

33769

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GPS ÖLÇME SÜRESİNİ KISALTMA AMAÇLI

YÖNTEM GELİŞTİRME

Hrt. Yük. Müh. Ertan GÖKALP

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"Doktor"

Ünvanı Verilmesi için Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01.08.1994

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 17.02.1995

Tezin Danışmanı : Prof. Dr. Gürol BANGER

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Türkay TÜDEŞ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Tevfik AYAN

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN

Temmuz 1994

TRABZON

T.C. T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
TRABZON MERKEZİ

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Programı, Jeodezi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmada, GPS (Global Positioning System) ölçme süresini kısaltma ve GPS ile deformasyon izleme amaçlı yöntem ve yazılım geliştirilmiştir. Çalışma, doktora başladığım University of Newcastle Surveying Department 'nında başlamış ve KTÜ 'ye dönünceye kadar oradaki danışmanım Prof. Dr. Paul Cross tarafından yönetilmiştir. Kendisine yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma, KTÜ 'de aynı konu üzerine devam etmiştir. Çalışmam süresince değerli katkıları ile bana her konuda destek olup, yardım ve ilgisini esirgemeyen, beni yönlendiren sayın Doç. Dr. Celalettin Karaali 'ye değerli önerileriyle katkıda bulunan tez danışmanım sayın Prof. Dr. Gürol Banger 'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmam süresince büyük özveride bulunan eşim Sevinç Gökalp 'e teşekkür ederim.

Trabzon, Temmuz 1994

Ertan GÖKALP

İÇİNDEKİLER

TÜRKÇE ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
TABLO LİSTESİ	X
SEMBOL LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı ve Amacı	2
1.2. Geliştirilen Yöntem	2
1.3. Tezin Adımları	4
2. GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS)	6
2.1. GPS 'e Genel Bakış ve Tanıtım	8
2.2. GPS Uyduları	8
2.3. Yer Uydu İzleme ve Kontrol İstasyonları	9
2.4. Kullanıcılar	10
2.4.1. GPS Alıcısı	10
2.5. GPS Uydusu Sinyal Yapısı	10
2.6. GPS 'de Kullanılan Referans Sistemleri	12
2.6.1. Koordinat Sistemi	12
2.6.2. Zaman Sistemi	14
2.7. GPS Uydularının Konumlarının Belirlenmesi	14
2.7.1. Kepler Hareketleri	14
2.7.2. Kepler Yörünge Elemanları	15
2.7.3. Uydu Koordinatlarının Hesaplanması	17
2.8. GPS 'de Hata Kaynakları	19
2.8.1. Uyduya Bağlı Hatalar	20
2.8.2. Alıcıya Bağlı Hatalar	21
2.8.3. Ölçüye Bağlı Hatalar	22
2.8.3.1. İyonosferik Gecikme Hatası	22

2.8.3.2. Troposferik Gecikme Hatası	23
2.8.3.3. Tam Sayı Faz Belirsizliğinin Belirlenme Hatası	23
2.9. GPS 'in Uygulama Alanları	24

3. GPS GÖZLEM TÜRLERİ VE KONUM BELİRLEMEDE

KULLANILAN YÖNTEM VE TEKNİKLER	26
3.1. GPS ile Konum Belirlemede Gözlem Türleri	27
3.1.1. Kod Psodyo Uzunluk Ölçüleri	27
3.1.2. Taşıyıcı Dalga Faz Ölçümleri	29
3.1.3. Kod Faz Ölçüleri	32
3.1.4. Doppler Ölçüleri	33
3.2. GPS Faz Ölçüleri ile Konum Belirlemede Kullanılan Matematiksel Modeller	34
3.2.1. GPS Faz Ölçüleri ile Rölatif Konum Belirleme	35
3.2.1.1. Bir Kez Fark Alınmış (Single Difference) Matematiksel Model	37
3.2.1.2. İki Kez Fark Alınmış (Double Difference) Matematiksel Model	39
3.2.1.3. Üç Kez Fark Alınmış (Triple Difference) Matematiksel Model	40
3.3. Taşıyıcı Dalga Faz Ölçümlerindeki N (Tam Sayı Faz Bilinmeyen) nin Belirlenmesi	41
3.3.1. Tek Bir Taşıyıcı Dalga Faz Sinyali Kullanarak N 'nin Çözülmesi	42
3.3.2. Çift Taşıyıcı Dalga Faz Sinyali Kullanarak N 'nin Çözülmesi	43
3.3.3. Çift Taşıyıcı Dalga Faz Sinyali ve Kod Kullanarak N 'nin Çözümü	44
3.3.4. Araştırma Tekniği Yardımıyla N 'nin Çözümü	44
3.3.5. Faz Belirsizliği Fonksiyon Yöntemi	46
3.3.6. Faz Belirsizliğinin Çözümünde En Hızlı Yaklaşım	47
3.3.7. Faz Belirsizliğinin Çözümünde Diğer Yöntemler	47

4. GPS İSTASYON NOKTALARININ KONUMLARININ GELİŞTİRİLEN YÖNTEM İLE BELİRLENMESİ	49
4.1. Tam Sayı Faz Bilinmeyen N 'nin Belirlenmesi	49
4.2. Alıcı Saat Hatalarının Hesaplanması	52
4.3. Atmosferik Etkilerin Hesaplanması	53
4.4. Uydu Koordinatlarının Hesabı	54
4.5. Faz Ölçülerinin ve Bunların Farklarının Ağırlıklarının Hesaplanması	55
4.5.1. Taşıyıcı Dalga Faz Ölçülerinin Korelasyonu	56
4.5.2. Bir Kez Fark Alınmış Faz Gözlemlerinin Korelasyonu	57
4.5.3. İki Kez Fark Alınmış Faz Gözlemlerinin Korelasyonu	59
4.6. Yapı (Dizayn) Matrisinin ve Dengeleme Modelinin Oluşturulması	60
5. ÇALIŞMA İÇİN GELİŞTİRİLEN YAZILIMININ TANITILMASI	66
5.1. Receiver Independent Exchange Format (RINEX)	67
5.2. RINEX Formatından NXF Formatına Dönüşüm	68
5.2.1. NXF Yazılımının Tanıtımı	68
5.2.2. NXF Yazılımında Kullanılan Alt Programlar	68
5.2.3. NXF Formatının Açıklanması	71
5.3. NXF Formatından NDDXF Formatına Dönüşüm	73
5.3.1. NDDXF Yazılımının Tanıtımı	73
5.3.2. NDDXF Yazılımında Kullanılan Alt Programlar	74
5.3.3. NDDXF Formatının Açıklanması	77
5.4. DDGPS Yazılımının Tanıtımı	80
5.4.1. DDGPS Yazılımında Kullanılan Alt Programlar	80
6. İRDELEMELER	84
6.1. Uydu Saat Hatasının GPS Ölçülerine Etkisinin İrdelenmesi	84
6.2. Alıcı Saat Hatasının GPS Ölçülerine Etkisinin İrdelenmesi	86
6.2.1. Alıcı Saat Hatası 1. Teriminin İrdelenmesi	89
6.2.2. Alıcı Saat Hatası 2. Teriminin İrdelenmesi	91
6.3. Troposferin GPS Ölçülerine Etkisinin İrdelenmesi	93
6.4. N Sayısının Hesaplanması ve Sabitleştirilmesinin İrdelenmesi	95
6.5. Geliştirilen Yöntemin Test Edilmesi: Değerlendirmeler	99

7. SONUÇ VE ÖNERİLER	111
8. KAYNAKLAR	114
9. EKLER	121
10. ÖZGEÇMİŞ	124



ÖZET

GPS Ölçme Süresini Kısaltma Amaçlı Yöntem Geliştirme

GPS sisteminin faz ölçüleri kullanmak suretiyle mm seviyesinde duyarlılığa sahip olması ve nokta konumlarını üç boyutlu olarak aynı anda belirlemesi sistemin jeodezik ölçme amaçlı kullanımını büyük ölçüde arttırmıştır. Fakat standart GPS yöntemleri kullanarak, jeodezik ölçme çalışmalarından biri olan deformasyon izlemede bu sistemin kullanımı uygun olmayabilir. Çünkü deformasyon ölçmelerinin periyodik olma gereği, arazideki ölçme süresini arttıracak yönde etkilemektedir.

Bu çalışmada, arazideki ölçüm süresini minimuma indirecek ve GPS 'den alınabilecek maksimum duyarlılığı verebilen bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemde iki kez fark alınmış GPS faz ölçüleri kullanılmıştır. Ölçüm süresinin uzamasını en fazla etkileyen nedenlerden biri olan N tam sayı faz bilinmeyeninin belirlenmesi bu çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. N sayısı, standart GPS yöntemleri veya yersel yöntemlerden elde edilen nokta konumları kullanılarak belirlenebilir. Çalışmanın başlangıç noktası elde edilen bu koordinatlardır. Daha sonraki ölçümlerde, geliştirilen yöntem ve buna paralel olarak üretilen yazılım kullanılarak nokta konumları belirlenmektedir.

Çalışma sonucunda, ağdaki bir kenarın ölçüm süresi bir kaç dakika seviyesine indirilmiştir. Test için 4 istasyon noktasında kısa kenarlardan oluşan bir GPS ağına ölçüleri değerlendirilmiştir. Yöntem, baraj, köprü gibi mühendislik yapılarının deformasyonunu izleme amaçlı kurulan kısa kenarlı ağların (kenar uzunluğu < 10 km) ölçümü için geliştirildiğinden yöntem içerisindeki modelde iyonosferik etki ihmal edilmiştir. Yöntemden alınan sonuçlar, GPS ölçü değerlendirmelerinde yaygın kullanılan Bernese yazılımından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bernese yazılımı ile ölçülerin tümünün (yaklaşık 2-3 saat) kullanılmasıyla belirlenen koordinatlara, aynı ölçülerin geliştirilen yöntemle bir kaç dakikalık kısmı işleme sokularak bulunan koordinatlar mm seviyesinde uyumuştur.

Anahtar Kelimeler : GPS (Global Positioning System), Deformasyon İzleme, N (GPS faz ölçülerindeki tam sayı faz bilinmeyeni).

SUMMARY

Developing a Method for Reducing GPS Occupation times

Use of GPS in deformation monitoring is rapidly increasing due to its high accuracy and handling three dimensional coordinates at the same time. But using standard GPS methods in deformation monitoring is not economical because of its requirement of a long period of field measurement time. Especially, continuity or periodicity in measurements effects staying time at the field and economy at the negative way.

In this research, a method and software are developed in order to reduce field measurement time to minumum and getting maximum accuracy which can be achived from GPS. On this method, double difference GPS phase measurements are used. Focus of research is determination of N (Integer phase ambiguities) which is the most effective factor causes field measurements longer. N can be determined using coordinates of the points which are measured standard GPS or terresteerial methods. The starting point of this research is these known coordinates. At the subsequent measurements, point cordinates will be determined by developed method and software which is running Quick C environment in PC's.

In this research, period of measuring of a baseline is reduced to level of several minutes. This method can be used for networks whose baselines shorter than 10 km. In order to test methodology and developed software, a network with four point are processed. Testing results showed that using Bernese software and whole of the observations (about 2-3 hours) determined coordinates are reached an agreement of level of millimeter with using the developed method and software with 2-3 minutes observations of all.

Key Words: GPS (Global Positioning System), Deformation monitoring, N (Integer phase ambiguities).

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. GPS Uydu Sinyallerinin Şematik Gösterimi	12
Şekil 2. Kartezyen ve Elipsoidal Koordinatlar	13
Şekil 3. Anomalilerin Şematik Gösterimi	15
Şekil 4. Kepler Yörünge Parametreleri	16
Şekil 5. NXF Yazılımının İşlem Şeması	70
Şekil 6. NDDXF Yazılımının İşlem Şeması	75
Şekil 7. DDGPS Yazılımının İşlem Şeması	81
Şekil 8. Test Ağı	99



TABLO LİSTESİ

Tablo 1. WGS-84 Elipsoidinin Parametreleri	13
Tablo 2. Kepler Yörünge Parametreleri	16
Tablo 3. NXF Formatındaki Sonuç Çıktısının Örneği	71
Tablo 4. NXF Formatındaki Sonuç Çıktısının Örneğinin Açıklaması	72
Tablo 5. NXFTODD.INI Örneği	77
Tablo 6. NDDXF Formatındaki Sonuç Çıktısının Örneği	78
Tablo 7. NDDXF Formatındaki Sonuç Çıktısının Örneğinin Açıklaması	79
Tablo 8. DDTODGPS.INI Örneği	83
Tablo 9. Uydu Saat Hatası İrdeleme Örneği	86
Tablo 10. Alıcı Saat Hatası İrdeleme Örneği	88
Tablo 11. Alıcı Saat Hatası 1. Terim İrdeleme Örneği-I	89
Tablo 12. Alıcı Saat Hatası 1. Terim İrdeleme Örneği-II	90
Tablo 13. Alıcı Saat Hatası 2. Terim İrdeleme Örneği-I	91
Tablo 14. Alıcı Saat Hatası 2. Terim İrdeleme Örneği-II	92
Tablo 15. Troposferik Etkinin İrdelenmesi-I	94
Tablo 16. Troposferik Etkinin İrdelenmesi-II	94
Tablo 17. 0004-0007 Kenarı İçin N Sayısının Hesaplanması	95
Tablo 18. 0004-0008 Kenarı İçin Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması Örneği	98
Tablo 19. 0004-0011 Kenarı İçin Ana Grup ve Alt Gruplardan Belirlenen Koordinatlar ve Duyarlıkları - Ana Grup Koordinatlarının Alt Grup Koordinatlarıyla İstatistik Olarak Karşılaştırılması	101
Tablo 20. 0004-0008 Kenarı İçin Ana Grup ve Alt Gruplardan Belirlenen Koordinatlar ve Duyarlıkları - Ana Grup Koordinatlarının Alt Grup Koordinatlarıyla İstatistik Olarak Karşılaştırılması	102

Tablo 21. 0004-0007 Kenarı İçin Ana Grup ve Alt Gruplardan Belirlenen Koordinatlar ve Duyarlıkları - Ana Grup Koordinatlarının Alt Grup Koordinatlarıyla İstatistik Olarak Karşılaştırılması	103
Tablo 22. Alt Grupların Duyarlık Yönünden İncelenmesi	104
Tablo 23. 0004-0007 Kenarı İçin Ana Grubun Alt Gruplar İle Duyarlık Yönünden Karşılaştırılması	107
Tablo 24. 0004-0007 Kenarı İçin Yazılımların Karşılaştırılması	107
Tablo 25. 0004-0011 Kenarı İçin Ana Grubun Alt Gruplar İle Duyarlık Yönünden Karşılaştırılması	108
Tablo 26. 0004-0011 Kenarı İçin Yazılımların Karşılaştırılması	108
Tablo 27. 0004-0008 Kenarı İçin Ana Grubun Alt Gruplar İle Duyarlık Yönünden Karşılaştırılması	109
Tablo 28. 0004-0008 Kenarı İçin Yazılımların Karşılaştırılması	109



SEMBOL LİSTESİ

GPS	: Global Positioning System(Global Konum Belirleme Sistemi)
TRANSIT	: GPS 'den önce konum belirlemek amacıyla oluşturulmuş uydu sistemi
X,Y,Z	: Kartezyen dik kordinatlar
ϕ, λ, h	: Elipsoidal Koordinatlar
C/A, P, Y	: GPS 'de kullanılan kod ölçüleri
L1, L2	: GPS 'de kullanılan taşıyıcı sinyaller
f_0	: Ana frekans
PRN	: Pseudo Random Noise
G(t)	: C/A kod
A_t, B_t	: Yayınlanan iki kez kareleri alınmış taşıyıcı sinyalin genlikleri
D(t)	: Uydu ile ilgili veriler
ξ_1	: L1 sinyalinin açılal frekansı
t	: Zaman
ϵ	: Parazit
C_t	: Sinyalin genliği
ξ_2	: L2 sinyalinin açılal frekansı
T	: Uydu periyodu
μ	: Dünyanın gravite sabiti
M(t)	: Ortalama anomali
E(t)	: Eksentrik anomali
f(t)	: Gerçek anomali
e	: Eksentrisite
Δn	: Hesaplanmış ortalama hareket n_0 'in düzeltmesi
t_{oe}	: GPS haftasının başlangıcından itibaren geçen zaman (referans zamanı, birimi sn dir).
M_0	: t_{oe} 'deki ortalama anomali

i_o	: t_{oe} 'deki ekvator düzlemine göre yörünge düzleminin eğim açısı
Ω_o	: t_{oe} 'deki düğüm noktasının rektazansiyonu
ω	: Perigee noktasının argumanı
di/dt	: Zaman içerisinde eğim açısının değişme oranı
$d\Omega/dt$: Zaman içerisinde rektazansiyonun değişme oranı
C_{uc}, C_{us}	: Enlem (u) in argumanı için sin ve cos genliklerinin düzeltme terimleri
C_{rc}, C_{rs}	: Yermerkezli yarıçap (r) için cos ve sin genliklerinin düzeltme terimleri
C_{ic}, C_{is}	: Yörünge düzleminin eğim açısı (i) nin cos ve sin genliklerinin düzeltme terimleri
t_k	: Referans zamanı t_{oe} 'den itibaren geçen zaman
a_o	: Uydu saati zaman kayıklığı
a_1	: Kesirli frekans kayıklığı
a_2	: Kesirli frekans yığılması (dirift)
DTC	: Dry Temperature Correction (Kuru Sıcaklık Düzeltmesi)
P_o	: Atmosfer basıncı
t_A	: Uydu tarafından gönderilen sinyalin alıcı tarafından alındığında alıcıda okunan saat değeri
t^U	: Sinyalin uydudan gönderildiğinde, uyduda okunan saat değeri
δt_A	: GPS sistem zamanına göre alıcının saatindeki gecikme veya alıcı saat hatası
δt^U	: GPS sistem zamanına göre uydu saatindeki gecikme veya uydu saat hatası
c	: Işık hızı
ρ	: Uydu ile alıcı arasındaki gerçek uzunluktur.
d_{iyon}	: İyonosferik refraksiyon hatası
d_{trop}	: Troposferik refraksiyon hatası
r_p	: Psoydo uzunluk ölçülerindeki parazit dir.
$\phi^U(t^U)$: GPS uydusunun osilatöründe t^U anında üretilen f^U frekansında yayılan taşıyıcı dalganın fazı
$\phi_A(t)$: Alıcı içerisinde t anında f_A frekansında üretilen faz
$\Delta\delta$: $\delta t^U - \delta t_A$
N	: GPS faz ölçülerindeki tam sayı faz bilinmeyen

λ	: Sinyalin dalga boyu
v_p	: Uydunun radyal hızı
$dp / dt = \dot{p}$: Zamana göre uzunluğun değişimidir.
Δf	: Alınan ve yayınlanan frekans arasındaki fark
$D_A^U (t_1, t_2)$: t_1, t_2 gibi ardışık iki an arasında alınan Doppler sayısıdır.
Φ_a^k	: Uydudan yayımlanan taşıyıcı sinyalin fazı ile alıcı içerisinde üretilen sinyalin fazları arasındaki fark
$\Phi^k (t_T)$: k uydusundan UTC zamanına göre t_T gönderme zamanında yayımlanan ve alıcı tarafından alınan taşıyıcı dalganın fazıdır
$\Phi_a (t_A)$: a alıcısı içerisinde t_A lokal zamanında referans frekansı ile üretilen sinyalin fazıdır
$\tau (t_T)$: Noktanın konumuna bağlı zamandaki gecikme
Δ	: Bir kez fark alma sembolü
$\Delta\Delta$: İki kez fark alma sembolü
$\Delta\Phi_{ab}^k$: Aynı anda iki istasyon noktasından (a, b) k uydusuna yapılan taşıyıcı faz ölçülerinin farkı
$\Delta\Delta\Phi_{ab}^{kl}$: Aynı anda iki istasyon noktasından (a, b) k, l uydusuna yapılan taşıyıcı faz ölçülerinin farkları
$Z_{ab} (i), Z'_{ab} (i)$: Ortak saat hatası, Rölatif birikme hatası
SD	: Bir kez fark alınmış ölçüler için ölçü farkları matrisi operatörü
DD	: İki kez fark alınmış ölçüler için ölçü farkları matrisi operatörü
Q,A,I,v,W,x	: Sırasıyla; Varyans-kovaryans matrisi, Yapı matrisi, Ölçüler vektörü, Ağırlık matrisi, Bilinmeyenler vektörü
WGS-84	: GPS 'in referans aldığı koordinat sistemi
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format (Alıcıdan bağımsız veri formatı)
NDDXF	: Newcastle Double Difference Exchange Format (İki kez fark alınmış verilerden oluşan Newcastle veri formatı)
DDGPS	: Double Difference Global Positioning System (Çalışmada oluşturulan, iki kez fark alınmış faz ölçülerinden nokta konumlarını hesaplayan yazılımın adı)

1. GİRİŞ

GPS (Global Positioning System) ile yeryüzündeki jeodezik noktaların konumlarının belirlenmesi giderek yaygınlaşmaktadır. Gelecekte jeodezik yersel ölçmelerin büyük bir kısmının bu sistem ile yapılacağı düşünülmektedir. Çünkü bu sistem sayesinde ölçüler yersel sistemlere göre daha hızlı ve duyarlı bir şekilde yapılabilmektedir. Özellikle; noktaların konumlarını 3 boyutlu (X,Y,Z) veya (ϕ,λ,h) gerçek zaman içerisinde belirleyebilmesi, ayrıca her türlü hava şartlarında kullanılması ve noktaların birbirlerini görme zorunluluğunun olmaması bu sistemin jeodezik ölçülerde kullanılmasının en önemli nedenlerindedir.

GPS ile şimdiye kadar çok değişik uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bunlar genelde jeodezik ağların kurulup, geliştirilmesi, deformasyon ölçmeleri, hareketli cisimlerin konumlarının belirlenmesi, fotogrametrik çalışmalar ve her türlü konum belirleme işleri gibi sıralanabilir.

Deformasyon ölçmeleri, yeryüzündeki noktaların herhangi bir nedenle yer değiştirmelerinin belirlenmesi için yapılan ölçümlere denmektedir. Bu tür ölçülerin yapılması, noktaların konumlarının yer değiştirip değiştirmediğinin belirlenmesi, yeryüzünde bulunan mühendislik yapılarında ve çevresinde deformasyon sonucu oluşacak can ve mal kaybının en aza indirilmesi veya önlenmesi için gereklidir. Deformasyon ölçmeleri değişik ölçme teknik ve aletleri kullanılarak yapılabilir. Bu çalışmada ölçümler GPS sistemi kullanılarak yapılacaktır.

Taşıyıcı dalga GPS faz ölçüleri Φ_{L1} , Φ_{L2} ve C/A kod ölçüsü sayesinde yaklaşık 45 dakikalık ölçü seti ile standart GPS veri değerlendirme yazılımlarının kullanılarak, ağıdaki kenarlar değişik GPS alıcısı üreticilerine göre ortalama olarak X ve Y yönünde $5 \text{ mm} + 10^{-6} * S$, Z yönünde ise $10 \text{ mm} + 10^{-6} * S$ duyarlığında belirlenebilmektedir. Burada S km cinsinden kenar uzunluğudur.

1.1. Problemin Tanımı ve Amacı

GPS ile mühendislik yapılarındaki deformasyonun ölçülmesinin mümkün olduğu yukarı verilen GPS 'den elde edilebilecek duyarlıklardan görülmektedir. Çalışmada, deformasyon ölçülerinin en kısa zaman ve standart GPS yöntemleri ile elde edilebilen duyarlıkta yapılması problemi ele alınacaktır. Deformasyon ölçmelerinin jeodezik çalışmalarda çok önemli bir yer tutması ve özellikle mühendislik yapıları olarak adlandırılan baraj, köprü, santraller, petrol ve maden çıkarılan yerlerin deformasyona maruz kalıp kalmadığının belirlenmesi gerekliliği böyle bir problemin oluşmasının ana nedeni sayılabilir.

Genelde deformasyon ölçme çalışmaları yersel yöntemlerle yapılmaktadır. Fakat son zamanlarda GPS 'in gelişmesi ile GPS bu alanda çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çalışmalar özellikle ölçme işleminin yersel yöntemlerle veya standart GPS yöntemi ile çok zaman alması dolayısıyla arazideki çalışmaların uzamasına yol açmaktadır. Deformasyon ölçmelerinin sürekli veya periyodik olma gereği göz önünde bulundurulduğunda arazideki ölçme süresinin uzaması deformasyon izleme maliyetini olumsuz yönde etkileyecektir.

Böylece problem, standart yöntemlerle deformasyon izlemede arazideki ölçüm süresinin uzun olması ve bu sürenin çalışma sayesinde minumuma indirilmesi olarak genellenebilir.

Yukarıdaki problemin tanımından, çalışmanın amacı; standart GPS yöntemi ile uzun bir zamanda gerçekleştirilen ölçülerin, geliştirilen yöntem sayesinde kısa bir zaman içerisinde yapılması ve sonuçta aynı duyarlığın elde edilmesidir.

1.2. Geliştirilen Yöntem

Bu çalışmada genelde küçük çaplı deformasyon ağlarının (kenarları 10 km den küçük ağlar) ölçülmesi göz önünde bulundurulmuştur. Bu kısıtlamanın en büyük nedeni, bu yöntemin geliştirilmesinde GPS ölçülerini büyük çapta etkileyen atmosferik etkilerden biri olan iyonosferin modellenmemesi ve ihmal edilmesidir. Bu ise uydudan gönderilen

sinyallerin yer noktalarına gelirken kısa kenarlar için aynı yolu izlediği varsayımı ve ölçülerin farklarının alınması bu hatanın minimum veya yok olduğu varsayımına dayanmaktadır.

GPS ölçülerinin uzun süre tutmasının en önemli faktörü faz ölçülerinde bulunan N tam sayı faz bilinmeyeninin belirlenmesinde çok sayıda ölçüye ihtiyaç duyulmasıdır. N 'nin değeri değişik ölçme teknikleri sayesinde kısa sürede belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise nokta koordinatlarının bilinenler olarak girilmesi ile N değeri çok az ölçü kullanılarak belirlenmektedir.

Geliştirilen yöntemin çalışma ilkesi ise faz ölçümlerinde en önemli faktör olan N tam sayı faz bilinmeyeninin kısa bir sürede belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Bu ise şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Birinci olarak deformasyon ağının ölçümü standart GPS yöntemleri ile uzun ölçü periyodu kullanılmak suretiyle ölçülür ve uygun bir yazılımla değerlendirilir. İkinci kısımda geliştirilen yöntem kullanılmak suretiyle ilk ölçümlerden elde edilen koordinatlar başlangıç kabul edilmek üzere N sayısı kolayca belirlenir. N sayısının değeri başlangıçta ölçü noktalarının koordinatlarının cm mertebesinde bilinmesinden dolayı, iki kez fark alınmış faz ölçü denkleminde alıcı saat hatalarının, uydu koordinatlarının hesaplanması ve troposferin modellenmesi sonucu doğrudan elde edilir. Bu durumda yeni yapılmış faz ölçülerinde bilinmeyen sadece nokta koordinatlarıdır ve bunlar dengeleme sonucu bulunmaktadır. N sayısının kolayca belirlendiği bu yöntemde, yeni ölçülerin çok az olması durumunda bile geliştirilen yöntem kullanılmak suretiyle noktanın konumu duyarlı bir şekilde belirlenebilecektir. Daha sonraki deformasyon ölçmelerinde ise noktaların koordinatları bilindiğinden diğer standart GPS yazılımları kullanılmaksızın, geliştirilen yöntem ile çok kısa ölçüm periyodları kullanılarak noktaların konumları bu periyotdaki ölçülerle belirlenebilecektir. Bir önceki ölçüm periyodundan bulunan değerle son ölçümlerden bulunan değerlerin karşılaştırılması sonucu deformasyon belirlenecektir.

Geliştirilen yöntemin test edilmesi için Bernese yazılımı ile değerlendirilmiş ve koordinatları bulunmuş noktalardaki ölçümler ve koordinatlar kullanılmıştır. Kullanılan noktalar arasındaki mesafeler çok

kısa olup yaklaşık 3-10 m arasındadır. Bernese yazılımı GPS verilerini değerlendirmek amacıyla İsviçre 'nin Berne Üniversitesinde geliştirilmiş, GPS alanında çalışan kurumlar tarafından yaygın olarak kullanılan, araştırmaya yönelik çok kapsamlı bir yazılımdır.

Geliştirilen yöntem sayesinde standart GPS ölçmeleri kullanılmak üzere 4-5 uydu ile yaklaşık 45 dakika olan kısa kenarların (<10 km) ölçülmesi 2-3 dakika seviyesine indirilmiştir. Dolayısıyla arazideki ölçüm süresini büyük ölçüde azaltmıştır. Tabii ki bu durumda duyarlığında yüksek olması diğer bir deyişle standart GPS ölçüleri ile yapılan değerlendirmelerle eşdeğer olması gerekmektedir. Bu yöntem ile yapılan testler sonucu Bernese yazılımı ile verilen koordinatlara ve kenar uzunluklarına büyük bir uyuşum sağlanmıştır. Bu uyuşum miktarı (mm) seviyesinde olduğu değerlendirilmesi yapılan test ağında görülmüştür.

Yapılan testler sonucu yukarıda açıklandığı gibi yöntem başarılı sonuçlar vermiştir. Fakat çalışmada uydu sayısının önemi büyüktür ve uydu sayısı bir ölçüm periyodunda en az 4 olması gerekmektedir. Çünkü alıcı saat hatası ancak bu şekilde belirlenebilir.

1.3. Tezin Adımları

Tezin genel adımları şöyle sıralanabilir:

1. Bölüm: Tezin giriş kısmıdır.
2. Bölüm: Genel kavramların açıklandığı GPS konum belirleme sistemidir.
3. Bölüm: GPS gözlem türleri ve konum belirlemede kullanılan yöntem ve tekniklerin anlatıldığı ve literatür araştırmasının yapıldığı kısımdır.
4. Bölüm: Bu çalışma için geliştirilen yöntemin detaylı bir şekilde anlatıldığı GPS istasyon noktalarının konumlarının belirlenmesini anlatan kısımdır.

5. Bölüm: Geliştirilen yöntemin Quick C ortamında C programlama dilinde yazılan yazılımının detaylı bir şekilde açıklandığı kısımdır.

6. Bölüm: Genel irdeleme ve değerlendirmelerin yapıldığı GPS verileri kullanılmak suretiyle ölçülerdeki hataların ve bilinmeyenlerin belirlenmesini irdeleyen, ayrıca bir test ağında geliştirilen yöntem ve buna paralel olarak kodlanan yazılımın kullanılması sonucu elde edilen değerlerin verildiği, sonuçların yorumlandığı ve değerlendirildiği kısımdır.

7. Bölüm: Sonuç ve önerilerin verildiği, tezin sonuçlarının açıklandığı kısımdır.



2. GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS)

Dünya üzerindeki noktaların konumunu belirlemek amacıyla uydular 1957 yılından itibaren uzaya gönderilmektedir. Bu amaçla gönderilen uyduların oluşturduğu iki Amerikan navigasyon sistemi TRANSIT (Time Ranging and Sequential) ve GPS dir.

TRANSIT sistemi 1100 km yükseklikte, yaklaşık dairesel yörüngede yerleştirilmiş 7 uydudan oluşmaktadır. Bu sistem Amerikan askeri makamlarınca geliştirilmiş olup, öncelikle gemi ve uçakların konumlarını belirlemek amacını taşıyordu. Bu sistem daha sonraları sivil makamların kullanımına açılmış, sivil amaçlı navigasyon ve ölçme için kullanılmaya başlanmıştır. Bugün birçok küçük gemi ve uçak bu sistemi kullanarak konumunu belirlemektedir.

TRANSIT 1967 'den beri kullanılmaktadır. Bu sistemin jeodezi ve ölçme mühendisliğinin bazı dallarında büyük etkisi olmuştur. Özellikle yersel jeodezik sistemlerin güçlendirilmesi ve dünya merkezli yıldız yöneltmeli sistemlerin, yersel sistemlerle birleştirilmesi amacıyla kullanılmıştır [1]. TRANSIT sistemi ile Amerikan askeri makamlarının yaptığı deneyler sonucunda bu sistem sayesinde duyarlı uydu almanağı kullanarak, gözlemlerin azaltılması (iyileştirilmesi) ve bir kaç gün nokta üzerinde gözlem sayesinde yaklaşık 1 m hassasiyet elde edilmiştir [2]. Ayrıca yaklaşık 30 cm duyarlık ile rölatif konum belirleme bu sistem ile sağlanabilir [3].

Global Konum Belirleme Sistemi, TRANSIT sisteminin yerine geçmek üzere 1973 yılı içerisinde ortaya atıldı. Bunun iki büyük nedeni vardı: Birincisi TRANSIT sisteminin yörüngesinin taradığı alan içerisinde büyük zaman farkları vardı, bu zaman içerisinde devamlı konum belirlemeyi sağlayamıyordu. İkinci problem, TRANSIT sistemin rölatif konum belirleme ve navigasyon duyarlığı oldukça düşük olmasıydı.

Devamlı global konum belirlemeyi sağlayabilmek için en az 4 uydunun her an uzay içerisinde elektronik olarak görünmesi için yetebilecek yeterli sayıda uyduyu içeren bir yörünge sistemi planlanarak GPS için geliştirildi. GPS sistemi, 21 tane eşit aralıklı, dünya yüzeyini tam tarayacak şekilde yörüngelendirilmiş, yaklaşık dairesel, yörüngeyi tamamlama süresi 12 yıldız saati olan ve yörüngeleri gök ekvator düzlemi ile 55° eğim açısı yapan uydulardan oluşan bir sistemdir. Bu sistem hakkındaki ayrıntılı bilgi daha ileriki konularda verilecektir.

GPS uyduları öncelikle kullanıcının bulunduğu alıcının yerleştirildiği noktanın konumunu bulmak amacıyla şekillendirilmiştir. Bu konum enlem, boylam ve yükseklik olarak adlandırılabilir. Yani noktanın konumunun belirlenmesi uydulara olan uzunlukları kullanarak geriden kestirme probleminin çözümüdür. Ayrıca navigasyon amacıyla, hareket eden bir cismin hızının belirlenmesi şarttır ve bu da Doppler prensibi kullanılarak yapılabilir. GPS uydularının hareket eden cisme göre rölatif hareketleri sonucunda, uydu tarafından gönderilen sinyal, alıcı tarafından alındığında değişmektedir. Bu Doppler değişimi, ölçülebilir ve rölatif radyal hızla orantılıdır. Uydunun radyal hızı belirli olduğundan, Doppler ölçülerini kullanarak, hareket eden cismin radyal hızı hesaplanabilir.

GPS sayesinde hertürlü hava şartlarında, 24 saat boyunca, GPS uydu sistemine bağlı olarak duyarlı bir şekilde navigasyon yapılabilecek ve sistem tamamen işler hale getirildiğinde tüm dünya üzerinde, her yerde ve her zaman sivil kullanıcılara da açık olarak, bir global koordinat sistemi içerisinde 3 boyutlu konum ve hız (konumun zamana göre türevi) belirlenebilecektir.

GPS sisteminde, ölçü noktalarının birbirini görmesi veya noktalar arasındaki uzaklıkta bir sınır arayışı yoktur. Fakat bu durumda her iki noktadan ortak uydunun görünmesi gerekmektedir. GPS yersel ölçme yöntemlerinin yerine kullanılabilir (yalnız tünel veya şehir merkezlerinde gökyüzünün tam olarak açık görülemediği yerlerde kullanılamaz). Yersel sistemlerdeki gibi uzunluk, açı vs. ölçümlerine gerek yoktur. Ayrıca üç boyutlu olarak bir noktanın konumu, rölatif veya mutlak olarak bir seferde belirlenebilir. Yersel sistemlerde olduğu gibi X, Y ayrı Z ayrı belirlenmez. Yersel sistemlere göre daha hızlı ve duyarlı sonuçlar vermektedir.

2.1. GPS 'e Genel Bakış ve Tanıtım

GPS, Amerikan savunma teşkilatı tarafından yönetilen Joint Program Office (JPO) adlı kurumun sorumluluğu altındadır. JPO bu sistemi 1973 yılında Amerikan savunma teşkilatının direktifleri doğrultusunda kurmak, geliştirmek, test etmek, veri toplamak ve aktif şekilde çalışan bir üç boyutlu konum belirleme sistemini haline getirmekle görevlendirilmiştir. Bunun sonucunda GPS sistemi oluşmuştur [2].

GPS sistemi genel olarak şöyle tanımlanabilir. " GPS Amerikan Savunma Teşkilatının geliştirmesi altında, askeri güçlerin konumlarını, hızlarını, zamanı bir ortak referans sistemi içerisinde, sürekli olarak, dünya üzerinde veya yakınında bulunan noktalardan duyarlı bir şekilde belirlemek ve askeri ihtiyaçları karşılamak üzere kurulmuş tüm hava şartlarında çalışabilen uzaya bağlı bir navigasyon sistemidir" [4].

GPS önceleri sadece askeri amaçlı kullanılmak üzere kurulmuştu. Fakat daha sonra sivillerin kullanımına açılmıştır. GPS sistemi üç kısımdan oluşmaktadır.

1. GPS uyduları ve yörüngeleri
2. Yer uydu izleme ve kontrol istasyonları
3. Kullanıcılar

2.2. GPS Uyduları

GPS uyduları, içerisinde radyo vericisi, atomik saat, bilgisayar ve sistemin çalışması için gerekli değişik türde yardımcı aletlerden oluşmuştur. Şimdiye kadar üç tür GPS uydusu planlanmıştır. Bunlar Blok I, Blok II ve Blok IIR uyduları olarak bilinmektedir. 11 adet Blok I uydusu 1978 ve 1985 yılları arasında imal edilip yörüngelere yerleştirilmiştir. Şu anda bu uydulardan 4 tanesi kullanımdadır. Blok I uydularının, Blok II uyduları ile en önemli farkı, Blok I uydularının gök ekvator düzlemiyle kendi yörüngesi arasındaki açı 63° iken Blok II uydularının 55° eğim açısına sahip oluşudur.

Ayrıca Blok I uydularının sinyalleri tüm kullanıcılar tarafından tamamen elde edilebilir. Fakat Blok II uydularının sinyallerinin bazıları sivil kullanıma kapalıdır. 28 adet Blok II uydusu üretilmekte ve bunlar ilk GPS yörünge düzenin oluşturulması için planlanmıştır [5]. Bunlardan 21 tanesi aktif 3 tanesi aktif yedek olarak yörüngeye yerleştirilecektir. Ayrıca Blok IIR uyduları imal edilmektedir. Blok IIR uyduları 1995 de yörüngeye yerleştirilecek, eskiyen ve bozulan uyduların yerine geçeceklerdir [6].

GPS yörünge düzeni 6 uydu yörünge düzleminden oluşturulmuş olup bu düzlemlerin gök ekvatoru ile yaptığı eğim açısı 55° dir. Yörünge düzlemleri komşu yörünge düzlemine göre 60° döndürülmüştür. İlbahar noktasına göre bu düzlemlerin birbirlerine uzaklığı 60° dir. Herbir yörünge düzleminde 4 uydu bulunmaktadır. GPS uydularının yörüngelerinin yerden yükseklikleri yaklaşık 20200 km olup, yörüngeler yaklaşık dairesel ve periyodları yaklaşık 12 yıldız saatidir. Bu uydu yörünge planı tamamlandığında dünyanın her yerinde, aynı anda ve 15° yükseklik açısının üzerinde olmak şartıyla 4 den 8 uyduya kadar ölçü yapılabilecektir. Güneş ve yıldız günü arasındaki farklılıktan dolayı GPS uyduları bir önceki güne göre 4 dakika 3.4 sn önce uzayda görünürler.

