T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KISA SÜRELİ GPS BAZ ÇÖZÜMLERİNDE VARYANS KOVARYANS MATRİSİNİN GÜVENİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

ALİ HASAN DOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. BAHATTİN ERDOĞAN

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KISA SÜRELİ GPS BAZ ÇÖZÜMLERİNDE VARYANS KOVARYANS MATRİSİNİN GÜVENİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ali Hasan DOĞAN tarafından hazırlanan tez çalışması 05.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Bahattin ERDOĞAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Bahattin ERDOĞAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. D. Uğur ŞANLI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda bana yol gösteren, değerli vaktini benim için harcayan, hem akademik hem günlük hayatta bana her türlü desteği veren, her sorumu cevaplayan, kıymetli fikir ve görüşlerini benimle paylaşan tez danışmanım Doç. Dr. Bahattin ERDOĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez sürecinde yararlandığım kaynakların yazarlarına teşekkür ederim.

Çalışmamı gerçekleştirebilecek verileri elde etmemi sağlayan her bir kurum ve bireye teşekkürlerimi sunarım.

Ülke olarak zor zamanlar geçirdiğimiz şu son günlerde, canlarını ortaya koyarak vatanımı savunan her bir bireye şükranlarımı sunarım.

Çalışmam boyunca yardımlarını ve değerli görüşlerini esirgemeyen Arş. Gör. Yalçın YILMAZ'a, Arş. Gör. Mustafa Fahri KARABULUT'a, Arş. Gör. Mert GÜRTÜRK'e, Arş. Gör. Hüseyin DUMAN'a, Arş. Gör. Aziz SARAÇOĞLU'na, Arş. Gör. Utkan Mustafa DURDAĞ'a, Arş. Gör. Abdullah KARA'ya, Arş. Gör. Batuhan KILIÇ'a ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü öğretim elemanları Arş. Gör. Ahmet DELEN'e, Öğr. Elm. Alparslan ACAR'a ve Arş. Gör. Furkan KARLITEPE'ye teşekkür ederim.

Son olarak sadece tez çalışmam boyunca değil, tüm eğitim hayatımda maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen başta çok kıymetli annem olmak üzere aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2017

Ali Hasan DOĞAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 6
1.3 Hipotez 7

BÖLÜM 2

GNSS GÖZLEM YÖNTEMLERİ VE HATA KAYNAKLARI 8

2.1 GNSS Gözlem Yöntemleri 9
2.1.1 Mutlak Konum Belirleme 9
2.1.1.1 Ölçü Sonrası Değerlendirme 9
2.1.1.2 Gerçek Zamanlı Değerlendirme 10
2.1.2 Bağıl Konum Belirleme 10
2.1.2.1 Ölçü Sonrası Değerlendirme 11
2.1.2.2 Gerçek Zamanlı Değerlendirme 12
2.2 GNSS Hata Kaynakları 13
2.2.1 Uydu Kaynaklı Hatalar 14
2.2.1.1 Uydu Yörünge Hataları 14
2.2.1.2 Uydu Saat Hataları 15

2.2.2 Alıcı Kaynaklı Hatalar 15
2.2.2.1 Alıcı Anten Faz Merkezi Kayıklığı 15
2.2.2.2 Alıcı Saat Hataları 15
2.2.2.3 Çok Yolluluk (Multipath) Etkisi 15
2.2.3 Atmosferik Gecikmeler 16
2.2.3.1 İyonosferik Gecikme 16
2.2.3.2 Troposferik Gecikme 17
2.2.4 Tamsayı Belirsizliği 17
2.2.5 Faz Sıçramaları 17

BÖLÜM 3

VERİ ANALİZ YÖNTEMLERİ 18

3.1 Bernese v5.2 Yazılımı 19
3.1.1 Kampanya Dosyasının Hazırlanması 19
3.1.2 Değerlendirme İçin Gerekli Dosyaların Hazırlanması 20
3.1.3 Yörünge Dosyalarının Oluşturulması 21
3.1.4 Saat Hatalarının Düzeltilmesi 22
3.1.5 Bazın Oluşturulması 23
3.1.6 Faz Sıçramalarının Belirlenmesi 24
3.1.7 İlk Çözüm ve Kaba Hatalı Ölçülerin Ayıklanması 24
3.1.8 Yaklaşık Çözüm ve Tamsayı Belirsizliğinin Çözümü 25
3.1.9 Kesin Çözüm 27
3.2 Tekrarlılık Analizi 28
3.3 Kaba Hata Analiz Yöntemleri 29
3.3.1 Median Yöntemi 29
3.3.2 Pope Yöntemi 29
3.4 Toposentrik Koordinatlara Dönüşüm 30
3.5 Norm Değerinin Belirlenmesi 31
3.6 Ölçek Faktörü (SF) Değeri Belirleme Yöntemleri 31
3.6.1 A Yöntemi 32
3.6.2 B Yöntemi 32
3.6.3 C Yöntemi 33

BÖLÜM 4

UYGULAMA 34

4.1 Uygulamanın Amacı 34
4.2 Çalışma Alanı 35
4.3 Veri İşleme Adımları 37
4.4 RMS Değerlerinin Belirlenmesi 37
4.5 SF Değerlerinin Belirlenmesi 45
4.5.1 A Yöntemi 47
4.5.2 B Yöntemi 53
4.5.3 C Yöntemi 59

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 64
KAYNAKLAR 67
ÖZGEÇMİŞ 70

SİMGE LİSTESİ

$\mathbf{A}$	Katsayılar matrisi
$\mathbf{C_{enu}}$	Toposentrik Koordinat Sistemi'ndeki varyans kovaryans matrisi
$\mathbf{C_{XYZ}}$	Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi'ndeki varyans kovaryans matrisi
$\mathbf{E}$	Ölçeklendirilmiş standart sapma vektörü
$\mathbf{l}$	Küçültülmüş ölçü vektörü
n	Ölçü sayısı
$\mathbf{Q_{vv}}$	Düzeltmelerin kofaktör matrisi
$\mathbf{R}$	Dönüşüm matrisi
S_0	Sonsal standart sapma değeri
$\mathbf{V}$	Düzeltme vektörü
τ_i	Pope yöntemi için test değeri
$\mathbf{x}$	Bilinmeyenler vektörü
X_G	Ölçü kümesi için gerçek değer
X_i	Her bir ölçü değeri
λ	Boylam değeri
φ	Enlem değeri

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BFB	Başlangıç Faz Belirsizliği
CODE	Center for Orbit Determination in Europe
CORS	Continuously Operating Reference Stations
EKK	En Küçük Kareler
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
IGS	International GNSS Service
JPL	Jet Propulsion Laboratory
NGS	National Geodetic Survey
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OPUS	Online Positioning User Service
PPP	Precise Point Positioning
QIF	Quasi Ionosphere-Free
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RMS	Root Mean Square
RTK	Real Time Kinematic
RT-PPP	Real Time Precise Point Positioning
SF	Scale Factor
SPP	Single Point Positioning
STD	Standard Deviation
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
VCV	Variance Covariance

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 GNSS gözlem yöntemleri 8
Şekil 2.2 Mutlak konum belirleme 9
Şekil 2.3 Bağıl konum belirleme 11
Şekil 2.4 Atmosfer katmanları 16
Şekil 3.1 Bernese yazılımında yeni kampanyanın oluşturulması 20
Şekil 3.2 Bernese formatında tablo yörünge dosyalarının oluşturulması 22
Şekil 3.3 Bernese formatında standart yörünge dosyalarının oluşturulması 22
Şekil 3.4 Bernese yazılımı ile saat hatalarının giderilmesi 23
Şekil 3.5 Bernese yazılımı ile bazın oluşturulması 23
Şekil 3.6 Bernese yazılımı ile faz sıçramalarının giderilmesi 24
Şekil 3.7 Bernese yazılımı ile düzeltmelerin hesaplanması 25
Şekil 3.8 Bernese yazılımı ile kaba hatalı ölçülerin ayıklanması 25
Şekil 3.9 Bernese'de yaklaşık çözüm aşaması 26
Şekil 3.10 Tamsayı belirsizliği çözümünde girdi dosyaları örneği 26
Şekil 3.11 Tamsayı belirsizliği çözümünde QIF stratejisinin seçimi 27
Şekil 3.12 Bernese yazılımı ile kesin koordinatların oluşturulması 27
Şekil 3.13 Bernese yazılımı ile kofaktör matrisinin oluşturulması 28
Şekil 4.1 8 Mart 2014 günü kp index değerleri 35
Şekil 4.2 Çalışma alanı 35
Şekil 4.3 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için gözlem süresine bağlı RMS değerleri 44
Şekil 4.4 Toposentrik Koordinat Sistemi için gözlem süresine bağlı RMS değerleri 45
Şekil 4.5 Bernese yazılımı kofaktör matrisi çıktı dosyası 46

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Değerlendirme için gerekli dosyalar 21
Çizelge 4.1 Baz uzunlukları 36
Çizelge 4.2 Gözlem süreleri 38
Çizelge 4.3 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi'ndeki RMS değerleri (mm) 39
Çizelge 4.4 Toposentrik Koordinat Sistemi'ndeki RMS değerleri (mm) 40
Çizelge 4.5 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için Median analizi sonrası RMS değerleri (mm) 41
Çizelge 4.6 Toposentrik Koordinat Sistemi için Median analizi sonrası RMS değerleri (mm) 42
Çizelge 4.7 Kaba hatalı ölçü oranları (%) 43
Çizelge 4.8 Uygulamada kullanılan yöntem ve stratejiler 46
Çizelge 4.9 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A-① stratejisi 47
Çizelge 4.10 Toposentrik Koordinat Sistemi için A-① stratejisi 48
Çizelge 4.11 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A-② stratejisi 48
Çizelge 4.12 Toposentrik Koordinat Sistemi için A-② stratejisi 49
Çizelge 4.13 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A-③ stratejisi 49
Çizelge 4.14 Toposentrik Koordinat Sistemi için A-③ stratejisi 50
Çizelge 4.15 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A-④ stratejisi 50
Çizelge 4.16 Toposentrik Koordinat Sistemi için A-④ stratejisi 51
Çizelge 4.17 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A yöntemi özet tablosu 51
Çizelge 4.18 Toposentrik Koordinat Sistemi için A yöntemi özet tablosu 52
Çizelge 4.19 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A yöntemi toplam norm değerleri tablosu (mm) 52
Çizelge 4.20 Toposentrik Koordinat Sistemi için A yöntemi toplam norm değerleri tablosu (mm) 53
Çizelge 4.21 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B-① stratejisi 53
Çizelge 4.22 Toposentrik Koordinat Sistemi için B-① stratejisi 54
Çizelge 4.23 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B-② stratejisi 54
Çizelge 4.24 Toposentrik Koordinat Sistemi için B-② stratejisi 55
Çizelge 4.25 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B-③ stratejisi 55
Çizelge 4.26 Toposentrik Koordinat Sistemi için B-③ stratejisi 56
Çizelge 4.27 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B-④ stratejisi 56
Çizelge 4.28 Toposentrik Koordinat Sistemi için B-④ stratejisi 57

Çizelge 4.29 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B yöntemi özet tablosu 57
Çizelge 4.30 Toposentrik Koordinat Sistemi için B yöntemi özet tablosu 58
Çizelge 4.31 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B yöntemi toplam norm değerleri tablosu (mm) 58
Çizelge 4.32 Toposentrik Koordinat Sistemi için B yöntemi toplam norm değerleri tablosu (mm) 59
Çizelge 4.33 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için C yöntemi 60 dk 59
Çizelge 4.34 Toposentrik Koordinat Sistemi için C yöntemi 60 dk 60
Çizelge 4.35 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için C yöntemi 90 dk 60
Çizelge 4.36 Toposentrik Koordinat Sistemi için C yöntemi 90 dk 61
Çizelge 4.37 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için C yöntemi 120 dk 61
Çizelge 4.38 Toposentrik Koordinat Sistemi için C yöntemi 120 dk 62
Çizelge 4.39 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için C yöntemi 180 dk 62
Çizelge 4.40 Toposentrik Koordinat Sistemi için C yöntemi 180 dk 63

ÖZET

KISA SÜRELİ GPS BAZ ÇÖZÜMLERİNDE VARYANS KOVARYANS MATRİSİNİN GÜVENİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ali Hasan DOĞAN

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bahattin ERDOĞAN

Küresel Konum Belirleme ve Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems (GNSS)) teknolojilerinin gelişmesiyle beraber mühendislik çalışmalarında GNSS sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Farklı amaçlar için gerçekleştirilen çalışmalar farklı doğruluklar gerektirmektedir. Detay alımı ve aplikasyon gibi çalışmalarda birkaç dakikalık GNSS gözlemleri yeterli olabilirken, deformasyon analizi ve tektonik hareketlerin izlenmesi gibi yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda uzun süreli GNSS gözlemlerinin yapılması gerekmektedir.

GNSS ölçüm yöntemleri arasında en sık tercih edileni statik konum belirleme yöntemidir. Statik olarak toplanan GNSS verileri genellikle akademik ve ticari olmak üzere iki farklı yazılım türüyle değerlendirilmektedir. Ancak, uzun bazların tercih edildiği GNSS ağlarının çözümü akademik yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Her ne kadar akademik yazılımların kullanılmasıyla konum doğruluğu yeterli derecede sağlanabilse de; varyans kovaryans (Variance Covariance (VCV)) matrisleri, fiziksel korelasyonların ihmal edilmesi ve sistematik hataların modellenememesi gibi durumlardan dolayı çok iyimser olarak üretilmektedir. Bu durum VCV matrislerine dayalı istatistiksel analizlerin hatalı yorumlanmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı akademik yazılımlardan elde edilen VCV matrislerinin ölçeklendirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında hem Jeosentrik Kartezyen hem de Toposentrik koordinat sistemleri için kısa süreli GPS baz çözümlerinde VCV matrislerinin güvenirliği araştırılmıştır. 9 ile 268 km arasında değişen 15 bazın 60, 90, 120 ve 180 dakikalık gözlemleri Bernese v5.2 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Ölçü değerleri olarak tekrarlılıklardan elde edilen RMS değerlerinin kullanıldığı bu çalışmada, Median ve Pope testleri olmak üzere iki aşamalı kaba hata analiz yöntemi uygulanmıştır. Kaba hatalı ölçüler giderildikten sonra, 3 farklı matematiksel modelden ve 4 farklı stratejiden SF değerleri elde edilmiştir. Stratejiler baz uzunluğu ve gözlem süresi değişimlerini ortaya koymaktadır. Sonuçlar incelendiğinde SF değerinin baz uzunluğundan bağımsız olduğu; bunun yanında her ne kadar 180 dakikalık gözlemlerde düşüş olsa da gözlem süresi arttıkça arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kısa süreli GPS baz çözümleri, varyans kovaryans matrisleri, kaba hata analizi, Bernese v5.2

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE RELIABILITY OF VARIANCE COVARIANCE MATRIX IN GPS BASELINE POSITIONING FOR SHORT OBSERVING SESSION DURATION

Ali Hasan DOĞAN

Department of Geomatic Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Bahattin ERDOĞAN

The use of GNSS (Global Navigation Satellite Systems) in engineering studies has become widespread depending on the development in GNSS technology. These studies are carried out for different aims and required accuracies change depending on their aims. Several minutes GNSS observation sessions are sufficient for studies like detail survey or staking out; moreover, the longer observation sessions must be made in studies that require high accuracy, such as deformation analysis and monitoring of tectonic movements.

Static positioning is one of the most frequently used method in GNSS positioning. Static GNSS observations are generally processed by using academic software or commercial software. However, for the analyses of GNSS networks with long baseline length academic software must be preferred. Although the accuracy of positioning can be achieved adequately by the use of academic software, VCV (Variance Covariance) matrices are very optimistic because of the neglecting of physical correlations and the inability of modeling systematic errors. This situation causes wrong interpretations for

statistical analyses based on these VCV matrices. Therefore, the VCV matrices obtained from academic software should be scaled.

In this thesis, the reliabilities of VCV matrices for short observing session duration in GPS baseline positioning were investigated for both Geocentric Cartesian coordinate system and Topocentric coordinate system. Baselines whose lengths ranging from 9 km to 268 km and session durations that are 60, 90, 120 and 180 minutes were processed using Bernese v5.2. RMS (Root mean Square) values obtained from repeatabilities were used as observation, two steps outlier detection method which includes Median and Pope Tests were carried out, respectively. After the outlier detection process, SF (Scale Factor) values were obtained using 3 different model and 4 different strategies. These strategies reveal the changes in baseline length and session duration. According to the results, SF value does not depend on baseline length. In addition, the SF value increases depend on session duration even though it decreases in 180 minutes.

Keywords: Short observing session duration, variance covariance matrices, outlier detection, Bernese v5.2

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde Küresel Konum Belirleme ve Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems (GNSS)) harita mühendisliği çalışmalarında farklı amaçlar için sıklıkla tercih edilmektedir. Özellikle, ülkemizde de aktif şekilde kullanılan sürekli gözlem yapan sabit GNSS istasyonlarının (TUSAGA-Aktif) varlığı kullanıcılara büyük kolaylık sağlamaktadır. Farklı amaçlar için gerçekleştirilen çalışmalarda farklı konum doğruluklarına gereksinim duyulur. Tektonik çalışmalar ve yüksek katlı binaların deformasyonlarının izlenmesi gibi çalışmalar uzun süreli gözlemlere dayalı ölçülere ihtiyaç duyarken, heyelanların izlenmesi gibi çalışmalarda birkaç saatlik ölçüler ve detay alımında birkaç dakikalık ölçüler yeterli olabilmektedir. Doğruluk, GNSS gözlem yöntemi, gözlemin yapıldığı günkü atmosferik koşullar, güneş patlamaları, GNSS verilerinin değerlendirme stratejisi ve değerlendirmenin yapıldığı yazılım gibi parametrelere göre değişiklik göstermektedir.

Farklı GNSS ölçüm yöntemleri arasında en sık kullanılanı Statik konum belirleme yöntemidir [1]. Statik olarak toplanan GNSS verileri ölçü sonrası değerlendirmeyle konum bilgisine dönüştürülür. Değerlendirme için, akademik ve ticari olmak üzere iki farklı yazılım türü tercih edilebilir. Ticari yazılımlar 20-25 km'ye kadar olan bazlar için güvenilir çözümler sağlayabilmektedirler. Tektonik çalışmalar için oluşturulan GNSS ağları genellikle uzun bazlı olduğu için akademik yazılımlar tercih edilir. Akademik ve ticari yazılımlardan elde edilen sonuçların doğruluğuna ilişkin literatürde birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

[2] de uzunlukları 26 ile 300 km arasında değişen 11 bazın 10 günlük GPS verisi; 4, 6, 8, 12 ve 24 saatlik değerlendirilmiş ve GPS ile bağıl konum belirleme doğruluğu ve doğruluğa etkiyen parametreler araştırılmıştır. Çalışma bölgesi olarak Amerika Birleşik Devletleri (ABD) seçilmiş ve Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonları (Continuously Operating Reference Stations (CORS)) ağına ait noktalar kullanılmıştır. GPS verileri bir ABD kuruluşu olan Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)) tarafından geliştirilen PAGES (Program for the Adjustment of GPS Ephemerides) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın temel prensibi GPS konum doğruluğunu etkileyen parametreleri belirlemektir. Gözlem süresi ve baz uzunluğuna bağlı bir doğruluk fonksiyonu oluşturulmuştur ve çalışma sonucunda north, east ve up bileşenlerinde elde edilen GPS konum doğruluğunun sadece gözlem süresine bağlı olduğu belirlenmiştir.

[3] de ABD'nin CORS ağına dahil olan 5 farklı istasyonun ardışık 30 günlük 1, 2, 3 ve 4 saatlik GPS verileri web tabanlı konum belirleme servislerinden biri olan OPUS (Online Positioning User Service) yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Veri dğerlendirilmesi aşamasında 3-Sigma yöntemiyle kaba hata analizi yapılmıştır. OPUS yazılımı kullanılarak yapılan değerlendirmelerde, ancak 3 saatlik gözlemlerde yatayda mm merebesinde doğruluğa ulaşılmıştır. Ayrıca, kuzey-güney bileşeninin, doğu-batı bileşenine göre daha iyi doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, gözlem süresinin 2 saatin altında olması durumunda tam sayı belirsizliğinin çözümünün büyük ölçüde zorlaştığı belirlenmiştir.

[4] de statik GPS çözümlerinin doğruluğu, gözlem süresine bağlı bir fonksiyon oluşturularak araştırılmıştır. Ayrıca, sabit nokta sayısı ve oluşturulan GPS ağının doğruluğa olan etkisi de belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma için İtalya'da bulunan sürekli gözlem yapan 16 istasyonun 31 günlük verisi GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda tek sabit nokta kullanılarak yapılan çözümlerde 3 saat ve üzeri gözlem süresinde ve 200 km'den daha kısa baz uzunluklarında yatay bileşen için 3 mm, düşey bileşen için 10 mm seviyelerinde konum doğruluğuna ulaşıldığı görülmüştür. 4 veya daha fazla sabit nokta kullanıldığında bu doğruluğa 2 saatlik gözlemlerle de ulaşılabildiği belirlenmiştir. Ayrıca, 6 saatlik gözlemlerle, 4 ve üzeri sabit

nokta kullanılarak yapılan değerlendirmelerde yatay bileşen için 1-2 mm, düşey bileşen için 3-5 mm seviyelerinde konum doğruluğu elde edilmiştir.

[5] de Bernese yazılımı ile tekli baz çözüm stratejisi kullanılarak hızlı statik GPS analizlerinden elde edilebilecek doğruluk araştırılmıştır. Çalışmada, 2 adet 10 km'den daha kısa baz uzunluğuna sahip 5-30 dakikalık gözlemler değerlendirilmiştir. Tam sayı belirsizliği çözümü için SEARCH algoritması tercih edilmiştir. Analiz aşamasında klasik yöntemler ve robust yöntemler olmak üzere iki farklı kaba hata analiz yöntemi kullanılmıştır. Sonuçların yorumlanmasında kaba hatalı ölçü oranının önemli bir etken teşkil ettiği görülmüştür. Sonuç olarak gözlem süresi arttıkça kaba hata oranının düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, en iyi sonucu yaklaşık %3'lük kaba hata oranı ile 30 dakikalık ölçüler vermiştir. 15 dakikalık ölçülerde bu oran %5 civarındadır. Genel olarak hızlı statik GPS çözümleri için Bernese yazılımının yeterli doğruluğa ulaşamadığı vurgulanmıştır.

[6] da hızlı statik GPS çözümleriyle heyelan bölgelerindeki kontrol noktalarının gözlemlenmesi amaçlanmıştır. 2 tanesi sabit olmak üzere heyelan bölgesi ve civarındaki 12 noktanın GPS verisi kullanılmıştır. Oluşturulan bazların uzunlukları 5 km ve altındadır. Toplamda 20 bazın 15 ve 30 dakikalık verileri Bernese v5.0 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. 3 günlük verinin kullanıldığı çalışmada 12 saatlik çözümlerin ortalaması gerçek değer olarak kabul edilmiştir. Gerçek değer ve her bir çözüm arasındaki düşey koordinat farkları belirlenmiş ve bu farkın, GPS alıcıları arasındaki elipsoidal yükseklik farkı arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kestirilen hızlarda GPS alıcıları arasındaki yükseklik farkı arttıkça hataların da arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte hız kestirimi için, hızlı statik gözlemde, GPS alıcıları arasındaki yükseklik farkının 1000 m ve üzeri olması durumunda hatanın dm mertebesinde olacağı vurgulanmıştır. Bunların yanı sıra, GPS alıcıları arasındaki yükseklik farkının 558 m ve üzeri olması durumunda hızların hatalı olacağı kanıtlanmıştır.

[7] de GPS ile konum belirleme doğruluğu ülkesel büyüklükteki bölgeler için araştırılmıştır. [2] de yapılan çalışma baz alınarak gerçekleştirilen araştırma, 300 ile 3000 km arasındaki 7 bazın 10 günlük 4-24 saat aralıklı gözlemlerinin GIPSY/OASIS II yazılımı kullanılarak değerlendirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Her bilinmeyen nokta için 24 saatlik koordinat çözümlerinin ortalaması gerçek değer kabul edilmiş ve 3-sigma yöntemiyle

kaba hata analizi gerçekleştirildikten sonra RMS değerleri hesaplanmıştır. Yine [2] de öngörülen doğruluk fonksiyonu kullanılmış ve değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Analizlerin sonucunda, daha önceki çalışmaların aksine, doğruluğun sadece gözlem süresine değil aynı zamanda 2000 km'den sonra baz uzunluğuna da bağlı olduğu belirlenmiştir.

