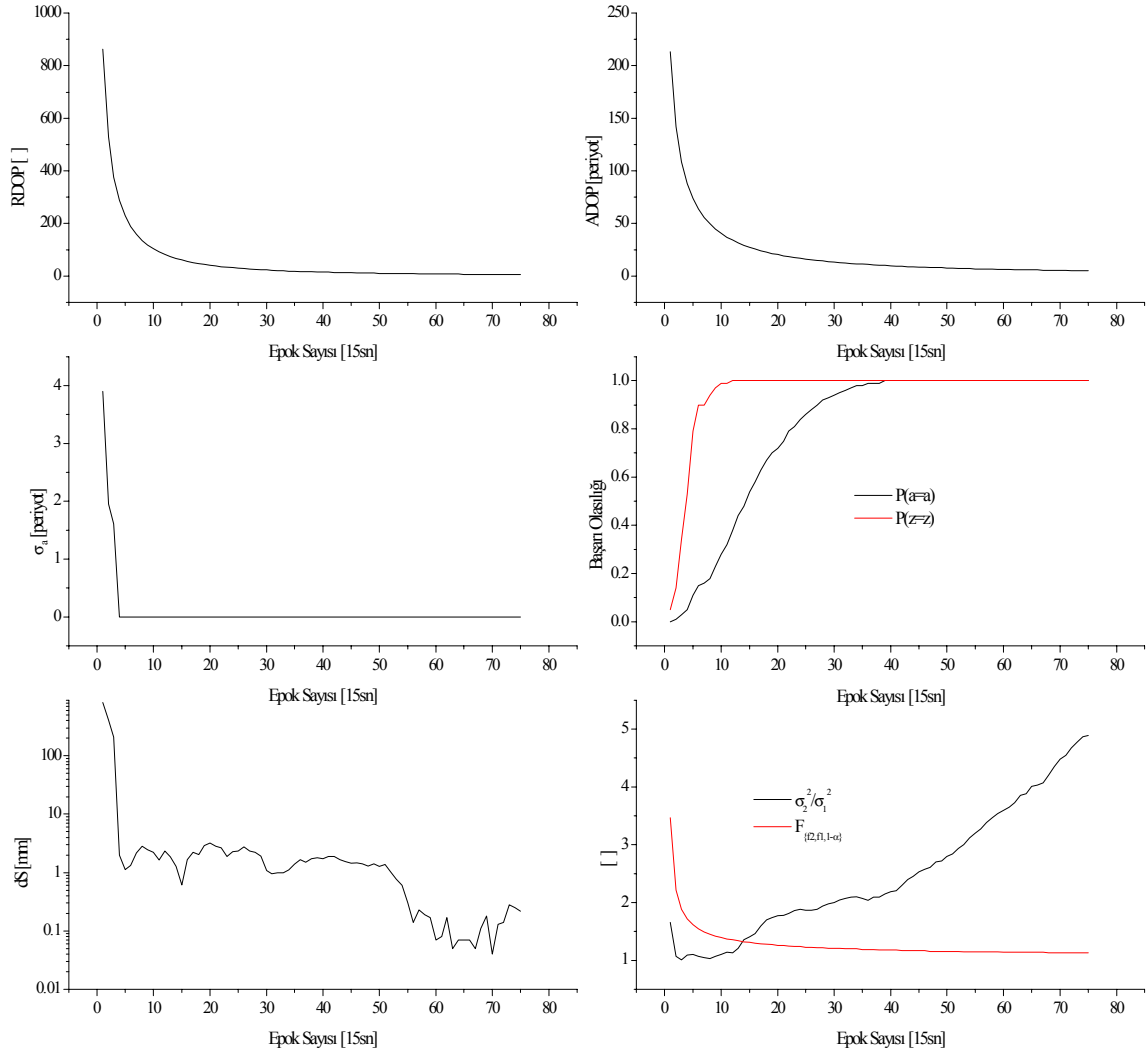
$$I_i^k = 40.3 \text{ TVEC} / \{ f^2 \cos(z_i^k) \}$$

modeli kullanılmıştır. Bu modelde toplam elektron miktarı $\text{TVEC}=10^{17}$ olarak alınmıştır. Troposferik etki için (6.9) bağıntısı ile verilen değiştirilmiş Saastamoinen modeli standart atmosfer değerleri ile kullanılmıştır. (7.1) modellenemeyen sistematik ve rasgele hataların toplamını gösteren ölçü hataları IMSL tarafından türetilen rasgele sayı üretici kullanılarak türetilmiş olan hatalar eklenmiştir. Türetilen bu hataların standart sapmaları $\sigma_{\phi 1}=0.004\text{m}$, $\sigma_{\phi 2}=0.006\text{m}$, $\sigma_{R1}=0.800\text{m}$, $\sigma_{R2}=1.200\text{m}$ ve duyarlı kod için $\sigma_P=0.300\text{m}$ alınmıştır. Türetilen dosyaların gerçek BFB (ilk faz ölçülerinin) ve DD-BFB (30 epokla kestirilen) dosyaları Ek 9’da verilmiştir.

Bu dosyaların sadece L1 üzerinden kod ve faz ölçüleri kullanılarak değerlendirilmesi sonucunda elde edilen grafikler Şekil 7.6’de sunulmuştur (Şekil 7.6). Şekil 7.6 incelendiğinde, gerçek BFB’lerin türetilmiş dosyalardan bulunması çok daha hızlı olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 7.6’in sol orta ve sol alttaki iki grafiğinden kolayca görülmektedir. Gerçek BFB’ler dördüncü epoktan itibaren doğru olarak kestirilmiştir. Gerçek çözüm sonuçları ile karşılaştırıldığında sonuçların oldukça iyi olduğu görülmektedir. Bunun nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Sabit ve değişken kabul edilen alıcı koordinatlarının gerçek değere çok yakın olması. Simülasyonla türetilen dosyalar RINEX formatındaki başlık bölümünden alınan alıcı koordinatları ile türetilmesi ve aynı koordinatların türetilen dosyanın başlık bölümüne yazılması,
- Simülasyon aşamasında kullanılan atmosferik modeller ile değerlendirme aşamasında kullanılan atmosferik modellerin aynı olması ve bu etkilerin değerlendirme aşamasında tamamen ortadan kalması,
- Simülasyonla türetilen gözlem hatalarının kesinlikle normal dağılımda olması, böyle bir durumun gerçek dosyalar için söz konusu olmaması (örneğin küçük yansıma hataları, uydu-alet donanımından kaynaklanan hatalar, ... , vb. dolay),
- Burada kullanılan gerçek dosyalar 1997 yılına ait olduğundan SA etkisinin bu gözlemler üzerinde oldukça etkili olması (hem uydu koordinatlarında, hem de

ölçülerde).

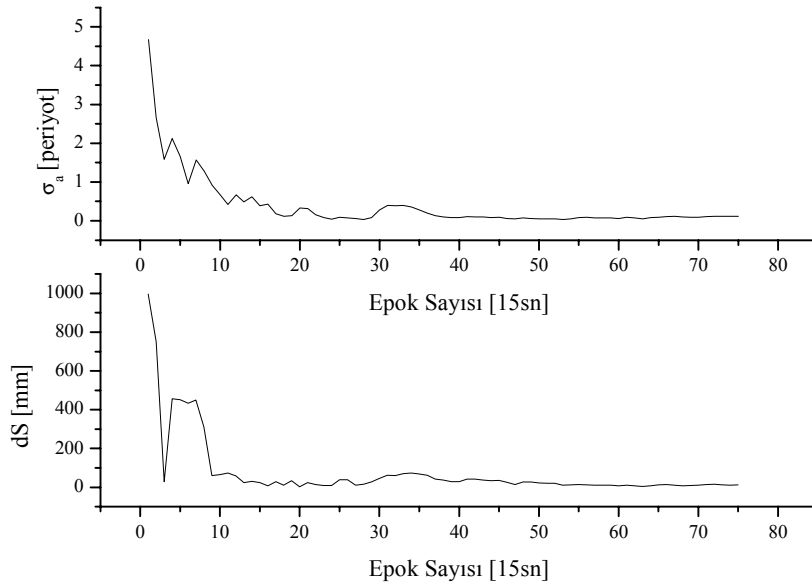


Şekil 7.6 Ek 7’de başlık bölümü verilen türetilmiş gözlem dosyasının değerlendirilmesi sonucunda tamsayı BFB kestiriminin sonuçlar üzerine etkisi.

Yukarıda bahsedilen ilk iki maddenin BFB kestirimi üzerine olan etkileri daha sonra incelenecektir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli nokta matematik modeli çok iyi kurulan, uydu sayısı ve dağılımı iyi olan gözlem dosyalarında dahi BFB kestiriminin GPS ile konum belirlemede çok önemli olduğudur.

Şekil 7.6’ın RDOP, ADOP ve başarı olasılığını gösteren grafikler gerçek gözlemlerle elde edilenlerle benzerdir. Bu durum, uydu sayısının ve uydu dağılımının aynı olması ile ilgilidir. Sağ alt köşedeki grafik başarı oranı ile karşılaştırıldığında daha güvenilirirdir. Şekil 7.5’deki grafiklerden, 30 epoktan sonra başarı oranının $P(\hat{a} = a) > 0.95$ olduğu, 5 epoktan sonra başarı

oranının $P(\bar{z} = z) > 0.95$ olduğu, ayırma testinin 14 epoktan sonra $P(\bar{\sigma}'^2 / \bar{\sigma}^2 > F_{(f, f, 1-\alpha)}) = 0.95$ olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle; bu ölçütlere bakarak BFB kestirimi yapılsaydı, $\bar{z}$ dönüşümü olmadan yapılan araştırma tekniği ile %95 güvenle 30. epokda çözüm olduğuna, LAMBDA yöntemi ile %95 güvenle 5. epokda çözüm olduğuna, ayırma testi ile ise %95 güvenle 14 epokta çözüm olduğuna karar verilecekti. Gerçek değerler kullanılarak çizilen grafiklerde ise doğru BFB kestiriminin 4. epokda gerçekleştiği görülmektedir. Türetilen dosyaların değerlendirilmesinde kurulan matematik model çok iyi bilindiğinden, LAMBDA yöntemi ile gerçekleştirilen BFB kestiriminin, başarı olasılığının doğruluk kriteri ile uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 7.6). Ayrıca Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da hesaplanan başarı olasılıklarından, kestirilen BFB'lerinin kısa ölçü sürelerinde gerçek değerlerine ulaşma olasılıklarının LAMBDA yönteminde daha yüksek olduğu söylenebilir. Bu özelliği LAMBDA yönteminin kinematik uygulamalarda çok rahatlıkla kullanılabileceğini de göstermektedir.



Şekil 7.7 Ek 7'de başlık bölümü verilen türetilmiş gözlem dosyasının değerlendirilmesi sonucunda gerçel BFB kestiriminin sonuçlar üzerine etkisi.

Simülasyonla türetilmiş olan dosyaların gerçel çözümü sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 7.7'da grafikler halinde özetlenmiştir (Şekil 7.7). Şekil 7.7'deki grafikler, matematik modelini (uydu koordinatlarını, atmosferik etkileri, alıcı koordinatlarını, ölçülerin stokastik bilgilerini, ..., vb.) çok iyi bildiğimiz modelde BFB'lerin gerçel değerlerinin düzenli olarak tamsayı değerlere yaklaştığı görülmektedir. Her iki grafikten baz uzunluğunun BFB'nin gerçel değerini bulma ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Yine Şekil 7.6 ve Şekil 7.7

karşılaştırıldığında BFB kestiriminin, kısa ölçme sürelerinde santimetre ya da santimetre altı doğruluklara ulaşmada ne kadar etkili olduğu burada da görülmektedir.

7.4 BFB Parametrelerinin Kestirimini Etkileyen Faktörler

Bağıl konum belirlemede BFB kestiriminin ne kadar önemli olduğu önceki başlıklar altında gösterilmiştir. Bu başlık altında ise doğru BFB kestirimini, dolayısıyla doğru bağıl konum belirlemeyi etkileyen faktörler sayısal örnekler üzerinde gösterilecektir. Bunlar; alıcının tek yada çift frekanslı olması, uydu sayısı ve dağılımı, atmosferik etkiler ve sabit istasyon noktasının nokta koordinatlarının yanlış olması şeklinde sıralanabilir.

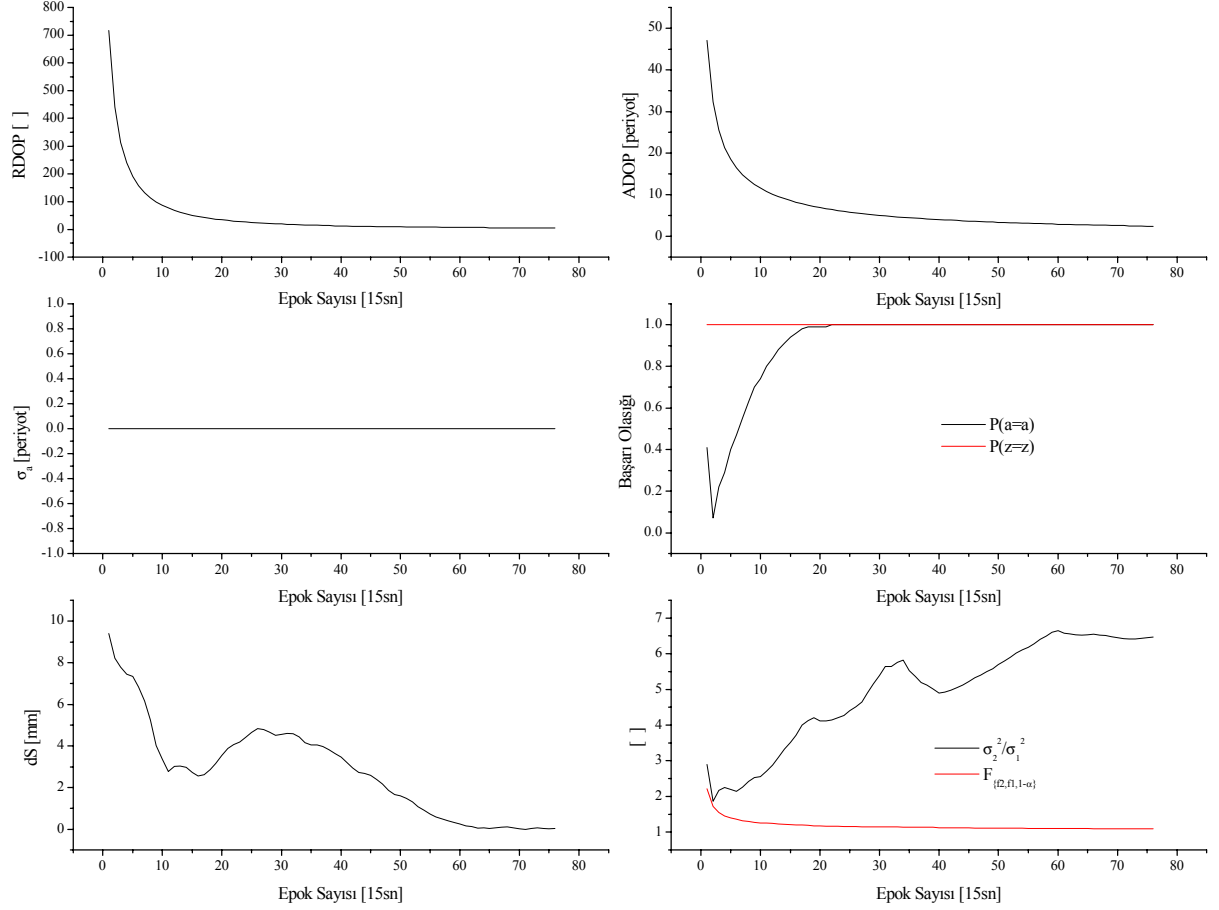
7.4.1 İkinci Frekansın BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi

Çift frekanslı alıcılar ile BFB kestirimi, tek frekanslı alıcılara göre daha kısa süreli ölçüler ile doğru olarak gerçekleştirilmektedir. Bu durumu Ek 7’de verilen gerçek gözlem dosyası üzerinde inceleyebiliriz. Ek 7’deki gözlem dosyalarının tek frekanslı alıcılarla değerlendirilmesi Şekil 7.4’deki grafiklerde gösterilmiştir. Bu gözlem dosyaları aynı uydu sayısı, uydu dağılımı, aynı atmosferik model kullanılarak L1 ve L2 üzerinde kod ve faz ölçüleri ile kullanılarak değerlendirilmiş ve sonuçlar Şekil 7.4’e benzer şekilde grafikler halinde Şekil 7.8’de sunulmuştur.

Şekil 7.8 incelendiğinde çift frekansın doğru BFB kestirimi üzerindeki etkisinin oldukça iyi olduğu görülmektedir. L1 ve L2 üzerinde kod ve faz ölçüleri ile doğru BFB’ler daha ilk epokta kestirilmiştir. RDOP ve ADOP değerleri Şekil 7.4 ile epok sayısı açısından benzerlik göstermelerine karşın değerce küçülmüşlerdir. Orta soldaki grafikten doğru BFB kestiriminin birinci epokta gerçekleştirildiği görülmektedir. Orta sağdaki grafikten doğru BFB kestirimi yapma olasılığının LAMBDA yönteminde 1.epokta $P(\tilde{z} = z) = 1.00$ ve araştırma tekniği ile 22.epokta $P(\tilde{a} = a) = 1.00$ olduğu görülmektedir. Bu grafikten LAMBDA yönteminin normal araştırma tekniğine göre oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Ölçü süresi kısaldığında da LAMBDA yöntemi normal araştırma yöntemine göre oldukça hızlı sonuç vermektedir. Ölçü süresi arttıkça her iki yöntemin çözüm süresi birbirine yaklaşmaktadır.

Sol alttaki grafikten gerçek baz uzunluğu ile kestirilen baz uzunluğu arasındaki farkın daha birinci epokda santimetre altında kaldığı da görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, doğru BFB kestiriminin daha birinci epokta sağlanmasıdır. Ayırma testinin gösterildiği sağ alttaki grafiğin doğruluk testi ile benzer sonuç verdiği görülmektedir. Siyah olan test büyüklüğü,

kırmızı olan F-Dağılımı tablo değerinden bütün epoklarda büyük kalmıştır. Test büyüklüğünün sabit bir değerden büyük olmasını öngören ayırma testinin $c=3$ 'den (Hofmann-Wellenhof vd., 1997) büyük olma koşulunu 13.epokta sağladığını ve doğruluk testi ile tutarlı olmadığını da göstermektedir.



Şekil 7.8 Ek 7’de başlık bölümü verilen gerçek gözlem dosyasının L1 ve L2 üzerinde kod-faz ölçülerinin değerlendirme sonuçları.

Sonuç olarak, çift frekanslı alıcıların BFB kestiriminin doğruluğunun ve buna bağlı olan bağıl konum belirleme doğruluğunun oldukça artırdığı söylenebilir. Avrupa’da geliştirilen ve 2008 yılında aktif olarak çalışmaya başlayacak olan Galileo sisteminin üç frekanslı olduğu düşünüldüğünde BFB kestiriminin ve bağıl konum belirlemenin doğruluğunun epok bazına ineceği de açıktır. GPS/Galileo için tek epok BFB kestirimine karşılaştırma örnekleri (Jong vd., 2001) kaynağında bulunabilir.

7.4.2 Uydu Sayısının ve Uydu Dağılımının BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi

Uydu sayısı $m+1$ olan DD matematik modelde bir epokda BFB kestirimi ve bağıl konum belirleme yapabilmek için ölçü sayısı ile bilinmeyen sayısı arasında ki koşul, tek frekanslı alıcılarda:

$$2m \geq 3+m \quad (7.7a)$$

ve çift frekanslı alıcılarda

$$3m \geq 3+2m \quad (7.7b)$$

olmalıdır. Bu koşulu sağlayan minimum sayı (4) dördttür. Şekil 7.2'deki uydulardan, gözlem penceresinin her bir çeyreğine bir uydu düşecek şekilde 4 uydu seçilmiştir (Şekil 7.9). Seçilen 22, 30, 10, 25 numaralı uydular için 1sn aralıklı 20 epokluk ölçü türetilmiştir. Ölçülere eklenecek olan rasgele hatalar BFB kestirimi üzerinde etkili olabileceği düşünülmüş (özellikle kod ölçüleri), ölçü türetme işlemi 10 kez aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Türetilen bu ölçüler hepsi aynı anda değerlendirilmiş ve sonuçlar Şekil 7.9'da sunulmuştur.

Şekil 7.9 incelendiğinde uydu sayısının azalması, L1/L2 üzerinden ölçülen bütün ölçüler kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda dahi doğru BFB kestirimini olumsuz etkilemektedir. Şekil 7.2'deki uyduların tamamı kullanılarak dosya türetildiğinde, tek frekanslı alıcılarda (L1 üzerinde kod-faz ölçüleri kullanılarak) dahi doğru BFB kestirimi birinci epokta gerçekleşmektedir.

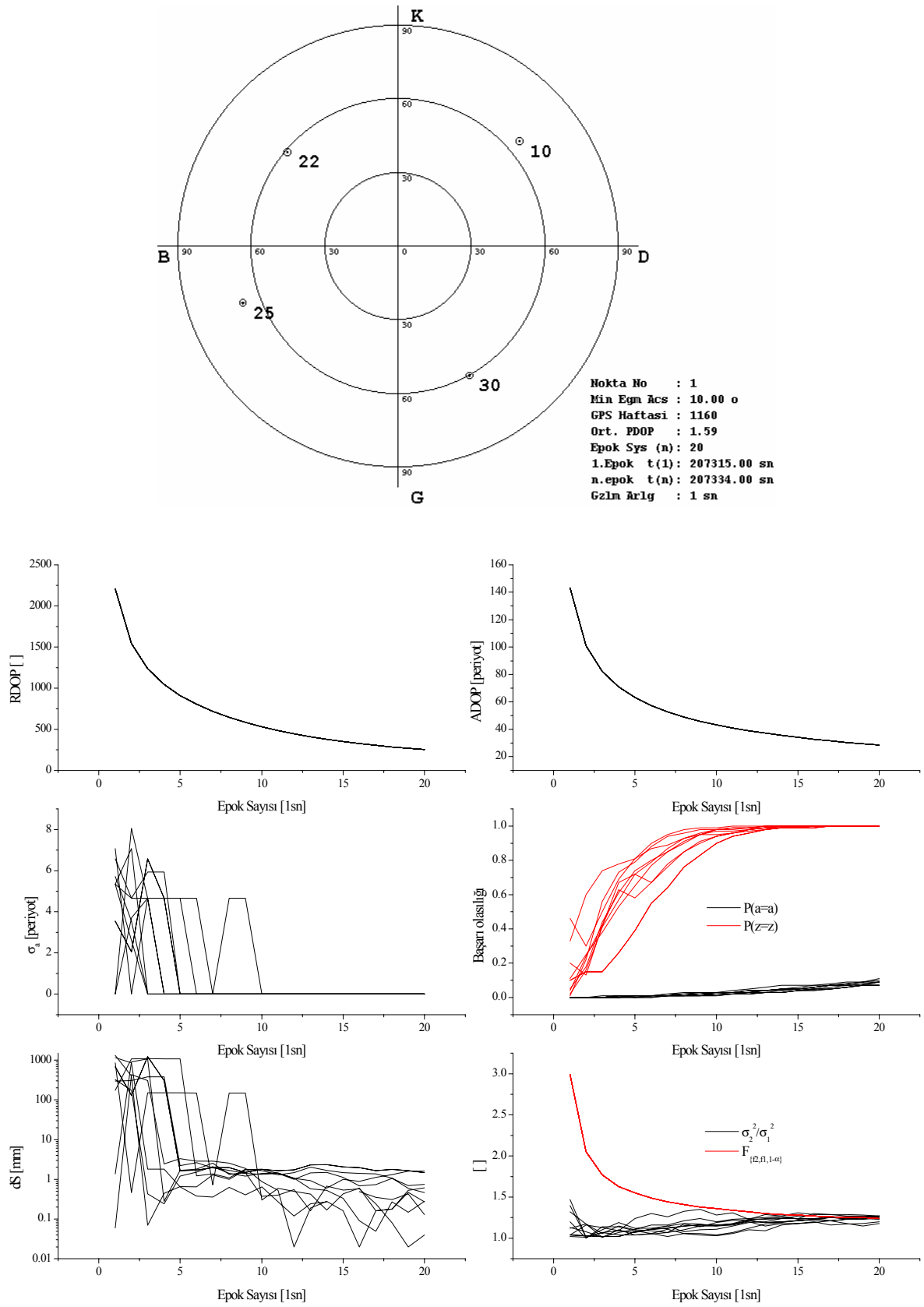
Şekil 7.9'daki değerlendirmede kullanılan türetilmiş dosyaların özellikleri şöyledir:

- Türetilmiş dosyada kullanılan uydu koordinatları ile değerlendirme sırasında hesaplanan koordinat farkları yayın efemerisi doğruluğundadır (Çizelge 7.1). Yayın efemerisin bu doğruluğunun DD matematik modeli üzerindeki etkisi kısa bazlarda milimetrenin yüzdelik kısımlarına denk gelmektedir.
- Sabit ve hareketli GPS alıcılarının yaklaşık koordinatların, gerçek koordinatlarından olan farkları (cm) altı yaklaşıklıktadır.
- Türetilen dosyalara eklenen atmosferik etkiler (troposfer, iyonosfer), değerlendirme aşamasında aynı şekilde belirlenmekte ve etkileri (7.2) bağıntısına göre tamamen giderilmektedir.
- Faz ve kod ölçüleri için türetilen rasgele hatalar daima normal dağılımdadır.

Yukarıdaki özellikler bir problemin çözümü için gerekli olan ideal koşullar olmasına karşın, BFB çözümü en kötü 10.epokta (10sn sonra) gerçekleşmiştir.

Bu deneme bize, kinematik uygulamaların önem kazandığı günümüzde anlık BFB kestirimi için uydu sayısının ne kadar önemli olduğu göstermektedir (Şekil 7.9).

Şekil 7.9'daki gözlem penceresi ve grafikler incelendiğinde, LAMBDA yöntemi için başarı olasılıklarının doğruluk testleri ile uyduğu görülmektedir. 10.epokda $P(\hat{\underline{z}} = \underline{z}) > 0.90$ olmaktadır. Sağ alttaki ayırma testi grafiğinin, F-Dağılımına göre ya da Hofmann-Wellenhof'un önerdiği $c=3$ sınırına göre ya da Teunissen'in (1998) önerdiği $c>1$ olmalı sınırına göre karşılaştırıldığında doğruluk testi ile uyuşmadığını göstermektedir.