2.3. Yer Uydu İzleme ve Kontrol İstasyonları

Yer uydu izleme ve kontrol istasyonları; ana kontrol istasyonu, dünyanın değişik yerlerine yayılmış izleme istasyonları ve yer kontrol istasyonları olmak üzere 3 kısımda toplanmıştır.

Uydu izleme ve kontrol istasyonları 5 tanedir. İzleme istasyonlarının görevleri uyduların sinyallerini izleyerek onları kontrol etmek ve onların yörüngelerini tahmin etmektir. 5 istasyonun 3 ünden uydulara bilgi gönderilebilir, bu bilgiler; yeni almanak değerleri, uydu saat düzeltmesi ve diğer yayınlanması istenen mesajdır. Ana kontrol istasyonu diğer istasyonlardan bilgileri alarak işleme tabi tutar. Bu işlemler uydu almanağının hesabı ve saat düzeltmesi olduğu gibi uydu yörünge düzeltmeside olabilir. Ayrıca işlemeyen bir uydunun yedeği ile değişmesi ana kontrol istasyonunun görevidir.

2.4. Kullanıcılar

Kullanıcılar askeri ve sivil olmak üzere iki ana kısma ayrılırlar. GPS başlangıçta askeri amaçlı geliştirildiği için öncelikle askerler tarafından kullanılmıştır. Öyleki ABD 'de her bir askeri uçağın, geminin veya kara taşıtının ayrıca her bir askerin bir GPS alıcısı olması ve konumunu buna bağlı olarak belirlemesi öngörülmüştür [2]. Sivil kullanıcılar ABD kongresinin kararı ve başkanın istekleri doğrultusunda bu sistemi kullanmaya başlamışlardır. GPS sistemi sivil kullanıcılar tarafından çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bunlar şöyle sıralanabilir; Uzun kenar ölçmeleri, her tür arazi ve jeodezik kontrol ölçmeleri, fotogrametrik alımlarda, uçuş yönetimi ve kontrol, şehir yollarının belirlenmesi, balıkçılar vs.

2.4.1. GPS Alıcısı

GPS alıcısı; sinyal alıcısı ve sinyal işleme ünitelerinden oluşmuştur [7]. GPS alıcısının ana birimlerini; anten, radyo frekans bölümü, mikro işlemci, kontrol aletleri, veri yükleme kısmı, alıcı saati, güç veya enerji kaynağı oluşturmaktadır.

2.5. GPS Uydusu Sinyal Yapısı

GPS sinyali iki taşıyıcı ve bunlar üzerine modüle edilmiş C/A kod, P kod ve uydu ile ilgili yayınlanan mesajlardan oluşur. Her bir uydu konumlama için iki frekansta sinyal yayınlar. Bunlar L1 ve L2 olmak üzere adlandırılmış olup, bitişik ve daha önce söylendiği gibi değişik kod ve mesajlarla modüle edilmişlerdir. L1 taşıyıcısının frekansı 1575.42 MHz, L2 taşıyıcısının frekansı 1227.60 MHz dir. Her iki frekans ana frekans olan $f_0 = 10.23$ MHz den türetilmiştir ($L1 = 154 * f_0$, $L2 = 120 * f_0$). Ana frekans uyduda bulunan osilatör tarafından üretilmekte olup Blok II uyduları için bir gün müddetinde 10^{-13} de 1 kararlılığa sahiptir. Ana frekans f_0 , relativistik etkiyi dengeleyebilmek için yaklaşık 0.005 Hz istenerek azaltılmıştır ve 10.22999999545 MHz olarak uydu tarafından yayınlanmaktadır [8]. L1 ve L2 frekansları yaklaşık olarak sırasıyla 19 cm ve 24 cm dalga boyuna sahiptir.

GPS sinyalleri iki tane PRN kodu ile modüle edilmiştir. Bunlardan C/A kodu ardışık +1 ve -1 lerden oluşmuş bir kod olup, $f_0/10 = 1.023$ MHz frekansa sahiptir. C/A kodu kendisini 1 milisaniyede bir tekrar etmektedir. İkinci PRN kodu ise P kod olup, bu da başka bir ardışık sıralanan +1 ve -1 lerden oluşmakta ve $f_0 = 10.23$ MHz frekansa sahiptir. P kod 267 günde bir kendisini tekrar eder. Bu kodun dalga boyu uzunluğu 30 m ye karşılık gelmektedir. Bu kodlardan başka birde Y-kod vardır. Bu kod P koduna benzer ve P kodunun yerine kullanılabilir. Fakat P kodunu oluşturan eşitlik çok iyi bilinmesine ve herkese açık olmasına rağmen Y kodunu oluşturan eşitlik gizli tutulmakta ve bilinmemektedir. Y kod sadece bunu kullanmaya yetkili kişiler ve ABD askeri makamlarınca kullanılmaktadır. L1 taşıyıcısı C/A kod ve P kod veya Y kod tarafından modüle edilmiştir. L2 taşıyıcısı ise yalnızca P kod veya Y kod tarafından modüle edilmiştir.

L1 taşıyıcısı şu şekilde ifade edilmiştir [9].

$$L1(t) = A_t P(t) D(t) \cos(\xi_1 t + \varepsilon) + B_t G(t) D(t) \sin(\xi_1 t + \varepsilon) \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte:

$L1(t)$ = zamana bağlı L1 sinyali

$P(t)$ = P kod

$G(t)$ = C/A kod

A_t, B_t = Yayınlanan iki kez kareleri alınmış taşıyıcı sinyalin genlikleri

$D(t)$ = Uydu ile ilgili veriler

ξ_1 = L1 sinyalinin açısal frekansı

t = zaman

ε = Parazit ve osilatörde birikerek oluşan hatalar.

L2 taşıyıcısı ise aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

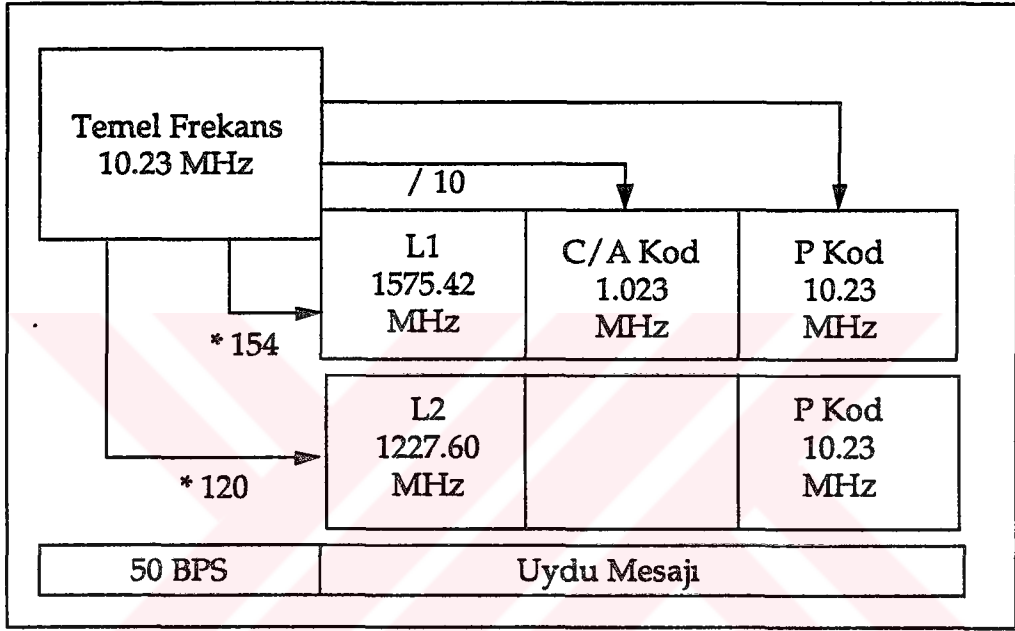
$$L2(t) = C_t P(t) D(t) \cos(\xi_2 t + \varepsilon) \quad (2)$$

$L2(t)$ = zamana bağlı L2 taşıyıcı sinyali

C_t = sinyalin genliği

ξ_2 = L2 sinyalinin açısal frekansı, diğer terimler daha önce (1) eşitliğinde açıklandığı şekildedir.

L1 ve L2 taşıyıcıları uydu tarafından yayınlanan uydu mesajı veya navigasyon mesajını taşımaktadır. Bu navigasyon mesajı; uydu saati, uydu yörüngesi, uydunun performansını ve verilere getirilecek çeşitli düzeltmeleri içerir. Bu mesaj 50 Hz gibi alçak bir frekansla kullanıcıya (alıcıya) ulaştırılır. Bu mesajlar alıcı tarafından çözümlenir ve gerçek zaman içerisinde konum belirleme amacıyla kullanılır. GPS uydu sinyalleri aşağıda Şekil. 1 'de şematik olarak gösterilmiştir [10].



Şekil 1. GPS Uydu Sinyallerinin Şematik Gösterimi

2.6. GPS 'de Kullanılan Referans Sistemleri

2.6.1. Koordinat Sistemi

1987 tarihinden itibaren GPS World Geodetic System WGS-84 sistemini referans sistemi olarak kullanmaktadır [11]. Yer merkezli ve eşpotansiyelli dönел elipsoid ile ilişkilendirilen WGS-84 sistemi Tablo 1. 'deki parametrelerle belirlenmiştir. Eş potansiyelli elipsoidin teorik ifadelerini ve Tablo 1. 'deki bilinen parametreleri kullanarak diğer parametrelerde hesaplanabilir. Örneğin, $f = 1/298.257221$ veya küçük yarı eksen $b = 6356752.314$ m.

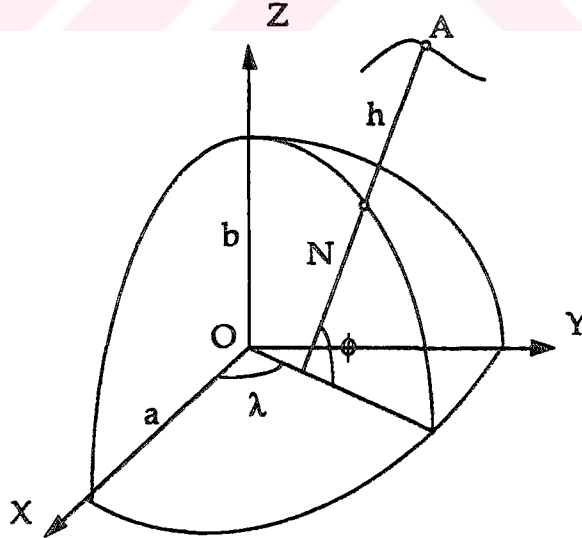
Tablo 1. WGS-84 Elipsoidinin Parametreleri

Parametre ve Değeri	Açıklama
$a = 6\,378\,137\text{ m}$	Elipsoidin büyük yarı eksen
$J_2 = 1\,082\,630 \cdot 10^{-10}$	İkinci dereceden zonal katsayı
$\omega_e = 7\,292\,115 \cdot 10^{-11}\text{ rad / sn}$	Dünyanın açısal hızı
$\mu = 3\,986\,005 \cdot 10^8\text{ m}^3 / \text{sn}^2$	Dünyanın gravite sabiti

Bir X vektörü yersel bir sistemde X, Y, Z kartezyen koordinatları ile veya ϕ, λ, h elipsoidal koordinatları ile tanımlanmıştır (Şekil 2.). Bu dik koordinatlar yerin ağırlık merkezini sistemin başlangıcı olarak alır. X, Y, Z kartezyen koordinatları ile ϕ, λ, h elipsoidal koordinatları arasındaki ilişki aşağıdaki gibi verilmiştir [12].

$$X = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + h) \cos \phi \cos \lambda \\ (N + h) \cos \phi \sin \lambda \\ (b^2 N / a^2 + h) \sin \phi \end{bmatrix} \quad (3)$$

Burada ϕ = elipsoidal enlem, λ = elipsoidal boylam, h = elipsoidal yükseklik, N = meridyene dik eğrilik yarıçapıdır.



Şekil 2. Kartezyen ve Elipsoidal Koordinatlar

2.6.2. Zaman Sistemi

GPS atomik zaman sistemini kullanmaktadır. Bu dinamik zaman sistemi, atomik zaman ölçüğü tarafından gerçekleştirilmiştir. Sistem UTC (Universal Time Coordinated) ile uyumludur. Sistemin birimi atomik saniyedir fakat bu sistemi UT (Universal Time) sistemine ve kullanılan sivil zamana yaklaştırmak için belirli ölçü başlangıçlarında, tamsayılı artık saniyeler bu sisteme eklenir. GPS zaman sistemi, 19 sn 'lik sabit bir zaman kayıklığı değeri ile IAT (International Atomic Time) 'dan farklıdır ve 6 Ocak 1980 GPS ölçü zamanında UTC ile aynı değeri taşımaktadır.

2.7. GPS Uydularının Konumlarının Belirlenmesi

2.7.1. Kepler Hareketleri

Dünyanın merkezi gravitesel alanından dolayı, uydunun güneş sistemi içerisindeki yörünge hareketi yapması sonucu oluşan harekete Kepler hareketi denir. Keplerin hareket kanunları aşağıdaki gibi üç kısımda toplanmıştır.

1. Yörünge bir elipstir ve bu elipsin odak noktalarından biri dünyanın ağırlık merkezidir.

2. Uydunun yer merkezli konum vektörü eşit zaman içerisinde yörünge üzerinde eşit alanı taramaktadır. Bu 2. kanun sonucunda uydunun hızının sabit olmadığı, yörüngeye odak noktasında bulunan dünyanın ağırlık merkezinden en uzak noktasında minimum (bu nokta apogee olarak tanımlanmıştır) en yakın noktasında (bu nokta perigee olarak tanımlanmıştır) ise maksimum olduğudur.

3. Üçüncü kanun; uydunun dünya etrafındaki yörüngesel dönmesini tamamlaması sırasında geçen zaman (T) göz önüne alınarak ortaya atılmıştır. Bu kanun T uydu periyodunun karesinin büyük yarı ekseninin küpüne oranının sabit olduğu ve bütün uydular için aynı olduğu varsayımı olup aşağıdaki şekilde ifade edilir.

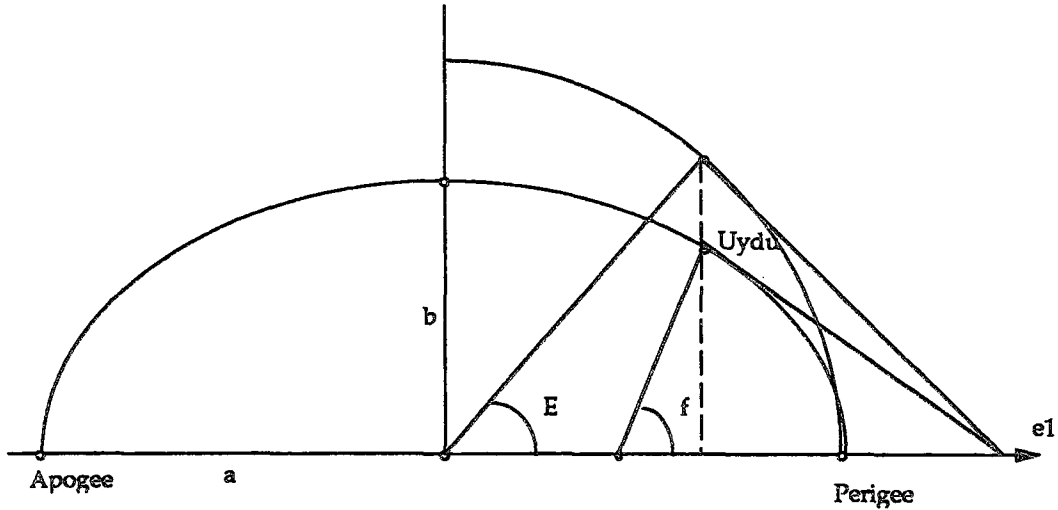
$$T^2 / a^3 = 4 \Pi^2 / \mu \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitlikte $\mu = G M$, $G =$ Uluslararası gravitesel sabit, $M =$ dünyanın kütlesidir. Eğer periyod sn biriminde, büyük yarı eksen metre cinsinden ele alınırsa μ yaklaşık olarak $3.986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{sn}^2$ olarak bulunur. Genelde yörünge zamanı periyod, ortalama hareketin bir fonksiyonun karşılığı olarak $n = 2 \Pi / T$ olarak verilir. Burdan $n^2 a^3 = \mu$ yazılır ve a, μ bilinip, n ortalama hareketi hesaplanmak istendiğinde $n = (\mu / a^3)^{0.5}$ olur ve bu 3. Kepler kanunu olarak bilinmektedir.

2.7.2. Kepler Yörünge Elemanları

Uydu yörüngesinin belirlenmesi için 4 ana parametrenin tanımlanması gerekmektedir. Bunlardan birincisi düğüm noktası olup, uydunun yörünge düzlemi ile gök ekvator düzleminin kesişme noktasıdır. İkincisi perigee noktası olup, uydunun yörüngesinde dünyaya en yakın olduğu noktadır. Düğüm noktası ile perigee noktası arasındaki açı yörünge düzlemi içerisinde ölçülmektedir. Üçüncü parametre, referans konumu olup uydunun referans zamanı t_{oe} 'deki konumudur. Son parametre uydunun konumu olup, belirlenmesi istenen konumdur.

Bir uydunun yörüngesi içerisindeki konumu, açısal bir ifade olan anomali ile belirlidir. Genelde kullanılan anomaliler ise ortalama anomali $M(t)$, eksentrik anomali $E(t)$, gerçek anomali $f(t)$ dir. Bu anomaliler Şekil 3. 'de gösterilmiştir.

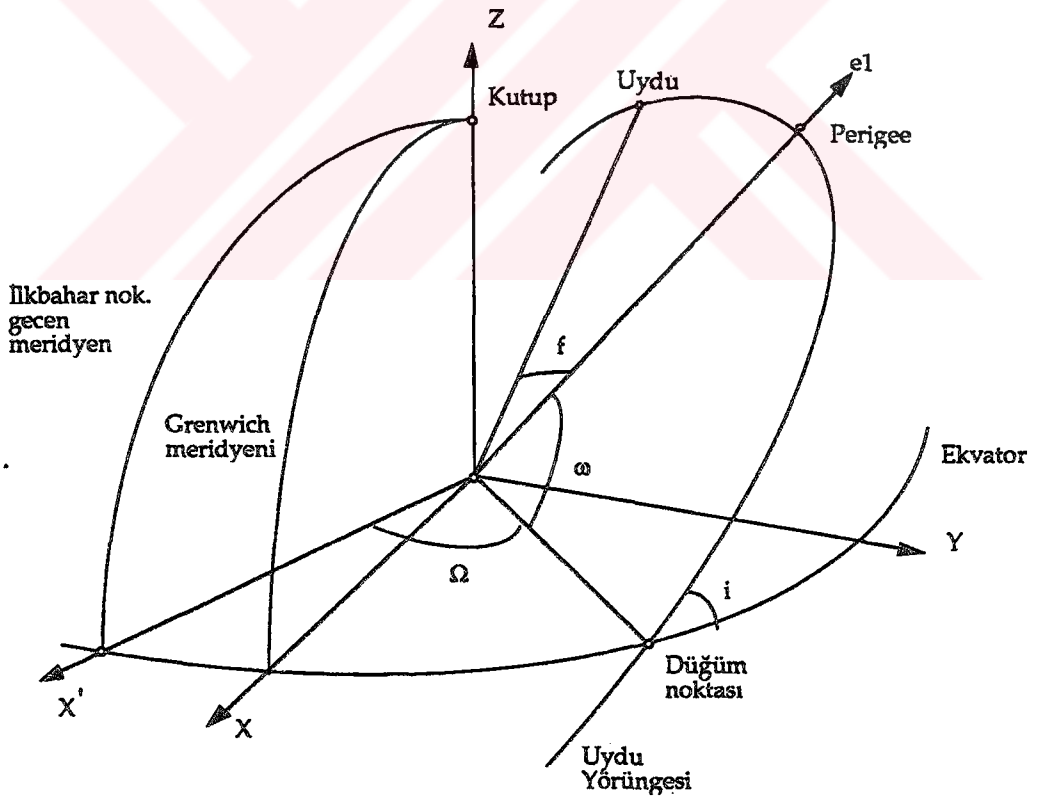


Şekil 3. Anomalilerin Şematik Gösterimi

Bir uydunun yörüngesine ait 6 parametre uydunun Kepler hareketini veya yörüngesinin bulunmasına yeterlidir. Bunlar Tablo 2. ve Şekil 4. 'de verilmiştir.

Tablo 2. Kepler Yörünge Parametreleri

Sembol	Açıklama
Ω	Düğüm noktasının ilkbahar noktasından itibaren gök ekvatoru düzleminde yaptığı açı.
i	Yörünge düzleminin eğim açısı.
ω	Perigee noktasının argumanı.
a	Yörünge elipsinin büyük yarı eksen
e	Eksentrisite
T_0	Perigee 'den uydunun geçiş zamanı



Şekil 4. Kepler Yörünge Parametreleri

2.7.3. Uydu Koordinatlarının Hesaplanması

Uydunun konumunun Klasik Yersel Sistem içerisinde hesaplanması için, öncelikle uydunun RA (Right Ascension) sistemi içerisinde koordinatları hesaplanır daha sonra bir dönüşüm yapılır. Uydunun konumunun belirlenmesi için uydu tarafından aşağıdaki katsayılar yayınlanır:

$a^{0.5}$	= Büyük yarı eksenin karekökü
e	= eksentrisite
Δn	= Hesaplanmış ortalama hareket n_0 'ın düzeltmesi
t_{oe}	= GPS haftasının başlangıcından itibaren geçen zaman (referans zamanı, birimi sn dir).
M_0	= t_{oe} 'deki ortalama anomali
i_0	= t_{oe} 'deki ekvator düzlemine göre yörünge düzleminin eğim açısı
Ω_0	= t_{oe} 'deki yükselme noktasının rektazansiyonu (Şekil 4. 'de tanımlanmıştır)
ω	= Perigee noktasının argumanı
di/dt	= Zaman içerisinde eğim açısının değişme oranı
$d\Omega/dt$	= Zaman içerisinde rektazansiyonun değişme oranı
C_{uc}, C_{us}	= Enlem (u) in argumanı için sin ve cos genliklerinin düzeltme terimleri.
C_{rc}, C_{rs}	= Yermerkezli yarıçap (r) için cos ve sin genliklerinin düzeltme terimleri.
C_{ic}, C_{is}	= Yörünge düzleminin eğim açısı (i) nin cos ve sin genliklerinin düzeltme terimleri.

Yukarıda uydu tarafından yayınlanan parametreler ve aşağıdaki hesap adımları kullanılarak, uydunun Klasik Yersel Sistemdeki koordinatları şu şekilde belirlenir.

1. Öncelikle gerçek anomali f_k hesaplanır. Bunun için referans zamanı t_{oe} 'den itibaren geçen zaman t_k hesaplanır. Burada öncelikle uydudan sinyalin yayınlandığı an t belirlenmelidir. Bu ise alıcıya sinyalin ulaştığı an ve ölçülen psodyo uzunluk yardımıyla iteratif bir yöntem kullanılmak suretiyle bulunur.

Bulunan sinyalin uydudan yayınlanma zamanı yardımıyla;

$$t_k = t - t_{oe} \quad (5)$$

dir. Bulunan t_k zamanındaki ortalama anomali M_k ise

$$M_k = M_o + (\sqrt{\mu} / a^{\frac{3}{2}} + \Delta n) t_k \quad (6)$$

eşitliğinden bulunur. t_k zamanındaki eksentrik anomali iterasyon sonucunda

$$M_k = E_k - e \sin E_k \quad (7)$$

eşitliğinden bulunur. Burada başlangıçta $E_k = M_k$ alınır. Yukarıdaki hesaplamalar yapıldıktan sonra gerçek anomali değeri f_k aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunur

$$f_k = \tan^{-1} [(\sqrt{1-e^2} \sin E_k) / (\cos E_k - e)] \quad (8)$$

2. U_k ; Enlemin argumanı hesaplanır. Burada hesaplanan gerçek anomali, f_k ve uydu tarafından yayınlanan perigee nin argumanı ω , C_{uc} ve C_{us} düzeltme terimleri yardımıyla aşağıdaki eşitlikten

$$U_k = \omega + f_k + C_{uc} \cos 2(\omega + f_k) + C_{us} \sin 2(\omega + f_k) \quad (9)$$

bulunur.

3. Yörünge yarıçapı r_k hesaplanır. Elipsoid ile ilgili çapsal uzunluk eşitliği, C_{rc} ve C_{rs} düzeltme terimleri ve diğer bilinen ve hesaplanan parametreler yardımıyla;

$$r_k = a (1 - e \cos E_k) + C_{rc} \cos 2(\omega + f_k) + C_{rs} \sin 2(\omega + f_k) \quad (10)$$

hesaplanır.

4. Yörünge düzleminin eğim açısı hesaplanır.

$$i_k = i_o + t_k (di/dt) + C_{ic} \cos 2(\omega + f_k) + C_{is} \sin 2(\omega + f_k) \quad (11)$$

5. Dügüm noktasının boylamı λ_k hesaplanır. Bu adımda Ω_o , $d\Omega/dt$, t_{oe} , hesaplanan t_k ve bilinen ω_e ; dünyanın ortalama dönme hızı kullanılır.

Buraya kadar bulunan değerler uydunun kendi yörünge sistemi içerisindeki konumu veren parametrelerdir. Bu parametreler yardımıyla yine aynı sistem içerisinde uydunun kartezyen koordinatları

$$\begin{aligned} X_1 &= r_k \cos(U_k) \\ Y_1 &= r_k \sin(U_k) \\ Z_1 &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

olarak bulunur.

Uydunun kendi bulunduğu yörüngeyi bir koordinat sistemi kabul eden yukarıdaki sistemden, ağırlık merkezi dünyanın kütesinde kabul edilen Yersel Koordinat Sistemine geçmek için uydunun kendi yörünge sisteminde X eksenini, Y eksenini ekvator düzlemi içerisinde bulununcaya kadar döndürülür ve sonra Z eksenini, X eksenini 0 meridyeninin bulunduğu düzlem oluncaya kadar kendi eksenini etrafında döndürülür. Bu durumda yersel koordinat sistemi içerisinde bir uydunun koordinatları şöyle verilebilir.

$$\begin{aligned} X_e &= X_1 \cos(\lambda_k) - Y_1 \cos(i_k) \sin(\lambda_k) \\ Y_e &= X_1 \sin(\lambda_k) + Y_1 \cos(i_k) \cos(\lambda_k) \\ Z_e &= Y_1 \sin(i_k) \end{aligned} \quad (13)$$

2.8. GPS 'de Hata Kaynakları

GPS 'de hata kaynakları iki ana kategoride toplanabilir. Birinci kategori sistematik hatalar diğeri ise sistematik olmayan hatalar. Sistematik hatalar kendi arasında üç kısımda toplanabilir. Bunlar; uyduya bağlı hatalar, alıcıya bağlı hatalar, ölçüye bağlı hatalar. Sistematik hatalar modellenebilir, gözlemlerin değişik kombinasyonları sonucunda en aza indirilebilir veya tamamen ortadan kaldırılabilir (bu kombinasyon şekillerine 3. bölümde değinilecektir). Sistematik olmayan hatalar ise genelde rastgele olup, belli

bir modele uymazlar. Bunun için bu hataların kaynaklarının, ölçüye ne tür etki yaptığının bilinmesi gerekmektedir. Dolayısıyla gözlemler içerisinde bu hatalar tanımlama sonucunda ayıklanmalıdır. Diğer bir çözüm ise ölçü sırasında bu hataları oluşturan etki veya etkileri minimum veya yok edebilecek ölçü düzeneğinin kurulmasıdır. Bunlar GPS ölçüleri için: Residual (artık) hataları, faz ölçümlerinde oluşan faz atlaması (tam devir), GPS sinyalinin başka bir cisimden yansiyarak GPS alıcısının antenine ulaşması, GPS alıcısı antenindeki faz merkezinin oynaması, rastgele ölçme hatalarıdır.

2.8.1. Uyduya Bağlı Hatalar

Uyduya bağlı hatalar doğrudan doğruya uydunun almanağına ve uydunun saatindeki hataya bağlıdır. Birincisi uydunun tahmin edilen konumdan daha farklı yerde olması, ikincisi ise GPS zamanı ile uydu saatlerinin tam olarak eşzamanlı çalışmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatalar her türlü GPS ölçülerini etkilemekte ve değişik uydular arasında bir korelasyon söz konusu değildir.

Uydunun tahmin edilen konumdan daha farklı yerde olması, GPS uydu kontrol ve izleme grubu tarafından uydunun yörüngesini belirlemek için yapılan ölçülerle ilgilidir. Bu ölçülerin atmosferde uydu üzerine etki eden bazı kuvvetlere bağlı olması, yeryüzünden bu kuvvetlerin duyarlı olarak belirlenmesinin yetersiz oluşu ve direkt olarak ölçülememesi, bu kuvvetlerin modellerinin yetersizliği, izleme istasyonlarının sayısı, monitör istasyonlarının bulunduğu bölge ve uzaydaki uydu geometrisi uydunun yörüngesini belirleme duyarlılığını etkilemektedir. Uydu tarafından yayınlanan almanak yardımıyla uydunun konumu yaklaşık 20 m duyarlılıkla hesaplanabilir. Bu hata bazı durumlarda 80 m ye kadar çıkabilir [6]. Sonuç olarak uydu almanağındaki hata, ölçülen kenarın uzunluğuna uydunun yüksekliğinin oranı kadar etki yapar [13]. Kısa uzunluklar için bu hata ihmal edilebilir. Fakat duyarlı konum belirleme veya uzun kenarlar için bu hatanın modellenmesi ve ölçülerin bu hatadan ayıklanması gerekmektedir. Rölatif konum belirleme sayesinde bu sistematik yörünge hatası bir yada bir kaç ölçü noktasından aynı uyduya yapılan ölçülerin farkları (differencing) yöntemiyle azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir. Bu teknik 3. bölümde detaylı olarak anlatılacaktır. Bu

yöntem sayesinde 20 m yörünge hatası bulunan bir yörünge tahmininde, ölçülen uzunluğun vektör çözümünde 1 ppm hata doğmaktadır [6].

GPS uyduları ribidyum ve sezyum atomik frekans standartlarına sahip zaman belirleyiciler (osilatör) taşırlar. Sezyum osilatörler bir gün boyunca 10^{-13} de 1 duyarlığa, ribidyum osilatörler ise bundan 5 kat daha az kararlıdırlar. Bu osilatörlerin çalışmaları ve kararlılığı yerdeki ana kontrol istasyonu tarafından izlenir ve en fazla 24 saat içinde, yığılan hata miktarı uyduya gönderilir. Bu hata miktarının 1 milisaniye içerisinde olmasına dikkat edilir. Bu miktar, uydu tarafından yayınlanan mesaj içerisine yerleştirilir ve ikinci dereceden polinomun katsayıları olarak aşağıdaki şekilde verilir.

$$\delta t^U = a_0 + a_1 (t - t_0) + a_2 (t - t_0)^2 \quad (14)$$

Yukarıdaki eşitlikte t_0 : referans zamanı, t : ölçü zamanı, a_0 : uydu saati zaman kayıklığı, a_1 : kesirli frekans kayıklığı a_2 : kesirli frekans yığılmasıdır (dirift).

2.8.2. Alıcıya Bağlı Hatalar

Bu hata türü genel olarak iki kısımda incelenebilir. Birinci kısım alıcı saat hatasına diğeri ise istasyon koordinatlarının kesin olmayışından yani, yörünge izleme ve zaman türevlerinden doğan hata olup, bu hata GPS 'in konumlama dışındaki uygulamaları için geçerlidir. Bu hatalara ek olarak GPS alıcısının donanım yapısından doğan hatalarda vardır.

Bilindiği gibi alınan GPS sinyalinin alıcı alet tarafından fazının veya kodunun ölçülmesinin duyarlılığı, direkt olarak konumlama duyarlılığını etkiler. Bu nedenle GPS aletinin saat stabilitesi veya kullandığı osilatördeki düzensizlik bir hata kaynağıdır. Bu sebeble bir çok GPS alıcısı yüksek duyarlılıklı (10^{-10} da 1) ve sıcaklık kontrollü, quartz kristal saatler ile donatılmışlardır. Psoydo uzunluk ölçüleri kullanılarak alıcı saat hatası hesaplanabilir ve alıcı kendi saatini bu hataya göre düzenleyebilir veya GPS zamanına göre kendi zamanını silip ayarlayabilir [3]. Ayrıca bu hata, uydu saat hatasında olduğu gibi 2. derece polinom kullanılarak modellenilebilir.

Polinom içerisindeki katsayılar, tahmin etme ve kullanılan polinomun eldeki ölçüler yardımıyla çözümü sayesinde bulunur.

2.8.3. Ölçüye Bağlı Hatalar

Bu hatalar üç ana bölümde toplanabilir. Bunlardan ilk ikisi GPS sinyallerinin atmosfer içinde yol aldıkları zaman sürecinde atmosferdeki yayılmaya etki eden etkenlerden dolayı sinyalin hızındaki değişimden oluşan hatalardır. Bunlar troposferik ve iyonosferik gecikme hatası olarak adlandırılmıştır. Üçüncü hata ise faz ölçümünde bulunan taşıyıcı dalga faz belirsizliğinin belirlenmesi sırasında yapılan hata olup, direkt olarak ölçü noktasının koordinat hassasiyetini etkilemektedir.

2.8.3.1. İyonosferik Gecikme Hatası

İyonosfer atmosferin 50 km den 1000 km ye kadar olan kısmı olarak tanımlanmıştır. İyonosferdeki zaman gecikmesine sebep olan en önemli parametre sinyalin geçtiği yoldaki toplam elektron sayısıdır. İyonosferik gecikme etkisi sonucunda GPS kod ölçümleri gecikmekte, faz ölçüleri ise erken yeryüzüne ulaşmaktadır. Bu nedenle kod psodyo uzunluklar gerçeğinden uzun, faz ölçüleri ise gerçeğinden kısa ölçülmektedir. Fakat miktar olarak her ikisinde aynıdır. Bu hatanın miktarı zenitte 50 m, ufukta 3*50 m ye ulaşmaktadır. Ayrıca güneşteki patlamalar, gel git olayları veya mevsim değişimleri sırasında ise değişik değerlere sahiptir.

Değişik frekanslara iyonosferin gösterdiği tepki değişiktir. Bu durum gereğince GPS ölçümlerinde çift frekans kullanmak suretiyle kod veya faz ölçümlerindeki iyonosferik etkinin büyük bir kısmı ortadan kaldırılabilir. Eğer alıcı bir tek frekans ile çalışıyorsa veya bir frekansta ölçüm yapıyorsa iyonosferik modeller oluşturulmalıdır veya uydunun yayınladığı mesajda gönderilen iyonosferik model parametreleri kullanılmalıdır. Bu tip modeller çok yeni olup, gelişme aşamasındadır ve % 75 seviyesinde başarılıdır. Geri kalan kısım artık hata olarak ölçülerde kalmaktadır.

2.8.3.2. Troposferik Gecikme Hatası

Troposfer yeryüzünden itibaren atmosferdeki yaklaşık 80 km ye kadar olan kısım olarak tanımlanmıştır. Bu hata frekanstan bağımsız olup 30 GHz altındaki frekanslarda yayıcı özelliği yoktur. Böylece grup ve faz gecikmesi aynıdır. Troposfer hatası kendi arasında iki kısma ayrılır. Birincisi kuru ikincisi ise ıslak kısımdır. Kuru kısım terimi toplam zenitteki uzunluk hatasının %90 'nunu kapsar ve yeryüzünde ölçülen basınç ölçümleri (P_0) yardımıyla aşağı yukarı %0.2 duyarlık ile tahmin edilebilir. Bu işlem sırasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$DTC = 2.27 * 10^{-13} P_0 \quad (15)$$

Troposferik etkinin veya hatanın tahmininde kullanılan ıslak kısım parametresi atmosferdeki sinyalin geçtiği yola bağlıdır. Yüzey yada yeryüzünde ölçülen basınç, sıcaklık ve rölatif nemlilik gibi parametrelerle tam olarak ilişkili değildir. Ayrıca atmosferdeki su buharı bu parametreyi etkilemekte ve su buharının atmosferdeki dağılımı homojen olmayıp zaman ve yer içerisinde değişiklik göstermektedir. Değişik modeller kullanılarak bu hatanın ıslak kısmı modellenenbilir. İki tür yöntem ıslak yayılma gecikmesinin düzeltilmesi için kullanılmaktadır. Birincisi, modellerin kullanımı örneğin, Saastamoinen, Hopfield vs. Diğeri ise, su buhar radiometreleri kullanılmak suretiyle sinyalin geçtiği yoldaki su buharının ölçülmesidir.

Troposferik gecikme hatası %92 ve %95 oranında modelleme sonucu azaltılabilir. Bu hatanın miktarı zenit doğrultusunda 2-3 m ve yataydan 10° yukarısı için 20 m ye ulaşan etkisi vardır [6].

2.8.3.3. Tam Sayı Faz Belirsizliğinin Belirlenme Hatası

Bu hata, taşıyıcı dalga faz ölçümlerinin kullanımında ortaya çıkan tam sayı faz belirsizliğinin belirlenme duyarlığına bağlıdır. Bu değerin değişik teknikler sonucunda nasıl elde edilebileceği 3. bölümde detaylı olarak açıklanacaktır.

Bütün bu sistematik hatalar modellenerek en aza indirilebilir veya ortadan kaldırılabilir. Bunların bir çok değişik parametre ile fonksiyonel ilişkisi olduğu varsayılır. Bu parametreler: zaman, konum, sıcaklık, basınç, havadaki su buharı vs. olabilir.

Sistematik olmayan hatalar ise daha önceden açıklandığı gibi rastgele dir ve modellenemez. Bunlar GPS ölçüleri için: Residual (artık) hataları, faz ölçümlerinde oluşan faz atlama (tam devir), GPS sinyalinin başka bir cisimden yansiyarak GPS alıcısının antenine ulaşması, GPS alıcısı antenindeki faz merkezinin oynaması, rastgele ölçme hatalarıdır.

2.9. GPS 'in Uygulama Alanları

GPS 'in uygulama alanları günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle bu sistemin her zaman dünya üzerindeki her kullanıcıya açık olması ve sistem tamamlandığında her an duyarlı konum belirleyebilmesi gelecek için büyük vaatler taşımaktadır. Ayrıca alıcı fiyatlarındaki düşme bu kullanım yaygınlığını artırma yönünde etkili olacaktır. GPS genelde askeri amaçlar için geliştirildiğinden en çok kullanıldığı ve kullanıcının bulunduğu alandır. Fakat daha sonraları sistemin sivil amaçlara açılması kullanıcı ve kullanma sahasını büyük ölçüde arttırmıştır.

GPS 'in uygulama alanları; askeri amaçlar, arazi uygulamaları, deniz uygulamaları, hava uygulamaları olmak üzere dört ana grupta toplanabilir.

Askeri amaçlar için geliştirilen GPS 'de ilk amaç gerçek zamanda askeri hedeflerin ve birimlerin konumlarının belirlenmesine yönelik olmuştur. Bunlara ek olarak, büyük çapta hava, deniz ve kara navigasyon uygulamalarında kullanılmaktadır.