[8] hızlı statik GPS çözümlerinin doğruluğunu araştırmaya yönelik bir çalışmadır. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır ve bu aşamalar için iki farklı test alanı seçilmiştir. İlk test alanı, GPS alıcıları arasındaki elipsoidal yükseklik farklarının 68 m'yi geçmeyen, aralarındaki baz uzunluğu yaklaşık en fazla 12 km olan 4 bazın değerlendirilmesi şeklinde belirlenmiştir. İkinci test alanı ise, baz uzunlukları yaklaşık en fazla 8 km olan, GPS alıcıları arasındaki elipsoidal yükseklik farkı en fazla 1275 m olan 6 bazın seçilmesiyle belirlenmiştir. İlk aşamada hızlı statik GPS çözümlerinin doğruluğu, [2] de verilen doğruluk fonksiyonu kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Burada doğruluk fonksiyonu, gözlem süresi ve baz uzunluğuna bağlı olarak tanımlanmaktadır. İkinci aşamada, doğruluk fonksiyonu modelindeki baz uzunluğu terimi elipsoidal yükseklik farkı terimiyle değiştirilerek belirlenmiştir. İlk test alanı verilerine göre, doğruluk, hem gözlem süresi hem de baz uzunluğuna bağlıdır. İkinci test alanında ise doğruluk, hem sabit bir değere bağlıdır hem de elipsoidal yükseklik farkına bağlıdır ve gözlem süresine bağlı değildir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında, hızlı statik GPS çözümlerinde doğruluğun GPS alıcıları arasındaki elipsoidal yükseklik farkına bağlı olduğu belirlenmiştir. Baz uzunlukları 10 km'den kısa tutulması durumunda daha yüksek doğruluklu çözümler yapılmak isteniyorsa, elipsoidal yükseklik farklarının en az olacak şekilde seçilmesi gerekmektedir.

GNSS çözümlerinin tekrarlılıklarından elde edilen doğrulukları yanında bu çalışmalardan farklı olarak; akademik yazılımların sonuç varyans kovaryans (Variance Covariance (VCV)) matrislerinin doğruluğu üzerine de az sayıda çalışma bulunmaktadır. GNSS verilerinin tekrarlılık sonucu elde edilen doğrulukları ve akademik yazılımların çıktı ürünleri olan VCV matrisleri incelendiğinde gözle görülür farklar mevcuttur. Bu durum, özellikle yazılımlardan elde edilen koordinatlar ve varyans kovaryans matrislerine dayalı istatistiksel analizlerin yorumlanması açısından büyük bir önem arz etmektedir. GNSS'den elde edilen koordinat değerleri ne kadar doğru olsa da, VCV matrisleri çok iyimser olduğundan yanlış yorumlamalara neden olabilmektedir.

VCV matrislerinin güvenilirliği açısından yapılan en önemli çalışmalardan biri olan [9] da 20 ile 415 km arasındaki 8 bazın 2-24 saatlik verileri hem Bernese hem de GAMIT yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Toplamda 1652 gözlemin değerlendirildiği çalışmada, yazılımların varyans kovaryans ürünlerinin çok iyimser sonuçlar verdiği vurgulanarak ölçeklendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışma, ağırlıklı En Küçük Kareler (EKK) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tekrarlılıkların ölçü olarak ele alındığı modelde, modelden kestirilen sonsal varyansın bire yakın olması durumu gerçekçi çözüm olarak kabul edilmiştir. Ağırlık matrisi, yazılımlardan elde edilen VCV matrisleri kullanılarak oluşturulmuştur. İteratif olarak geçekleştirilen çözüm sonsal varyansın bire eşit olması durumuna kadar devam ettirilmiş ve ölçeklendirme faktörü (Scale Factor (SF)) belirlenmiştir. Analizler sonucunda SF değerinin, Bernese yazılımı için 23, GAMIT yazılımı içinse 1.9 civarında olduğu ve Bernese yazılımı için elde edilen SF değerinin GAMIT yazılımına göre yaklaşık 10 kat daha büyük olduğu vurgulanmıştır.

[10] da ise, hızlı statik GPS çözümlerinde VCV ürünlerinin standartlaştırılması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Fiziksel korelasyonların, sistematik hataların ve baz uzunluğuna bağlı belirlenemeyen hataların çözümlerde ihmal edildiği ve bu durumlardan dolayı VCV matrislerinin iyimser sonuçlar verdiği belirtilerek; VCV matrislerinin birden büyük bir değerle ölçeklendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. [11] de belirlenen, fiziksel korelasyonu tanımlayan veri kayıt aralığına bağlı fonksiyon kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, VCV matrislerinin standartlaştırılması sağlanmıştır. Çıktı ürünü olan VCV matrisi ve standartlaştırılmış VCV matrisi karşılaştırıldığında, standartlaştırılmış VCV matrisinin daha gerçekçi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Bir yüksek lisans tez çalışması olan ve Bernese v4.2 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen [12] ise Bernese v4.2'nin VCV matris çıktısının iyimser olduğunu ve ölçeklendirmesi gerektiğini vurgulamıştır. Gerçek değer olarak, tekrarlılıktan elde edilen koordinat değerlerinin ağırlıklı standart sapmaları kabul edilmiştir. SF değeri ise ağırlıklı standart sapma değerinin, Bernese v4.2'den elde edilen standart sapma değerlerinin medyanına oranıyla hesaplanmıştır. Toposentrik koordinat sistemi için gerçekleştirilen bu çalışmada, [9]'un aksine her üç koordinat bileşeni için SF değeri ayrı ayrı belirlenmiştir. Her bir baz için belirlenen SF değerleri, daha sonra tüm ağ için yine her bir koordinat

bileşeni için yeniden kestirilmiştir. SF değeri, her ne kadar her üç koordinat bileşeni için ayrı ayrı kestirilse de, daha sonra tüm bileşenler için 4 olarak kabul edilmiştir.

[13] de, fiziksel korelasyonların, GPS ile bağıl konum belirleme doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, GPS gözlemlerinde, matematiksel korelasyonun dışında aslında fiziksel korelasyonun da varlığı vurgulanmıştır. Çalışma, [11] de belirlenen fiziksel korelasyonu tanımlayan fonksiyon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, fiziksel korelasyonların ihmal edilmesi GPS çözümlerinde aşırı iyimser sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacaktır vurgusu yapılmıştır. Gerçekçi sonuçların, gözlem süresi el verdiğince, uzun veri kayıt aralığı seçilerek elde edilebileceği belirtilmiştir.

Tezde yararlanılan kaynaklara diğer bölümlerde de yer verilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

GNSS yöntemleri Harita Mühendisliği çalışmalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmalarda faklı uygulamalarda farklı doğruluklara ihtiyaç duyulmaktadır. Tektonik hareketlerin incelenmesi, deformasyonların modellenmesi gibi çalışmalar yüksek doğruluk gerektirmesine karşın, aplikasyon gibi işlemlerde cm mertebelerinde doğruluk yeterli olabilmektedir.

GNSS gözlemlerinin değerlendirmesi aşamasında, yapılan çalışmanın amacına göre, akademik veya ticari yazılımlar tercih edilebilir. Ticari yazılımlar en fazla 20-25 km'lik baz uzunluğuna sahip gözlemlerde güvenilir sonuçlar vermektedir. Ayrıca, tektonik hareketlerin modellenmesi gibi uzun bazların analizinin gerektiği durumlarda akademik yazılımlar tercih edilmektedir.

Her ne kadar GNSS verilerinden elde edilen koordinatlar yeterli doğrulukta olsa da, yazılımların çıktı ürünleri olan VCV matrisleri çok iyimser sonuçlar vermektedir [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]. Fiziksel korelasyonlar ve sistematik hatalar gibi GNSS çözümünde modellenmeyen hatalar bu duruma sebebiyet vermektedir [10]. Bu durum yazılımlardan elde edilen koordinatlar ve VCV matrislerine dayalı istatistiksel analizlerin hatalı yorumlanmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, yazılımlardan elde edilen VCV matrislerinin ölçeklendirilmesi gerekmektedir [9], [10], [12].

VCV matrislerinin güvenirliğiyle ilgili sınırlı sayıda da olsa yapılan tüm çalışmalarda kullanıcılar farklı farklı yöntemler tercih etmişlerdir. Yapılan çalışmalarda VCV matrisleri ölçeklendirilmiş, standartlaştırılmış veya yeniden modellenmiştir. Ayrıca, daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda Bernese v5.0 yazılımı kullanılarak kaba hata analizi gerçekleştirilmeden çözümler gerçekleştirilmiştir. Bu tezin amacı Bernese v5.2 yazılımını kullanarak, kaba hata analiz yöntemlerini gerçekleştirerek, 1 saat ile 3 saat arasındaki kısa süreli GPS gözlemlerinde VCV matrislerinin güvenirliğinin araştırılması ve VCV matrislerini gerçekçi kılabilecek bir SF değerini belirleyerek standart bir yöntem geliştirmektir.

1.3 Hipotez

GNSS veri değerlendirmelerinde akademik yazılımların kullanılması koordinat değerleri için yeterli doğruluklu sonuçlar vermektedir. Ancak VCV matrisleri için aynı durum söz konusu olamamaktadır. Yazılımlar iyimser sonuçlar verdiği için VCV matrislerinin ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Tekrarlılıklardan elde edilen RMS değerleri, koordinat bileşenleri için standart sapma değeri olarak kabul edilebilir. Bu durumda, RMS değerleri ölçü olarak kabul edilip SF değeri belirlenebilir. Bu durumda, tezde tercih edilen Bernese v5.2 yazılımından elde edilen VCV matrislerinin bu SF değeri ile çarpılmasıyla daha gerçekçi VCV çözümlerine ulaşılabilir.

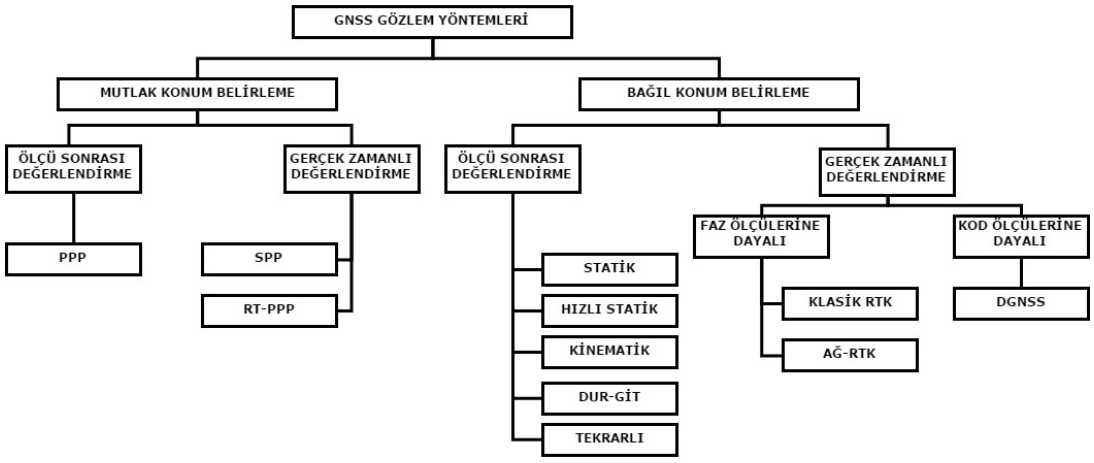
BÖLÜM 2

GNSS GÖZLEM YÖNTEMLERİ VE HATA KAYNAKLARI

GNSS gözlemlerinden elde edilen veriler, uzay geriden kestirme yöntemiyle konum bilgisine dönüştürülür GNSS gözlemlerinin çözümü için en az dört uyduya eş zamanlı gözlem yapmak gerekir. 3 uydu; 3 koordinat bileşeninin çözümü için, 4. uydu ise alıcı saat hatasının giderilmesi için gerekmektedir [18].

GNSS gözlem yöntemleri temelde ikiye ayrılabilir. Bunlar;

- Mutlak Konum Belirleme,
- Bağıl Konum Belirleme.



Şekil 2.1 GNSS gözlem yöntemleri

GNSS gözlem yöntemleri Bölüm 2.1'de daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

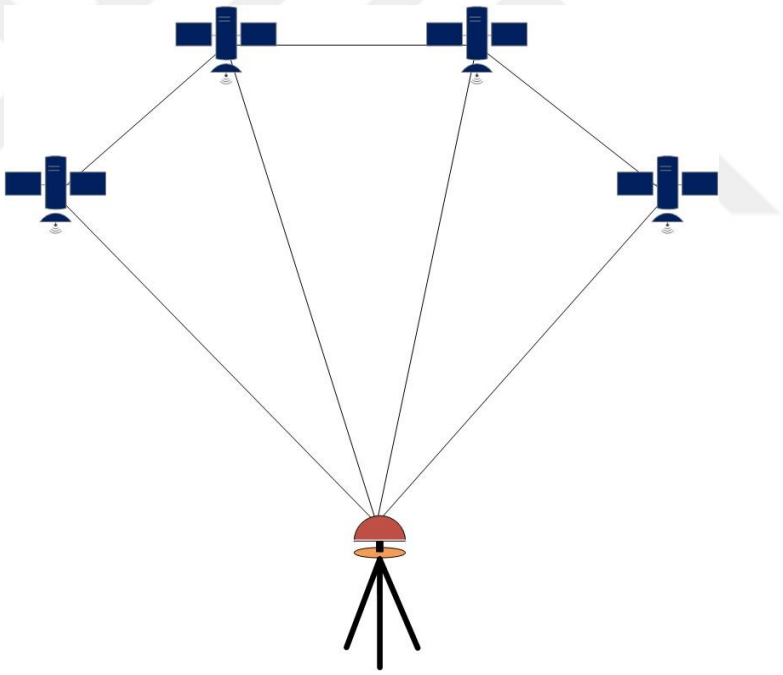
GNSS gözlemlerinin doğruluğu, GNSS gözlem yöntemine, gözlemin yapıldığı andaki atmosferik koşullara, gözlemin yapıldığı bölgenin fiziksel ve coğrafi koşulları gibi

parametrelere göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca, GNSS gözlemleri sırasındaki güneş patlamaları ve jeomanyetik fırtınalar gibi olaylar da analizlerin doğruluğunu etkilemektedir. GNSS gözlemlerinin doğruluğunu arttırmak için GNSS hata kaynaklarının belirlenmesi ve giderilmesi gerekmektedir. GNSS hata kaynakları ve bu hataların giderilme yöntemleri Bölüm 2.2'de daha ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

2.1 GNSS Gözlem Yöntemleri

2.1.1 Mutlak Konum Belirleme

Mutlak konum belirleme yöntemi herhangi bir referans istasyonu gerekmeksizin sadece uydulara yapılan gözlemler sonucu konum bilgisi elde edilen bir ölçme yöntemidir. Mutlak konum belirleme yöntemi kendi içerisinde ölçü sonrası ve gerçek zamanlı olarak ikiye ayrılır.



Şekil 2.2 Mutlak konum belirleme

2.1.1.1 Ölçü Sonrası Değerlendirme

Mutlak konum belirlemede ölçü sonrası değerlendirme Hassas Konum Belirleme (Precise Point Positioning (PPP)) tekniği kullanılarak gerçekleştirilir.

PPP Tekniği

PPP tekniği, International GNSS Service (IGS) tarafından sağlanan hassas uydu yörünge ve hassas saat ürünlerinin kullanıldığı kod ve faz ölçülerine dayanır ve SPP tekniğinin gelişmiş halidir [19]. Bu tekniğin en önemli özelliklerinden biri dünya üzerindeki herhangi bir noktada bir referans istasyonuna ihtiyaç duymadan çalışabilmesidir [20]. Doğruluğu ölçü süresine bağlı olarak mm mertebelerinde olabilmektedir.

2.1.1.2 Gerçek Zamanlı Değerlendirme

Mutlak konum belirlemede gerçek zamanlı değerlendirme, Tek Nokta Konum Belirleme (Single Point Positioning (SPP)) ve Gerçek Zamanlı Hassas Konum Belirleme (Real Time Precise Point Positioning (RT-PPP)) olmak üzere ikiye ayrılır.

SPP Tekniği

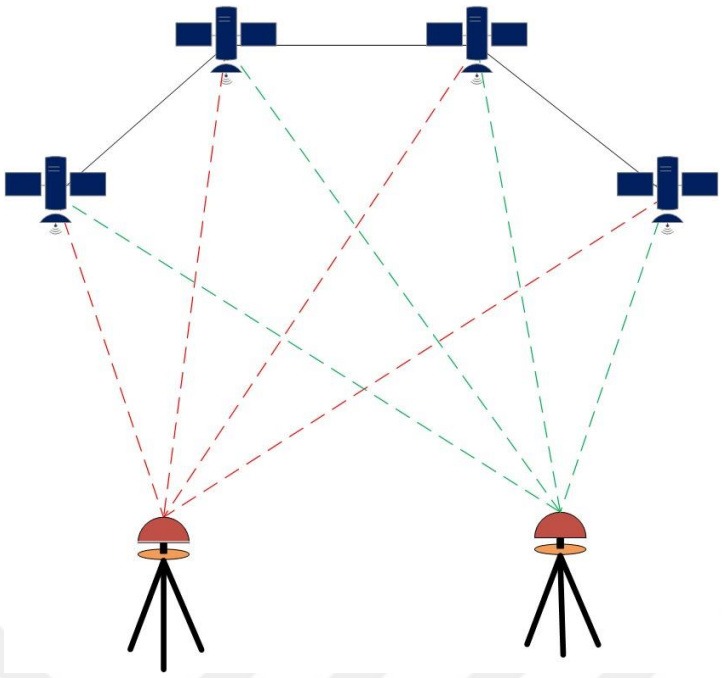
GNSS gözlem yöntemleri arasındaki en temel gözlem yöntemi olan SPP, kod ölçülerinin kullanıldığı mutlak konum belirleme yöntemidir. Doğruluğu, GNSS temel hata kaynaklarının giderilmemesinden dolayı metreler seviyesindedir [21].

RT-PPP Tekniği

RT-PPP tekniği nokta konum bilgisinin tek alıcıyla gerçek zamanlı olarak sağlanabilmesini amaçlamaktadır. Bu yöntemde, hassas nokta konum belirlemenin gerçekleşmesi için farklı kurum ve kuruluşlar tarafından kestirilen hassas uydu yörünge ve saat bilgileri kullanılmaktadır. Bu yöntem için doğruluk, yatay bileşenler için cm, düşey bileşen için dm mertebelerindedir [22].

2.1.2 Bağıl Konum Belirleme

Bağıl konum belirleme tekniği, mutlak konum belirlemenin tersine birden fazla alıcıyla gerçekleştirilmektedir. Bu teknikte bir noktanın konumu başka nokta veya noktalara dayalı belirlenir. Bu durumda, alıcıların aynı uydulara eş zamanlı gözlem yapması gerekmektedir. Bağıl konum belirleme kendi içerisinde Ölçü Sonrası (Post Processing) ve Gerçek Zamanlı (Real Time) olarak ikiye ayrılır.



Şekil 2.3 Bağıl konum belirleme

2.1.2.1 Ölçü Sonrası Değerlendirme

Arazide toplanan GNSS verilerinin, ölçü sonrası büroda konum bilgisine dönüştürme işlemidir. Konum bilgisi gerçek zamanlı elde edilmez. Kendi içerisinde Statik, Hızlı Statik, Kinematik, Dur-Git ve Tekrarlı olmak üzere dörde ayrılır.

Statik Ölçme Yöntemi

Statik ölçme yöntemi mühendislik çalışmalarında en çok tercih edilen yöntemlerden biridir [1]. Bu yöntem, genellikle yüksek doğruluk gerektiren çalışmalar ve uzun bazların kullanıldığı tektonik hareketlerin izlenmesi gibi çalışmalar için tercih edilir. Uydu geometrisinin başka bir ölçme yöntemine imkan vermediği ve sistematik etkilerin dikkate alınması gerektiği durumlarda en etkili ölçme yöntemidir [23]. 10-12 saatlik gözlem sürelerinde mm mertebelerine ulaşılabilen bu yöntemde 3-24 saat arası gözlem süreleri çalışmanın amacına göre tercih edilebilir [6].

Hızlı Statik Ölçme Yöntemi

Bir bakıma statik ölçme yöntemi olan bu yöntem, genelde kısa bazlar için kısa süreli gözlemlerle yüksek doğruluk elde etmek için tercih edilir. Bu yöntemin kullanılabilmesi

için çok yolluluk (multipath) gibi etkilerin olabildiğince az ve uydu geometrisinin iyi olması gerekmektedir [24]. 1-30 dakika arası gözlem gereken bu yöntem için doğruluk cm mertebelerindedir [25].

Kinematik Ölçme Yöntemi

Bu yöntemin amacı noktaları tek tek ölçmektense, hareket eden bir antenin gezdiği yolu belirlemektir [26]. Bu yöntemde bir alıcı konumu bilinen bir noktada sürekli gözlem yaparken, gezici alıcılar diğer noktalarda gözlemlerde bulunur [27]. Bu yöntemin doğruluğu, kod veya faz ölçülerinin kullanılmasına göre değişiklik göstermektedir. Yine de bu yöntem için doğruluk cm mertebelerindedir [26].

Dur-Git Ölçme Yöntemi

Ölçü noktaları arası mesafenin çok kısa olduğu durumlarda tercih edilen bu yöntem, iki alıcıyla gerçekleştirilir. Alıcılardan biri konumu bilinen bir noktada gözlem yaparken, ikinci alıcı konumu bilinmeyen bir noktada birkaç dakikalık gözlem yaparak başlangıç faz belirsizliğini (BFB) çözer [27]. Daha sonra gezici alıcı konumu bilinmeyen diğer noktalarda da birkaç epokluk gözlem yaparak ilk noktadaki belirsizlik çözümünü diğer noktalara taşır [26].

Tekrarlı Ölçme Yöntemi

Tekrarlı ölçme yöntemi statik ve kinematik yöntem arası bir yöntem olarak düşünülebilir. Bu yöntemde ölçü süresinin başlangıcında ve sonunda değişen uydu geometrisinden yararlanmak için bir noktada farklı zamanlarda (birkaç saat ara ile) birkaç dakikalık iki gözlem gerçekleştirilir [27]. Bu yöntemde mm mertebelerinde sonuçlar elde edilebilmektedir [26].

2.1.2.2 Gerçek Zamanlı Değerlendirme

Bağıl konum belirlemede gerçek zamanlı değerlendirme, kod ölçülerine ve faz ölçülerine dayalı olmak üzere iki farklı yöntemle gerçekleştirilir. Kod ölçülerine dayalı olarak DGNSS yöntemi, faz ölçülerine dayalı olarak da Gerçek Zamanlı Kinematik (Real Time Kinematic (RTK)) konumlama tekniği kullanılmaktadır. RTK yöntemi; statik ve hızlı statik yöntem ile

beraber en çok kullanılan yöntemlerdendir [1]. RTK ise kendi içerisinde klasik RTK ve Ağ RTK olmak üzere ikiye ayrılır.

DGNSS Yöntemi

DGNSS yöntemi iki alıcıyla gerçekleştirilen bir yöntemdir. Metre seviyelerinde doğruluk elde edilebilen bu yöntem, genellikle navigasyon amaçlı uygulamalar için kullanılır [28]. Bu yöntemde kod ölçüleri kullanılarak hesaplanan düzeltmeler referans istasyonundan telsiz, uydu vb. haberleşme araçlarıyla alıcılara gönderilir.

Klasik RTK Yöntemi

Bu yöntem temel olarak DGNSS yöntemiyle benzerlikler taşımaktadır. DGNSS yönteminden farklı olarak kod ölçülerinin yanında faz ölçüleri de kullanılır. Bu yöntemde iki alıcı arasındaki mesafe 10-15 km'yi geçmemelidir. Aksi takdirde atmosferik etkiler gözlemin doğruluğunu düşürecektir [29]. Klasik RTK yönteminin en önemli dezavantajlarından biri gezici alıcı ile referans alıcı arasındaki radyo modem, GPRS vb. bağlantıların kopma durumlarıdır. Bu durum GNSS gözleminin doğruluğunu düşürmektedir [5]. Yine de bu yöntem için doğruluk cm mertebelerindedir [27].