Şekil 7.9 Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının değerlendirme sonuçları.

Aynı uydu sayısı ile daha kötü dağılmış uyduların oluşturduğu gözlem dosyası türetilerek değerlendirme yapılmış ve değerlendirme sonuçları gözlem penceresi ile birlikte Şekil 7.10'da verilmiştir.

Şekil 7.10'daki uydular Şekil 7.2'deki uydulardan seçilmiştir. Şekil 7.2'den güney-doğu çeyreğe düşen ya da yakın olan 6, 23, 30, 18 numaralı (düşey açısı küçük olandan büyüğe doğru sıralanmış) uydular seçilmiştir. Bir önceki değerlendirmedeki koşullar altında ve L1/L2 üzerinde kod ve faz ölçüleri ile gözlem dosyaları değerlendirilmiş, sonuçlar grafikler halinde Şekil 7.10'da sunulmuştur.

Şekil 7.10'da uydu dağılımı ve grafikler göz önüne alındığında, uydu dağılımının BFB kestiriminde ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu uydu dağılımında doğru BFB kestirimi en kötü 7.epokta gerçekleşmiştir. Başarı olasılığı ve ayırma testleri birbirleri ile uyumlu iken doğruluk testinden biraz farklılık göstermektedirler.

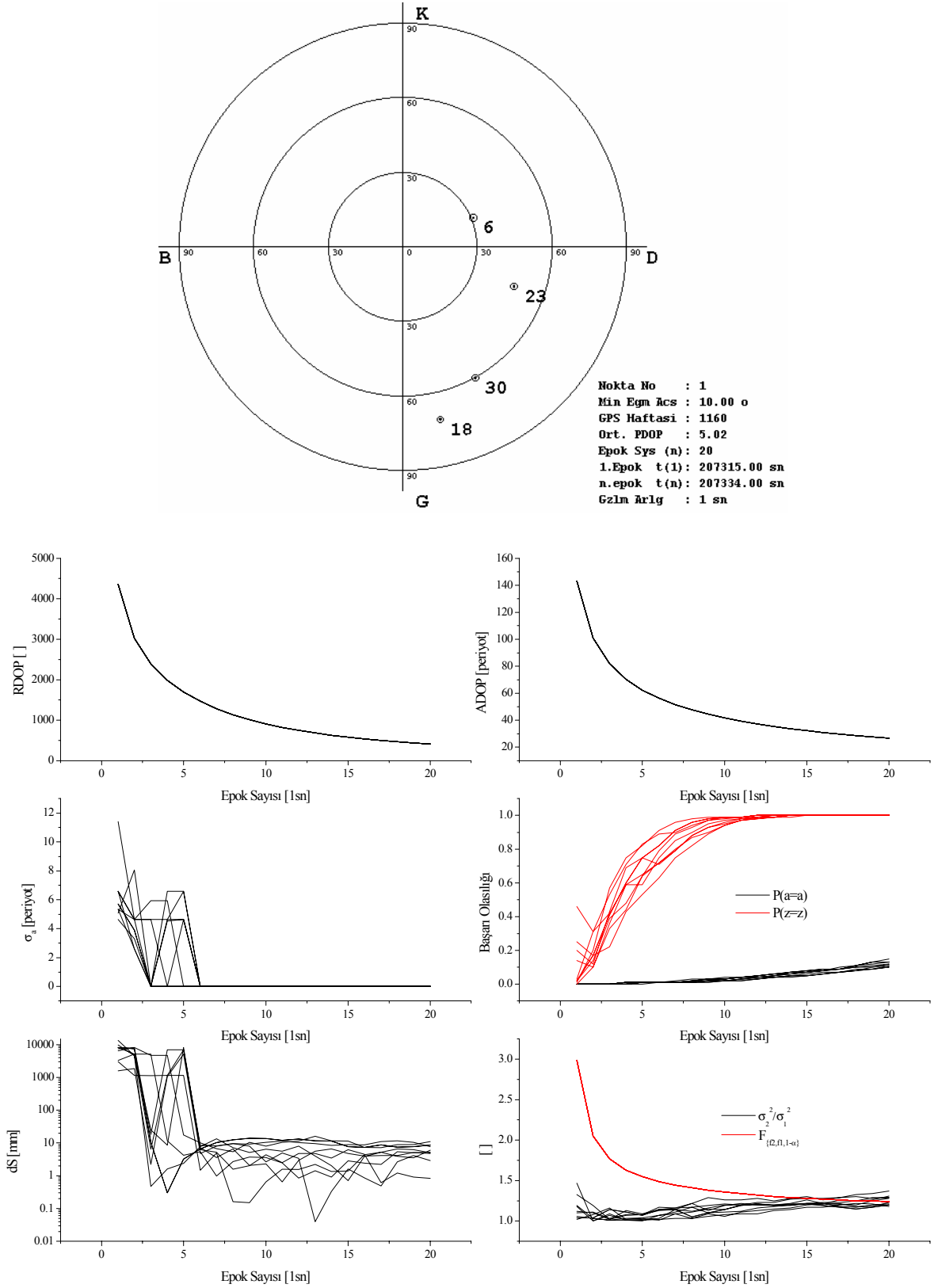
Bu uydu dağılımı ve Şekil 7.9'da seçilen uydu dağılımı karşılaştırıldıklarında ilginç bir sonuçla karşılaşmaktadır. Uydu dağılımı daha kötü olan Şekil 7.10'da doğru BFB kestirimi daha kısa sürede sağlanmıştır.

Çizelge 7.3'de uydu dağılımı kötü olan Şekil 7.10 gözlem dosyalarının ADOP değeri, uydu dağılımı daha iyi olan Şekil 7.9 gözlem dosyalarının ADOP değerinden bütün epoklarda daima küçük kalmaktadır. ADOP değeri ne kadar küçülürse BFB kestiriminin başarı olasılığı, ya da başarı doğruluğu artmaktadır. Uydu dağılımını kötü olup doğru BFB kestirimi için gerekli sürenin kısılması bundan kaynaklanmaktadır.

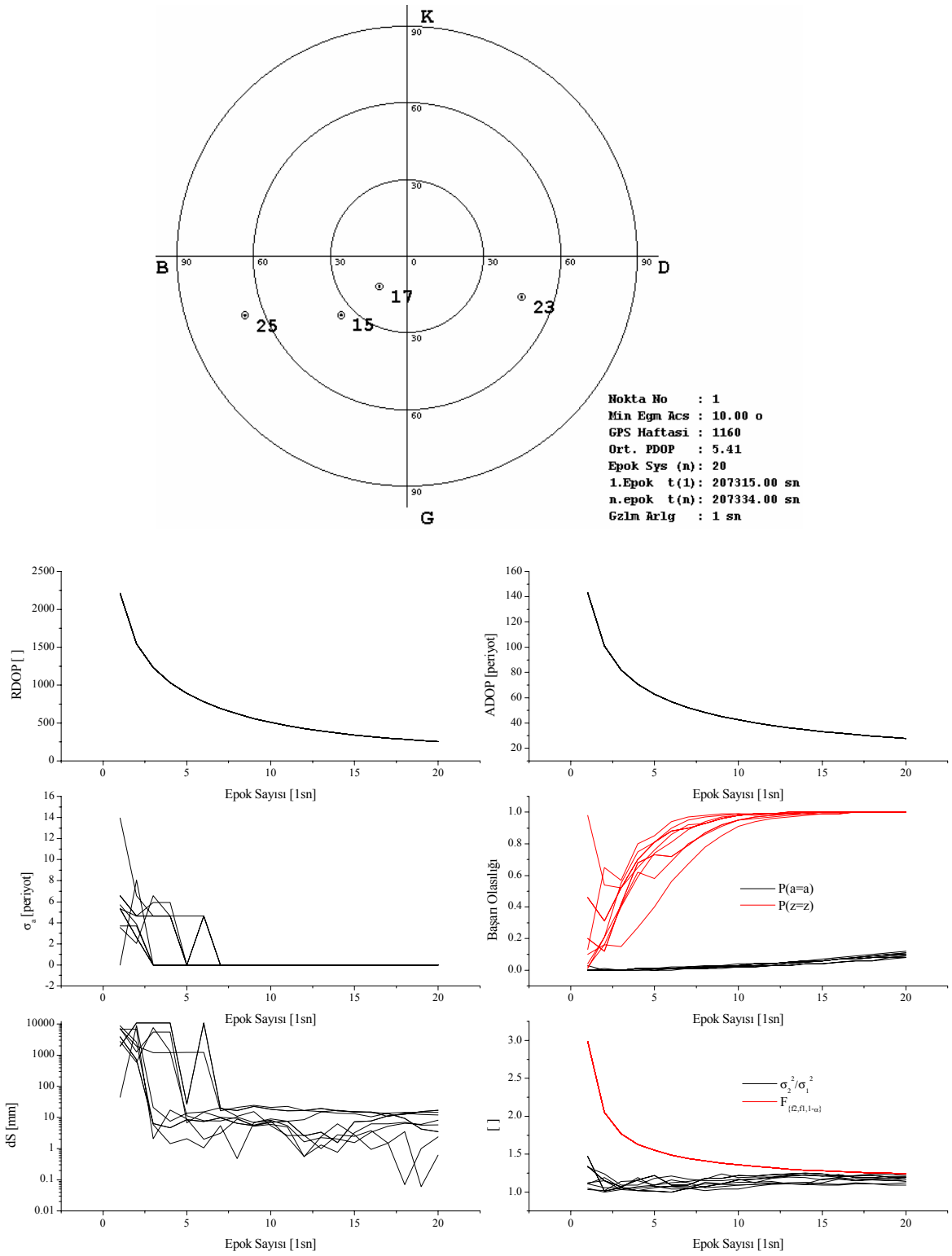
Uydu dağılımının önemini vurgulamak için Ek 3 ve Ek 4'deki dosyalardan (Şekil 7.2) yararlanılarak 17, 15, 22, 25 numaralı uydular ile gözlem dosyaları türetilmiştir. Bu gözlem dosyalarında 1sn aralıklı 20 epok ölçü türetilmiş ve değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları Şekil 7.11'de sunulmuştur.

Uydu dağılımı Şekil 7.10'a göre daha kötü olan Şekil 7.11'deki uydu dağılımı ile gerçekleştirilen BFB kestirimi daha başarılı olmuştur. Her üç uydu dağılımı ile ulaşılan sonuçların bir kısmı karşılaştırmalı olarak Çizelge 7.3'de sunulmuştur. Çizelge 7.3'de, uyduları dağılımının ölçütü olan PDOP'un Şekil 7.9'da diğer uydu dağılımlarına göre daha iyi olduğu görülmektedir. DD matematik modelde uyduların dağılım ölçütü olan RDOP'un Şekil 7.11'deki uydu dağılımında iyi olduğu görülmektedir. BFB kestiriminin duyarlık ölçütü olan ADOP ise Şekil 7.10'da en iyidir. Doğruluk ölçütü ile bir karşılaştırma yapılacaksa ADOP değeri küçük olan uydu dağılımında doğru BFB kestiriminin en kısa sürede yapılacağı açıktır.

Çizelge 7.3 ile Şekil 7.9-7.10-7.11'deki grafikler karşılaştırdığında bu durum açıkça görülmektedir.



Şekil 7.10 Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının değerlendirme sonuçları.



Şekil 7.11 Ek 3 ve Ek 4’deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının değerlendirme sonuçları.

Üç farklı uydu dağılımı ile ulaşılan sonuç grafikler ve Çizelge 7.3 incelendiğinde, rastlantısal ölçü hatalarının etkileri de düşünüldüğünde üç farklı uydu dağılımı için BFB kestiriminde

kullanılan ölçü süresinin eşdeğer olduğu söylenebilir. Çizelge 7.3’de ADOP değerleri yaklaşık eşit, en kötü BFB kestirim süreleri arasındaki maksimum farkın 4sn olduğu düşünülürse, uydu dağılımının doğru BFB kestiriminin ölçü süresini kısaltmada etkili olmadığıdır.

Çizelge 7.3 Farklı uydu dağılımı için elde edilen en kötü sonuçların karşılaştırılması.

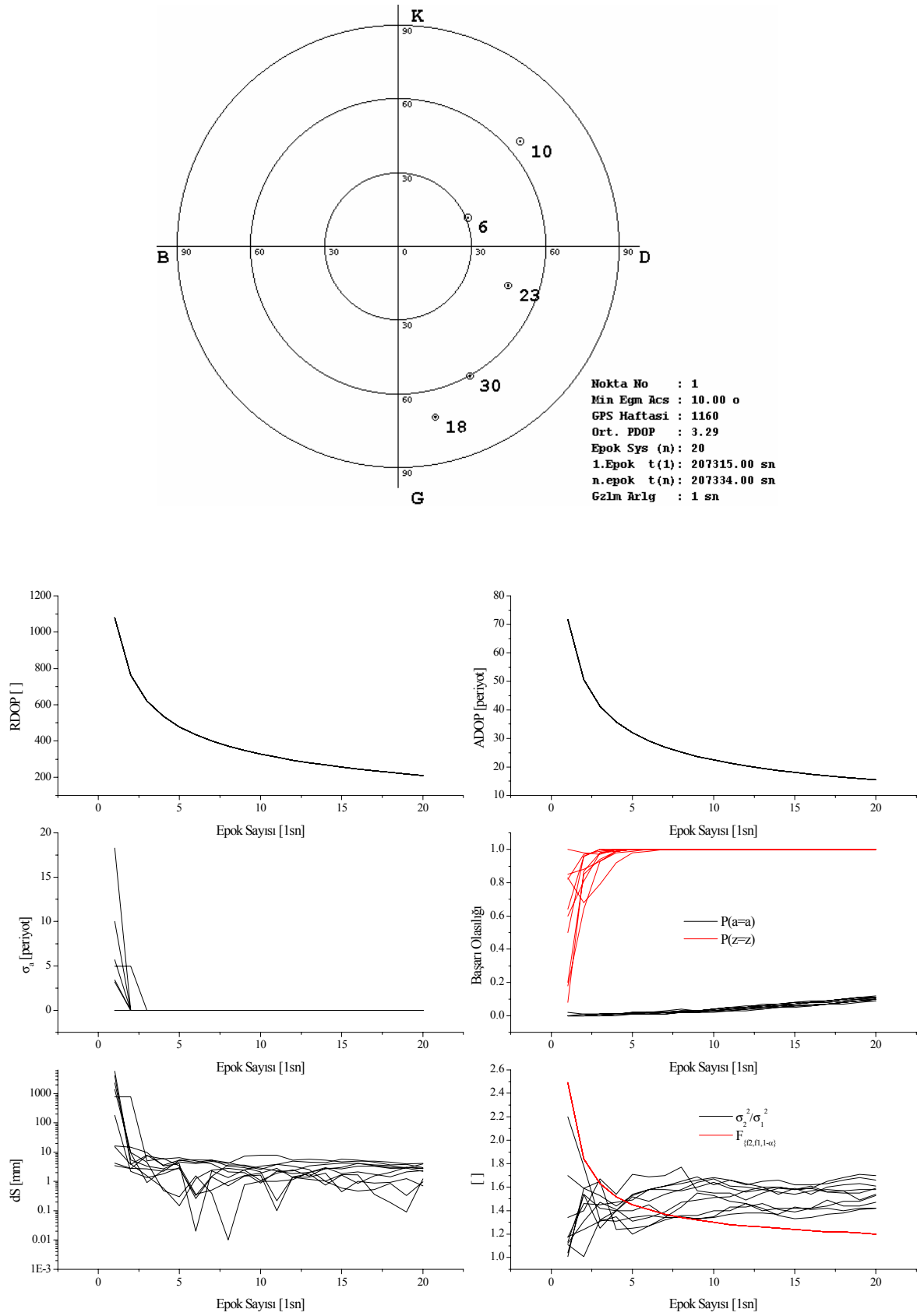
	Ölçü Süresi	σ_a [periyot]	PDOP []	RDOP []	ADOP [periyot]
Şekil 7.9	10sn	0.00	1.59	531.63	43.23
Şekil 7.10	6sn	0.00	5.02	1466.04	56.32
Şekil 7.11	7sn	0.00	5.41	693.12	52.20
Şekil 7.9	6sn	>0.00	1.59	802.88	57.32
Şekil 7.10	6sn	0.00	5.02	1466.04	56.32
Şekil 7.11	6sn	>0.00	5.41	781.23	56.86

Uydu sayısının kısa sürede doğru BFB kestirimi üzerine olan etkisi araştırmak için Ek 3 ve Ek 4’deki dosyalar kullanılarak Şekil 7.9 ve Şekil 7.10 uydularına birer uydu eklenerek yukarıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.9’daki uydulara 17 numaralı uydu eklenmiş uydu sırası 17, 22, 30, 10, 25 ve Şekil 7.10’daki uydulara 10 numaralı uydu eklenmiş uydu sırası 6, 23, 30, 18, 10 olacak şekilde gözlem dosyaları türetilmiştir. Türetilen gözlem dosyaları L1/L2 kod-faz ölçüleri kullanılarak değerlendirilmiş ve sonuçlar sırası ile Şekil 7.12-7.13’de sunulmuştur. Şekil 7.12-7.13 karşılaştırıldığında PDOP değerleri ve RDOP grafikleri dışındaki bütün grafiklerde, kısa süreli ölçülerle doğru BFB kestiriminin her iki uydu dağılımı için eşit oldukları söylenebilir. Uydu sayısının uydu dağılımında daha önemli olduğu da Şekil 7.9-7.10-7.11-7.12-7.13 incelenerek gözlenebilir. Yine uydu sayısının artması ile BFB duyarlık ölçütü olan ADOP’un iyileştiği ve her iki uydu dağılımına göre eş değer oldukları da görülmektedir.

Uydu dağılımının etkisiz olmasının nedenleri; baz uzunluğuna göre uyduların yüksekte olması ve kısa ölçü sürelerinde (kinematik uygulamalarda) uydu dağılımının fazla değişim göstermemesinden kaynaklanmaktadır. Yukarıdaki deneylerden şu sonuçlar çıkarılabilir:

- Ölçü süresinin kısa olduğu kinematik uygulamalarda; uydu dağılımı, uydu sayısına göre çok daha az etkilidir. Önemli olan uydu sayısının artmasıdır,
- Doğru BFB kestiriminin ön değerlendirmesi için; PDOP ya da RDOP ölçütleri yerine, birbirleri ile ilişkili olan ADOP ya da başarı olasılıklarına bakılması daha doğru olacaktır.

Şekil 7.12 Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının değerlendirme sonuçları.



Şekil 7.13 Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının değerlendirme sonuçları.

7.4.3 Atmosferik Refraksiyonun BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi

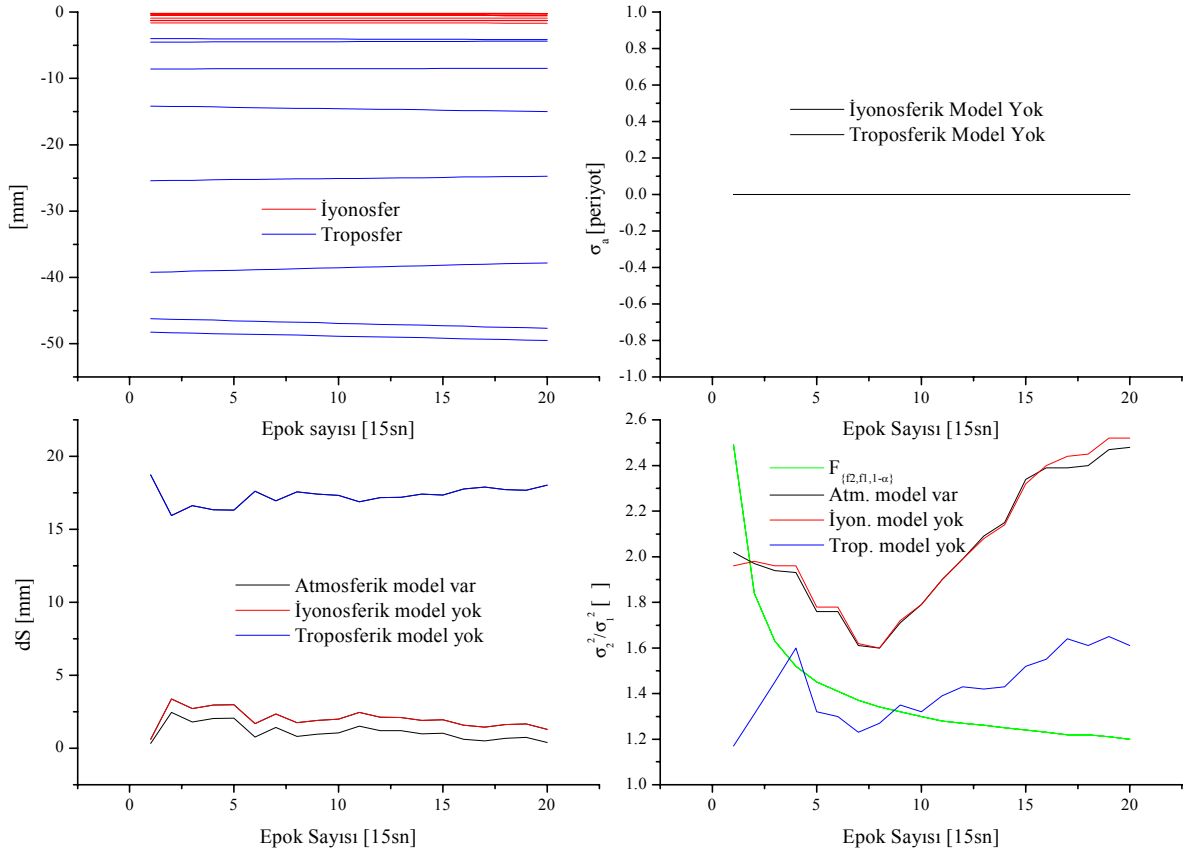
GPS de atmosferik refraksiyon baz uzunluğunun artması ile etkili olmaktadır. Bu nedenle, atmosferik refraksiyonun doğru BFB kestirimi üzerindeki etkileri, aynı uydu dağılımı kullanılarak farklı baz uzunluklarında gerçekleştirilmiştir. Kısa bazlar için 10km-20km eğik uzunluk veren GPS gözlem dosyaları türetilmiştir. Kısa bazlar için 10-20km sınırlarının seçilme nedeni, bazı kaynaklar kısa bazları $\leq 10\text{km}$ kabul ederken, bazılarının da $\leq 20\text{km}$ kabul etmesidir. Kısa bazlarda atmosferik etkiler ihmal edilmektedir. Bu başlık altında amaçlanan kısa baz sınırını belirginleştirmektir.

Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de uydu sayısı, dağılımı, Ek 3 ve Ek 4’de başlık bölümü ve yayın efemerisleri verilen dosyalar kullanılarak 10-20km eğik uzunluk veren baz uzunluğu türetilmiştir. Troposferik etki türetilirken her iki alıcı için de standart atmosfer değerlerinden yararlanarak (6.9) bağıntısı ile verilen Saastamoinen troposfer modeli kullanılmıştır. İyonosferik etki için yayın efemeris dosyasının başlık bölümünde yer alan Klobuchar iyonosfer modeli katsayıları (6.6)’da verilen bağıntıları ile birlikte kullanılarak türetilmiştir. Türetilen dosyalarda gözlem penceresinde gözlenebilen tüm uydular kullanılmış ve ölçü aralığı 15sn olan 20 epokluk (5dakika) gözlem türetilmiştir.

İyonosferik etkinin doğru BFB kestirimi üzerine olan etkisini görebilmek için değerlendirme aşmasında troposfer kendini türeten aynı modelle tamamen giderilmiştir. Aynı işlem iyonosfer modellenerek troposfer için gerçekleştirilmiştir. 10km-20km baz uzunluğu için türetilen iyonosferik ve troposferik refraksiyonun DD matematik modele göre büyüklükleri, bunların doğru BFB kestirimi ve baz uzunluğu üzerine etkileri ve ayırma testleri üzerine etkileri şeklinde gösterilmiştir. Grafiklerde, uydu dağılımı ile ilgili olan PDOP, DD matematik modelle ilgili olan RDOP ve büyük oranda uydu sayısına bağlı olarak değişen ADOP değerleri yer almamıştır. Bu değerler ve başarı olasılıkları Şekil 7.1 ve Şekil 7.2 ile türetilmiş olan değerlere oldukça yakındır. Bu büyüklüklerdeki değişim miktarı soncul varyansa bağlı olacaktır. Değerlendirme L1 üzerinden kod-faz ölçüleri kullanıldığında bu değerler için Şekil 7.6’dan yararlanılabilir.

Şekil 7.14’de soldan üst köşedeki grafik DD matematik model için türetilen iyonosferik ve troposferik etkileri göstermektedir. Sağ üst köşedeki grafik, iyonosfer ve troposferin modellenmediği durumda doğru BFB kestirimindeki değişimi göstermektedir. Sol alt köşedeki grafik atmosferik etkilerin modellenmemesinden kaynaklanan hataların baz uzunluğuna etkisini göstermektedir. Sağ alttaki grafik ise, atmosferik etkinin

modellenmemesinin ayırma testleri üzerine etkisini göstermektedir.