Arazi uygulamalarında; GPS ölçme amaçlı olarak : kadastro ölçmelerinde, jeodezik kontrol ağlarında, bölgesel deformasyon izlemede (yer çökmeleri, baraj deformasyonları vs.), global deformasyon izlemede (yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi) kullanılmaktadır. Ayrıca jeodezi dışındaki arazi uygulamaları, değişik amaçlar için olmakla birlikte en önemlisi ulaşım araçlarında GPS 'in kullanımudur.

Deniz uygulamaları; denizde bulunan petrol platformlarının koordinatlarının belirlenmesi ve bunların hareketlerinin incelenmesi, deniz dibinin haritalanması, dünyanın gravite alanının belirlenmesinde konum belirleme aracı olarak GPS 'in kullanımınıdır. Jeodezi dışında ise, gemi yollarının ve geminin yolunu bulmasında, deniz kazalarının yerinin tespitinde vs. kullanılır.

Hava uygulamaları; navigasyon ve konum belirleme amaçlıdır. Bunlardan başka hava fotogrametrisinde, yer modelinin çıkartılmasında (laser profil çıkarma) hava gravite ve gravite gradiometri işlemlerinde konum belirlemek için kullanılmaktadır. Jeodezik amaçlı olmayanlar ise, uçak yönlerinin belirlenmesi, orman alanlarının ilaçlanmasında bölgenin belirlenmesi vs. dir.

Bu ana uygulamalarının dışında GPS; uzay uygulamaları, turizm, dağcılık, yatacılık ve balıkçılık vs. kullanılır.

3. GPS GÖZLEM TÜRLERİ VE KONUM BELİRLEMEDE KULLANILAN YÖNTEM VE TEKNİKLER

GPS gözlemleri taşıyıcı sinyal (L1, L2) ve/veya kod (C/A, P) kullanmak suretiyle elde edilirler. Kod ölçüleri veya faz ölçüleri psoydo uzunluklardır. Teori olarak, GPS gözlemleri, alıcı içerisinde üretilen sinyal ile alınan sinyalin karşılaştırılması sonucu faz farkları ve zaman farklarından elde edilen uzunluklardır. Bunların psoydo uzunluk olarak adlandırılması iki sistemde alıcı ve verici (uydu) deki saatlerin farklı oluşu ve elde edilen uzunluğun saatlerdeki hatalardan dolayı hatalı olmasıdır.

Taşıyıcı dalga faz ölçümleri kod psoydo uzunluk ölçülerinden çok daha duyarlıdır. Çünkü taşıyıcı dalga faz ölçülerinde kullanılan sinyalin dalga boyu $L1=19$ cm, $L2=24$ cm dir. Buna karşın kod ölçümlerinden P kod için dalga boyu 30 m, C/A kod için yaklaşık 300 m dir. Kod psoydo uzunluk ölçüleri genellikle navigasyon amaçlı kullanılır. Buna karşılık taşıyıcı dalga faz ölçüleri yüksek duyarlık isteyen ölçme işlerinde örneğin kıta hareketleri, baraj deformasyonlarında kullanılır.

Taşıyıcı dalga faz ölçümlerinin, uzunluk şeklinde elde edilmesinde veya değerlendirilmesinde, kod ölçülerine göre en önemli zorluğu, bunların içerisinde sinyalin uydudan yayımından itibaren geçen tam sayı fazın bilinmeyen oluşudur. Bu sayının belirlenme ilkeleri ve çeşitleri bu bölümde daha ileriki konularda detaylı olarak anlatılacaktır.

Burada diğer bir durumda, GPS gözlemlerinin yersel sistemlere göre elde edilmesinin farklı oluşudur. Örneğin yersel sistemlerden elektronik uzunluk ölçerlerde sinyal alıcıdan çıktıktan sonra reflektörden geri döner. Fakat GPS uydu ve alıcısında sinyal alıcıdan çıktıktan sonra gidip geri dönmesi ilkesi yoktur. Ölçüm, iki sistemde kullanılan saatler, alıcıda uydudan gelen sinyalin karakterine eşdeğer olan sinyalin oluşturulması ve bu iki sinyalin karşılaştırılması veya farklı tekniklerin kullanımıyla yapılır.

GPS ölçüleri bazı sistematik veya sistematik olmayan hatalarla yüklü uzunluklardır. Kod ve faz ölçülerinin her ikisi birden alıcı saat hatası, uydu saat hatası ve iyonosferik ve troposferik hata ile yüklüdür. Faz ölçüleri, kod ölçülerinden farklı olarak öncül tam sayı faz belirsizliği ile yüklüdür. Bu hataların bazıları yine bu bölümde anlatılacak olan tek, çift veya üç kez fark alma yöntemi sayesinde en aza indirilecek veya tamamen ortadan kaldırılacaktır. Bu ölçü fark alma yöntemleri GPS verilerinin değerlendirilmesi sırasında uygulanmaktadır.

3.1. GPS ile Konum Belirlemede Gözlem Türleri

Daha önce belirtildiği gibi, GPS ölçüleri taşıyıcı sinyal (L1, L2) ve/veya kod (C/A, P) kullanılmak suretiyle elde edilir. Bunların değişik kombinasyonları sayesinde amaca göre konum belirleme yürütülür. GPS sinyallerinin uydudan çıkışları daha önce L1, L2 taşıyıcı sinyal eşitlikleri (1) ve (2) ile verilmişti. Bu eşitliklerden de görüldüğü gibi genel olarak kombinasyon türleri L1, C/A, D (mesaj); L1, P, D; ve L2, P, D dir. Uygun GPS alıcısı kullanılmak suretiyle, gönderilen sinyallerdeki kodların çözülmesi veya L1, L2 taşıyıcı dalgalarının alıcıda yeniden oluşturulması sayesinde GPS gözlemleri belirlenir. Örneğin, kod alıcısı kullanılarak sinyaldeki kod atılır ve taşıyıcı dalga faz ölçümleri elde edilir. Genel olarak GPS ölçüleri dört ana bölümde toplanır. Bunlar:

1. Kod psoydo uzunluk
2. Taşıyıcı dalga faz
3. Kod faz
4. Dopplerdir.

3.1.1. Kod Psoydo Uzunluk Ölçüleri

Kod psoydo uzunluk; alıcı içerisinde üretilen orijinal kodun taklitinin, uydudan gelen ve alıcı tarafından alınan kod ile korelasyona tabii tutulması sonucu meydana gelen zaman farkının ışık hızı ile çarpılması sonucu elde edilir. GPS alıcısı tarafından üretilen kodlar alıcının kendi saati tarafından üretilmektedir. Bu ise ölçülen uzunluğun (psoydo uzunluk) gerçek geometrik uzunluktan uydu ve alıcı sistemlerindeki saat hatalarından dolayı farklı olmasına yol açacaktır.

Ayrıca atmosferdeki iyonosferik ve troposferik etkiler kod ölçümlerini direkt etkileyecektir.

Genel olarak kod psoydo uzunluk; uydu ve alıcı saat hatası, parazit, atmosferik refraksiyon hatalarını içerir ve gerçek uzunluğa göre aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\text{Kod psoydo uzunluk} = \text{Gerçek uzunluk} + \text{Saat hataları} + \text{Atmosferik etkiler} + \text{Parazit}$$

Bu eşitliği daha detaylı bir şekilde yazarsak

$$\begin{aligned} \Delta t &= t_A - t^U = [t_A (\text{GPS}) - \delta t_A] - [t^U (\text{GPS}) - \delta t^U] \\ &= \Delta t (\text{GPS}) + \Delta \delta \end{aligned}$$

$$P = c \Delta t = c \Delta t (\text{GPS}) + c \Delta \delta$$

$$P = \rho + c \Delta \delta \quad (16)$$

olur. Bu eşitlikte;

t_A = uydu tarafından gönderilen sinyalin alıcı tarafından alındığında alıcıda okunan saat değeri

t^U = sinyalin uydudan gönderildiğinde, uyduda okunan saat değeri

δt_A = GPS sistem zamanına göre alıcının saatindeki gecikme veya alıcı saat hatası

δt^U = GPS sistem zamanına göre uydu saatindeki gecikme veya uydu saat hatası

c = ışık hızı

ρ = uydu ile alıcı arasındaki gerçek uzunluktur.

Bu eşitliğe atmosferik etki ve parazit de eklenirse yukarıdaki kod psoydo uzunluk eşitliği

$$P = \rho + c (\delta t^U - \delta t_A) + d_{\text{iyon}} + d_{\text{trop}} + r_p \quad (17)$$

olarak yazılabilir. Bu eşitlikte:

d_{iyon} = İyonosferik refraksiyon hatası

d_{trop} = Troposferik refraksiyon hatası

r_p = parazitdir.

Yukarıdaki kod psoydo uzunluk eşitliğindeki gerçek uzunluk ρ , GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde uydu ve alıcı kartezyen koordinatlarından oluşan bir büyüklük olarak

$$\rho = [(X^U - X_A)^2 + (Y^U - Y_A)^2 + (Z^U - Z_A)^2]^{1/2} \quad (18)$$

şeklinde yazılır ve bu eşitlikteki X_A kartezyen koordinatları bilinmeyenler olarak dengeleme modeline konulur.

Kod psoydo uzunluk ölçümlerinin duyarlılığı, orijinal kod ile taklit edilen kod arasındaki korelasyonun duyarlılığına bağlıdır. Kural olarak bu miktar kodun oluşturulmasında kullanılan chip uzunluğunun %1 'i dir. Chip uzunluğu ardışık iki zaman başlangıcı arasındaki mesafeye karşılık gelmektedir. Örneğin, P kod ölçülerinde ardışık zaman başlangıçları 0.1 mikro saniye olduğundan bu miktarın %1 nin ışık hızı ile çarpımı bize 30 cm verecektir.

3.1.2. Taşıyıcı Dalga Faz Ölçümleri

Taşıyıcı dalga faz ölçümleri uydunun osilatöründe üretilen ve doppler değişimine uğramış uydu taşıyıcı sinyali ile GPS için tanımlanan $f_0 = 10.23$ MHz sabit frekansta GPS alıcısında üretilen sinyal arasındaki fark olarak tanımlanmıştır. Bu gözlenebilir, genelde gelen sinyal ile alıcıda oluşturulan sinyalin kod korelasyonu veya gelen sinyalin karesinin alınması sonucunda taşıyıcının ikinci dereceden harmoniklerinin oluşturulması sonucu elde edilir. Bu iki teknikde amaç gelen sinyal içerisindeki kodun atılması ve taşıyıcı dalga fazının yeniden oluşturulması ilkesine dayanır. Eğer bir alıcı kod korelasyon tekniğini kullanıyorsa gelen sinyalin fazı devamlı bir şekilde alıcıda üretilen faz ile karşılaştırılır ve sonuç taşıyıcı dalga fazı değil fakat bu iki fazın farkı olan "taşıyıcı beat fazı" olur. Eğer alıcı sinyalin karesini alma ilkesini kullanıyorsa bu durumda sinyal saf taşıyıcı olur fakat bu durumda sinyalin frekansı orijinal frekansın iki katı olur ve yine "beat" sinyaldir [3]. Kod psoydo uzunluklarda olduğu gibi faz ölçümlerinde de ölçülen faz farkları alıcı ve uydu saatinin GPS

sistem zamanından farklarından dolayı hatalıdır. Ayrıca atmosferik etkenler; troposferik ve iyonosferik hatalar ölçülere düzeltme olarak getirilmelidir. Faz farkı ölçümlerinde kod psoydo uzunluk ölçümlerden farklı olarak, uydudan gönderilen sinyalin alıcıya ulaşınca kadar geçen tam devir faz sayısının bilinmeyen olarak denklemlerde bulunmasıdır. Bu değer uydu ve alıcı arasındaki bilinmeyen tam taşıyıcı dalga boylarının sayısı kadardır. Taşıyıcı dalga faz ölçümlerinde ölçülen ise uydu ile alıcı arasındaki uzunluk içerisinde tam devir fazdan arta kalan kısımdır. Bu bilgiler ışığında taşıyıcı dalga faz ölçüleri aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

GPS uydusunun osilatöründe t^U anında üretilen f^U frekansında yayılan taşıyıcı dalganın fazı $\phi^U(t^U)$ ile gösterilirse ve alıcı içerisinde t anında f_A frekansında üretilen ve fazı $\phi_A(t)$ olan sinyalin faz denklemleri

$$\phi^U(t^U) = f^U t - (f^U / c) \rho - \phi_o^U \quad (19)$$

$$\phi_A(t) = f_A t - \phi_{oA} \quad (20)$$

gibidir.

Buradaki ϕ_o^U ve ϕ_{oA} öncül fazlar olup bunlar uydu ve alıcı saatlerinin GPS sistem zamanına göre hatalarından kaynaklanmıştır. Bunların değerleri

$$\phi_o^U = f^U \delta t^U \quad (21)$$

$$\phi_{oA} = f_A \delta t_A \quad (22)$$

olup, eşitliklerdeki δt^U ve δt_A sırasıyla uydu ve alıcı saat hatalarıdır.

Yukarıdaki (19) ve (20) eşitliklerinden yararlanılarak taşıyıcı dalga faz ölçüleri deklemleri türetilir. Taşıyıcı dalga faz ölçüleri; uyduda üretilen taşıyıcı sinyalin fazı ile aynı frekansta yerdeki GPS alıcısında üretilen taşıyıcı dalga faz ölçülerinin farkı olarak bilinmektedir. Bu farka taşıyıcı dalga faz gözlenebiliride denmektedir. Taşıyıcı beat faz ϕ_A^U aşağıdaki denklemde olduğu gibi formüle edilmiştir.

$$\phi_A^U(t) = \phi^U(t^U) - \phi_A(t)$$

$$\phi_A^U(t) = -(f^U / c) \rho - f^U \delta t^U + f_A \delta t_A + (f^U - f_A) t \quad (23)$$

f^U ve f_A frekansları temel frekans f den çok az miktar farklıdır. Bu yüzden $f^U = f_A = f$ alınabilir. Bu da $\phi_A^U(t)$ eşitliğindeki son terimin ortadan kalkmasına ve kısılmasına sebep olur. Bu iki frekansın eşit alınması varsayımından, duyarlık gerektiren işler ve uzun kenarların ölçümünde vazgeçilir ve ayrı frekanslar kullanılır.

Yukarıdaki varsayımdan;

$$\phi_A^U(t) = -(f / c) \rho - f \Delta\delta \quad (24)$$

olarak yazılır. Burda $\Delta\delta = \delta t^U - \delta t_A$ dır. Sinyalin atmosferde yayılması esnasında atmosferik etkiler nedeniyle bazı değişikliklere uğraması göz önüne alınır ve bu hatalar taşıyıcı dalga faz ölçülerine düzeltme olarak getirilirse

$$\phi_A^U(t) = -(f / c) \rho - f \Delta\delta - (f / c) (d_{trop} - d_{iyon}) \quad (25)$$

yukarıdaki eşitlik elde edilir. Sonuçta yukarıdaki taşıyıcı dalga faz ölçüm denklemi anlık ölçüm için yazılmıştır. Bunun sürekli durumu göz önüne alınırsa

$$\phi_A^U(t) = \Delta\phi_A^U(t_0 - t) + N(t_0) \quad (26)$$

eşitlik yukarıdaki gibi olmaktadır. Bu eşitlikte $\Delta\phi_A^U$, t_0 anından itibaren sayılan tam sayılı fazlar ve ölçülen tam fazdan geri kalan kısımdır. N ise başlangıçtan itibaren tam sayı faz bilinmeyi olup, sinyalde bir kesilme olmaması durumu ve bir uydu ve alıcı noktası arasındaki bir ölçü için zamandan bağımsız olarak aynı değeri alan öncül bir tam sayı faz bilinmeyenidir.

Yukarıdaki (26) eşitliği açık bir şekilde ifade edilirse

$$\phi_A^U(t) = - (f / c) \rho - f (\delta t^U - \delta t_A) - (f / c) (d_{trop} - d_{iyon}) + N \quad (27)$$

olur. Bu eşitlikteki negatif değerini ortadan kaldırılması ve uzunluk birimine geçmek için eşitliğin her iki tarafı $-\lambda = -(c / f)$ ile çarpılırsa

$$\begin{aligned} \Phi &= -\phi_A^U(t) \lambda \\ \Phi &= \rho + c (\delta t^U - \delta t_A) + d_{trop} - d_{iyon} + \lambda N \end{aligned} \quad (28)$$

olarak sürekli taşıyıcı dalga faz eşitliği elde edilir.

3.1.3. Kod Faz Ölçüleri

Taşıyıcı dalga faz ölçülerinden başka kod faz ölçüleri vardır. Bunlardaki ilke ise P ve C/A kodunun fazının ölçülmesidir. Örneğin, P kod faz için; doppler değişimine uğramış L1 veya L2 P kod yardımcı taşıyıcı dalga fazının, alıcı içerisinde üretilen referans fazından farkıdır. Kod faz ölçümlerinde detaylı kod bilgisine ihtiyaç yoktur yalnızca chip oranı önemlidir yani sinyalin ardışık yayımlanma süresi arasındaki mesafe. Kod faz ölçülerinin duyarlılığı taşıyıcı dalga faz ölçülerinden düşüktür. Çünkü kullanılan kodun dalga boyu taşıyıcı dalga boylarının (L1, L2) ikisinden de büyüktür. Örneğin P kod için dalga boyu yaklaşık 30 m L1 taşıyıcısı için ise yaklaşık 19 cm dir. Kod faz ölçümlerinin en büyük avantajı tam sayı faz bilinmeyen N 'nin kolayca hesaplanmasıdır çünkü kullanılan dalga boyu daha öncede belirtildiği gibi taşıyıcı dalga faz ölçümlerine göre daha uzundur. Kod faz ölçümlerinde detaylı kod bilgisine ihtiyaç olmadığından bu tip ölçümler kodsuz veya koddan bağımsız alıcılarla yapılabilir. Bu tekniğin dezavantajı ise uydu saat ve uydu yörünge bilgilerinin veri değerlendirme sonucunda ortadan kalkması, diğer bir deyişle elde edilememesidir. Bu nedenle, gerçek zamanda navigasyon amaçlı kullanılamazlar.

3.1.4. Doppler Ölçüleri

Hareket halindeki uydu veya hareket halindeki alıcı durumunda, yerde alıcı tarafından alınan sinyalin frekansı Doppler değişimine uğrar. Bunun manası uydu tarafından f^U frekansı ile yayınlanan sinyal yer alıcısı tarafından f_A gibi farklı bir frekansla alınır. Bu frekanstaki değişim relativistik etki dışında, radyal hız ile orantılı olup

$$v_p = dp / dt = \dot{\rho} \quad (29)$$

şeklinde ifade edilir. Bu miktar uydu ile alıcı arasındaki uzunluktaki değişime eşittir.

Eşitlikteki;

v_p : merkezsiz hız

$dp / dt = \dot{\rho}$: zamana göre uzunluğun değişimidir.

Alınan ve yayınlanan frekans arasındaki fark Δf ;

$$\Delta f = (f_A - f^U) = - (1/c) v_p f^U \quad (30)$$

şeklinde ifade edilir.

Temel GPS Doppler ölçü büyüklüğü, t_1 , t_2 gibi ardışık iki an arasında alınan sinyalin fazı $D_A^U(t_1, t_2)$ Doppler sayısıdır. $D_A^U(t_1, t_2)$ Doppler sayısı, GPS alıcılarında t_1 ve t_2 anları arasında fazın değişimi doğrudan ölçülerek bulunur. Bu ölçülen Doppler sayısı, daha önce faz psoydo uzunluklar için yazılan anlık beat faz denklemi (28) 'in t_1 ve t_2 gibi iki farklı an için yazılıp birbirinden çıkarılmışına eşit olmalıdır.

$$\begin{aligned} D_A^U(t_1, t_2) = & (f_A - f^U) (t_2 - t_1) + (f^U / c) [\rho(t_2) - \rho(t_1)] \\ & + (f^U / c) [-d_{iyon}(t_1, t_2) + d_{trop}(t_1, t_2)] \end{aligned} \quad (31)$$

Ölçülen bu Doppler sayısından, t_1 ve t_2 anlarında uydu ile alıcı arasındaki uzaklıkların farkı d_p

$$\begin{aligned} dp = \rho(t_2) - \rho(t_1) = (c / f^U) [D_A^U(t_1, t_2) - (f_A - f^U)(t_2 - t_1)] \\ + [d_{iyon}(t_1, t_2) - d_{trop}(t_1, t_2)] \end{aligned} \quad (32)$$

olarak bulunabilir. Görüldüğü gibi Doppler denklemlerinde N faz belirsizliği yer almaz.

Transit uydu alıcılarında ise Doppler sayısı, $(t_2 - t_1)$ zaman aralığında alınan sinyalin frekans değişimi

$$D_A^U(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} (f_A - f_R) dt \quad (33)$$

şeklinde ölçülerek bulunur. Yukarıdaki eşitlikte f_A ; alıcıda üretilen sinyalin frekansı, f_R ; alınan uydu sinyalinin frekansdır.

3.2. GPS Faz Ölçüleri ile Konum Belirlemede Kullanılan Matematiksel Modeller

GPS ile konum belirlerken amaç duyarlık gerektiren bir iş ise bu durumda faz ölçümleri ve bunların kombinasyonlarının kullanımı çok iyi sonuçlar vermektedir. Buradaki en önemli etken faz ölçümlerinde kullanılan taşıyıcı sinyallerin (L1, L2) boylarının kodlara (P, C/A) göre çok küçük olmasıdır. GPS kod veya faz ölçüleri daha öncedende belirtildiği gibi bazı hatalarla yüklüdür ve bu hatalar GPS ölçümlerinden atılmalıdır ki sonuçta uydu ile alıcı arasındaki gerçek uzunluk, dolayısıyla duyarlı koordinatlar belirlenebilsin. Bu hatalar; uydu ve alıcı saat hataları, iyonosferik ve troposferik gecikmelerden dolayı gelen hatalar, yörünge hataları ve taşıyıcı dalga faz ölçümlerinde N sayısının belirlenmesindeki hatadır. Hatalar daha öncedende belirtildiği gibi bazıları modellenenebilir, bazıları ise bilinen parametreler yardımıyla hesaplanabilir. Fakat modellemeler her açıdan yeterli olmadığından bunların etkileri GPS ölçülerinde kalmaktadır. Bunlar GPS ölçülerinin dengelenmesinde artık parametreler olarak hesaplanacağı gibi, bu bölümde anlatılacak olan değişik matematiksel modeller aracılığıyla da ortadan kaldırılabilir. Bu matematiksel modeller mutlak ve rölatif konum belirleme için farklıdır.

Mutlak konum belirlemede amaç, tanımlanan bir koordinat sistemine göre, örneğin dünyanın ağırlık merkezini kendine orijin kabul eden, dönme eksenini dünyanın dönme eksenine paralel yapan bir sistemde, herhangi bir noktanın X, Y, Z konum koordinatlarının belirlenmesidir. Rölatif konum belirlemede ise iki nokta söz konusudur ve bunlardan birisi sabit tutulmak şartı ile diğerine koordinat verilebilir yani bir nokta seçilen bölgesel koordinat sisteminin başlangıcı olmakta ve diğer nokta veya noktalar bu noktaya göre belirlenmektedir. Buna göre rölatif konum belirlemede amaç, koordinatları bilinmeyen bir noktanın koordinatları bilinen bir noktaya göre konumunun belirlenmesidir. Bu nedenle rölatif konum belirlemede belirlenen, iki nokta arasındaki vektör olup GPS de bu vektör "baseline" olarak adlandırılmıştır.

Mutlak konum belirleme için kullanılan modeller daha önce (3.1) de verilen gözlem denklemlerinin aynısı olup, bu bölümde rölatif konum belirleme modellerine detaylı bir şekilde değinilecektir.

3.2.1. GPS Faz Ölçüleri ile Rölatif Konum Belirleme

Taşıyıcı dalga faz ölçüleri denklemleri daha öncede belirtildiği gibi uydudan yayımlanan taşıyıcı sinyalin fazı ile alıcı içerisinde üretilen sinyalin fazları arasındaki fark Φ_a^k idi ve bu bir önceki bölümde bir t anı için eşitlik (23) ile verilmişti. Burada bu eşitliği pratiğe daha uygun, uydu ve alıcıyı isimlendirmek suretiyle t_A alıcı zamanına göre yazarsak

$$\Phi_a^k(t_A) = \Phi^k(t_T) - \Phi_a(t_A) + N_a^k + \varepsilon \quad (34)$$

olur. Bundan sonra bütün eşitliklerde alt indisler alıcıyı, üst indisler ise uyduyu belirtecektir. Bu eşitlikte a alıcının bulunduğu noktayı, k ise uyduyu göstermektedir. t_T uydudan sinyalin çıktığı an, t_A ise sinyalin alıcıya ulaştığı zaman, ε ise ölçüdeki parazittir.

$\Phi^k(t_T)$: k uydusundan UTC zamanına göre t_T gönderme zamanında yayımlanan ve alıcı tarafından alınan taşıyıcı dalganın fazıdır.

$\Phi_a(t_A)$: a alıcısı içerisinde t_A lokal zamanında referans frekansı ile üretilen sinyalin fazı, N_a^k : tam sayı faz bilinmeyenidir.

Yukarıdaki eşitlik iki ayrı zamana göre ifade edilmiştir. Gerçekte yerdeki alıcıda verilen zaman bilinmekte ve t_T zamanı ise bilinmemektedir ve bu değer in sinyalin yere vardığı an olan t_A ve ölçülen veya hesaplanan psoydo uzunluklar yardımıyla bulunması gerekmektedir. k uydusundan t_T anında yayınlanan sinyal, sinyalin yere ulaştığı zaman t_A ile aşağıdaki şekilde ilişkilendirilir.

$$t_T = t_A - \tau_a^k(t_A) \quad (35)$$

Bu eşitlikte $\tau_a^k(t_A)$ sinyalin yere ulaşınca kadar geçen zamandaki gecikmeyi içerir ve bu genelde noktanın konumuna ve atmosferin etkisine bağlı olarak iki grupta göz önüne alınır. Bu durumda t_T zamanı aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenebilir,

$$t_T = t_A + \delta t_A - \tau(t_T) - d_{trop} - d_{iyon} \quad (36)$$

bu eşitlikte $\tau(t_T)$ noktanın konumuna bağlı zamandaki gecikme olup aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$\tau(t_T) = \rho_a^k / c \quad (37)$$

Yukarıdaki (36) ve (37) eşitlikleri kullanılarak (34) eşitliği yeniden düzenlenirse

$$\begin{aligned} \Phi_a^k(t_A) = & - (f/c) \rho_a^k(t_T) - f (d_{trop} + d_{iyon}) + f \delta t_A + \Phi^k(t_A) \\ & - \Phi_a(t_A) + N_a^k + \varepsilon \end{aligned} \quad (38)$$

eşitliği bulunur. Daha önceden de belirtildiği gibi t_T zamanı bilinmemekte ve t_A zamanının ve uydu ile alıcı noktası arasındaki uzunlukların kullanılması sonucu iteratif olarak yaklaşık değeri bulunmaktadır. Hesaplanan t_T zamanı t_A lokal zamanı içerisinde bulunan hatanın aynısına sahiptir. Bu nedenle t_T yayınlanma zamanında hesaplanan $\rho_a^k(t_T)$ yaklaşıklık arz etmekte ve bu miktarda $\rho_a^k(t_T)$ nin hesaplanan t_T^o zamanındaki uydunun konumundan yararlanarak zamana göre Taylor

serilerini kullanarak seriye açılım sayesinde giderilebilir. Burdan

$$\rho_a^k(t_T) = \rho_a^k(t_T^o) + \dot{\rho}_a^k(t_T^o) \delta t_A \quad (39)$$

eşitliği yazılır. Bu eşitlikte $\dot{\rho}_a^k(t_T^o)$ uydu ile alıcı arasındaki uzunluktaki değişim olup, [13] de bu aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$\dot{\rho}_a^k(t_T^o) = [(X^k - X_A) \dot{X}^k + (Y^k - Y_A) \dot{Y}^k + (Z^k - Z_A) \dot{Z}^k] \rho_a^k(t_T^o) \quad (40)$$

Bu eşitlikte X^k, Y^k, Z^k uydunun konumu; X_A, Y_A, Z_A alıcının konumu; $\dot{X}^k, \dot{Y}^k, \dot{Z}^k$ ise t_T^o anındaki uydunun hız parametreleridir. (39) eşitliği (38) eşitliği içerisinde yerine konursa

$$\begin{aligned} \Phi_a^k(t_A) = & - (f/c) \rho_a^k(t_T^o) - f (d_{trop} + d_{iyon}) \\ & + f [1 - 1/c \dot{\rho}_a^k(t_T^o)] \delta t_A + \Phi^k(t_A) - \Phi_a(t_A) + N_a^k + \varepsilon \end{aligned} \quad (41)$$

detaylı olarak taşıyıcı dalga faz ölçüm denklemi oluşturulmuş olur. Böylece bu denklemi verdikten sonra faz ölçümleri ile ilgili matematiksel modellere geçilebilir.

3.2.1.1. Bir Kez Fark Alınmış (Single Difference) Matematiksel Model

Bir kez fark alınmış faz ölçümleri denklemi adında anlaşılacağı gibi iki taşıyıcı dalga faz ölçümünün farkları alınarak bulunur. Bu iki türlü yapılabilir, çünkü bir taşıyıcı dalga faz denkleminde a ve k olmak üzere iki parametre vardır. Bu yüzden bu fark istasyonlar arasında veya uydular arasında fark alınarak elde edilebilir.

İstasyonlar arasındaki fark $\Delta\Phi_{ab}^k$, aynı anda iki istasyon noktasından (a, b) k uydusuna yapılan taşıyıcı dalga faz ölçülerinin farkı olarak verilir. Aynı işlem k ve l uydularına a istasyon noktasına yapılan taşıyıcı dalga faz ölçülerinin farkı olarakta $\Delta\Phi_a^{kl}$ yapılabilir.

Bu çalışmada bir kez fark alınmış faz ölçüleri denklemi, istasyon noktaları arasındaki fark olarak verilecektir.

$$\Delta\Phi_{ab}^k = \Phi_a^k(t_A) - \Phi_b^k(t_A) \quad (42)$$

Bir kez fark alınmış faz ölçülerindeki en önemli amaç saat hatalarının ortadan kaldırılması veya minimuma indirilmesidir. Bu nedenle saat hataları bu bölümde daha detaylı olarak incelenecektir. Şöyleki a ve b deki alıcıların saat hataları iki kısımda incelenebilir; birinci kısım ortak saat hatası $Z_{ab}(i)$, ikinci kısım ise rölatif birikme hatası $Z'_{ab}(i)$ dir [13]. Parametrelerdeki (i) zamanı göstermektedir ve burada iki alıcı için aynı zamanda yapılan ölçüler anlamına gelmektedir. Yukarıdaki parametreler eşitlik olarak ifade edilirse

$$\delta t_a(i) = Z_{ab}(i) + Z'_{ab}(i) / 2 \quad (43)$$

$$\delta t_b(i) = Z_{ab}(i) - Z'_{ab}(i) / 2$$

şeklinde yazılır. Bu eşitliklerde bilinenler δt_a , δt_b olduğundan Z_{ab} ve Z'_{ab} aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenirse

$$Z_{ab}(i) = [\delta t_a(i) + \delta t_b(i)] / 2 \quad (44)$$

$$Z'_{ab}(i) = [\delta t_a(i) - \delta t_b(i)]$$

(44) eşitliği bulunur. Bu eşitlik daha önce bulunan (41) eşitliğinde yerine konur ve daha sonra (41) eşitliği yeniden düzenlenirse, bir kez fark alınmış faz ölçüleri matematiksel denklemi aşağıdaki gibi verilir.

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_{ab}^k(i) = & - (f/c) [\rho_a^k(i) - \rho_b^k(i)] - (f/c) \Delta A_{ab}^k(i) \\ & - (f/c) [\rho_a^0(i) - \rho_b^0(i)] Z_{ab}(i) \\ & - f [1 - (1/2c) (\rho_a^0(i) + \rho_b^0(i))] Z'_{ab}(i) \\ & + \Delta N_{ab}^k + \Delta \epsilon_{ab}^k \end{aligned} \quad (45)$$

Bu eşitlikte

$$\Delta A_{a b}^k(i) = A_a^k(i) - A_b^k(i); A^k(i) = d_{trop} + d_{iyon}$$

$$\Delta N_{a b}^k = N_a^k - N_b^k$$

$$\Delta \varepsilon_{a b}^k = \varepsilon_a^k - \varepsilon_b^k \text{ dir.}$$

Yukarıdaki bir kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz ölçüleri denklemi istasyon noktaları arasında fark alınarak elde edilmişti. Aynı işlem uydular arasında fark için uygulanırsa $\Delta \Phi_a^{k1}$ elde edilir. İki işlem arasındaki fark; $\Delta \Phi_{a b}^k$ da uydu ile ilgili hatalar (uydu saat hataları ve yörünge hataları) büyük ölçüde azalmakta veya ortadan kalkmakta, $\Delta \Phi_a^{k1}$ de ise alıcı ile ilgili saat hatası büyük ölçüde azalmaktadır.

3.2.1.2. İki Kez Fark Alınmış (Double Difference) Matematiksel Model

Eğer iki alıcı noktası a ve b ve iki uydu k, l aynı anda yapılan bir gözlem için işleme giriyorsa bu durumda iki kez fark alınmış faz ölçme matematiksel modeli elde edilir. Bu matematiksel model iki şekilde elde edilebilir. Birincisi iki istasyon noktası arasında elde edilen bir kez fark alınmış faz ölçü denklemlerinin kullanılmasıyla, ikincisi ise iki uydu arasında bir kez fark alınmış faz ölçü denklemlerinin kullanılması ile elde edilir. İki yolda da bir kez fark alınarak bulunan ölçü denklemlerinin farklarının alınmasıyla iki kez fark alınmış faz ölçüleri matematiksel modeli elde edilir ve iki yolla yapılan işlem aynı sonucu vermektedir. Yukarıdaki tanımları formüle edersek iki kez fark alınmış faz ölçü modeli aşağıdaki gibi yazılır.

$$\Delta \Delta \Phi_{a b}^{k1}(i) = \Delta \Phi_{a b}^k(i) - \Delta \Phi_{a b}^l(i)$$

veya

$$\Delta \Delta \Phi_{a b}^{k1}(i) = \Delta \Phi_a^{k1}(i) - \Delta \Phi_b^{k1}(i) \quad (46)$$

olur. Bu eşitliklerden birincisinde bir kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz ölçüleri denklemini (45) de yerine koyarsak

$$\begin{aligned}
\Delta\Delta\Phi_{ab}^{k1}(i) = & - (f/c) [(\rho_a^k(i) - \rho_b^k(i)) - (\rho_a^1(i) - \rho_b^1(i))] \\
& - (f/c) [\Delta A_{ab}^k(i) - \Delta A_{ab}^1(i)] \\
& - (f/c) [(\rho_a^{ok}(i) - \rho_b^{ok}(i)) - (\rho_a^{o1}(i) - \rho_b^{o1}(i))] Z_{ab}(i) \\
& + (f/2c) [(\rho_a^{ok}(i) + \rho_b^{ok}(i)) - (\rho_a^{o1}(i) + \rho_b^{o1}(i))] Z'_{ab}(i) \\
& + \Delta\Delta N_{ab}^{k1} + \Delta\Delta\epsilon_{ab}^{k1}
\end{aligned} \tag{47}$$

Bu eşitlikte

$$\begin{aligned}
\Delta\Delta N_{ab}^{k1} &= (N_a^k - N_b^k) - (N_a^1 - N_b^1) \\
\Delta\Delta\epsilon_{ab}^{k1} &= (\epsilon_a^k - \epsilon_b^k) - (\epsilon_a^1 - \epsilon_b^1) \text{ dir.}
\end{aligned}$$

İki kez fark alınmış modelin uygulanması sonucunda uydu ve alıcı saat hataları büyük ölçüde azalır veya ortadan kalkar. Ayrıca iki istasyon noktası arasında ölçülen uzunluğun kısa olması durumunda (<10 km) uydu sinyalin yeryüzüne gelirken atmosferde aynı yolu izlediği varsayımı yapılarak (çok engebeli olmayan yerlerde bulunan istasyon noktaları için) atmosferik hatanın her iki ölçüde aynı etkiyi yapacağı kabul edilir. Fark alma sonucunda bu hatalarda büyük ölçüde azalır.

3.2.1.3. Üç Kez Fark Alınmış (Triple Difference) Matematiksel Model

Üç kez fark alınmış matematiksel model iki ayrı zamandaki diğer bir deyişle bir ölçü zamanı ve ardından gelen diğer ölçü zamanı arasında oluşturulan iki kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz modellerinin farkıdır. Bu eşitlik iki kez fark alınmış matematiksel model yardımıyla aşağıdaki şekilde oluşturulur [13, 14].

$$\Delta\Delta\Phi_{ab}^{k1}(i, i+1) = \Delta\Delta\Phi_{ab}^{k1}(i+1) - \Delta\Delta\Phi_{ab}^{k1}(i) \tag{48}$$

Bu eşitliğin sağ tarafındaki terimlerin değerleri yerine konur ve eşitlik yeniden düzenlenirse

$$\begin{aligned}
\Delta\Delta\Phi_{ab}^{k1}(i, i+1) = & - (f/c) \{ [(\rho_a^k(i+1) - \rho_b^k(i+1)) - (\rho_a^1(i+1) - \rho_b^1(i+1))] \\
& - [(\rho_a^k(i) - \rho_b^k(i)) - (\rho_a^1(i) - \rho_b^1(i))] \} \\
& - (f/c) \{ [\Delta A_{ab}^k(i+1) - \Delta A_{ab}^1(i+1)] - [\Delta A_{ab}^k(i) - \Delta A_{ab}^1(i)] \} \\
& - (f/c) \{ [(\rho_a^{ok}(i+1) - \rho_b^{ok}(i+1)) - (\rho_a^{o1}(i+1) - \rho_b^{o1}(i+1))] \\
& - [(\rho_a^{ok}(i) - \rho_b^{ok}(i)) - (\rho_a^{o1}(i) - \rho_b^{o1}(i))] \} Z_{ab}(i) \\
& + (f/2c) \{ [(\rho_a^{ok}(i+1) + \rho_b^{ok}(i+1)) - (\rho_a^{o1}(i+1) + \rho_b^{o1}(i+1))] \\
& - [(\rho_a^{ok}(i) + \rho_b^{ok}(i)) - (\rho_a^{o1}(i) + \rho_b^{o1}(i))] \} Z'_{ab}(i) \\
& + \Delta\Delta\varepsilon_{ab}^{k1}(i, i+1)
\end{aligned} \tag{49}$$

elde edilir.

Üç kez fark alınmış gözlem dekleminde, faz ölçümlerinde yer alan tam sayı faz bilinmeyi ortadan kalkmıştır. Bu nedenle bu sayının detaylı olarak bilinmesini tek başına gösteremezler ve iki kez veya bir kez fark alınmış gözlem denklemlerinin verdiği duyarlıkta sonuç alınamaz. Üç kez fark alınmış denklemlerin en önemli avantajı hatalar kısmında bahsedilen tam sayı faz kayması veya sıçramasının belirlenmesinde kullanılmasıdır. Şöyleki, bu denklemlerden oluşturulan farkların bir grafiği çizilirse ve eğer ölçüde bir sıçrama varsa, sıçramanın olduğu noktada sivri uçlu bir dağılım eğrisi türünden bir grafik ortaya çıkar.