Ağ RTK Yöntemi

Klasik RTK yönteminde yeterli doğruluğun sağlanması için iki alıcı arasındaki mesafenin 10-15 km'yi geçmemesi istenir. Aynı zamanda referans noktasındaki alıcı ile gezici alıcı arasındaki mesafe arttıkça GNSS gözleminin doğruluğu düşmektedir. Ağ RTK yöntemi hem bu baza bağlı olan doğruluğun etkisini düşürmek hem de doğruluğu arttırmak için tasarlanmış bir yöntemdir. Bu yöntemde hesaplanan düzeltmeler tek referans noktasından değil de birden fazla referans noktasından gezici alıcılara gönderilir. Bu yöntemde cm seviyelerindeki doğruluk 100 km'lik bazlara kadar sağlanabilmektedir [19].

2.2 GNSS Hata Kaynakları

GNSS gözlemlerinin doğruluğu birçok parametreye göre değişiklik göstermektedir. Yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilmek isteniyorsa; doğru ölçüm yöntemi, doğru donanım kullanımı gibi durumlara dikkat edilmelidir. Ancak, GNSS hata kaynakları

sistemden giderilmediği takdirde gerçek anlamda doğruluğun elde edilebilmesi mümkün olmamaktadır. Bunun için GNSS hata kaynakları belirlenmeli ve bu hatalar modellenmeli ve/veya giderilmelidir.

GNSS gözlemlerinde hata kaynakları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- Uydu kaynaklı hatalar,
- Alıcı kaynaklı hatalar,
- Atmosferik gecikmeler,
- Tamsayı belirsizliği,
- Faz sıçramaları.

2.2.1 Uydu Kaynaklı Hatalar

2.2.1.1 Uydu Yörünge Hataları

GNSS ile konum belirleme, uydu ve GNSS alıcısı arasındaki mesafe temeline dayandığı için uyduların konum bilgisinin GNSS alıcısı tarafından bilinmesi gerekmektedir. Uydular, belli bir yörüngede hareket etmektedirler. Uyduların konum bilgisi ise bu yörünge bilgisinin bilinmesine bağlıdır. Almanak, yayın efemerisi ve hassas efemeris olmak üzere üç tür yörünge bilgisi mevcuttur [21]. Doğruluğu km seviyelerinde olan almanak verisi, uyduların kaba olarak konumlarının belirlenmesini sağlamaktadır. Yayın efemerisi, kontrol merkezi tarafından hesaplanan ve kullanıcıların kullanımı için uydulara yüklenen yörünge bilgisidir. Yayın efemerisi navigasyon amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Doğruluğu metreler seviyesindedir.

Hassas efemeris, IGS, JPL ve NGS gibi kurumlar tarafından hesaplanan ve 12-18 gün içerisinde kullanıcılara sunulan yörünge bilgisidir. GPS uyduları için 2.5, GLONASS uyduları için ise 3 cm doğruluğundadır [30]. Hassas efemeris bilgisi, genellikle yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda tercih edilir.

2.2.1.2 Uydu Saat Hataları

GNSS ile konum belirlemede en önemli parametrelerden biri de zaman bilgisidir. GNSS uyduları bu sebepten dolayı atom saatleri ile donatılmışlardır. Ancak, uydular ile GNSS alıcıları arasındaki saat senkronizasyonu her zaman sağlanamamaktadır. Uydular ile alıcı arasındaki saat farkı, ara mesafenin hesaplanmasında 300 metreye kadar hatalı hesaba neden olabilmektedir. Bu hatanın giderilebilmesi için IGS tarafından sunulan hassas saat ürünlerinin kullanılması gerekmektedir [19].

2.2.2 Alıcı Kaynaklı Hatalar

2.2.2.1 Alıcı Anten Faz Merkezi Kayıklığı

Anten faz merkezi kayıklığı, anten referans noktası ile ortalama elektriksel anten faz merkezi arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Bu değerler, GNSS anten üreticisi firmalar tarafından kullanıcıya sunulmaktadır [21]. Her marka GNSS anten modeli için anten faz merkezi farklı konumdadır. GNSS gözlemlerinde farklı model antenler kullanılıyorsa, anten faz merkezi kayıklığının dikkate alınmaması durumu yükseklik bileşeninde dm mertebesine varan hatalara neden olmaktadır [31]. Anten faz merkezi kayıklığının değerlendirme aşamasında giderilmesi gerekmektedir.

2.2.2.2 Alıcı Saat Hataları

GNSS uydularının aksine, GNSS alıcılarında atom saatleri yerine daha ucuz maliyetli ürünler kullanılmaktadır. Ancak bu ürünler sıcaklık değişimlerinden çok çabuk etkilenmektedirler. Bu durumda, alıcı saat hatası kaynaklı uydu ve alıcı arasındaki mesafenin yanlış hesaplanması durumu gerçekleşir. Sonuç olarak GNSS gözleminin doğruluğu düşer [21].

2.2.2.3 Çok Yolluluk (Multipath) Etkisi

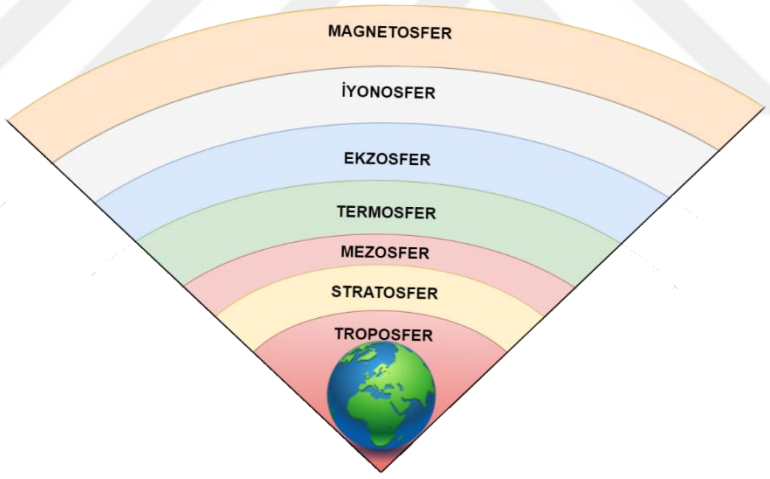
GNSS sinyalleri, alıcıya ulaşana kadar birçok etkiye maruz kalabilmektedirler ve bu durumda sinyaller çevredeki yansıtıcı yüzeylerden de etkilenerek farklı yollarla alıcıya ulaşabilmektedirler. Bu etki özellikle kentsel ve ormanlık alanlarda etkisini daha fazla göstermektedir. Daha uzun bir yol izleyerek gelen bu sinyal, uydu ile alıcı arasındaki

uzaklığı yanlış hesaplamaya neden olmaktadır. Bu etkinin giderilebilmesi mümkündür. Donanımsal olarak choke-ring ve ground plane tipi antenlerin kullanılması bu etkiyi minimize edebilmektedir. Ayrıca GNSS sinyalinin uydu ile alıcı arasında alacağı yolculuk süresi belirlenebildiği takdirde kırılan sinyaller değerlendirmeden çıkartılarak multipath etkisi giderilebilir [32].

2.2.3 Atmosferik Gecikmeler

Yeryüzü, her biri farklı işlevde olan gaz katmanları ile çevrilmiştir. Atmosfer katmanları olarak bilinen bu katmanlar Şekil 2.4'de konumlarına göre gösterilmektedir.

GNSS uyduları bu katmanların dışında belli bir yörüngede hareket etmektedirler. Uydulardan çıkan sinyaller GNSS alıcısına ulaşmak için bu katmanlardan geçmek zorundadırlar. Bu gaz katmanları GNSS sinyallerini etkilemektedirler dolayısıyla GNSS analizlerinin doğruluğu sinyale etkiyen bu katmanlardan etkilenmektedir. Bu etkiler iyonosferik ve troposferik etkiler olarak incelenebilir.



Şekil 2.4 Atmosfer katmanları

2.2.3.1 İyonosferik Gecikme

Yeryüzünden itibaren yaklaşık 60 ile 1100 km arasında bulunan iyonosfer, atmosferin serbest elektronlar ve pozitif yüklü iyonlar içeren iyonlaşmış bölümüdür. GNSS sinyalleri iyonosferden geçerken bu serbest elektronlar ve pozitif yüklü iyonlardan etkilendikleri için kırılmaya uğrarlar. Bu kırılma serbest elektron miktarınına bağlı olarak GNSS sinyallerine farklı şekilde etkir. Bu etkinin mutlaka giderilmesi gerekmektedir. Ayrıca,

güneş ışınları elektronları birbirinden ayırarak serbest hale geçmelerine sebep olur. Bundan dolayı bu etki gece ile gündüz arasında farklıdır. Bu etki iyonosferin modellenmesiyle giderilebilmektedir [21].

2.2.3.2 Troposferik Gecikme

Yeryüzünden itibaren yaklaşık 20 km'lik bölümde yer alan ve yeryüzüne en yakın atmosfer katmanı olan troposfer; su buharının en yoğun olduğu katmandır ve meteorolojik olaylar bu katmanda gerçekleşir. Ekvatordan kutuplara doğru kalınlığı azalan troposfer, ıslak ve kuru bileşenleri nedeniyle GNSS sinyallerinin gecikmesine sebep olur. Bu gecikme ancak troposferin modellenmesiyle giderilebilir [19].

2.2.4 Tamsayı Belirsizliği

GNSS alıcıları gözlem anında yanlızca uydu ile alıcı arasındaki fazı ölçer. Ancak, uydu ile alıcı arasındaki tam dalga boylarının sayısı bilinmemektedir. Buna tamsayı belirsizliği (ambiguity) denir [26], [33]. Bu tamsayı belirsizliği 20 km'den daha kısa olan bazlarda GNSS veri değerlendirme yazılımlarıyla kolaylıkla giderilebilmesine rağmen 20 km'den daha uzun bazlarda ve/veya bilimsel çalışmalarda tamsayı belirsizliği çözümü ayrıntılı bilgi ve deneyim gerektirmektedir. Bu değer doğrudan elde edilememektedir, modelin içerisine bilinmeyen olarak eklenip kestirilmeye çalışılır [27].

2.2.5 Faz Sıçramaları

GNSS sinyallerinin fiziksel engeller, aşırı iyonosferik etki, multpath etkisi, sinyal gücünün zayıf olması gibi sebeplerden dolayı alıcıya ulaşamaması sinyal kesikliğine sebep olabilmektedir. Bu kesintiler faz sıçraması olarak tanımlanır ve verilerin değerlendirmeden önceki analizi ile giderilebilir [23].

BÖLÜM 3

VERİ ANALİZ YÖNTEMLERİ

Bu bölümde GNSS verilerinin analizinde kullanılan Bernese v5.2 yazılımı ve tez çalışmasında tercih edilen stratejiler konu edilmektedir. Daha sonra sonuçlardan elde edilen RMS değerlerinin hesaplanması ve ölçek faktörü (SF) kestiriminde kullanılan yöntemler ele alınacaktır.

Günümüzde kullanıcılar GNSS veri değerlendirmelerinde ticari ve akademik olmak üzere iki farklı yazılım türü tercih edebilmektedir. Ancak, ticari yazılımlar 20-25 km'ye kadar olan baz çözümlerinde güvenilir sonuçlar vermektedirler. Ayrıca, ticari yazılımlar kullanıcılara veri değerlendirme adımlarında bazı önemli parametrelerde yeteri kadar müdahale imkanı tanımamaktadır. Eğer, tektonik hareketlerin izlenmesi gibi hem yüksek doğruluk hem de uzun baz çözümü gerektiren çalışmalar yapılıyorsa akademik yazılımlar tercih edilir.

Araştırmacılar çalışmalarında genellikle Bernese, GAMIT/GLOBK ve GIPSY/OASIS olmak üzere 3 farklı akademik yazılım kullanmaktadırlar. GAMIT/GLOBK; Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından geliştirilen bağıl konum belirleme yöntemi için kullanılan bir yazılımdır. Birçok küçük programdan oluşmasına rağmen temelde GAMIT ve GLOBK olmaz üzere iki farklı yazılımından oluşur [34]. GAMIT ile koordinat belirleme işlemi yapılırken GLOBK ile Kalman Filtreleme uygulanarak tekrarlılıklar hesaplanır [35].

GIPSY/OASIS; PPP çözüm tekniğiyle çalışan, Jet Propulsion Laboratory (JPL) tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. Koordinat belirleme işlemi üç boyutlu olarak

yapılabilmektedir. Ayrıca, hem statik hem de kinematik olarak konum bilgisi sağlanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında İsviçre'nin Bern Üniversitesi tarafından geliştirilen Bernese yazılımının v5.2 versiyonu kullanılmıştır. Hem bağıl konum belirleme hem de PPP çözüm tekniğiyle konum bilgisinin sağlanabildiği bu yazılımla ilgili daha ayrıntılı bilgiler Bölüm 3. 1'de verilmiştir.

3.1 Bernese v5.2 Yazılımı

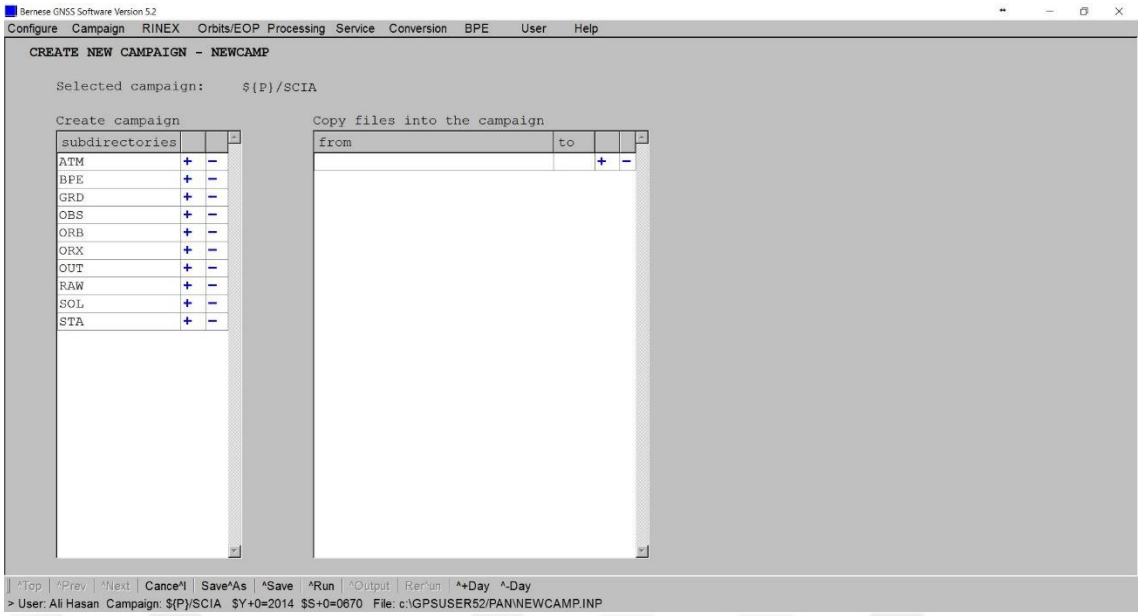
Bernese yazılımı ile hem bağıl değerlendirme hem de PPP tekniğiyle değerlendirme yapılabilmektedir [36]. Ayrıca veri değerlendirme adımlarında kullanıcının müdahale edebilme imkânı bulunmaktadır. Bu bölümde özellike Bernese yazılımı kullanılarak tekli baz çözüm stratejisinin nasıl uygulandığı anlatılmıştır. Çözüm aşamalarında veri değerlendirme parametreleri [37] den yararlanılarak belirlenmiştir.

İşlem adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kampanya dosyasının hazırlanması
- Değerlendirme için gerekli dosyaların hazırlanması
- Yörünge dosyalarının oluşturulması
- Saat hatalarının düzeltilmesi
- Bazın oluşturulması
- Faz sıçramalarının belirlenmesi
- İlk çözüm ve kaba hatalı ölçülerin ayıklanması
- Yaklaşık çözüm ve tamsayı belirsizliğinin çözümü
- Kesin çözüm

3.1.1 Kampanya Dosyasının Hazırlanması

Bernese yazılımı ile GNSS veri değerlendirme işleminde ilk adım kampanya dosyasının hazırlanmasıdır. Bu işlem yazılım arayüzü kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Bernese yazılımında yeni kampanyanın oluşturulması

3.1.2 Değerlendirme İçin Gerekli Dosyaların Hazırlanması

Kampanya dosyası hazırlandıktan sonra değerlendirme adımlarında kullanılacak dosyaların hazırlanması gerekmektedir.

Bu dosyalardan ilki global iyonosfer modelidir. GNSS hata kaynaklardan biri olan iyonosfer gecikmesinin giderilmesi için kullanılır. Bu dosya farklı uluslararası kuruluşlar tarafından üretilmektedir ve bu çalışmada Center for Orbit Determination in Europe (CODE) tarafından üretilen ve CODE'un ftp adresinden [38] indirilen dosyalar kullanılmıştır.

Veri değerlendirme için hassas efemeris bilgi dosyasının da çözüme dahil edilmesi gerekmektedir. Bu dosya IGS'in internet sayfasından [39] indirilerek kullanılmıştır.

GNSS gözlemleri dünya'nın kendi ekseni etrafındaki, güneş etrafındaki hareketlerinden ve çekim kuvvetinden etkilenmektedir. Bunun için yer dönme parametrelerinin (Earth Rotation Parameters (ERP)) çözümde kullanılması gerekmektedir. Bu dosya Bernese'in ftp adresinden [40] indirilebilmektedir.

Gözlemin doğruluğunun iyileştirilebilmesi için okyanus yükleme dosyasının çözüme katılması gerekmektedir. Okyanus yükleme dosyası Bernese'in ftp adresinden indirilebilmektedir. Ancak eğer gözlem yapılan noktanın verileri bu dosyası içerisinde

mevcut değilse bu veri noktanın yaklaşık koordinatları kullanılarak internet üzerinden [41] sağlanabilmektedir.

Çözüm için gereken en önemli dosyalardan birkaçı da nokta bilgileri dosyası, nokta koordinatları dosyası, nokta isim kısaltma dosyası ve gözlem dosyasıdır. Bu 4 dosyanın mutlaka yazılıma uygun formatta hazırlanması gerekmektedir. Uygun format için örnek dosyalar Bernese'in ftp adresinden [40] indirilebilmektedir.

Bu dosyalar ve dosyaların bulunması gereken klasörler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

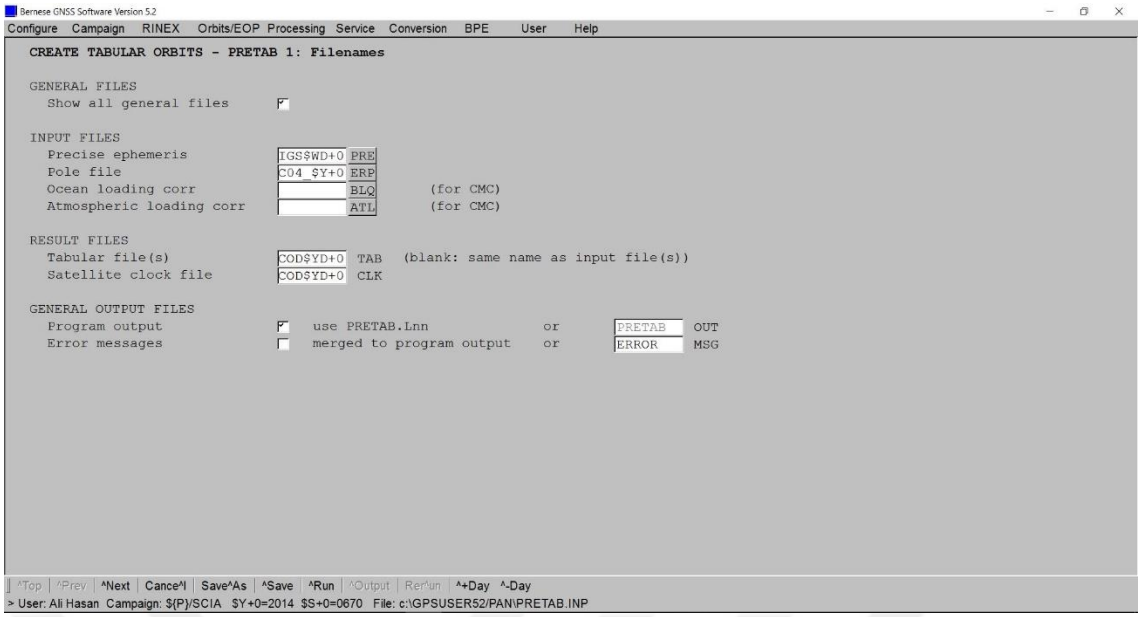
Çizelge 3.1 Değerlendirme için gerekli dosyalar

Dosya Türü	**Dosya Formatı**	**Bulunması Gereken Klasör**
Global İyonosfer Modeli	.ION	ATM
Hassas Efemeris Bilgisi	.PRE	ORB
Yer Dönme Parametreleri	.ERP	ORB
Rinex Dosyaları	.YYO[1]	RAW
Okyanus Yüklemesi	.BLQ	STA
Nokta Bilgileri Dosyası	.STA	STA
Nokta Koordinatları Dosyası	.CRD	STA
Nokta İsim Kısaltma Dosyası	.ABB	STA
Gözlem Dosyası	.SES	STA

3.1.3 Yörünge Dosyalarının Oluşturulması

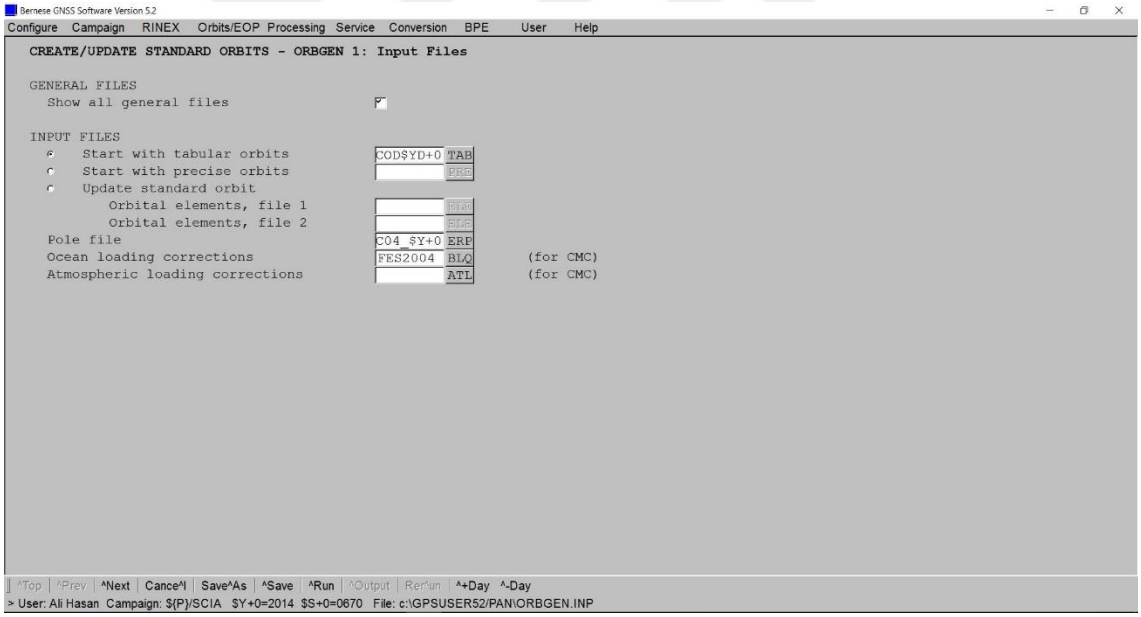
Veri değerlendirmelerinin gerçekleştirilebilmesi için uydu yörünge dosyalarının Bernese formatında tablo verilerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem için "PRETAB" seçeneği kullanılmaktadır (Şekil 3.2).

[1] Burada "YY" gözlemin yapıldığı yılı temsil etmektedir. Örneğin; gözlem yılı 2014 ise dosya formatı ".14O" olmaktadır.