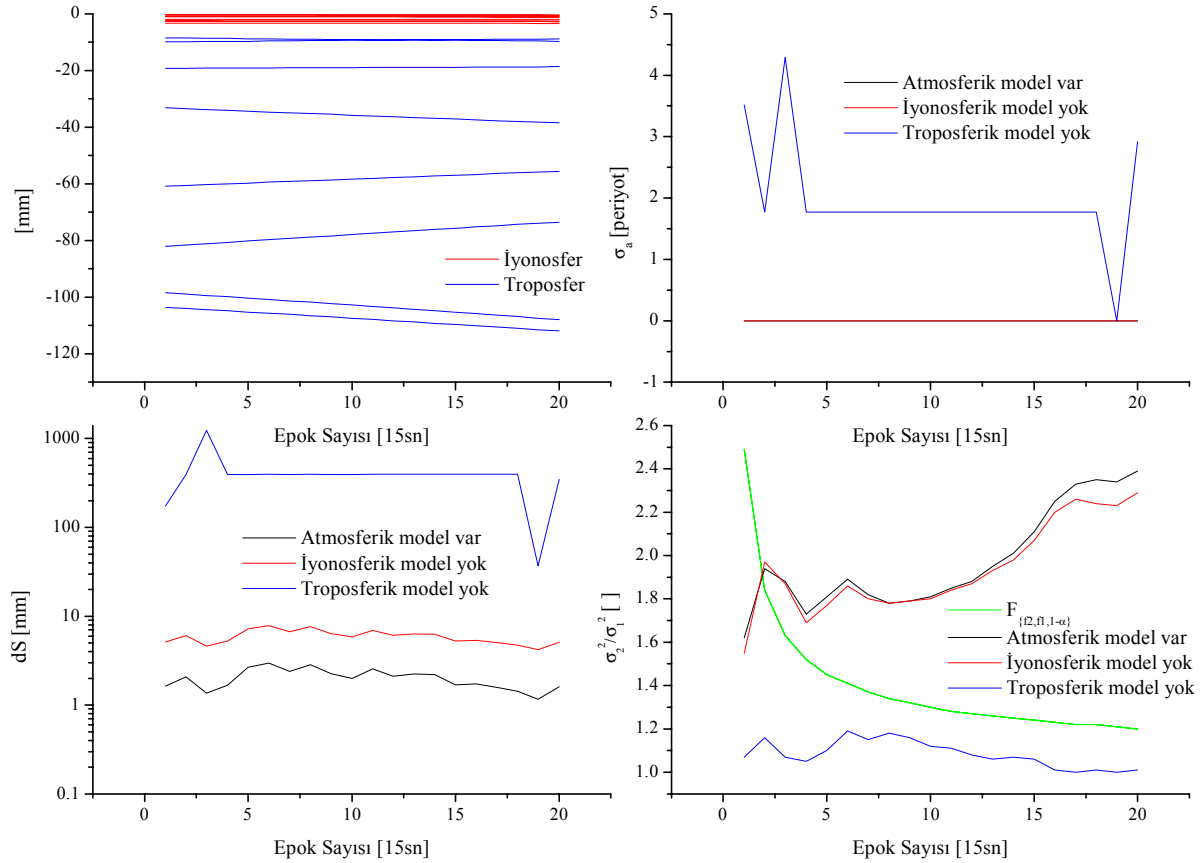
Şekil 7.14 Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak 10km uzunluğunda türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının atmosferik etkiler için değerlendirme sonuçları.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında, Şekil 7.14 incelenirse;

- Sol üst köşedeki grafikten 10km baz uzunluğu için kurulan DD matematik modelin iyonosferik refraksiyonu (mm) civarında kalırken, troposferik refraksiyon -50mm'ye kadar ulaşmaktadır,
- Sağ üst köşedeki grafikte, iyonosferik ve troposferik refraksiyonun doğru BFB kestirimi üzerinde etkili olmadıkları görülmektedir,
- Sol alttaki grafikte atmosferik refraksiyonun modellenmemesinin baz uzunlukları üzerine olan etkisini göstermektedir. İyonosferin baz unluğu üzerindeki etkisi (mm) civarında kalırken, troposferin etkisi 20mm civarına yaklaşmaktadır. Santimetreden küçük doğruluklar için troposferik etkinin 10km baz uzunluğu için modellenmesi gerekmektedir.
- Sağ alttaki grafikte, ayırma testinin de troposferik model yokluğunda zayıfladığı görülmektedir.

10km'lik baz uzunluğu için atmosferik modellenin göz ardı edilmesinin doğru BFB keserimi üzerine etkisi olmadığı söylenebilir. Fakat 10km baz uzunluğunda (cm)'den küçük doğruluk için troposferik model kesinlikle modellenmelidir. Troposferik modeli bu örnek için standart atmosfer modeline göre türetildiği ve gerçekte atmosferde meydana gelen anlık değişimlerin göz ardı edildiği düşünülürse, standart modele göre dahi olsa troposfer kesinlikle modellenmelidir. 10km uzunluklu bazda, iyonosferik refraksiyonun modellenmesine ihtiyaç yoktur.

Bazı kaynaklarda kısa baz sınırı olarak verilen 20km'de gözlem dosyaları türetilmiş ve atmosferik refraksiyonlar için 10km baz uzunluğunda kullanılan refraksiyon modelleri kullanılmıştır. Türetilen dosyalar, L1 üzerinden kod-faz ölçüleri değerlendirilmiştir ve değerlendirme sonuçları Şekil 7.15'de grafikler halinde sunulmuştur.



Şekil 7.15 Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak 20km uzunluğunda türetilmiş 20 epokluk gözlem dosyalarının atmosferik etkiler için değerlendirme sonuçları.

Şekil 7.15 incelendiğinde;

- Sol üst köşedeki grafikten 20km baz uzunluğu için kurulan DD matematik modelin iyonosferik refraksiyonu (mm) civarında kalırken, troposferik refraksiyonu -120mm'ye kadar ulaşmaktadır.
- Sağ üst köşedeki grafikte, iyonosferik refraksiyonun doğru BFB kestirimi üzerinde etkili olmadığı ve troposferik refraksiyonun etkili olduğu görülmektedir. Troposferik refraksiyonu 4 dakikalık ölçü süresi boyunca etkisi devam etmektedir.
- Sol alttaki grafikte atmosferik refraksiyonun modellenmemesinin baz uzunlukları üzerine olan etkisini göstermektedir. İyonosferin baz uzunluğu üzerindeki etkisi (mm) civarında kalırken, troposferin etkisi yanlış BFB kestirimine bağlı olarak 1300mm civarına yaklaştığı görülmektedir. Santimetreden küçük doğrulular için troposferik etkinin 20km baz uzunluğu için kesinlikle modellenmesi gerekmektedir.
- Sağ alttaki grafikte, ayırma testinin de troposferik model yokluğunda doğru BFB kestiriminin yapılmadığını göstermekte ve doğruluk testi ile uyuşmaktadır.

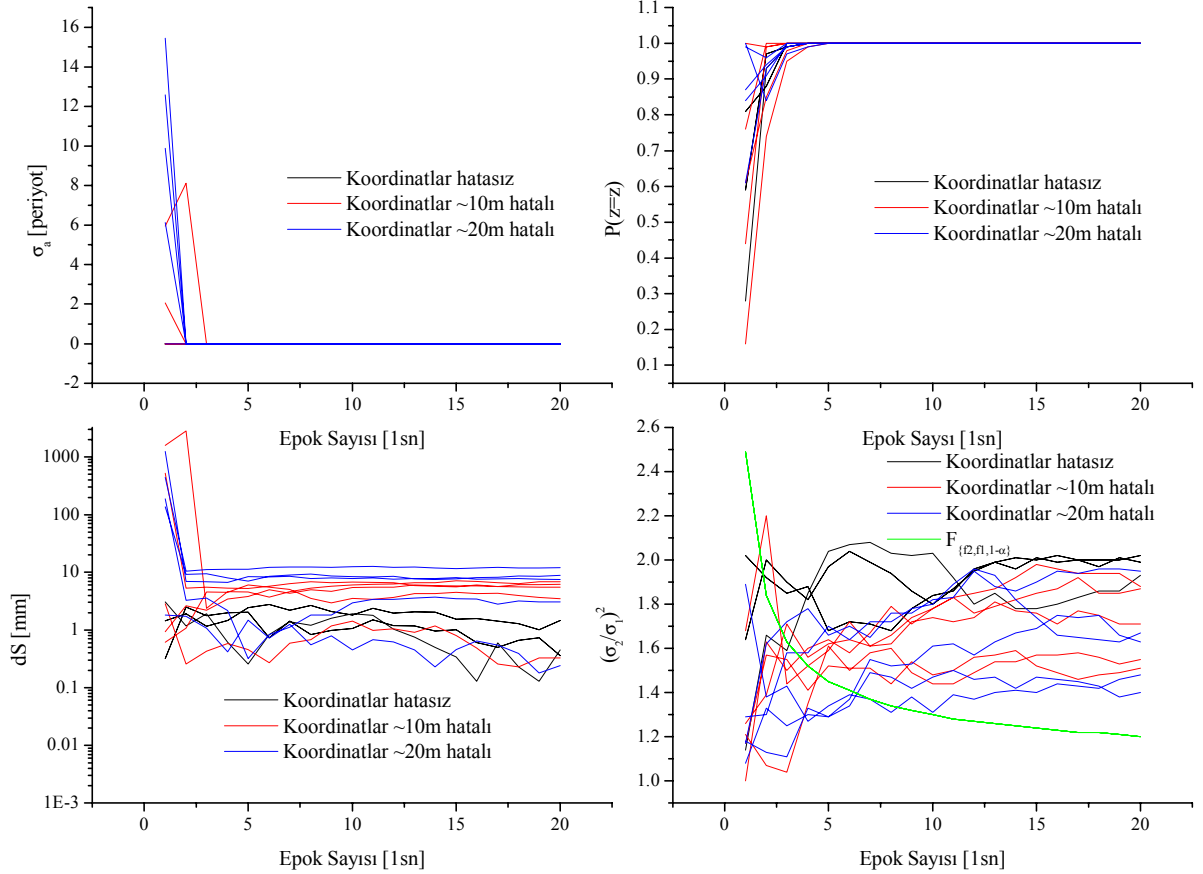
20km'lik baz uzunluğu için iyonosferik modelin göz ardı edilmesinin doğru BFB keserimi üzerine etkisi olmadığı söylenebilir. 10km baz uzunluğu için etkili olan troposferik refraksiyonun 20km baz uzunluğu için gerekli olduğu aşıkardır ve bu durum Şekil 7.15'de açıkça göstermektedir. Yine 20km için türetilen atmosferik refraksiyonda ölçü noktaları için standart atmosfer modeli kullanılmıştır. Birbirlerinden 20km uzaklıkta bulunan iki alıcının ölçme anındaki atmosferik koşullarının, 10km baz uzunluğu ile karşılaştırıldığında biraz farklı olacağı açıktır. 20km baz uzunluğunda da troposferik refraksiyonun modellenmesi gerekliyen, aynı durum iyonosferik refraksiyon için geçerli değildir.

Literatürde kısa baz uzunluğu için verilen sınır değer, genellikle atmosferik etkinin göz önünde bulundurulup bulundurulmaması ile ilgilidir. Bu bağlamda kısa baz uzunluğu için verilebilecek olan maksimum sınırın 10km olacağı yukarıdaki sayısal sonuçlar açıkça görülmektedir. Standart modellere göre standart atmosferik koşullar kullanılarak türetilen dosyalar için dahi kısa bazlar için verilen 20km sınırı troposferik etkinin ihmal edilmesi için uygun değildir. Elektron yoğunluğuna bağlı olan ve 20km uzunluktaki baz uzunluğu ile fazla değişmeyen iyonosferik refraksiyon için, göz ardı edilebilme sınırının 20km alınmasında bir sakınca yoktur.

7.4.4 Sabit İstasyon Koordinat Hatasının BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi

Bağıl konum belirlemede, sabit olan alıcı koordinatları değişmez alınır. Bu koordinatlardaki hataların etkileri baz bileşenlerine ve ikinci alıcının koordinatlarına yansır. Alıcı

koordinatlarındaki hataların etkileri uydu koordinatlarının hatalarının etkilerine benzerdir (§ 6.1.2.2.). Sabit istasyon noktasındaki koordinat hatalarının BFB keserimi üzerine olan etkiler gösterebilmek için baz uzunluğuna bağlı olan iki deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde sadece sabit alıcı koordinatlarına değil, aynı zamanda hareketli (koordinatları hatalı olan) alıcı koordinatlarına da mutlak olarak yaklaşık aynı büyüklükte fakat farklı hatalar yüklenmiştir.



Şekil 7.16 Ek 3 ve Ek 4’deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak 10km uzunluğunda türetilmiş 20 (1sn) epokluk gözlem dosyalarının alıcı koordinatlarının değiştirilerek değerlendirme sonuçları.

Bunlardan birincisinde baz uzunluğu 10km seçilmiş ve alıcı koordinatlarının her ikisine birden eğik uzunlukta yaklaşık ~0–10–20m değişime neden olan rasgele hatalar eklenmiştir. Eklenen bu hatalar için IMSL alt programı kullanılmış ve aynı işlem her bir değişim (0,10,20m) için 5 kez tekrarlanmıştır. Gözlem aralığı 1sn olan 20 epokluk gözlem dosyaları değerlendirilirken L1 üzerinden kod-faz ölçüleri kullanılmış atmosferik etkiler modellenmiştir. 9 uydudan oluşan gözlem dosyalarında alıcı koordinatları hatasız alındığında bir epokluk gözlem için doğru BFB kestirimi gerçekleşmiştir (Şekil 7.16).

Şekil 7.16 grafiklerde 5 kez yeniden türetilmiş farklı koordinat hatalarının BFB kestirimi üzerindeki etkilerini (sol üst köşedeki grafik), LAMBDA yönteminin başarı olasılığını (sağ

üst köşedeki grafik), baz uzunluğu üzerindeki etkileri (sol alttaki grafik) ve ayırma testi (sağ alttaki grafik) görülmektedir. Siyah çizgi ile her iki alıcı koordinatları hatasız olarak türetilmiş, kırmızı çizgi ile ~10m hatalı olarak türetilmiş ve mavi çizgi ile ~20m hatalı olarak türetilmiş gözlem dosyalarının değerlendirilme sonuçlarını göstermektedir.

Şekil 7.16 incelendiğinde; 10km'lik bir bazda her iki alıcı koordinatının değişiminin değerlendirme sonuçları için aşağıdakiler söylenebilir;

- Sol üstteki grafikten BFB kestirimi öngörülen hataların (0-10-20m) hepsinde bütün denemelerde 3.epoktan (3sn) sonra gerçekleşmiştir,
- Sağ üstteki grafikten, başarı olasılığı da 3.epoktan itibaren %95'in üzerine çıktığı görülmektedir,
- Sol alttaki grafikten baz uzunluğundaki değişimin 3.epoktan sonra santimetre civarında kaldığı ve koordinatlara eklenen hataların büyüklüklerine göre biraz arttığı görülmektedir,
- Sağ alt köşedeki ayırma testi grafiklerinin 7.epoktan sonra bütün denemeler için doğruluk testi ile uyduğu ve koordinatlara eklenen hataların büyüklüğüne göre kötüye doğru değiştiği görülmektedir.

Şekil 7.16'daki, bütün grafiklerden 10km uzunluktaki bir baz için sabit ya da alıcı koordinatlarında ~20m kadar olan hataların doğru BFB kesrimi üzerinde fazla bir etkisi olmadığıdır. Eklenen hataların büyüklüğüne göre baz uzunluğunda küçük değişimlere neden olmaktadır. SA etkisinin ortadan kalktığı günümüzde, noktaların mutlak konum doğrulukları birkaç metre civarında kalmaktadır. Bağlı konum belirleme aşamasına geçmeden önce, noktaların üç boyutlu kartezyen koordinatları nokta konum belirleme yöntemi ile ~20m'den daha iyi bir yaklaşıklıkla elde edileceğinden, hem sabit hem hareketli alıcı koordinatlarındaki değişimin 10km uzunluğundaki bazlarda BFB kestirimi ve baz bileşenleri üzerine etkisi olmadığına karar verilebilir.

Yukarıda 10km baz uzunluğu için gerçekleştirilen denemeler, yine bazı kaynaklarda kısa baz sınırı olarak verilen 20km uzunluğundaki bir baz için gerçekleştirilmiş, sonuçlar bir öncekine benzer olarak grafikler halinde Şekil 7.17'de sunulmuştur.

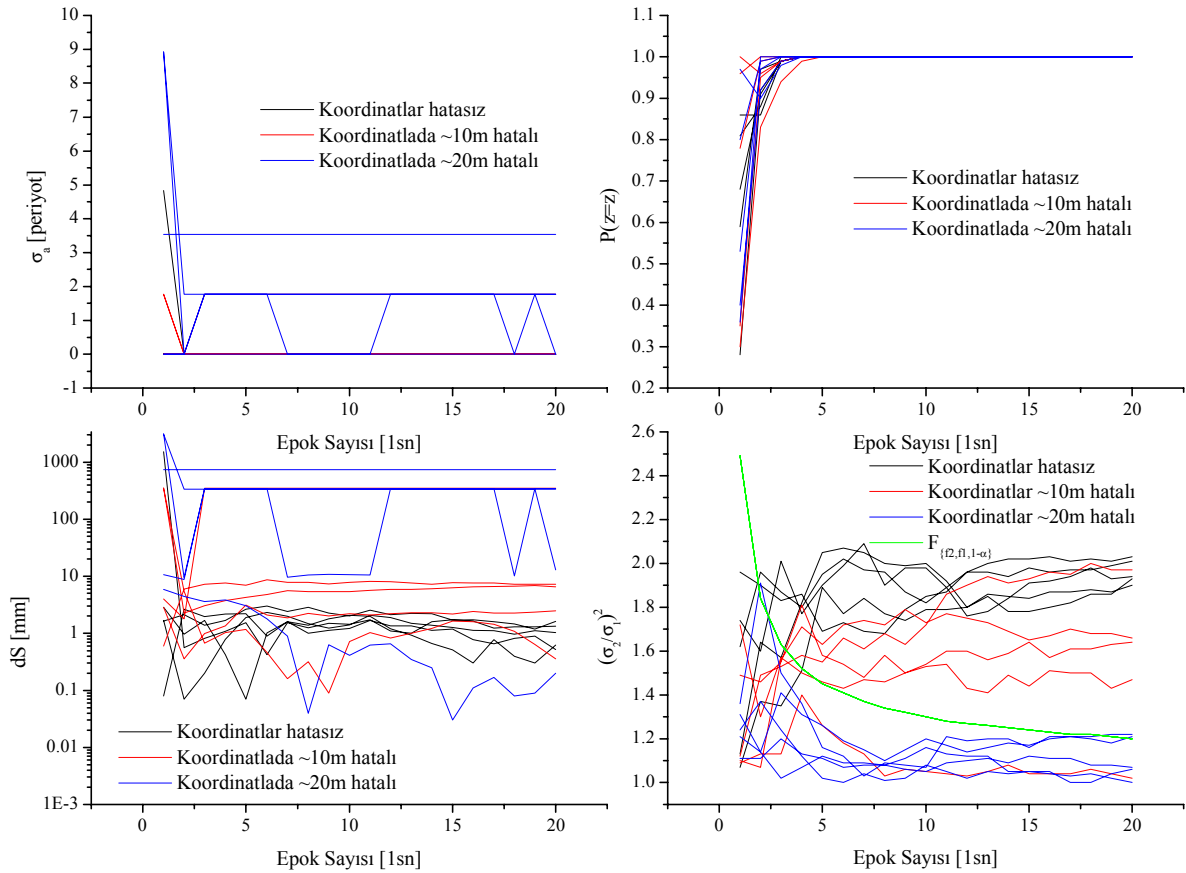
Şekil 7.17 incelendiğinde; 20km'lik bir bazda her iki alıcı koordinatının değişiminin değerlendirme sonuçları için aşağıdakiler söylenebilir:

- Sol üstteki grafikten doğru BFB kestirimi öngörülen hataların ~(0-10m) 2.epokda başarılı olurken, ~20m hatalı alıcı koordinatlarında 20 epokda da başarısız olduğu

görülmektedir,

- Sağ üstteki grafikten, başarı olasılığı da 20km uzunluğundaki baz için de 3.epokdan itibaren %95'in üzerine çıktığı görülmektedir,
- Sol alttaki grafikten, alıcı koordinatlarındaki $\sim(0-10m)$ değişim için 3.epokdan sonra santimetre civarında kaldığı ve koordinatlara eklenen hataların büyüklüklerine göre biraz arttığı görülmektedir,
- Sağ alt köşedeki grafik, alıcı koordinatlarındaki $\sim(0-10m)$ değişim için 3.epokdan sonra ayırma testinin başarılı olduğu, alıcı koordinatlarındaki $\sim 20m$ değişim için 20 epokda da başarısız olduğu görülmektedir.

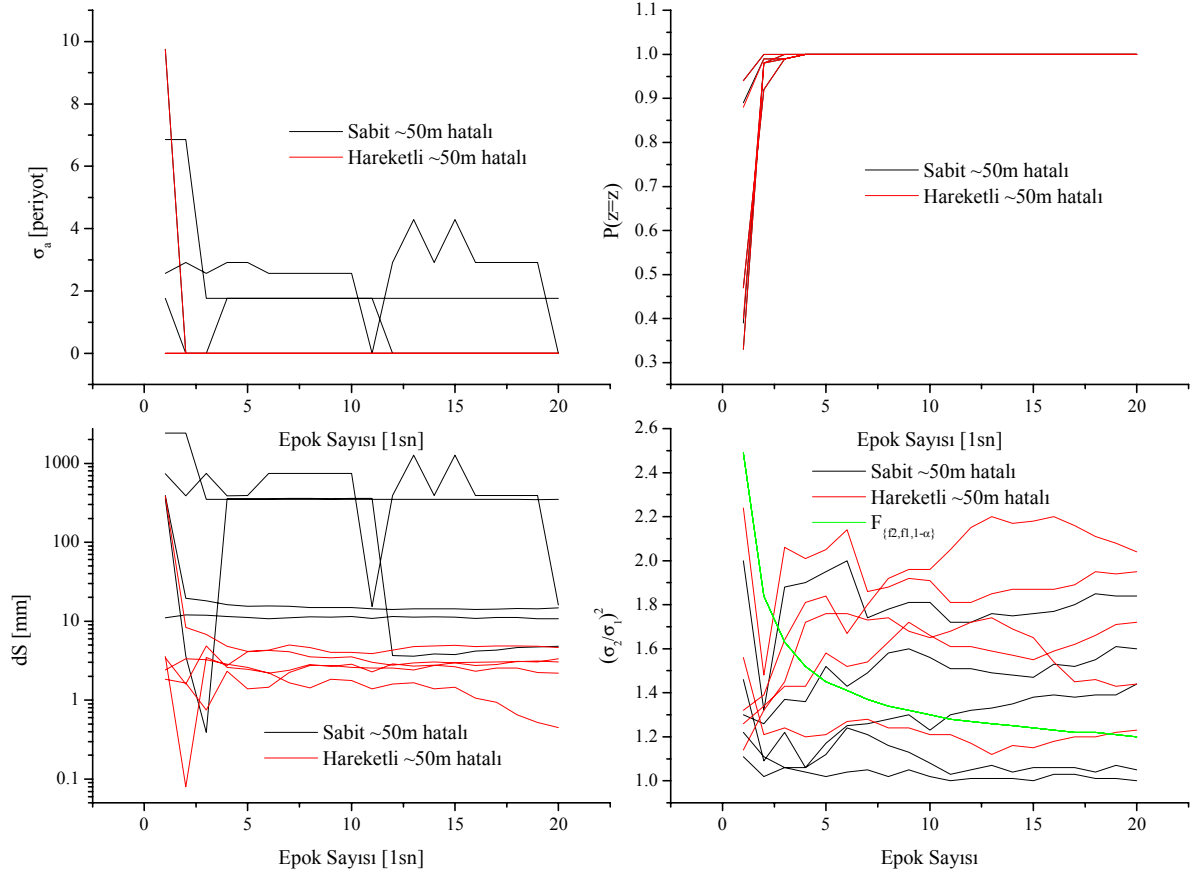
Şekil 7.17'den alıcı koordinatlarındaki hatanın etkisi baz uzunluğunun büyümesi ile arttığı açıkça görülmektedir.



Şekil 7.17 Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak 20km uzunluğunda türetilmiş 20 (1sn) epokluk gözlem dosyalarının alıcı koordinatlarının değiştirilerek değerlendirme sonuçları.

Buraya kadar olan denemelerde her iki alıcı koordinatı hatalı kabul edilmiştir. Böyle bir seçime gidilmesinin nedeni gerçek GPS ölçü dosyalarındaki durumun buna benzemesidir.

Bağıl konum belirlemede, hangi (sabit ya da hareketli) alıcı koordinatının hatalı olmasının etkili olduğunu belirlemek için bir deney daha yapılmıştır. Ek 3 ve Ek 4'deki dosyalar kullanılarak biri ~50m koordinat hatalı diğeri hatasız olan ve değerlendirme sonunda 10km uzay uzunluk veren iki dosya üretilmiştir. Bir kez hatalı dosya sabit alınarak, bir kez de hatasız dosya sabit alınarak iki farklı değerlendirme yapılmıştır. Beş kez üretilen farklı hatalı dosyalar için aynı işlem tekrarlanmış ve sonuçlar grafikler halinde Şekil 7.18'de sunulmuştur.



Şekil 7.18 Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü ve yayın efemeris dosyaları kullanılarak 10km uzunluğunda türetilmiş 20 (1sn) epokluk, biri hatalı ve diğeri hatasız alıcı koordinatlarına sahip gözlem dosyalarının değerlendirilme sonuçlarının karşılaştırılması .

Şekil 7.18'deki grafikleri çizilen gözlem dosyalarının değerlendirilmesinde L1 üzerinden kod ve faz ölçüleri kullanılmıştır. Atmosferik refraksiyon modellenerek etkisi ortadan kaldırılmıştır. Şekil 7.18'deki sol üst grafikte hatalı dosyanın sabit alındığı durumda (siyah grafik) doğru BFB kestiriminin gerçekleşmediği, tersi durumda (kırmızı grafik) ise doğru BFB kestiriminin bir denemede 2. epokdan sonra, diğer denemelerde ise birinci epokdan sonra gerçekleştiği görülmektedir. Buna bağlı olarak, sol alt grafikte baz uzunluğu üzerindeki etki görülmektedir. Sağ üstteki grafikten her iki koşul altında başarı olasılıklarının aynı

olduğu, sağ alt grafikten ise ayırma testinin sabit koordinat hatasız koşulu altında daha güvenilir olduğu görülmektedir.

Bu başlık altındaki denemelerden üç sonuç çıkarılabilir:

- Artan baz uzunluklarında, alıcı koordinatlarındaki hataların bağıl koordinatlar üzerindeki etkisini azaltmak için, nokta koordinatlarının birkaç metre duyarlılıkta belirlenmesi kaçınılmazdır,
- Alıcı koordinatlarındaki hataların etkilerini göz ardı etmek için kısa baz üst sınırının 10km olarak alınması gerekmektedir,
- Sabit alınan alıcı koordinatlarındaki hata, hareketli alıcı koordinatlarındaki hataya göre; BFB kestiriminin ve bağıl konum belirlemenin doğruluğunu daha fazla bozmaktadır.