3.3. Taşıyıcı Dalga Faz Ölçümlerindeki N (Tam Sayı Faz Bilinmeyi) nin Belirlenmesi

Tam sayı faz bilinmeyi sadece faz ölçülerinde bilinmeyen olarak işleme girmektedir ve bu bilinmeyen zamandan bağımsız olup alıcı ve uyduya bağımlıdır. Burada zamandan bağımsız olması ölçü anında her hangi bir kesiklik olmaması durumunda geçerlidir. Eğer, sinyalde bir kesilme olursa bu durumda bu tam sayı faz bilinmeyi yeni ölçüm için (kopukluktan sonraki) değişik bir değer alır.

Tam sayı faz bilinmeyeninin değeri değişik yöntemlerle belirlenebilir. Buradaki amaç, bu sayının gerçekte bazı sistematik ve/veya sistematik olmayan hatalardan dolayı tam sayı olmaması ve bu sayının tam bir sayıya

getirilmesidir. Bu durumda ancak tam sayı bilinmeyi çözülmüş veya sabitleştirilmiş denilebilir [15].

Tam sayı faz bilinmeyeninin çözülmesindeki güvenilirlik, doğruluk iki ölçü noktası arasında bulunan kenarın belirlenmesinde çok önemli bir faktördür [16]. Bu nedenle, tam sayı faz bilinmeyeninin çözümü faz ölçümleri ile konum belirlemede en önemli kısım denilebilir. Bu sayı değişik algoritma veya yöntemler kullanılarak çözülebilir. Bu bölümde pratikte en çok kullanılan durumlar anlatılacaktır. Anlatılan yöntemlerin kombinasyonlarında birer çözüm verebilir, fakat sonuç olarak diğer yöntemler anlatılacak olan yöntemlerin ölçü tekniği, matematiksel şekil, model değişikliği sonucu geliştirilmiş durumlarıdır.

3.3.1. Tek Bir Taşıyıcı Dalga Faz Sinyali Kullanarak N 'nin Çözülmesi

Bu yöntemde L1 veya L2 taşıyıcı sinyali kullanılmak üzere, daha önceden belirlenen taşıyıcı dalga faz denklemleride kullanılarak, denklemlerdeki bilinmeyenler (alıcı nokta koordinatları, uydu ve alıcı saat hataları ve N sayısı) en küçük kareler yöntemi kullanılarak dengelemeye tabii tutulur ve sonuçta bilinmeyenler belirlenmiş olur. Fakat bu çözümde uydu ve alıcı saat hataları, atmosferik etkiler, yörünge hataları modellendiği ve daha öncedende belirtildiği gibi bunların tam olarak modellenmesinin mümkün olmaması sonucunda elde edilen bilinmeyen parametrelerin hepsi bu etkileri taşımaktadır. Özellikle bu etki tam sayı faz bilinmeyi için önemlidir çünkü bu etki sonucunda bu değer artık tam bir sayı olarak ortaya çıkması ilk aşamada mümkün değildir. Bu nedenle N sayılarının tam bir sayıya sabitlenmesi için Ardışık Dengeleme Tekniğinin kullanılması gerekir [17]. Bu işlem şu şekilde tatbik edilir: Önce bir dengeleme sonucunda bulunan N sayılarından tam sayıya en yakın ve standart hatası en küçük olan, tam sayıya sabitlenir ve dengeleme diğer ölçüler için sürdürülür. Bu işlem tekrar edilerek her uydu ve alıcı ölçüsü için N ler teker teker sabitlenir. Bu yönteme benzer yöntem daha önceleri [18] tarafından kullanılmış olup, bu yöntemde elde edilen gerçek faz bilinmeyenlerinin tam sayıya getirilmesi durumunda güvenilirlik sınırlarına bakılır. Ayrıca, [19] da dengeleme sonucunda düzeltmelerin karelerinin toplamının minimum olduğu tam sayı faz bilinmeyeninin belirlenmesi ilkesine bağlı olup, burada da N sayılarının belirlenmesi her bir N 'nin değişik

kombinasyonları sonucunda gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde, özellikle ağ dengelemelerinde çok sayıda N 'nin hesaplanması ve N 'lerin kombinasyonlarının artması sonucu zaman kaybı çok olur. [17] de kullanılan yöntem ise iki kez fark alınmış faz ölçüleri denklemi ve kısa kenar ölçmeleri için çok başarılıdır. Bu yöntemde sonucu en çok etkileyen faktör iyonosferik refraksiyonun modellenmesinde yapılan hatadır.

3.3.2. Çift Taşıyıcı Dalga Faz Sinyali Kullanarak N 'nin Çözülmesi

Tam sayı faz bilinmeyeninin çözümünde iki değişik tür taşıyıcının (L1 ve L2) kullanılması büyük avantajlar sağlamaktadır. Çünkü, bu durumda ölçü denklemlerinin değişik ve mümkün olan bütün doğrusal kombinasyonları kullanılabilir. Bunlardan en çok kullanılanları L1 ve L2 taşıyıcı dalgalarıyla oluşturulan faz denklemlerinin taraf tarafa çıkarılması veya toplanması ile elde edilir. Bunlara geniş ve dar şerit (aralık) yöntemleri denmektedir. Bunlar [20, 21, 22] tarafından öne sürülmüştür. Örneğin geniş şerit

$$\Phi_{\omega} = \Phi_{L1} - \Phi_{L2} \quad (50)$$

şeklinde elde edilir. Bu durumda Φ_{ω} da kullanılan dalga frekansı $f_{\omega} = 347.82$ MHz olmakta ve buna karşılık gelen dalga boyu ise $\lambda_{\omega} = 86.2$ cm dir. Bu sayının $\lambda_{L1} = 19$ cm veya $\lambda_{L2} = 24$ cm göre çok büyük olması bilinmeyen tam sayı fazın daha kolay bulunmasına yol açacaktır. Bu yöntemde de iyonosferik refraksiyonun etkisi, ortadan tam olarak kalkmamakta ve fark alma veya kısa kenarların ölçüsü için az olmaktadır. Fakat uzun kenarların ölçülmesi veya düzensizlik gösteren atmosferik (iyonosferik) şartlarda bu denklemde bulunan iyonosferik etkiye bağlı terim problem yaratabilir.

Bu denklemden başka diğer lineer kombinasyonlar [23] de gösterilmiş olup, bunlar dar şerit $\lambda_N = 10.7$ cm den extra geniş $\lambda_{ew} = 172.4$ cm ye kadar olan denklemlerdir. Ayrıca iyonosferden bağımsız lineer kombinasyonlarda vardır, bu kombinasyonların en büyük dezavantajı faz bilinmeyeninin işlemler sonucunda artık tam sayı olmayışıdır.

3.3.3. Çift Taşıyıcı Dalga Faz Sinyali ve Kod Kullanarak N 'nin Çözümü

Yukarıda anlatılan geniş şerit yönteminde en büyük etkileyici faktör iyonosferin etkisidir. Bu etki, iki ölçü noktası arasında belirlenen kenarın büyümesiyle artmaktadır. Etki faz ve kod ölçülerinin birlikte kullanımı ile ortadan kaldırılabilir dolayısıyla N sayısı daha duyarlı olarak belirlenebilir. Bu yöntemde işlem adımları şöyle sıralanabilir : Birinci olarak taşıyıcı dalga faz ölçüleri denklemleri Φ_{L1} ve Φ_{L2} , aynı şekilde P_{L1} ve P_{L2} kod deklemleri yazılır. Bunların uygun kombinasyonları sayesinde N_{ω} geniş şerit faz bilinmeyenini belirlenir [2]. Burada belirlenen faz bilinmeyenini iyonosferik etki ve iki nokta arasındaki mesafeden bağımsızdır. İkinci olarak, bu faz bilinmeyeninden ve taşıyıcı dalga faz denkleminde yararlanarak taşıyıcı dalga faz ölçüsü için tam sayı faz bilinmeyenini hesaplanır. Bu bulunan değer iyonosferden bağımsız tam sayı faz bilinmeyeninin belirleme denklemidir. Burada dikkat edilecek en önemli husus önce N_{ω} 'nın hesaplanıp daha sonra N 'nin hesaplanmasında bu değer kullanılmasıdır. Eğer böyle yapılmayıp, denklem bir bütün olarak yazılırsa sonuçta N 'lerin tam sayı olma özellikleri bozulabilir. Faz ve psoydo uzunlukların (kod) kullanımı ile ölçüler ROGUE GPS alıcıları ile sağlanmaktadır [24]. Bu alıcılar geniş şerit faz bilinmeyenini oluşturmaya yönelik geliştirilmiştir.

Çift taşıyıcı dalga faz frekansı ve kod kullanarak faz bilinmeyeninin çözümü değişik kişiler tarafından açıklanmıştır. Bunlardan geniş şerit yöntemi ile N 'nin belirlenmesi Φ_{L1} ve Φ_{L2} faz ölçüsü ile birlikte kod ölçülerinin alınmasıdır [25, 26, 27]. Buna benzer ve diğer çözüm yöntemleride [21, 28, 29, 30, 31] de gösterilmiştir. Bu yöntem aynı zamanda kinematik yani bir alıcının sabit, diğer alıcının hareketli bir şekilde ölçü alma yönteminde de anlık faz bilinmeyeninin çözümünde kullanılmıştır. Bu yöntemde sadece bir gözlem ile kısa kenarların belirlenmesi mümkündür, fakat yedi veya daha fazla uydudan yararlanılması gerekmektedir [32].

3.3.4. Araştırma Tekniği Yardımıyla N 'nin Çözümü

Bu teknikte, dengeleme sonucu elde edilen faz bilinmeyeninin gerçek değerinin (tam sayıya dönüştürülmüş) kovaryans bilgisinden yararlanır.

Bu durumda bilinmeyen faz değerinin orta bölgelerinde bulunan değerler, her lyeye ait tam sayı faz bilinmeyi ni için başlangıç değeri olarak alınır ve ardışık dengelemeye bu faz bilinmeyen değerlerinin değişik kombinasyonları girilerek, sonuçta standart sapması en küçük olan konumu sağlayan faz bilinmeyenlerinin kombinasyonu problemin çözümü olarak alınır.

Bu teknik, genelde ağdaki tek bir kenarın belirlenmesi için kullanılır. Bu teknikten daha karmaşık ve detaylı ise [33] de aşağıdaki adımlarda verilmiştir. (1) Standart bir dengeleme ile faz bilinmeyenleri ve nokta konumları belirlenir. (2) Dengeleme sonucunda oluşan istatistik bilgileri kullanarak her seferinde bir tane faz bilinmeyeninin sabit, yani tam sayı değeri alınır. (3) Her seferinde zlen bu tam sayı faz bilinmeyi ni, bilinen olarak dengelemeye katılarak bütün faz bilinmeyenleri bulunur. (4) Sonuçta, bütün bu tam sayı faz bilinmeyenleri kullanılarak dengeleme yeniden yapılır ve kesin sonuçlar bulunur.

[34] ve [35] de iki ayrı karar kriterine bağlı olarak "ardışık faz bilinmeyi ni araştırma yöntemi" ne sürülmüştür. Bu yöntemde de ilk olarak bir karar fonksiyonuna bağlı olarak yuvarlatma yani yaklaşık değer kriteri kullanılır, ikinci olarakta dengeleme sonucundaki düzeltme değerlerinin ağırlıklı kareleri toplamı minumum edecek araştırma kriteri uygulanır.

Diğer bir yöntemde "boot strap" olarak adlandırılmıştır. Bu yöntem yukarıda anlatılan araştırma kriterine çok benzer olup, aralarındaki fark; düzeltmelerin karelerinin toplamının en küçüğünü sağlayan kombinasyon değerlerini kabul etmeden önce, seçilen kombinasyon istatistik teste tabii tutulup doğruluğu ispatlanmalıdır [36].

Diğer bir yöntemde "Kalman filitreleme" yaklaşımıdır. Bu yöntemde, her bir faz bilinmeyen seti için kalman filitresi uygulanmaktadır. En büyük a posteriori olasılık P yi sağlayan ve tüm ölçümleri içeren bir filitrelemeden sonra doğru tam sayı faz bilinmeyenlerini veren bir yöntemdir [37].

"En küçük kareler faz bilinmeyen araştırma tekniği" ilk defa [38] tarafından ortaya atılmıştır. Teknik önceleri kinematik konum belirlemek

amacıyla geliştirilmişti, fakat daha sonra tekrar geliştirilerek iki kez fark alınmış faz ölçülerinde kullanılacak şekle getirilmiş ve temel olarak ardışık dengeleme tekniğine dayanmaktadır. Bu teknikte, ilk gözlemden yararlanılarak bir çözüm bulunur ve daha sonra ikinci gözlemlerden yararlanılarak çözüm geliştirilir [39]. Bu tekniğin adımları şöyle sıralanabilir. (1) Kod ölçülerini kullanarak nokta konumlarını ve buna bağlı olarak araştırma bölgesini belirlemek. (2) Teste tutmak için faz bilinmeyenlerinin setini belirlemek. (3) Her bir set için çözümü hesaplamak. (4) En küçük varyans faktörüne sahip olan çözümü bulmak için istatistik test yapmak.

Diğer bir yöntem ise nokta konumlarını bilinen, faz belirsizliklerini bilinmeyen olarak ele alan bir yöntemdir. Bu yöntem şu şekilde uygulanmıştır. Üç kez fark alınmış faz denklemlerini yazarak faz belirsizliğinin (N) yok edilmesi sağlanır ve bu denklemleri kullanarak noktanın konumu ve standart sapması " σ " dengeleme sonucu bulunur. Bu bulunan yaklaşık konum değeri boyutu $8\sigma * 8\sigma * 8\sigma$ olan bir küpün orta noktasına gelecek şekilde konur. Bu küp daha sonra eşit aralıklı gridlere bölünür ve grid noktalarının her biri gerçek çözüm için bir aday olarak seçilir. Sırasıyla her bir küp noktası (aday konum değeri), gözlem denklemlerinde yerine konur ve dengeleme sonucu faz belirsizlikleri hesaplanır. Bu işlem sırasında nokta konumları sabit alınır. Bütün noktalar için bu işlem yapıldıktan sonra, bulunan faz bilinmeyenleri içerisinde tam sayıya en yakın olanları seçilir, bunlar en yakın tam sayıya getirilir ve gözlem denklemlerinde sabit tutularak noktanın konumu bulunur.

3.3.5. Faz Belirsizliği Fonksiyon Yöntemi

Bu yöntem ilk kez [40] da tanımlanmıştır. yöntemdeki hedef, diğerlerinde olduğu gibi N sayısının öncül değerinin bulunmasıdır. Bu yöntem [13] de daha detaylı anlatılmış ve teori daha sonraları [41] ve [42] de ayrıca geliştirilerek incelenmiştir. Bu çalışmaların en önemli amacı GPS 'in kinematik ölçülerde büyük önem kazanması ve uçak, gemi gibi hareket eden cisimlerin konumlarının belirlenmesinde kullanılmasıdır. Ayrıca, statik ölçülerde de bu yöntem çok kısa bir ölçme süresi ile noktanın konumunun bulunmasına yardımcı olmaktadır.

Bu yöntemin diğer yöntemlerden farkı; faz bilinmeyenlerinin setlerinin göz önüne alınması yerine, nokta konumlarını araştırmaktır. Diğer bir deyişle, ölçülen iki kez fark alınmış faz ölçülerinden, hesaplanmış faz farklarının (araştırılan nokta konum değerlerinden hesaplanan) cebrik toplamı sonucunda oluşan tam sayıya en yakın değerinin bütün ölçüler için bulunduğu andaki noktanın konumunun belirlenmesidir. Bu durumda Faz bilinmeyen fonksiyonu maksimumdur. Bu yöntemin adımları şöyle sıralanabilir [43]. (1) C/A kod kullanmak suretiyle en küçük kareler yöntemini kullanarak öncül X, Y, Z nokta konumu ve $\sigma_X, \sigma_Y, \sigma_Z$ konum duyarlılıkları belirlenir. Bundan sonra X, Y, Z nokta konumu civarında araştırma hacmi hesaplanır (Araştırma tekniğinde olduğu gibi). Örneğin $4\sigma_X, 4\sigma_Y, 4\sigma_Z$ [44]. (2) Araştırma hacmi içerisinde gridler oluşturulur. Öncül nokta konumu etrafında noktaların yerleri belirlenir ve test noktaları oluşturulur. (3) Her bir test noktası için AF (Ambiguity Function) hesaplanır, seçilen minimum değerden az değer veren AF fonksiyonu kabul edilmez ve diğer bir test noktası için bu işlem tekrarlanır. (4) En büyük AF değeri ve ikinci büyük AF değeri test noktası için karşılaştırılır. En büyük AF değerini sağlayan test noktasının konumu kullanılarak faz bilinmeyenleri hesaplanır ve değer en yakın tam sayıya yuvarlatılır.

3.3.6. Faz Belirsizliğinin Çözümünde En Hızlı Yaklaşım

Bu yöntem [45] de detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu yöntemde de işlem adımları şöyle sıralanmıştır: (1) Sabit olmayan veya değişen taşıyıcı dalga faz çözümü yapılır. (2) Birinci adımda hesaplanan ve tam sayı olmayan faz belirsizliklerinden, istatistik test için setler oluşturulur ve setler test edilir. (3) Her bir faz belirsizliği seti için sabit (kesin) çözüm yapılır. (4) Kesin ve kesin olmayan sonuçların birbirine uygun olup olmadığı araştırılır. Kesin sonuçtaki en küçük varyans faktörü ile ikinci küçük varyans faktörü istatistik teste tutulur.

3.3.7. Faz Belirsizliğinin Çözümünde Diğer Yöntemler

Faz belirsizliği, yukarıda verilen yöntemlerin biri veya bir kaçının kombinasyonu şeklinde uygulanarakta belirlenebilir. Bu durumda hesap süresi, arazi ölçüm süresi, ölçü sayısı, duyarlık gibi faktörler göz önüne alınır. Diğer bir deyişle, problemin optimize sonucu bulunmaya

çalışılmaktadır. Bu yöntemlere bu kısımda kısaca değinilmiştir. Birinci olarak normal bir ölçü yöntemi, faz bilinmeyenlerinin çözülmesi için yetecek sürede ölçüm zamanı ve yaklaşık nokta koordinatları yardımıyla bilinmeyenlerle birlikte N sayısının belirlenmesidir. İkinci bir yöntem de ölçüm süresi için çok kısa bir zaman ve çok yaklaşık nokta koordinatları istemeyen bir çözümdür [46]. Bu yöntem antenna swapping (GPS alıcı antenlerinin karşılıklı olarak yer değiştirmesi) ilkesine dayanır [47]. Yöntemin ana ilkesi, uydu ile alıcı arasındaki geometrinin alıcı antenlerinin değiştirilmesi suretiyle çok kısa süre içerisinde değişimini sağlamaktır. Anten yer değiştirme sayesinde elde edilen uydu ile alıcı geometrisinin tam olarak ters geometriyi elde etmesi, öncül faz bilinmeyenlerinin elde edilmesi için ve dolayısıyla öncül nokta koordinatlarının belirlenmesi için yeterlidir. Bu durumda yöntemi en çok etkileyen faktör antenlerin yer değiştirilmesi sırasında alınan uydu sinyalinde bir kopukluğun olmasıdır. Diğer bir yöntem ise "Nottingham yöntemi" olarak adlandırılmıştır. Bu yöntemde ölçümün ilk dakikalarında iki tane referans istasyonu ile ölçümlere başlanır ve diğer bütün noktalardaki kinematik ölçülerden sonra tekrar referans noktalarında ölçüm yapılır. Bu durumda yine antenna swapping yönteminde olduğu gibi son noktalara gelindiğinde uydu ile alıcı arasındaki geometri değişecek ve bu da iki nokta arasındaki uzunluk vektörünün ve buna karşılık gelen tam sayı faz bilinmeyeninin çözülmesine yardımcı olacaktır [48].

4. GPS İSTASYON NOKTALARININ KONUMLARININ GELİŞTİRİLEN YÖNTEM İLE BELİRLENMESİ

Bu bölümde iki kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz ölçüleri kullanılmak suretiyle GPS ölçü noktalarının konumlarının belirlenmesi incelenecektir. Taşıyıcı dalga faz ölçüleri ile konum belirlemede en önemli faktör tam sayı faz bilinmeyi N 'nin en kısa sürede ve duyarlı bir şekilde belirlenmesidir. Daha öncede belirtildiği gibi N sayısı değişik yöntemlerle belirlenebilir ve bunun belirlenmesinde yapılacak hata, doğrudan belirlenen konuma yansımaktadır. Bu çalışmada N sayısının, bilinen yaklaşık nokta koordinatları (cm seviyesinde) ve Φ_{L1} veya Φ_{L2} taşıyıcı dalga faz ölçüleri kullanarak belirlenmesi detaylı bir şekilde incelenecektir. Çalışmanın odak noktasını bu kısım oluşturacaktır. Belirlenen N sayısı, oluşturulan faz ölçü denklemlerinde bilinen olarak yerine konduktan sonra uygun ölçü ağırlıklarının belirlenmesi ve bu yöntemle uygun dengeleme modeli yardımıyla nokta konumları belirlenecektir.

4.1. Tam Sayı Faz Bilinmeyi N 'nin Belirlenmesi

Taşıyıcı dalga faz ölçülerinde bulunan N sayısının belirlenmesi, nokta konumlarının belirlenmesinde en önemli aşamalardan biri olduğu daha önce belirtilmişti. Bu sayı bu çalışmada bilinen yaklaşık koordinatlar yardımıyla belirlenecektir. Koordinatların belli bir yaklaşıklıkla bilinmesi bu yöntemin diğer yöntemlerden en önemli farkıdır. Çünkü standart yöntemlerde N sayısı ve noktaların konumları bilinmemekte veya çok sayıda kod ve faz ölçülerinin kullanılması sayesinde dengeleme sonucunda belirlenmektedir. Bu nedenle standart GPS ölçümü, arazideki ölçme zamanının uzamasına yol açmaktadır. Arazideki ölçme süresinin uzun olması maliyeti arttıracığından çalışmadaki yöntemin geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Ayrıca çalışmada bu yöntemin mühendislik yapılarındaki deformasyonun izlenmesinde kullanılmasının planlanması ve bu tür ölçmelerin periyodiklik gerektirmesi geliştirilecek yöntemin önemini belirtmektedir.

N 'nin belirlenmesinde Φ_{L1} veya Φ_{L2} taşıyıcı dalga faz sinyali kullanılabilir. Kullanılan sinyal türüne göre uygun dalga boyu sabiti denklemlerde yerini alacaktır. Daha öncedende belirtildiği gibi çalışmada geliştirilen yöntemin en önemli noktası, bu yöntemin daha sonra deformasyon izleme ağlarında kullanılmasıdır. Çünkü bu yöntem sayesinde; N sayısı çok kısa bir süre içerisinde belirlenecek dolayısıyla, çok az bir ölçü ve ölçme zamanı ile standart GPS yöntemleriyle elde edilecek sonuç ve duyarlığa eşdeğer şekilde nokta konumu belirlenebilecektir. Bu ise ancak, noktanın yaklaşık koordinatlarının bilinmesi (cm seviyesinde) ile mümkündür. Deformasyon ölçmelerinde ölçüler devamlılık veya duruma göre periyodiklik gerektirdiğinden ölçü istasyon noktalarında birden çok gözlem yapılacaktır. Bir kez yapılan ölçü, deformasyon belirlemede bir anlam taşımayacağından ve elde edilen koordinatların karşılaştırılabilmesi için en az ikinci bir ölçümün yapılması gerekmektedir. Bu da çalışmada geliştirilmek istenen yöntemin başlangıç noktasını teşkil etmektedir. Şöyleki; ilk koordinatlar standart GPS ölçü ve değerlendirme yöntemi veya diğer bir yöntem kullanılmak suretiyle (bu yersel bir yöntemde olabilir) başlangıçta belirlenecek ve bunlar kullanılarak, geliştirilen yöntem yardımıyla noktada daha sonra yapılacak ölçmelerinin süresi en aza (bir kaç dakika) indirilmek sureti ile nokta konumları standart yöntemlerdeki duyarlığa eşdeğer bir şekilde belirlenecektir.

N sayısı bu çalışmada aşağıda verilen işlem sırasında belirlenmiştir:

• İki kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz eşitliği (47) ile (18) eşitliği göz önüne alınır.

$$\rho = [(X^U - X_A^0)^2 + (Y^U - Y_A^0)^2 + (Z^U - Z_A^0)^2]^{1/2}$$

$$\begin{aligned}
\Delta\Delta\Phi_{ab}^{kl}(i) = & - (f/c) [(\rho_a^k(i) - \rho_b^k(i)) - (\rho_a^l(i) - \rho_b^l(i))] \\
& - (f/c) [\Delta A_{ab}^k(i) - \Delta A_{ab}^l(i)] \\
& - (f/c) [(\rho_a^k(i) - \rho_b^k(i)) - (\rho_a^l(i) - \rho_b^l(i))] Z_{ab}(i) \\
& + (f/2c) [(\rho_a^k(i) + \rho_b^k(i)) - (\rho_a^l(i) + \rho_b^l(i))] Z'_{ab}(i) \\
& + \Delta\Delta N_{ab}^{kl} + \Delta\Delta\epsilon_{ab}^{kl}
\end{aligned}$$

Bu eşitliklerdeki parametrelerin bir kısmı hesaplanmış bir kısmı ise ölçü sonucu elde edilmiştir. Bilinmeyen ise $\Delta\Delta N_{ab}^{kl}$ dir.

X_A^o : Alıcının bulunduğu noktanın yaklaşık koordinatlarıdır. Bu koordinatlar rölatif olarak standard GPS verileri değerlendirme yöntemiyle belirlenmiştir.

X^U : Uydu mesajında gönderilen bilgiler ışığında hesaplanan uydu koordinatlarıdır.

$\Delta\Delta\Phi_{ab}^{kl}(i)$: a ve b noktaları arasında k, l uydularına yapılan faz gözlemlerinin iki kez fark alınarak elde edilmiş gözlem değeri.

• Hesaplanan, modellenen (atmosferik etkiler) ve ölçülen değerler yardımıyla

$$\begin{aligned}
\Delta\Delta N_{ab}^{kl} = & \Delta\Delta\Phi_{ab}^{kl}(i) - \{ - (f/c) [(\rho_a^k(i) - \rho_b^k(i)) - (\rho_a^l(i) - \rho_b^l(i))] \\
& - (f/c) [\Delta A_{ab}^k(i) - \Delta A_{ab}^l(i)] \\
& - (f/c) [(\rho_a^k(i) - \rho_b^k(i)) - (\rho_a^l(i) - \rho_b^l(i))] Z_{ab}(i) \\
& + (f/2c) [(\rho_a^k(i) + \rho_b^k(i)) - (\rho_a^l(i) + \rho_b^l(i))] Z'_{ab}(i) \\
& + \Delta\Delta\epsilon_{ab}^{kl} \}
\end{aligned}$$

bulunur. Fakat bu eşitlikteki $\Delta\Delta N_{ab}^{kl}$ değeri tam sayı değildir ve en uygun tam sayıya çevrilmelidir. $Z_{ab}(i)$ ve $Z'_{ab}(i)$ alıcı saat hatası sabitlerinin içerisinde bulunan alıcı saat hataları ise psoydo uzunluklar yardımıyla hesaplanacaktır. Bu denklemdeki atmosferik etkiler, basitleştirilmiş Saastamoinen troposferik etki modelinin kullanılması sonucunda

belirlenmiştir [49]. Alıcı saat hataları ve troposferik etkinin hesabı bir sonraki alt başlıklarda anlatılacaktır.

- N sayısının gerçek değeri yukarıdaki eşitlik yardımıyla bulunduğundan sonra, N sayısının tam sayı olma gerekliliğinden bu sayı en uygun tam sayıya çevrilir.

- Bilinen; X_A^o , hesaplanan; N, X^U , alıcı saat hataları ve ölçülen $\Delta\Delta\Phi$ yardımıyla iki kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz ölçü denklemleri (1) elde edilir.

- İki kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz ölçülerinin ağırlıkları (W) belirlenir. Bu ağırlıkların değişik durumlar için belirlenmesi bölüm (4.5.3) de detaylı olarak verilmiştir.

- Belirlenen ağırlıklar, ölçü denklemleri ve uygun dengeleme modeli yardımıyla bilinmeyen nokta koordinatları X_A ve konum hataları hesaplanır.

4.2. Alıcı Saat Hatalarının Hesaplanması

Alıcı saat hatası, herbir alıcı için kod psoydo uzunluk ölçüleri kullanılmak suretiyle yapılır. Bu hesaplamada kod psoydo uzunluk ölçü denklemleri (17)

$$P = \rho + c (\delta t^U - \delta t_A) + d_{iyon} + d_{trop} + r_p$$

kullanılır. Bu denklemde bilinmeyen, nokta konumları ve alıcı saat hatalarıdır. Diğer terimler daha önce belirtildiği gibi modelleme veya bilinenler yardımıyla hesaplama sonucu elde edilir.

Kod psoydo uzunluk eşitliğindeki bilinmeyenler olan X_A nokta koordinatları ve δt_A alıcı saat hatasının hesabı için, en az bir noktadan 4 uyduya gözlem yapılmış olması gerekmektedir. Fazla uydu sayısı bilinmeyenlerin dengeleme sonucunda daha duyarlı bir şekilde belirlenmesini sağlar. Bu çalışmada her bir ölçü anı için bir alıcı saat hatası bulunmuştur, fakat pratikte her ölçü noktasındaki alıcı için bütün ölçüm

anları kullanılarak bir tane alıcı saat hatası belirlenir. Her bir ölçü anı için bir alıcı noktasında birden fazla alıcı saat hatasının hesaplanmasındaki en önemli amaç, bu ölçülerin istenirse navigasyon (gerçek zamanda konum belirleme) için kullanılmasıdır. Ayrıca alıcı saat hatası, uydu saat hatasında kullanılan polinom gibi bir polinom kullanılarakta modellenebilir. Bu durumda ölçüler yardımıyla polinomdaki katsayılar hesaplanır ve enterpolasyon sonucunda istenilen zamandaki alıcı saat hatasının değeri belirlenebilir.

4.3. Atmosferik Etkilerin Hesaplanması

Bu çalışma, küçük ölçekli deformasyon çalışmalarına altlık teşkil etme amacıyla ortaya atıldığından, mühendislik yapılarının (baraj, köprü, nükleer santral vs.) deformasyon ölçülerinde kullanılacaktır. Bu tip ölçümlerde kullanılan jeodezik ağların küçük boyutlu olması nedeniyle (kenar uzunlukları <10 km) atmosferik etkilerin küçük kenarlar ve rölatif ölçü düzeneği için yapılan pratik çalışmalar sonucunda minimum olduğu veya ortadan kalktığı görülmüştür. Bunun en büyük nedeni; bir ölçü denklemi için, aynı uydudan iki alıcı noktasına gelen sinyalin, aynı yolu izlediği ve farklarının alınmış olmasıdır. Bu nedenle atmosferik etkiler, N 'nin belirlenmesinde ihmal edilmiştir. Fakat özellikle troposferik etkinin, sonucu ne kadar etkileyebileceğinin belirlenmesi için eldeki atmosferik bilgiler dahilinde, Basitleştirilmiş Saastamoinen formülü kullanılarak bu etkinin sayısal değeri aşağıdaki eşitliklerin kullanılması suretiyle bulunmuştur.

$$d_{\text{trop}} = kd / \sin [(\alpha^2 + 6.25)^{1/2} * \Pi * 180] \\ + kw / \sin [(\alpha^2 + 2.25)^{1/2} * \Pi * 180] \quad (51)$$

$$kd = 1.552 * 10^{-5} * p / t [(148.72 * t - 488.3552) - h] \quad (52)$$

$$kw = 7.46512 * 10^{-2} * / (t^2 * 11000 - h) \quad (53)$$

$$\alpha = 90 - z * 180 / \Pi \quad (54)$$

$$z = \Pi / 2 - \alpha \quad (55)$$

$$e = rh / 100 * e^{(-37.2465 + 0.213166 * t - 0.000256908 * t * t)} \quad (56)$$

$$t = t + 273.15 \quad (57)$$

Bu eşitliklerde t: sıcaklık (°C), p: atmosfer basıncı (mb), rh: nisbi nem, e: su buharı basıncı, α : eğim açısı, h: ölçü noktasının yüksekliğidir.

Eşitliğin uygulaması sonucunda, çalışmada bu etkinin değerinin ihmal edilebileceği görülmüştür (Bölüm 6).

4.4. Uydu Koordinatlarının Hesabı

Bir önceki bölümde uydu koordinatlarının nasıl hesaplanacağı uydu almanacağı kullanılmak suretiyle teori olarak verilmişti. Pratikte bu işleme geçilmeden önce, uydudan alınan sinyalin alıcıya ulaştığı zamandan (an) yararlanılarak uydudan bu sinyalin ne zaman yayınlandığı hesaplanır. Bu yayınlanma anına transmisyon zamanı t_T denir ve aşağıdaki adımlarla hesaplanır:

- İlk aşamada alıcıda okunan değer t_A transmisyon zamanı t_T olarak alınır.

- t_A zamanı içerisinde, uydu zamanının GPS zamanından farklı olmasından dolayı, uydu saat hatası vardır. Bu hata miktarı uydu sinyali ile gönderilen mesaj içerisindeki bilgiler yardımıyla, daha önce bölüm (2.8.1) de açıklandığı şekilde hesaplanır.

- Uydu sinyal yayınlama zamanı t_T nin ilk yaklaşık değeri, ölçülen kod psoydo uzunluklar kullanılmak şartıyla aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$t_T = t_A - \delta t^U - \rho / c \quad (58)$$

- Bulunan t_T zamanı ile uydunun koordinatları; uydu yörünge sisteminden X_e, Y_e, Z_e kartezyen koordinatları olarak hesaplanır. Bu koordinatlar, dünyanın ağırlık merkezini orijin alan yersel koordinat sistemindeki uydunun t_T anındaki koordinatlarıdır.

- Bulunan uydu koordinatları ve kod psoydo uzunluklar yardımıyla alıcı saat hatası hesaplanır.

- WGS-84 (World Geodetic System) deki uydu koordinatlarının hesaplanması için, bulunan koordinatlar dünyanın dönme hızında göz önüne alınarak dönüştürülür. Bu işlem için ilk önce rotasyon açısı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$r_A = (t_A - \delta t_A - t_T) * \omega_e \quad (59)$$

Bu eşitlikteki ω_e dünyanın açısal dönme hızıdır. r_A rotasyon açısı yardımıyla geçici uydu kartezyen koordinatları

$$\begin{aligned} X &= X_e * \cos(r_A) + Y_e * \sin(r_A) \\ Y &= -X_e * \sin(r_A) + Y_e * \cos(r_A) \\ Z &= Z_e \quad (\text{Değişmemektedir}) \end{aligned} \quad (60)$$

bulunur.

- Bulunan X koordinatları ilk başlangıçta $t_A = t_T$ alınmasından dolayı yaklaşık ve geçici koordinatlardır. Psoydo uzunluklar (kod) ve hesaplanan alıcı saat hatasında dikkate alınması ile yeniden hesaplanan t_T zamanı, ikinci hesaplamada da yaklaşık değer alınarak yukarıdaki işlemler tekrarlanır. Çözüm iteratiftir ve ne zaman (t_T (eski) - t_T (yeni)) arasındaki fark önceden kullanıcı tarafından belirlenen farktan küçük ise hesaplama işlemi durdurulur. Bulunan son t_T zamanı ile hesaplanan koordinatlar uydunun sinyali yayınladığı andaki koordinatlarıdır. GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde t_T zamanı kullanılmaktadır.

4.5. Faz Ölçülerinin ve Bunların Farklarının Ağırlıklarının Hesaplanması

Faz ölçü denklemleri bir önceki bölümde detaylı olarak verilmişti. Bu denklemlerde ölçülen kısım "faz" dır, diğer parametreler ise hesaplama veya modelleme sonucu belirlenir. Bu çalışmada, iki kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz ölçüleri kullanılmaktadır. GPS faz ölçülerinin eşit varyansa sahip oldukları ve birbirleri arasında korelasyona sahip olmadığı

varsayılmaktadır [50]. Fakat taşıyıcı beat faz yerine bunların farkları alınarak işleme girildiğinde bu ölçüler arasında matematiksel olarak bir korelasyon oluşmaktadır. İki nokta arasındaki kenarın bulunması çözümünde, bir kez fark alınmış faz ölçülerinin kullanımı, korelasyona sahip değildir. Fakat iki kez veya üç kez fark alınmış faz denklemleri çözümde kullanılıyorsa korelasyon oluşur. Bu da gösteriyor ki, sadece çözümün tek bir kenar veya bir ağ çözümü olması yanında, kullanılan fark alma yöntemi ölçüler arasında matematiksel korelasyon oluşmasına sebep olmaktadır [13].

Ölçü korelasyonlarının bulunmasında en önemli amaç; ölçülerin ağırlıklarının belirlenmesidir. Özellikle ağ içerisindeki kenarların uzunlukları birbirine göre çok farklılık gösteriyor ve hesaplanan parametrelerin istatistiğinin daha güvenilir sonuçlar vermesi isteniyorsa ölçü ağırlıklarının göz önüne alınması gerekmektedir [51].

4.5.1. Taşıyıcı Dalga Faz Ölçülerinin Korelasyonu

Orijinal taşıyıcı dalga faz ölçüleri ister bir tek kenar çözümünde, ister ağ çözümünde kullanılsın birbirleri arasında korelasyon yoktur ve her bir ölçü eşit varyansa sahiptir. Örneğin σ^2 . Bu varsayıma göre aşağıdaki ifade yazılabilir [52].

$$E \{ V_{\Phi_a^k}^k(i) V_{\Phi_b^m}^m(j) \} = \begin{cases} \sigma^2 & \text{Eğer } (i = j; k = m) \\ 0 & \end{cases} \quad (61)$$

Bu eşitlikte V , 0 umut değeri ile hata miktarıdır. Bu formülde ve bundan sonra yazılacak formüllerde kullanılan k, l, m, \dots üst gösterimleri uyduları, a, b, c, \dots alt gösterimleri istasyon noktalarını, i, j ise ölçüm anını gösterecektir.

Yukarıdaki eşitlikten görüldüğü gibi birden fazla veya bir alıcı noktası için kovaryans matrisi kare matristir ve köşegen elemanların dışındaki tüm değerler 0'a eşittir.

4.5.2. Bir Kez Fark Alınmış Faz Gözlemlerinin Korelasyonu

Bu durumda bir kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz gözlem denklemi (45) ile (61) eşitliği göz önüne alınırsa ($c = a, d = e$) durumu için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$E \{ V_{\Delta\Phi_{a_e}^k}(i) V_{\Delta\Phi_{c_d}^m}(j) \} = \begin{cases} 2\sigma^2 & \text{Eğer } (i = j; k = m) \\ 0 & \end{cases} \quad (62)$$

Diğer mümkün olan kombinasyonlar için ölçüler arasındaki korelasyon (62) eşitliğini sağlayacak şekilde aşağıdaki gibi yazılır [52].

$a = c ; d \neq e$	olduğu zaman (62) eşitliği (0.5) ile çarpılır.
$c = e ; d = a$	olduğu zaman (62) eşitliği (-1) ile çarpılır.
$c = e ; d \neq a$	olduğu zaman (62) eşitliği (-0.5) ile çarpılır.
$c \neq a, e ; d = e$	olduğu zaman (62) eşitliği (0.5) ile çarpılır.
$c \neq a, e ; d = a$	olduğu zaman (62) eşitliği (0.5) ile çarpılır.