Şekil 3.2 Bernese formatında tablo yörünge dosyalarının oluşturulması

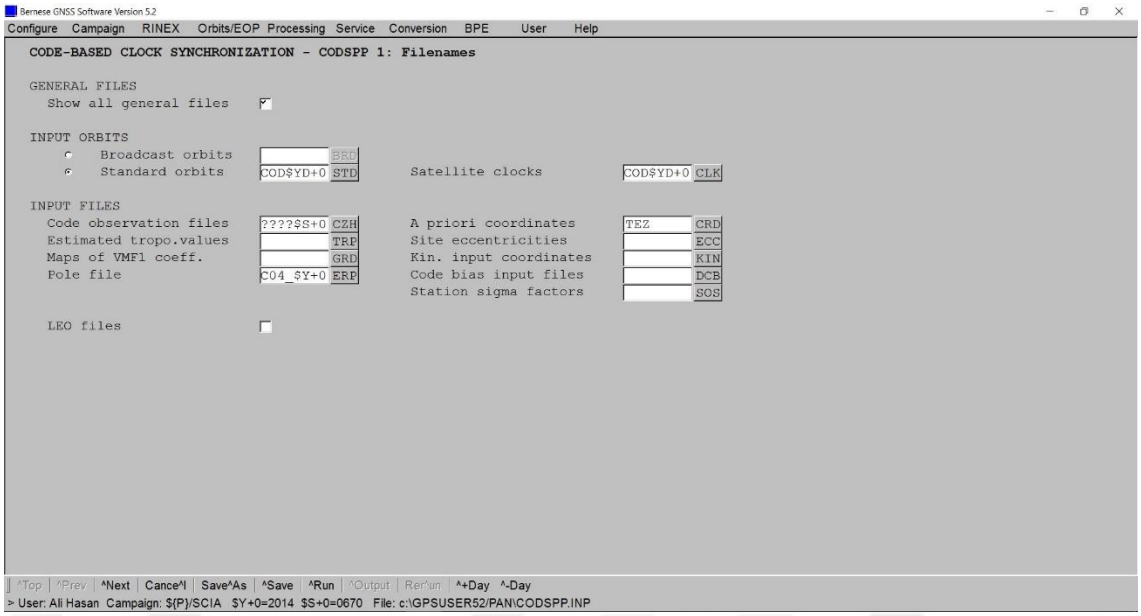
Uydu yörünge dosyalarının tablo verileri oluşturulduktan sonra “ORBGEN” seçeneğiyle standart yörünge dosyaları oluşturulur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Bernese formatında standart yörünge dosyalarının oluşturulması

3.1.4 Saat Hatalarının Düzeltilmesi

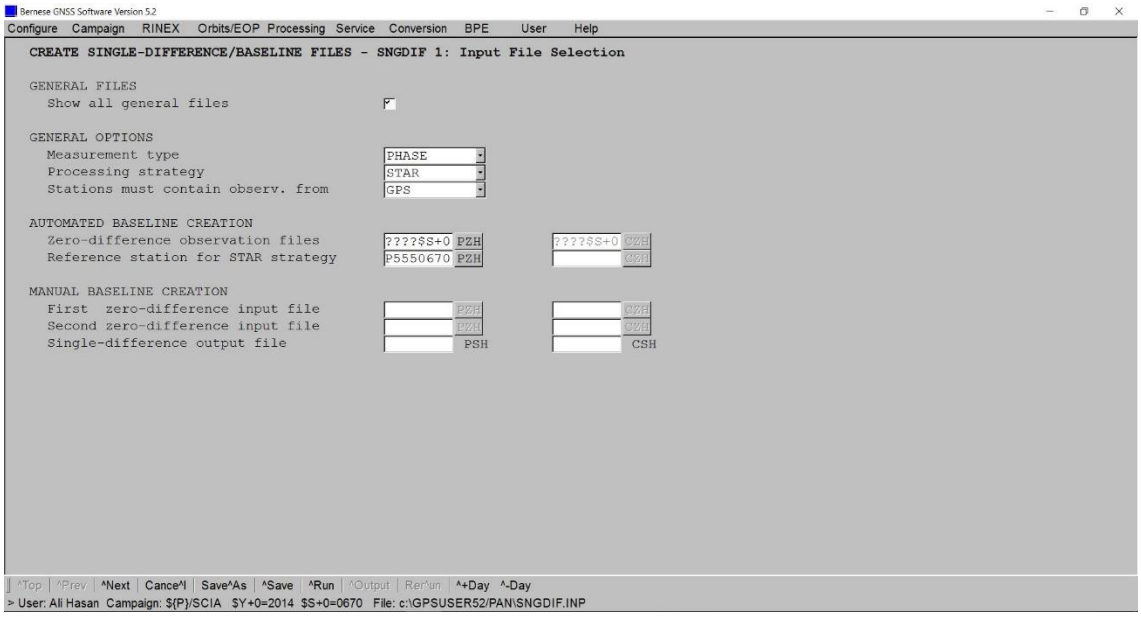
Standart yörünge dosyaları oluşturulduktan sonra kod ölçülerini kullanarak saat hatalarının düzeltilmesi gerekmektedir. Bu adım için “CODSPP” seçeneği kullanılabilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Bernese yazılımı ile saat hatalarının giderilmesi

3.1.5 Bazın Oluşturulması

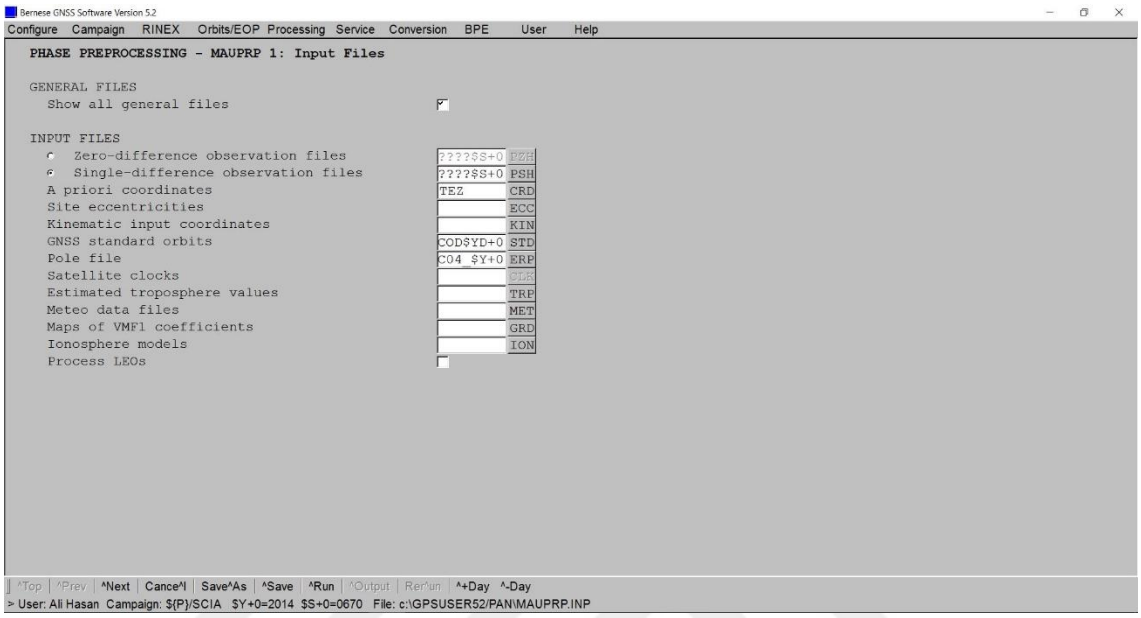
Bu adımda "SNGDIF" seçeneği kullanılarak faz ölçüleri ile baz oluşturulur (Şekil 3.5). Uygulamada bazın oluşturulma adımında "STAR" stratejisi tercih edilmiştir. Diğer stratejiler ve daha fazla ayrıntılı bilgi için [36] incelenebilir.



Şekil 3.5 Bernese yazılımı ile bazın oluşturulması

3.1.6 Faz Sıçramalarının Belirlenmesi

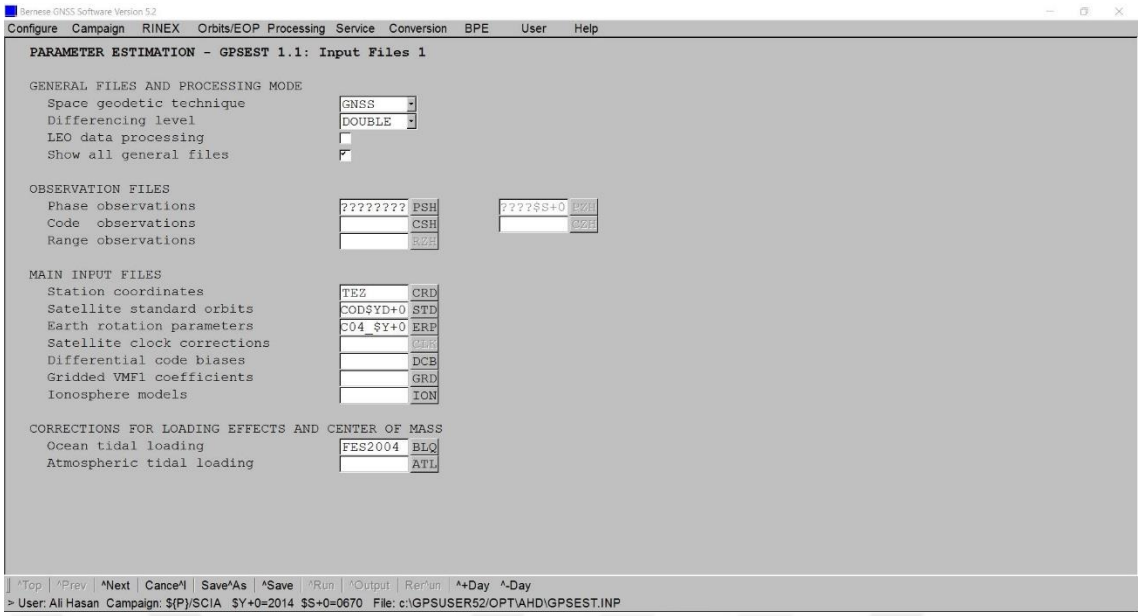
Bu adımda fiziksel engeller, multipath ve atmosferik gecikmeler gibi etkilere uğrayan ve alıcıya ulaşamayan sinyaler için faz kesiklik/sıçramaları belirlenir. “MAUPRP” seçeneği ile bu işlem gerçekleştirilir (Şekil 3.6).



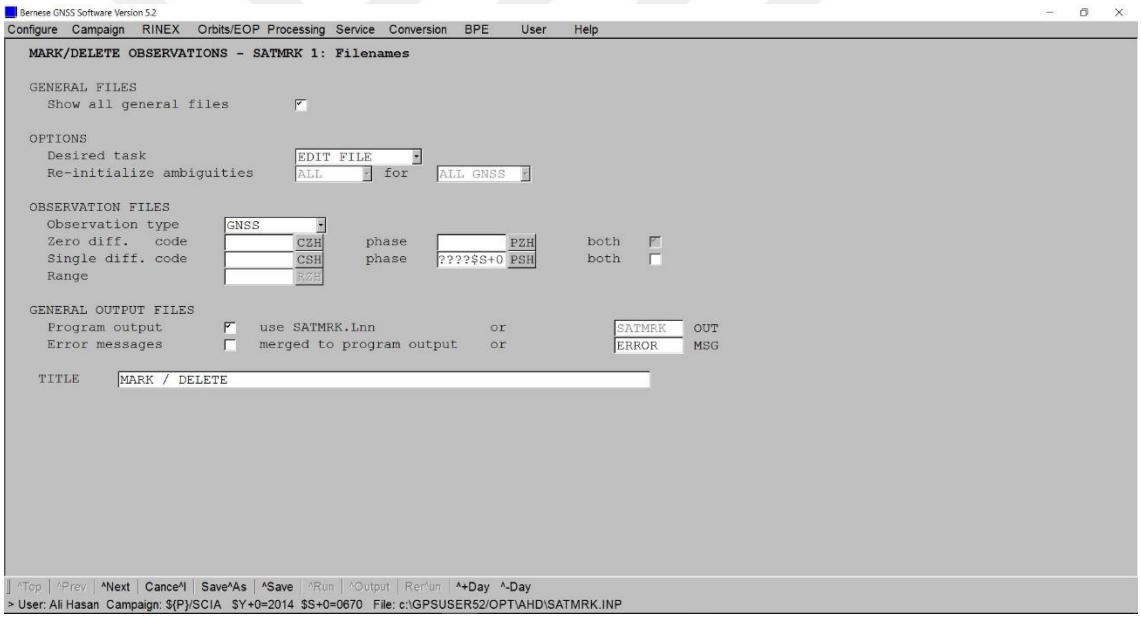
Şekil 3.6 Bernese yazılımı ile faz sıçramalarının giderilmesi

3.1.7 İlk Çözüm ve Kaba Hatalı Ölçülerin Ayıklanması

İlk çözüm aşamasında kaba hata analizi için gerekli düzeltme değerleri hesaplanır. “GPSEST” seçeneğiyle ilk değerlendirme gerçekleştirildikten sonra, “SATMRK” seçeneğiyle kaba hatalı ölçüler ayıklanır (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8).



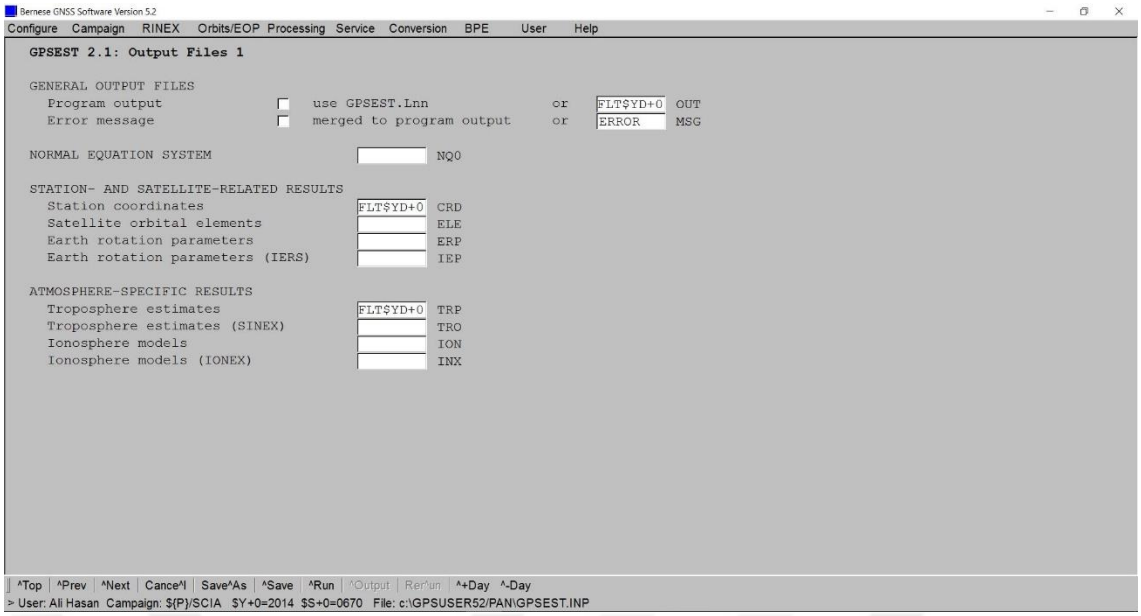
Şekil 3.7 Bernese yazılımı ile düzeltmelerin hesaplanması



Şekil 3.8 Bernese yazılımı ile kaba hatalı ölçülerin ayıklanması

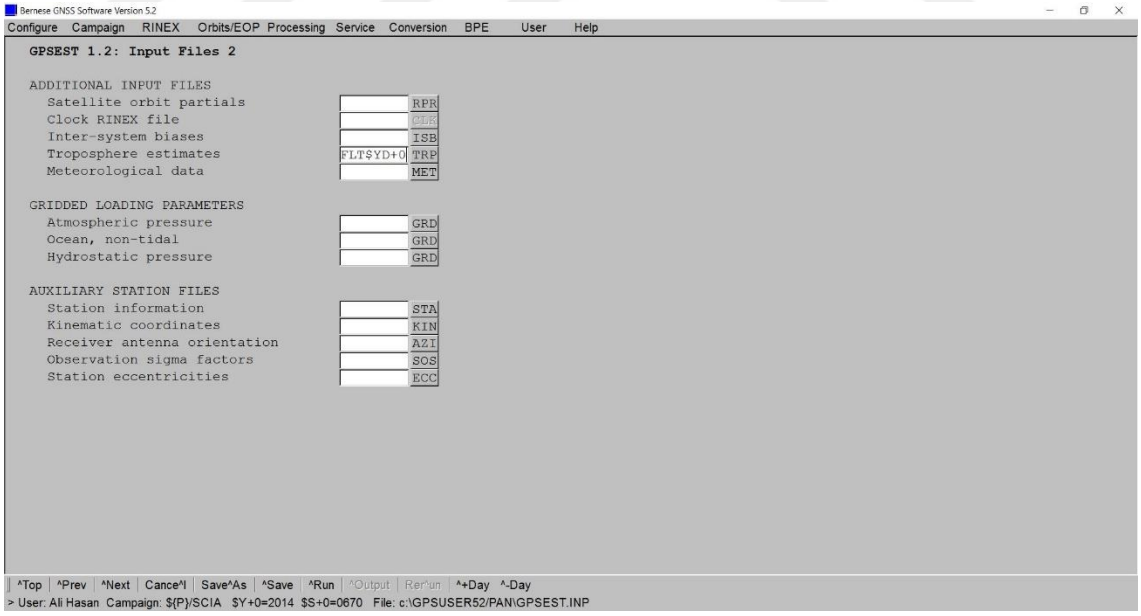
3.1.8 Yaklaşık Çözüm ve Tamsayı Belirsizliğinin Çözümü

Bu aşamada kaba hatalı ölçüler sistemden çıkarıldıktan sonra bir yaklaşık çözüm gerçekleştirilir. Yine "GPSEST" seçeneğiyle gerçekleştirilen bu çözümde yaklaşık koordinatlar ve troposfer modeli kestirimi yapılır (Şekil 3.9).

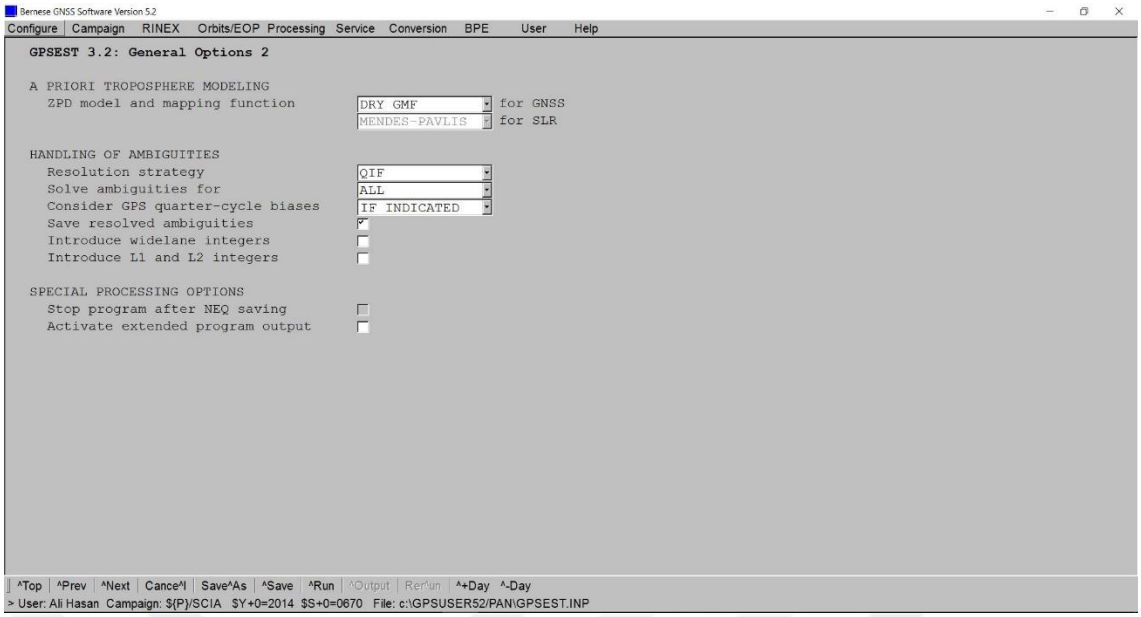


Şekil 3.9 Bernese'de yaklaşık çözüm aşaması

Bu yaklaşık koordinatlar ve kestirilen troposfer modeli tamsayı belirsizliği çözümü aşamasında kullanılmaktadır (Şekil 3.10). Tamsayı belirsizliği çözümü için birden fazla çözüm tekniği vardır. Uygulamada Quasi Ionosphere-Free (QIF) tekniği tercih edilmiştir (Şekil 3.11).



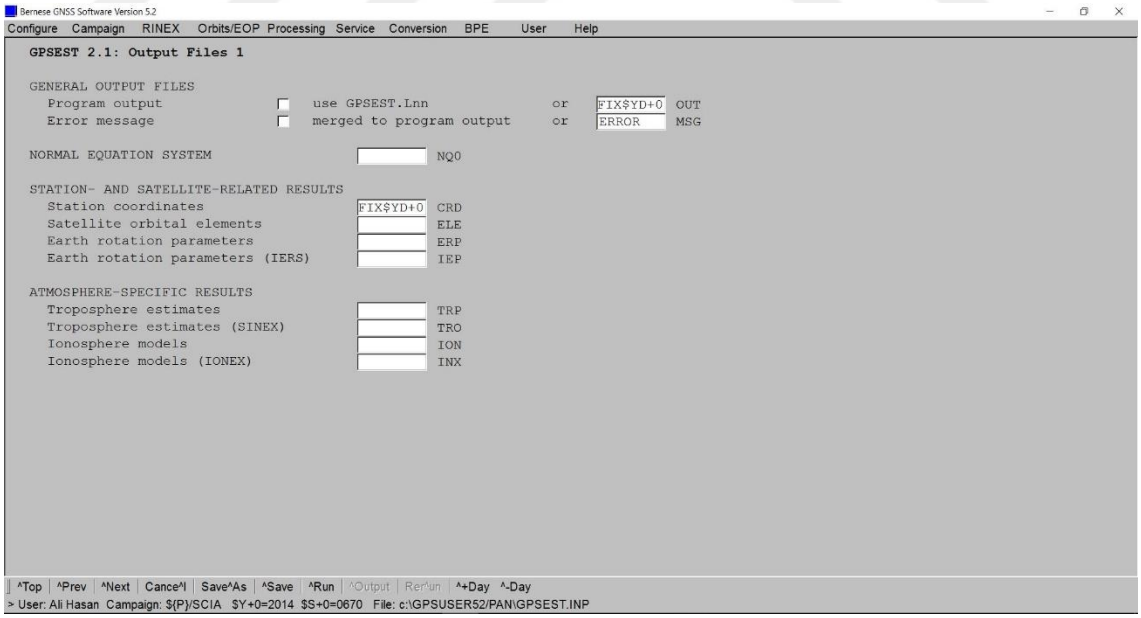
Şekil 3.10 Tamsayı belirsizliği çözümünde girdi dosyaları örneği



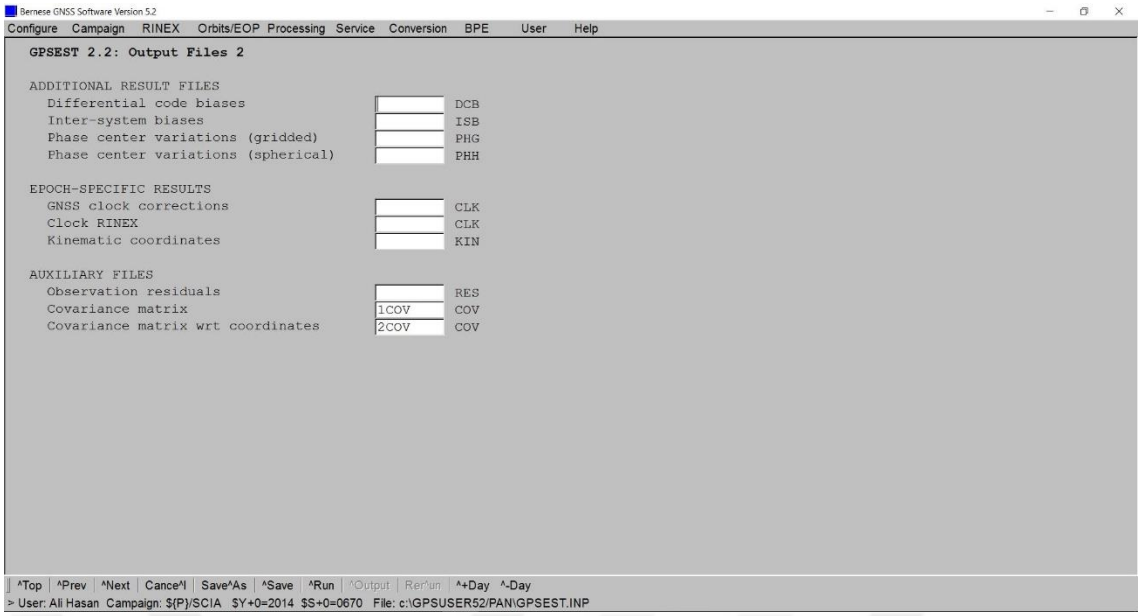
Şekil 3.11 Tamsayı belirsizliği çözümünde QIF stratejisinin seçimi

3.1.9 Kesin Çözüm

Bu aşamada kesin koordinatlar, sonsal varyans ve kofaktör matrisi oluşturulur. Girdi olarak yaklaşık çözüm aşamasında üretilen yaklaşık koordinatlar ve tamsayı belirsizliği çözülmüş bazlar kullanılır (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13).