7.4.5 Çift Frekanslı Alıcılarda Faz Kombinasyonlarının BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi

GPS ile bağıl konum belirlemede faz ölçülerinin doğrusal kombinasyonları sıkça kullanılır (§ 5.1.2.1). Bunlardan en iyi bilineni geniş-bant ve dar-bant doğrusal kombinasyonlarıdır. Bu kombinasyonlar Çizelge 5.1'deki katsayılar yardımı ile (5.6) ya da (7.3) bağıntılarından elde edilirler. Üretilen bu kombinasyonlardan orijinal BFB'lerine ulaşabilmek için, bir çift doğrusal kombinasyonun oluşturulması gereklidir. Geniş bant ve dar bant doğrusal kombinasyonu bir arada değerlendirilirse, bunların kestirilen BFB'lerinden L1 ve L2 dalga boylarındaki BFB'leri kolayca bulunabilir. DD geniş-bant ve dar-bant dalga boyları sırasıyla N_W ve N_N ;

$$N_W = N_1 - N_2 \quad (\alpha=1, \beta=-1) \quad (7.10a)$$

$$N_N = N_1 + N_2 \quad (\delta=1, \gamma=1) \quad (7.10b)$$

ile oluşturulur. Bu BFB'leri kullanılarak doğrudan kurulan matematik modele benzer olarak baz koordinatları hesaplanabilir. İstenirse orijinal BFB'leri bu faz kombinasyonları toplanarak ya da çıkarılarak elde edilebilir. Şöyle ki (7.10) eşitlikleri toplanarak N_1 , çıkarılarak da N_2 bulunur. Değerlendirmede böyle bir yola gidilmemiş, bu faz kombinasyonların baz bileşenleri hesaplanmıştır ve doğrudan kurulan modeller ile karşılaştırılmıştır.

L2:3 formu istenilen doğrusal kombinasyon çifti ile bağıl konumlama yapabilmektedir. Ayrıca bu doğrusal kombinasyonlar kod ölçüleri ile de doğrudan kullanılabilir. Bu

başlık altında, geniş-bandın ve dar-bandın faz kombinasyonlarının bağıl konum belirlemede sağladığı avantaj ya da dezavantajlar örnekler üzerinde incelenecektir.

Bu amaçla Şekil 7.9’da verilen uydu sayısı, dağılımı ve Ek 3 ve Ek 4’deki bilgiler kullanılarak üretilen gözlem dosyaları temel dalga boyları ve geniş-bant/dar-bant dalga boyları kullanılarak değerlendirilmiş, sonuçlar grafikler halinde Şekil 7.19’de sunulmuştur.

Türetilen gözlem dosyalarının özellikleri ve değerlendirme aşamasında yapılanlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

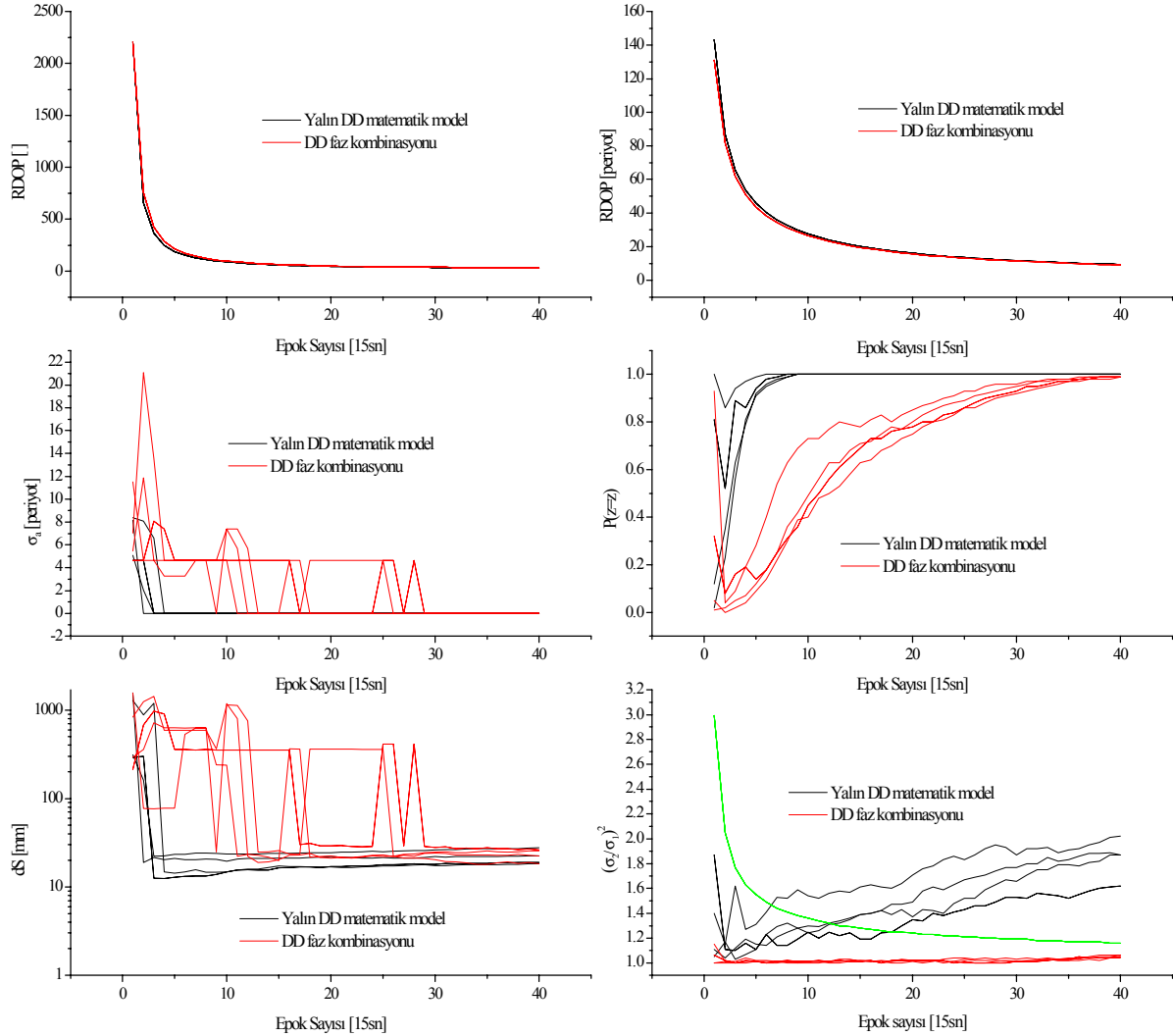
- Baz uzunluğu 10km alınmış,
- Ölçü süresi 10 dakika (15sn aralıklı 40 epok) seçilmiş,
- Alıcı koordinatlarına yaklaşık 20m mutlak fakat farklı hatlar yüklenmiş,
- Değerlendirme aşamasında atmosferik etkiler modellenmemiş,
- Yukarıdaki özelliklerde 5 farklı kez dosya türetilmiş,
- Değerlendirme L1/L2 üzerinde kod-faz ölçüleri ile gerçekleştirilmiştir.

Şekil 7.19’da, siyah çizgilerle gösterilenler L1/L2 kod-faz ölçüleri kullanılarak yalın DD matematik model ile değerlendirmeyi, kırmızı çizgilerle gösterilen grafikler ise geniş/dar-bant ölçü kombinasyonları ile birlikte kod ölçüleri kullanılarak yapılan değerlendirmeyi göstermektedir. Grafiklerden faz kombinasyonlarının RDOP’u çok az kötüleştirdiği, BFB için daha önemli olan ADOP’u ise biraz iyileştirdiği görülmektedir. Doğruluk testlerini gösteren orta sol ve alt soldaki grafiklerden, faz kombinasyonları ile yapılan değerlendirmenin doğru BFB kestirimi yalın matematik modele göre daha uzun sürede gerçekleşmiştir. Sağ ortadaki grafik, faz kombinasyonlu değerlendirmenin başarı olasılığının daha kötü olduğu göstermektedir. Sağ altta ki grafikten, ayırma testlerinin doğruluk testi ile uyumsuz olduğu söylenebilir. Atmosferik refraksiyonun ihmal edilmesi, uydu koordinatlarının hatalı olması ve rasgele ölçü hatalarının etkisi yalın matematik modeli fazla etkilememiş, doğru BFB kestirimi daima 3. epokdan sonra gerçekleştirilmiştir. Oysaki değerlendirmede kullanılan faz kombinasyonları bu durumdan fazlaca etkilenmiş, en kötü doğru BFB kestirimi 39. epokdan sonra gerçekleşmiştir.

Gerçek değerlerle oluşturulmuş olan doğruluk testleri esas alınarak, dosyalar türetilirken ve değerlendirilirken eklenen olumsuz koşullar göz önünde bulundurularak, Şekil 7.19’dan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Her iki matematik modelin RDOP ve ADOP değerleri birbirine çok yakındır,
- Alıcı koordinatlarının hatalı olduğu ve atmosferik etkilerin ihmal edildiği kısa bazların değerlendirilmesinde, yalın matematik model ile daha kısa sürede doğru BFB kestirimi yapma olasılığı daha yüksektir,

- Bir önceki maddedeki olumsuz koşullar altında yapılan ayırma testi, doğruluk testi ile uyumlu değilken, başarı olasılığı doğruluk testi uyumludur.

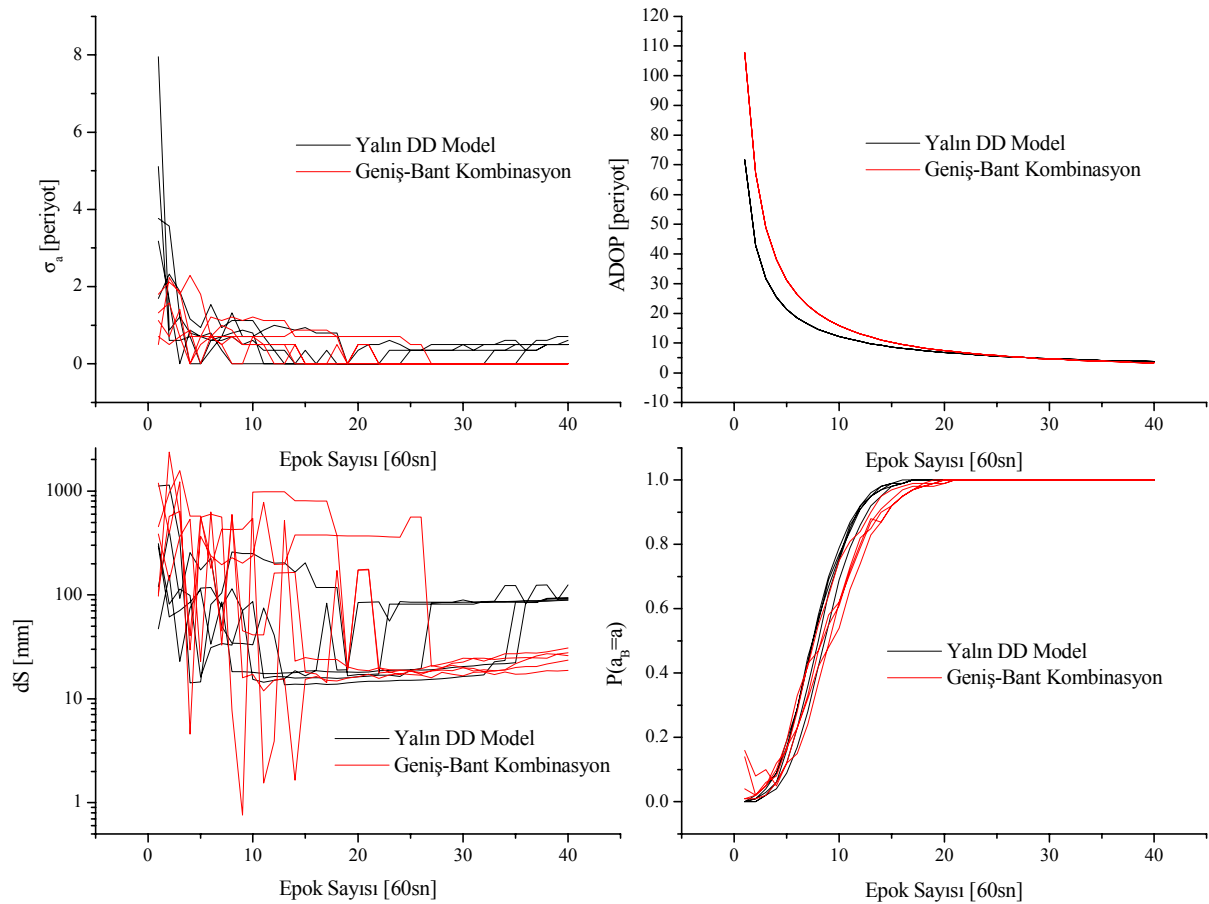


Şekil 7.19 Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü, yayın efemeris dosyaları ve Şekil 7.9'daki uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak; yalın DD matematik model ve geniş-bant/dar-bant faz kombinasyonları değerlendirilme sonuçlarının karşılaştırılması.

Yukarıda literatürde çok iyi bilinen geniş-bant ve dar-bant ölçü kombinasyonları LAMBDA yöntemi ile birlikte kullanılmış ve yalın matematik modele göre daha kötü sonuçlar vermiştir. BFB kestirim yöntemleri bu güne kadar gelişmiş değilken, gerçel çözüm sonuçları doğrudan en yakın tamsayıya yuvarlanırdı. En yakın tamsayıya yuvarlamada, doğrusal kombinasyonların yararını tartışmak için de bir örnek uygulama yapılmıştır. Bu örnekte, sadece geniş-bant doğrusal kombinasyonu kullanılmıştır. Şekil 7.12'de verilen uydu sayısı, dağılımı ve Ek 3 ve Ek 4'deki bilgiler kullanılarak üretilen gözlem dosyaları temel dalga boyları ve geniş-bant dalga boyları kullanılarak değerlendirilmiş, sonuçlar grafikler halinde

Şekil 7.20’de sunulmuştur.

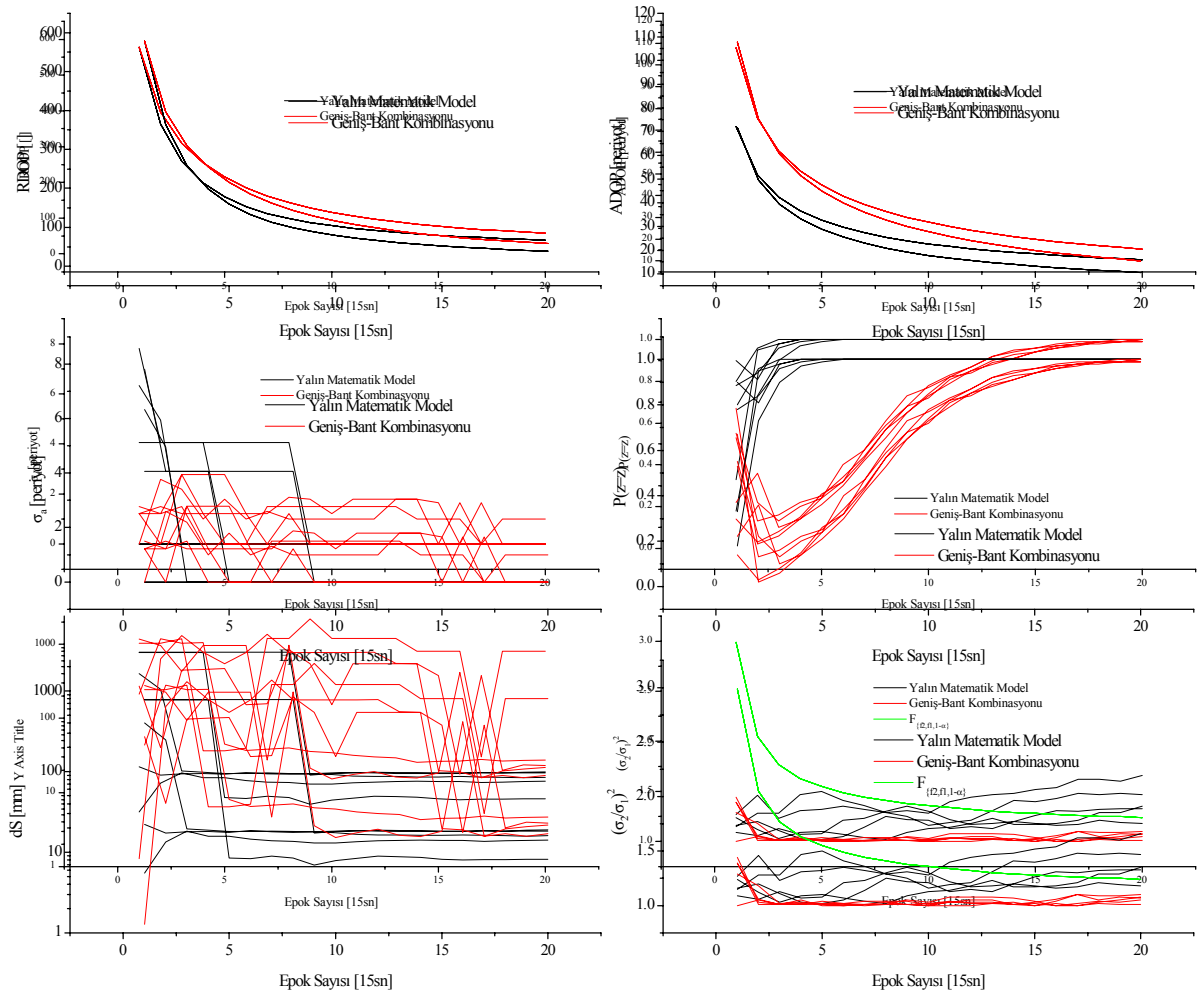
Şekil 7.12’deki uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak; 60sn aralıklı 40 epokluk ve iki alıcı arası baz uzunluğu 10km çıkacak şekilde gözlem dosyası türetilmiştir. Türetilen bu dosyaların alıcı koordinatlarına ~10m hata yüklenmiştir. Değerlendirmede, yalın DD matematik modelin gerçel çözümleri ve geniş-bant doğrusal kombinasyonunun gerçel çözümleri en yakın tamsayıya yuvarlanmıştır. Bu işlem 5 farklı kez gerçekleştirilmiş ve sonuçlara gidilmiştir. Değerlendirmede atmosferik etkiler ihmal edilmiş ve L1/L2 üzerinden kod-faz ölçüleri kullanılmıştır.



Şekil 7.20 Şekil 7.12’deki uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak; yalın DD matematik model ve geniş-bant faz kombinasyonlarının, en yakın tamsayıya yuvarlayarak BFB kestirimi sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 7.20 incelendiğinde, en yakın tamsayıya yuvarlamada geniş-bant kombinasyonunun yarar sağladığı görülmektedir. Geniş bant çözümde en kötü BFB kestirimi 27. epokda (27. dakikada) gerçekleşirken, yalın matematik modelde en kötü BFB çözümü 40. epokda da gerçekleşmemiştir.

Şekil 7.20'deki deney bir kez de BFB kestiriminde LAMBDA yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 7.21'de grafikler halinde sunulmuştur. LAMBDA yöntemi daha kısa sürede doğru BFB kestirimi yaptığından, türetilen dosyaların ölçü süreleri 5 dakika olarak seçilmiştir (15sn ararlıklı 20 epok). Türetilen dosyalarla elde edilecek baz uzunluğu 10km'dir. Her iki alıcı koordinatları yaklaşık~10m hatalıdır ve değerlendirmede atmosferik model ihmal edilmiştir. L1/L2 üzerinden kod-faz ölçülerinin ve LAMBDA yönteminin kullanıldığı değerlendirilmede; yalın matematik model ve geniş-bant kombinasyonu karşılaştırılmıştır (Şekil 7.21).



Şekil 7.21 Şekil 7.12'deki uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak; yalın DD matematik model ve geniş-bant faz kombinasyonlarının, LAMBDA yöntemi ile BFB kestirimi değerlendirme sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 7.21 incelendiğinde, sadece geniş-bant doğrusal kombinasyonunun BFB kestirimine bir katkısı olmadığı, yalın matematik modelin LAMBDA yöntemine daha uygun olduğu görülmektedir. Doğruluk ve duyarlık testlerinin tamamı bu sonucu destekler niteliktedir (Şekil 7.12).

Şekil 7.20'deki başarı olasılığı grafiği, araştırma tekniğinin başarı olasılığını ve Şekil

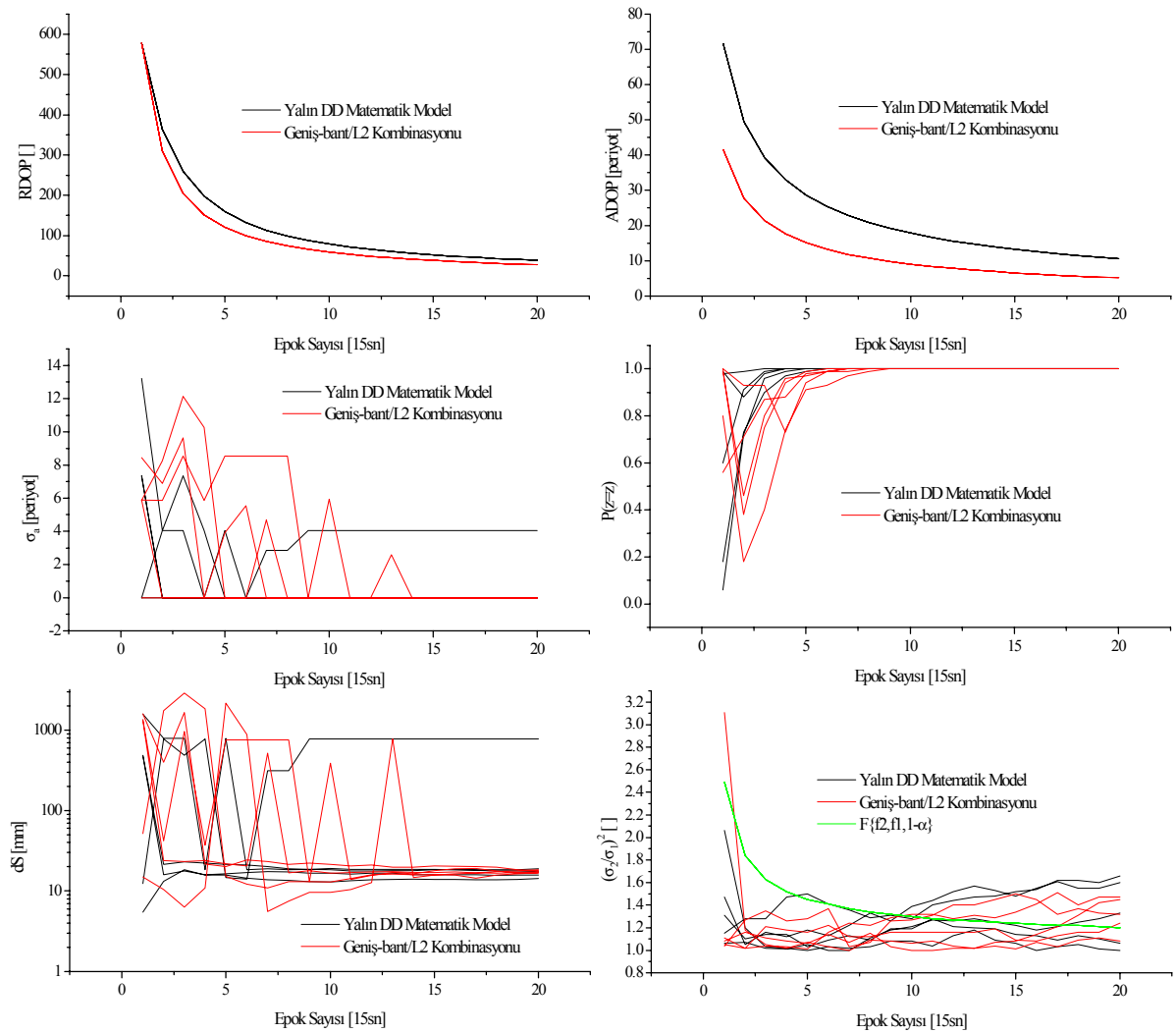
7.21'deki başarı olasılığı grafiği ise LAMBDA yönteminin başarı olasılığını göstermektedir. Tamsayıya yuvarlamanın başarı olasılığının maksimum değeri araştırma tekniğinin başarı olasılığına eşittir. Tamsayıya yuvarlamanın başarı olasılık sınırları aşağıdaki şekilde hesaplanmalıdır (Teunissen, 1998b).

$$\prod_{i=1}^m \{2F(1/2 \hat{\sigma}_{\hat{a}_i}) - 1\} \leq P(\underline{\hat{a}}_R = \underline{a}) \leq P(\underline{\hat{a}}_B = \underline{a}) = \prod_{i=1}^m \{2F(1/2 \hat{\sigma}_{\hat{a}_{i|I}}) - 1\} \quad (7.11a)$$

$$P(\underline{\hat{z}}_B = \underline{z}) = \prod_{i=1}^m \{2F(1/2 \hat{\sigma}_{\hat{z}_{i|I}}) - 1\} \quad (7.11b)$$

$$P(\underline{\hat{z}}_B = \underline{z}) > P(\underline{\hat{a}}_B = \underline{a}) \geq P(\underline{\hat{a}}_R = \underline{a}) \quad (7.11c)$$

Bu bağıntılarda, yuvarlama R (Rounding), koşulu yuvarlama B (Bootstrapping) alt indisleri ile gösterilmektedir. (7.11c) koşulu kısa süreli GPS ölçüleri için daima geçerlidir. (7.11a) bağıntısındaki üst sınır Şekil 7.20'de hesaplanan başarı olasılığıdır. Şekil 7.20'deki grafik bu gözle incelenmelidir. (7.11b) bağıntısı da LAMBDA yönteminin başarı olasılığıdır.



Şekil 7.22 Şekil 7.12'deki uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak; yalın DD matematik model ve geniş-bant/L2 faz kombinasyonlarının LAMBDA yöntemi ile BFB kestirimi değerlendirme sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 7.21'de dosya üretimi ve değerlendirilmesinde ön görülen koşullar kullanılarak; geniş-bant/L2 faz ölçü kombinasyonu yalın matematik model ile karşılaştırılmış ve sonuçlar grafikler halinde Şekil 7.22'de sunulmuştur.

Şekil 7.22 incelendiğinde; BFB kestiriminde LAMBDA yöntemi kullanılarak geniş-bant/L2 kombinasyonu ya da yalın matematik modelin çözümlerinin çok farklı olmadığı, doğruluk ve duyarlılık testlerinden açıkça görülmektedir.

Yukarıdaki deneylerden ve bu deneylerle ilgili çıkarılacak sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- Geniş-bant/dar-bant, geniş-bant/L2 doğrusal kombinasyonunun LAMBDA yöntemi ile BFB çözümüne fazla bir katkısı yoktur, bu nedenle değerlendirmede yalın matematik model kullanmak bir çok açıdan daha yararlı olacaktır.
- Dalga boyu orijinal dalga boylarından daha büyük olan geniş-bant kombinasyonun da LAMBDA yönteminde BFB çözümüne katkısı yoktur. Geniş-bant çözümü, BFB kestiriminde en yakın tamsayıya yuvarlamada önemli katkı sağlamaktadır.