Diğer bütün durumlarda korelasyon 0 dır yani korelasyon yoktur.

Bu formülasyon dışında kovaryans matrisi bir kez fark alınmış ölçüler için ölçü farkları matrisi operatörü SD kullanılmak suretiyle de bulunabilir. Bu çalışmada kovaryans matrisleri, dolayısıyla ölçülerin ağırlıkları aşağıda açıklanacak yöntem uygulanılarak bulunmuştur. Bir kez fark alınmış faz gözlemleri denklemi, matris cebri ile gösterilirse

$$\Delta = SD \Phi \quad (63)$$

olur. Bu eşitlikte Δ bir kez fark alınmış faz gözlemlerini içine alan vektördür. Φ orijinal taşıyıcı beat faz gözlemlerini içine alan vektördür. Bu çalışmada değişik matematiksel modeller için kovaryans matrisini oluşturmada örnek olarak 3 alıcı (a, b, c), 3 uydu (k, l, m) ve (i) zamanı kullanılacaktır. Buna göre bir kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz ölçüleri için ağırlık matrisi aşağıdaki gibi elde edilir:

Φ ve SD yukarıdaki örnek için yazılırsa;

$$\Phi^T = [\Phi_a^k, \Phi_a^l, \Phi_a^m, \Phi_b^k, \Phi_b^l, \Phi_b^m, \Phi_c^k, \Phi_c^l, \Phi_c^m] \quad (64)$$

$$SD = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (65)$$

SD matrisinde gösterildiği gibi bir kez fark alınmış faz denklemi önce a ve b alıcı noktaları arasında k, l, m uyduları için, daha sonra a ve c noktaları arasında yine k, l, m uyduları için yazılarak elde edilmiştir.

Δ nın kovaryans matrisi yukarıdaki SD matrisinin yardımıyla aşağıdaki şekilde oluşturulur [53].

$$Q_\Delta = \sigma_o^2 (SD Q_\Phi SD^T) \quad (66)$$

Taşıyıcı dalga faz ölçümlerinin kovaryans matrisi $Q_\Phi = I$ olarak kabul edilirse (66) eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$Q_\Delta = \sigma_o^2 (SD SD^T) \quad (67)$$

Matris gösterimi ile (67) eşitliği

$$Q_\Delta = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

şeklinde ifade edilir. W ağırlık matrisi ise kovaryans matrisi Q_Δ den

$$W = (Q_\Delta)^{-1} \quad (68)$$

şeklinde oluşturulur.

4.5.3. İki Kez Fark Alınmış Faz Gözlemlerinin Korelasyonu

İki kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz gözlemleri göz önünde bulundurularak ($c = a, d = e$) durumu için (62) eşitliğine benzer bir eşitlikte aşağıdaki gibi türetilebilir.

$$E \{ V_{\Delta\Delta\Phi_{ae}^{kl}}(i) V_{\Delta\Delta\Phi_{cd}^{mn}}(j) \} = \begin{cases} 4\sigma^2 & \text{Eğer } (m = k; n = l; i = j) \\ 2\sigma^2 & \text{Eğer } (m = k; n \neq l; i = j) \\ -4\sigma^2 & \text{Eğer } (m = l; n = l; i = j) \\ -2\sigma^2 & \text{Eğer } (m = l; n \neq l; i = j) \\ -2\sigma^2 & \text{Eğer } (m = k, l; n = k; i = j) \\ 2\sigma^2 & \text{Eğer } (m \neq k, l; n = l; i = j) \end{cases} \quad (69)$$

Diğer mümkün olan durumlar için, yukarıdaki (69) eşitliğindeki şartlar göz önünde bulundurulması şartıyla korelasyonlar;

$a = c; d \neq e$	olduğu zaman (69) eşitliği (0.5) ile çarpılacak
$c = e; d = a$	olduğu zaman (69) eşitliği (- 1.0) ile çarpılacak
$c = e; d \neq a$	olduğu zaman (69) eşitliği (- 0.5) ile çarpılacak
$c \neq a, e; d = e$	olduğu zaman (69) eşitliği (0.5) ile çarpılacak
$c \neq a, e; d = a$	olduğu zaman (69) eşitliği (- 0.5) ile çarpılacak

şekilde olur. Diğer bütün durumlar için korelasyon 0 dir.

Aynı şekilde iki kez fark alınmış faz gözlemleri için korelasyon matrisi bir kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz denkleminde olduğu gibi türetilebilir. $\Delta\Delta$ iki kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz ölçüleri olmak üzere

$$\Delta\Delta = DD \Phi \quad (70)$$

yazılır. Yukarıdaki eşitlikte Φ , (64) eşitliği ile verilmiş olan orijinal faz ölçüsü vektörüdür. DD iki kez fark alınmış ölçüler için ölçü farkları matrisi operatörüdür. (4.5.2) deki örnek bu kez iki kez fark alınmış faz ölçüleri için uygulanırsa;

$$DD = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (71)$$

DD matrisi yukarıdaki şekilde bulunur. $\Delta\Delta$ nin kovaryans matrisi $Q_{\Delta\Delta} = I$ için

$$Q_{\Delta\Delta} = \sigma_o^2 (DD DD^T) \quad (72)$$

Matris gösterimi ile (72) eşitliği

$$Q_{\Delta\Delta} = \begin{bmatrix} 4 & -2 & 2 & -1 \\ -2 & 4 & -1 & 2 \\ 2 & -1 & 4 & -2 \\ -1 & 2 & -2 & 4 \end{bmatrix}$$

şeklinde ifade edilir. W ağırlık matrisi ise kovaryans matrisi $Q_{\Delta\Delta}$ den

$$W = (Q_{\Delta\Delta})^{-1} \quad (73)$$

şeklinde oluşturulur.

4.6. Yapı (Dizayn) Matrisinin ve Dengeleme Modelinin Oluşturulması

İki kez fark alınmış taşıyıcı dalga faz ölçüleri için yapı matrisinin katsayıları, (47) eşitliğinin bilinmeyenlere göre kısmi türevleri alınması ile belirlenir. Bu çalışmada uydu, alıcı saat hatası, tam sayı faz bilinmeyen ve atmosferik etkiler dengelemeye bilinmeyenler olarak girmeyecektir. Bu değerler dengelemeden önce, eldeki veriler yardımıyla bir önceki bölümde anlatılan şekilde hesaplanacak ve/veya modellenecektir. Faz ölçü denkleminde sadece alıcı koordinatları bilinmeyen olarak kalmıştır. Buna göre iki kez fark alınmış faz ölçü denklemi (47) yazılır ve bilinmeyenlere göre kısmi türevleri alınır;

$$\begin{aligned}
\Delta\Delta\Phi_{ab}^{k1}(i) &= -(f/c) [(\rho_a^k(i) - \rho_b^k(i)) - (\rho_a^1(i) - \rho_b^1(i))] \\
&\quad - (f/c) [\Delta A_{ab}^k(i) - \Delta A_{ab}^1(i)] \\
&\quad - (f/c) [(\rho_a^{ok}(i) - \rho_b^{ok}(i)) - (\rho_a^{o1}(i) - \rho_b^{o1}(i))] Z_{ab}(i) \\
&\quad + (f/2c) [(\rho_a^{ok}(i) + \rho_b^{ok}(i)) - (\rho_a^{o1}(i) + \rho_b^{o1}(i))] Z'_{ab}(i) \\
&\quad + \Delta\Delta N_{ab}^{k1} + \Delta\Delta \varepsilon_{ab}^{k1}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d\Delta\Delta\Phi_{ab}^{k1} &= f/c \{ (\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial X_a) dX_a + (\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial X_b) dX_b \\
&\quad + (\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial Y_a) dY_a + (\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial Y_b) dY_b \\
&\quad + (\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial Z_a) dZ_a + (\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial Z_b) dZ_b \} \quad (74)
\end{aligned}$$

Bu eşitlikte

$$(\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial X_a) = -(f/c) [(X_a - X^k) / \rho_a^k] + (f/c) [(X_a - X^1) / \rho_a^1]$$

$$(\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial X_b) = (f/c) [(X_b - X^k) / \rho_b^k] - (f/c) [(X_b - X^1) / \rho_b^1]$$

$$(\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial Y_a) = -(f/c) [(Y_a - Y^k) / \rho_a^k] + (f/c) [(Y_a - Y^1) / \rho_a^1]$$

$$(\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial Y_b) = (f/c) [(Y_b - Y^k) / \rho_b^k] - (f/c) [(Y_b - Y^1) / \rho_b^1]$$

$$(\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial Z_a) = -(f/c) [(Z_a - Z^k) / \rho_a^k] + (f/c) [(Z_a - Z^1) / \rho_a^1]$$

$$(\partial\Phi_{ab}^{k1} / \partial Z_b) = (f/c) [(Z_b - Z^k) / \rho_b^k] - (f/c) [(Z_b - Z^1) / \rho_b^1]$$

dir. Yapı matrisi A, (i) zamanı için, yukarıdaki kısmi türevlerden üç istasyon noktası ve iki kenar için aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} [A_{11}] & [0] & [A_{13}] \\ [0] & [A_{22}] & [A_{23}] \end{bmatrix} \quad (75)$$

A matrisinin boyutu ise sadece (i) anı için aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Satır boyutu} = [(n_1 + n_2)]$$

$$\text{Sütun sayısı} = [(\text{Ağdaki nokta sayısı} * 3)]$$

$n_1 = (a - c)$ kenarı için, (i) GPS ölçü anındaki alıcı tarafından sinyali alınabilen uydu sayısının bir eksiğidir.

$n_2 = (b - c)$ kenarı için, (i) GPS ölçü anındaki alıcı tarafından sinyali alınabilen uydu sayısının bir eksiğidir.

Yukarıdaki A matrisini oluşturan A_{11} , A_{13} , A_{22} , A_{23} aşağıda gösterilen parametrelerden oluşmuştur.

$$A_{11} = \begin{bmatrix} (\partial\Phi_{ac}^{kl} / \partial X_a) & (\partial\Phi_{ac}^{kl} / \partial Y_a) & (\partial\Phi_{ac}^{kl} / \partial Z_a) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (\partial\Phi_{ac}^{km} / \partial X_a) & (\partial\Phi_{ac}^{km} / \partial Y_a) & (\partial\Phi_{ac}^{km} / \partial Z_a) \end{bmatrix}$$

$$A_{13} = \begin{bmatrix} (\partial\Phi_{ac}^{kl} / \partial X_c) & (\partial\Phi_{ac}^{kl} / \partial Y_c) & (\partial\Phi_{ac}^{kl} / \partial Z_c) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (\partial\Phi_{ac}^{km} / \partial X_c) & (\partial\Phi_{ac}^{km} / \partial Y_c) & (\partial\Phi_{ac}^{km} / \partial Z_c) \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki A_{11} ve A_{13} matrisinin boyutu $(n_1 * 3)$ dür.

$$A_{22} = \begin{bmatrix} (\partial\Phi_{bc}^{kl} / \partial X_b) & (\partial\Phi_{bc}^{kl} / \partial Y_b) & (\partial\Phi_{bc}^{kl} / \partial Z_b) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (\partial\Phi_{bc}^{km} / \partial X_b) & (\partial\Phi_{bc}^{km} / \partial Y_b) & (\partial\Phi_{bc}^{km} / \partial Z_b) \end{bmatrix}$$

$$A_{23} = \begin{bmatrix} (\partial\Phi_{bc}^{kl} / \partial X_c) & (\partial\Phi_{bc}^{kl} / \partial Y_c) & (\partial\Phi_{bc}^{kl} / \partial Z_c) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (\partial\Phi_{bc}^{km} / \partial X_c) & (\partial\Phi_{bc}^{km} / \partial Y_c) & (\partial\Phi_{bc}^{km} / \partial Z_c) \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki A_{22} ve A_{23} matrisinin boyutu $(n_2 * 3)$ dür. l ölçü vektörü ise; ölçülen iki kez fark alınmış faz değerinden, hesaplanan iki kez fark alınmış faz değerinin farkı olarak daha önce verilen örnek için aşağıdaki şekilde yazılır.

$$l = \begin{bmatrix} \{\Phi_{ac}^{kl}(i)\}_o - \{\Phi_{ac}^{kl}(i)\}_h \\ \{\Phi_{ac}^{km}(i)\}_o - \{\Phi_{ac}^{km}(i)\}_h \\ \vdots \\ \{\Phi_{bc}^{kl}(i)\}_o - \{\Phi_{bc}^{kl}(i)\}_h \\ \{\Phi_{bc}^{km}(i)\}_o - \{\Phi_{bc}^{km}(i)\}_h \end{bmatrix} \quad (76)$$

l vektörünün boyutu ise $[(n_1 + n_2) * 1]$ dir.

Normal denklemler herbir ölçü anı (i) için ayrı ayrı oluşturulmuş olup, bu denklemlerin uygun şekilde matematiksel olarak toplanması sonucu bütün ölçüler için N normal denklemler matrisi elde edilmiştir. N_1 matrisi yine verilen 3 istasyon noktası ve 2 kenar için (i) anına göre oluşturulursa aşağıdaki matris elde edilir.

Matris gösterimi ile N_1

$$N_1 = A_1^T W_1 A_1 \quad (77)$$

olur ve bu matris açık olarak yazılırsa

$$N_1 = \begin{bmatrix} [N_{11}] & [N_{12}] & [N_{13}] \\ [N_{21}] & [N_{22}] & [N_{23}] \\ [N_{31}] & [N_{32}] & [N_{33}] \end{bmatrix} \quad (78)$$

Daha öncede belirtildiği gibi N_i lerin uygun bir şekilde alt alta toplanmasıyla oluşturulan genel normal eşitlikler matrisi

$$N_G = A_1^T W_1 A_1 + A_2^T W_2 A_2 + \dots + A_n^T W_n A_n \quad (79)$$

yukarıdaki gibi elde edilir. Yukarıdaki eşitlikteki n sayısı ölçü anları i lerin toplamı kadardır. Aynı şekilde u_G vektörü, $A_i^T W_i l_i$ lerin uygun bir şekilde toplanması sonucu elde edilmiştir.

Ağdaki istasyon noktalarının konumlarının belirlenmesi sırasında, ağdaki hangi noktanın veya noktaların sabitleneceği bilgisi eklenmiş ve buna göre örneğin a noktasının sabitlendiği durum için N_G matrisi ve u_G vektörü yeniden aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

$$N_G = \begin{bmatrix} [I] & [0] & [0] \\ [0] & [N_{22}] & [N_{23}] \\ [0] & [N_{32}] & [N_{33}] \end{bmatrix} \quad (80)$$

$$u_G = \begin{bmatrix} [0] \\ [u_2] \\ [u_3] \end{bmatrix} \quad (81)$$

Sonuç olarak bilinmeyen nokta konumları x ;

$$x = (N_G)^{-1} u_G \quad (82)$$

eşitliğinden hesaplanır. Ölçülerin düzeltme vektörü v ise

$$v = A x - l \quad (83)$$

den hesaplanır. Hesaplanan noktaların (bilinmeyenlerin) ters ağırlık matrisi Q_{xx} , ortalama konum hatası m_0 ve konum hataları m_x, m_y, m_z ise aşağıdaki şekilde bulunur.

$$Q_{xx} = (N_G)^{-1} \quad (84)$$

$$m_o = \sqrt{\sum (v_i^T W_i v_i) / (n-u)} \quad (85)$$

$$m_x = m_o \sqrt{q_{X_i X_i}} \quad (86)$$

$$m_y = m_o \sqrt{q_{Y_i Y_i}} \quad (87)$$

$$m_z = m_o \sqrt{q_{Z_i Z_i}} \quad (88)$$

Yukarıdaki eşitliklerde "u" dengeleme sırasında sabit alınan nokta veya noktaların koordinatlarının (X, Y, Z) sayısı kadardır. $q_{X_i X_i}$, $q_{Y_i Y_i}$, $q_{Z_i Z_i}$ ise Q_{xx} matrisinin köşegen terimlerinden elde edilen ilgili noktaya ait katsayılarıdır.

5. ÇALIŞMA İÇİN GELİŞTİRİLEN YAZILIMININ TANITILMASI

DDGPS yazılımı; GPS faz ölçüleri yardımıyla oluşturulan iki kez fark alınmış faz ölçülerini kullanarak, bilinen yaklaşık nokta koordinatları yardımıyla faz ölçülerinde bulunan N sayısını hesaplayarak bilinen olarak işleme sokması suretiyle, nokta koordinatlarının WGS-84 sisteminde belirlenmesi amacıyla Quick C ortamında C programlama dili kullanılarak bu çalışma için oluşturulmuş bir yazılımdır.

Bu yazılımın oluşturulması sırasında bütün aşamalarda yazılımın PC (Kişisel Bilgisayar) lerde çalışabilecek şekilde kodlanmasına dikkat edilmiştir. Yazılım, C programlama dilinde, menü ile çalışan ve PC ler için çok uygun olan Quick C ortamındadır. Yazılım aynı zamanda Microsoft C ortamında da ufak çaplı değişimler sayesinde çalışabilmektedir. DDGPS yazılımı genel olarak üç adımdan oluşmaktadır. Birinci adım; GPS verilerinin RINEX (Receiver Independent Exchange Format) formatında oluşturulan kütükler kullanılarak, yazılımın birinci kısmı olan NXF de işlenmesi ve sonuçta NXF (Newcastle Exchange Format) formatında yeni bir veri kütüğünün oluşturulmasını kapsar. Yazılımın ikinci adımı; NXF kütüğü alınarak NDDXF (Newcastle Double Difference Exchange Format) oluşturulmasını içerir. Son adımda ise, nokta konumları; NDDXF sonuçları kullanılarak, DDGPS (Double Difference Global Positioning System) yazılımının kullanılması sonucunda belirlenir. Bu yazılımlar ve sonuç kütükleri aşağıdaki alt bölümlerde sırayla detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

DDGPS yazılımı, genelde bu çalışmanın yapıldığı University of Newcastle, England 'da yapıldığı için yazılımda Newcastle ismi kullanılmıştır. Yazılımın birinci kısmı olan NXF, daha sonra oluşturulacak GPS ile konum belirleme yazılımlarına altlık oluşturmak amacıyla ortak bir grup tarafından oluşturulmuştur [54]. İkinci ve üçüncü kısım ise bu çalışmaya yönelik olarak NXF sonuçlarını kendine veri tabanı olarak bu çalışma için geliştirilmiştir.

5.1. Receiver Independent Exchange Format (RINEX)

RINEX formatı, değişik GPS alıcıları sayesinde yapılan GPS ölçülerini alıcıdan bağımsız şekilde daha sonraki yazılımlara ve verilerin işlenmesine bir altlık oluşturmak amacıyla oluşturulmuş bir format ve yazılım türüdür. Diğer bir deyişle RINEX, işlenmemiş ham GPS verilerini belirli bir formata çeviren ve değişik GPS alıcı verilerinin doğru bir şekilde anlaşılmasını ve yorumlanmasını sağlayan bir yazılımdır [55, 56].

RINEX yazılımının sonucunda üç tür veri kütüğü oluşturulur. Her bir kütüğün kendine özgü açıklayıcı bilgileri içeren başlıkları vardır. Başlık kısmından sonra ise veriler gelmektedir. Oluşturulan veri kütükleri sırasıyla:

1. Gözlem veri kütüğü
2. Meteorolojik veri kütüğü
3. Navigasyon veri kütüğüdür.

Herbir gözlem ve meteorolojik veri kütüğü sırasıyla, bir ölçüm periyodundaki bir noktaya ait ölçü değerlerini ve meteorolojik verileri içerir. Navigasyon veri kütüğünün birden fazla alıcı ile çalışılıyorsa, aynı periyod için uydulardan alınan verilerin aynı olmasından dolayı, bütün noktalar için sadece bir tane olması yeterlidir. Dolayısıyla RINEX bütün alıcılar için bir tane navigasyon veri kütüğü oluşturabilir. RINEX kütük isimleri aşağıdaki gibi verilmektedir.

Nameddds.yyt

Yukarıda;

- | | |
|------|--|
| Name | : 4 karakterlik; istasyon tanımlayıcısı |
| ddd | : 3 karakterlik; ölçü yılının başlangıcından itibaren geçen gün sayısı |
| s | : 1 karakterlik; gün içerisindeki ölçü periyodu |
| yy | : 2 karakterlik; yıl |
| t | : 1 karakterlik; kütük tipi; |
| | O: Gözlem veri kütüğü |
| | N: Navigasyon veri kütüğü |
| | M: Meteorolojik veri kütüğüdür. |

RINEX veri kütükleri bu çalışmaya altlık olması bakımından bu bölümde açıklanmıştır.

5.2. RINEX Formatından NXF Formatına Dönüşüm

5.2.1. NXF Yazılımının Tanıtımı

NXF, GPS verileri ile çalışanlara kolaylık sağlamak amacıyla RINEX formatındaki GPS verilerinden (Gözlem ve Navigasyon veri kütüğü) yararlanılarak, ölçü değerlerini, hesaplanmış uydu ve alıcı ile ilgili bilgileri tanımlanan bir formatta oluşturan bir yazılımdır. Bu yazılım University of Newcastle 'da geliştirilmiş ve bu çalışmaya altlık teşkil etmektedir. NXF formatında kütük isimlendirilmesi RINEX de olduğu gibidir. NXF yazılımının kullanılması sonucunda elde edilen kütük; gözlem, navigasyon veya meteorolojik veri kütüklerinde olduğu gibi aynı ismi taşır, farklılık sadece kütüğün isminin sonunda O, N, M yerine X belirtecinin olmasıdır.

5.2.2. NXF Yazılımında Kullanılan Alt Programlar

NXF yazılımı, GPS verilerini değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş C programlama dilinde yazılmış aşağıdaki alt programlardan oluşmuştur.

RINTONXF.C
RDNAV.C
RDOBS.C
GPSTIME.C
TOTDAYS.C
SVCOORS.C
RECCOORS.C
CHOLESKI.C
WRNXF.C
ERRORMES.C
RINTONXF.H

Yukarıdaki programlar içinde sonu H ile biten alt program başlık kütüğü olup, diğer alt programlar içinde geçen değişkenlerin, sabitlerin, fonksiyonların ve yapıların tanımlandığı kütüktür. Alt programlar ise aşağıdaki açıklanan görevlere sahiptir. NXF yazılımının çalışma prensibini daha iyi anlayabilmek için işlem şeması Şekil 5 'de verilmiştir.

RINTONXF.C: NXF yazılımının ana programıdır. Diğer alt programlarla iletişim bu program sayesinde sağlanır.

RDNAV.C: RINEX formatında hazırlanmış Navigasyon veri kütüklerini okur.

RDOBS.C: RINEX formatında hazırlanmış ölçü veya gözlem kütüklerini okur.

GPSTIME.C: Ölçü zamanını GPS zamanı, GPS haftası ve GPS saniyesi cinsinden hesaplayan alt programdır.

TOTDAYS.C: 6 Ocak 1980 yılından itibaren, ölçü zamanına kadar geçen toplam gün sayısını hesaplar.

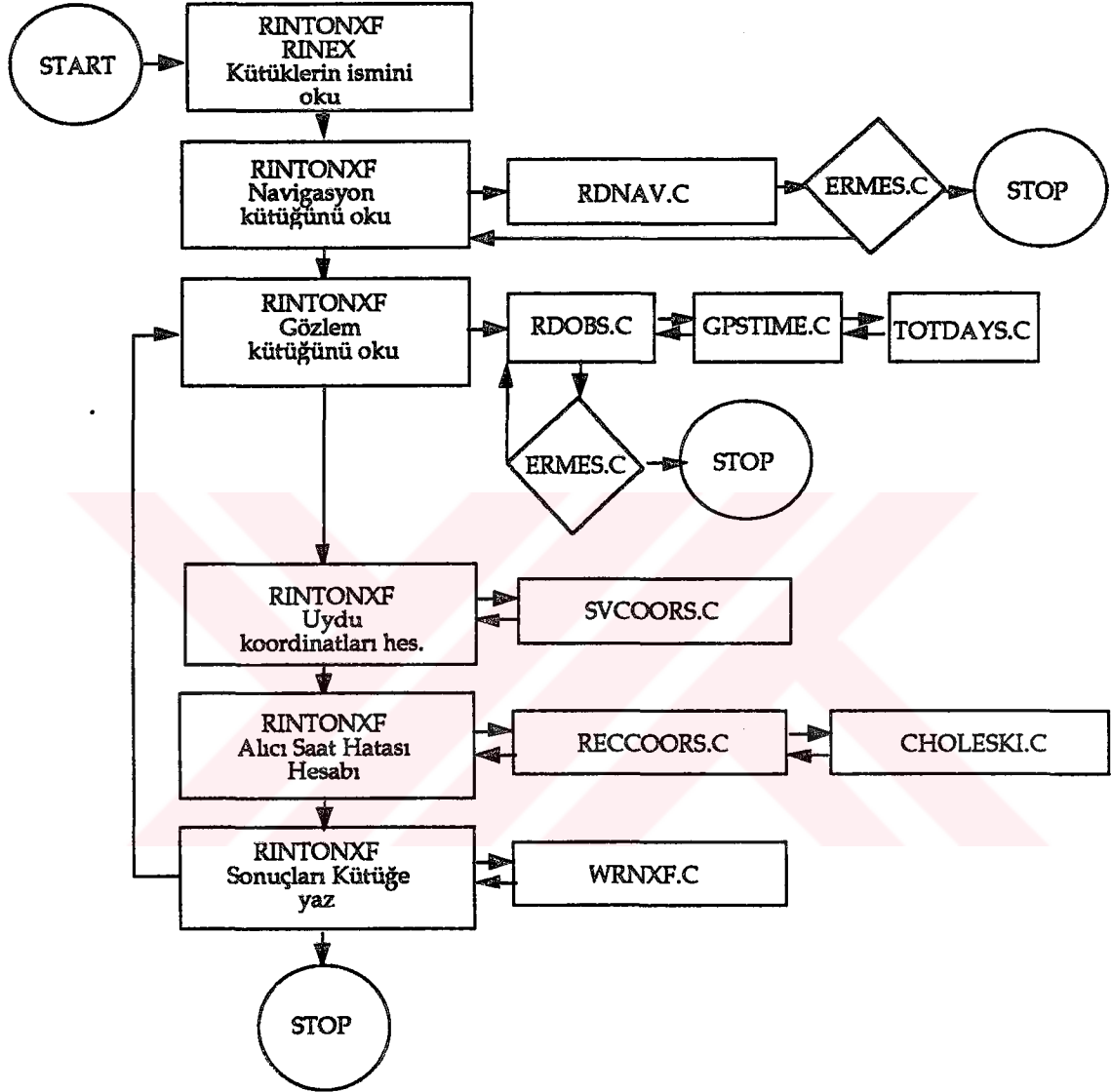
SVCOORS.C: Uydu koordinatlarını WGS-84 sisteminde hesaplayan programdır.

RECCOORS.C: Alıcı koordinatlarını psoydo uzunlukları kullanarak yaklaşık olarak belirleyen, ayrıca alıcı saat hatasını hesaplayan alt programdır.

CHOLESKI.C: Choleski yöntemi ile ters matris alan programdır.

WRNXF.C: NXF formatında sonuçları yazan programdır.

ERRORMES.C: Yazılımda, RINEX formatını okumada veya girilen kütük isimleri yanlışlığında ve NXF yazılımının kullanımı sırasında oluşabilecek hatalarda, kullanıcıya uyarı veren veya hesaplamayı durduran programdır.



Şekil 5. NXF Yazılımının İşlem Şeması

5.2.3. NXF Formatının Açıklanması

Bir GPS ölçü noktasına ait RINEX ölçü ve navigasyon veri kütükleri kullanılmak suretiyle, bir ölçü anı için NXF yazılımının kullanılması ile oluşturulan, NXF formatındaki sonuç çıktı aşağıdaki Tablo 3 'de verilmiştir. Bu tablodaki değerler Tablo 4 'de detaylı olarak açıklanmıştır.

Tablo 3. NXF Formatındaki Sonuç Çıktısının Örneği

92.10		NXF DATA				NXF VERSION /TYPE	
0001							COMMENT
3666669.975		-103646.087		5200450.848			MARKER NAME
1.700		0.000		0.000			APPROX POSITION XYZ
20							ANTENNA: DELTA H/E/N
							INTERVAL
							END OF HEADER
epoch	1						
TIME	617	465940.000000	91	0	(8 / 11 / 1991	9h 25m 40.000s)	
PRN (tot 4)	11	6	21	23			
dtR	0.000795277545						
XrYrZr .		0.000		0.000		0.000	
SDxyz Mov_I		0.0		0.0		0.0	0
SV	11						
tT dtS		465939.9310538		-0.000350185			
XsYsZs dr/dt		13441046.900		1315140.298	23085622.872	-38.121633	
L1		-16610.289		0	8		
L2		-12942.759		0	9		
D1		-315.176		0	0		
C1		20774538.385		0	0		
SV	6						
tT dtS		465939.9217200		-0.000395988			
XsYsZs dr/dt		-5684586.506		-12133497.383	22734364.024	-41.569251	
L1		-15804.774		0	6		
L2		-12314.978		0	6		
D1		-333.427		0	0		
C1		23586473.521		0	0		
SV	21						
tT dtS		465939.9296221		0.000000831			
XsYsZs dr/dt		14543651.452		10780236.321	19285412.643	33.043109	
L1		3276.508		0	8		
L2		2553.477		0	9		
D1		58.675		0	0		
C1		21098523.490		0	0		
SV	23 .						
tT dtS		465939.9217680		-0.000000100			
XsYsZs dr/dt		-1414362.181		15643999.123	21483180.164	521.627879	
L1		260183.619		0	6		
L2		202741.200		0	5		
D1		2626.392		0	0		
C1		23453398.649		0	0		

Tablo 4. NXF Formatındaki Sonuç Çıktısının Örneğinin Açıklaması

Satır Belirteni	Açıklama
NXF VERSION/TYPE	Programın versiyonu/Türü
COMMENT	Açıklama satırı
MARKER NAME	İstasyon noktasının ismi
APPROX POSITION XYZ	İstasyon noktasının yaklaşık koordinatları (m biriminde), Sırasıyla (X, Y, Z).
ANTENNA: DELTA H/E/N	Anten yüksekliği ile ilgili değerler (m biriminde), Sırasıyla (Yükseklik, Doğu yönündeki kayıklık, Kuzey yönündeki kayıklık).
INTERVAL	Ölçü kayıt etme aralığı (sn biriminde)
END OF HEADER	Boşluk satır. Başlık kısmının sonuçlandığını belirtir
EPOCH	Ölçü sırası
TIME	GPS haftası, GPS saniyesi, yıl, ölçü esnasına güç kaynağının çalışıp çalışmadığını gösteren değer: 0 dışında hata vardır. Parantez içindekiler; gün, ay, yıl, saat, dakika ve sn dir.
PRN	Ölçü anında elektronik olarak gözlenebilen uydu sayısıdır. Diğer değerler ise uydu numaralarıdır.
dtR	Hesaplanan alıcı saat hatasıdır.
Xr Yr Zr	Kinematik ölçülerde gerekli olan, noktanın psoydo uzunluklar yardımıyla hesaplanan X, Y, Z koordinatlarıdır.
SDxyz Mov_I	Hesaplanan X, Y, Z koordinatlarının standard sapmaları ve Noktanın sabit veya hareketli olduğunu gösteren belirteç; 0 ise sabit, 1 ise hareketli Bu satırdan sonra ölçü anında gözlenen uydulara ilişkin ölçü değerleri ve hesaplanan değerler vardır

(Tablo 4 'ün Devamı)

Satır Belirteni	Açıklama
SV	Uydunun numarası
tT dtS	Hesaplanan; uydunun sinyali yayınladığı an ve uydu saat hatası
Xs Ys Zs dr/dt	X,Y,Z uydu koordinatları (uydunun sinyali yayınladığı an için) ve uzunluktaki değişim
L1 ve diğerleri	Gözlemler: L1, L2: Faz ölçüleri C1: Psoydo uzunluk ölçüsü (C/A kod) C2: Psoydo uzunluk ölçüsü (C/A kod, P1-P2 kod) P1, P2: Psoydo uzunluk ölçüsü (P kod) D1, D2: Doppler ölçüsü 2. sütun; sinyalin alınıp alınmadığını gösterir 0 dışında sinyal alınamamaktadır 3. sütun ise sinyalin kuvvetliliğini gösterir, sayı büyüdükçe kuvvet artmaktadır
	Boşluk
	Ölçü anında gözlenebilen diğer uydular için değerler (SV den itibaren açıklamalar adı geçen yeni uydu için geçerlidir)

5.3. NXF Formatından NDDXF Formatına Dönüşüm

5.3.1. NDDXF Yazılımının Tanıtımı

NDDXF; NXF yazılımı sonucunda oluşturulan NXF formatındaki hesaplanmış ve ölçü değerlerini içerisinde bulunduran *.*X kütüklerinden yararlanılarak değişik alt programlar yardımıyla çalışan ve sonuçta *.*D isiminde kütük oluşturan bir yazılımdır. NDDXF formatında oluşturulan kütüğün adlandırılması açık olarak şu şekildedir

dddfs1s2.yyt

Yukarıda;

ddd: 3 karakterlik; yılın başlangıcından itibaren geçen gün sayısı

f : 1 karakterlik; aynı gün içerisindeki, aynı noktalarda yapılan ölçü sayısı

s1: 2 karakterlik; ilk istasyon noktasına ait belirteç

s2: 2 karakterlik; ikinci istasyon noktasına ait belirteç

yy: 2 karakterlik; yıl

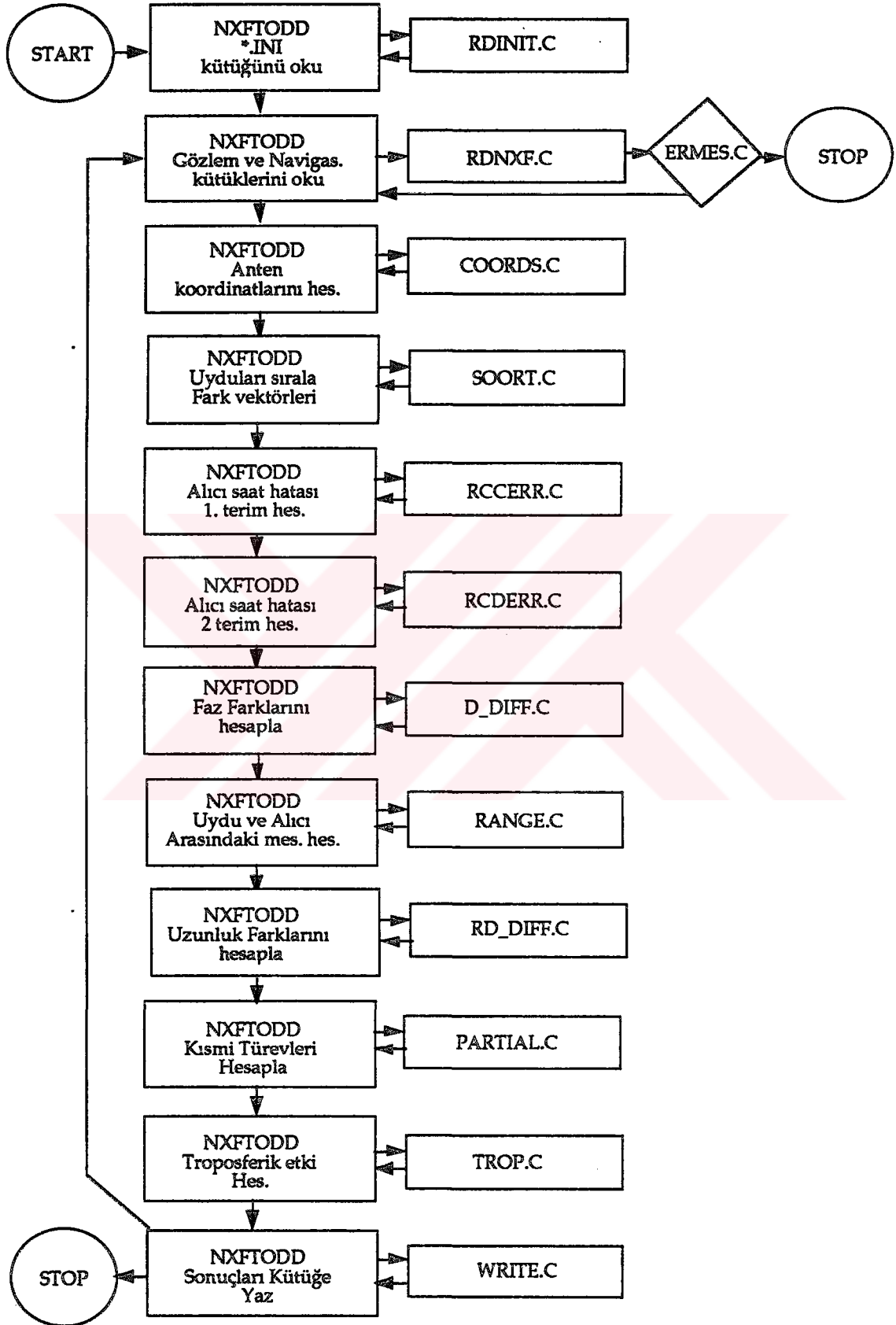
t: kütük tipi. D: İki kez fark alınmış GPS faz ölçüleri kütüğü

5.3.2. NDDXF Yazılımında Kullanılan Alt Programlar

NDDXF yazılımı, iki kez fark alınmış GPS ölçülerini oluşturmak ve sonuçta GPS noktalarının konumlarını belirlemeye yönelik yazılıma altlık olması amacıyla geliştirilmiştir. Programın çalışma ilkesi Şekil 6 'da verilmiştir. Quick C ortamında C programlama dilinde yazılmış olan NDDXF, aşağıdaki alt programlardan oluşmuştur.

NXFTODD.C
 RDNXF.C
 RDINIT.C
 RANGE.C
 D_DIFF.C
 PARTIAL.C
 RD_DIFF.C
 RCCERR.C
 RCRERR.C
 COORDS.C
 SORT.C
 TROP.C
 WRITEDD.C
 ERRORMES.C
 NXFTODD.H
 NXFTODD.INI

Daha önceden de belirtildiği gibi sonu H ile biten program başlık kütüğüdür ve NDDXF içerisinde kullanılan değişkenlerin, sabitlerin, fonksiyonların ve yapıların tanımlandığı kütüktür. NXFTODD.INI kütüğü ise hangi X kütüklerinin kullanılacağını, hangi istasyon noktaları arasında fark alma işleminin yapılacağını ve hangi uydular arasında fark alınacağını belirleyen, önceden programa kullanıcı tarafından verilen kütüktür. Bu kütüğün bir örneği Tablo 5 'de verilmiştir. Yukarıda adlandırılan alt programlar ise aşağıda açıklanan görevleri yapmaktadırlar.



Şekil 6. NDDXF Yazılımının İşlem Şeması

NXFTODD.C: NDDXF yazılımının ana programıdır. Bu program Şekil 6 'da görüldüğü gibi diğer programlarla iletişimi sağlar.

RDNXF.C: NXF formatındaki çıktıları okur.

RDINIT.C: Programlamacı tarafından oluşturulan NXFTODD.INI kütüğünü okur.

RANGE.C: Uydu ile alıcı arasındaki mesafeyi hesaplayan programdır.