Şekil 3.12 Bernese yazılımı ile kesin koordinatların oluşturulması



Şekil 3.13 Bernese yazılımı ile kofaktör matrisinin oluşturulması

3.2 Tekrarlılık Analizi

GNSS gözlemlerinin analiz doğruluğu ile ilgili çalışmalar koordinatların tekrarlılıklarına dayanmaktadır ([2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]). Bu çalışmalarda elde edilen farklı ölçüm süresi ve farklı baz uzunluğuna dayalı RMS değerleri fonksiyonel modele ölçü olarak entegre edilmiş ve GNSS gözlemlerinin doğruluğu belirlenmiştir.

Ayrıca, [12] gibi GNSS gözlemlerinin analizi sonucu hesaplanan VCV matrislerinin güvenirliğiyle ilgili yapılan tez çalışmasında SF değerinin belirlenmesinde yine tekrarlılıklardan elde edilen RMS değerleri büyük bir öneme sahip olmuştur.

RMS değeri, bir ölçü kümesindeki değişimi belirlemeye yarayan istatistiksel bir ölçüttür. Beklenen değerin gerçek değere eşit olduğu düşünülürse bu değişim aynı zamanda ölçü kümesinin doğruluğu anlamına da gelmektedir. Bu değer aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$RMS=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-X_G)^2}{n}} \qquad (3.1)$$

Burada X_i, herbir ölçü değerini; X_G, ölçü kümesi için gerçek değeri ve n, ölçü sayısını ifade etmektedir.

3.3 Kaba Hata Analiz Yöntemleri

Ölçü kümesindeki uyuşumsuz ölçüler kestirim sonucu hesaplanan parametreleri bozmaktadır. Bu bozucu etkileri gidermek için kaba hata analiz yöntemleri uygulanmaktadır. Eğer ölçü kümesindeki uyuşumsuz ölçüler dikkate alınmazsa, bu ölçülerden elde edilen kestirim değerlerine göre gerçekleştirilen istatistiksel yorumlamalar yanlış olacaktır.

Kaba hata analizi klasik ve robust olmak üzere iki farklı ana yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. Kaba hata analiz yöntemlerinin güvenirliği ve kaba hata analiz yöntemlerine yeni yaklaşımlarla ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde uygulamada kullanılan Median ve Pope yöntemleri anlatılacaktır.

3.3.1 Median Yöntemi

Median yöntemi kırılma noktası yüksek robust bir yöntemdir ve ölçü kümesi içindeki uyuşumsuz ölçüleri %50'ye kadar temizleyebilmektedir [42], [43]. Bu yöntemde herbir ölçü için düzeltme değeri hesaplanır ve bu düzeltme değerleri sınır değer ile karşılaştırılır. Median yöntemi için sınır değer aşağıdaki gibi hesaplanan mad değerinin üç katı olarak kabul edilebilir [44].

$$\text{med}=\text{median}(\mathbf{V}) \tag{3.2}$$

$$\text{mad} = \begin{cases} 1.2533\times\frac{1}{n}\times\sum|\mathbf{V}-\text{med}|\,, & \text{median}|\mathbf{V}-\text{med}|=0 \\ 1.4826\times\text{median}|\mathbf{V}-\text{med}|, & \text{median}|\mathbf{V}-\text{med}|\neq 0 \end{cases} \tag{3.3}$$

Burada **V**, ölçülerin düzeltme vektörünü; med, düzeltmelerin ortanca değerini ve n, ölçü sayısını ifade etmektedir.

3.3.2 Pope Yöntemi

Klasik uyuşumsuz ölçü yakalama yöntemleri, Baarda ve Pope yöntemleridir. Baarda, önsel varyansın bilindiği durumlarda kullanılmaktadır [45]. Ancak, önsel varyans kullanıcı tarafından her zaman bilinememektedir. Böyle durumlarda önsel varyansın yerine birim ağırlıklı sonsal varyansın test değerinin hesaplamasında kullanıldığı Pope yöntemi tercih edilmektedir [46].

Bu yöntemde her bir ölçü için hesaplanan test değeri tau sınır değeri ile karşılaştırılır. İteratif olarak gerçekleştirilen bu yöntemde tau sınır değerini aşan ve en büyük test değerine sahip ölçü, ölçü kümesinden çıkartılır. Bu işlem ölçü kümesinde uyuşumsuz ölçü kalmayana kadar devam ettirilir.

Test değeri olarak düzeltmelerden hesaplanan 3.4 eşitliğindeki büyüklük kullanılır ve tau sınır değeri ile karşılaştırılır.

$$\tau_i = \frac{|V_i|}{S_0 \times \sqrt{Q_{V_i V_i}}} \tag{3.4}$$

Burada V_i, ölçüler için hesaplanan düzeltme değerlerini; S_0, sonsal varyans değerini; Q_{vv} düzeltmelerin kofaktör değerini ve τ_i, test değerini ifade etmektedir.

3.4 Toposentrik Koordinatlara Dönüşüm

GNSS gözlemlerinin doğruluğu üzerine yapılan çalışmalar genel de Toposentrik koordinat sistemi için gerçekleştirilmiştir. Ancak, Bernese v5.2 yazılımından elde edilen çözüm Jeosentrik Kartezyen koordinat sistemindedir. Bundan dolayı, çözümler sonrası elde edilen koordinatlar ve VCV matrislerinin Toposentrik koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem için aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

$$\mathbf{R} = \begin{vmatrix} -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) & 0 \\ -\sin(\varphi)\times\cos(\lambda) & -\sin(\varphi)\times\sin(\lambda) & \cos(\varphi) \\ \cos(\varphi)\times\cos(\lambda) & \cos(\varphi)\times\sin(\lambda) & \sin(\varphi) \end{vmatrix} \tag{3.5}$$

$$\begin{vmatrix} e \\ n \\ u \end{vmatrix} = \mathbf{R} \times \begin{vmatrix} X-X_R \\ Y-Y_R \\ Z-Z_R \end{vmatrix} \tag{3.6}$$

$$\mathbf{C_{enu}} = \mathbf{R} \times \mathbf{C_{XYZ}} \times \mathbf{R}^T \tag{3.7}$$

Burada; **R**, dönüşüm matrisi; λ, referans noktanın boylam değeri; φ, referans noktanın enlem değeri; X_R, Y_R, ve Z_R, referans noktanın Jeosentrik Kartezyen koordinatları; X, Y ve Z koordinatları dönüştürülecek noktanın Jeosentrik Kartezyen Koordinatları ve e, n ve u, dönüştürülmüş Toposentrik Koordinatları ifade etmektedir. Ayrıca; $\mathbf{C_{enu}}$, Toposentrik Koordinat sistemindeki VCV matrisini ve $\mathbf{C_{XYZ}}$, Jeosentrik Kartezyen Koordinat sistemindeki VCV matrisini ifade etmektedir.

3.5 Norm Değerinin Belirlenmesi

Norm değeri, farklı yöntem ve stratejilerin performanslarını karşılaştırmak için kullanılan matematiksel bir büyüklüktür. Farklı yöntem ve stratejilerden elde edilen vektör veya matrisler, beklenen vektör veya matrislerle karşılaştırılmaktadır.

Norm değeri; uygulamada, farklı yöntem ve stratejilerden elde edilen standart sapma değerleri ile tekrarlılıklardan hesaplanan RMS değerleri arasındaki farklar kullanılarak belirlenmiştir. Norm değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{norm}=\sqrt{\sum_{t=1}^{n}\left(E_{i,j,k,t}-RMS_{i,j,k}\right)^2} \tag{3.8}$$

Burada RMS, GNSS çözümleri sonucu tekrarlılıklardan elde edilen RMS değerini; E, farklı yöntem ve stratejilerden elde edilen standart sapma değerlerini ve norm, norm değerini ifade etmektedir (i:koordinat bileşeni, j:baz uzunuğu, k:gözlem süresi ve t:gözlem sayısı).

3.6 Ölçek Faktörü (SF) Değeri Belirleme Yöntemleri

GNSS gözlem yöntemleri her ne kadar konum doğruluğu açısından yeterli doğruluk sağlayabilse de, yazılımların ürettiği VCV matrisleri özellikle akademik yazılımlar için çok iyimser sonuçlar üretmektedir. Fiziksel korelasyonlar ve sistematik hataların ihmal edilmesi veya modellenmemesi VCV matrislerinin iyimser sonuçlanmasına neden olur [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]. Bu durum VCV matrislerine dayalı istatistiksel analizlerin hatalı yorumlanmasına yol açar. Bundan dolayı, yazılımlardan elde edilen VCV matrislerinin ölçeklendirilmesi gerekmektedir [9], [10], [12].

GNSS gözlemlerinin doğruluğunun araştırıldığı çalışmalarda genel de tekrarlılıklardan hesaplanan RMS değerleri kullanılmaktadır. Tekrarlılıklardan hesaplanan RMS değerleri GNSS analizlerinin doğruluğunu yansıtıyor ise programdan hesaplanan standart sapma değerlerinin de bu RMS değerlerine yakın olması beklenir. Bundan dolayı standart sapmalar ölçeklenirken RMS değerlerine yaklaştırılması sağlanmalıdır. Uygulamada SF değerleri hesaplanırken RMS değerleri baz alınmıştır. Uygulamada; A, B ve C olmak üzere 3 farklı temel SF belirleme yöntemi kullanılmıştır.

3.6.1 A Yöntemi

Bu yöntemde SF değerleri EKK yöntemiyle belirlenir. RMS değerleri ölçü vektörünü ve ilgili standart sapmalar katsayılar matrisini oluşturur.

$$RMS_{i,j,k}=SF\times STD_{i,j,k,t} \tag{3.9}$$

Burada RMS, GNSS çözümleri sonucu tekrarlılıklardan elde edilen RMS değerini; STD, yazılımın çıktı ürünü olan VCV matrsinden elde edilen standart sapma değeri ve SF, ölçek faktörünü ifade etmektedir (i:koordinat bileşeni, j:baz uzunuğu, k:gözlem süresi ve t:gözlem sayısı).

Aşağıda EKK modeli için bir örnek oluşturulmuştur. Örnekte n sayıda ölçünün bulunduğu 9 km'lik bazın 60 dakikalık ölçüleri için EKK yönteminin nasıl uygulandığı gösterilmiştir.

$$\mathbf{l}=\begin{bmatrix} RMS_{X,9,60} \\ RMS_{Y,9,60} \\ RMS_{Z,9,60} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ RMS_{Z,9,60} \end{bmatrix} \quad \mathbf{A}=\begin{bmatrix} STD_{X,9,60,1} \\ STD_{Y,9,60,1} \\ STD_{Z,9,60,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ STD_{Z,9,60,n} \end{bmatrix} \tag{3.10}$$

Tüm ölçüler eşit ağırlıklı kabul edildiği için bir ağırlık matrisi oluşturmaya gerek yoktur ve SF değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenir.

$$\mathbf{x}=\left(\mathbf{A}^T\mathbf{A}\right)^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{l} \tag{3.11}$$

Burada bilinmeyen **x**, SF değeridir.

3.6.2 B Yöntemi

SF değeri yine A yönteminde olduğu gibi EKK yöntemiyle belirlenir. Ancak, bu yöntemde ölçü vektörü, RMS değerlerinin standart sapmalara oranıdır. Katsayılar matrisi, n ölçü sayısı olmak üzere n×1 boyutlu 1'lerden oluşan vektörle tanımlanır.

$$RMS_{i,j,k}/STD_{i,j,k,t}=SF \tag{3.12}$$

Burada RMS, GNSS çözümleri sonucu tekrarlılıklardan elde edilen RMS değerini; STD, yazılımın çıktı ürünü olan VCV matrsinden elde edilen standart sapma değeri ve SF, ölçeklendirme çarpanını ifade etmektedir (i:koordinat bileşeni, j:baz uzunuğu, k:gözlem süresi ve t:gözlem sayısı).

Aşağıda n adet ölçü olduğu varsayılan 9 km'lik bazın 60 dakikalık bir ölçü kümesi için EKK yönteminin uygulanma adımları bir örnekle gösterilmiştir.

$$y_{i,j,k,t}=RMS_{i,j,k}/STD_{i,j,k,t} \tag{3.13}$$

olsun.

$$\mathbf{l}=\begin{bmatrix} y_{X,9,60,1} \\ y_{Y,9,60,1} \\ y_{Z,9,60,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_{Z,9,60,n} \end{bmatrix} \quad \mathbf{A}=\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.14}$$

Tüm ölçüler eşit ağırlıklı kabul edilmiştir ve SF değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenir.

$$\mathbf{x}=\left(\mathbf{A}^T\mathbf{A}\right)^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{l}$$

Burada bilinmeyen **x**, SF değeridir.

3.6.3 C Yöntemi

Bu yöntemde SF değeri, RMS değerinin ölçü kümesi içindeki standart sapmaların medianına oranı olarak hesaplanır [12].

$$SF= RMS_{i,j,k}/median(STD_{i,j,k,t}) \tag{3.15}$$

Burada RMS, GNSS çözümleri sonucu tekrarlılıklardan elde edilen RMS değerini; STD, yazılımın çıktı ürünü olan VCV matrsinden elde edilen standart sapma değeri ve SF, ölçeklendirme çarpanını ifade etmektedir (i:koordinat bileşeni, j:baz uzunuğu, k:gözlem süresi ve t:gözlem sayısı).

BÖLÜM 4

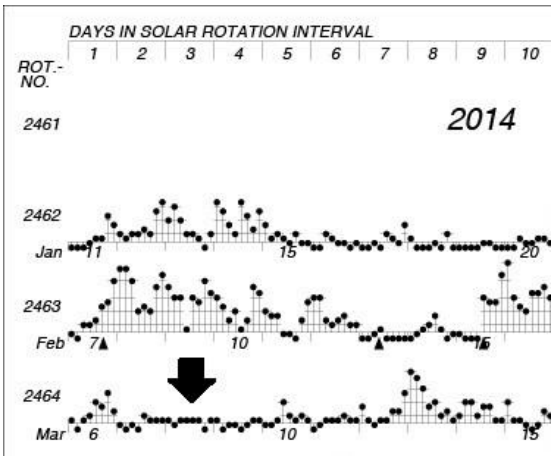
UYGULAMA

4.1 Uygulamanın Amacı

GNSS veri değerlendirme yazılımlarının çıktı ürünlerinden VCV matrislerinin çok iyimser olmaları; bu matrislere dayalı gerçekleştirilen istatistiksel analizlerin hatalı yorumlanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle VCV matrislerinin daha gerçekçi olacak şekilde ölçeklendirilmesi gerekmektedir.

GNSS gözlemlerinin doğruluğunun araştırıldığı çalışmalarda RMS değerleri kullanılmaktadır. Öyleyse bu VCV matrislerinin de RMS değerlerine yakın sonuçlar vermesi beklenmelidir. Bu uygulamada VCV matrislerinin RMS değerlerine yaklaşacak şekilde ölçeklendirilmesi üzerine bir takım yöntem ve stratejiler uygulanmıştır.

Hem Jeosentrik Kartezyen hem de Toposentrik koordinat sistemlerinde, 9 ile 268 km arasında değişen 15 baz için; 8 Mart 2014 tarihinde 1-3 saatlik GNSS gözlemleri değerlendirilmiştir. Bu günün seçilmesinin sebebi ise o günkü Kp index değerinin diğer günlere nazaran daha az seviyelerde olmasıdır (Şekil 4.1). Kp index değeri güneş patlamaları, manyetik fırtınalar ve iyonosferdeki elektron yoğunluğu gibi parametrelerin etkilerini ifade etmektedir.

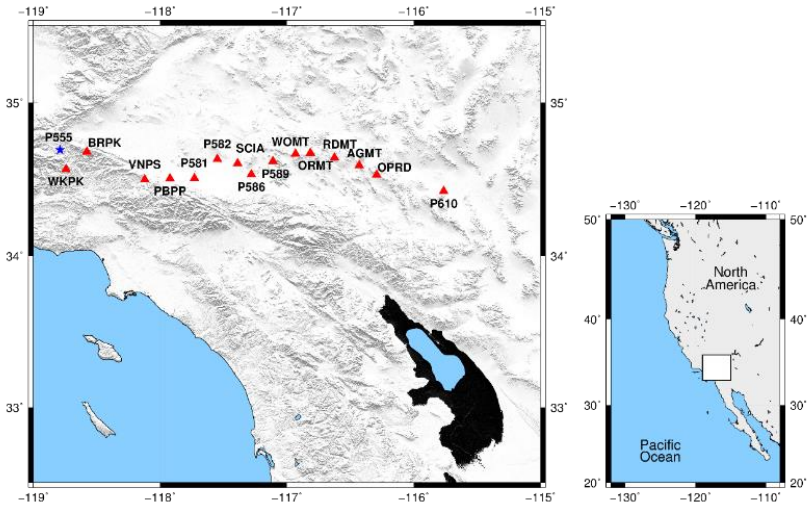


Şekil 4.1 8 Mart 2014 günü kp index değerleri

GNSS verilerinin değerlendirilmesi Bernese v5.2 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı ve bazların oluşturulmasında kullanılan noktalara ilişkin bilgiler Bölüm 4.2'de daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

4.2 Çalışma Alanı

Uygulama için ABD'nin California eyaletinde bulunan 16 sürekli gözlem yapan nokta verisi kullanılmıştır (Şekil 4.2). Bu noktalardan biri sabit kabul edilmiş ve diğer noktalar bu noktaya bağlanacak şekilde bazlar oluşturulmuştur. Ayrıca tüm noktalar enlem farkı 10 dereceyi geçmeyecek şekilde seçilmiştir. Bu şekilde enleme bağlı olan etkilerin elemine edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.2 Çalışma alanı

Çalışma alanının bu bölge seçilmesinin başka bir sebebi ise istenilen baz uzunlukların başka bir bölgede sağlanamamasıdır. Noktalar seçilirken baz uzunluklarının 300 km'yi geçmemesine dikkat edilmiştir. Bunun sebebi, literatürdeki çalışmalarda bağıl konum belirlemede 300 km'den daha uzun bazlarda doğruluk fonksiyonlarının değişiyor olmasıdır.

Oluşturulan baz uzunlukları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Baz uzunlukları

Baz	**Baz Uzunluğu (km)**
P555-BRPK	9
P555-WKPK	15
P555-VNPS	55
P555-PBPP	72
P555-P581	89
P555-P582	103
P555-SCIA	118
P555-P586	129
P555-P589	143
P555-WOMT	159
P555-ORMT	170
P555-RDMT	188
P555-AGMT	206
P555-OPRD	219
P555-P610	268

4.3 Veri İşleme Adımları

GNSS verileri Bernese v5.2 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bernese yazılımı kullanıcıya farklı çözüm stratejileri sunmaktadır. Ayrıca, kullanıcı çözümün hemen her aşamasına müdahele edebilmektedir. Bu durumda çözümün doğruluğu ve çözüm sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yapılan istatistiksel analizlerin yorumlanması bu çözüm stratejisine bağlı olmaktadır. Uygulamada kullanılan çözüm stratejisi [37] baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar 9 ve 15 km'lik bazlar kısa bazlar olarak düşünülse de, analiz bütünlüğü açısından tüm bazlara aynı çözüm stratejisi uygulanmıştır.

Veri değerlendirmelerinde kod ve faz ölçülerinin oluşturulma aşamasında veri kayıt aralığı 30 sn olarak seçilmiştir. Bazlar faz ölçüleri kullanılarak "star" stratejisi ile oluşturulmuştur. Faz sıçramaları tekli farklar yardımıyla giderilmiştir. İlk çözüm aşamasında uydu yükseklik açısı 5 derece ve veri kayıt aralığı 180 sn olarak seçilmiştir. Ayrıca, zorlamasız çözüm tekniğiyle değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık çözüm aşamasında, yine ilk çözümde olduğu gibi, uydu yükseklik açısı 5 derece ve veri kayıt aralığı 180 sn olarak belirlenmiştir. İlk çözümünün aksine yaklaşık çözümde veri değerlendirmesinde zorlamalı çözüm tercih edilmiştir. Tamsayı belirsizliği çözümünde QIF stratejisi kullanılmış ve nokta koordinat bilgileri yaklaşık çözüm sonuçları olarak seçilmiştir. İlk çözüm ve yaklaşık çözümün aksine, tamsayı belirsizliği çözümünde uydu yükseklik açısı 10 derece ve veri kayıt aralığı 30 sn olarak seçilmiştir. Yine yaklaşık çözümde olduğu gibi veri değerlendirmelerinde zorlamalı çözüm tekniği kullanılmıştır. Kesin çözüm aşamasında nokta koordinat bilgileri tamsayı belirsizliği çözümünde olduğu gibi yaklaşık çözüm sonucunda elde edilen koordinat değerleridir. Uydu yükseklik açısı 5 derece ve veri kayıt aralığı 180 saniyedir ve zorlamalı çözüm tekniği kullanılmıştır. Ayrıca çözüm aşamalarında iyonosfer modeli olarak CODE ürünü olan global iyonosfer modeli ve uydu yörünge bilgileri için de IGS tarafından sağlanan hassas uydu yörünge bilgileri dosyalarından faydalanılmıştır.

4.4 RMS Değerlerinin Belirlenmesi

RMS değeri, bir ölçü kümesi içindeki değişimi belirlemeye yarayan istatistiksel bir ölçüttür, genellikle GNSS gözlemlerinin doğruluğunun belirlenmesi çalışmalarında

doğruluk ölçütü olarak kullanılmaktadır. Hesaplamalar Bölüm 3.2'de anlatıldığı gibi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.2'de uygulamada ele alınan gözlem süreleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 Gözlem süreleri

Gözlem Süresi (dk)	**Gözlem Sayısı**
60	24
90	16
120	12
180	8

Her bir baz için toplam 60 çözüm olmak üzere toplamda 15 baz için toplam 900 çözüm yapılmıştır.

Çözüm aşamaları tamamlandıktan sonra uygulamanın Toposentrik koordinat sisteminde de gerçekleştirilebilmesi için Jeosentrik Kartezyen koordinat sistemindeki koordinatlar ve VCV matrisleri Toposentrik koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Bu aşamada referans olarak 24 saatlik çözüm sonucu elde edilen koordinatlar kullanılmıştır.

RMS değerleri hesaplanırken her bir baz çözümü için 24 saatlik çözüm gerçek değer olarak kabul edilmiş ve her iki koordinat sistemi için RMS değerleri mm mertebesinde hesaplanmıştır (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4).

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de yer alan RMS değerleri, GNSS gözlemlerinin analiz sonrası elde edilen koordinatlar yardımıyla hesaplanmış değerlerdir. Ancak, her ne kadar GNSS çözümleri aşamasında Bernese v5.2 yazılımı kullanılarak kaba hata analizi yapılmış olsa da, tekrarlılıklar içinde de kaba hatalı ölçü bulunabilir. Bunun için tekrarlılıklara kaba hata analiz yöntemlerinden median yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin nasıl gerçekleştirildiği Bölüm 3.3.1'de anlatılmıştır. Median uygulandıktan sonra RMS değerleri yeniden hesaplanmıştır (Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6).