7.5 ℓ_1 -Norm Yöntemi İle BFB Kestirimi

Uyuşumsuz ölçüler belirleme sürecinde yaygın olarak kullanılan ve robust bir kestirim kabul edilen EKT yöntemi GPS'de bağıl konum belirleme matematik modeline uygun değildir. Düzeltmelerin mutlak değerleri toplamının minimum yapıldığı EKT yöntemi ile kurulan düzeltme denklemlerinde bilinmeyen parametreler doğrusal programlama ile belirlenirler. Barrodale ve Roberts (1973, 1974 ve 1978, 1980) önerdikleri algoritmalar EKT yöntemine uygun olarak programlamaya yatkın hızlı algoritmalar geliştirmişlerdir. Bu bilim adamları ve EKT yöntemine dayalı problemler ile çalışan diğer bilim adamları, bu çözüm yöntemini tercih ettiklerinde kullandıkları problemin modeli çoğunlukla kararlıdır. Burada kararlılıktan kastedilen, kurulan düzeltme denklemlerini bilinmeyen sayısına göre gruplara ayırarak çözüm yapıldığında elde edilen kestirim sonuçlarının birbirine çok yakın olmasıdır. Örneğin doğrusal regresyon ya da çoklu regresyon kullanılarak gerçekleştirilen EKT yönteminin yapısı da buna benzemektedir. GPS ile bağıl konum belirleme probleminde kurulan DD fonksiyonel modeli olan düzeltme denklemlerinde durum çok farklıdır. Baz bilinmeyenleri bütün düzeltme denklemlerinde yer alırken, BFB bilinmeyenleri yalnızca bir düzeltme denkleminde belirlidir.

Bu olumsuz duruma, BFB bilinmeyenlerinin tamsayı olma koşulu da eklenince problem EKT çözümü açısından daha karmaşık hale gelir.

DD matematik modelin matris-vektör formu (2.26a) ve (2.36) bağıntılarından yararlanarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\underline{y} = \underline{B} \underline{b} + \underline{A} \underline{a} + \underline{e}, \quad \underline{P}. \quad (7.12)$$

Epoklar arası ölçüler bağımsız olduğundan, bir epokluk DD matematik model problemi açıklamamız için yeterli olacaktır. Bir epokluk ölçünün yalnızca L1 üzerinden faz ölçüsü olduğu düşünülürse katsayılar matrisi $\underline{A} = \lambda_1 \underline{E}$ olur.

$$\underline{P} \underline{y} = \underline{P} \underline{B} \underline{b} + \lambda_1 \underline{P} \underline{a} + \underline{P} \underline{e} \quad (7.13)$$

(7.13) eşitliğinde L1 üzerinde faz ölçüleri birim ölçü seçilirse ağırlık matrisi (2.32) ve (2.34)'deki uydu sayısına bağlı matrisin tersi olan $\underline{Q}_y^{-1}$ matrisine dönüşür.

$$\underline{Q}_y^{-1} \underline{y} = \underline{Q}_y^{-1} \underline{B} \underline{b} + \lambda_1 \underline{Q}_y^{-1} \underline{a} + \underline{Q}_y^{-1} \underline{e} \quad (7.14a)$$

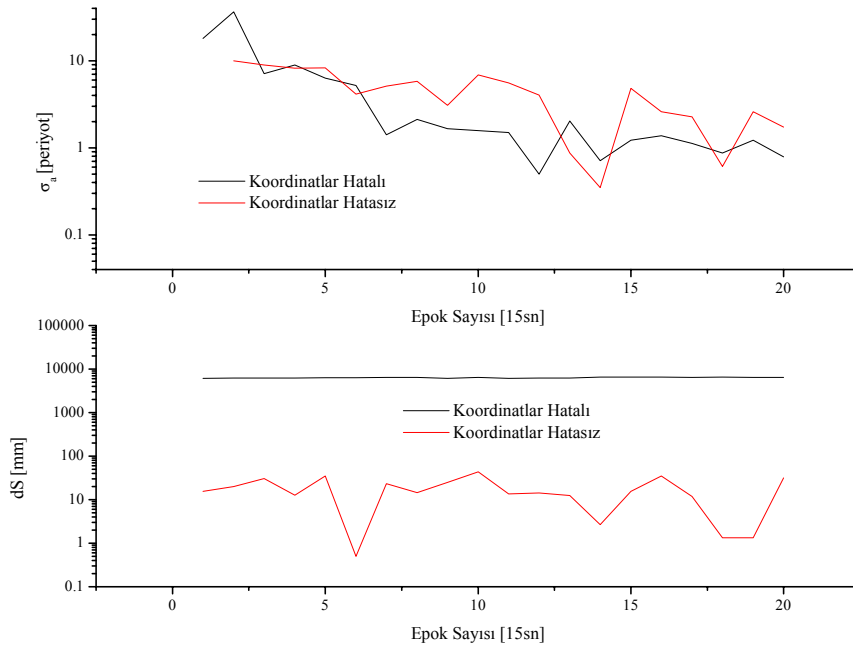
$$E\{\underline{\tilde{y}}\} = [\underline{\tilde{B}} \quad \lambda_1 \underline{\tilde{E}}] \begin{bmatrix} \underline{b} \\ \underline{a} \end{bmatrix} \quad (\underline{\tilde{x}} = \underline{Q}_y^{-1} \underline{x}, \underline{x} = y, B, E) \quad (7.14b)$$

EKT yöntemine göre çözüm (7.14b) üzerine uygulanır. Tek epokluk faz ölçüsü için ölçü sayısı bilinmeyen sayısını çözmede yetersiz kalır. Bu durumda, kullanılan algoritma koşullara dayalı olarak matrisin rangı kadar çözüm üretir. Bu durumu ortadan kaldırmak için (§4.2)'de anlatılan ardışık EKT çözümü uygulanmıştır. GPS'in yapısına daha uygun olan ardışık EKT yöntemi ölçü süresinin başlangıcından beri bütün ölçü kombinasyonlarını bir arada değerlendirmez. Bunun yerine arda arda gelen epoklarda kestirim fonksiyonunu sağlayan en iyi ölçü grubunu seçip bir sonraki epok çözümleri ile birleştirerek çözüm arar. Bağlı konum belirlemenin yapısına daha uygun olan böyle bir seçim, çözüm sırasındada oldukça hız kazandırmaktadır.

EKT çözümdeki en büyük handikap, bilinmeyen sayısı kadar seçilen düzeltme denklemlerinin kararsız yapıda (kötü kondisyonlu) olmasıdır ve yanlış çözümler üretir. Bütün ölçülerin kullanıldığı ya da ardışık EKT çözümlerinin her ikisi için de durum aynıdır. Buradaki kararsız yapı uyduların çok yüksekte (~20000km) olmasından kaynaklanmaktadır. Problemin içine birde BFB bilinmeyenlerin tamsayı olma koşulu girince, çözüm daha karmaşık hal alır. Ayrıca yalın düzeltme denklemleri incelendiğinde seçilen uygun ölçü kombinasyonları

içerisinde bir tamsayı bilinmeyenini tanımlayabilen en fazla 4 ölçüye karşılık gelen denklem yer alır. Eğer problemin yapısı kararlı olsa bile yalnızca bir tamsayı bilinmeyeni en iyi şekilde belirlenebilir. Ya da 3 tamsayı bilinmeyenini iyi tanımlayan en fazla iki denklem problemin çözümünde yer alır.

Bu olumsuzlukları nedeni ile EKT çözümünün bağıl konum belirleme probleminin çözümüne uygun olmadığı, hem problemin yapısından hem de yöntemin yapısından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 7.23 Ek 3 ve Ek 4'deki gözlem dosyalarının başlık bölümü, yayın efemeris dosyaları ve Şekil 7.2'deki uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak; ardışık EKT çözüm sonuçları.

Ardışık EKT çözümü; Şekil 7.2'deki uydu sayısı-dağılımı kullanılarak koordinatları hatasız ve hatalı olarak türetilen iki örnek dosya üzerinde denenmiştir. Her iki durum aynı grafikler üzerinde Şekil 7.23'de gösterilmiştir (Şekil 7.23). 15 sn aralıklı 20 epokluk ölçüler biçiminde türetilen dosyalar değerlendirilirken atmosfer modellenmiş, sadece L1 üzerinden faz ölçüleri kullanılmıştır. Diğer ölçüler de katılarak gerçekleştirilen çözüm ile benzer sonuçlar bulunduğundan böyle bir yola başvurulmuştur.

Şekil 7.23'de üstteki grafik doğru BFB kestirimini gösterirken alttaki grafik bazdaki hatayı göstermektedir. Üstteki grafikten doğru BFB kestiriminin sadece koordinatların yaklaşık değerlerinin gerçek değere eşit olduğu durumda (kırmızı ile gösterilen çizgi), birinci epokda gerçekleşmiştir. Birinci epokda gerçekleşme nedeni, alıcıların koordinatları gerçek değerlere eşittir, buna bağlı olarak BFB'nin hesaplanan yaklaşık değerleri gerçek değerlerine eşit çıkmaktadır. Bilinmeyen sayısının ölçü sayısından az olduğu durumda BFB bilinmeyenleri

için hesaplanan dengeleme bilinmeyenleri sıfıra yakın sonuçlar vermektedir. Aslında çözüldü gibi görülen BFB'ler yaklaşık değerlerin gerçek değere eşit olmasından kaynaklanmaktadır. Ek 6'da bulunan sonuçlar bağımsız epoklarda gerçekleştirildiğinden, Şekil 7.23'ün alıcı koordinatlarının hatasız olduğu örneğinin birinci epoğundaki duruma benzer koşullar oluşmaktadır. Bu sonuçlar yanıltıcıdır. Şekil 7.23'den ölçü sayısının bilinmeyen sayısından büyük olduğu durumlarda (2. epokdan sonra), alıcı koordinatlarının hatalı ya da hatasız olma koşullarının ikisi içinde doğru BFB kestirimi gerçekleşmemiştir. Şekil 7.23'un birinci grafiği, değerlendirme sonucunda elde edilen baz uzunluğunun alıcıların yaklaşık koordinatları ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Yaklaşık ~5m hata yüklenen alıcı koordinatlarındaki bu hata ölçü süresinin başlangıcından sonuna kadar doğrudan baz uzunluğuna yansımıştır. EKT kestirimi alıcı koordinatlarında hiçbir iyileştirme yapmamıştır. Bu problemi ortadan kaldırmak için yaklaşık değerlerin kötü seçildiği düşünülmüş ve EKT kestirimi ile yaklaşık değerler iyileştirilmeye çalışılmıştır. İteratif çözüm sonucunda bilinmeyenlerin bir değere yakınsamadığı görülmüştür.

Sonuç olarak, robust bir yöntem olarak kabul edilen EKT yöntemi; hem GPS'de bağıl konum belirleme probleminin yapısı ve hem de EKT yönteminin çözüm biçimi açısından bu probleme uygun bir kestirim türü değildir.

8. BULGULAR VE İRDELEMELER

GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde en önemli problem BFB parametrelerinin kestirimidir. BFB çözümünde kullanılan matematik model DD modelidir. DD matematik modeli GPS'deki düzenli ve rasgele hataların sonuçlara etkisini azalttığından ya da tamamen ortadan kaldırdığından, BFB tamsayı değerlerinin baz bileşenlerinden ayrıştırılmasını kolaylaştırır. BFB çözümü için bir çok yöntem geliştirmiştir. EKK yöntemine dayanan bu yöntemlerin tümü ölçü süresi yeterli ise aynı sonucu vermektedir.

Ölçü süresi kısalдықça, özellikle kinematik uygulamalarda BFB parametrelerinin kestirimi için kullanılan yöntem önem kazanmaktadır. Ölçü süresi kısaldığında, BFB parametreleri arasındaki korelasyon artar. BFB kestiriminde, bu korelasyonu göz önüne alan yöntemler kullanılmalıdır. Bunlardan en iyi bilinen üçü tarihsel sıraya göre FARA, LAMBDA ve FASF'dır. Bu yöntemler kendi yaklaşımına göre korelasyonu hesaba katmaktadır. Bahsedilen yöntemlerin ortak özellikleri EKK kestirimine dayanmalarıdır. Bu tezde dayandığı temel açısından diğerleri ile aynı, fakat çözümleme biçimi bakımından diğerlerinden ayrılan bir yöntem olan LAMBDA yönteminin teorisine değinilmiş ve sayısal örnekler üzerinde etkin bir yöntem olduğu gösterilmiştir. LAMBDA yöntemi uydu sayısı yeterliyse ve gözlem hataları normal dağılımlı ise, çok kısa ölçme süresinde doğru BFB değerlerini yakalayabilmektedir. Uydu sayısı az ve matematik model eksikse (atmosferik etkiler içeriyorsa, sabit nokta koordinatlarının yaklaşık değerleri iyi belirlenmemişse, ..., vb.) yöntemin başarısı ölçme süresinin artırılmasına bağlı olmaktadır.

Ölçme süresi ne kadar kısa olursa olsun LABMDA yönteminin BFB parametrelerini kestirim süresi mili saniye düzeyinde kalmaktadır. Buna karşın tamsayı dönüşümü ($\underline{Z}$ dönüşümü) yapılmamış normal araştırma tekniğinin BFB kestirim süresi, ölçme süresinin kısalığına bağlı olarak saatler düzeyine çıkmaktadır. Bu sonuçlar sayısal uygulamalarda elde edilmiş, ancak ilgili bölümde gösterilmemiştir. LAMBDA yöntemiyle hızlı BFB çözümü ile ilgili deneysel uygulama "<http://www.geo.tudelft.nl/mgp/>" İnternet adresinden bulunabilir⁴. Gözlem süresi artıkça, örneğin statik uygulamalarda, LAMBDA yönteminin ve (3.18) bağıntısı ile gösterilen normal araştırma yönteminin sonuçlara ulaşım hızları birbirine yaklaşmakta, hatta (3.18) bağıntısı belli bir süreden sonra LAMBDA yöntemini geçmektedir. LAMBDA yönteminde en çok zaman $\underline{Z}$ tamsayı dönüşüm matrisinin hesaplanmasında harcanmaktadır. Tek baz

çözümlerinde mili saniyelerde kalan bu kısım, birkaç alıcı ile elde edilen ölçülerin değerlendirilmesinde bilinmeyenlerin sayısı ile orantılı olarak artmaktadır. Buna rağmen kinematik uygulamalarda ya da tek baz değerlendirilmesinde daima mili saniye düzeyinde kalmaktadır. Bu nedenle sayısal bölümde BFB kestirimini etkileyen faktörler incelenirken, BFB kestirim yöntemi olarak LAMBDA kullanılmıştır. Böyle bir seçimle LAMBDA yönteminin farklı koşullardaki başarısı test edilmiştir. LAMBDA yönteminin başarısız olduğu koşullarda, aynı teoriye dayanan diğer araştırma tekniklerinin de başarısız olacağı düşünülmüştür.

Ayrıca, bağıl konum belirleme problemi için EKK kestirimi yerine EKT kestirimi denenmiştir. EKT kestiriminin, hem bağıl konum belirlemenin matematik modelinin yapısından hem de kendi çözümleme biçiminden, bağıl konum belirleme problemine uygun olmadığı açıklanmış ve bir sayısal uygulama verilmiştir.

Sayısal uygulama bölümünde BFB kestirimini etkileyen faktörler ana başlığı altında ulaşılan sonuçlar ve EKT kestiriminin bağıl konum belirleme probleminin yapısına uygun olmamamsının nedenleri başlıklar halinde özetlenmeye çalışılmıştır.

8.1 BFB Kestiriminin Bağıl Konum Bilgilerine Etkisi

Kinematik uygulamaların önem kazandığı günümüzde, kısa ölçme sürelerinde santimetrenin altında kalan duyarlıklara ulaşabilmek için, BFB kestiriminin doğru yapılması gerekmektedir. BFB parametrelerinin doğru olarak kestirilmesi ile elde edilen bağıl konu bilgileri, gerçel çözüm ile elde edilen bağıl konum bilgileri ile karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kısa ölçme sürelerinde gerçel çözüm sonuçları ile santimetre ya da santimetreden küçük duyarlıklara ulaşmak olası değildir,
- Doğası gereği tamsayı olması gereken BFB parametreler, problemin geometrik yapısından ve modellenemeyen hatalardan dolayı EKK çözümü sonunda gerçel sayılar olarak elde edilirler. Elde edilen bu BFB parametreleri gerçel sayılar olarak kabul edilip işlem yapılırsa, bağıl konum belirleme probleminde model hatalarına neden olurlar. Bağıl konum koordinatlarını bozan bu model hataları giderilmelidir. Yani BFB kestiriminin doğru yapılması gerekmektedir.

8.2 Uydu Sayısının ve Uydu Dağılımının BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi

GPS literatüründe uydu sayısının ve dağılımının BFB kestiriminde önemli olduğu vurgulanmaktadır. Kısa ölçme süreleri için yapılan değerlendirmelerde uydu dağılımının etkisiz, uydu sayısının çok daha etkili olduğu örnek dosyalar üzerinde gösterilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Ölçme süresinin kısa olduğu kinematik uygulamalarda; uydu dağılımı, uydu sayısına göre çok daha az etkilidir. Önemli olan uydu sayısının artmasıdır.
- Doğru BFB kestiriminin ön değerlendirmesi için; PDOP ya da RDOP ölçütleri yerine birbirleri ile ilişkili olan ADOP ya da başarı olasılıklarına bakılması daha doğru olacaktır.

8.3 Atmosferik Refraksiyonun BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi

GPS ile ilgili kaynakların bazılarında kısa baz uzunluğu için üst sınır değeri 10km alınırken bazı kaynaklarda 20km öngörülmektedir. Bu sınır değer belirlenmesindeki en büyük amaç; kurulacak matematik modelde atmosferik etkilerin göz ardı edilip edilmemesi ile ilgilidir. Kaynaklardaki bu karmaşayı çözmek için sayısal uygulama bölümünde, atmosferik etkilerin hesaba katıldığı ve ihmal edildiği koşullarda değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler farklı kaynaklarda verilen iki sınır için denenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- 10km ve 20km'lik baz uzunluğu için iyonosferik etkinin göz ardı edilmesi BFB parametrelerinin kestirimini etkilememekte, baz uzunluğu üzerine etkileri ise santimetrenin altında kalmaktadır.
- 10km baz uzunluğu için troposferik modelin göz ardı edilmesi BFB parametrelerinin kestirimini etkilemezken, 20km baz uzunluğunda etkili olmaktadır. 10km baz uzunluğuna etkileri birkaç santimetre iken, 20km baz uzunluğuna etkileri BFB parametrelerinin yanlış kestirimi nedeniyle metre düzeyine çıkmaktadır. Santimetre düzeyinde doğruluk için her iki baz uzunluğunda da troposferik etkiler göz önüne alınmalıdır.
- Atmosferik etkinin ihmal edilebilmesi için bazların uzunluğu kesinlikle $\leq 10\text{km}$ olmalıdır.

8.4 Sabit İstasyon Koordinat Hatasının BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi

Bağıl konum belirlemede kullanılan DD matematik modelinde sabit alınan alıcının

koordinatları değişmez alınır. Sabit alınan nokta koordinatlarındaki hatanın, baz uzunluğu ölçüt alınarak doğru BFB parametrelerinin kestirimine etkileri örneklerle denenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Artan baz uzunluklarında, alıcı koordinatlarındaki hataların bağıl koordinatlara etkilerini azaltmak için, nokta koordinatlarının birkaç metre duyarlıkta belirlenmesi kaçınılmazdır,
- Alıcı koordinatlarındaki hataların etkilerini göz ardı etmek için kısa baz üst sınırının 10km olarak alınması gerekmektedir,
- Sabit kabul edilen alıcı koordinatlarındaki hata, hareketli alıcı koordinatlarındaki hataya göre; BFB parametrelerinin kestirim doğruluğunu ve bağıl konum belirleme doğruluğunu daha fazla bozmaktadır.

8.5 Çift Frekanslı Alıcılarda Faz Kombinasyonlarının BFB Parametrelerinin Kestirimine Etkisi

Çift frekanslı alıcılarda; orijinal dalga boylarına göre bazı üstünlükleri olan faz ölçüsü kombinasyonlarının performansı, LAMBDA ve en yakın tamsayıya yuvarlama yöntemleri ile denenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Geniş-bant/dar-bant, geniş-bant/L2 doğrusal kombinasyonunun LAMBDA yöntemi ile BFB çözümüne fazla bir katkısı yoktur.
- LAMBDA ya da araştırma tekniği ile yapılan değerlendirmede yalın matematik model kullanmak, orijinal faz ölçülerinin BFB parametrelerine ulaşabilmek için çok daha yararlıdır.
- Dalga boyu orijinal dalga boylarından daha büyük olan geniş-bant kombinasyonun da LAMBDA yöntemiyle BFB çözümüne katkısı yoktur. Geniş-bant kombinasyonu, en yakın tamsayıya yuvarlama yöntemi kullanıldığında BFB parametrelerinin kestirimine önemli katkı sağlamaktadır.

8.6 ℓ_1 -Norm Yöntemi İle BFB Parametrelerinin Kestirimi

Yaygın olarak kullanılan EKK yöntemi yerine EKT yöntemi denemiş ve bağıl konum belirleme probleminin çözümü için uygun olmadığı görülmüştür.

GPS ölçüleri uydu ile alıcı arasında ölçülebilen doğru parçalarına karşılık gelmektedir. Mutlak konum koordinatları bu doğru parçalarının üç boyutlu uzayda kesişimi ile elde edilir.

Bağıl konum belirleme ise yine bu doğru parçaları arasında yapılan doğrusal işlemlerle elde edilen yeni doğru parçalarının keşimi ile bağıl koordinatlarının hesaplanmasına dayanır. Kısa baz uzunlukları ($\leq 10\text{km}$) uydu yükseklikleri ($\sim 20000\text{km}$) ile karşılaştırıldıklarında çok küçük kalmaktadırlar. Kısa ölçme sürelerinde bu bozuk geometri fazla değişmediğinden, paralel olacak kadar yakın olan doğru parçaları ile türetilen yeni doğru denklemlerin kesişimi ile elde edilecek parametreler yüksek dereceden korelasyonlu olurlar ve birbirlerinden kolayca ayrıştırılamazlar. Bu bozuk geometriden kaynaklanan kararsızlık ölçme süresinin artırılması ile ortadan kalkar. EKT yöntemi problemin tamamı için kurulan matematik modeli kullanmaz, bunlardan kendi ölçütünü en iyi sağlayan yalnızca bilinmeyen sayısı kadar düzeltme denklemini kullanarak kestirim yapar. Bu nedenle hangi ölçü grubu seçilirse seçilsin bu kestirim türü kestirilen parametrelerin doğru değerlerini sağlayacak doygunluğa ulaşamayacaktır. Bu olumsuz duruma bir de her bir düzeltme denkleminde sadece bir tek BFB bilinmeyeninin tanımlanabilmesi ve bunun da tamsayı olma koşulu, problemi EKT kestirimi açısından daha karmaşık hale getirir.

Sayısal bölümde elde edilen sonuçlar burada yapılan açıklamaları doğrulamakta ve EKT yönteminin GPS ile bağıl konum belirleme probleminin çözümü için uygun olmadığı göstermektedir.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezin amacı GPS (Global Positioning System) ile bağıl konum belirlemede BFB (Başlangıç Faz Belirsizliği) parametrelerinin kestirimini etkileyen faktörleri inceleyerek, yeni bir yöntem önermek ya da var olan yöntemlere katkıda bulunmaktır. Bu amaçla BFB probleminin genel karakterini iyi yansıtan ve en iyi bilinen yöntemlerden biri olan LAMBDA (Least Ambiguity Decorelation Aadjustment) yöntemi üzerinde durulmuştur. BFB parametrelerinin kestirimini etkileyen faktörler incelenirken bu yöntem kullanılmış ve yöntemin farklı koşullardaki başarısı da test edilmiştir. BFB parametrelerinin kestirimini etkileyen faktörler ve BFB kestiriminin geçerliği için önerilen test işlemlerinin güvenilirlikleri, simülasyonla türetilen gözlem dosyalar üzerinde incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Ölçme süresi kısa olan kinematik uygulamalarda, duyarlı bağıl konum belirleme için BFB parametreleri doğru kestirilmelidir.
- LAMBDA yöntemiyle uydu sayısı fazla ve gözlem hataları normal dağılımlı ise çok kısa süreli ölçmelerde BFB parametreleri doğru belirlenebilmektedir. Uydu sayısı az ve matematik model eksik (atmosferik etkiler göz önüne alınmamış, sabit nokta koordinatlarının yaklaşık değerleri kaba, ..., vb.) ise yöntemin başarılı olması için ölçü süresinin artırılması zorunlu olmaktadır.
- Ölçme süresi ne kadar kısa olursa olsun LABMDA yönteminin BFB çözüm hızı mili saniye düzeyinde kalmaktadır. Buna karşın tamsayı dönüşümü (Z dönüşümü) yapılmamış normal araştırma tekniğinin BFB çözüm hızı, ölçü süresi kısalığına bağlı olarak saatler düzeyine çıkmaktadır.
- Geometriye bağlı DD matematik modelde LAMBDA yöntemi ya da araştırma tekniği ile yapılan değerlendirmede, farklı dalga boyları arasındaki faz kombinasyonlarının BFB çözümüne bir katkısı yoktur. Bu yöntemlerde yalın matematik model kullanmak, orijinal faz ölçülerinin BFB parametrelerine ulaşmak açısından çok daha uygun görülmektedir.
- Ölçme süresinin kısa olduğu kinematik uygulamalarda; uydu sayısının BFB parametrelerinin doğru kestirimine katkısı, uydu dağılımının katkısından çok daha fazladır. Ayrıca, BFB çözümünün ön değerlendirmesinde ölçüt olarak PDOP ya da

RDOP yerine ADOP ya da başarı olasılıklarının kullanılması daha doğrudur.

- Değerlendirme aşamasında atmosferik etkiler tamamen ihmal edilmek isteniyorsa kısa baz sınırı 10km alınmalıdır. Kısa baz sınırı 20km kabul ediliyorsa iyonosferik etki ihmal edilebilir, fakat BFB parametrelerinin doğru kestirimi için troposferik etkiler göz önüne alınmalıdır.
- Sabit alınan alıcı koordinatlarındaki hata, hareketli alıcı koordinatlarındaki hataya göre; BFB parametrelerinin kestirimini ve bağıl konum belirlemenin doğruluğunu daha fazla bozmaktadır. Artan baz uzunluklarında, alıcı koordinatlarındaki hataların bağıl koordinatlar üzerindeki etkisini azaltmak için nokta koordinatlarının birkaç metre duyarlıkta belirlenmesi kaçınılmazdır.
- BFB parametre değerlerinin geçerliliği için önerilen testler karşılaştırıldığında; başarı olasılığının doğruluk testi ile daha iyi uyduğu görülmüştür. Eksiksiz kurulan matematik modeller ile gerçekleştirilen kinematik uygulamalarda, başarı olasılığı 1.00 olan epokdaki BFB parametre kestirim değerlerinin, doğru değerler olarak alınmasında bir sakınca bulunmadığı görülmüştür.