D_DIFF.C: Gözlemlerin farklarını alan programdır.

PARTIAL.C: Yapı matrisi A içerisindeki kısmi türevleri hesaplayan programdır.

RD_DIFF.C: Uzunluk farklarını hesaplayan programdır.

RCCERR.C: Alıcı saat hatasının ilk terimini hesaplayan programdır.

RCRERR.C: Alıcı saat hatasının ikinci terimini hesaplayan programdır.

COORDS.C: X, Y, Z koordinatlarını toposentrik elipsoidal koordinatlara çeviren programdır (Ters işlem mümkündür).

SORT.C: Uydular arasındaki farkları hesaplamak için verilen *.INI kütüğünü göz önüne alarak uyduların numarasına ve gözlenen uydulara göre fark vektörlerini belirleyen programdır.

TROP.C: Troposferik etkiyi hesaplayan program.

WRITEDD.C: Sonuçları NDDXF formatında yazan programdır.

ERRORMES.C: Programda NXF formatını okumada veya diğer hatalarda, sonuçta yanlışlığa yol açabilecek durumlarda uyarı veren veya hesaplamayı durduran programdır.

Tablo 5. NXFTODD.INI Örneği

```
INITIALISATION FILE FOR NXFTODD CONVERSION PROGRAM
=====

Filenames :
DATA\\00013121.91X
DATA\\00103121.91X

Satellite Differences :
6 15
6 21
6 23
6 2
6 11

Receiver Differences :
01 02

END OF FILE
```

5.3.3. NDDXF Formatının Açıklanması

İki GPS ölçü noktasına ait NXF formatındaki kütükleri kullanmak suretiyle bir ölçü anı için NDDXF yazılımının kullanılması ile oluşturulan, NDDXF formatındaki sonuç çıktısı aşağıdaki Tablo 6 'da verilmiştir. Ayrıca bu tablodaki değerlerin detaylı bir şekilde açıklamasıda yine tablo halinde düzenlenerek Tablo 7 'de verilmiştir.

Tablo 6. NDDXF Formatındaki Sonuç Çıktısının Örneği

1	DD DATA	DD VERSION / TYPE		
Multiply all coefficients by f / c when processing		COMMENT		
0001	0010	STNS DD BETWEEN		
		END OF HEADER		
EPOCH 1				
TIME 617	465980.000000	(8 / 11 / 1991	9h 26m 20.000s)	
NO_OF_DD 5				
PRN DIFFERENCE	6 - 15			
CORR. rce1/rce2/i/t	0.0000333557	-0.4013490691	0.0000000000	0.00024792
PARTIALS x1,y1,z1	-0.9610081994	0.2093754030	0.3658577436	
x2,y2,z2	0.9610086912	-0.2093712217	-0.3658622115	
DIFFERENCES r/L1/L2	-158.941	-656192.716	-511318.675	
PRN DIFFERENCE	6 - 21			
CORR. rce1/rce2/i/t	0.0000431690	0.0581527656	0.0000000000	0.00015899
PARTIALS x1,y1,z1	-0.9167472446	-1.0452075681	0.0753704001	
x2,y2,z2	0.9167497931	1.0452099432	-0.0753736783	
DIFFERENCES r/L1/L2	-88.711	73411.201	57203.241	
PRN DIFFERENCE	6 - 23			
CORR. rce1/rce2/i/t	0.0000303780	0.4425659150	0.0000000000	0.00000274
PARTIALS x1,y1,z1	-0.1767174746	-1.2007333166	0.0533582056	
x2,y2,z2	0.1767180866	1.2007387953	-0.0533581021	
DIFFERENCES r/L1/L2	10.873	545283.875	424894.977	
PRN DIFFERENCE	6 - 2			
CORR. rce1/rce2/i/t	0.0000049482	-0.3992246289	0.0000000000	-0.00010383
PARTIALS x1,y1,z1	0.0555626094	0.0503135695	0.0715165366	
x2,y2,z2	-0.0555629352	-0.0503136274	-0.0715168237	
DIFFERENCES r/L1/L2	-0.732	-650362.053	-506775.968	
PRN DIFFERENCE	6 - 11			
CORR. rce1/rce2/i/t	0.0000079057	0.0005087097	0.0000000000	0.00014596
PARTIALS x1,y1,z1	-0.8810185394	-0.5966233625	-0.1203490171	
x2,y2,z2	0.8810214146	0.5966255243	0.1203460526	
DIFFERENCES r/L1/L2	-81.297	13002.249	10131.376	

Tablo 7. NDDXF Formatındaki Sonuç Çıktısının Örneğinin Açıklaması

Satır Belirteni	Açıklama
DD VERSION/TYPE	Programın versiyonu/Türü
COMMENT	Açıklama satırı
MARKER NAMES	Fark ölçülerini oluşturan yer noktalarının isimleri
END OF HEADER	Boşluk satır. Başlık kısmının sonuçlandığını belirtir
EPOCH	Ölçü sırası
TIME	GPS haftası, GPS saniyesi, yıl, ölçü esnasına güç kaynağının çalışıp çalışmadığını gösteren değer: 0 dışında hata vardır. Parantez içindekiler; gün, ay, yıl, saat, dakika ve sn dir.
NO_OF_DD	Bu ölçü sırasında iki kez fark alınmış ölçü sayısı
	Boşluk
PRN DIFFERENCE	Fark alınan uydu çifti
CORR. rce1/rce2/i/t	İki kez fark alınmış faz ölçülerinde bulunan saat hataları ve atmosferik etkiler. Sırasıyla; rce1: alıcı saat hatasında birinci terim, rce2: alıcı saat hatasında ikinci terim, i: iyonosferik hata, t: troposferik hata
PARTIALS x1, y1, z1 x2, y2, z2	İlk noktaya ait kısmi türevler. İkinci noktaya ait kısmi türevler
DIFFERENCES r/L1/L2	Fark alınan ölçüler. Sırasıyla; r: Uydu ve alıcı noktası arasındaki uzunlukların farkı, L1: İki kez fark alınmış faz ölçüleri ($\lambda = 19$ cm için), L2: İki kez fark alınmış faz ölçüleri ($\lambda = 24$ cm için)
	Boşluk
	Boşluk
	Aynı ölçü anında; diğer fark alınmış uydu çiftleri arasındaki değerler (PRN DIFFERENCE den itibaren açıklamalar diğer uydu çiftleri için de geçerlidir).

5.4. DDGPS Yazılımının Tanıtımı

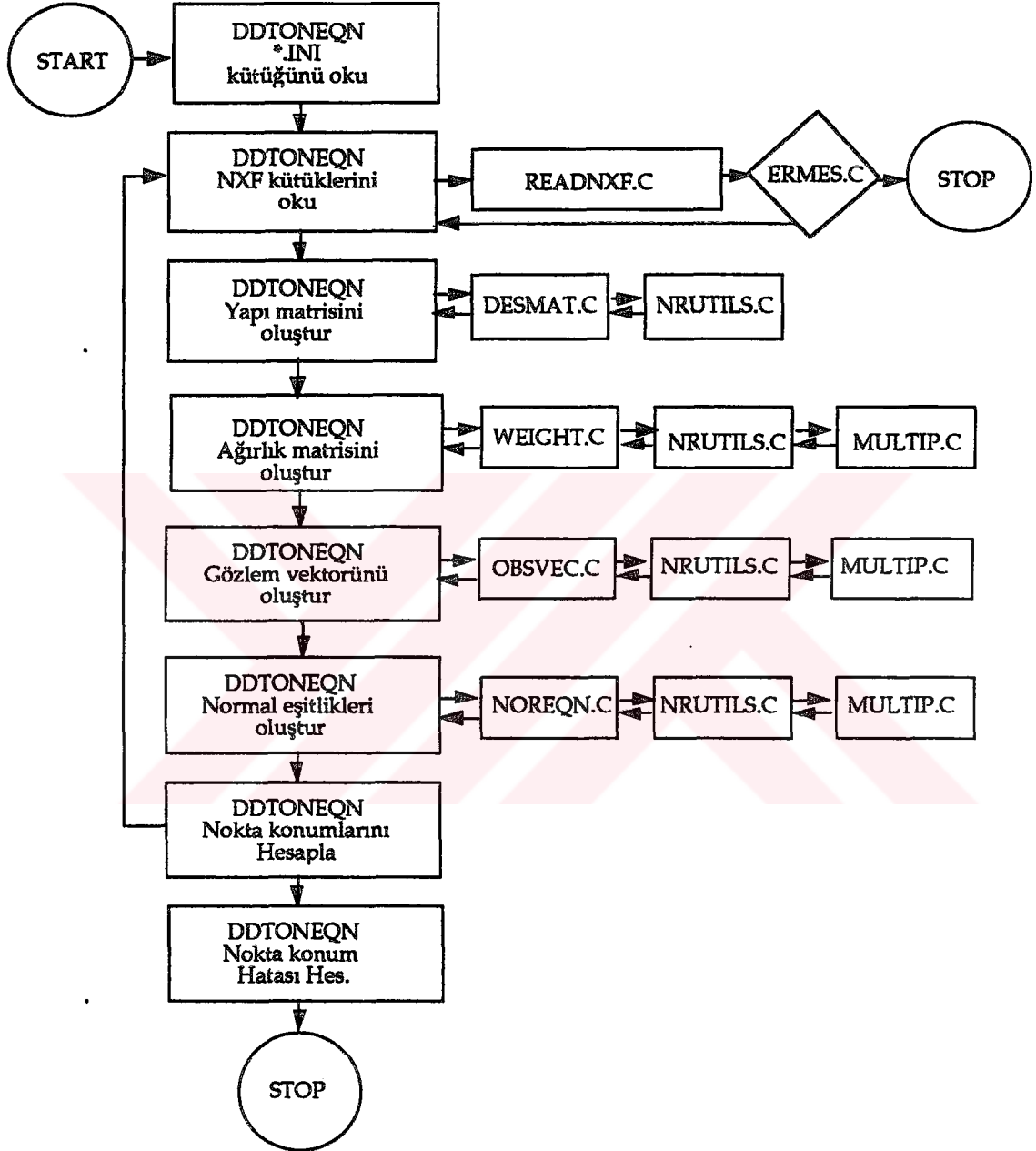
DDGPS yazılımı, NDDXF yazılımı tarafından oluşturulan NDDXF kütüklerini kendine veri olarak alır. Gerekli alt programlar yardımıyla öncelikle N sayısını belirler ve tam sayıya çevirir, gerekli bilgileri NDDXF 'den alarak yapı matrisini, ölçülerin ağırlıklarını belirler ve ölçü vektörü yardımıyla noktaların konumlarını ve konum hatalarını en küçük kareler yöntemini kullanmak suretiyle hesaplar. Bu yazılımdaki nokta konumlarını belirlemek için kullanılan alt programlar 4. bölümde açıklanan ve bu çalışmada kullanılan yöntem ve dengeleme modelinin oluşturulması ilkesi doğrultusunda yapılmıştır.

Bu yazılımın en büyük özelliği yapı matrisini, ağırlıkları ve ölçü vektörlerini belirlerken işlemleri her bir ölçü için ayrı ayrı yapması ve sonuçta her bir ölçü anı için normal denklemleri oluşturmaktır. Bütün ölçüm anları için uygun bir şekilde bu normal denklemleri toplamak suretiyle N_G (Genel Normal Matris) oluşturulur. Bu durum genelde çok büyük boyutta oluşturulması gereken matrislerin yerine bunların sadece parça parça küçük boyutlar halinde işlenmesi sonucunu doğurmaktadır. Böylece PC tipindeki bilgisayarlarda bu yazılım bütün bir ağ dengelemesi veya yalnızca bir baseline değerlendirmesi için kullanılabilir.

5.4.1. DDGPS Yazılımında Kullanılan Alt Programlar

DDGPS yazılımı aşağıda açıklanan ve Şekil 7 'de çalışma prensibi gösterilen alt programlardan oluşmuştur.

DDTONEQN.C
DESMAT.C
ERRORMES.C
MULTIP.C
NOREQN.C
NRUTILS.C
OBSVEC.C
RDDDINI.C
READNXF.C
WEIGHT.C
NXFTODD.H
NRUTILS.H
DDTODGPS.INI



Şekil 7. DDGPS Yazılımının İşlem Şeması

DDTONEQN.C: DDGPS yazılımının ana programıdır. Bütün alt programlar bu program tarafından yönetilir. Ayrıca sabit nokta veya noktaların normal denklemler matrisine ilave edilmesi, düzeltme denklemlerinin oluşturulması, nokta konumlarının hesabı doğrudan bu programın içinde yapılmaktadır.

DESMAT.C: Yapı matrisini oluşturan alt program.

ERRORMES.C: Yazılımda NDDXF kütüklerini okuma sırasında veya programlar içinde oluşabilecek hata veya hatalar durumunda kullanıcıyı uyaran veya programın çalışmasını durduran alt programdır.

MULTIP.C: Dengeleme işlemi sırasında kullanılacak matris işlemlerini yapan alt programdır.

NOREQN.C: Normal eşitlikleri oluşturan alt programdır.

NRUTILS.C: Matris ve vektörlerin bilgisayar hafızasında en etkin şekilde saklanması ve bilgisayar hafızasının en etkin şekilde kullanılması amacıyla, programda kullanılan matris ve vektörler için dinamik olarak yer ayıran ve bu yerleri işlem bitmesi durumunda serbest bırakan alt programların bulunduğu programdır.

OBSVEC.C: Gözlem vektörlerini oluşturan programdır. N sayısı bu program içerisinde tam sayıya çevrilir ve sabitlenir.

RDDDINI.C: Kullanıcı tarafından belirlenen *. INI kütüğünü okuyan programdır.

READNXF.C: NDDXF kütüğünü okuyan programdır.

WEIGHT.C: Ölçülerin ağırlıklarını belirleyen alt programdır.

NXFTODD.H: Bu program daha önce NXF kütüğünde kullanılan, bazı ilavelerle DDGPS yazılımına uyarlanmış başlık kütüğüdür.

NRUTILS.H: Bu başlık programı, NRUTILS.C içerisinde geçen fonksiyonların ve değişkenlerin tanımlandığı programdır.

DDTODGPS.INI: Bu kütük kullanıcının istekleri doğrultusunda nokta konumlarının belirlenmesi sırasında, gerekli matrislerin yapılarının oluşturulmasında kullanılacak bilgileri ve hangi veri kütüklerinin kullanılacağını programa bildiren kütüktür. Tablo 8 'deki bilgiler sırasıyla; kullanılacak NDDXF kütükleri, ölçü sırasında elektronik olarak gözlenebilen uydu sayısı ve bu uyduların numarasıdır.

Tablo 8. DDTODGPS.INI Örneği

```
INITIALISATION FILE FOR STRATEGY MATRIX A
=====
Filenames :
DATA\\31210102.91D
No of satellites in view :
6
Satellites in view :
06 21 11 23 15 02
END OF FILE
```

6. İRDELEMELER

Bu bölümde çalışma için geliştirilen yöntem yardımıyla, bir istasyon noktasının koordinatlarının GPS faz ölçüleri kullanılarak belirlenmesinde en önemli faktör olan N sayısının belirlenmesine etki eden faktörler detaylı bir şekilde gerçek GPS verileri kullanılmak suretiyle irdelenecektir. Faktörlerin incelenmesinde kullanılan GPS ölçüleri University of Newcastle, İngiltere 'de kurulan bir ağda, üç noktada yapılan ölçülerdir. Bu ağın kenarları 700 m ile 1 km arasında değişmektedir. İstasyon noktaları irdeme örneklerinde BPPP, 0001 ve 0010 olarak numaralandırılmıştır. İrdemelerde 4. bölümde verilen iki kez fark alınmış faz ölçü denklemi göz önünde bulundurulacak, bu denklemde bulunan bütün faktörlerin değerleri genel olarak belirlenecek ve sonuçlar için yorumlar yapılacaktır. Ayrıca bu denklemde bulunmayan, diğer bir deyişle fark alma sonucunda tamamen ortadan kalktığı varsayılan uydu saat hatası da irdelenecek ve N sayısına etkisi olup olmayacağı açıklanacaktır.

Bu bölümün sonunda ise, geliştirilen yöntem için kullanılan modeldeki bütün etkiler göz önüne alınarak Yunanistan 'da bir GPS anten kalibrasyon ağında yapılan ölçüler, uygulama için seçilen GPS istasyon noktalarının WGS-84 sistemindeki koordinatlarını ve konum hatalarını belirlemek için kullanılmıştır.

6.1. Uydu Saat Hatasının GPS Ölçülerine Etkisinin İrdelenmesi

Değişik uydular için uydu saati hatası δt^U bölüm (2.8.1) 'de verilen (14) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır. Bu eşitlikteki bilinmeyen parametreler a_0 , a_1 , a_2 ve t_0 uydu tarafından yayınlanan uydu navigasyon veri kütüklerinden alınmıştır. Tablo 9 'da bu hatanın değeri İngiltere 'de yapılan GPS ölçüleri kullanarak bir uygulama ile verilmiştir.

Tablo 9 'da görüldüğü gibi, uydu saat hatası bu örnek için maksimum $4 \cdot 10^{-4}$ sn minimum $1 \cdot 10^{-7}$ sn olarak hesaplanmıştır. Bu miktarlar uydunun saatinin, GPS saatinden ölçü anında ne kadar bir kayıklığa sahip olduğunu göstermektedir. Bu hatanın değerinin bilinmesinin önemi dışında, göze çarpan en önemli özellik uydu saatlerinin büyük bir kararlılığa sahip oluşudur. Değişim miktarı farklı uydular için ortalama $1 \cdot 10^{-9}$ sn den daha az olduğu bu örnek için görülmüştür. Bu çalışmada iki kez fark alınmış faz ölçüleri kullanıldığından, uydu saat hatalarının faz ölçü denklemlerine etkisi, birbirlerinin farkları cinsinden geleceğinden çok küçük olacaktır. Tablo 9 'da devir biriminde de uydu saat hataları ifade edilmiştir. Bunlardan en büyük değere sahip olanı 0.6 devirdir ve $\lambda_{L1} = 19$ cm için yaklaşık 12 cm ye karşılık gelmektedir. Sözü geçen miktar mutlak konum belirleme için göz önüne alınması gereken bir büyüklüktür. Fakat rölatif konum belirleme ve fark alma yöntemleri kullanıldığında, aynı uydu saat hatası iki kez işleme gireceğinden ortadan kalkacaktır.

Yukarıdaki açıklama ve tablodaki değerlerden uydu saat hatasının iki kez fark alınmış faz ölçüleri için N sayısının hesabında etkisi olmayacağı söylenebilir. Fakat uydu saat hatası, alıcı saat hatasının ve noktanın yaklaşık koordinatlarının belirlenmesi sırasında göz önüne alınmalıdır. Bu işlem, ölçülen psoydo uzunluklardan bu hatanın çıkarılması sonucu yapılabilir. Psoydo ölçülerdeki uydu saat hatasından dolayı oluşan hata miktarı, uydu saat hatasının ışık hızı ile çarpımı kadar olmaktadır. Bu hata miktarı Tablo 9 'da verilen bazı uydu saat hataları için çok büyük bir değer teşkil etmektedir. Sözü edilen hata miktarı işlemlerde göz önünde bulundurulmazsa, nokta yaklaşık koordinatları ve alıcı saat hatasının doğru olarak bulunmamasına, diğer bir deyişle alıcı saat hatası ve koordinatların uydu saat hatasının etkiside içerlerinde bulundurmasına yol açacaktır.

Tablo 9. Uydu Saat Hatası İrdeleme Örneği

Zaman (GPS sn)	Uydu numarası	δt^U (sn)	δt^U (devir)
465980	SV 15	0.000056735004	0.089
	SV 11	- 0.000350185952	- 0.552
	SV 6	- 0.000395988017	- 0.624
	SV 21	0.000000831224	0.001
	SV 2	- 0.000004674321	- 0.007
	SV 23	- 0.000000100111	- 0.0002
466080	SV 15	0.000056734993	0.089
	SV 11	- 0.000350186361	- 0.552
	SV 6	- 0.000395992576	- 0.624
	SV 21	0.000000831293	0.001
	SV 2	- 0.000004674366	- 0.007
	SV 23	- 0.000000100088	- 0.0002
466180	SV 15	0.000056734981	0.089
	SV 11	- 0.000350186770	- 0.552
	SV 6	- 0.000395997135	- 0.624
	SV 21	0.000000831361	0.001
	SV 2	- 0.000004674412	- 0.007
	SV 23	- 0.000000100065	- 0.0002
466280	SV 15	0.000056734970	0.089
	SV 11	- 0.000350187179	- 0.552
	SV 6	- 0.000396001694	- 0.624
	SV 21	0.000000831429	0.001
	SV 2	- 0.000004674457	- 0.007
	SV 23	- 0.000000100043	- 0.0002
465380	SV 15	0.000056734958	0.089
	SV 11	- 0.000350187589	- 0.552
	SV 6	- 0.000390062530	- 0.624
	SV 21	0.000000831497	0.001
	SV 2	- 0.000004674503	- 0.007
	SV 23	- 0.000000100020	- 0.0002

6.2. Alıcı Saat Hatasının GPS Ölçülerine Etkisinin İrdelenmesi

Alıcı saat hataları, daha önce bölüm (4.2) 'de anlatıldığı gibi ölçülen kod psoydo uzunluklar yardımıyla hesaplanmaktadır. Alıcı saat hataları, bu çalışmada her bir ölçü anı için hesaplanmıştır. Pratikte ise alıcı saat hataları her bir alıcı için bir tane hesaplanmaktadır. Bu durumda uydu saat hatasında olduğu gibi bir polinom kullanılır ve bütün ölçüler kullanılarak bu polinomun katsayıları hesaplanır.

Çalışmada alıcı saat hatalarının her bir ölçü anı için belirlenmesinin en önemli sebebi gerçek zamanda konum belirleme veya navigasyon amacıyla yapılacak çalışmalarda da geliştirilen yöntemin kullanılabilmesidir. Ayrıca alıcı saat hatası, bir ölçü anından diğer bir ölçü anına büyük bir değişim gösterebilir. Bu durumda duyarlı sonuç gerektiren işlerde polinomun katsayıları kullanılarak, herhangi bir ölçü anı için hesaplanan alıcı saat hatası, herbir ölçü için ayrı ayrı belirlenen alıcı saat hatası değeri kadar duyarlı sonuç vermeyebilir.

Alıcı saat hatasının daha iyi anlaşılması için Tablo 10 'da iki istasyon noktasına ait alıcı saat hataları verilmiştir. Tablolardan da görüldüğü gibi alıcı saatleri uydu saatlerine göre çok duyarlıdır. Bu da alıcı saatlerinde kristal, uydularda ise sezyum, ribidyum gibi atomik frekans standartlarına sahip zaman belirleyicilerinin kullanılmasıdır. Alıcı saat hatasının kod psoydo ölçüler ile belirlenmesinin kolay olması nedeniyle, alıcı saatlerinin çok duyarlı olmasına özen gösterilmez. Önemli olan bu hatanın değerinin bulunabilmesi ve ölçülerden etkisinin kaldırılmasıdır. Ayrıca atomik frekans standartlarına uygun olan saatlerin çok pahalı olmasında bunların GPS alıcılarında kullanılmamasının bir nedenidir.

Test amacıyla hesaplanan alıcı saat hataları genelde her bir ölçü aralığı için 10^{-5} sn seviyesinde değişmektedir. Bu değişim ise Tablo 10 'da görüldüğü gibi doğrusal olarak artma veya azalma şeklindedir.

Yapılan alıcı saat hatası belirleme çalışmaları sonucunda bu hataların değerlerinin uydu saatlerindeki gibi ihmal edilebilecek bir seviyede olmadığı görülmüştür. Bu saat hatalarının her bir ölçü için yaklaşık 10^{-5} sn gibi büyük bir miktarda değişim göstermeside bu hataların her bir ölçü için ayrı ayrı hesaplanmasının gerekliliğini göstermiştir. Özellikle, 10^{-5} sn gibi bir değerın uzunluk birimine çevrilmesi ve sonuçta bu miktarın 3 km ye eşdeğer olması bunu göstermektedir.

Bu çalışmada örnek olarak hesaplanan alıcı saat hataları birinci alıcı için (bir ölçü anı için) yaklaşık olarak $6.5 * 10^{-4}$ sn ikinci alıcı için $2.5 * 10^{-3}$ sn olarak bulunmuştur. Çalışmada iki kez fark alınmış faz ölçüleri kullanıldığı göz önüne alınırsa, bu durumda saat hataları ilk bakışta iki saat hatasının farkları cinsinden gelecektir. İşlem kısmen bu hatanın azalmasına yol

açacaktır. Fakat bu fark alma işlemide sözü edilen hatanın kalkmasına yetmeyecektir. Çünkü alıcılarda kullanılan saatlerin duyarlılıkları ve hataları birbirlerine göre çok farklılık göstermektedir. Tablo 10 'da verilen hesaplanmış alıcı saat hatalarından bu durum görülebilir.

Yukarıda alıcı saat hatalarının işleme birbirlerinin farkları cinsinden gireceği belirtilmişti. Bu genel bir yaklaşımdır. Olayı daha iyi açıklayabilmek için iki kez fark alınmış faz ölçülerinde bu hatayı ilgilendiren kısmın detaylı bir şekilde irdelenmesi gerekecektir. Adı geçen kısım Z_{ab} ve Z'_{ab} 'nün çarpan olarak geldiği terimdir. Bu çalışmada bunlar sırasıyla; alıcı saat hatası birinci terimi ve ikinci terimi olarak isimlendirilecektir. Gelecek alt bölümlerde, yukarıda adı geçen alıcı saat hataları ile ilgili terimler daha detaylı olarak irdelenecektir.

Tablo 10. Alıcı Saat Hatası İrdeme Örneği

İstasyon Noktası : BPPP3121.91X		İstasyon Noktası : 00012771.91X	
GPS zamanı (sn)	Alıcı saat hatası (sn)	GPS zamanı (sn)	Alıcı saat hatası (sn)
465940	0.000629147830	488400	0.002510129151
465960	0.000637392325	488415	0.002515392369
465980	0.000645674992	488430	0.002520665153
466000	0.000654259588	488445	0.002526001421
466020	0.000662904201	488460	0.002531246898
466040	0.000671715012	488475	0.002536432846
466060	0.000680675355	488490	0.002541765319
466080	0.000689780608	488505	0.002547052282
466100	0.000698977783	488520	0.002552281527
466120	0.000708299808	488535	0.002557552800
466140	0.000717779210	488540	0.002562833010
466160	0.000727449465	488555	0.002568074176
466180	0.000737119093	488570	0.002573331709
466200	0.000747019131	488585	0.002578567559
466220	0.000756958507	488600	0.002583822734
466240	0.000767088498	488615	0.002589069363
466260	0.000777291900	488630	0.002594330419
466280	0.000787578022	488645	0.002599599091
466300	0.000797926780	488660	0.002604875766
466320	0.000808447065	488675	0.002610097812

6.2.1. Alıcı Saat Hatası 1. Teriminin İrdelenmesi

İki kez fark alınmış faz ölçü denklemi (46) göz önüne alınırsa bu denklemde daha önce de belirtildiği gibi irdelenecek kısım

$$-(f/c) [(\rho_a^k(i) - \rho_b^k(i)) - (\rho_a^l(i) - \rho_b^l(i))] Z_{ab}(i)$$

dir. Tablo 11 ve Tablo 12 'de bu terimin farklı iki istasyon noktaları arasındaki değerleri verilmiştir.

(46) eşitliğinden görüldüğü gibi alıcı saat hatasının 1. teriminin, iki kez fark alınmış faz ölçülerine etkisinde diğer bir faktörde, alıcı noktası ile uydu arasındaki uzunluğun değişimidir. Z_{ab} 'nin çarpanı olarak işleme katılan bu terim uzunluk değişimlerinin farklarının farkları olarak gözükmemektedir. Bu durumda ise bu terimin büyüklük olarak değeri küçülmektedir. Z_{ab} 'nin değeri ise 3. bölümde verilen (43) eşitliği ile bulunmuştur.

Tablo 11. Alıcı Saat Hatası 1. Terim İrdeme Örneği-I

Noktalar : (0001) - (0010)			
Zaman (sn)	Uydu Çifti	1. Terim Değeri	
		(m)	(devir)
465980	SV 6 - SV 15	-0.000012336	$-6.4 \cdot 10^{-5}$
	SV 6 - SV 21	0.000312065	0.0016
	SV 6 - SV 23	0.000333063	0.0017
	SV 6 - SV 2	-0.000008057	$4.2 \cdot 10^{-5}$
	SV 6 - SV 11	0.000163968	$8.6 \cdot 10^{-4}$
466180	SV 6 - SV 15	-0.000003867	$-2.3 \cdot 10^{-5}$
	SV 6 - SV 21	0.000319264	0.0017
	SV 6 - SV 23	0.000338629	0.0018
	SV 6 - SV 2	-0.000005075	$2.6 \cdot 10^{-5}$
	SV 6 - SV 11	0.000175372	$9.2 \cdot 10^{-4}$
466380	SV 6 - SV 15	0.000004767	$2.5 \cdot 10^{-5}$
	SV 6 - SV 21	0.000328010	0.0017
	SV 6 - SV 23	0.000345852	0.0018
	SV 6 - SV 2	-0.000002205	$1.2 \cdot 10^{-5}$
	SV 6 - SV 11	0.000187579	$9.9 \cdot 10^{-4}$

Tablo 12. Alıcı Saat Hatası 1. Terim İrdeleme Örneği-II

Noktalar : (0010) - (BPPP)			
Zaman (sn)	Uydu Çifti	1. Terim Değeri (m) (devir)	
465980	SV 6 - SV 15	-0.000050706	$2.6 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 21	-0.000464709	0.0024
	SV 6 - SV 23	-0.000449252	0.0024
	SV 6 - SV 2	0.000017719	$9.3 \cdot 10^{-5}$
	SV 6 - SV 11	-0.000123564	$6.4 \cdot 10^{-4}$
466180	SV 6 - SV 15	-0.000066905	$3.5 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 21	-0.000458254	0.0024
	SV 6 - SV 23	-0.000434417	0.0023
	SV 6 - SV 2	0.000014738	$7.7 \cdot 10^{-5}$
	SV 6 - SV 11	-0.000120161	$6.3 \cdot 10^{-4}$
466380	SV 6 - SV 15	-0.000082863	$4.3 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 21	-0.000448982	0.0024
	SV 6 - SV 23	-0.000416205	0.0022
	SV 6 - SV 2	0.000012496	$6.5 \cdot 10^{-5}$
	SV 6 - SV 11	-0.000112632	$5.9 \cdot 10^{-4}$

Tablolardan da görüleceği gibi 1. terimin hatası çok küçük olarak bulunmaktadır ve bu terim istenirse çalışmada kullanılan model içerisinde ihmal edilebilir. Bu durumda alıcı noktalarının birbirlerine göre konumları ve kullanılan uydu çiftlerinin değişikliği göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü uydu ile alıcı noktaları arasındaki farkların farkları alıcı noktalarının konumlarına ve kullanılan uydu çiftleri arasındaki farklara bağlıdır.

N sayısına bu terimin etkisi, tablolarda bu terimin devir cinsinden değerinin incelenmesi ile belirlenebilir. İrdelenen örnek için bu değer maksimum 0.002 devir değerinde olup, N sayısının belirlenmesinde büyük bir etkisi olmadığı görülmüştür.

6.2.2. Alıcı Saat Hatası 2. Teriminin İrdelenmesi

İki kez fark alınmış faz ölçü denkleminde alıcı saat hatasının etkilediği ikinci terim, yine denklem (46) göz önünde bulundurularak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$+ (f/2c) [(\rho_a^k(i) + \rho_b^k(i)) - (\rho_a^l(i) + \rho_b^l(i))] Z'_{ab}(i)$$

Alıcı saat hatasının 2. teriminin değeri Tablo 13 ve Tablo 14 'de yine yukarıdaki örnekte kullanılan iki değişik alıcı noktaları arasında verilmiştir.

Tablolardan görüldüğü gibi 2. terimin etkisi 1. terime göre çok büyüktür. Bunun nedeni ise bu terimin çarpanı olan Z'_{ab} den gelmediği Z_{ab} 'nin değerini birinci terimdeki Z_{ab} 'den küçük olacağı düşüncesiyle kabul edilebilir. Çünkü Z'_{ab} iki alıcı saat hatasının farkından elde edilmesine rağmen Z_{ab} iki alıcı hatasının ortalaması olarak işleme girmektedir. Bu terimde diğer bir faktörde $f/2c$ dir.

Tablo 13. Alıcı Saat Hatası 2. Terim İrdeme Örneği-I

Noktalar : (0001) - (0010)			
Zaman (sn)	Uydu Çifti	2. Terim Değeri (m) (devir)	
465980	SV 6 - SV 15	-0.40130337	-2.109
	SV 6 - SV 21	0.05788385	0.304
	SV 6 - SV 23	0.44226321	2.324
	SV 6 - SV 2	-0.39921162	-2.098
	SV 6 - SV 11	0.00035263	0.002
466180	SV 6 - SV 15	-0.42038085	-2.209
	SV 6 - SV 21	0.05424252	0.285
	SV 6 - SV 23	0.43279113	2.274
	SV 6 - SV 2	-0.41471987	-2.179
	SV 6 - SV 11	-0.01071033	-0.056
466380	SV 6 - SV 15	0.43946451	-2.309
	SV 6 - SV 21	0.05042338	0.265
	SV 6 - SV 23	0.42259752	2.221
	SV 6 - SV 2	-0.42986661	-2.259
	SV 6 - SV 11	-0.02175119	-0.114

Tablo 14. Alıcı Saat Hatası 2. Terim İrdeleme Örneği-II

Noktalar : (0010) - (BPPP)			
Zaman (sn)	Uydu Çifti	2. Terim Değeri	
		(m)	(devir)
465980	SV 6 - SV 15	0.47583586	2.500
	SV 6 - SV 21	-0.06871048	-0.361
	SV 6 - SV 23	-0.52448944	-2.756
	SV 6 - SV 2	0.47338594	2.488
	SV 6 - SV 11	-0.00040542	-0.002
466180	SV 6 - SV 15	0.44361026	2.331
	SV 6 - SV 21	-0.05729585	-0.301
	SV 6 - SV 23	-0.45676988	-2.400
	SV 6 - SV 2	0.43766537	2.300
	SV 6 - SV 11	0.01132169	0.059
466380	SV 6 - SV 15	0.40388261	2.122
	SV 6 - SV 21	-0.04637769	-0.244
	SV 6 - SV 23	-0.38842276	-2.041
	SV 6 - SV 2	0.39508824	2.076
	SV 6 - SV 11	0.02001574	0.105

Diğer terime göre bu faktör ikinci terimi yarı yarıya daha az etkilemektedir. Sadece bu iki faktör göz önüne alındığında 2. terimin değerinin 1. terimin değerinden daha küçük olarak hesaplanacağı sanılır, fakat bu yanlıştır. Çünkü bu terime dikkatli bakarsak, bu terim içerisinde kullanılan uydu ile alıcı arasındaki uzunluk değişimleri, denklemi toplamların farkları şeklinde etkilemektedir. Bu ise ikinci terimin değerinin birinci terime göre çok büyük olmasına yol açmaktadır.

Tablo 13 ve Tablo 14 'de örnek uygulama için belirlenen ikinci terimin değerinden de görüleceği gibi bu terimin ihmal edilemeyecek kadar büyük bir değere sahip olduğu anlaşılır. Hatta diyebiliriz ki N tam sayı faz bilinmeyeninin bulunmasında en etkili faktör bu terimdir. 2. terimin verilen örnekler için devir cinsinden değerlerinden de görüleceği gibi, bu terim değişik uydu ve alıcı kombinasyonları için değişik değerler vermekte ve yaklaşık büyüklüğü yukarıdaki örnekler için 0.002 ile 2.756 devir arasında değişmektedir. Bir devirin dalga boyu $\lambda_{L1} = 19$ cm olduğu düşünülürse bu miktarın cm cinsinden değeride ortaya çıkacaktır. Bu değer nokta konumunda çok büyük etkisi olacağı N sayısına etkisinden de görülebilir.

6.3. Troposferin GPS Ölçülerine Etkisinin İrdelenmesi

Troposferin iki kez fark alınmış GPS ölçülerine etkisi çok az olmaktadır. Bunun nedeni ise, farkları alınan ölçülere bu etkinin aynı değerde yansıdığı ve sonuçta fark alma sayesinde minimumuma inmesidir. Burada en önemli varsayım bir uydudan değişik yer istasyon noktalarına gelen sinyallerin atmosferde aynı yolu izlemesidir. Tabii ki bu durum her zaman geçerli değildir. Özellikle ölçülen GPS ağ kenarının çok uzun olması (>100 km) durumunda uydudan yayınlanan sinyalin değişik yolları izlemesi ve sonuçta ölçülerin farklı troposferik etkiye maruz kalmasına yol açar. Bu farklı etki ölçülere tesir eden faktörün ayrı ayrı modellenmesi ile kısmen ortadan kaldırılabilir. Bölüm (2.8.3) 'de açıklandığı gibi genelde modeller bu iş için yeterlidir. Özellikle fark alma yöntemleri bu modellerle birlikte kullanılıyorsa etki minimumdur.

Bu çalışmada genelde kısa GPS ağ kenarlarının (<10 km) kullanılacağı düşünüldüğünden, atmosferden geçen sinyalin aynı yolu izlediği varsayımı geçerlidir. Fakat yine de sonuçtan emin olmak için yer noktalarında yapılan sıcaklık ve basınç ölçülerinden yararlanılarak Basitleştirilmiş Saastamoinen troposferik etki modeli kullanılarak troposferin etkisi irdelenmiştir. Değişik yer noktaları ve uydu çiftleri için bu miktarın bu çalışmanın sonucunu etkileyecek düzeyde olmadığı görülmüştür.

Troposferik etkinin hesabında yaklaşık 1 km civarında kenarlar kullanılmıştır. Bu çalışmanın odak noktası olan N sayısının belirlenmesinde, örnek uygulama için bu faktörün etkili olmadığı görülmüştür (Tablo 15 ve Tablo 16). Fakat değişik atmosferik durumlar göz önüne alındığında, bu parametrenin değerinin büyüyebileceği nedeniyle N sayısının belirlenmesi modelinden çıkartılmamış ve etki hesaplanarak modelde yerine konmuştur.