Çizelge 4.3 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi'ndeki RMS değerleri (mm)

		Baz Uzunluğu (km)														
Göz. Sür.	Bileşenler	9	16	55	72	89	103	118	129	143	159	170	188	206	219	268	Ortalama
60 dk	X	27.97	43.31	35.54	19.15	20.35	25.93	29.08	35.75	24.21	36.55	28.73	19.70	25.69	22.45	23.07	27.83
	Y	40.46	55.38	44.65	28.62	26.98	35.35	30.04	43.34	24.59	34.30	28.02	39.27	26.74	26.89	35.26	34.66
	Z	23.66	22.08	26.11	19.93	16.10	18.76	16.57	22.05	17.10	23.07	15.37	19.24	17.19	17.06	28.22	20.17
90 dk	X	21.42	17.83	20.69	17.04	11.58	10.79	14.98	15.71	10.70	12.11	14.26	11.43	19.85	12.05	10.53	14.73
	Y	23.52	20.52	22.80	22.75	16.36	21.10	18.22	30.27	22.96	33.31	15.60	17.04	17.32	14.29	24.56	21.38
	Z	13.07	10.94	20.47	14.90	13.48	20.13	11.32	21.65	15.47	23.92	12.12	11.48	13.10	11.41	22.75	15.75
120 dk	X	16.03	6.22	11.12	11.52	17.69	15.10	12.00	15.46	8.43	11.18	10.02	14.46	15.96	14.41	13.26	12.86
	Y	26.86	12.69	22.13	18.21	12.67	19.05	16.29	15.30	9.95	21.58	15.69	13.83	16.46	14.71	20.41	17.05
	Z	11.58	9.55	17.64	15.54	8.43	14.83	12.75	13.86	10.29	16.77	12.34	11.17	12.39	9.65	17.93	12.98
180 dk	X	3.88	5.59	5.71	3.93	2.97	4.89	3.85	4.87	4.31	7.09	4.74	4.39	2.75	6.31	8.39	4.91
	Y	14.45	6.37	8.16	6.11	4.05	5.92	5.48	6.69	6.64	9.55	7.07	4.34	3.42	4.88	14.57	7.18
	Z	11.41	5.75	9.86	9.06	5.58	8.75	8.46	6.67	7.17	11.83	8.71	8.16	7.49	5.66	15.53	8.67

Çizelge 4.4 Toposentrik Koordinat Sistemi'ndeki RMS değerleri (mm)

		Baz Uzunluğu (km)														
Göz. Sür.	Bileşenler	9	16	55	72	89	103	118	129	143	159	170	188	206	219	268	Ortalama
60 dk	e	35.23	56.57	31.66	22.05	22.70	26.21	26.89	34.68	24.46	32.00	29.91	26.25	28.29	27.69	20.93	29.70
	n	10.88	11.36	16.33	13.25	11.50	16.07	13.81	19.49	8.90	15.13	11.99	14.00	11.91	10.04	13.39	13.20
	u	40.25	45.83	51.66	30.35	27.46	36.45	33.30	45.39	28.39	42.33	28.41	37.61	27.00	25.51	44.22	36.28
90 dk	e	26.58	17.73	17.63	21.81	14.23	13.61	19.57	22.26	15.84	19.46	16.31	14.77	23.44	14.98	12.21	18.03
	n	8.66	7.55	6.58	5.89	7.64	8.15	5.64	9.24	5.28	7.38	6.16	6.90	6.63	5.54	7.19	6.96
	u	20.04	22.07	31.82	22.81	17.97	26.74	16.39	32.42	24.54	37.34	17.01	16.93	16.52	14.99	32.11	23.31
120 dk	e	23.89	7.30	16.69	15.99	14.20	18.08	16.76	17.86	7.46	13.89	13.87	17.59	20.64	18.92	14.66	15.85
	n	9.26	5.40	5.48	6.08	10.02	7.48	5.63	8.03	5.79	5.39	5.55	5.25	5.94	4.67	5.61	6.37
	u	21.35	14.44	24.81	20.33	15.58	20.69	16.09	16.77	13.67	25.49	16.61	13.70	14.79	11.75	25.84	18.13
180 dk	e	8.07	2.88	2.95	2.56	2.01	3.43	2.01	4.57	2.93	2.66	2.74	2.69	2.16	4.61	3.54	3.32
	n	3.24	4.65	4.27	5.43	5.55	4.32	5.00	4.53	4.92	4.76	4.72	5.38	5.50	4.72	4.78	4.79
	u	16.68	8.65	13.02	9.96	4.65	10.25	9.35	8.46	9.02	15.86	10.88	8.27	6.36	7.21	22.11	10.72

Çizelge 4.5 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için Median analizi sonrası RMS değerleri (mm)

		Baz Uzunluğu (km)														
Göz. Sür.	Bileşenler	9	16	55	72	89	103	118	129	143	159	170	188	206	219	268	Ortalama
60 dk	X	14.22	14.46	16.95	11.04	7.33	15.04	11.60	7.81	9.62	14.87	14.00	8.45	12.05	8.01	16.77	12.15
	Y	21.43	17.32	20.98	27.95	26.35	34.45	20.27	29.15	22.03	31.25	24.48	16.23	17.55	20.81	32.31	24.17
	Z	16.51	12.57	14.19	15.61	15.20	14.24	15.12	13.22	15.82	18.45	15.89	14.94	15.27	15.51	23.68	15.75
90 dk	X	11.52	8.06	8.58	7.70	4.38	5.78	6.94	6.59	7.61	7.04	10.50	6.79	6.05	5.86	9.60	7.53
	Y	12.46	9.59	14.25	20.21	12.49	11.67	13.99	11.09	14.75	10.26	14.03	13.23	10.22	10.82	20.08	13.28
	Z	8.85	7.93	12.34	12.45	6.92	9.37	8.80	8.50	10.60	9.20	10.87	9.01	11.13	9.79	18.02	10.25
120 dk	X	10.96	3.10	7.53	6.59	4.36	9.27	4.76	4.26	8.43	9.33	5.31	6.26	5.26	4.20	13.26	6.86
	Y	18.24	5.81	12.08	10.85	7.49	12.96	8.35	9.41	9.95	12.75	10.30	7.35	6.73	5.54	20.41	10.55
	Z	8.22	4.46	12.67	11.40	5.61	11.25	8.68	9.44	10.29	11.02	8.75	8.55	8.55	7.05	17.93	9.59
180 dk	X	3.78	3.23	4.89	3.93	2.97	4.89	3.85	4.87	4.31	5.33	5.06	4.39	1.23	4.30	8.39	4.36
	Y	5.85	2.67	7.14	6.11	4.05	5.92	5.48	6.69	6.64	7.34	6.40	4.34	3.60	4.94	14.57	6.12
	Z	7.40	5.04	8.55	9.06	5.58	8.75	8.46	6.67	7.17	9.56	1.75	8.16	7.51	6.02	15.53	7.68

Çizelge 4.6 Toposentrik Koordinat Sistemi için Median analizi sonrası RMS değerleri (mm)

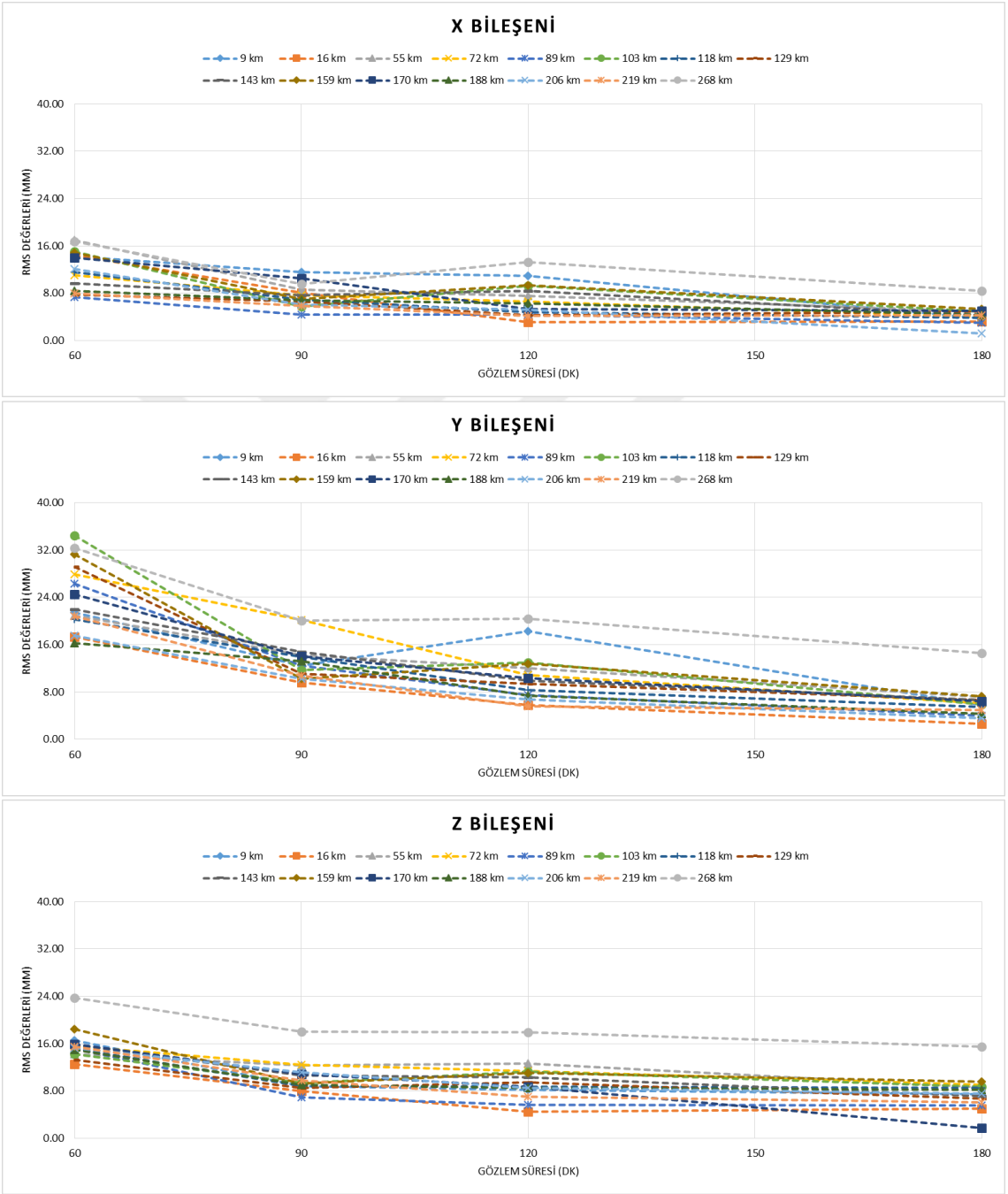
		Baz Uzunluğu (km)														
Göz. Sür.	Bileşenler	9	16	55	72	89	103	118	129	143	159	170	188	206	219	268	Ortalama
60 dk	e	15.27	7.56	14.88	9.17	5.09	4.56	5.42	7.33	3.87	19.39	10.25	10.15	8.90	12.17	6.39	9.36
	n	7.77	7.32	12.36	6.26	5.10	5.31	5.01	5.78	4.51	12.00	5.23	5.24	7.60	6.35	5.66	6.77
	u	28.24	20.93	23.54	26.09	20.04	24.61	23.07	24.61	24.54	32.95	24.43	21.02	19.35	26.14	30.27	24.65
90 dk	e	8.91	3.96	3.34	7.29	4.93	5.39	4.49	6.11	4.94	5.37	5.10	6.46	4.35	5.70	5.51	5.46
	n	7.27	3.95	5.28	4.78	5.08	5.22	4.50	4.88	4.85	6.98	5.28	6.51	5.68	4.76	4.62	5.31
	u	15.31	13.74	19.74	17.13	16.15	14.17	13.10	19.77	18.44	15.76	16.32	14.78	14.62	13.86	27.72	16.71
120 dk	e	5.41	5.37	3.51	4.09	3.57	4.11	3.72	3.92	3.97	4.72	4.42	4.35	3.79	4.12	4.18	4.22
	n	8.18	5.40	4.49	4.61	3.61	3.97	4.43	6.52	4.33	4.59	4.51	4.04	4.78	4.31	4.03	4.79
	u	15.44	11.17	18.18	15.92	12.05	17.59	11.59	16.41	13.89	21.53	13.08	11.45	10.43	7.90	23.06	14.65
180 dk	e	2.31	2.74	2.97	2.55	2.01	3.43	1.86	2.14	2.93	2.37	2.74	2.69	2.16	4.61	3.54	2.74
	n	3.22	4.71	3.63	4.58	4.69	4.32	5.34	4.67	4.92	4.75	4.72	5.38	5.50	4.72	4.78	4.66
	u	9.36	3.65	5.95	8.92	4.93	10.25	7.86	8.97	9.02	12.05	10.88	8.27	6.36	7.21	22.11	9.05

Çizelge 4.7 Kaba hatalı ölçü oranları (%)

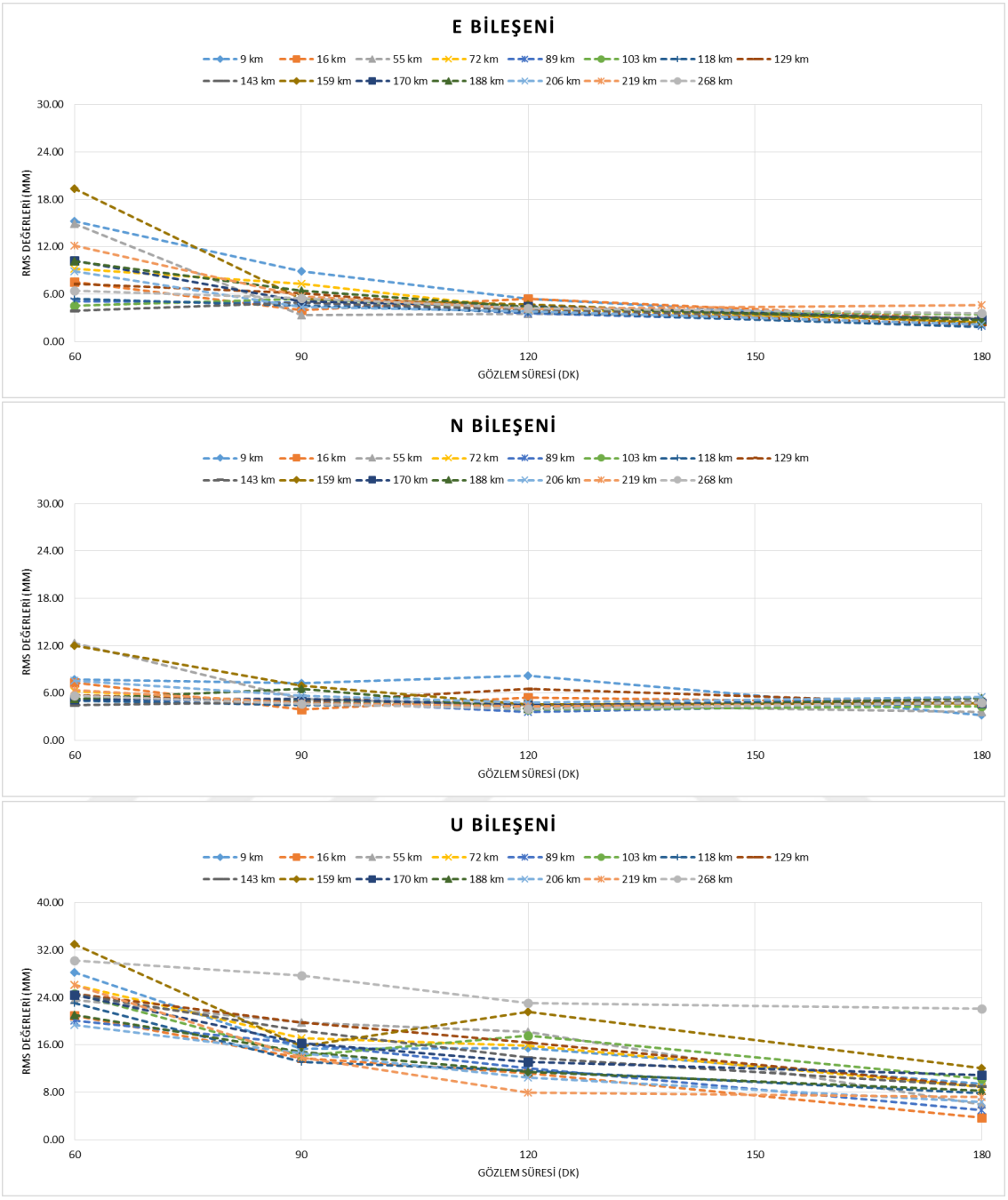
	Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi												
	Baz Uzunluğu (km)												
Göz. Sür.	9	16	55	72	89	103	118	129	143	159	170	188	206	219	268
60 dk	29	21	29	13	8	13	17	29	17	13	13	21	17	21	8
90 dk	13	25	19	13	13	13	6	19	6	25	6	6	13	13	6
120 dk	8	25	8	8	25	8	8	17	0	17	8	8	8	8	0
180 dk	13	13	13	0	0	0	0	0	0	13	38	0	25	13	0

	Toposentrik Koordinat Sistemi												
	Baz Uzunluğu (km)												
Göz. Sür.	9	16	55	72	89	103	118	129	143	159	170	188	206	219	268
60 dk	25	25	29	25	25	29	29	38	29	13	25	29	25	17	33
90 dk	13	25	19	19	6	13	13	13	6	13	13	6	13	13	6
120 dk	25	8	8	8	17	17	8	8	8	8	8	8	8	8	8
180 dk	13	13	38	13	13	0	38	13	0	13	0	0	0	0	0

Kaba hata analizi sonrası hesaplanan RMS değerleri incelenecek olursa RMS değerlerinin baz uzunluğu ile ilişkilli olmadığı görülmüştür. Ancak, gözlem süresi arttıkça, hem Jeosentrik Kartezyen koordinat sistemi için hem de Toposentrik koordinat sistemi için RMS değerleri azalmaktadır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 her iki koordinat sistemi için RMS değerlerinin gözlem süresine göre ilişkisini göstermektedir.



Şekil 4.3 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için gözlem süresine bağlı RMS değerleri



Şekil 4.4 Toposentrik Koordinat Sistemi için gözlem süresine bağlı RMS değerleri

4.5 SF Değerlerinin Belirlenmesi

GNSS çözümlerinden elde edilen VCV matrisleri iyimser sonuçlar içerdiği için ölçeklendirilmeleri gerekmektedir. SF değerlerinin belirlenme aşamasında A ve B yöntemi için yeniden bir kaba hata analizi uygulanmıştır. Her ne kadar hem GNSS çözüm aşamasında hem de RMS değerlerinin belirlenme aşamasında kaba hata analizleri

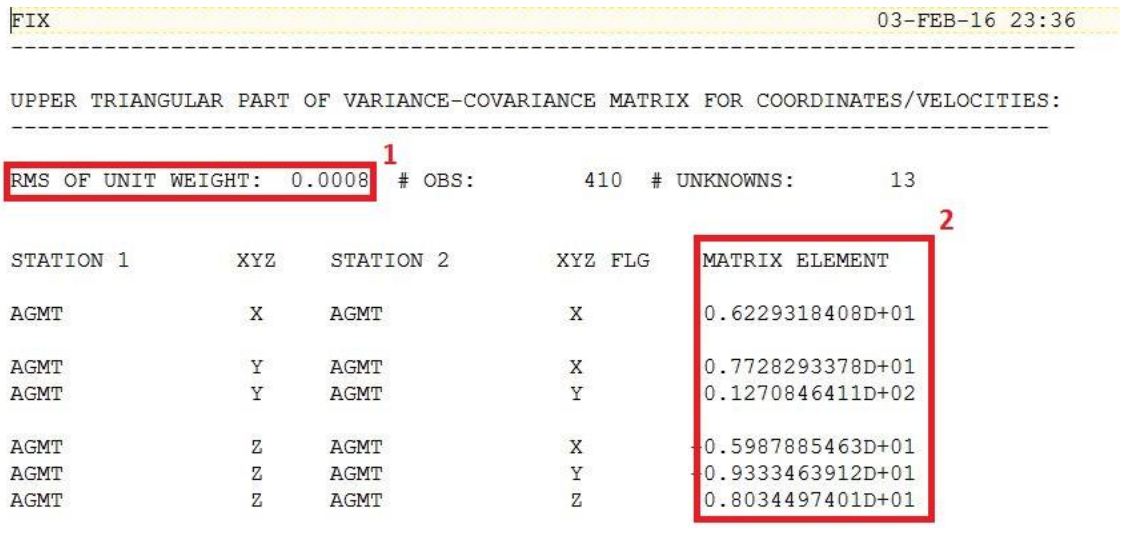
yapılmış olsa da SF değeri belirlenirken Pope yöntemi ile fonksiyondan sapan ölçüler belirlenmiş ve çözümden çıkartılmıştır. C yönteminde yeniden bir kaba hata analizi yapılmamıştır.

Her 3 yöntem için faklı stratejilerle çözüm gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 Uygulamada kullanılan yöntem ve stratejiler

	Her Bir Veri Seti İçin ①	**Her Bir Baz Uzunluğu İçin ②**	**Her Bir Gözlem Süresi İçin ③**	**Tümü İçin ④**
A Yöntemi	✓	✓	✓	✓
B Yöntemi	✓	✓	✓	✓
C Yöntemi	✓	×	×	×

Burada dikkat edilmesi gereken husus, uygulamada, ölçeklendirme aşamasında aslında programdan elde edilen sonsal standart sapmanın ölçeklendirildiğidir. Şekil 4.5 incelenecek olursa 1 numaralı değer sonsal standart sapmayı, 2 numaralı değerler ise kofaktör değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 4.5 Bernese yazılımı kofaktör matrisi çıktı dosyası

Uygulamada standart sapmalar hesaplanırken sonsal standart sapmalar ölçülerin kofaktörlerinin kareköküyle çarpılarak belirlenmiştir. Bu nedenle kofaktör matrisleri ölçeklendirilmek istendiğinde SF değerinin karesi kullanılmalıdır.

4.5.1 A Yöntemi

EKK yöntemi ile SF değerini belirlemeyi amaçlayan bu yöntemde; her bir veri seti için, her bir gözlem süresi için, her bir baz uzunluğu için ve tüm gözlemler için olmak üzere 4 farklı strateji uygulanmıştır.