BFB probleminin çözümü için son aşama anlık kestirimdir. Buna göre bir epokluk verinin duyarlı konum belirleme için yeterli olmasını sağlayacak çözümün bulunması gerekmektedir. BFB'nin çözümü ile ilgili çalışmalar bu aşamaya ulaşıncaya dek sürdürülmelidir. BFB'nin çözümünde son noktaya ulaşabilmek için, iki ana konu üzerinde çalışılmalıdır:

- Matematik model geliştirilmeli,
- Robust bir yöntem uygulanmalıdır.

Diğer problemlerde olduğu gibi bağıl konum belirleme probleminde de, ölçüler normal dağılımlı ise ve model hatası yok ise EKK yöntemi en optimum sonucu vermektedir. EKK yönteminin zayıflığı kaba hatalı ölçülere karşı duyarlı olmasıdır. GPS ölçülerinin en önemli rasgele hata kaynaklarından olan küçük yansıma hataları kaba hata niteliğindedir ve modellenmesi zordur. EKK yöntemi, kaba hata niteliğinde olan bu küçük yansıma hatalarının etkilerini kestirilen parametrelere yayar. Bu çalışmada, EKK yöntemine göre kaba hatalara karşı duyarsız olan ve yukarıdaki ikinci maddeye giren En Küçük Toplam (EKT ya da ℓ_1 -Norm) yöntemi denenmiştir. Önerilen bu yöntemin, kendi çözümleme biçimi ve bağıl konum belirleme probleminin geometrisinden kaynaklanan kondisyon sorunundan dolayı, EKK yöntemi ile elde edilen gerçel sonuçlara yaklaşmadığı görülmüştür. Bu aşama gerçekleştirilemediğinden, uyumsuz ölçü aşamasına geçilememiştir.

Bağıl konum belirleme problemine uygun olan EKK yöntemine dayalı robust bir yöntem olan M-Kestirimi, statik konum belirleme modeline uygun hale getirilebilir. Kestirilen düzeltmelere göre iteratif ağırlıklandırmaya dayanan bu yöntem de yukarıdaki ikinci madde için bir öneri olarak sunulabilir.

KAYNAKLAR

- Abidin, H. Z., (1993), "On-the-Fly Ambiguity Resolution: Formulation and Results", Manuscripta Geodetica, vol. 18, pp 380-405.
- Aksoy, A. (1987) : "Jeodezik Değerlerin Matematik-İstatistik Testlerle İrdelenmesi", Türkiye 1. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, s.559, Ankara.
- Ashkenazi, V. ve Yau, J., (1986), "Significance of Discrepancies in the Processing of GPS Data with Different Algorithms, Bulletin Geodesique, vol 60, no 3, pp 229-239.
- Ata, M., (1999), "Statik Deformasyon Analizinde Robust Kestirim Yöntemlerinin Kullanılması Üzerine Bir Araştırma", Yıldız Üniversitesi, FBE, Doktora Tezi, İstanbul.
- Barrodale, I. Ve Roberts, F. D. K., (1973), "An Improved Algorithm For Discrete L1-Norm", SIAM J. Numer. Anal., vol.10, no.5, October.
- Barrodale, I. Ve Roberts, F. D. K., (1974), "Algorithm 478: Solution of overdetermined system of equations in the L1-Norm", Comm. ACM, 17(1974), pp. 319-320.
- Barrodale, I. Ve Roberts, F. D. K., (1978), "An Effective Algorithm for Discrete L1 Linear Approximation with Linear Constrains", Siam J. Numer. Anal., Vol.15, No.3, June 1978.
- Barrodale, I. Ve Roberts, F. D. K., (1980), "Algorithm 552: Solution the Constrained L1 Linear Approximation Problem", ACM Transactions on Mathematical Software, 6, 231-235.
- Beutler, G., Gurtner, W., Rothacher, U., Wild, U., (1989), "Relative static positioning with the global basic technical considerations", International Association of Geodesy Symposia, Global Positioning System: An Overview, Symposium No. 102, Edinburg, Scotland, August 7-8.
- Brunner, F. K., (1988), Atmospheric Effects on Geodetic Space Measurements, Kensington-Australia.
- Cannon, M. E., (1990), "High-Accuracy GPS Semikinematic Positioning: Modeling and Results, Navigation, vol. 37, no 1, pp 53-64.
- Chen, D., (1994), "Development of Fast Ambiguity Search Filtering (FASF) Method for GPS Carrier Phase Ambiguity Resolution", PhD. Thesis, Department of Geomatics Engineering, Calgary, Alberta, Canada.
- Corbett, S. J. ve Cross, P. A. (1995), "GPS Single Epoch Ambiguity Resolution", Survey Review, vol 33, no 257, pp 149-160.
- Cross, P. A., Hollwey, J. R. ve Small, L. G. (1989), Geodetic Appreciation, Polytechnic of East Landon – Department of Land Surveying, London-England.
- Cross, P. A., (1983), Advanced Least Squares Applied to Positioning-Fixing, North East Landon Polytechnic-Department of Land Surveying, London-England.
- Emardson, T. R. ve Jarlemark, P. O. J., (1999), "Atmospheric modeling in GPS analysis and its effect on the estimated geodetic parameters", Journal of Geodesy, vol. 73, no 6, pp 322-331.

- Feng, Y. ve Kubik, K., (1997), "On the internal stability of GPS solutions", vol. 72, no 1, pp 1-10.
- Frei, E., (1990), "Rapid Differential Positioning with the Global Positioning System (GPS)", PhD. Thesis, University of Bern.
- Fritsch, D., (1985), "Some Additional Information on the Capacity of the Linear Complementarily Algorithm", Optimization and Design of Geodetic Networks (Ed. E.W. Graferend and F. Sanso), Sringer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, ISBN 3-350-15739-5.
- Fushs, H., Hofmann-Wellenhof, B. ve Schuh, (1983), "Adjustment and gross error detection of leveling networks", 38 Contribution to the workshop on precise leveling, held in Honnover, Fed. Rep. Of Germany, March 16-18, Dümmler Verlag, Bonn, 1983.
- Goad, C. C., (1990), "Optimal Filtering of Pseudoranges and Phases from Single-Frequency GPS Receivers, Navigation, vol. 37, no 3, pp 249-262.
- Grejner-Brzezinska, D. A. ve Toth, R. Da, C., (1998), "GPS error modeling and OTF ambiguity resolution for high-accuracy GPS/INS integrated system", Journal of Geodesy, vol 72, no 11, pp 626-638.
- Hacısalıhoğlu, H., (1990), İki ve Üç Boyutlu Uzaylarda Analitik Geometri, Ankara Üniversitesi, FEF, Ankara.
- Han, S., (1997), "Quality-control issues relating to instantaneous ambiguity resolution for real-time GPS kinematic positioning", Journal of Geodesy, vol. 71, no 6, pp 351-361.
- Han, S. ve Rizos, C., (1996), "Validation and rejection criteria for integer least-square estimation", Survey Review , 33, 260, pp.375-382.
- Han, S., ve Rizos, C., (1996), "Improving the computational efficiency of the ambiguity function algorithm", Journal of Geodesy, vol. 70, no 6, pp 330-341.
- Hekimoğlu, Ş., (1997), "The Finite Sample Breakdown Points Outlier Detection Test Procedures", Journal of Surveying Engineering, 15-31.
- Hekimoğlu, Ş., (1998), "Equiredundancy Design and Its Application to M-Estimation", Journal of Surveying Engineering, 124(3):103-127.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Collins, J. (1997), "GPS Theory and Practice", Fourth Revised Edition, Springer, New York.
- Howind, J., Kutterer, H. ve Heck, B., (1999), "Impact of temporal correlations on GPS-derived relative point positions", Journal of Geodesy, vol. 73, no 5, pp 246-258.
- Hu, X., Liao, X. ve Huang, C., (1999), "Data weighting and solution assessment in combination", Journal of Geodesy, vol. 73, no 8, pp 391-397.
- Huber, P.J., (1981), Robust Statistic, John Willey and Sons, New York, Chichester.
- Iz, H. B., Ge, M. ve Chen, Y. Q., (1998), "Grid point search algorithm for fast integer ambiguity resolution", Journal of Geodesy, vol. 72, no 11, pp 639-643.
- Jin, X. X., (1997), "Algorithm for carrier-adjusted DGPS positioning and some numerical results", Journal of Geodesy, vol. 71, no 7, pp 411-422.
- Jonge , P.J., and Tiberius, C.C.J.M. (1996), "The LAMBDA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects", Delft Geodetic Computing Center LGR series, No. 12.
- Jonge, P.J., Tiberius, C.C.J.M. ve Teunissen, P.J.G., (1996), "Computational aspects of the LAMBDA Method for GPS Ambiguity Resolution", In: Proc. ION-GPS'96, 17-20

September, Kansas City, pp. 935-944.

Jonge, P.J., Joosten, P., ve Tiberius, C.C.J.M., (2001), "Integrated GPS/GALILEO Ambiguity Resolution", In: Proc. Of NaviTec 2001, 1st ESA workshop on satellite navigation user equipment technologies, pp.318-325.

Kahveci, M. ve Yıldız, F., (2001), GPS Global Konum Beirleme Sistemi, Teori-Uygulama, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Kim, D. ve Langley, R.B., (1999), "An Optimized Least-Squares Tecnique for Improving Ambiguity Resolution and Computational Efficiency", Proceeding of ION GPS'99, Nasville, Tennessee, 14-17 September, pp 1579-1588.

Kim, D. ve Langley, R.B., (2000a), "A search space optimization technique for improving ambiguity resolution and computational efficiency", Earth Planets Space, 52, pp.807-812,.

Kim, D. ve Langley, R.B., (2000b), "GPS Ambiguity Resolution and Validation: Methodologies, trends and Issues", 7th GNSS Workshop–International Symposium on GPS/GNss, Seoul, Nov. 30-Dec. 2, 2000.

Koch, K. R., (1999), "Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models", Springer, New York.

Kuang, D., Schutz, B. E. ve Watkins, M. M., (1996), "On the structure of geometric positioning information in GPS measurements", Journal of Geodesy, Journal of Geodesy, vol. 71, no 1, pp 35-43.

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

Kurt, O., (1997), "GPS Ağlarında Duyarlık ve Güven Optimizasyonu", 7. Harita Kurultayı , Ankara.

Landau, H., (1989), "Precise Kinematic GPS Positioning", Bulletin Geodesique, vol 63, no 1, pp 85-96.

Leick, A., (1995), "GPS Satellite Surveying", Wiley, New York Chichester Brisbane Toronto Singapore.

Lichten, S. M., (1990), "Estimation and Filtering for High-Precision GPS positioning applications", Manuscripta Geodaetica, vol 15, pp 159-176.

Liu, L. T., Hsu, H. T., Zhu, Y. Z. ve Ou, J. K., (1999), "A new approach to GPS ambiguity decorrelation", Journal of Geodesy, vol. 73, no 9, pp 478-490.

Mekik, Ç., (1996), "Tropospheric Modeling in Precise GPS Relative Positioning", PhD Thesis, Department of Surveying University of Newcastle upon Tyne United Kingdom.

Mertikas, S. P. ve Rizos, C., (1997), "On-line detection of abrupt changes in the carrier-phase measurements of GPS", Journal of Geodesy, vol. 71,no 8, pp 469-482.

Mervat, L., Beutler, G., Rothacher, M. ve Wild, U., (1994), "Ambiguity resolution strategies using the results of the international GPS Geodynamics Services (IGS), Bulletin Geodesique, vol. 68, no 1, pp 29-38.

Mok, E. ve Han, S., (1999), "Satellite Geometry Consideration for Efficient GPS Ambiguity Resolution, Survey Review, vol. 35, no 271, pp 23-32.

Odijk, D. (2001), "Instantaneous precise GPS positioning under geomagnetic storm conditions", GPS Solutions 5(2), pp. 29-42.

- Öztürk, E., (1991), Dengeleme Hesabı Cilt I, KTÜ, MMF Yayınları, 2. Baskı, Trabzon.
- Öztürk, E., (1993), “Ülke Nirengi Ağ Sıklaştırılması için Yersel Gözlemlerle GPS Ölçülerinin Birlikte Değerlendirilmesi”, Prof. Dr. H. Wolf Jeodezi Sempozyumu, İstanbul, 3-5 Kasım, 81-89.
- Retscher, G. ve Mok, E., (1999), “Precise single epoch GPS positioning for deformation monitoring”, ZfV 7/99, S. 221-228.
- Remondi, B. W., (1985), “Global Positioning System Carrier Phase: Description and use”, Bulletin Geodesique, vol. 59, no 4, pp 361-377.
- Saalfeld, A., (1999), “Generating basis sets of double differences”, Journal of Geodesy, vol. 73, no 6, pp 291-297.
- Santos, M.C., Vanicek, P. ve Langley, R.B., (1997), “Effects of Mathematical Correlation on GPS Network Computation, Journal of Surveying Engineering, August, 101-111.
- Seeber, G., (1993), “Satellite Geodesy: Foundation, Methods, and Applications”, Walter de Gruyter, Berlin New York.
- Sezginman, I., (2001), Lineer Programlama, Teori ve Problemleri, YTÜ, Vakıf Yayınları-YTÜVAK, Basın Yayın Merkezi, İstanbul.
- Sivri, M. ve Tepecik, A., (1998), Matematik Programlamaya Giriş, YTÜ, Kimya-Metalurji Fak., Matematik Mühendisliği Bölümü, Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- Shi, J. ve Cannon, M. E., (1995), “Critical error effects and analysis in carrier phase-base airborne GPS positioning over large areas, Bulletin Geodesique, vol. 69, no 4, pp 261-273.
- Sjöberg, L. E., (1998), “A new Method for GPS Phase Base Ambiguity Resolution by Combined Phase and Code Observables”, Survey Review, vol. 34, no 268, pp 363-372.
- Sjöberg, L. E., (1999), “Unbiased and biased estimation of GPS phase ambiguities from dual-frequency code and phase observables”, Journal of Geodesy, vol. 73, no 3, pp 118-124.
- Strang, G. ve Borre, K., (1997), Linear Algebra, Geodesy, and GPS, Wellesley-Cambridge Press, USA.
- Talbot, N. C., (1991), “High-Precision Real-Time GPS Positioning Concepts: Modeling and Results”, Navigation, vol. 38, no 2, pp 147-161.
- Teunissen, P. J. G., (1995), “The least-squares ambiguity decorrelation adjustment: a method for fast GPS integer ambiguity estimation”, Journal of Geodesy, vol. 70, pp 65-82.
- Teunissen, P. J. G., De Jonge, P.J. ve Tiberius, C.C.J.M., (1995), “The LAMDA-method for fast GPS surveying”, In: Proc. Int. Symposium GPS technology Applications, 26-29 September, Bucharest, Romania, pp. 203-210.
- Teunissen, P. J. G., (1997a), “Precision, volume and eigenspectra for GPS ambiguity estimation based on the time-averaged satellite geometry”, Journal of Geodesy, vol. 71, no 5, pp 290-301.
- Teunissen, P. J. G., (1997b), “A canonical theory for short GPS baselines. Part I: The baseline precision”, Journal of Geodesy, vol. 71, no 6, pp 320-336.
- Teunissen, P. J. G., (1997c), “The geometry-free GPS ambiguity search space with a weighted ionosphere”, Journal of Geodesy, vol. 71, no 6, pp 370-383.
- Teunissen, P. J. G., (1997d), “A canonical theory for short GPS baselines. Part II: the ambiguity precision and correlation”, Journal of Geodesy, vol. 71, no 7, pp 389-401.

- Teunissen, P. J. G., (1997e), "A canonical theory for short GPS baselines. Part III: the geometry of the ambiguity search space", *Journal of Geodesy*, vol. 71, no 8, pp 486-501.
- Teunissen, P. J. G., (1997f), "A canonical theory for short GPS baselines. Part IV: precision versus reliability", *Journal of Geodesy*, vol. 71, no 9, pp 513-525.
- Teunissen, P. J. G. ve Odijk D., (1997), "Ambiguity Dilution of Precision: Definition, Properties and Application", In:proc.ION-97, 16-19 September, Kansas City, USA, pp.891-899.
- Teunissen, P. J. G., de Jonge, P. J. ve Tiberius, C. C. J. M. (1997), "The least-squares ambiguity decorrelation adjustment: its performance on short GPS baselines and short observation spans", *Journal of Geodesy*, vol 71, no 10, pp 589-602.
- Teunissen, P. J. G., Kleusberg A. (Eds.), (1998), "GPS for Geodesy", for Geodesy, ISBN: 3-540-63661-7, Springer-Verlag.
- Teunissen, P. J. G., (1998a), "The Ionosphere-weighted GPS baseline precision in canonical form", *Journal of Geodesy*, vol. 72, no 2, pp 107-111.
- Teunissen, P. J. G., (1998b), "Success probability of integer GPS ambiguity rounding and bootstrapping", *Journal of Geodesy*, vol. 72, no 10, pp 606-612.
- Teunissen, P. J. G., Odijk D. Ve Joosten, P., (1998), "A Probabilistic Evaluation of Correct GPS Ambiguity Resolution", *Proc. Of the 11th International Technical Meeting, Algorithms and Methods ION-GPS'98 ION-97*, Nashville, USA, 15-18 September, part2:pp.1315-1323.
- Teunissen, P. J. G., (1999a), "The probability distribution of the GPS baseline for a class of integer ambiguity estimators", *Journal of Geodesy*, vol. 73, no 5, pp 275-284.
- Teunissen, P. J. G., (1999b), "An optimality property of the integer least-squares estimator", *Journal of Geodesy*, vol. 73, no 11, pp 587-593.
- Teunissen, P. J. G., (1999c), "The success rate and precision of GPS ambiguities", *Journal of Geodesy*, vol. 74, no 3/4, pp 321-326.
- Teunissen, P.J.G., P. Joosten and C.C.J.M. Tiberius (1999a), "Geometry-free ambiguity success rates in case of partial fixing ", In: *Proc. of National Technical Meeting & 19th Biennial Guidance Test Symposium ION 1999*, pp. 201-207 January 25-27, San Diego, Ca.
- Teunissen, P. J. G., Odijk D. ve De Jong, C.D., (1999b), "Ambiguity dilution of precision: an additional tool for GPS quality control", *Proc. Of Hydro'99*, Plymouth, UK, 5-7 January 1999, Paper (19)1-(19)10.
- Tiberius, C. C. J. M. ve Kenselaar, F., (2000), "Estimation of Stochastic Model For GPS Code and Phase Observables", *Survey Review*, vol 35, no 277, pp 441-454.
- Ulsoy, E., (1980), *Pratik Matris hesabı ve Dengeleme Hesabına Uygulanması*, İDMMA Yayınları, sayı.91, İstanbul.
- Ünal, T., (1997), *Uydu Jeodezisi Ders Notları*, YTÜ, İstanbul.
- Verhagen, S., (2001), "Ambiguity Resolution and success rates with an integrated GNSS-pseudolites positioning system", *ION GPS 2001*, 11-14 September 2001, Salt Lake City, UT.
- Vermeer, M., (1997), "The precision of geodetic GPS and one way of improving it", *Journal of Geodesy*, vol. 71, no 4, pp 240-245.
- Wang, J., (2000), "An approach to GLONASS ambiguity resolution", *Journal of Geodesy*, vol. 74, no 5, pp 421-430.
- Wang, J., Stewart, M. P. ve Tsakiri, M., (1998), "A discrimination test procedure for

ambiguity resolution on-the-fly”, Journal of Geodesy, vol. 72, no 11, pp 644-653.

Wang, J., Stewart, M. P. ve Tsakiri, M., (1998), “Stochastic Modeling for Static GPS Baseline Data Processing”, Journal of Surveying Engineering, vol. 124, no 4, pp 171-181.

Wang, J., Stewart, M. P. ve Tsakiri, M., (2000), “A comparative study of the integer ambiguity validation procedures”, Earth Planet Space, 52, pp.813-817.

Wang, J., Satirapod, C., ve Rizos, C., (2002), “Stochastic assessment of GPS carrier phase measurements for precise static relative positioning”, Journal of Geodesy, vol. 76, pp 95-104.

Wells, D.E., Beck, N., Delikaraoglou D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E.J., Lachapelle, G., Langley, R.B., Nakiboglu, M., Schwarz, KP, Tranquilla, J.M. ve Vanicek, P., (1987), Guide to GPS positioning, Canadian GPS Associates, Fredericton, New Brunswick, Canada.

Weisenburger, S. D., (1997), “Effect of constrains and multiple receivers for on-the-fly ambiguity resolution”, PhD. Thesis, Department of Geomatics Engineering, Calgary, Alberta, Canada.

İnternet Kaynakları

[1] GIBS, (2002), “GPS-Informationen- und Beobachtungssystem, GIBS”

url : http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/Info_hom.cgi?en

[2] IGS, (2002), “International GPS Service”

url : <http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>

[3] Mercator (2002), “Mercator GPS Systems”

url : <http://www.mercat.com/QUEST/gpstutor.htm>

[4] MGP, (2002), “Mathematical Geodesy and Positioning”

url : <http://www.geo.tudelft.nl/mgp/>

[5] NGS (2002a), “National Geodetic Survey : The GPS Toolbox”

url : <http://www.ngs.noaa.gov/gps-toolbox/>

[6] NGS, (2002b), “National Geodetic Survey : NGS Products & Services”

url : http://www.ngs.noaa.gov/products_services.shtml

[7] NIMA, (2002), “National Imagery and Mapping Agency”

url : <http://www.nima.mil/>

[8] Rizos, C., (1999), “Satellite Navigation And Positioning Group (SNAP) : Principles and Practice of GPS Surveying”

url : http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/principles_gps.htm

EKLER

- Ek 1 Geliştirilmiş Saastamoinen Troposfer Modelinin Standart Atmosfere Göre Hesaplanmış Düzeltme Terimleri ($60^{\circ} \leq z_i^k \leq 80^{\circ}$) ve Troposferik Düzeltme Değerleri ($0^{\circ} \leq z_i^k \leq 80^{\circ}$)
- Ek 2 Geliştirilen Yazılımın Formları ve Modülleri
- Ek 3 RINEX-V2.0 Gözlem Dosyası Başlık Bölümü ve Yayın Efemerisi
- Ek 4 RINEX-V2.0 Türetilen Gözlem Dosyaları ve Gerçek BFB Dosyaları
- Ek 5 Ek 3'deki Yayın Efemeris Dosyası, Ek 4'deki Gözlem ve Gerçek BFB Dosyaları Kullanılarak 1_2 Bazı İçin EKK Kestirim Sonuçları
- Ek 6 Ek 3'deki Yayın Efemeris Dosyası, Ek 4'deki Gözlem ve Gerçek BFB Dosyaları Kullanılarak 1_2 Bazı İçin EKT Kestirim Sonuçları
- Ek 7 Gerçek Gözlem Dosyasının Başlık Bölümü, Bütün Epoklar Kullanılarak Elde Edilmiş DD-BFB Dosyaları ve Navigasyon Dosyası
- Ek 8 Grafik Dosyalar İçin Hazırlanan Çıktı Dosyası
- Ek 9 Ek 7'deki Bilgiler ile Türetilen Dosyaların Gerçek BFB'leri Ve Bütün Epoklar Kullanılarak Elde Edilen DD-BFB'leri

Ek 1 Geliştirilmiş Saastamoinen Troposfer Modelinin Standart Atmosfere Göre Hesaplanmış Troposferik Düzeltme Değerleri ($0^\circ \leq z_i^k \leq 80^\circ$) ve Düzeltme Terimleri ($60^\circ \leq z_i^k \leq 80^\circ$)

$$T_i^k = 0.002277 / \cos(z_i^k) [p_i + (1255/K_i + 0.05) e_i - B_i \tan^2(z_i^k)] + \delta R_i^k$$

z_i^k [o]	Alıcıdan uyduya düşey açısı
H_i [m]	Alıcının deniz yüzeyinden olan yüksekliği
P_i [mb]	Atmosferik basınç
K_i [K°]	Sıcaklık (Kelvin derecesi)
e_i [mb]	Kısmi buhar basıncı
B_i [mb]	1. düzeltme terimi
δR_i^k [m]	2. düzeltme terimi

Saastamoinen Modeli ile Troposferik Etkinin Kestirim Değerleri
 T_i^k [m]

z_i^k [o]	H_i [km]	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
0.00		2.395	2.228	2.080	1.947	1.824	1.603	1.408	1.234
10.00		2.432	2.262	2.112	1.977	1.852	1.628	1.429	1.253
20.00		2.549	2.371	2.213	2.071	1.941	1.706	1.498	1.313
30.00		2.765	2.572	2.401	2.247	2.105	1.850	1.625	1.424
40.00		3.125	2.906	2.714	2.539	2.379	2.091	1.836	1.609
50.00		3.721	3.461	3.231	3.024	2.833	2.490	2.187	1.916
60.00		4.778	4.444	4.149	3.883	3.638	3.197	2.808	2.460
66.00		5.863	5.453	5.091	4.764	4.464	3.923	3.446	3.020
70.00		6.957	6.471	6.042	5.653	5.296	4.655	4.088	3.581
73.00		8.117	7.550	7.049	6.596	6.180	5.432	4.770	4.180
75.00		9.144	8.504	7.940	7.429	6.961	6.118	5.373	4.709
76.00		9.765	9.082	8.478	7.933	7.433	6.533	5.738	5.028
77.00		10.479	9.745	9.097	8.512	7.975	7.009	6.156	5.395
78.00		11.306	10.514	9.815	9.184	8.605	7.562	6.642	5.821
78.50		11.772	10.947	10.219	9.562	8.958	7.873	6.915	6.060
79.00		12.277	11.417	10.657	9.972	9.343	8.211	7.212	6.320
79.50		12.827	11.928	11.134	10.418	9.761	8.579	7.535	6.604
79.75		13.120	12.200	11.389	10.657	9.984	8.775	7.708	6.755
80.00		13.427	12.486	11.655	10.906	10.218	8.981	7.888	6.914

Saastamoinen Modeli'nin B ve δR Düzeltme Terimleri
 δR_i^k [m]

z_i^k [o]	H_i [km]	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
60.00		0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
66.00		0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.003	0.003	0.003
70.00		0.012	0.011	0.010	0.009	0.008	0.006	0.004	0.003
73.00		0.021	0.019	0.017	0.016	0.014	0.012	0.010	0.008
75.00		0.031	0.028	0.025	0.023	0.021	0.017	0.014	0.012
76.00		0.038	0.035	0.032	0.029	0.026	0.021	0.017	0.014
77.00		0.050	0.045	0.041	0.037	0.033	0.027	0.022	0.018
78.00		0.065	0.059	0.054	0.049	0.044	0.036	0.029	0.024
78.50		0.076	0.069	0.062	0.056	0.051	0.042	0.034	0.028
79.00		0.088	0.080	0.073	0.066	0.060	0.049	0.040	0.033
79.50		0.103	0.093	0.085	0.077	0.070	0.058	0.048	0.039
79.75		0.111	0.101	0.092	0.084	0.076	0.063	0.052	0.043
80.00		0.120	0.109	0.100	0.091	0.083	0.069	0.057	0.047

B_i [mb]

1.156	1.079	1.006	0.938	0.874	0.757	0.654	0.563
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Ek 2 Geliştirilen Yazılımın Formları ve Modülleri

FrmANA.frm (KURT, O.) : L2-Norm (EKK) ilkesine göre DD matematik modelini doğrudan oluşturarak değerlendiren, tamsayı belirsizliğini bütün ölçü dosyasını gerçekleştirerek bulan programlar ve bütün formları birbirine bağlayan ana form.