Tablo 15. Troposferik Etkinin İrdelenmesi-I

Noktalar : (0001) - (0010)			
Zaman (sn)	Uydu Çifti	Troposferik Etki	
		(m)	(devir)
465980	SV 6 - SV 15	0.000247925	0.001
	SV 6 - SV 21	0.000158994	$8.3 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 23	0.000002744	$1.4 \cdot 10^{-5}$
	SV 6 - SV 2	-0.000103834	$-5.4 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 11	0.000145964	$7.6 \cdot 10^{-4}$
466180	SV 6 - SV 15	0.000231686	0.001
	SV 6 - SV 21	0.000148574	$7.8 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 23	-0.000023732	$-1.2 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 2	-0.000076297	$-4.0 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 11	0.000138897	$7.3 \cdot 10^{-4}$
466380	SV 6 - SV 15	0.000216859	0.001
	SV 6 - SV 21	0.000138892	$7.2 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 23	-0.000052793	$-2.8 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 2	-0.000053994	$-2.8 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 11	0.000132622	$6.9 \cdot 10^{-4}$

Tablo 16. Troposferik Etkinin İrdelenmesi-II

Noktalar : (0010) - (BPPP)			
Zaman (sn)	Uydu Çifti	Troposferik Etki	
		(m)	(devir)
465980	SV 6 - SV 15	-0.00084732	-0.004
	SV 6 - SV 21	-0.00048913	-0.003
	SV 6 - SV 23	-0.00081440	-0.004
	SV 6 - SV 2	0.00039743	0.002
	SV 6 - SV 11	-0.00018972	$-9.9 \cdot 10^{-4}$
466180	SV 6 - SV 15	-0.00076541	-0.004
	SV 6 - SV 21	-0.00045824	-0.002
	SV 6 - SV 23	-0.00081054	-0.004
	SV 6 - SV 2	0.00027990	0.001
	SV 6 - SV 11	-0.00017618	$-9.2 \cdot 10^{-4}$
466380	SV 6 - SV 15	-0.00068949	-0.004
	SV 6 - SV 21	-0.00043024	-0.002
	SV 6 - SV 23	-0.00080683	-0.004
	SV 6 - SV 2	0.00018971	$9.9 \cdot 10^{-4}$
	SV 6 - SV 11	-0.00016496	$-8.7 \cdot 10^{-4}$

6.4. N Sayısının Hesaplanması ve Sabitleştirilmesinin İrdelenmesi

Taşıyıcı dalga faz ölçülerinde çözülmesi gereken en önemli bilinmeyen N tamsayı faz bilinmeyeni olarak belirtilmiştir. Çalışmada, N sayısının geliştirilen yöntem kullanılarak bulunması 4.1 alt bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır. Tablo 17 de (47) eşitliğinin herbir terimi ayrı ayrı hesaplanarak veya modellenerek belirlenmiştir. Bu terimlerin $1/\lambda_{L1}$ ($\lambda_{L1} = 0.19$ m) ile çarpılması ve (47) eşitliği göz önünde bulundurularak cebrik olarak toplanması sonucu, N sayıları herbir uydu çifti ve örnek olarak verilen 0004-0007 kenarı için hesaplanmıştır.

Tablo 17. 0004-0007 Kenarı İçin N Sayısının Hesaplanması

Noktalar : 0004 - 0007							
Zaman (sn)	Uydu Çifti	Alıcı SaatHat. 1. Terim (m)	Alıcı SaatHat. 2. Terim (m)	Trop Etki (m)	Hesapl. Uzun Farkları (m)	Ölçülen Faz Farkları (devir)	N (devir)
488400	13-14	-0.0000728	-0.1550224	-0.0000054	-0.864	273077.511	273073.784
	13-15	-0.0002992	-0.4040556	-0.0000038	-3.879	-1109800.688	-1109818.948
	13-18	0.0000634	0.0304511	-0.0000069	2.446	-47689.834	-47677.142
488535	13-14	-0.0000849	-0.1539009	-0.0000050	-1.020	273078.339	273073.785
	13-15	-0.0003141	-0.4102248	-0.0000034	-3.945	-1109800.309	-1109818.885
	13-18	0.0000630	0.0336812	-0.0000065	2.389	-47689.546	-47677.167
488685	13-14	-0.0000993	-0.1522511	-0.0000047	-1.195	273079.251	273073.770
	13-15	-0.0003309	-0.4165108	-0.0000029	-4.018	-1109799.967	-1109818.892
	13-18	0.0000622	0.0374489	-0.0000060	2.323	-47689.205	-47677.196
488835	13-14	-0.0001148	-0.1502490	-0.0000043	-1.370	273080.165	273073.752
	13-15	-0.0003482	-0.4223699	-0.0000025	-4.089	-1109799.616	-1109818.886
	13-18	0.0000608	0.0414193	-0.0000056	2.254	-47688.865	-47677.239
488985	13-14	-0.0001311	-0.1479028	-0.0000040	-1.550	273081.072	273073.705
	13-15	-0.0003659	-0.4278038	-0.0000020	-4.162	-1109799.267	-1109818.893
	13-18	0.0000591	0.0455941	-0.0000053	2.180	-47688.490	-47677.274

Tablo 17 'den görüldüğü gibi, N sayısının hesaplanmasında, N sayısı bazı modellenemeyen etkilerden dolayı küçük miktarlarda artmakta veya azalmaktadır. Bu değişim miktarı ihmal edilebilecek seviyede olmasına rağmen, verilen örnekte görülmeyen fakat çok azda olsa bazı durumlarda N sayısının bir ölçü içerisinde iki değişik değere sabitleneceği görülmüştür. Bu durum teori olarak N sayısının bir ölçü periyodu için zamandan bağımsız olması ve değişmemesi (Faz sıçraması olması hariç) ilkesine aykırı görünmektedir. Bu ancak, N sayısının bulunması sırasında faktörlerin iyi modellenmemesi, kaba ölçü hatalarının veri setinden ayıklanmaması, ilk girilen yaklaşık nokta koordinatların metre duyarlıkta olmasına bağlı olabilir. Bu problem, yaklaşık nokta koordinatların cm duyarlıkla girilmesi, kaba ölçülerin veri setinden ayıklanması ve alıcı saat hatasının en az 4 uyduya yapılan ölçülerin kullanılması sonucunda belirlenmesiyle ortadan kalktığı çalışmada görülmüştür. N sayısı belirlendikten sonra, N sayısının yanlış bir sayıya (bir alt veya üst tam sayıya) sabitlenip sabitlenmediği bulunan nokta koordinatların ortalama hatalarının veya ölçü düzeltmelerin bazılarının çok büyük çıkmasından anlaşılabilir. Bu durumda yapılan değerlendirme sonucunda en küçük ortalamayı veren N sayısı gerçek veya olması gereken değerdir. Bu işlem iteratif olarak en küçük ortalamayı buluncaya kadar N sayısının değerini bir alt veya üst sayıya değiştirmek suretiyle bulunabilir. Fakat veri setinde belirlenmesi gereken N sayıları bir defada tam sayıya sabitlenemiyorsa, iteratif işleme geçmeden önce veri setindeki ölçüler "uyuşumsuz ölçüler testine" tabii tutularak uyuşumsuz ölçüler veri setinden ayıklanmalıdır.

Veri setindeki rastgele ölçü hatalarına çok yakın büyüklükteki kaba hatalar, dengeleme sonucunda bulunan büyüklükleri olumsuz yönde etkilerler. Bu hatalar bölüm 2.8 de sistematik olmayan hatalar olarak verilen nedenlerden oluşur. Bu tür kaba hatalar ancak dengeleme hesabı tamamlandıktan sonra yapılan uyuşumsuz ölçüler testi yardımıyla belirlenebilir [57, 58]. Ayrıca v düzeltmelerinin hesabında kullanılan herhangi bir l_1 ölçüsündeki kaba bir hatanın, düzeltmelerin tümünü etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır [59].

Çalışmada uyşumsuz ölçüler testi aşğıdaki adımlarla yapılmıştır:

- v düzeltmelerinin ağırlık katsayılar matrisi Q_{vv} aşğıdaki gibi oluşturulur

$$Q_{vv} = W^{-1} - A Q_{xx} A^T \quad (89)$$

- l_i ölçüsünün uyşumsuz olup olmadığı konusunda bir yargıya varabilmek için test büyüklüğü elde edilir. Çalışmada test büyüklüğü T_i aşğıdaki şekilde bulunmuştur

$$T_i = v_i / m_o \sqrt{q_{v_i v_i}} \quad (90)$$

Yukarıdaki eşitlikte m_o birim ölçünün ortalama hatası, $q_{v_i v_i}$ değeri Q_{vv} matrisinin i . köşegen elemanıdır.

- Bulunan test büyüklüğü değeri testin yanılma olasılığı α göz önüne alınarak t -dağılım cetvellerinden alınan değerlerle karşılaştırılır.

$$T_i \leq t_{f-1, 1-\alpha/2} \quad \text{ise irdelenen ölçüde kaba hata olduğu söylenemez.}$$

$$T_i > t_{f-1, 1-\alpha/2} \quad \text{ise irdelenen ölçüde anlamlı bir kaba hata vardır.}$$

Burada f dengelemenin serbestlik derecesi olup, $f = n - u$ dan hesaplanmıştır. Çalışmada istatistik güven $s = \% 95$ ($1-\alpha/2 = 0.975$) seçilmiştir.

Verilen işlem adımlarına göre bütün ölçüler değerlendirilir ve kaba hatalı ölçüler veri setinden ayıklanır. Yinelemeli dengeleme ve test işlemleri ile uyşumsuz ölçü araştırması tüm hesaplanan T_i test büyüklüklerinin, t -dağılım cetvellerinden alınan değerlerden küçük oluncaya kadar devam eder.

Ek Tablo 1 'de 0004-0008 kenarı için listelenen iki kez fark alınmış faz ölçüleri kullanılarak yapılan uyşumsuz ölçüler testi Tablo 18 'de verilmiştir.

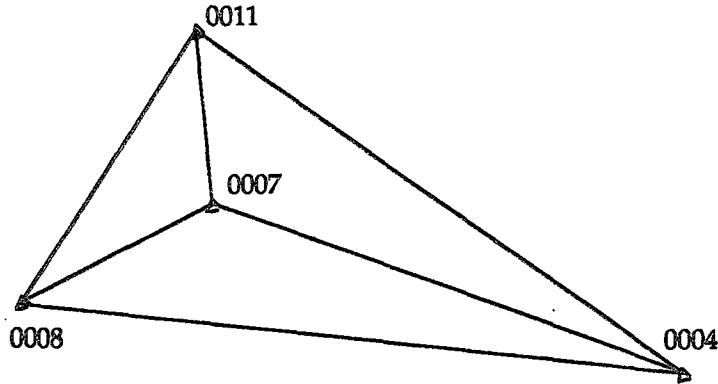
Tablo 18. 0004-0008 Kenarı İçin Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması Örneği

Epoch	Uydu Çifti	İki Kez Alınmış Faz Ölçüleri (devir)	Test Büyük lüğü T ile Tablo değeri t yi karşılaştırma $t_{590, 0.975} = 1.97$	Epoch	İki Kez Alınmış Faz Ölçüleri (devir)	Test Büyük lüğü T ile Tablo değeri t yi karşılaştırma $t_{590, 0.975} = 1.97$	Epoch	İki Kez Alınmış Faz Ölçüleri (devir)	Test Büyük lüğü T ile Tablo değeri t yi karşılaştırma $t_{590, 0.975} = 1.97$
71	13-14 13-15 13-18	6399956.449 391276.361 -259046.183	0.98 < 1.97 1.57 < 1.97 0.45 < 1.97	81	6399959.339 391281.513 -259046.315	2.69 > 1.97 4.99 > 1.97 1.94 < 1.97	91	6399960.770 391282.081 -259045.811	2.60 > 1.97 4.97 > 1.97 2.02 > 1.97
72	13-14 13-15 13-18	6399956.598 391276.419 -259046.133	0.99 < 1.97 1.55 < 1.97 0.48 < 1.97	82	6399959.492 391281.583 -259046.263	2.68 > 1.97 4.99 > 1.97 1.95 < 1.97	92	6399960.913 391282.135 -259045.772	2.60 > 1.97 4.97 > 1.97 2.02 > 1.97
73	13-14 13-15 13-18	6399956.753 391276.479 -259046.085	1.01 < 1.97 1.57 < 1.97 0.42 < 1.97	83	6399959.637 391281.646 -259046.211	2.67 > 1.97 4.98 > 1.97 1.98 > 1.97	93	6399961.086 391282.216 -259045.685	2.59 > 1.97 4.96 > 1.97 2.05 > 1.97
74	13-14 13-15 13-18	6399956.899 391276.538 -259046.035	1.00 < 1.97 1.57 < 1.97 0.48 < 1.97	84	6399959.766 391281.692 -259046.183	2.66 > 1.97 4.98 > 1.97 1.98 > 1.97	94	6399961.227 391282.267 -259045.648	2.59 > 1.97 4.97 > 1.97 2.04 > 1.97
75	13-14 13-15 13-18	6399957.049 391276.599 -259045.986	1.00 < 1.97 1.57 < 1.97 0.42 < 1.97	85	6399959.906 391281.739 -259046.136	2.65 > 1.97 4.98 > 1.97 1.98 > 1.97	95	6399960.201 391277.838 -259044.847	1.07 < 1.97 1.59 < 1.97 0.42 < 1.97
76	13-14 13-15 13-18	6399958.626 391281.243 -259046.562	2.72 > 1.97 5.00 > 1.97 1.91 < 1.97	86	6399960.047 391281.793 -259046.083	2.65 > 1.97 4.98 > 1.97 1.98 > 1.97	96	6399960.359 391277.909 -259044.778	1.09 < 1.97 1.61 < 1.97 0.35 < 1.97
77	13-14 13-15 13-18	6399958.757 391281.291 -259046.529	2.72 > 1.97 4.99 > 1.97 1.92 < 1.97	87	6399960.195 391281.855 -259046.020	2.64 > 1.97 4.98 > 1.97 1.99 > 1.97	97	6399960.518 391277.978 -259044.720	1.10 < 1.97 1.60 < 1.97 0.37 < 1.97
78	13-14 13-15 13-18	6399958.908 391281.352 -259046.475	2.70 > 1.97 4.99 > 1.97 1.94 < 1.97	88	6399960.340 391281.918 -259045.964	2.63 > 1.97 4.98 > 1.97 2.00 > 1.97	98	6399960.672 391278.036 -259044.657	1.09 < 1.97 1.60 < 1.97 0.38 < 1.97
79	13-14 13-15 13-18	6399959.043 391281.398 -259046.427	2.70 > 1.97 4.99 > 1.97 1.94 < 1.97	89	6399960.490 391281.976 -259045.909	2.62 > 1.97 4.97 > 1.97 2.01 > 1.97	99	6399960.799 391278.073 -259044.609	1.10 < 1.97 1.60 < 1.97 0.39 < 1.97
80	13-14 13-15 13-18	6399959.191 391281.459 -259046.367	2.70 > 1.97 4.99 > 1.97 1.94 < 1.97	90	6399960.628 391282.029 -259045.865	2.61 > 1.97 4.97 > 1.97 2.02 > 1.97	100	6399960.958 391278.137 -259044.552	1.10 < 1.97 1.60 < 1.97 0.40 < 1.97

Tablo 18 'den görüleceği gibi ölçü anı 76 ile 94 arasında uyuşumsuz ölçüler testi sonucunda uyuşumsuz ölçüler belirlenmiştir. Uyuşumsuz ölçüler veri setinden yinelemeli dengeleme ve hesaplanan test büyüklükleri göz önünde bulundurularak yukarıda verilen işlem sırasına göre ayıklanmıştır. Tabloda bazı ölçü anlarında iki ölçünün uyuşumsuz bir ölçünün ise testi geçtiği görülmüştür. Bu durumda sözü edilen ölçü anında bulunan tüm ölçüler veri setinden ayıklanmıştır. Çünkü alıcı saat hatasının hesaplanabilmesi için bir ölçü anında (epoch) en az 4 uyduya olan ölçüye ihtiyaç vardır.

6.5. Geliştirilen Yöntemin Test Edilmesi: Değerlendirmeler

Çalışmada 1991 yılında Yunanistan 'da GPS anten kalibrasyonu yapmak için gerçekleştirilen GPS ölçüleri kullanılmıştır. Bu ölçülerin bu çalışmada kullanılmasının iki büyük nedeni vardır. Birincisi GPS ölçüsü yapılan noktaların koordinatlarının cm duyarlıkla biliniyor olması. İkincisi ise noktaların birbirine çok yakın olması ve iki kez fark alınmış faz ölçülerinin kullanılması nedeniyle iyonosferik etkinin ihmal edilmesinin sonuca bir etkisi olmamasıdır. Ölçüler 4 GPS ölçü istasyonunda aynı anda gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Ölçümler sırasında 4 uyduya gözlem yapılmış ve ölçü toplama aralığı 15 sn dir. Değerlendirmeler Şekil 8 'de gösterilen ağda 3 kenar için yapılmıştır. Değerlendirmelerdeki amaç, standart GPS yöntemleri ile yaklaşık 45 dakika süren kısa kenar (<10 km.) ölçmelerinin geliştirilen yöntem sayesinde minimum sürede yapılmasıdır.



Şekil 8. Test Ağı

Ölçü süresinin azaltılmasının sonuçlara etkisini irdelemek amacıyla ağdaki 3 kenar ilk önce 45 dakikalık ölçü setleri kullanılarak (uyuşumsuz ölçüler ayıklanmış ölçü setleri) geliştirilen yöntemle değerlendirilmiştir. Bu durumda dengelemedeki serbestlik derecesi $f = 540$ dır. İkinci olarak $f = 30$ alınarak (yaklaşık 2-3 dakika) 45 dakikalık ölçü grupları 18 gruba bölünmüştür. Bu gruplar aynı şekilde geliştirilen yöntem kullanılarak değerlendirilmiş ve nokta koordinatları ve ortalama hataları bulunmuştur Tablo 19, Tablo 20, Tablo 21.

Farklı veri setleri ($f = 30$ olan veri grupları) kullanılarak bulunan sonuçların birbirlerinin yerlerine kullanılabileceğini istatistik olarak belirlemek amacıyla, herbir veri setinden bulunan deneysel standart sapmaların eşit olup olmadıkları Bartlett testi kullanılarak aşağıdaki adımlarla uygulanmıştır.

- Grupların toplam serbestlik derecesi hesaplanır

$$f_o = f_1 + f_2 + \dots + f_m \quad (91)$$

- Deneysel varyansların ağırlıklı ortalaması bulunur

$$m_o^2 = (1/f_o) * \sum_{i=1}^m f_i m_{oi}^2 \quad (92)$$

- Test sabiti c hesaplanır

$$c = 1 + [1/3*(m - 1)] * [\sum_{i=1}^m 1/f_i - 1/f_o] \quad (93)$$

- Test büyüklüğü B bulunur

$$B = 1/c \{ f_o, \ln (m_o^2) - [\sum_{i=1}^m f_i * \ln (m_{oi}^2)] \} \quad (94)$$

- Testin sınır değeri

$$q = X_{(m-1, 1-\alpha)}^2 \quad (95)$$

Tablo 19. 0004-0011 Kenarı İçin Ana Grup ve Alt Gruplardan Belirlenen Koordinatlar ve Duyarlılıkları - Ana Grup Koordinatlarının Alt Grup Koordinatlarıyla İstatistik Olarak Karşılaştırılması

No	ΔX	$m_{\Delta X}$	$v_x = \Delta x_1 - \Delta x_i$	$m_{\Delta x^2 + m_{\Delta x_i^2}}^2 \cdot s$	$T_x = v_x/m_x$	No	ΔX	$m_{\Delta X}$	$v_x = \Delta x_1 - \Delta x_i$	$m_{\Delta x^2 + m_{\Delta x_i^2}}^2 \cdot s$	$T_x = v_x/m_x$
fi	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	$q:568, (1-\alpha/2) = 1.96$	fi	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	$q:568, (1-\alpha/2) = 1.96$
1	-5.0046	0.20				10	-5.0042	0.32	0.4	0.377	1.06 < 1.96
540	5.4367	0.09				30	5.4363	0.15	0.4	0.175	2.29 > 1.96
	3.3288	0.15					3.3292	0.24	0.4	0.283	1.04 < 1.96
2	-5.0048	0.35	0.2	0.403	0.50 < 1.96	11	-5.0044	0.48	0.2	0.520	0.38 < 1.96
54365	0.17	0.2	0.2	0.192	1.04 < 1.96	54368	0.22	0.1	0.1	0.238	0.42 < 1.96
30	3.3290	0.26	0.2	0.300	0.67 < 1.96	30	3.3289	0.36	0.1	0.390	0.26 < 1.96
3	-5.0040	0.36	0.6	0.412	1.46 < 1.96	12	-5.0042	0.38	0.4	0.429	0.93 < 1.96
54362	0.16	0.5	0.5	0.184	2.72 > 1.96	54367	0.17	0.0	0.0	0.192	0.00 < 1.96
30	3.3290	0.26	0.3	0.879	1.04 < 1.96	30	3.3287	0.29	0.1	0.326	0.31 < 1.96
4	-5.0049	0.47	0.3	0.511	0.59 < 1.96	13	-5.0041	0.47	0.5	0.511	0.98 < 1.96
54370	0.21	0.3	0.3	0.228	1.32 < 1.96	54365	0.19	0.2	0.2	0.210	0.95 < 1.96
30	3.3287	0.35	0.1	0.381	0.26 < 1.96	30	3.3290	0.35	0.2	0.381	0.52 < 1.96
5	-5.0049	0.42	0.3	0.465	0.65 < 1.96	14	-5.0046	0.43	0.0	0.474	0.00 < 1.96
54368	0.18	0.1	0.1	0.201	0.50 < 1.96	54369	0.17	0.2	0.2	0.192	1.04 < 1.96
30	3.3286	0.31	0.2	0.344	0.58 < 1.96	30	3.3289	0.32	0.1	0.353	0.28 < 1.96
6	-5.0042	0.48	0.4	0.520	0.77 < 1.96	15	-5.0043	0.42	0.3	0.465	0.65 < 1.96
54364	0.20	0.3	0.3	0.219	1.37 < 1.96	54368	0.16	0.1	0.1	0.184	0.54 < 1.96
30	3.3291	0.36	0.3	0.390	0.77 < 1.96	30	3.3286	0.31	0.2	0.344	0.58 < 1.96
7	-5.0044	0.38	0.2	0.429	0.47 < 1.96	16	-5.0049	0.32	0.3	0.377	0.80 < 1.96
54369	0.15	0.2	0.2	0.175	1.14 < 1.96	54365	0.15	0.2	0.2	0.175	1.14 < 1.96
30	3.3290	0.28	0.2	0.317	0.63 < 1.96	30	3.3288	0.23	0.0	0.275	0.00 < 1.96
8	-5.0047	0.43	0.1	0.474	0.21 < 1.96	17	-5.0042	0.42	0.4	0.465	0.86 < 1.96
54368	0.16	0.1	0.1	0.184	0.54 < 1.96	54365	0.19	0.2	0.2	0.210	0.95 < 1.96
30	3.3286	0.32	0.2	0.353	0.57 < 1.96	30	3.3291	0.31	0.3	0.344	0.97 < 1.96
9	-5.0041	0.55	0.5	0.585	0.85 < 1.96	18	-5.0042	0.45	0.4	0.492	0.81 < 1.96
54366	0.20	0.1	0.1	0.219	0.46 < 1.96	54365	0.18	0.2	0.2	0.201	1.00 < 1.96
30	3.3290	0.40	0.2	0.427	0.47 < 1.96	30	3.3290	0.34	0.2	0.372	0.54 < 1.96

Tablo 20. 0004-0008 Kenarı Ana Grup ve Alt Gruplardan Belirlenen Koordinatlar ve Duyarlılıkları - Ana Grup Koordinatlarının Alt Grup Koordinatlarıyla İstatistik Olarak Karşılaştırılması

No	ΔX	$m_{\Delta X}$	$v_x = \Delta x_1 - \Delta x_i$	$m_x = (m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta x_i}^2)^{.5}$	$T_x = v_x/m_x$	No	ΔX	$m_{\Delta X}$	$v_x = \Delta x_1 - \Delta x_i$	$m_x = (m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta x_i}^2)^{.5}$	$T_x = v_x/m_x$
fi	ΔY	$m_{\Delta Y}$	$v_y = \Delta y_1 - \Delta y_i$	$m_y = (m_{\Delta y}^2 + m_{\Delta y_i}^2)^{.5}$	$T_y = v_y/m_y$	fi	ΔY	$m_{\Delta Y}$	$v_y = \Delta y_1 - \Delta y_i$	$m_y = (m_{\Delta y}^2 + m_{\Delta y_i}^2)^{.5}$	$T_y = v_y/m_y$
	ΔZ	$m_{\Delta Z}$	$v_z = \Delta z_1 - \Delta z_i$	$m_z = (m_{\Delta z}^2 + m_{\Delta z_i}^2)^{.5}$	$T_z = v_z/m_z$		ΔZ	$m_{\Delta Z}$	$v_z = \Delta z_1 - \Delta z_i$	$m_z = (m_{\Delta z}^2 + m_{\Delta z_i}^2)^{.5}$	$T_z = v_z/m_z$
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	$q:568, (1-\alpha/2) = 1,96$		(m)	(mm)	(mm)	(mm)	$q:568, (1-\alpha/2) = 1,96$
1	-3.7879	0.10				10	-3.7886	0.53	0.7	0.579	1.30 < 1.96
540	9.2596	0.05				30	9.2595	0.19	0.1	0.196	0.51 < 1.96
	-0.2890	0.08					-0.2894	0.39	0.4	0.398	1.00 < 1.96
2	-3.7891	0.41	1.2	0.422	2.84 > 1.96	11	-3.7888	0.57	0.9	0.579	1.55 < 1.96
9	9.2602	0.20	0.6	0.206	2.91 > 1.96	30	9.2596	0.20	0.0	0.206	0.00 < 1.96
30	-0.2896	0.31	0.6	0.320	1.87 < 1.96		-0.2896	0.41	0.6	0.418	1.43 < 1.96
3	-3.7882	0.40	0.3	0.412	0.73 < 1.96	12	-3.7889	0.30	1.0	0.316	3.16 > 1.96
30	9.2598	0.19	0.2	0.196	1.02 < 1.96	30	9.2593	0.17	0.3	0.177	1.69 < 1.96
	-0.2892	0.30	0.2	0.310	0.64 < 1.96		-0.2891	0.22	0.1	0.234	0.43 < 1.96
4	-3.7887	0.42	0.8	0.432	1.85 < 1.96	13	-3.7880	0.44	0.1	0.451	0.22 < 1.96
9	9.2599	0.19	0.3	0.196	1.53 < 1.96	30	9.2594	0.16	0.2	0.168	1.19 < 1.96
30	-0.2895	0.31	0.5	0.320	1.56 < 1.96		-0.2892	0.32	0.2	0.330	0.61 < 1.96
5	-3.7886	0.44	0.7	0.451	1.55 < 1.96	14	-3.7884	0.49	0.5	0.500	1.00 < 1.96
9	9.2597	0.14	0.1	0.149	0.67 < 1.96	30	9.2595	0.17	0.1	0.177	0.56 < 1.96
30	-0.2897	0.35	0.7	0.359	1.95 < 1.96		-0.2893	0.35	0.3	0.359	0.84 < 1.96
6	-3.7871	0.48	0.8	0.490	1.63 < 1.96	15	-3.7878	0.44	0.1	0.451	0.22 < 1.96
9	9.2594	0.19	0.2	0.196	1.02 < 1.96	30	9.2593	0.18	0.3	0.187	1.60 < 1.96
30	-0.2884	0.35	0.6	0.359	1.67 < 1.96		-0.2891	0.30	0.1	0.310	0.32 < 1.96
7	-3.7880	0.50	0.1	0.510	0.20 < 1.96	16	-3.7875	0.52	0.4	0.530	0.75 < 1.96
9	9.2597	0.20	0.1	0.206	0.49 < 1.96	30	9.2589	0.19	0.7	0.196	3.57 > 1.96
30	-0.2888	0.37	0.2	0.378	0.53 < 1.96		-0.2886	0.36	0.4	0.369	1.08 < 1.96
8	-3.7881	0.60	0.2	0.608	0.33 < 1.96	17	-3.7886	0.45	0.7	0.461	1.52 < 1.96
9	9.2597	0.23	0.1	0.235	0.43 < 1.96	30	9.2596	0.16	0.0	0.167	0.00 < 1.96
30	-0.2888	0.44	0.2	0.447	0.45 < 1.96		-0.2894	0.30	0.4	0.310	1.29 < 1.96
9	-3.7870	0.47	0.9	0.481	1.87 < 1.96	18	-3.7880	0.52	0.1	0.530	0.19 < 1.96
30	9.2597	0.16	0.1	0.167	0.60 < 1.96	30	9.2593	0.19	0.3	0.196	1.53 < 1.96
	-0.2884	0.33	0.6	0.339	1.77 < 1.96		-0.2890	0.34	0.0	0.349	0.00 < 1.96

Tablo 21. 0004-0007 Kenarı İçin Ana Grup ve Alt Gruplardan Belirlenen Koordinatlar ve Duyarlılıkları - Ana Grup Koordinatlarının Alt Grup Koordinatlarıyla İstatistik Olarak Karşılaştırılması

No fi	ΔX ΔY ΔZ (m)	$m_{\Delta X}$ $m_{\Delta Y}$ $m_{\Delta Z}$ (mm)	$v_x = \Delta x1 - \Delta xi$ $v_y = \Delta y1 - \Delta yi$ $v_z = \Delta z1 - \Delta zi$ (mm)	$m_x = (m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta xi}^2)^{.5}$ $m_y = (m_{\Delta y}^2 + m_{\Delta yi}^2)^{.5}$ $m_z = (m_{\Delta z}^2 + m_{\Delta zi}^2)^{.5}$ (mm)	$T_x = v_x/m_x$ $T_y = v_y/m_y$ $T_z = v_z/m_z$ $q:568, (1-\alpha/2) = 1.96$	No fi	ΔX ΔY ΔZ (m)	$m_{\Delta X}$ $m_{\Delta Y}$ $m_{\Delta Z}$ (mm)	$v_x = \Delta x1 - \Delta xi$ $v_y = \Delta y1 - \Delta yi$ $v_z = \Delta z1 - \Delta zi$ (mm)	$m_x = (m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta xi}^2)^{.5}$ $m_y = (m_{\Delta y}^2 + m_{\Delta yi}^2)^{.5}$ $m_z = (m_{\Delta z}^2 + m_{\Delta zi}^2)^{.5}$ (mm)	$T_x = v_x/m_x$ $T_y = v_y/m_y$ $T_z = v_z/m_z$ $q:568, (1-\alpha/2) = 1.96$	$m_x = (m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta xi}^2)^{.5}$ $m_y = (m_{\Delta y}^2 + m_{\Delta yi}^2)^{.5}$ $m_z = (m_{\Delta z}^2 + m_{\Delta zi}^2)^{.5}$ (mm)	$T_x = v_x/m_x$ $T_y = v_y/m_y$ $T_z = v_z/m_z$ $q:568, (1-\alpha/2) = 1.96$
1	-2.8877 5.2344 0.8867	0.45 0.18 0.36				10	-2.8879 5.2342 0.8862	0.47 0.17 0.35	0.2 0.2 0.5	0.651 0.248 0.502		0.651 0.241 0.495	0.31 < 1.96 0.81 < 1.96 1.00 < 1.96
2	-2.8883 5.2346 0.8863	0.42 0.20 0.31	0.6 0.2 0.4	0.616 0.269 0.475	0.97 < 1.96 0.74 < 1.96 0.84 < 1.96	11	-2.8881 5.2341 0.8863	0.46 0.16 0.34	0.4 0.3 0.4	0.644 0.241 0.495		0.644 0.241 0.495	0.62 < 1.96 1.12 < 1.96 0.81 < 1.96
3	-2.8880 5.2343 0.8861	0.40 0.19 0.30	0.3 0.1 0.6	0.602 0.262 0.469	0.50 < 1.96 0.38 < 1.96 1.28 < 1.96	12	-2.8872 5.2349 0.8867	0.42 0.15 0.30	0.5 0.5 0.0	0.616 0.234 0.469		0.616 0.234 0.469	0.81 < 1.96 2.14 > 1.96 0.00 < 1.96
4	-2.8882 5.2343 0.8863	0.37 0.16 0.27	0.5 0.1 0.4	0.583 0.241 0.450	0.86 < 1.96 0.41 < 1.96 0.89 < 1.96	13	-2.8879 5.2342 0.8869	0.52 0.18 0.37	0.2 0.2 0.2	0.688 0.255 0.516		0.688 0.255 0.516	0.29 < 1.96 0.78 < 1.96 0.39 < 1.96
5	-2.8874 5.2343 0.8868	0.41 0.17 0.30	0.3 0.1 0.1	0.609 0.248 0.469	0.49 < 1.96 0.40 < 1.96 0.21 < 1.96	14	-2.8877 5.2347 0.8862	0.49 0.17 0.36	0.0 0.3 0.5	0.665 0.248 0.509		0.665 0.248 0.509	0.00 < 1.96 1.21 < 1.96 0.98 < 1.96
6	-2.8877 5.2344 0.8865	0.55 0.23 0.41	0.0 0.0 0.2	0.711 0.292 0.546	0.00 < 1.96 0.00 < 1.96 0.37 < 1.96	15	-2.8883 5.2346 0.8861	0.41 0.15 0.30	0.6 0.2 0.6	0.609 0.234 0.469		0.609 0.234 0.469	0.99 < 1.96 0.85 < 1.96 1.28 < 1.96
7	-2.8871 5.2343 0.8869	0.47 0.19 0.35	0.6 0.1 0.2	0.651 0.262 0.502	0.92 < 1.96 0.38 < 1.96 0.40 < 1.96	16	-2.8879 5.2341 0.8859	0.45 0.16 0.33	0.2 0.3 0.8	0.636 0.241 0.488		0.636 0.241 0.488	0.31 < 1.96 1.24 < 1.96 1.64 < 1.96
8	-2.8872 5.2340 0.8868	0.48 0.18 0.36	0.5 0.4 0.1	0.658 0.255 0.509	0.76 < 1.96 1.57 < 1.96 0.20 < 1.96	17	-2.8872 5.2343 0.8867	0.52 0.19 0.38	0.5 0.1 0.0	0.688 0.262 0.523		0.688 0.262 0.523	0.73 < 1.96 0.98 < 1.96 0.00 < 1.96
9	-2.8867 5.2343 0.8872	0.53 0.19 0.39	1.0 0.1 0.5	0.695 0.262 0.531	1.44 < 1.96 0.38 < 1.96 0.94 < 1.96	18	-2.8877 5.2340 0.8861	0.40 0.15 0.29	0.0 0.4 0.6	0.602 0.234 0.462		0.602 0.234 0.462	0.00 < 1.96 1.71 < 1.96 1.30 < 1.96

serbestlik derecesi $m-1$, istatistik güven $s = 1 - \alpha$ değerinden yararlanılarak X^2 - dağılım cetvellerinden alınır.

* $B \leq q$ ise deneysel standart sapmaların eşit olduğu söylenebilir. Aksi takdirde yani $B > q$ ise standart sapmalar birbirine eşit değildir ve ölçü gruplarının duyarlık yönünden homojen olmadıkları söylenebilir.

Bartlett istatistik testleri sonucunda, Tablo 22 'de görüldüğü gibi alt grupların duyarlık yönünden homojen olduğu söylenebilir ve deneysel standart sapmaları eşit alınabilir.

Tablo 22. Alt Grupların Duyarlık Yönünden İncelenmesi

Kenar: 0004-0008 Test büyüklüğü (B) ile Test sınır değeri (q) nun karşılaştırması $m = 17, s = 0.95$			Kenar: 0004-0007 Test büyüklüğü (B) ile Test sınır değeri (q) nun karşılaştırması $m = 17, s = 0.95$		Kenar: 0004-0011 Test büyüklüğü (B) ile Test sınır değeri (q) nun karşılaştırması $m = 17, s = 0.95$	
Gr No	f_i Serbetlik derecesi	m_i^2 Deneysel varyans (mm^2)	f_i Serbetlik derecesi	m_i^2 Deneysel varyans (mm^2)	f_i Serbetlik derecesi	m_i^2 Deneysel varyans (mm^2)
2	30	3.10	30	3.23	30	2.33
3	30	2.77	30	2.80	30	2.17
4	30	2.93	30	2.23	30	3.63
5	30	1.80	30	2.63	30	2.80
6	30	3.47	30	4.63	30	3.50
7	30	3.73	30	3.30	30	2.13
8	30	5.10	30	3.33	30	2.63
9	30	2.73	30	3.87	30	4.23
10	30	3.83	30	3.03	30	1.83
11	30	4.37	30	2.90	30	3.83
12	30	3.73	30	2.43	30	2.17
13	30	2.67	30	3.60	30	3.33
14	30	3.33	30	3.20	30	2.70
15	30	2.63	30	2.23	30	2.47
16	30	3.83	30	2.70	30	1.77
17	30	2.83	30	3.57	30	2.93
18	30	3.83	30	2.17	30	3.10
B= 13.41 q= 26.30 B<q			B= 22.38 q= 26.30 B<q		B= 14.78 q= 26.30 B<q	

Alt grupların duyarlılığının 45 dakikalık ölçü gruplarından alınan duyarlığa eşit olup olmadığını belirlemek için, iki çözümden belirlenen deneysel standart sapmaların eşit alınıp alınamayacağı incelenmelidir. Bu test, aşağıda açıklanan şekilde yapılmıştır.

- İlk olarak test büyüklüğü hesaplanır

$$T = m_1^2 / m_2^2 \quad (96)$$

Yukarıdaki eşitlikte F-dağılımının cetvel değerleri birden büyük değerler için düzenlendiğinden deneysel varyanslardan büyük olan m_1^2 olarak seçilir.

- Testin sınır değeri ise

$$q = F_{f_1, f_2, 1-\alpha} \quad (97)$$

den belirlenir. Yukarıda payın serbestlik derecesi f_1 , paydanın serbestlik derecesi f_2 , yanılma olasılığı α ise 0.05 olarak alınmıştır.

• $T < q$ ise iki deneysel standart sapmanın eşit olduğu söylenebilir. Aksi takdirde, yani $T > q$ ise iki deneysel standart sapma birbirine eşit değildir ve iki ölçü grubunun duyarlık yönünden homojen olmadıkları söylenebilir.

Tablo 23, Tablo 25 ve Tablo 27 'den görüldüğü gibi 45 dakikalık ölçü grubu ile 2-3 dakikalık ölçü gruplarından belirlenen deneysel standart sapmalar eşit alınabilir.

Diğer bir istatistik testde ana gruplardan bulunan koordinatların her bir bileşenin, alt gruplardan bulunan koordinatlarla eşit alınıp alınmayacağını belirlemek amacıyla yapılmıştır. İşlemler aşağıdaki adımlarda yürütülmüştür.

- İlk olarak

$$v_x = \Delta X_1 - \Delta X_i$$

$$v_y = \Delta Y_1 - \Delta Y_i$$

$$v_z = \Delta Z_1 - \Delta Z_i$$

(98)

koordinat farklarının farkları hesaplanır. Burada 45 dakikalık grubun koordinat farkları $\Delta X_1, \Delta Y_1, \Delta Z_1$, Herbir alt grubun koordinat farkları $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$ dir.

- İkinci olarak ortalama hatalar hesaplanır.

$$\begin{aligned} m_x &= (m_{\Delta X_1}^2 + m_{\Delta X_i}^2)^{0.5} \\ m_y &= (m_{\Delta Y_1}^2 + m_{\Delta Y_i}^2)^{0.5} \\ m_z &= (m_{\Delta Z_1}^2 + m_{\Delta Z_i}^2)^{0.5} \end{aligned} \quad (99)$$

- Test büyüklükleri belirlenir.

$$\begin{aligned} T_x &= v_x / m_x \\ T_y &= v_y / m_y \\ T_z &= v_z / m_z \end{aligned} \quad (100)$$

- Testin sınır değeri

$$q = t_{(f_1 + f_2 - 2), 1 - \alpha/2} \quad (101)$$

t-dağılım cetvellerinden alınır.

• $T < q$ ise koordinatların birbirlerinin yerine kullanılabileceğini, $T > q$ birbirlerinin yerine kullanılamayacağı söylenebilir.

Tablo 19, Tablo 20 ve Tablo 21 'den görüldüğü gibi alt gruptan elde edilen koordinatların 45 dakikalık gruptan elde edilen koordinatlarla eşit alınabileceği $\alpha = 0.05$ yanılma olasılığı ile kabul edilebilir.