Çizelge 4.9 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A-① stratejisi

	60 dk		**90 dk**		**120 dk**		**180 dk**	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	1.17	72.32	1.86	22.95	2.76	27.56	1.96	7.61
16	1.45	66.91	1.61	14.18	1.05	3.92	1.06	7.09
55	1.40	126.19	2.38	15.41	2.50	14.56	2.03	8.72
72	2.04	89.03	3.13	31.20	3.13	12.20	2.52	10.68
89	2.03	86.49	2.29	16.33	1.97	5.65	1.71	6.28
103	2.05	121.22	1.89	17.17	2.73	17.54	2.11	10.28
118	2.20	79.47	2.36	21.40	2.26	12.68	2.25	11.34
129	1.60	78.30	2.09	15.71	2.06	12.54	1.89	6.49
143	2.48	108.03	2.53	23.85	2.79	21.61	2.35	6.95
159	1.34	104.89	1.66	13.34	2.60	12.80	2.19	9.55
170	1.82	80.95	2.91	22.95	2.57	10.38	1.73	7.62
188	1.96	67.59	2.46	19.72	2.30	12.41	2.13	12.16
206	1.67	66.41	2.50	19.54	2.36	12.05	1.67	11.15
219	1.46	85.19	1.91	18.27	1.56	9.79	1.77	6.00
268	1.98	132.46	2.88	38.88	4.03	32.64	3.66	18.63
Toplam Norm (mm)	1365.46		310.90		218.34		140.55	

Çizelge 4.10 Toposentrik Koordinat Sistemi için A-① stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	1.17	82.84	1.78	30.37	2.27	22.10	2.16	5.91
16	1.00	51.59	1.78	16.21	1.57	15.86	0.90	10.97
55	1.34	125.79	2.37	16.25	2.51	12.70	1.19	7.20
72	3.14	111.24	3.10	31.62	3.32	10.93	2.38	7.81
89	2.82	85.46	2.90	15.21	2.68	8.60	1.51	9.94
103	2.65	133.15	2.18	22.02	3.26	16.65	2.13	9.13
118	2.76	106.12	2.32	20.65	2.57	14.62	2.18	9.02
129	2.55	103.77	2.86	31.44	2.67	22.66	1.74	9.28
143	2.92	38.16	3.05	28.20	2.93	12.49	2.28	10.06
159	1.36	110.75	1.78	24.09	3.20	15.56	2.19	9.28
170	2.36	53.95	2.72	21.42	2.72	12.21	2.64	8.48
188	2.88	88.86	2.61	24.11	2.56	13.19	2.12	12.41
206	1.77	60.69	3.02	24.15	2.61	13.63	1.82	12.82
219	1.31	84.44	2.27	23.18	1.50	13.17	1.75	12.49
268	2.94	65.13	2.80	33.65	3.74	22.59	4.06	17.27
Toplam Norm (mm)	1301.95		362.58		226.96		152.09	

Çizelge 4.11 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A-② stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	1.61	81.83	1.61	24.73	1.61	40.23	1.61	8.88
16	1.42	65.74	1.42	14.37	1.42	9.30	1.42	8.95
55	1.87	168.39	1.87	21.90	1.87	21.25	1.87	9.05
72	3.21	115.06	3.21	31.29	3.21	12.28	3.21	13.70
89	2.94	101.31	2.94	22.29	2.94	16.00	2.94	15.94
103	2.49	135.27	2.49	24.92	2.49	18.35	2.49	11.72
118	2.38	85.24	2.38	21.40	2.38	12.87	2.38	11.45
129	2.02	83.49	2.02	14.97	2.02	12.56	2.02	6.79
143	2.60	113.37	2.60	23.95	2.60	20.74	2.60	7.63
159	1.64	109.79	1.64	13.36	1.64	25.45	1.64	12.74
170	2.73	102.11	2.73	21.88	2.73	10.80	2.73	12.50
188	2.43	82.22	2.43	19.73	2.43	12.63	2.43	12.69
206	2.43	79.76	2.43	19.60	2.43	12.10	2.43	13.63
219	1.91	101.72	1.91	18.27	1.91	12.01	1.91	6.25
268	3.08	192.97	3.08	40.52	3.08	36.20	3.08	21.07
Toplam Norm (mm)	1618.26		333.18		272.78		173.00	

Çizelge 4.12 Toposentrik Koordinat Sistemi için A-② stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	1.30	83.81	1.30	35.08	1.30	30.77	1.30	10.74
16	1.35	59.40	1.35	15.15	1.35	16.88	1.35	12.89
55	1.70	155.29	1.70	26.24	1.70	23.74	1.70	9.77
72	3.03	106.66	3.03	30.44	3.03	10.73	3.03	10.64
89	2.66	79.70	2.66	15.12	2.66	8.50	2.66	15.75
103	2.52	125.72	2.52	28.09	2.52	14.38	2.52	10.77
118	2.58	98.08	2.58	24.90	2.58	14.69	2.58	9.71
129	2.58	105.34	2.58	27.31	2.58	21.98	2.58	15.43
143	2.88	37.33	2.88	25.93	2.88	12.17	2.88	12.59
159	1.62	114.32	1.62	24.73	1.62	37.30	1.62	12.78
170	2.51	56.65	2.51	19.62	2.51	11.82	2.51	8.64
188	2.65	81.12	2.65	24.37	2.65	13.83	2.65	13.99
206	2.29	73.18	2.29	21.17	2.29	12.97	2.29	13.91
219	2.23	110.74	2.23	22.64	2.23	19.71	2.23	14.20
268	3.08	69.79	3.08	35.31	3.08	19.52	3.08	19.32
Toplam Norm (mm)	1357.15		376.08		269.01		191.12	

Çizelge 4.13 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A-③ stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	1.56	79.87	2.23	26.56	2.47	28.52	2.13	7.94
16	1.56	71.86	2.23	26.63	2.47	32.32	2.13	17.60
55	1.56	138.82	2.23	16.05	2.47	14.58	2.13	8.86
72	1.56	93.93	2.23	40.17	2.47	16.89	2.13	11.70
89	1.56	90.80	2.23	16.39	2.47	9.56	2.13	8.04
103	1.56	117.90	2.23	19.96	2.47	18.49	2.13	10.28
118	1.56	70.86	2.23	21.72	2.47	13.25	2.13	11.44
129	1.56	78.35	2.23	17.80	2.47	15.17	2.13	7.47
143	1.56	83.45	2.23	25.32	2.47	20.60	2.13	7.46
159	1.56	107.54	2.23	22.28	2.47	13.14	2.13	9.60
170	1.56	82.86	2.23	25.08	2.47	10.53	2.13	8.60
188	1.56	61.75	2.23	20.60	2.47	12.79	2.13	12.16
206	1.56	66.70	2.23	20.50	2.47	12.17	2.13	12.11
219	1.56	87.94	2.23	20.51	2.47	20.66	2.13	7.54
268	1.56	127.45	2.23	43.33	2.47	46.34	2.13	31.93
Toplam Norm (mm)	1360.07		362.88		284.99		172.73	

Çizelge 4.14 Toposentrik Koordinat Sistemi için A-③ stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	1.51	89.18	2.24	34.65	2.58	23.17	1.94	5.57
16	1.51	67.17	2.24	26.96	2.58	31.45	1.94	19.09
55	1.51	138.43	2.24	16.73	2.58	12.80	1.94	12.08
72	1.51	74.52	2.24	24.74	2.58	14.57	1.94	9.17
89	1.51	55.31	2.24	19.60	2.58	8.19	1.94	10.95
103	1.51	80.55	2.24	22.87	2.58	13.98	1.94	9.58
118	1.51	65.92	2.24	19.66	2.58	14.69	1.94	9.28
129	1.51	63.39	2.24	25.98	2.58	21.98	1.94	9.72
143	1.51	49.55	2.24	25.23	2.58	11.66	1.94	10.91
159	1.51	111.97	2.24	29.15	2.58	18.65	1.94	10.06
170	1.51	57.96	2.24	19.61	2.58	11.82	1.94	12.24
188	1.51	61.71	2.24	23.94	2.58	13.32	1.94	12.61
206	1.51	58.39	2.24	21.44	2.58	13.48	1.94	12.90
219	1.51	85.89	2.24	22.77	2.58	25.37	1.94	12.77
268	1.51	62.98	2.24	39.69	2.58	24.65	1.94	33.96
Toplam Norm (mm)	1122.92		373.03		259.78		190.89	

Çizelge 4.15 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A-④ stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	1.96	99.98	1.96	23.22	1.96	34.27	1.96	7.61
16	1.96	96.01	1.96	19.72	1.96	20.96	1.96	15.31
55	1.96	177.86	1.96	20.03	1.96	19.69	1.96	8.78
72	1.96	89.17	1.96	45.34	1.96	24.01	1.96	12.70
89	1.96	86.59	1.96	18.05	1.96	5.65	1.96	6.96
103	1.96	119.56	1.96	17.28	1.96	24.77	1.96	10.52
118	1.96	73.82	1.96	24.18	1.96	13.80	1.96	11.91
129	1.96	82.14	1.96	14.53	1.96	12.70	1.96	6.58
143	1.96	89.80	1.96	28.85	1.96	23.54	1.96	8.47
159	1.96	124.60	1.96	16.32	1.96	19.47	1.96	10.18
170	1.96	81.52	1.96	29.73	1.96	15.21	1.96	7.96
188	1.96	67.59	1.96	23.64	1.96	13.80	1.96	12.35
206	1.96	68.54	1.96	23.16	1.96	13.71	1.96	11.54
219	1.96	104.12	1.96	18.33	1.96	12.62	1.96	6.46
268	1.96	131.93	1.96	48.83	1.96	57.05	1.96	34.31
Toplam Norm (mm)	1493.24		371.20		311.25		171.64	

Çizelge 4.16 Toposentrik Koordinat Sistemi için A-④ stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	2.24	132.68	2.24	34.65	2.24	22.11	2.24	6.37
16	2.24	116.88	2.24	26.96	2.24	24.03	2.24	22.92
55	2.24	212.65	2.24	16.73	2.24	14.38	2.24	15.36
72	2.24	80.61	2.24	24.74	2.24	19.22	2.24	7.95
89	2.24	66.56	2.24	19.60	2.24	9.12	2.24	12.62
103	2.24	110.57	2.24	22.87	2.24	17.33	2.24	9.27
118	2.24	84.33	2.24	19.66	2.24	13.39	2.24	9.03
129	2.24	88.35	2.24	25.98	2.24	21.28	2.24	11.81
143	2.24	33.39	2.24	25.23	2.24	13.94	2.24	10.07
159	2.24	146.05	2.24	29.15	2.24	24.40	2.24	9.31
170	2.24	52.48	2.24	19.61	2.24	13.08	2.24	9.86
188	2.24	69.75	2.24	23.94	2.24	12.39	2.24	12.49
206	2.24	71.62	2.24	21.44	2.24	13.05	2.24	13.70
219	2.24	111.25	2.24	22.77	2.24	19.86	2.24	14.26
268	2.24	52.05	2.24	39.69	2.24	30.35	2.24	29.60
Toplam Norm (mm)	1429.20		373.03		267.93		194.62	

Çizelge 4.17 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A yöntemi özet tablosu

	Gözlem Süresi				
Baz Uzunluğu (km)	***60 dk***	***90 dk***	***120 dk***	***180 dk***	
9	1.17	1.86	2.76	1.96	*1.61*
16	1.45	1.61	1.05	1.06	*1.42*
55	1.40	2.38	2.50	2.03	*1.87*
72	2.04	3.13	3.13	2.52	*3.21*
89	2.03	2.29	1.97	1.71	*2.94*
103	2.05	1.89	2.73	2.11	*2.49*
118	2.20	2.36	2.26	2.25	*2.38*
129	1.60	2.09	2.06	1.89	*2.02*
143	2.48	2.53	2.79	2.35	*2.60*
159	1.34	1.66	2.60	2.19	*1.64*
170	1.82	2.91	2.57	1.73	*2.73*
188	1.96	2.46	2.30	2.13	*2.43*
206	1.67	2.50	2.36	1.67	*2.43*
219	1.46	1.91	1.56	1.77	*1.91*
268	1.98	2.88	4.03	3.66	*3.08*
	1.56	*2.23*	*2.47*	*2.13*	1.96

Çizelge 4.18 Toposentrik Koordinat Sistemi için A yöntemi özet tablosu

	Gözlem Süresi				
Baz Uzunluğu (km)	***60 dk***	***90 dk***	***120 dk***	***180 dk***	
9	1.17	1.78	2.27	2.16	*1.30*
16	1.00	1.78	1.57	0.90	*1.35*
55	1.34	2.37	2.51	1.19	*1.70*
72	3.14	3.10	3.32	2.38	*3.03*
89	2.82	2.90	2.68	1.51	*2.66*
103	2.65	2.18	3.26	2.13	*2.52*
118	2.76	2.32	2.57	2.18	*2.58*
129	2.55	2.86	2.67	1.74	*2.58*
143	2.92	3.05	2.93	2.28	*2.88*
159	1.36	1.78	3.20	2.19	*1.62*
170	2.36	2.72	2.72	2.64	*2.51*
188	2.88	2.61	2.56	2.12	*2.65*
206	1.77	3.02	2.61	1.82	*2.29*
219	1.31	2.27	1.50	1.75	*2.23*
268	*2.94*	*2.80*	*3.74*	*4.06*	*3.08*
	1.51	*2.24*	*2.58*	*1.94*	2.24

Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18, A yöntemi için SF değerlerini özet halinde göstermektedir. En alt satır gözlem süreleri için kestirilen SF değerlerini, en sağ sütun baz uzunlukları için kestirilen SF değerlerini ve sağ en alttaki değer tüm veriler için kestirilen SF değerini içermektedir.

Çizelge 4.19 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için A yöntemi toplam norm değerleri tablosu (mm)

Strateji	**60 dk**	**90 dk**	**120 dk**	**180 dk**	
①	1365.46	310.90	218.34	140.55	*2035.25*
②	1618.26	333.18	272.78	173.00	*2397.23*
③	1360.07	362.88	284.99	172.73	*2180.67*
④	1493.24	371.20	311.25	171.64	*2347.33*
	5837.03	*1378.16*	*1087.37*	*657.92*	

Çizelge 4.20 Toposentrik Koordinat Sistemi için A yöntemi toplam norm değerleri tablosu (mm)

Strateji	60 dk	90 dk	120 dk	180 dk	
①	1301.95	362.58	226.96	152.09	*2043.58*
②	1357.15	376.08	269.01	191.12	*2193.36*
③	1122.92	373.03	259.78	190.89	*1946.62*
④	1429.20	373.03	267.93	194.62	*2264.78*
	5211.22	*1484.72*	*1023.68*	*728.72*	

Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20, A yöntemi için toplam norm değerlerini göstermektedir. En alt satır gözlem süreleri için toplam norm değerlerini, en sağ sütun her bir srateji için toplam norm değerlerini içermektedir.

4.5.2 B Yöntemi

EKK yöntemi ile SF değerini belirlemeyi amaçlayan bu yöntemde her bir veri seti için, her bir gözlem süresi için, her bir baz uzunluğu için ve tüm gözlemler için olmak üzere 4 farklı strateji uygulanmıştır.

Çizelge 4.21 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B-① stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	2.57	142.36	2.30	27.93	3.24	30.20	2.10	7.83
16	1.93	93.96	1.79	16.30	1.07	3.96	1.22	7.51
55	2.52	241.93	2.60	16.88	2.75	15.82	2.27	9.46
72	3.50	127.28	3.41	32.19	3.25	12.38	2.66	10.83
89	3.25	111.79	2.29	16.33	2.08	5.89	1.87	6.57
103	3.40	185.52	2.13	18.59	3.19	20.49	2.33	10.78
118	3.03	113.30	2.65	22.85	2.54	13.67	2.56	11.98
129	2.54	101.77	2.11	15.96	2.22	12.99	2.11	7.32
143	2.93	129.52	2.90	26.15	3.17	25.33	2.53	7.31
159	2.81	191.09	1.88	15.02	2.87	14.21	2.37	9.94
170	3.21	124.84	3.07	24.79	2.69	10.62	1.86	7.73
188	2.78	96.46	2.76	21.26	2.68	14.16	2.56	13.23
206	3.21	111.32	2.89	21.52	2.69	13.15	1.83	11.27
219	2.67	145.26	2.22	20.38	1.77	10.63	1.99	6.61
268	3.51	226.59	3.22	42.44	4.41	36.44	4.06	19.81
Toplam Norm (mm)	2142.99		338.58		239.94		148.21	

Çizelge 4.22 Toposentrik Koordinat Sistemi için B-① stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	3.15	208.79	3.52	70.20	4.08	45.90	2.44	8.01
16	2.31	122.23	2.17	25.06	2.91	39.34	2.34	24.24
55	4.14	449.62	2.76	20.19	2.89	15.70	2.41	17.33
72	3.97	149.69	3.72	44.35	3.81	15.67	3.58	15.42
89	3.00	92.28	3.67	26.28	3.19	13.82	3.24	20.87
103	2.71	136.65	3.16	44.04	3.35	17.81	3.35	20.19
118	2.89	112.17	3.02	34.15	3.42	25.17	3.77	16.95
129	2.93	124.50	3.35	42.57	3.65	38.11	2.86	18.89
143	2.65	33.72	3.42	35.02	3.48	18.77	3.70	20.48
159	4.57	363.85	3.18	55.32	3.50	18.74	3.08	16.44
170	3.58	92.88	3.47	35.31	3.57	22.13	3.67	15.58
188	3.81	125.71	4.14	51.11	3.44	23.76	4.00	26.19
206	4.33	162.33	4.01	40.92	3.83	27.25	3.95	27.63
219	3.87	216.18	3.12	41.37	2.90	31.04	3.65	29.53
268	3.09	70.14	3.32	39.02	3.49	20.10	4.18	18.08
Toplam Norm (mm)	2460.73		604.92		373.32		295.82	

Çizelge 4.23 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B-② stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	2.57	142.36	2.57	34.49	2.57	27.97	2.57	11.08
16	1.63	75.48	1.63	14.32	1.63	13.73	1.63	11.16
55	2.53	243.13	2.53	16.12	2.53	14.58	2.53	11.60
72	3.29	118.28	3.29	31.53	3.29	12.52	3.29	14.34
89	2.56	91.75	2.56	17.50	2.56	10.71	2.56	11.92
103	2.87	153.65	2.87	34.22	2.87	17.84	2.87	15.25
118	2.73	99.24	2.73	23.73	2.73	15.30	2.73	12.83
129	2.20	88.60	2.20	17.29	2.20	12.89	2.20	8.07
143	2.92	129.00	2.92	26.40	2.92	22.62	2.92	9.98
159	2.51	164.79	2.51	29.76	2.51	12.96	2.51	10.73
170	2.93	110.97	2.93	23.14	2.93	12.33	2.93	14.11
188	2.72	93.88	2.72	20.89	2.72	14.51	2.72	14.13
206	2.85	95.40	2.85	21.15	2.85	14.39	2.85	16.53
219	2.26	120.15	2.26	20.92	2.26	17.07	2.26	8.65
268	3.70	242.33	3.70	52.64	3.70	31.69	3.70	18.64
Toplam Norm (mm)	1969.00		384.09		251.11		189.03	

Çizelge 4.24 Toposentrik Koordinat Sistemi için B-② stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	3.33	224.88	3.33	64.03	3.33	32.33	3.33	18.38
16	2.42	130.74	2.42	32.08	2.42	27.84	2.42	25.32
55	3.20	329.27	3.20	30.25	3.20	21.12	3.20	26.94
72	3.81	141.88	3.81	46.42	3.81	15.67	3.81	17.66
89	3.27	103.05	3.27	19.14	3.27	14.89	3.27	21.15
103	3.07	158.33	3.07	41.61	3.07	14.67	3.07	16.60
118	3.11	122.79	3.11	36.23	3.11	20.62	3.11	12.32
129	3.21	140.58	3.21	39.05	3.21	29.89	3.21	23.53
143	3.19	44.91	3.19	30.53	3.19	14.96	3.19	15.24
159	3.67	272.96	3.67	71.39	3.67	21.43	3.67	24.43
170	3.56	92.05	3.56	37.37	3.56	21.98	3.56	14.43
188	3.86	127.85	3.86	44.73	3.86	30.40	3.86	24.69
206	4.07	149.65	4.07	42.12	4.07	30.72	4.07	28.86
219	3.43	185.21	3.43	49.47	3.43	40.91	3.43	26.75
268	3.42	82.72	3.42	41.06	3.42	19.67	3.42	16.88
Toplam Norm (mm)	2306.88		625.49		357.11		313.16	

Çizelge 4.25 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B-③ stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	2.95	171.96	2.57	34.49	2.76	27.56	2.30	8.84
16	2.95	172.46	2.57	36.46	2.76	38.81	2.30	19.96
55	2.95	294.57	2.57	16.53	2.76	15.92	2.30	9.65
72	2.95	105.55	2.57	34.95	2.76	13.85	2.30	11.01
89	2.95	101.62	2.57	17.59	2.76	13.43	2.30	9.44
103	2.95	158.07	2.57	26.74	2.76	17.56	2.30	10.66
118	2.95	109.41	2.57	22.16	2.76	15.61	2.30	11.35
129	2.95	121.90	2.57	24.97	2.76	19.18	2.30	9.07
143	2.95	130.56	2.57	23.89	2.76	21.42	2.30	6.97
159	2.95	203.99	2.57	31.44	2.76	13.31	2.30	9.70
170	2.95	111.91	2.57	21.94	2.76	10.96	2.30	9.49
188	2.95	104.03	2.57	19.94	2.76	14.89	2.30	12.33
206	2.95	99.64	2.57	19.60	2.76	13.65	2.30	12.90
219	2.95	163.76	2.57	26.54	2.76	25.93	2.30	9.03
268	2.95	183.53	2.57	39.19	2.76	41.03	2.30	29.64
Toplam Norm (mm)	2232.94		396.43		303.11		180.05	

Çizelge 4.26 Toposentrik Koordinat Sistemi için B-③ stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	3.40	231.18	3.35	64.68	3.41	33.64	3.36	18.76
16	3.40	209.63	3.35	60.59	3.41	51.88	3.36	38.51
55	3.40	354.58	3.35	34.23	3.41	25.44	3.36	28.93
72	3.40	122.64	3.35	36.34	3.41	11.46	3.36	13.38
89	3.40	108.42	3.35	20.40	3.41	16.84	3.36	21.99
103	3.40	179.01	3.35	49.26	3.41	18.65	3.36	20.32
118	3.40	137.34	3.35	41.92	3.41	25.01	3.36	13.95
129	3.40	151.75	3.35	42.57	3.41	33.46	3.36	25.58
143	3.40	51.19	3.35	33.58	3.41	17.78	3.36	16.90
159	3.40	246.62	3.35	60.81	3.41	17.54	3.36	20.12
170	3.40	85.51	3.35	32.65	3.41	19.72	3.36	12.47
188	3.40	108.65	3.35	34.09	3.41	23.31	3.36	19.62
206	3.40	118.01	3.35	28.83	3.41	21.52	3.36	21.85
219	3.40	183.14	3.35	47.35	3.41	40.54	3.36	25.88
268	3.40	81.91	3.35	39.61	3.41	19.62	3.36	17.20
Toplam Norm (mm)	2369.59		626.90		376.41		315.46	

Çizelge 4.27 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B-④ stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	2.72	153.86	2.72	38.73	2.72	27.58	2.72	12.59
16	2.72	153.75	2.72	40.99	2.72	37.91	2.72	25.95
55	2.72	266.17	2.72	18.69	2.72	15.55	2.72	13.69
72	2.72	98.59	2.72	33.26	2.72	14.20	2.72	10.98
89	2.72	95.26	2.72	19.17	2.72	12.88	2.72	13.57
103	2.72	145.84	2.72	30.37	2.72	17.54	2.72	13.69
118	2.72	98.80	2.72	23.61	2.72	15.20	2.72	12.78
129	2.72	110.16	2.72	28.64	2.72	18.56	2.72	14.40
143	2.72	119.01	2.72	24.49	2.72	21.20	2.72	8.37
159	2.72	182.98	2.72	35.75	2.72	13.09	2.72	12.53
170	2.72	101.69	2.72	21.86	2.72	10.75	2.72	12.42
188	2.72	93.88	2.72	20.89	2.72	14.51	2.72	14.13
206	2.72	90.15	2.72	20.19	2.72	13.35	2.72	15.56
219	2.72	148.50	2.72	29.88	2.72	25.19	2.72	13.54
268	2.72	167.93	2.72	38.60	2.72	41.72	2.72	24.52
Toplam Norm (mm)	2026.58		425.12		299.22		218.70	

Çizelge 4.28 Toposentrik Koordinat Sistemi için B-④ stratejisi

	60 dk		90 dk		120 dk		180 dk	
Baz Uzunluğu (km)	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***	***SF***	***Norm (mm)***
9	3.38	229.38	3.38	65.54	3.38	33.15	3.38	19.01
16	3.38	207.99	3.38	61.53	3.38	51.11	3.38	38.80
55	3.38	352.04	3.38	35.04	3.38	24.80	3.38	29.18
72	3.38	121.74	3.38	36.95	3.38	11.26	3.38	13.56
89	3.38	107.59	3.38	20.90	3.38	16.42	3.38	22.18
103	3.38	177.74	3.38	50.09	3.38	18.22	3.38	20.59
118	3.38	136.32	3.38	42.65	3.38	24.55	3.38	14.09
129	3.38	150.57	3.38	43.35	3.38	32.90	3.38	25.85
143	3.38	50.57	3.38	34.19	3.38	17.37	3.38	17.10
159	3.38	244.69	3.38	61.79	3.38	17.18	3.38	20.39
170	3.38	84.71	3.38	33.31	3.38	19.28	3.38	12.66
188	3.38	107.85	3.38	34.67	3.38	22.86	3.38	19.81
206	3.38	117.09	3.38	29.31	3.38	21.14	3.38	22.03
219	3.38	181.76	3.38	48.14	3.38	39.97	3.38	26.13
268	3.38	81.11	3.38	40.21	3.38	19.48	3.38	17.08
Toplam Norm (mm)	2351.14		637.79		369.69		318.47	

Çizelge 4.29 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B yöntemi özet tablosu

	Gözlem Süresi				
Baz Uzunluğu (km)	***60 dk***	***90 dk***	***120 dk***	***180 dk***	
9	2.57	2.30	3.24	2.10	*2.57*
16	1.93	1.79	1.07	1.22	*1.63*
55	2.52	2.60	2.75	2.27	*2.53*
72	3.50	3.41	3.25	2.66	*3.29*
89	3.25	2.29	2.08	1.87	*2.56*
103	3.40	2.13	3.19	2.33	*2.87*
118	3.03	2.65	2.54	2.56	*2.73*
129	2.54	2.11	2.22	2.11	*2.20*
143	2.93	2.90	3.17	2.53	*2.92*
159	2.81	1.88	2.87	2.37	*2.51*
170	3.21	3.07	2.69	1.86	*2.93*
188	2.78	2.76	2.68	2.56	*2.72*
206	3.21	2.89	2.69	1.83	*2.85*
219	2.67	2.22	1.77	1.99	*2.26*
268	3.51	3.22	4.41	4.06	*3.70*
	2.95	*2.57*	*2.76*	*2.30*	2.72

Çizelge 4.30 Toposentrik Koordinat Sistemi için B yöntemi özet tablosu

	Gözlem Süresi				
Baz Uzunluğu (km)	***60 dk***	***90 dk***	***120 dk***	***180 dk***	
9	3.15	3.52	4.08	2.44	*3.33*
16	2.31	2.17	2.91	2.34	*2.42*
55	4.14	2.76	2.89	2.41	*3.20*
72	3.97	3.72	3.81	3.58	*3.81*
89	3.00	3.67	3.19	3.24	*3.27*
103	2.71	3.16	3.35	3.35	*3.07*
118	2.89	3.02	3.42	3.77	*3.11*
129	2.93	3.35	3.65	2.86	*3.21*
143	2.65	3.42	3.48	3.70	*3.19*
159	4.57	3.18	3.50	3.08	*3.67*
170	3.58	3.47	3.57	3.67	*3.56*
188	3.81	4.14	3.44	4.00	*3.86*
206	4.33	4.01	3.83	3.95	*4.07*
219	3.87	3.12	2.90	3.65	*3.43*
268	3.09	3.32	3.49	4.18	*3.42*
	3.40	*3.35*	*3.41*	*3.36*	3.38

Çizelge 4.29 ve Çizelge 4.30, B yöntemi için SF değerlerini özet halinde göstermektedir. En alt satır gözlem süreleri için kestirilen SF değerlerini, en sağ sütun baz uzunlukları için kestirilen SF değerlerini ve sağ en alttaki değer tüm veriler için kestirilen SF değerini içermektedir.