FrmGzlmPncr.frm (KURT, O.) : Uydu dağılımını gösteren ve form üzerindeki görüntüyü dosyaya aktaran programlardan oluşan form. Uydu dağılımını ölçü dosyasına göre gösterir.

FrmKoord.frm (KURT, O.) : Verilen üç boyutlu koordinatlara göre istenilen uzunlukta RINEX formatına uygun olarak alıcı koordinatı türeten form. “FrmSmltn.frm” ‘nin alt formu.

FrmL1_1.frm (KURT, O.) : L1-Norm (EKT) ilkesine göre DD matematik modelini doğrudan oluşturarak değerlendiren, BFB ardışık olarak çözen form.

FrmL1_2.frm (KURT, O.) : L1-Norm (EKT) ilkesine göre DD matematik modelini doğrudan oluşturarak değerlendiren, BFB bağımsız epoklar halinde çözen form.

FrmL1_3.frm (KURT, O.) : Çift frekanslı alıcılar için L1-Norm (EKT) ilkesine göre DD matematik modelini doğrudan oluşturarak değerlendiren, BFB bağımsız epoklar halinde çözen form.

FrmL2_1.frm (KURT, O.) : L2-Norm (EKK) ilkesine göre DD matematik modelini doğrudan oluşturarak değerlendiren, BFB’yi bağımlı epoklar halinde çözen form ve sonuçları ayrıntılı gösteren form.

FrmL2_2.frm (KURT, O.) : L2-Norm (EKK) ilkesine göre DD matematik modelini doğrudan oluşturarak değerlendiren, BFB’yi ardışık olarak her epok sonucunda çözen form.

FrmL2_3.frm (KURT, O.) : L2-Norm (EKK) ilkesine göre çift frekanslı alıcılarda faz ölçüleri arasında istenilen DD doğrusal kombinasyonu oluşturarak değerlendiren, BFB’ni her epok sonucunda çözen form.

FrmSmltn.frm (KURT, O.) : İstenilen an için yayın ya da duyarlı yörünge bilgileri kullanılarak RINEX formatında gözlem dosyası üreten, gerçek BFB’leri bir dosyaya yükleyen form.

MdLAltPrg.bas (KURT, O.) : Dik-elipsoidal-projeeksiyon-azimut-düşey açı ,..., vb. dönüşümleri yapan çeşitli (14 adet) alt programlar.

MdLAtmfr.bas (KURT, O.) : Troposfer ve iyonosfer (sabit TVEC kullanarak ya da Klobuchar modeline göre) simüle eden ya da düzeltmeleri yapan (3 adet) alt programlar.

MdLDyrLYrgH.bas (KURT, O.) : SP3 formatındaki duyarlı yörünge bilgilerinden uydu koordinatı hesaplayan (2 adet) alt programlar.

MdLLmbd.bas (BARRODALE, I. ve ROBERTS, F.D.K.): Koşulsuz L1–Norm kestirimi yapan alt program (Orijinali FORTRAN’dan QBasic’e Dönüştüren HEKİMOĞLU, Ş.– QBasic’den VB_5.0’e dönüştüren O.KURT) ve koşullu L1-norm çözümü yapan alt program (Orijinali FORTRAN’dan VB_5.0’a dönüştüren KURT, O.).

MdLLmbd.bas (Delft,MGP) : LAMBDA yöntemini gerçekleştiren (20 adet) alt programlar. (Orijinal Fortran77’den – VB_5.0’a dönüştüren O.KURT).

MdLMtrx.bas (KURT, O.) : Öz değer öz vektör hesabı, matris işlemleri (toplamı, çarpım, ters,..vb.), matris köşegenleştirilmesi, determinant,..vb gibi matris işlemleri yapmaya yarayan (18 adet) alt programların oluşturduğu modül.

MdLPrnt.bas (KURT, O.) : Sonuçların sunumunda kullanılan (9 adet) alt programlar.

MdLRnx.bas (KURT,O.) : RINEX formatındaki ölçü dosyalarının başlık bölümünü okuyan ve yazdıran, gerçek BFB ve DD-BFB dosyalarını okuyan (5 adet) alt programların oluşturduğu modül.

MdLSsts.bas (KURT, O.) : İstatistik tablo değerleri hesaplayan (Orijinal FORTRAN’dan (ÖZTÜRK,E.) – VB_5.0’a dönüştüren O.KURT), Mann-Wald normal dağılım uyum testi, IMSL’den (HEKİMOĞLU, Ş. – VB_5.0’a dönüştüren O.KURT) rasgele sayı üreten, başarı olasılığı hesaplayan (12 adet) alt programlar.

MdLTarih.bas (KURT, O.) : GPS zamanı ile sivil zaman arasında dönüşümü sağlayan (3 adet) alt programlar.

MdLYrgHs.bas (KURT, O.) : RINEX formatındaki yörünge bilgilerinden uydu koordinatlarını hesaplayan (5 adet) alt programlar.

Ek 3 RINEX-V2.0 Gözlem Dosyası Başlık Bölümü ve Yayın Efemerisi

"1____0921.02o"

2	OBSERVATION DATA	G (GPS)	RINEX VERSION / TYPE
TRRINEXO V2.9.8 LH	AIUB	02-APR-02 23:09	PGM / RUN BY / DATE
1			MARKER NAME
			OBSERVER / AGENCY
2433	TRIMBLE 4000SSE	7.19 / 3.04	REC # / TYPE / VERS
67248	4000ST L1/L2 GEOD		ANT # / TYPE
4213051.9922	2371254.9691	4146425.7608	APPROX POSITION XYZ
1.3627	0.0000	0.0000	ANTENNA: DELTA H/E/N
1	1		WAVELENGTH FACT L1/2
5	C1	L1	L2
15		P2	P1
2002	4	2	9
		35	15.000000
			TIME OF FIRST OBS
			END OF HEADER

"1____0921.02n" ve "1____092a.02n"

2	NAVIGATION DATA	RINEX VERSION / TYPE	
TRRINEXN V2.15 LH	AIUB	02-APR-02 23:09	
Global Network Trimble Data		PGM / RUN BY / DATE	
		COMMENT	
0.3353E-07	0.7451E-08	-0.1788E-06	0.0000E+00
0.1372E+06	0.0000E+00	-0.3277E+06	0.2621E+06
-0.372529029846E-08	-0.532907051820E-14	233472	1159
13			DELTA-UTC: A0,A1,T,W
			LEAP SECONDS
			END OF HEADER
18	02	4	2
	10	0	0.0-0.716326758265E-04
			0.102318153949E-11
			0.000000000000E+00
			0.270000000000E+02
			-0.844375000000E+02
			0.426124892669E-08
			-0.310483163617E+01
			-0.415928661823E-05
			0.250838487409E-02
			0.734254717827E-05
			0.515368642235E+04
			0.208800000000E+06
			-0.651925802231E-07
			-0.282112221305E+01
			-0.130385160446E-07
			0.963258429774E+00
			0.235625000000E+03
			0.296572601979E+01
			-0.800247619240E-08
			0.625026034843E-10
			0.100000000000E+01
			0.116000000000E+04
			0.000000000000E+00
			0.400000000000E+01
			0.000000000000E+00
			-0.102445483208E-07
			0.539000000000E+03
			0.207180000000E+06
			0.000000000000E+00
			0.000000000000E+00
6	02	4	2
	10	0	0.0-0.267056748271E-05
			0.000000000000E+00
			0.000000000000E+00
			0.109000000000E+03
			0.962500000000E+02
			0.473126850490E-08
			-0.176951854668E+01
			0.490620732307E-05
			0.643913238309E-02
			0.786967575550E-05
			0.515380191422E+04
			0.208800000000E+06
			0.128522515297E-06
			0.131312194617E+01
			-0.726431608200E-07
			0.941129716482E+00
			0.217250000000E+03
			-0.222249147562E+01
			-0.808355099806E-08
			-0.106433004790E-09
			0.100000000000E+01
			0.116000000000E+04
			0.000000000000E+00
			0.300000000000E+01
			0.000000000000E+00
			-0.512227416039E-08
			0.365000000000E+03
			0.207120000000E+06
			0.000000000000E+00
			0.000000000000E+00
10	02	4	2
	10	0	0.0
			0.269152224064E-05
			0.682121026330E-12
			0.000000000000E+00
			0.163000000000E+03
			-0.805625000000E+02
			0.385730352932E-08
			0.134497642120E+01
			-0.415369868279E-05
			0.499504420441E-02
			0.669993460178E-05
			0.515377033234E+04
			0.208800000000E+06
			-0.484287738800E-07
			-0.286582487583E+01
			0.391155481339E-07
			0.980332584090E+00
			0.260906250000E+03
			0.106090368530E+00
			-0.784961268216E-08
			-0.485734518507E-10
			0.100000000000E+01
			0.116000000000E+04
			0.000000000000E+00
			0.300000000000E+01
			0.000000000000E+00
			-0.186264514923E-08
			0.419000000000E+03
			0.207150000000E+06
			0.000000000000E+00
			0.000000000000E+00
15	02	4	2
	10	0	0.0
			0.158270820975E-03
			0.454747350886E-11
			0.000000000000E+00
			0.600000000000E+02
			0.868750000000E+01
			0.424839124826E-08
			-0.114863160704E+01
			0.605359673500E-06
			0.833308417350E-02
			0.303052365780E-05
			0.515361767960E+04
			0.208800000000E+06
			-0.447034835815E-07
			0.243869949595E+01
			0.968575477600E-07
			0.977187077616E+00
			0.333343750000E+03
			0.182293448413E+01
			-0.825927260328E-08
			0.382158775590E-10
			0.100000000000E+01
			0.116000000000E+04
			0.000000000000E+00
			0.600000000000E+01
			0.000000000000E+00
			-0.232830643654E-08
			0.572000000000E+03

0.207120000000E+06 0.000000000000E+00 0.000000000000E+00 0.000000000000E+00

.....

Ek 4 RINEX-V2.0 Türetilen Gözlem Dosyaları ve Gerçek BFB Dosyaları

“1__092a.02o”

2	OBSERVATION DATA					GPS	RINEX VERSION / TYPE										
SMLTN : 2002.01.01	ORHNKRT					2002-07-15 18:02:59	PGM / RUN BY / DATE										
1							MARKER NAME										
ORHNKRT	ZKU						OBSERVER / AGENCY										
001	ZKU-ALCS					2002.01.01	REC # / TYPE / VERS										
001	ZKU-ANTN						ANT # / TYPE										
4213051.9922	2371254.9691	4146425.7608				APPROX POSITION XYZ											
1.3627	0.0000	0.0000				ANTENNA: DELTA H/E/N											
1	1					WAVELENGTH FACT L1/2											
5	C1	L1	L2	P1	P2	# / TYPES OF OBSERV											
2002	4	2	9	35	15.000000	TIME OF FIRST OBS											
											END OF HEADER						
2	4	2	9	35	15.0000000	0	9	17	06	15	23	22	30	10	25	18	0.000000000
20550951.37008	0.74008				0.28208	20550951.35608	20550968.32908										
20958125.35706	0.80106				0.29806	20958125.19706	20958143.81706										
20976608.68206	0.35706				0.80906	20976608.07306	20976625.12006										
22096635.73905	0.07705				0.79405	22096637.80305	22096655.67505										
22435164.99704	0.99104				1.01704	22435165.57004	22435184.85504										
22698807.56903	0.65903				0.63903	22698808.74003	22698827.99903										
23229689.70403	0.29603				0.09803	23229689.35703	23229706.87203										
23425239.51503	0.11103				0.70103	23425238.61203	23425257.33403										
23900054.02602	0.61802				0.52402	23900053.51502	23900070.54902										
2	4	2	9	35	30.0000000	0	9	17	06	15	23	22	30	10	25	18	0.000000000
20547736.37108	-16895.25808				-13165.50608	20547736.71108	20547754.81508										
20961223.55106	16276.40106				12682.55006	20961222.57406	20961240.11406										
20970453.94906	-32342.80306				-25201.62506	20970453.64106	20970472.51606										
22093102.97505	-18580.35405				-14477.47905	22093101.88905	22093120.53005										
22427623.37404	-39634.13504				-30883.53104	22427624.01504	22427641.39104										
22708607.23903	51497.59003				40128.09803	22708608.39303	22708627.76303										
23235044.35703	28138.75603				21926.17403	23235043.42803	23235062.53003										
23430844.54703	29450.30903				22948.95503	23430843.38103	23430861.42503										
23889942.59002	-53135.56002				-41404.27102	23889942.30902	23889958.49502										

“1__092a.02g”

TRUE AMBIGUITY FILE					FILE TYPE						
SMLTN : 2002.01.01	ORHNKRT					2002-07-15 17:46:54	PGM / RUN BY / DATE				
1							MARKER NAME				
ORHNKRT	ZKU						OBSERVER / AGENCY				
4213051.9922	2371254.9691	4146425.7608				APPROX POSITION XYZ					
1.3627	0.0000	0.0000				ANTENNA: DELTA H/E/N					
2002	4	2	9	35	15.000000	TIME OF FIRST OBS					
											END OF HEADER
17	107995681	84152404									
6	110135396	85819715									
15	110232521	85895395									
23	116118315	90481727									
22	117897292	91867944									
30	119282741	92947514									
10	122072543	95121387									
25	123100160	95922126									

Ek 4'ün Devamı.

"2____092a.02o"

2	OBSERVATION DATA					GPS	RINEX VERSION / TYPE										
SMLTN : 2002.01.01	ORHNKRT					2002-07-15 18:18:28	PGM / RUN BY / DATE										
2							MARKER NAME										
ORHNKRT	ZKU						OBSERVER / AGENCY										
001	ZKU-ALCS					2002.01.01	REC # / TYPE / VERS										
001	ZKU-ANTN						ANT # / TYPE										
4209962.5127	2364743.6102	4153358.0996				APPROX POSITION XYZ											
1.5048	0.0000	0.0000				ANTENNA: DELTA H/E/N											
1	1					WAVELENGTH FACT L1/2											
5	C1	L1	L2	P1	P2	# / TYPES OF OBSERV											
2002	4	2	9	35	15.0000000	TIME OF FIRST OBS											
											END OF HEADER						
2	4	2	9	35	15.00000000	0	9	17	06	15	23	22	30	10	25	18	0.0000000000
20552002.68608					0.15108					0.46308	20552002.34308					20552021.78208	
20958283.34106					0.23106					0.34306	20958283.27006					20958302.04006	
20978248.98106					0.09506					0.40806	20978249.31606					20978266.65206	
22101748.03105					0.46405					0.51005	22101748.16805					22101765.37205	
22427367.89404					0.90704					0.48004	22427368.02604					22427385.59204	
22707452.31603					0.62103					0.53403	22707452.92703					22707471.38403	
23227156.87103					0.58403					0.46403	23227157.21103					23227175.23303	
23424503.96403					0.29203					1.00803	23424503.76003					23424523.60103	
23909287.28402					0.35302					0.70802	23909286.47602					23909305.07702	
2	4	2	9	35	30.00000000	0	9	17	06	15	23	22	30	10	25	18	0.0000000000
20548771.96408					-16974.15508					-13226.33008	20548772.33808					20548790.18508	
20961395.40006					16357.63506					12746.31206	20961396.38806					20961416.14506	
20972081.02806					-32421.29506					-25263.01206	20972080.19806					20972098.22006	
22098193.33305					-18675.35405					-14552.09905	22098194.94405					22098212.88405	
22419836.59904					-39579.24204					-30841.18904	22419835.92204					22419855.17004	
22717262.32003					51550.31103					40169.04603	22717262.64103					22717283.47903	
23232494.58403					28055.38303					21861.33903	23232495.31103					23232512.23303	
23430123.01903					29533.78903					23014.05503	23430123.19303					23430142.92703	
23899170.52502					-53159.91202					-41422.97602	23899170.71202					23899190.62302	

"2____092a.02g"

TRUE AMBIGUITY FILE					FILE TYPE						
SMLTN : 2002.01.01	ORHNKRT					2002-07-15 18:18:28	PGM / RUN BY / DATE				
2						MARKER NAME					
ORHNKRT	ZKU					OBSERVER / AGENCY					
4209962.5127	2364743.6102	4153358.0996				APPROX POSITION XYZ					
1.5048	0.0000	0.0000				ANTENNA: DELTA H/E/N					
2002	4	2	9	35	15.0000000	TIME OF FIRST OBS					
											END OF HEADER
17	108001204	84156707									
6	110136227	85820362									
15	110241146	85902116									
23	116145168	90502652									
22	117856312	91836012									
30	119328167	92982911									

10 122059235 951111017
 25 123096296 95919115
 18 125643845 97904218

Ek 4'ün Devamı.

"2 092a.02b"

PRN	Ionf1	Ionf2	Trop	dt_r	dt_s	Xs	Ys	Zs	S_RS	Z_RS
1160	207315									
17	28.308	46.622	2.453	0.000	132220.570	21649198.542	7779938.094	13868530.953	20684192.234	16.10
6	28.099	46.278	2.738	0.000	-800.616	8956115.577	16405076.767	18970845.126	20957451.935	30.74
15	28.446	46.849	2.864	0.000	47448.664	24535709.320	3602339.167	9388918.406	21025666.832	34.59
23	28.744	47.340	3.501	0.000	-0.536	9599627.837	23068106.685	9703865.559	22101715.392	47.72
22	28.501	46.940	4.559	0.000	19040.266	11961540.534	-10157839.122	21092594.762	22446374.852	59.12
30	28.779	47.397	4.791	0.000	177758.823	16858930.792	20516472.638	-1698970.065	22885178.094	60.46
10	28.385	46.749	5.643	0.000	806.932	-5125465.876	15542671.444	20848529.614	23227929.913	65.56
25	28.667	47.212	6.128	0.000	7424.597	24343671.299	-9620674.112	4346207.949	23431893.470	67.45
18	28.836	47.492	7.345	0.000	-21474.474	19479822.607	16486510.688	-7595383.259	23887775.814	71.26
1160	207330									
17	28.322	46.645	2.452	0.000	132220.828	21623475.469	7783738.552	13905605.315	20680962.396	15.98
6	28.115	46.304	2.740	0.000	-800.616	8942048.355	16438071.194	18948429.546	20960564.653	30.82
15	28.460	46.872	2.860	0.000	47448.685	24517771.930	3607491.082	9432351.712	21019497.285	34.48
23	28.758	47.364	3.497	0.000	-0.534	9587057.036	23055897.470	9747264.956	22098161.525	47.66
22	28.516	46.963	4.546	0.000	19040.491	11990805.613	-10128343.407	21090978.336	22438843.262	59.02
30	28.794	47.423	4.807	0.000	177758.933	16853290.428	20517616.206	-1745792.285	22894987.789	60.57
10	28.401	46.775	5.655	0.000	806.935	-5152196.626	15513178.709	20864235.641	23233268.571	65.62
25	28.682	47.238	6.146	0.000	7424.599	24352487.674	-9617501.512	4300150.785	23437513.504	67.52
18	28.851	47.516	7.306	0.000	-21474.470	19485692.214	16500116.707	-7550742.477	23877659.806	71.15

Ongorulen karesel Ortalama Hatalar

=====									
mF1 = 0.004 m mR1 = 0.800 m									
mF2 = 0.006 m mR2 = 1.200 m									
mP = 0.300 m									
i	VF1 ()	VF2 ()	VR1 (m)	VR2 (m)	VP (m)	=====			
1	- .020	- .016	.261	1.043	-.082	=====			
2	- .004	- .024	-.047	.474	-.117	=====			
3	- .010	- .005	-.497	-1.230	-.162	=====			
4	.000	- .017	- .142	-1.396	-.005	=====			
5	.007	.010	.248	-.493	.380	=====			
6	.008	.023	-.525	-.075	.086	=====			
7	- .007	- .008	-.138	- .140	.201	=====			
8	- .026	.013	.297	1.388	.093	=====			
9	.000	.019	.814	-.049	.007	=====			
10	.018	- .011	-.378	-.480	-.004	=====			
11	.025	-.022	-.724	1.833	.265	=====			
12	- .008	.034	1.108	-.113	.278	=====			
13	- .011	- .010	-.981	-.035	.630	=====			
14	- .043	.013	.766	.889	.089	=====			
15	- .018	-.034	-.137	2.394	.184	=====			
16	- .009	.023	-1.109	-1.833	-.382	=====			
17	- .005	.004	-.714	.639	-.539	=====			
18	.020	- .028	.093	1.526	.280	=====			

Ek 4'ün Devamı.**"1____092a.02d"**

TRUE DD AMBIGUITY FILE					FILE TYPE
FrANA :	2002.01.01	ORHNKRT	2002-07-17	06:54:19	PGM / RUN BY / DATE
1 -->	2				MARKER NAMES
ORHNKRT		ZKU			OBSERVER / AGENCY
-3089.4808	-6511.3608	6932.3383			RELATIVE POSITION XYZ
2002	4	2	9	35	TIME OF FIRST OBS
					END OF HEADER
17	6	4692		3656	
17	15	-3102		-2418	
17	23	-21330		-16622	
17	22	46503		36235	
17	30	-39903		-31094	
17	10	18831		14673	
17	25	9387		7314	
17	18	-42999		-33506	

"2____092a.02d"

TRUE DD AMBIGUITY FILE					FILE TYPE
FrANA :	2002.01.01	ORHNKRT	2002-07-17	06:54:19	PGM / RUN BY / DATE
2 -->	1				MARKER NAMES
ORHNKRT		ZKU			OBSERVER / AGENCY
3089.4808	6511.3608	-6932.3383			RELATIVE POSITION XYZ
2002	4	2	9	35	TIME OF FIRST OBS
					END OF HEADER
17	6	-4692		-3656	
17	15	3102		2418	
17	23	21330		16622	
17	22	-46503		-36235	
17	30	39903		31094	
17	10	-18831		-14673	
17	25	-9387		-7314	
17	18	42999		33506	

Ek 5 Ek 3'deki Yayın Efemeris Dosyası, Ek 4'deki Gözlem ve Gerçek BFB Dosyaları Kullanılarak 1_2 Bazı İçin EKK Kestirim Sonuçları

Base Observation File : D:\OrhnKrt\Vb\G\L1L2Nrm\1___091a.02o
 Roving Observation File : D:\OrhnKrt\Vb\G\L1L2Nrm\2___091a.02o
 Ephemerides File : D:\OrhnKrt\Vb\G\L1L2Nrm\1___091a.02n
 Base Ambiguity File : D:\OrhnKrt\Vb\G\L1L2Nrm\1___091a.02g
 Roving Ambiguity File : D:\OrhnKrt\Vb\G\L1L2Nrm\2___091a.02g

 2002 4 2 9 35 15.00 ---> (1)

===	===	=====	=====	=====	=====	=====	=====
k	l	True DDL1	Estm. DDL1	T-EL1	True DDL2	Estm. DDL2	T-EL2
===	===	=====	=====	=====	=====	=====	=====
17	6	4692.00	4692.00	.00	3656.00	3656.00	.00
17	15	-3102.00	-3102.00	.00	-2418.00	-2418.00	.00
17	23	-21330.00	-21330.00	.00	-16622.00	-16622.00	.00
17	22	46503.00	46503.00	.00	36235.00	36235.00	.00
17	30	-39903.00	-39903.00	.00	-31094.00	-31094.00	.00
17	10	18831.00	18831.00	.00	14673.00	14673.00	.00
17	25	9387.00	9387.00	.00	7314.00	7314.00	.00
17	18	-42999.00	-42999.00	.00	-33506.00	-33506.00	.00
===	===	=====	=====	=====	=====	=====	=====

=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====
DN	BN	i	True X2-X1 (m)	Estm.X2-X1 (m)	dx12 (m)	mx (m)
=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====
1	2	1	-3089.47950	-3089.47786	-.00164	.00469
1	2	2	-6511.35890	-6511.35978	.00088	.00324
1	2	3	6932.33880	6932.34413	-.00533	.00424
			9999.99998	10000.00374	-.00376	.00263
=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====

=====	=====	=====	=====	=====
	RMS (mm)	f	T	X2, F, F
=====	=====	=====	=====	=====
Sy0	4.00			
			9.32 <=	42.55
My0	3.39	13		
			1.22 <=	2.08
Ma1	3.07	29		
			7.68 >=	1.84
Ma2	8.51	29		
=====	=====	=====	=====	=====

 2002 4 2 9 35 30.00 ---> (2)

===	===	=====	=====	=====	=====	=====	=====
k	l	True DDL1	Estm. DDL1	T-EL1	True DDL2	Estm. DDL2	T-EL2
===	===	=====	=====	=====	=====	=====	=====
17	6	4692.00	4692.00	.00	3656.00	3656.00	.00
17	15	-3102.00	-3102.00	.00	-2418.00	-2418.00	.00

17	23	-21330.00	-21330.00	.00	-16622.00	-16622.00	.00
17	22	46503.00	46503.00	.00	36235.00	36235.00	.00
17	30	-39903.00	-39903.00	.00	-31094.00	-31094.00	.00
17	10	18831.00	18831.00	.00	14673.00	14673.00	.00
17	25	9387.00	9387.00	.00	7314.00	7314.00	.00
17	18	-42999.00	-42999.00	.00	-33506.00	-33506.00	.00
===	===	=====	=====	=====	=====	=====	=====

Ek 5'in Devamı.