Uygulamada, Bernese yazılımı kullanılarak ölçülerin 2-3 saatlik kısmının değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar geliştirilen yöntemden $f = 540$ ve $f=30$ ile belirlenen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda iki yöntemden (Bernese ve geliştirilen yöntem) elde edilen koordinatların ve kenarların mm seviyesinde uyumlu olduğu görülmüştür Tablo 24, Tablo 26, Tablo 28.

Tablo 23. 0004-0007 Kenarı İçin Ana Grubun Alt Gruplar İle Duyarlık Yönünden Karşılaştırılması

Gr No	f_i Serbetlik derecesi	m_i^2 Deneysel varyans (mm ²)	Test büyüklüğü (T) ile Test sınır değeri (q) nun karşılaştırması s = 0.95
1	540	3.26	
2	30	3.23	1.01<1.48
3	30	2.80	1.17<1.48
4	30	2.23	1.46<1.48
5	30	2.63	1.24<1.48
6	30	4.63	1.42<1.64
7	30	3.30	1.01<1.64
8	30	3.33	1.02<1.64
9	30	3.87	1.18<1.64
10	30	3.03	1.08<1.48
11	30	2.90	1.13<1.48
12	30	2.43	1.34<1.48
13	30	3.60	1.10<1.64
14	30	3.20	1.02<1.48
15	30	2.23	1.46<1.48
16	30	2.70	1.21<1.48
17	30	3.57	1.09<1.64
18	30	2.17	1.51>1.48

Tablo 24. 0004-0007 Kenarı İçin Yazılımların Karşılaştırılması

Ölçülen Kenar : 0008 - 0011				
Ölçüm Süresi (dakika)	Bernese Koord Fark. Kenar Uzun. (m)	DDGPS Koord Fark. Kenar Uzun. (m)	Standart Sapma (mm)	İki Yazılım Arasındaki Fark (mm)
45 f=540	$\Delta X = -2.8875$	$\Delta X = -2.8877$	0.45	0.2
	$\Delta Y = 5.2335$	$\Delta Y = 5.2344$	0.18	-0.9
	$\Delta Z = 0.8863$	$\Delta Z = 0.8867$	0.36	-0.4
	KU = 6.0426	KU = 6.0435	0.60	-0.9
2.5 f=30	$\Delta X = -2.8875$	$\Delta X = -2.8883$	0.42	0.8
	$\Delta Y = 5.2335$	$\Delta Y = 5.2346$	0.20	-1.0
	$\Delta Z = 0.8863$	$\Delta Z = 0.8863$	0.31	0.0
	KU = 6.0426	KU = 6.0439	0.56	-1.3

Tablo 25. 0004-0011 Kenarı İçin Ana Grubun Alt Gruplar İle Duyarlık Yönünden Karşılaştırılması

Gr No	f_i Serbetlik derecesi	m_1^2 Deneysel varyans (mm ²)	Test büyüklüğü (T) ile Test sınır değeri (q) nun karşılaştırması $s = 0.95$
1	540	2.53	
2	30	2.33	1.09<1.48
3	30	2.17	1.17<1.48
4	30	3.63	1.43<1.64
5	30	2.80	1.11<1.64
6	30	3.50	1.38<1.64
7	30	2.13	1.19<1.48
8	30	2.63	1.04<1.64
9	30	4.23	1.67>1.64
10	30	1.83	1.38<1.48
11	30	3.83	1.51<1.64
12	30	2.17	1.17<1.48
13	30	3.33	1.32<1.64
14	30	2.70	1.07<1.64
15	30	2.47	1.03<1.48
16	30	1.77	1.43<1.48
17	30	2.93	1.16<1.64
18	30	3.10	1.22<1.64

Tablo 26. 0004-0011 Kenarı İçin Yazılımların Karşılaştırılması

Ölçülen Kenar : 0004 - 0011				
Ölçüm Süresi (dakika)	Bernese Koord Fark. Kenar Uzun. (m)	DDGPS		İki Yazılım Arasındaki Fark (mm)
		Koord Fark. Kenar Uzun. (m)	Standart Sapma (mm)	
45 f=540	$\Delta X = -5.0042$	$\Delta X = -5.0046$	0.20	0.4
	$\Delta Y = 5.4359$	$\Delta Y = 5.4367$	0.09	-0.8
	$\Delta Z = 3.3288$	$\Delta Z = 3.3288$	0.15	0.0
	KU = 8.1038	KU = 8.1046	0.27	-0.8
2.5 f=30	$\Delta X = -5.0042$	$\Delta X = -2.8883$	0.43	0.5
	$\Delta Y = 5.4359$	$\Delta Y = 5.4368$	0.16	-0.9
	$\Delta Z = 3.3288$	$\Delta Z = 3.3286$	0.32	0.2
	KU = 8.1038	KU = 8.1047	0.56	-0.9

Tablo 27. 0004-0008 Kenarı İçin Ana Grubun Alt Gruplar İle Duyarlık Yönünden Karşılaştırılması

Gr No	f_i Serbetlik derecesi	m_1^2 Deneysel varyans (mm ²)	Test büyüklüğü (T) ile Test sınır değeri (q) nun karşılaştırması $s = 0.95$
1	540	3.65	
2	30	3.10	1.18<1.48
3	30	2.77	1.32<1.48
4	30	2.93	1.25<1.48
5	30	1.80	2.03>1.48
6	30	3.47	1.05<1.48
7	30	3.73	1.01<1.64
8	30	5.10	1.39<1.64
9	30	2.73	1.34<1.48
10	30	3.83	1.05<1.64
11	30	4.37	1.19<1.64
12	30	3.73	1.02<1.64
13	30	2.67	1.37<1.48
14	30	3.33	1.10<1.48
15	30	2.63	1.39<1.48
16	30	3.83	1.05<1.64
17	30	2.83	1.29<1.48
18	30	3.83	1.05<1.64

Tablo 28. 0004-0008 Kenarı İçin Yazılımların Karşılaştırılması

Ölçülen Kenar : 0004 - 0008				
Ölçüm Süresi (dakika)	Bernese Koord Fark. Kenar Uzun. (m)	DDGPS Koord Fark. Kenar Uzun. (m)	Standart Sapma (mm)	İki Yazılım Arasındaki Fark (mm)
45 $f=540$	$\Delta X = -3.7883$	$\Delta X = -3.7879$	0.10	- 0.4
	$\Delta Y = 9.2599$	$\Delta Y = 9.2596$	0.05	0.3
	$\Delta Z = -0.2893$	$\Delta Z = -0.2890$	0.08	- 0.3
	$KU = 10.0090$	$KU = 10.0086$	0.14	0.4
2.5 $f=30$	$\Delta X = -3.7883$	$\Delta X = -3.7882$	0.40	- 0.1
	$\Delta Y = 9.2599$	$\Delta Y = 9.2598$	0.19	- 0.1
	$\Delta Z = -0.2893$	$\Delta Z = -0.2892$	0.30	- 0.1
	$KU = 10.0090$	$KU = 10.0089$	0.53	0.1

Yukarıdaki değerlendirmeler ve elde edilen sonuçlardan çalışmada geliştirilen yöntemin başarılı olduğu görülmüştür. Saatlerce olan ölüm periyodu bir kaç dakika seviyesine indirilmesine rağmen nokta konumları duyarlı olarak belirlenebilmiştir.

Geliştirilen yöntemde çok kısa süre l yapılacadığından l sırasında faz kayması (cycle slip) olmaması için gereken maksimum önlemler alınmalıdır. Ayrıca lm sırasında 15° yükseklik açısı üzerindeki uydular kullanılmalı ve mümkün mertebe uydu sayısının 4 den fazla olduğu zaman periyodunda ölümler yapılmalıdır.

llerde faz kaymasının (cycle slip) olup olmadığı ise üç kez fark alınmış faz l denklemleri oluşturularak belirlenebilir. Bu durumda bu hatayı oluşturan uydu veya uydular değerlendirmeden çıkarılacağı gibi, hata mevcut faz kayması onarma yöntemlerinden biri kullanılarak giderilebilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda, GPS ile deformasyon izleme amaçlı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde, mühendislik yapıları olarak adlandırılan; baraj, köprü, santral gibi yapılardaki deformasyonun GPS ile minimum sürede, duyarlıklı olarak izlenmesi mümkün hale getirilmiştir. Çalışmadan elde edilen genel sonuç ve öneriler bu bölümde paragraflar halinde verilmiştir.

Geliştirilen yöntem sonucunda deformasyon izleme amaçlı GPS 'in kullanımında büyük pratiklik kazanılmıştır.

Deformasyon ölçülerinin sürekli veya periyodik olma gereği arazideki ölçüm süresi standart GPS ölçümleri ile uzun zaman (10 km 'den kısa kenarlar için en az 4 uydu ile ortalama 45 dk.) almaktadır. Geliştirilen yöntemle bu süre bir kenarın belirlenmesi için bir kaç dakika seviyesine indirilmiştir. Bu durum arazideki ölçüm süresinin büyük bir ölçüde azalmasını sağlamıştır.

Yapılan test ve değerlendirmelerden ölçüm süresinin azaltılması, elde edilen koordinatların duyarlılığını düşürmemiştir. Bu durum yöntemin deformasyon izleme amaçlı kullanılabilmesini göstermektedir.

Yöntem sayesinde GPS faz ölçümlerinde bilinmeyen olan N tam sayı faz bilinmeyi kolayca belirlenmiştir. Ölçü zamanını en aza indirmede etkili faktör bu sayının belirlenmesi olduğu sonuç olarak söylenebilir.

Değerlendirmeler sonucunda elde edilen m_0 ortalama hata değeri bazen faz kayması veya ölçülerdeki kaba hatalardan dolayı büyük çıkabilir. Bu durumda ölçü düzeltmeleri (v) büyük olan ölçüler (kaba hatalar) ölçü setinden uyumsuz ölçüler testi ile ayıklanmalıdır.

Yöntem ve yöntemin uygulaması için geliştirilen yazılım kullanılmak suretiyle test ağında yapılan değerlendirmeler, aynı ölçülerin Bernese yazılımının kullanılması sonucu elde edilen koordinatlarla karşılaştırılmış ve sonuçların büyük bir uyuşum içerisinde (mm seviyesinde) olduğu görülmüştür. Bu durum yapılan çalışmanın doğru sonuç verdiğinin bir göstergesi olarak alınabilir.

Yapılan çalışmalarda GPS ölçülerini etkileyen hatalardan; uydu saat hatası, alıcı saat hatası ve troposferik etki irdelenmiştir. Uydu saat hatasının iki kez fark alınmış faz ölçüleri için ihmal edilebileceği görülmüştür. Ayrıca alıcı saat hatasında iki kısma ayrılmış ve birinci kısmın sonuçlara çok etkisi olmadığı ve ihmal edilebileceği, ikinci kısmın ise sonuçları büyük ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Troposferik etkinin, ağıdaki kenarların kısa olması ve iki kez fark alınmış faz ölçülerinin kullanılması nedeniyle minimum olduğu ve ihmal edilebileceği anlaşılmıştır.

N sayısının belirlenmesinde etkisi çok büyük olan alıcı saat hatasının belirlenmesinde en az 4 uyduya ihtiyaç vardır. Eğer 4 den fazla uydu aynı ölçü periyodunda gözleniyorsa alıcı saat hatası dengeleme sonucu bulunacaktır. Aksi takdirde alıcı saat hatası tek anlamlı olarak psodyo uzunlukların kullanılması sonucu geriden kestirme yönteminde olduğu gibi belirlenecektir. Bunun için GPS ölçü periyodu olarak mümkün merteye en az 4-5 uydu elektronik olarak gözlenebildiği zaman seçilmelidir. 4 uydudan az uydu olduğu anda alıcı saat hatası belirlenemeyeceğinden (her bir ölçü anı için bir alıcı saat hatası belirlendiğinden) N sayısının sabit ve tam bir sayı olarak gerçek değeri belirlenemeyecektir.

Geliştirilen yöntemde çok kısa süre ölçü yapılacağından ölçü sırasında faz kayması (cycle slip) olmaması için gereken maksimum önlemler alınmalıdır. Ayrıca ölçüm sırasında 15° yükseklik açısı üzerindeki uydular kullanılmalı ve mümkün merteye uydu sayısının 4 den fazla olduğu zaman periyodunda ölçümler yapılmalıdır.

Geliştirilen yöntemin uygulaması için gerekli yazılım Quick C ortamında C programlama dilini kullanarak geliştirilmiştir. Yazılım her program için başlık kütükleri içerdiğinden başka amaçlar için çok kısa süre içerisinde değiştirilebilir. Yazılım modüler olarak oluşturulduğundan daha

sonraları çalışma içerisinde bugüne kadar gerçekleştirilmiş yöntem ve teknikler modeller halinde oluşturulup, GPS ölçüm ve değerlendirmeleri için genel bir yazılım yapılabilir.

Yazılımda kullanılan teori veya modeller ayrı ayrı kütüklerde oluşturulduğundan modellerdeki terimlerin değiştirilmesi kolay olup, her bir terim ayrı ayrı değerlendirilebilir. Değerlendirme sonuçları yazılım tarafından belli bir formatta verilmiştir. Bu format sayesinde sonuç kütükleri başka programlar tarafından okunabilir. Sonuç kütükleri ve içerisinde bulunan değerler kullanıcıya yardımcı olmak için ayrı ayrı detaylı olarak çalışmada açıklanmıştır. Yazılımın üç kısımdan oluşturulması suretiyle, daha sonra GPS ile yapılacak çalışmalara altlık hazırlanmıştır. Şöyleki; yazılımın NXF kısmı kullanılarak uydu koordinatları, uydu ve saat hataları, uzunluktaki değişimler elde edilebilir. NDDXF yazılımı kullanılarak; istenirse bir kez fark alınmış faz ölçüleri, istenirse iki kez fark alınmış faz ölçüleri elde edilebilir.

Geliştirilen yazılım, her bir ölçü için ayrı ayrı yapı matrislerini ve normal denklemleri oluşturmaktadır. Sonuçta bütün ölçüler için uygun şekilde denklemlerin yeniden düzenlemesi sayesinde nokta konumları elde edilmektedir. Bu durum bilgisayarlarda bellek gereksinimini en aza indirmektedir.

Koordinatlar WGS-84 sisteminde belirlenmiştir. Deformasyon izlemede önemli olan rölatif büyüklükler olduğu için bu durum bir dezavantaj değildir. Ayrıca istenirse bölgede mevcut diğer sistemlerle belirlenmiş noktalarda GPS ölçüleri yapılarak, sistemler arasında dönüşüm parametreleri belirlenir ve sistemlerden birbirine geçiş sağlanabilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] Anderle, R., Transition from NAVSAT to GPS geodesy, Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System, April 15-19, 1985, Rockville, Maryland, vol 1, 11-22.
- [2] Hoffman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Collins, J. GPS Theory and Practice, Springer-Verlag, Wien, New York, ISBN 3-211-82364-6, 1992.
- [3] Muhammed, A.H., NUDOP: Structure and software development, Dr. tezi, Department of Surveying, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, England, 1990.
- [4] Wooden, W. H., Navstar Global Positioning System : 1985, Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System, April 15-19, 1985, Rockville, Maryland, vol 1, 23-32.
- [5] Jones, T. , NAVSTAR Global Positioning System- status and update, Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, March 13-17, 1989, Las Cruces, New Mexico, vol 1, 28-52.
- [6] Wells, D. E., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E. J., Lachapelle, G., Langley R. B., Nakiboglu, M., Schwarz, K. P., Tranquilla, J. M. ve Vanicek, P., Guide to GPS Positioning, Second Edition, Canadian GPS Associates, Fredericton, New Brunswick, Canada, 1987.
- [7] Langley, R., The GPS receiver: An introduction, GPS World, 2 (1991) 50-53.
- [8] Spilker, J. J., GPS signal structure and performance characteristics, The Institute of Navigation: Global Positioning System, 1 (1980) 29-54.

- [9] Hui, P.J. On satellite signal processing techniques applicable to GPS geodetic equipment, The Canadian Surveyor, 36, 1 (1982) 43-55.
- [10] King, R.W., Masters, E.G., Rizos, C, Stoltz, A. ve Collins, J., Surveying with Global Positioning System, Dümmler, Bonn, 1987.
- [11] Decker, B.L., World Geodetic System 1984, Proceedings of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, April 28-May 2, 1986, Austin, Texas, vol 1, 69-92.
- [12] Heiskanen, W.A., Moritz, H., Physical Geodesy, Freeman, San Francisco, London, 1967.
- [13] Remondi, B.W., Using the Global Positioning System (GPS) phase observable for relative geodesy: Modelling, processing, and results, Dr. tezi, Center for space research, University of Texas at Austin, May, Available from National Geodetic Information center, N/CG17X2, Rockville, Md, 20852, USA, 1984.
- [14] King, R.W., Abbot, R.I., Bock, Y., Counselman, C.C, Deformation measurement by radio interferometry with GPS, EOS, Transactions of the AGU, 66 (1985) 854-856.
- [15] Counselman, C.C., Abbot, R.I., Method of resolving radio phase ambiguity in satellite orbit determination, Journal of Geophysical Research, 94, 6 (1989) 7058-7064.
- [16] Goad, C.C., Precise relative position determination using Global Positioning System carrier phase measurements in a nondifference mode, Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System, April 15-19, 1985, Rockville, Maryland, vol 1, 347-356.
- [17] Blewitt, G., New approaches to GPS carrier phase ambiguity resolution, XIX General Assembly of the IUGG, August 10-22, 1987, Vancouver, Canada, 87-97.

- [18] Beutler, G., Bauersima, I., Gurtner, W. ve Rothacher, M., Correlations between simultaneous GPS double difference carrier phase observations in the multistation mode: Implementation considerations and first experiences, Manuscripta Geodaetica, 12 (1987) 40-44.
- [19] Langley, R.B., Beutler, G., Delikaraoglou, B., Nickerson, B., Santerre, R., Vanicek, P. ve Wells, D.E., Studies in the application of the Global Positioning System to differential positioning, Department of Surveying Engineering Technical Report, No 108, UNB, Fredericton, NB, Canada, 1984.
- [20] Counselman, C.C., Shapiro, H., Greenspan, R.L. ve Cox, D.B., Backpack VLBI terminal with subcentimeter capability, Proceedings of Radio Interferometry Techniques for Geodesy, NASA Conference Publication, 1979 , vol 2115, 409-414.
- [21] Hatch, R., The synergism of GPS code and carrier measurements. Proceedings of Third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning, February 8-12, 1982, Las Cruces, N. Mex., vol 2, 1213-1232.
- [22] Hatch, R. ve Larson, K., MAGNET-4100 GPS Survey program processing techniques and test results. Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System, April 15-19, 1985, Rockville, Maryland, vol 1, 285-298.
- [23] Wübbena, G., The GPS adjustment software package GEONAP - concepts and models, Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, 13-17 March, 1989, Las Cruces, New Mexico, vol 2, 452-461.
- [24] Goad, C., Robust techniques for determining GPS phase ambiguities, Proceedings of the Sixth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, 1992, Columbus Ohio, vol 1, 245-254.
- [25] Blewitt, G., Melbourne, W., Bertinger, W.I. ve Dixon, T.H., GPS Geodesy with centimeter accuracy, Lecture Notes in Earth Sciences, 19 (1988) 30-40.

- [26] Wübbena, G., GPS carrier phases and clock modelling, Groten, E, Strauß: GPS Techniques Applied to Geodesy and Surveying, 1 (1988) 381-392.
- [27] Euler, H.J. ve Goad, C.C., On optimal filtering of GPS dual frequency observations without using orbit information, Bulletin Geodesique, 65, 2 (1991) 130-143.
- [28] Bender, B.L. ve Larden, D.R., GPS carrier phase ambiguity resolution over long baselines, Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System, April 15-19, 1985, Rockville, Maryland, vol 1, 357-361.
- [29] Melbourne, W.G., The case for ranging in GPS-based geodetic systems, Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System, April 15-19, 1985, Rockville, Maryland, vol 1, 373-386.
- [30] Wübbena, G., Software developments for geodetic positioning with GPS using TI 4100 code and carrier measurements, Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System, April 15-19, 1985, Rockville, Maryland, vol 1, 413-412.
- [31] Hatch, R., Dynamic differential GPS at the centimeter level, Proceedings of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, April 28-May 2, 1986, Austin, Texas, vol 2, 1287-1298.
- [32] Hatch, R., Instantaneous Ambiguity Resolution, Kinematic Systems in Geodesy, Surveying, and Remote Sensing, IAG Symposium no 107, Springer-Verlag, September 1990, New York, 299-308.
- [33] Frei, E. ve Beutler, G., Some considerations an adaptive optimized technique to resolve the initial phase ambiguities for static and kinematic GPS surveying techniques, Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, 13-17 March, 1989, Las Cruces, New Mexico, vol 2, 671-686.

- [34] Dong, D. ve Bock, Y., Global Positioning System network analysis with phase ambiguity resolution applied to crustal deformation studies in California, Journal of Geophysical Research, 94, 4 (1989) 3949-3966.
- [35] Blewitt, G., Carrier phase ambiguity resolution for the Global Positioning System applied to baselines up to 2000 km, Journal of Geophysical Research, 94, 8 (1989) 10187-10203.
- [36] Abbot, R.I., GPS orbit determination: bootstrapping to resolve carrier phase ambiguity, Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, March 13-17, 1989, Las Cruces, New Mexico, vol 1, 224-233.
- [37] Wanless, B. NOVAS an automated program for the precise reduction of GPS static carrier phase observations, Manuscripta Geodaetica, 13, 4 (1988) 127-139.
- [38] Hatch, R., Ambiguity resolution in the fast lane, Proceedings of ION GPS-89, 27-29 September 1989, Institute of Navigation, Colorado Springs, 45-50.
- [39] Hatch, R., Ambiguity resolution while moving - Experimental results, Proceedings of ION GPS-91, 10-13 September 1991, Institute of Navigation, Albuquerque, Washington DC, 707-713.
- [40] Conselman, C.C. ve Gourevitch, S.A., Miniature interferometer terminals for earth surveying: ambiguity and multipath with the Global Positioning System, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-19, 4 (1981) 244-252.
- [41] Remondi, B.W., Pseudo-kinematic GPS results using the ambiguity function method, NOAA Technical Memorandum NOS NGS-52, National information center, Rockville, Maryland, 1990.
- [42] Mader, G.L., Ambiguity function techniques for GPS phase initialization and kinematic solutions, Proceedings of the Second International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System, The Canadian Institute of Surveying and Mapping, September 3-7, 1990, Ottawa, 1233-1247.

- [43] Ericson, C., Investigation of C/A code and carrier measurements and techniques for rapid static GPS surveys, Yüksek lisans tezi, Pub. 20044 of the Department of Geomatics Eng., The University of Calgary, 1992.
- [44] Remondi, B.W., Kinematic GPS results without static initialization, NOAA Technical Memorandum NOS NGS-55, National information center, Rockville, Maryland, 1991.
- [45] Frei, E. ve Beutler, G., Rapid static positioning based on the fast ambiguity resolution approach (FARA): Theory and first results, Manuscripta Geodaetica, 15 (1990) 325-356.
- [46] Ashkenazi, V., Hill, C.J., Summerfield, R.J. ve Westrop, J.M., High speed, high precision surveying by GPS, Proceedings of the Second International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System, The Canadian Institute of Surveying and Mapping, September 3-7, 1990, Ottawa, 524-536.
- [47] Hofmann-Wellenhof, B. ve Remondi, B.W., The antenna exchange: One aspects of high precision GPS kinematic survey, Proc. Int. GPS Workshop, Technische Hochschule, 10-13 April, 1988, Darmstadt, 25-29
- [48] Ashkenazi, V., Hill, C.J. ve Summerfield, R.J., Rapid static and kinematic GPS surveying: with or without cycle slips, Land and Minerals Surveying, 7, 10 (1989) 489-494.
- [49] Saastamoinen, J., Atmospheric corrections for the troposphere in radio ranging of satellites, The use of artificial satellites for geodesy, Geophysical Monograph, 15 (1972) 247-251.
- [50] Ashkenazi, V. ve Moore, T., The navigation of navigation satellites, The (UK) Journal of Navigation, 39, 3 (1986) 377-393.
- [51] Bock, Y., Abbot, R.I., Counselman, C.C. ve King, R.W., A demonstration of 1-2 parts in 10 accuracy using GPS, Bulletin Geodésique, 60, 3 (1986) 241-254.

- [52] Eren, K., Geodetic Network Adjustment using GPS triple difference observations and a priori stocastic information, Technical Report, Institute of Geodesy University of Stuttgart, 1987.
- [53] Beutler, G., Gurtner, W., Bauersima, I. ve Rothacher, M., Efficient computation of the inverse of the covariance matrix of simultaneous GPS carier phase difference observations, Manuscripta Geodaetica, 11 (1986) 249-255.
- [54] Corbett, S., Denys, P., Mok, E. ve Gökalp, E., C source code "Routines and data structures to faciliate geodetic and GPS processing", Technical Report, Department of Surveying, University of Newcastle upon Tyne, England, 1992.
- [55] Gurtner, W., Mader, G. ve Mac Arthur, D., A Common exchange format for GPS data, Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, 13-17 March, 1989, Las Cruzes, New Mexico, 920-924.
- [56] Gurtner, W. ve Mader, G., The Rinex format: Current statues, future developments, Proceedings of the Second International Symposium on Precise Positioning With the Global Positioning System, The Canadian Institute of Surveying and Mapping, September 3-7, 1990, Ottawa, 977-992.
- [57] Öztürk, E. ve Şerbetçi, M., Dengeleme Hesabı, Cilt III, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Trabzon, 1992.
- [58] Ayan T., Uyuşumsuz ölçülerin ayıklanması, Harita ve Kadastro Mühendisliği, 72 (1992) 38-46.
- [59] Demirel, H., Nirengi ağlarının dengelenmesi ve sonuçların test edilmesi, Harita Dergisi, 98 (1987) 1-18.

9. EKLER

Ek Tablo 1. 0004-0008 Kenar Hesabı İçin Kullanılan İki Kez Fark Alınmış Faz Ölçüleri

EPOCH 1	EPOCH 12	EPOCH 23	EPOCH 34	EPOCH 45	EPOCH 56
6399946.528	6399948.033	6399949.569	6399951.102	6399952.692	6399954.282
391272.145	391272.833	391273.532	391274.175	391274.865	391275.505
-259049.012	-259048.632	-259048.229	-259047.788	-259047.360	-259046.859
EPOCH 2	EPOCH 13	EPOCH 24	EPOCH 35	EPOCH 46	EPOCH 57
6399946.662	6399948.176	6399949.690	6399951.261	6399952.835	6399954.415
391272.199	391272.898	391273.568	391274.243	391274.910	391275.560
-259048.980	-259048.589	-259048.210	-259047.730	-259047.308	-259046.825
EPOCH 3	EPOCH 14	EPOCH 25	EPOCH 36	EPOCH 47	EPOCH 58
6399946.807	6399948.312	6399949.825	6399951.399	6399952.970	6399954.574
391272.269	391272.954	391273.613	391274.295	391274.967	391275.633
-259048.937	-259048.562	-259048.187	-259047.709	-259047.268	-259046.776
EPOCH 4	EPOCH 15	EPOCH 26	EPOCH 37	EPOCH 48	EPOCH 59
6399946.937	6399948.472	6399949.990	6399951.542	6399953.125	6399954.706
391272.334	391273.036	391273.695	391274.364	391275.036	391275.679
-259048.906	-259048.498	-259048.124	-259047.665	-259047.212	-259046.745
EPOCH 5	EPOCH 16	EPOCH 27	EPOCH 38	EPOCH 49	EPOCH 60
6399947.069	6399948.591	6399950.121	6399951.674	6399953.273	6399954.857
391272.390	391273.077	391273.740	391274.418	391275.105	391275.746
-259048.899	-259048.479	-259048.090	-259047.626	-259047.157	-259046.693
EPOCH 6	EPOCH 17	EPOCH 28	EPOCH 39	EPOCH 50	EPOCH 61
6399947.220	6399948.739	6399950.263	6399951.830	6399953.408	6399954.998
391272.465	391273.148	391273.813	391274.485	391275.152	391275.795
-259048.849	-259048.435	-259048.054	-259047.579	-259047.124	-259046.666
EPOCH 7	EPOCH 18	EPOCH 29	EPOCH 40	EPOCH 51	EPOCH 62
6399947.339	6399948.868	6399950.411	6399951.967	6399953.566	6399955.157
391272.518	391273.201	391273.880	391274.553	391275.234	391275.867
-259048.829	-259048.406	-259048.007	-259047.555	-259047.066	-259046.610
EPOCH 8	EPOCH 19	EPOCH 30	EPOCH 41	EPOCH 52	EPOCH 63
6399947.490	6399949.003	6399950.549	6399952.113	6399953.704	6399955.293
391272.586	391273.257	391273.948	391274.617	391275.284	391275.913
-259048.786	-259048.382	-259047.965	-259047.513	-259047.046	-259046.565
EPOCH 9	EPOCH 20	EPOCH 31	EPOCH 42	EPOCH 53	EPOCH 64
6399947.630	6399949.155	6399950.700	6399952.262	6399953.842	6399955.427
391272.647	391273.343	391274.011	391274.685	391275.332	391275.953
-259048.757	-259048.334	-259047.923	-259047.483	-259046.998	-259046.534
EPOCH 10	EPOCH 21	EPOCH 32	EPOCH 43	EPOCH 54	EPOCH 65
6399947.754	6399949.283	6399950.837	6399952.412	6399953.994	6399955.568
391272.702	391273.387	391274.070	391274.755	391275.396	391276.004
-259048.734	-259048.312	-259047.867	-259047.421	-259046.947	-259046.500
EPOCH 11	EPOCH 22	EPOCH 33	EPOCH 44	EPOCH 55	EPOCH 66
6399947.912	6399949.422	6399950.994	6399952.553	6399954.153	6399955.719
391272.772	391273.455	391274.148	391274.803	391275.469	391276.065
-259048.665	-259048.273	-259047.807	-259047.394	-259046.897	-259046.447

(Ek Tablo 1 'in Devamu)

EPOCH 67	EPOCH 78	EPOCH 89	EPOCH 100	EPOCH 111	EPOCH 122
6399955.874	6399958.908	6399960.490	6399960.958	6399962.619	6399964.261
391276.135	391281.352	391281.976	391278.137	391278.731	391279.317
-259046.396	-259046.475	-259045.909	-259044.552	-259043.924	-259043.283
EPOCH 68	EPOCH 79	EPOCH 90	EPOCH 101	EPOCH 112	EPOCH 123
6399956.022	6399959.043	6399960.628	6399961.097	6399962.768	6399964.429
391276.190	391281.398	391282.029	391278.177	391278.787	391279.376
-259046.337	-259046.427	-259045.865	-259044.513	-259043.868	-259043.202
EPOCH 69	EPOCH 80	EPOCH 91	EPOCH 102	EPOCH 113	EPOCH 124
6399956.158	6399959.191	6399960.770	6399961.255	6399962.928	6399964.580
391276.243	391281.459	391282.081	391278.241	391278.848	391279.420
-259046.282	-259046.367	-259045.811	-259044.448	-259043.803	-259043.151
EPOCH 70	EPOCH 81	EPOCH 92	EPOCH 103	EPOCH 114	EPOCH 125
6399956.297	6399959.339	6399960.913	6399961.402	6399963.056	6399964.728
391276.291	391281.513	391282.135	391278.305	391278.891	391279.463
-259046.253	-259046.315	-259045.772	-259044.391	-259043.755	-259043.096
EPOCH 71	EPOCH 82	EPOCH 93	EPOCH 104	EPOCH 115	EPOCH 126
6399956.449	6399959.492	6399961.086	6399961.564	6399963.219	6399964.872
391276.361	391281.583	391282.216	391278.368	391278.953	391279.516
-259046.183	-259046.263	-259045.685	-259044.317	-259043.687	-259043.029
EPOCH 72	EPOCH 83	EPOCH 94	EPOCH 105	EPOCH 116	EPOCH 127
6399956.598	6399959.637	6399961.227	6399961.701	6399963.361	6399965.024
391276.419	391281.646	391282.267	391278.413	391278.997	391279.574
-259046.133	-259046.211	-259045.648	-259044.279	-259043.642	-259042.971
EPOCH 73	EPOCH 84	EPOCH 95	EPOCH 106	EPOCH 117	EPOCH 128
6399956.753	6399959.766	6399960.201	6399961.866	6399963.513	6399965.186
391276.479	391281.692	391277.838	391278.469	391279.051	391279.642
-259046.085	-259046.183	-259044.847	-259044.222	-259043.592	-259042.907
EPOCH 74	EPOCH 85	EPOCH 96	EPOCH 107	EPOCH 118	EPOCH 129
6399956.899	6399959.906	6399960.359	6399962.003	6399963.661	6399965.343
391276.538	391281.739	391277.909	391278.520	391279.112	391279.701
-259046.035	-259046.136	-259044.778	-259044.164	-259043.527	-259042.827
EPOCH 75	EPOCH 86	EPOCH 97	EPOCH 108	EPOCH 119	EPOCH 130
6399957.049	6399960.047	6399960.518	6399962.172	6399963.816	6399965.491
391276.599	391281.793	391277.978	391278.584	391279.166	391279.751
-259045.986	-259046.083	-259044.720	-259044.099	-259043.466	-259042.782
EPOCH 76	EPOCH 87	EPOCH 98	EPOCH 109	EPOCH 120	EPOCH 131
6399958.626	6399960.195	6399960.672	6399962.319	6399963.975	6399965.643
391281.243	391281.855	391278.036	391278.641	391279.232	391279.805
-259046.562	-259046.020	-259044.657	-259044.037	-259043.403	-259042.718
EPOCH 77	EPOCH 88	EPOCH 99	EPOCH 110	EPOCH 121	EPOCH 132
6399958.757	6399960.340	6399960.799	6399962.467	6399964.122	6399965.805
391281.291	391281.918	391278.073	391278.688	391279.269	391279.869
-259046.529	-259045.964	-259044.609	-259043.986	-259043.344	-259042.667

(Ek Tablo 1 'in Devamu)

EPOCH 133	EPOCH 144	EPOCH 155	EPOCH 166	EPOCH 177	EPOCH 188
6399965.955	6399967.677	6399969.373	6399971.045	6399972.784	6399974.494
391279.888	391280.561	391281.125	391281.671	391282.283	391282.848
-259042.576	-259041.830	-259041.106	-259040.351	-259039.515	-259038.682
EPOCH 134	EPOCH 145	EPOCH 156	EPOCH 167	EPOCH 178	EPOCH 189
6399966.108	6399967.828	6399969.532	6399971.209	6399972.949	6399974.648
391279.968	391280.614	391281.180	391281.728	391282.339	391282.897
-259042.514	-259041.770	-259041.028	-259040.268	-259039.429	-259038.611
EPOCH 135	EPOCH 146	EPOCH 157	EPOCH 168	EPOCH 179	EPOCH 190
6399966.260	6399967.986	6399969.691	6399971.371	6399973.097	6399974.809
391280.022	391280.675	391281.235	391281.785	391282.375	391282.958
-259042.455	-259041.694	-259040.954	-259040.196	-259039.364	-259038.521
EPOCH 136	EPOCH 147	EPOCH 158	EPOCH 169	EPOCH 180	EPOCH 191
6399966.432	6399968.143	6399969.832	6399971.518	6399973.274	6399974.958
391280.095	391280.732	391281.268	391281.835	391282.436	391283.014
-259042.371	-259041.613	-259040.905	-259040.128	-259039.276	-259038.447
EPOCH 137	EPOCH 148	EPOCH 159	EPOCH 170	EPOCH 181	EPOCH 192
6399966.579	6399968.316	6399969.993	6399971.682	6399973.418	6399975.110
391280.148	391280.798	391281.325	391281.894	391282.492	391283.064
-259042.317	-259041.548	-259040.827	-259040.044	-259039.196	-259038.368
EPOCH 138	EPOCH 149	EPOCH 160	EPOCH 171	EPOCH 182	EPOCH 193
6399966.734	6399968.463	6399970.122	6399971.852	6399973.574	6399975.264
391280.207	391280.847	391281.347	391281.959	391282.548	391283.109
-259042.252	-259041.489	-259040.789	-259039.967	-259039.119	-259038.292
EPOCH 139	EPOCH 150	EPOCH 161	EPOCH 172	EPOCH 183	EPOCH 194
6399966.899	6399968.613	6399970.291	6399972.011	6399973.721	6399975.418
391280.272	391280.886	391281.421	391282.009	391282.590	391283.153
-259042.184	-259041.427	-259040.695	-259039.895	-259039.059	-259038.210
EPOCH 140	EPOCH 151	EPOCH 162	EPOCH 173	EPOCH 184	EPOCH 195
6399967.061	6399968.766	6399970.436	6399972.184	6399973.869	6399975.566
391280.331	391280.933	391281.472	391282.079	391282.640	391283.193
-259042.116	-259041.377	-259040.632	-259039.811	-259038.987	-259038.141
EPOCH 141	EPOCH 152	EPOCH 163	EPOCH 174	EPOCH 185	EPOCH 196
6399967.222	6399968.907	6399970.594	6399972.321	6399974.025	6399975.709
391280.398	391280.970	391281.526	391282.111	391282.688	391283.236
-259042.043	-259041.309	-259040.553	-259039.739	-259038.912	-259038.076
EPOCH 142	EPOCH 153	EPOCH 164	EPOCH 175	EPOCH 186	EPOCH 197
6399967.376	6399969.063	6399970.748	6399972.479	6399974.182	6399975.856
391280.451	391281.023	391281.578	391282.171	391282.740	391283.269
-259041.975	-259041.238	-259040.480	-259039.672	-259038.836	-259037.995
EPOCH 143	EPOCH 154	EPOCH 165	EPOCH 176	EPOCH 187	EPOCH 198
6399967.528	6399969.220	6399970.898	6399972.637	6399974.348	6399976.007
391280.512	391281.069	391281.621	391282.229	391282.804	391283.321
-259041.899	-259041.175	-259040.410	-259039.600	-259038.753	-259037.917

10. ÖZGEÇMİŞ

1964 yılında Ankara 'da doğdu. Babasının memuriyeti sebebiyle ilk ve orta öğrenimimi değişik yerlerde yaptım ve lise öğrenimini memleketi olan Erzincan 'da tamamladım. 1982 yılında üniversite sınavları sonucunda KTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümüne kayıt yaptırdım. 1986 yılında KTÜ 'den Harita Mühendisi olarak mezun oldum. Aynı yıl KTÜ Jeodezi bölümünde açılan Araştırma görevliliği ve Yüksek Lisans sınavlarını kazandım ve yüksek lisans öğreniminin 2. yılında KTÜ tarafından yurt dışında Master ve Doktora yapmak üzere 5 yıl için Kanada 'nın New Brunswick üniversitesinin Surveying Engineering bölümünde görevlendirildim. 1988 yılında adı geçen üniversitede Master yapmaya başladım ve 1991 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamladım. Daha sonra Doktora çalışması için KTÜ 'den University of Newcastle, İngiltere 'de görevlendirilmesini istedim ve 1991 yılında bu üniversitenin Surveying bölümünde doktora çalışmasına başladım, fakat 1992 yılının sonunda 5 yıllık görevlendirme süresinin bitmesinden dolayı Türkiye 'ye geri döndüm. Doktora konusu üzerindeki çalışmaya KTÜ Jeodezi bölümünde devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