Çizelge 4.31 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için B yöntemi toplam norm değerleri tablosu (mm)

Strateji	**60 dk**	**90 dk**	**120 dk**	**180 dk**	
①	2142.99	338.58	239.94	148.21	*2869.71*
②	1969.00	384.09	251.11	189.03	*2793.22*
③	2232.94	396.43	303.11	180.05	*3112.53*
④	2026.58	425.12	299.22	218.70	*2969.63*
	8371.50	*1544.22*	*1093.38*	*735.99*	

Çizelge 4.32 Toposentrik Koordinat Sistemi için B yöntemi toplam norm değerleri tablosu (mm)

Strateji	60 dk	90 dk	120 dk	180 dk	
①	2460.73	604.92	373.32	295.82	*3734.80*
②	2306.88	625.49	357.11	313.16	*3602.63*
③	2369.59	626.90	376.41	315.46	*3688.37*
④	2351.14	637.79	369.69	318.47	*3677.10*
	9488.35	*2495.10*	*1476.54*	*1242.91*	

Çizelge 4.31 ve Çizelge 4.32, B yöntemi için toplam norm değerlerini göstermektedir. En alt satır gözlem süreleri için toplam norm değerlerini, en sağ sütun her bir strateji için toplam norm değerlerini içermektedir.

4.5.3 C Yöntemi

C yöntemi diğer yöntemlerden farklı olarak 4 farklı stratejiyle gerçekleşmemiştir. Çünkü EKK gibi bir yöntem yardımıyla model kestirimi yapılmadığı için, ancak her bir veri seti için çözüm gerçekleştirilebilmiştir.

Çizelge 4.33 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için C yöntemi 60 dk

60 dk				
Baz Uzunluğu (km)	***SF X***	***SF Y***	***SF Z***	***Norm (mm)***
9	1.87	2.35	2.90	122.76
16	2.53	1.81	1.74	103.50
55	3.65	2.48	2.06	298.76
72	2.96	4.37	3.38	145.09
89	2.16	4.49	3.39	137.25
103	3.22	5.19	2.57	261.42
118	3.02	3.02	3.24	114.55
129	1.93	3.80	2.19	133.14
143	2.32	3.71	3.35	130.73
159	2.46	3.09	2.13	187.63
170	3.19	3.20	3.02	122.96
188	2.12	2.96	3.25	92.58
206	3.39	3.25	3.26	115.50
219	2.14	3.27	3.31	148.16
268	3.13	4.15	3.55	258.19
Toplam Norm (mm)				2372.23

Çizelge 4.34 Toposentrik Koordinat Sistemi için C yöntemi 60 dk

60 dk				
Baz Uzunluğu (km)	***SF e***	***SF n***	***SF u***	***Norm (mm)***
9	4.26	3.48	2.69	245.20
16	3.55	2.44	1.64	128.80
55	5.71	6.18	2.05	505.80
72	4.68	4.39	3.29	153.89
89	2.59	3.78	2.75	79.06
103	1.79	3.44	2.87	115.86
118	2.48	3.41	3.07	105.10
129	2.95	3.48	2.49	113.67
143	1.72	3.11	2.97	37.64
159	6.16	5.39	2.18	338.85
170	5.03	3.77	2.58	88.76
188	5.10	3.69	3.01	146.62
206	4.97	6.15	2.77	140.62
219	5.77	4.05	3.01	225.72
268	2.84	3.38	3.04	69.05
Toplam Norm (mm)				2494.64

Çizelge 4.35 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için C yöntemi 90 dk

90 dk				
Baz Uzunluğu (km)	***SF X***	***SF Y***	***SF Z***	***Norm (mm)***
9	2.93	1.92	2.11	27.54
16	2.14	1.53	1.83	14.69
55	2.38	2.53	2.82	16.88
72	2.58	4.28	3.55	31.78
89	1.67	3.06	2.12	12.52
103	1.94	2.32	2.25	19.02
118	2.40	3.16	2.47	22.36
129	2.10	2.14	2.23	16.71
143	2.61	3.39	3.10	28.53
159	1.88	1.83	2.00	15.14
170	3.49	3.14	2.79	27.14
188	2.55	3.21	2.62	21.66
206	2.54	2.68	3.56	20.20
219	2.04	2.21	2.51	20.38
268	2.49	3.66	3.89	42.51
Toplam Norm (mm)				337.08

Çizelge 4.36 Toposentrik Koordinat Sistemi için C yöntemi 90 dk

90 dk				
Baz Uzunluğu (km)	***SF e***	***SF n***	***SF u***	***Norm (mm)***
9	4.54	4.83	1.93	46.69
16	3.02	2.05	1.65	13.67
55	1.90	3.94	2.60	16.53
72	4.59	3.91	2.86	32.35
89	3.28	4.39	2.85	13.69
103	3.07	4.28	2.07	18.30
118	2.85	4.02	2.15	17.32
129	2.99	3.94	2.87	31.42
143	3.19	4.28	3.21	30.75
159	2.69	5.26	2.07	27.78
170	3.17	4.64	2.62	21.29
188	4.01	5.42	2.58	20.59
206	3.24	5.81	2.80	19.12
219	3.37	3.85	2.14	19.89
268	2.91	3.65	3.44	39.49
Toplam Norm (mm)				368.65

Çizelge 4.37 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için C yöntemi 120 dk

120 dk				
Baz Uzunluğu (km)	***SF X***	***SF Y***	***SF Z***	***Norm (mm)***
9	3.85	4.19	2.34	34.28
16	0.92	1.11	1.21	3.40
55	2.70	2.37	3.26	14.07
72	2.96	2.97	3.86	10.15
89	2.18	2.12	2.07	6.08
103	3.47	3.11	3.41	21.88
118	2.20	2.52	3.08	13.26
129	1.90	2.19	2.77	10.38
143	3.51	2.75	3.54	22.98
159	3.17	2.73	3.22	15.83
170	2.29	2.82	2.88	9.57
188	3.11	2.17	3.04	12.28
206	2.53	2.21	3.40	10.56
219	1.69	1.43	2.25	8.35
268	4.21	4.45	4.93	37.89
Toplam Norm (mm)				230.97

Çizelge 4.38 Toposentrik Koordinat Sistemi için C yöntemi 120 dk

120 dk				
Baz Uzunluğu (km)	***SF e***	***SF n***	***SF u***	***Norm (mm)***
9	3.30	6.18	2.71	22.62
16	4.40	2.92	1.59	11.25
55	2.50	3.66	2.68	13.02
72	3.32	4.82	3.25	9.86
89	3.16	3.85	2.56	7.22
103	3.03	4.10	3.26	16.47
118	3.11	4.68	2.48	12.30
129	2.58	5.86	2.83	22.24
143	3.28	4.38	2.80	10.64
159	3.12	4.14	3.49	18.21
170	3.50	4.83	2.60	11.00
188	3.56	4.26	2.52	11.35
206	3.42	5.67	2.41	9.27
219	3.13	4.10	1.45	6.84
268	2.88	3.96	3.62	20.71
Toplam Norm (mm)				203.00

Çizelge 4.39 Jeosentrik Kartezyen Koordinat Sistemi için C yöntemi 180 dk

180 dk				
Baz Uzunluğu (km)	***SF X***	***SF Y***	***SF Z***	***Norm (mm)***
9	1.73	1.76	2.74	4.96
16	1.23	0.64	1.83	1.95
55	2.30	1.89	2.97	8.36
72	2.23	2.09	3.97	6.47
89	1.76	1.42	2.46	4.44
103	2.28	1.71	3.07	6.91
118	2.13	1.93	3.65	8.57
129	2.43	1.86	2.42	7.09
143	2.38	2.31	3.09	6.45
159	2.22	1.87	3.32	8.31
170	2.82	2.02	0.80	4.07
188	2.64	1.73	3.81	9.74
206	0.79	1.40	3.51	6.36
219	2.04	1.51	2.40	5.00
268	3.32	3.99	5.38	19.21
Toplam Norm (mm)				107.89

Çizelge 4.40 Toposentrik Koordinat Sistemi için C yöntemi 180 dk

180 dk				
Baz Uzunluğu (km)	***SF e***	***SF n***	***SF u***	***Norm (mm)***
9	1.76	3.07	2.08	5.04
16	2.82	3.33	0.67	1.39
55	2.77	3.65	1.30	4.97
72	2.72	5.85	2.31	3.52
89	2.33	6.09	1.30	2.68
103	3.08	5.05	2.13	6.24
118	2.06	7.14	2.28	4.82
129	1.85	5.44	1.90	6.42
143	2.94	5.93	2.31	5.73
159	1.89	4.71	2.33	6.63
170	2.66	5.61	2.51	5.16
188	2.95	7.56	2.42	9.34
206	2.46	7.85	1.84	6.36
219	4.15	5.14	1.61	5.23
268	3.08	5.55	4.27	17.65
Toplam Norm (mm)				91.18

C yöntemi için bir özet tablo oluşturulmamıştır. Çünkü C yönteminde gözlem süreleri için, baz uzunlukları için ve tüm veriler için çözüm gerçekleştirilememektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde kısa süreli GPS baz çözümlerinde VCV matrislerinin güvenirliği araştırılmıştır. 9 ile 268 km arasında değişen 15 bazın, 60-180 dakikalık gözlemleri Bernese v5.2 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Ölçeklendirme aşaması için 3 farklı yöntem ve bu 3 yöntemin ikisinde de 4 farklı stratejiyle çözüm gerçekleştirilmiştir. Tezde toplam 9 çözümün sonuçları incelenmiştir.

Çalışma hem Jeosentrik Kartezyen koordinat sisteminde hem de Toposentrik koordinat sisteminde uygulanmıştır. Her iki koordinat sistemi için çözümler kendi içinde irdelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, her iki koordinat sistemi için de SF değerlerinin baz uzunluğuna bağlı olmadığı görülmektedir. Ancak, her ne kadar tam bir bağımlılık söz konusu olmasa da aynı sonucu gözlem süresi için söylemek doğru değildir.

Jeosentrik Kartezyen koordinat sistemi için gerçekleştirilen çözümlerde norm değerlerinin gözlem süresi arttıkça düştüğü görülmektedir. Ancak, norm değerleri baz uzunlukları özelinde incelendiğinde baz uzunluklarından bağımsız olarak değişmektedir. Bu sonuç literatürdeki 300 km'ye kadar olan çalışmalar incelendiğinde beklenen bir durumdur. Çünkü bu çalışmalarda GNSS gözlemlerinin doğruluğu gözlem süresine bağlı olarak ifade edilmiştir.

60 dakikalık Jeosentrik Kartezyen koordinat sistemi sonuçları incelendiğinde; A yöntemi için, ① ve ③ statejileri diğer iki stratejiye göre norm değerleri açısından daha iyi sonuç vermektedir. Ancak, 90 dakikalık sonuçlar dikkate alındığında ① stratejisi diğer

stratejilere göre daha düşük norm değerlerine sahiptir. Benzer olarak 120 ve 180 dakikalık sonuçlar incelendiğinde de ① stratejisi öne çıkmaktadır.

Jeosentrik Kartezyen koordinat sistemi için B yöntemi sonuçları incelendiğinde, 60 dakikalık sonuçlar dışında en düşük norm değerini ① stratejisinin sağladığı söylenebilmektedir. 60 dakikalık çözümlerde ise ② stratejisi en düşük toplam norm değerine sahiptir.

C yöntemi ise 180 dakikalık gözlemlerde A ve B yöntemlerinden daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca, 60 dakikalık gözlemler dışında C yöntemi, B yöntemine göre daha düşük norm değerlerine sahiptir. Ancak, C yöntemi, A yöntemine göre daha yüksek norm değerlerine sahiptir.

Tüm Jeosentrik Kartezyen koordinat sistemi sonuçları incelendiğinde genel olarak en düşük norm değerleri ① stratejisinde elde edilmiştir. ① stratejisi bazları ve gözlem sürelerini kendi içerisinde değerlendirmektedir. Bu bakımdan daha düşük norm değerini vermesi beklenen bir durumdur.

Toposentrik koordinat sistemi sonuçları incelendiğinde, A yöntemi için 60 dakikalık sonuçlar dışında en düşük norm değerleri ① stratejisiyle sağlanmıştır. 60 dakikalık gözlemlerde en düşük norm değerini ③ stratejisi vermiştir. Diğer gözlem sürelerinde ① stratejisi dışındaki stratejiler bibirlerine yakın sonuçlar vermiştir.

B yönteminde ise Toposentrik koordinat sistemi sonuçları A yönteminde olduğu gibi 60 dakikalık gözlemler dışında en düşük norm değerleri ① stratejisiyle sağlanmıştır. A yönteminin aksine, B yönteminde 60 dakikalık gözlemlerde en düşük norm değerleri ② stratejisiyle sağlanmıştır. Diğer gözlem sürelerinde ① stratejisi dışında en düşük norm değerini ② ve ③ stratejisi vermiştir.

Toposentrik koordinat sistemi sonuçları için C yöntemi; 120 ve 180 dakikalık gözlem sürelerinde A ve B yöntemlerinden daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca, 60 dakikalık gözlemler dışında C yöntemi, B yöntemine göre daha düşük norm değerlerine sahiptir.

Her ne kadar C yöntemi norm değerleri bakımından her iki koordinat sisteminden bazı durumlarda daha iyi sonuçlar vermiş olsa tezin amacı VCV matrislerini ölçeklendirmek olduğundan C yöntemini tercih etmek bizi amacımıza tam olarak ulaştırmayacaktır.

Çünkü C yönteminde her koordinat bileşeni için ayrı ayrı SF değeri belirlenmektedir. Ancak, koordinat bileşenleri ayrı ayrı inceleniyorsa tercih edilebilir.

Sonuçlar, her iki koordinat sistemi için de norm değerleri toplamlarına göre incelendiğinde de A yönteminin diğer iki yönteme göre daha düşük toplam norm değerlerine sahip olduğu görülebilmektedir. A yöntemi içerisindeki stratejiler de norm değerleri toplamlarına göre incelendiğinde ① stratejisinin diğer stratejilere göre daha iyi sonuçlandığı ortaya çıkmaktadır. Bu durum ① stratejisinin benzer özellikteki daha küçük ölçü kümelerine uygulanmasından ortaya çıkmaktadır.

A yöntemi içerisindeki stratejiler kendi aralarında incelendiğinde ① stratejisinden sonra en iyi sonucu ③ stratejisi vermektedir. ① stratejisi her bir veri seti için, ③ stratejisi her bir gözlem süresi için gerçekleştirilmiştir. GNSS gözlemlerinin doğruluğunun araştırıldığı çalışmalarda, 300 km'den daha kısa bazlarda doğruluğun genellikle gözlem süresine bağlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ① stratejisine ait tablolar incelendiğinde aynı gözlem süresinde farklı baz uzunluklarındaki SF değişimini yorumlamak için uygun bir model kestirmek çok zordur. Buna karşın ③ stratejisinde gözlem süresine bağlı bir çıkarım yapılabilmektedir. Bu durumlar dikkate alındığında SF değerinin A yönteminde gözlem süresine bağlı belirlenmesi gerçekçi olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Stewart, M. ve Rizos, C., (2002). GPS projects: some planning issues, Taylor & Francis, London.

[2] Eckl, M. Snay, R. Soler, T. Cline, M. ve Mader, G., (2001). "Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration", Journal of Geodesy, 75: 633-640.

[3] Soler, T. Michalak, P. Weston, N. Snay, R. ve Foote, R., (2006). "Accuracy of OPUS solutions for 1-to 4-h observing sessions", GPS solutions, 10: 45-55.

[4] Firuzabadì, D. ve King, R.W., (2012). "GPS precision as a function of session duration and reference frame using multi-point software", GPS solutions, 16: 191-196.

[5] Tut, I. Sanli, D. Erdogan, B. ve Hekimoğlu, S., (2013). "Efficiency of BERNESE single baseline rapid static positioning solutions with search strategy", Survey Review, 45: 296-304.

[6] Hastaoglu, K. ve Sanli, D., (2011). "Monitoring Koyulhisar landslide using rapid static GPS: a strategy to remove biases from vertical velocities", Natural hazards, 58: 1275-1294.

[7] Sanli, D.U. ve Engin, C., (2009). "Accuracy of GPS positioning over regional scales", Survey Review, 41: 192-200.

[8] Hastaoglu, K. ve Sanli, D., (2011). "Accuracy of GPS rapid static positioning: Application to Koyulhisar landslide, central Turkey", Survey Review, 43: 226-240.

[9] Kashani, I. Wielgosz, P. ve Grejner-Brzezinska, D.A., (2004). "On the reliability of the VCV Matrix: A case study based on GAMIT and Bernese GPS Software", GPS solutions, 8: 193-199.

[10] Han, S. ve Rizos, C., (1995). "Standardisation of the variance-covariance matrix for GPS rapid static positioning", Geomatics Research Australasia: 37-54.

[11] El-Rabbany, (1994). The Effect of Phsycal Correlations on the Ambiguity Resulation and Accuracy Estimation in GPS Differantial Positioning, University of New Brunswick.

[12] Geirsson, H., (2003). Continuous GPS measurements in Iceland 1999 - 2002, University of Iceland.

[13] El-Rabbany, A. ve Kleusberg, A., (2003). "Effect of temporal physical correlation on accuracy estimation in GPS relative positioning", Journal of Surveying Engineering, 129: 28-32.

[14] Jin, S. Wang, J. ve Park, P.-H., (2005). "An improvement of GPS height estimations: stochastic modeling", Earth, planets and space, 57: 253-259.

[15] Jin, S. Luo, O. ve Ren, C., (2010). "Effects of physical correlations on long-distance GPS positioning and zenith tropospheric delay estimates", Advances in Space Research, 46: 190-195.

[16] Han, S. ve Rizos, C., (1995). "Selection and Scaling of Simultaneous Baselines for GPS Network Adjustment, or Correct Procedures for Processing Trivial Baselines", Geomatics Research Australasia: 51-66.

[17] Ananga, N. Coleman, R. ve Rizos, C., (1994). "Variance-covariance estimation of GPS networks", Bulletin géodésique, 68: 77-87.

[18] Hofmann-Wellenhof, B. Lichtenegger, H. ve Wasle, E., (2007). GNSS–global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more, Springer Science & Business Media.

[19] Gürtürk, M., (2016). Hava GNSS Verilerinin Değerlendirilmesinde Hassas Kinematik Nokta Konumlama, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[20] Soycan, M. ve Ata, E., (2011). "Precise point positioning versus traditional solution for GNSS networks", Scientific Research and Essays, 6: 799-808.

[21] Öcalan, T., (2015). GNSS Ağlarında GPS Hassas Nokta Konumlama (GPS-PPP) Tekniği Yaklaşımlı Çözümler, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[22] Bramanto, B.G., I; Kuntjoro, DW, (2015). RT-PPP: Concept and Performance In Indonesia Region, FIT ISI. Indonesia.

[23] Tut, İ., (2009). Hızlı Statik GPS Çözümlerinin Güvenirliği, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[24] Rizos, C., (1999). Satellite Navigation and Positioning Group (SNAP): Principles and Practice of GPS surveying.

[25] Hofmann-Wellenhof, B. LICHTENEGGER, H. ve Collins, J., (2001). GPS Theory and Practice.[Sl]: New York, NY.

[26] Kahveci, M. ve Yıldız, F., (2009). GPS/GNSS: uydularla konum belirleme sistemleri: teori ve uygulama, Nobel.

[27] Hastaoğlu, K., (2009). "GPS hızlı statik yöntem ile heyelanların izlenebilirliğinin araştırılması: Sivas Koyulhisar örneği", Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[28] Eren, K. ve Uzel, T., (1995). GPS ölçmeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[29] Han, S., (1997). Carrier phase-based long-range GPS kinematic positioning, University of New South Wales.

[30] Products, http://www.igs.org/products, 13 Şubat 2017.

[31] Kahveci, M., (2010). "GPS/GNSS Gözlemlerini Değerlendirme Yöntemlerinde Son Gelişmeler", Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 102: 3-9.

[32] Hosbas, R.G. Pirti, A. ve Erkaya, H., (2009). "Multipath and Multipath Reduction in the Urban Environments (Especially for L1 Signal Processing)".

[33] Mekik, Ç. ve Akçın, H., "GPS'te Tamsayı Belirsizliği Çözüm Yöntemleri", Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi, 84.

[34] Karabulut, M.F., (2017). Yerkabuğu Deformasyonlarının GNSS Ölçüleri İle Kestirimi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[35] A., H.T. W., K.R. A., F.M. ve C., M.S., (2016). "GAMIT Reference Manuel".

[36] Dach, R. Lutz, S. Walser, P. ve Fridez, P., (2015). Bernese GNSS software version 5.2, University of Bern, Bern Open Publishing.

[37] Dach, R. ve Walser, P., (2015). "Bernese GNSS Software Version 5.2: tutorial processing example—introductory course, terminal session", Astronomical Institute, University of Bern.

[38] Center for Orbit Determination in Europe (CODE) FTP, ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/, 13 Şubat 2017.

[39] IGS Products, https://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html, 13 Şubat 2017.

[40] Bernese FTP, ftp://ftp.unibe.ch/aiub/BSWUSER52, 13 Şubat 2017.

[41] Free Ocean Tide Loading Provider, http://holt.oso.chalmers.se/loading/, 13 Şubat 2017.

[42] Hampel, F.R. Ronchetti, E.M. Rousseeuw, P.J. ve Stahel, W.A., (2011). Robust statistics: the approach based on influence functions, John Wiley & Sons.

[43] Hekimoglu, S., (2005). "Do robust methods identify outliers more reliably than conventional test for outlier", Zeitschrift für Vermessungwesen, 3: 174-180.

[44] Rousseeuw, P.J. ve Leroy, A.M., (2005). Robust regression and outlier detection, John wiley & sons.

[45] Baarda, W., (1968). "A TESTING PROCEDIJRE FOR USE IN GEODETIC NETWORKS".

[46] Pope, A.J., (1976). "The statistics of residuals and the detection of outliers".

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ali Hasan DOĞAN

Doğum Tarihi ve Yeri : 02.02.1992 / Malatya

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : alihasan@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Harita Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Sayısal	Malatya Anadolu Lisesi	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015-	Yıldız Teknik Üni. / FBE	Arş. Gör.
2014-2015	Gaziosmanpaşa Üni. / MDBF	Arş. Gör.

YAYINLARI

Uluslararası Bildiri

1. Tunalioglu, N. Durdag, U.M. Dogan, A.H. Erdogan, B. Ve Ocalan, T., (2016). "Experiments on Coordinate Transformation based on Least Squares and Total Least Squares Methods", EGU General Assembly 2016, 17-22 April 2016, Wien.

2. Erdogan, B. ve Dogan, A.H., (2016). "Accuracy Analysis of Short Observing Session Duration In GNSS Positioning", Selçuk International Scientific Conference On Applied Sciences 2016, 27-30 September 2016, Antalya.

3. Yilmaz, Y. Saracoglu, A. Karabulut, M.F. Kilic, B. ve Dogan, A.H., (2016). "Performing Local Accuracy Functions Using Web-Based Online GPS Process Services: Application To Spain", Selçuk International Scientific Conference On Applied Sciences 2016, 27-30 September 2016, Antalya.

4. Dogan, A.H. ve Erdogan, B., (2017). "Estimation of the Scale Factor for Short Observing Session Duration in GNSS Positioning", EGU General Assembly 2017, 23-28 April 2017, Wien.

ÖDÜLLERİ

1. Yilmaz, Y. Saracoglu, A. Karabulut, M.F. Kilic, B. ve Dogan, A.H., (2016). "Performing Local Accuracy Functions Using Web-Based Online GPS Process Services: Application To Spain", Selçuk International Scientific Conference On Applied Sciences 2016, 27-30 September 2016, Antalya. (Best Poster Award)