DN	BN	i	True X2-X1 (m)	Estm.X2-X1 (m)	dx12 (m)	mx (m)
1	2	1	-3089.47950	-3089.48084	.00134	.00365
1	2	2	-6511.35890	-6511.36078	.00188	.00252
1	2	3	6932.33880	6932.33829	.00051	.00330
			9999.99998	10000.00126	-.00129	.00205
=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====

	RMS (mm)	f	T	X2, F, F
Sy0	4.00		39.04 <=	80.23
My0	3.73	45	1.16 <=	1.57
Ma1	3.46	61	5.91 >=	1.52
Ma2	8.42	61		
=====	=====	=====	=====	=====

Ek 6 Ek 3'deki Yayın Efemeris Dosyası, Ek 4'deki Gözlem ve Gerçek BFB Dosyaları Kullanılarak 1_2 Bazı İçin EKT Kestirim Sonuçları

Base Observation File : D:\OrhnKrt\Vb\G\L1L2Nrm\1___091a.02o
 Roving Observation File : D:\OrhnKrt\Vb\G\L1L2Nrm\2___091a.02o
 Ephemerides File : D:\OrhnKrt\Vb\G\L1L2Nrm\1___091a.02n
 Base Ambiguity File : D:\OrhnKrt\Vb\G\L1L2Nrm\1___091a.02g
 Roving Ambiguity File : D:\OrhnKrt\Vb\G\L1L2Nrm\2___091a.02g

 2002 4 2 9 35 15.00 ---> (1)

KOD = 0- OPTIMAL SOLUTION FOUND.
 ITER = 16
 EKT = .0000

k	l	True DDL1	Estm. DDL1	T-EL1	True DDL2	Estm. DDL2	T-EL2
17	6	4692.00	4692.00	.00	3656.00	3656.00	.00
17	15	-3102.00	-3102.00	.00	-2418.00	-2418.00	.00
17	23	-21330.00	-21330.00	.00	-16622.00	-16622.00	.00
17	22	46503.00	46503.00	.00	36235.00	36235.00	.00
17	30	-39903.00	-39903.00	.00	-31094.00	-31094.00	.00
17	10	18831.00	18831.00	.00	14673.00	14673.00	.00
17	25	9387.00	9387.00	.00	7314.00	7314.00	.00
17	18	-42999.00	-42999.00	.00	-33506.00	-33506.00	.00

DN	BN	i	True X2-X1 (m)	Estm.X2-X1 (m)	dx12 (m)
1	2	1	-3089.47950	-3089.48718	.00768
1	2	2	-6511.35890	-6511.36311	.00421
1	2	3	6932.33880	6932.32642	.01238
			9999.99998	9999.99651	.00347

 2002 4 2 9 35 30.00 ---> (2)

KOD = 0- OPTIMAL SOLUTION FOUND.
 ITER = 16
 EKT = .0000

k	l	True DDL1	Estm. DDL1	T-EL1	True DDL2	Estm. DDL2	T-EL2
17	6	4692.00	4692.00	.00	3656.00	3656.00	.00
17	15	-3102.00	-3102.00	.00	-2418.00	-2418.00	.00
17	23	-21330.00	-21330.00	.00	-16622.00	-16622.00	.00
17	22	46503.00	46503.00	.00	36235.00	36235.00	.00
17	30	-39903.00	-39903.00	.00	-31094.00	-31094.00	.00
17	10	18831.00	18831.00	.00	14673.00	14673.00	.00
17	25	9387.00	9387.00	.00	7314.00	7314.00	.00
17	18	-42999.00	-42999.00	.00	-33506.00	-33506.00	.00

DN	BN	i	True X2-X1 (m)	Estm.X2-X1 (m)	dx12 (m)

1	2	1	-3089.47950	-3089.47788	-.00162
1	2	2	-6511.35890	-6511.35856	-.00034
1	2	3	6932.33880	6932.33852	.00028
			9999.99998	9999.99906	.00092
====	====	===	=====	=====	=====

Ek 7 Gerçek Gözlem Dosyasının Başlık Bölümü, Bütün Epoklar Kullanılarak Elde Edilmiş DD-BFB Dosyaları ve Navigasyon Dosyası

“12__2151.97o”

2		OBSERVATION DATA		GPS		RINEX VERSION / TYPE	
TBIN	12	XXXXXXXXXXXXX		97-08-04 16:29:11		PGM / RUN BY / DATE	
AKI	201	TOPCON TURBO-S2		1993.06.08		MARKER NAME	
0	0	TOPCON TURBO-S2				OBSERVER / AGENCY	
4104747.8140	2562977.9900	4142814.7390				REC # / TYPE / VERS	
0.1120	0.0000	0.0000				ANT # / TYPE	
1	1					APPROX POSITION XYZ	
5	C1	L1	L2	P1	P2	ANTENNA: DELTA H/E/N	
1997	8	3	13	55	0.000000	WAVELENGTH FACT L1/2	
						# / TYPES OF OBSERV	
						TIME OF FIRST OBS	
						END OF HEADER	

“4__2151.97o”

2		OBSERVATION DATA		GPS		RINEX VERSION / TYPE	
TBIN	4	XXXXXXXXXXXXX		97-08-04 16:28:40		PGM / RUN BY / DATE	
AKI	201	TOPCON TURBO-S2		1993.06.08		MARKER NAME	
0	0	TOPCON TURBO-S2				OBSERVER / AGENCY	
4097250.5880	2568554.1680	4146698.1650				REC # / TYPE / VERS	
0.1130	0.0000	0.0000				ANT # / TYPE	
1	1					APPROX POSITION XYZ	
5	C1	L1	L2	P1	P2	ANTENNA: DELTA H/E/N	
1997	8	3	13	55	0.000000	WAVELENGTH FACT L1/2	
						# / TYPES OF OBSERV	
						TIME OF FIRST OBS	
						END OF HEADER	

“12__2151.97d”

TRUE DD AMBIGUITY FILE		FILE TYPE	
FrANA : 2002.01.01	ORHNKRT	2002-07-18 12:32:39	PGM / RUN BY / DATE
12 --> 4			MARKER NAMES
ORHNKRT	ZKU		OBSERVER / AGENCY
-7497.2289	5576.1657	3883.4240	RELATIVE POSITION XYZ
1997	8	3	13
			55
			0.000000
			TIME OF FIRST OBS
			END OF HEADER
16	14	-368997	-287531
16	29	-374698	-291972
16	25	-393840	-306888
16	15	-680466	-530234
16	7	-368985	-287520

“4__2151.97o”

TRUE DD AMBIGUITY FILE		FILE TYPE	
FrANA : 2002.01.01	ORHNKRT	2002-07-18 12:32:39	PGM / RUN BY / DATE
4 --> 12			MARKER NAMES
ORHNKRT	ZKU		OBSERVER / AGENCY
7497.2289	-5576.1657	-3883.4240	RELATIVE POSITION XYZ

```

1997      8      3      13      55      0.000000      TIME OF FIRST OBS
                                           END OF HEADER

16  14      368997      287531
16  29      374698      291972
16  25      393840      306888
16  15      680466      530234
16   7      368985      287520

```

Ek 7'nin Devamı.

“12__2151.97n” ve “4__2151.97n”

```

      2      NAVIGATION DATA      RINEX VERSION / TYPE
TBIN      XXXXXXXXXXXXX      97-08-04 16:28:40      PGM / RUN BY / DATE
TOPCON-GEOCOMP RINEX Formatter-Version: 96.06.XX      COMMENT
                                           END OF HEADER

7 97  8  3 14  0  0.0 7.513449527323e-04 9.094947017729e-13 0.000000000000e+00
      1.800000000000e+01 9.715625000000e+01 4.336966366343e-09-1.790573919905e+00
      5.017966032028e-06 9.199031745084e-03 1.069530844688e-05 5.153572402954e+03
      5.040000000000e+04 1.322478055954e-07 3.430251409454e-01-2.793967723846e-08
      9.620852104365e-01 1.712812500000e+02-2.320843553181e+00-7.784967132272e-09
      2.439387324559e-10 1.000000000000e+00 9.170000000000e+02 0.000000000000e+00
      3.200000000000e+01 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 1.800000000000e+01
      4.984800000000e+04 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00
14 97  8  3 14  0  0.0 2.112612128258e-05 4.547473508865e-13 0.000000000000e+00
      2.100000000000e+02-1.175625000000e+02 4.250177036933e-09-1.548090005168e+00
      -6.048008799553e-06 1.364975236356e-03 7.240101695061e-06 5.153552324295e+03
      5.040000000000e+04 1.490116119385e-08 2.490100687992e+00 2.793967723846e-08
      9.694045494649e-01 2.417812500000e+02 3.030759766509e+00-8.040692069956e-09
      -4.446613790741e-10 1.000000000000e+00 9.170000000000e+02 0.000000000000e+00
      3.200000000000e+01 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 2.100000000000e+02
      4.321800000000e+04 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00
15 97  8  3 14  0  0.0 4.535433836281e-04 3.979039320257e-12 0.000000000000e+00
      1.570000000000e+02 3.200000000000e+01 4.599120143243e-09 1.060334547259e+00
      1.499429345131e-06 7.199018960819e-03 1.659616827965e-06 5.153734952927e+03
      5.040000000000e+04-1.508742570877e-07 1.454412691109e+00-1.192092895508e-07
      9.798042643919e-01 3.587500000000e+02 1.628287981805e+00-8.406778747507e-09
      7.250302004181e-11 1.000000000000e+00 9.170000000000e+02 0.000000000000e+00
      4.000000000000e+00 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 4.130000000000e+02
      4.321800000000e+04 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00
16 97  8  3 14  0  0.0 2.221949398518e-05 1.477928890381e-12 0.000000000000e+00
      1.530000000000e+02-1.230000000000e+02 4.407683597714e-09 8.908084491075e-01
      -6.318092346191e-06 2.189921913669e-03 6.679445505142e-06 5.153663303375e+03
      5.040000000000e+04 3.725290298462e-08 2.496634340533e+00 4.842877388000e-08
      9.658254472380e-01 2.483437500000e+02-2.309968128016e-03-8.116409509606e-09
      -5.071639825584e-10 1.000000000000e+00 9.170000000000e+02 0.000000000000e+00
      3.200000000000e+01 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 1.530000000000e+02
      4.984800000000e+04 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00
25 97  8  3 14  0  0.0-5.685724318027e-06 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00
      4.100000000000e+01 2.325000000000e+01 5.267362263924e-09-2.754892674166e+00
      1.246109604836e-06 6.729438086040e-03 4.483386874199e-06 5.153559259415e+03
      5.040000000000e+04-2.793967723846e-08-1.778699358265e+00-8.754432201385e-08
      9.367089023942e-01 2.800937500000e+02-2.669919471057e+00-8.390706649469e-09
      3.721583590323e-10 1.000000000000e+00 9.170000000000e+02 0.000000000000e+00
      3.200000000000e+01 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 2.970000000000e+02
      4.321800000000e+04 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00
29 97  8  3 14  0  0.0 2.549816854298e-04 2.023625711445e-11 0.000000000000e+00
      1.880000000000e+02-6.875000000000e+00 4.156958868308e-09 3.120125230471e+00
      -3.743916749954e-07 5.504631204531e-03 1.183897256851e-05 5.153422903061e+03

```

5.04000000000000e+04-2.7939677723846e-08-2.808106859116e+00 5.587935447693e-08
9.546553435584e-01 1.4668750000000e+02-1.939244006920e+00-7.646389931404e-09
3.985880313628e-10 1.0000000000000e+00 9.1700000000000e+02 0.000000000000e+00
3.2000000000000e+01 0.0000000000000e+00 0.0000000000000e+00 1.880000000000e+02
4.3218000000000e+04 0.0000000000000e+00 0.0000000000000e+00 0.000000000000e+00

Ek 8 Grafik Dosyalar İçin Hazırlanan Çıktı Dosyası

k-t1	ROOP[]	ADOP[Cyl]	Maa[Cyl]	P(a=a)	P(z=z)	ds[mm]	(m1/m2)/2	Ftablo	dx[mm]	mdx[mm]	dy[mm]	mdy[mm]	dz[mm]	mdz[mm]	ds[mm]	mds[mm]
0	861.93	213.56	1.34	0.07	0.66	396.02	1.07	3.47	61.66	3.08	170.14	1.27	906.66	4.21	396.02	2.57
15	529.76	142.21	4.73	0.03	0.32	54.54	1.09	2.22	815.73	4.65	991.46	1.91	9.30	6.35	54.54	3.87
30	376.82	108.55	1.34	0.09	0.75	392.89	1.09	1.88	65.70	3.32	171.57	1.37	904.26	4.52	392.89	2.76
45	288.16	88.04	1.34	0.11	0.82	391.44	1.03	1.72	66.63	3.33	171.42	1.37	902.50	4.52	391.44	2.75
60	230.17	74.01	2.45	0.21	0.97	768.01	1.06	1.62	1492.19	2.67	-13.79	1.10	901.23	3.62	768.01	2.20
75	189.36	63.77	2.45	0.32	1.00	768.71	1.05	1.55	1494.59	2.26	-13.94	0.93	902.83	3.06	768.71	1.87
90	159.24	55.93	2.53	0.38	1.00	807.66	1.16	1.49	-922.39	2.15	269.95	0.88	-63.93	2.90	807.66	1.77
105	136.25	49.73	2.53	0.43	1.00	806.23	1.18	1.45	-921.61	2.06	269.22	0.85	-65.11	2.77	806.23	1.69
120	118.23	44.71	2.53	0.48	1.00	804.41	1.16	1.42	-920.68	2.00	268.03	0.82	-66.32	2.70	804.41	1.64
135	103.79	40.56	2.53	0.50	1.00	803.15	1.21	1.40	-919.93	1.95	267.33	0.84	-67.16	2.76	803.15	1.68
150	92.02	37.08	2.53	0.56	1.00	802.03	1.28	1.37	-919.00	1.95	266.99	0.80	-67.80	2.62	802.03	1.59
165	82.28	34.12	2.53	0.61	1.00	801.71	1.36	1.36	-919.10	1.89	266.69	0.78	-68.39	2.53	801.71	1.54
180	74.12	31.56	2.53	0.66	1.00	801.21	1.41	1.34	-918.98	1.79	266.54	0.74	-69.24	2.39	801.21	1.45
195	67.19	29.35	2.53	0.71	1.00	800.60	1.48	1.32	-918.92	1.70	266.41	0.70	-70.54	2.26	800.60	1.37
210	61.26	27.40	2.53	0.76	1.00	799.79	1.52	1.31	-918.79	1.62	266.12	0.66	-71.99	2.15	799.79	1.31
225	56.13	25.69	2.53	0.80	1.00	799.08	1.63	1.30	-918.58	1.54	265.95	0.63	-73.19	2.05	799.08	1.24
240	51.67	24.16	2.53	0.84	1.00	798.61	1.56	1.29	-918.89	1.46	265.63	0.60	-74.55	1.94	798.61	1.18
255	47.76	22.79	2.53	0.88	1.00	798.30	1.45	1.28	-919.57	1.41	265.31	0.58	-76.21	1.87	798.30	1.13
270	44.30	21.57	2.53	0.90	1.00	798.13	1.32	1.27	-920.58	1.38	264.90	0.57	-78.01	1.83	798.13	1.11
285	41.24	20.46	2.53	0.90	1.00	798.01	1.21	1.26	-921.66	1.42	264.60	0.58	-79.99	1.87	798.01	1.14
300	38.51	19.45	2.53	0.92	1.00	797.85	1.12	1.26	-922.66	1.41	264.38	0.58	-82.01	1.85	797.85	1.12
315	36.06	18.53	2.53	0.93	1.00	797.57	1.02	1.25	-923.75	1.40	264.00	0.58	-84.30	1.84	797.57	1.11
330	33.85	17.69	0.00	0.94	1.00	4.17	1.10	1.24	-8.27	1.38	-4.79	0.57	1.76	1.81	4.17	1.09
345	31.85	16.92	0.00	0.96	1.00	4.42	1.23	1.23	-8.88	1.36	-4.79	0.56	1.24	1.79	4.42	1.08
360	30.05	16.21	0.00	0.97	1.00	4.66	1.33	1.23	-9.26	1.34	-4.61	0.55	0.90	1.75	4.66	1.06
375	28.40	15.56	0.00	0.97	1.00	4.89	1.40	1.23	-9.43	1.36	-4.33	0.56	0.73	1.77	4.89	1.07
390	26.89	14.95	0.00	0.98	1.00	4.86	1.48	1.22	-9.41	1.36	-4.07	0.56	0.32	1.76	4.86	1.07
405	25.51	14.38	0.00	0.98	1.00	4.75	1.61	1.22	-9.49	1.34	-3.99	0.55	-0.24	1.74	4.75	1.05
420	24.25	13.86	0.00	0.99	1.00	4.61	1.74	1.21	-9.56	1.33	-3.94	0.54	-0.79	1.72	4.61	1.04
435	23.08	13.37	0.00	0.99	1.00	4.66	1.80	1.21	-9.85	1.31	-3.99	0.54	-1.15	1.70	4.66	1.03
450	22.00	12.91	0.00	0.99	1.00	4.73	1.84	1.21	-10.16	1.29	-4.04	0.53	-1.48	1.67	4.73	1.01
465	21.00	12.48	0.00	0.99	1.00	4.70	1.85	1.20	-10.14	1.31	-3.93	0.54	-1.68	1.69	4.70	1.02
480	20.08	12.08	0.00	1.00	1.00	4.54	1.91	1.20	-9.95	1.30	-3.85	0.53	-1.88	1.67	4.54	1.01
495	19.22	11.70	0.00	1.00	1.00	4.23	1.97	1.20	-9.54	1.29	-3.70	0.53	-2.07	1.66	4.23	1.00
510	18.41	11.34	0.00	1.00	1.00	4.10	1.95	1.19	-9.03	1.32	-3.37	0.54	-1.91	1.70	4.10	1.02
525	17.67	11.01	0.00	1.00	1.00	4.09	1.96	1.19	-8.62	1.33	-3.05	0.55	-1.62	1.70	4.09	1.02
540	16.97	10.69	0.00	1.00	1.00	3.98	1.98	1.19	-8.06	1.33	-2.72	0.55	-1.28	1.70	3.98	1.02
555	16.31	10.39	0.00	1.00	1.00	3.81	2.00	1.18	-7.49	1.32	-2.45	0.54	-1.02	1.68	3.81	1.01
570	15.70	10.10	0.00	1.00	1.00	3.60	1.98	1.18	-6.80	1.32	-2.09	0.54	-0.76	1.68	3.60	1.01
585	15.12	9.83	0.00	1.00	1.00	3.39	1.96	1.18	-6.10	1.33	-1.69	0.55	-0.52	1.68	3.39	1.01
600	14.57	9.57	0.00	1.00	1.00	3.10	2.03	1.18	-5.52	1.31	-1.47	0.54	-0.46	1.66	3.10	1.00
615	14.06	9.33	0.00	1.00	1.00	2.79	2.12	1.17	-4.96	1.29	-1.36	0.53	-0.35	1.64	2.79	0.98
630	13.58	9.10	0.00	1.00	1.00	2.55	2.25	1.17	-4.65	1.27	-1.32	0.52	-0.43	1.61	2.55	0.97
645	13.12	8.87	0.00	1.00	1.00	2.47	2.32	1.17	-4.55	1.26	-1.24	0.52	-0.57	1.58	2.47	0.95
660	12.69	8.66	0.00	1.00	1.00	2.35	2.40	1.17	-4.47	1.24	-1.23	0.51	-0.73	1.56	2.35	0.94
675	12.28	8.46	0.00	1.00	1.00	2.13	2.49	1.17	-4.18	1.22	-1.20	0.50	-0.78	1.54	2.13	0.92
690	11.89	8.27	0.00	1.00	1.00	1.89	2.59	1.16	-3.75	1.20	-1.10	0.50	-0.75	1.51	1.89	0.91
705	11.53	8.08	0.00	1.00	1.00	1.57	2.69	1.16	-3.33	1.19	-1.06	0.49	-0.84	1.49	1.57	0.89
720	11.18	7.90	0.00	1.00	1.00	1.35	2.80	1.16	-3.02	1.18	-1.02	0.48	-0.85	1.47	1.35	0.88
735	10.84	7.73	0.00	1.00	1.00	1.16	2.90	1.16	-2.96	1.16	-1.03	0.48	-0.92	1.45	1.28	0.87
750	10.53	7.57	0.00	1.00	1.00	1.14	3.02	1.16	-2.84	1.15	-1.07	0.47	-0.98	1.43	1.14	0.86
765	10.23	7.41	0.00	1.00	1.00	0.93	3.15	1.16	-2.62	1.14	-1.12	0.47	-1.04	1.41	0.93	0.85
780	9.94	7.26	0.00	1.00	1.00	0.70	3.28	1.15	-2.36	1.13	-1.17	0.46	-1.05	1.40	0.70	0.84
795	9.66	7.12	0.00	1.00	1.00	0.52	3.38	1.15	-2.24	1.13	-1.29	0.46	-1.11	1.40	0.52	0.84
810	9.40	6.98	0.00	1.00	1.00	0.34	3.46	1.15	-1.98	1.12	-1.35	0.46	-1.01	1.38	0.34	0.83
825	9.15	6.85	0.00	1.00	1.00	0.20	3.53	1.15	-1.76	1.11	-1.37	0.46	-0.91	1.36	0.20	0.82
840	8.91	6.72	0.00	1.00	1.00	0.09	3.61	1.15	-1.59	1.09	-1.41	0.45	-0.80	1.35	0.09	0.81
855	8.68	6.59	0.00	1.00	1.00	0.03	3.68	1.15	-1.38	1.08	-1.43	0.45	-0.68	1.33	0.03	0.80
870	8.46	6.47	0.00	1.00	1.00	0.09	3.75	1.15	-1.30	1.08	-1.48	0.44	-0.63	1.32	0.09	0.79
885	8.25	6.36	0.00	1.00	1.00	0.19	3.83	1.14	-1.14	1.07	-1.51	0.44	-0.54	1.31	0.19	0.78
900	8.05	6.24	0.00	1.00	1.00	0.28	3.92	1.14	-0.94	1.06	-1.48	0.44	-0.44	1.29	0.28	0.77
915	7.85	6.14	0.00	1.00	1.00	0.34	3.96	1.14	-0.78	1.04	-1.46	0.43	-0.28	1.27	0.34	0.76
930	7.67	6.03	0.00	1.00	1.00	0.44	3.99	1.14	-0.65	1.03	-1.49	0.43	-0.24	1.26	0.44	0.75
945	7.49	5.93	0.00	1.00	1.00	0.60	4.05	1.14	-0.60	1.02	-1.49	0.42	-0.15	1.24	0.60	0.74
960	7.30	5.80	0.00	1.00	1.00	0.80	4.10	1.14	-0.60	1.03	-1.49	0.42	-0.15	1.24	0.80	0.73
975	7.12	5.67	0.00	1.00	1.00	1.00	4.15	1.14	-0.60	1.03	-1.49	0.42	-0.15	1.24	1.00	0.

Ek 9 Ek 7'deki Bilgiler ile Türetilen Dosyaların Gerçek BFB'leri Ve Bütün Epoklar Kullanılarak Elde Edilen DD-BFB'leri

“12__215a.97g”

SMLTN : 2002.01.01		TRUE AMBIGUITY FILE		2002-07-15 14:48:40		FILE TYPE
12		ORHNKRT				PGM / RUN BY / DATE
ORHNKRT		ZKU				MARKER NAME
4104747.8140		2562977.9900		4142814.7390		OBSERVER / AGENCY
0.1120		0.0000		0.0000		APPROX POSITION XYZ
1997		8		3		ANTENNA: DELTA H/E/N
		13		55		TIME OF FIRST OBS
				0.000000		END OF HEADER
16		120309731		93747835		
14		108794078		84774601		
29		107083817		83441931		
25		115981855		90375465		
15		107108265		83460981		
7		125296654		97633746		

“4__215a.97g”

SMLTN : 2002.01.01		TRUE AMBIGUITY FILE		2002-07-18 21:37:43		FILE TYPE
4		ORHNKRT				PGM / RUN BY / DATE
ORHNKRT		ZKU				MARKER NAME
4097250.5880		2568554.1680		4146698.1650		OBSERVER / AGENCY
0.1130		0.0000		0.0000		APPROX POSITION XYZ
1997		8		3		ANTENNA: DELTA H/E/N
		13		55		TIME OF FIRST OBS
				0.000000		END OF HEADER
16		120694541		94047687		
14		109152362		85053783		
29		107427686		83709881		
25		116299974		90623351		
15		107468536		83741712		
7		125672425		97926554		

“12__215a.97d”

FrANA : 2002.01.01		TRUE DD AMBIGUITY FILE		2002-07-18 21:39:01		FILE TYPE
12 --> 4		ORHNKRT				PGM / RUN BY / DATE
ORHNKRT		ZKU				MARKER NAMES
-7497.2269		5576.1780		3883.4251		OBSERVER / AGENCY
1997		8		3		RELATIVE POSITION XYZ
		13		55		TIME OF FIRST OBS
				0.000000		END OF HEADER
16	14	26521	20667			
16	29	40731	31739			
16	25	66691	51967			
16	15	24497	19089			
16	7	9038	7044			

“4__215a.97d”

TRUE DD AMBIGUITY FILE	FILE TYPE
------------------------	-----------

FrANA : 2002.01.01 ORHNRKT

2002-07-18 21:39:01 PGM / RUN BY / DATE

4 --> 12

MARKER NAMES

ORHNRKT

ZKU

OBSERVER / AGENCY

7497.2269

-5576.1780

-3883.4251

RELATIVE POSITION XYZ

1997

8

3

13

55

0.000000

TIME OF FIRST OBS

END OF HEADER

16 14

-26521

-20667

16 29

-40731

-31739

16 25

-66691

-51967

16 15

-24497

-19089

16 7

-9038

-7044

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 14.02.1967

Doğum yeri İstanbul

Lise 1981-1985 Vakfıkebir Lisesi, Vakfıkebir-Trabzon.

Lisans 1987-1991 Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü.

Yüksek Lisans 1992-1996 Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı ve Programı.

Doktora 1996-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı ve Programı.

Çalıştığı kurumlar

1992-1992 Kiska İnşaat ve Müteahhitlik Limitet Şirketi, Trabzon.

1995-1995 Gözlem Mühendislik Müteahhitlik Planlama ve Ticaret Limitet Şirketi, Ankara.

1996-1999 ZKÜ Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi, Zonguldak.

1999-Devam ediyor ZKÜ Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde Öğretim Görevlisi, Zonguldak.