



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**TUSAGA-AKTİF NOKTALARININ**  
**DEFORMASYON BELİRLEMEDE**  
**KULLANILABİLİRLİĞİ**

**Ahmet Mete GÜNDÜZ**

**DOKTORA TEZİ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Eylül-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet Mete GÜNDÜZ tarafından hazırlanan “TUSAGA-Aktif Noktalarının Deformasyon Belirlemede Kullanılabilirliği” adlı tez çalışması 01/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan-Danışman

Prof. Dr. Cevat İNAL



#### Üye

Prof. Dr. Ayhan CEYLAN



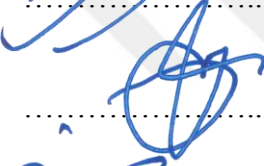
#### Üye

Prof. Dr. Ömer YILDIRIM



#### Üye

Doç. Dr. Tamer BAYBURA



#### Üye

Doç. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 16201103 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Ahmet Mete GÜNDÜZ

Tarih: 19/09/2019

# ÖZET

## DOKTORA TEZİ

### TUSAGA AKTİF NOKTALARININ DEFORMASYON BELİRLEMEDE KULLANILABİLİRLİĞİ

**Ahmet Mete GÜNDÜZ**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Cevat İNAL**

**2019, 106 Sayfa**

**Jüri**

**Danışman Prof. Dr. Cevat İNAL  
Prof. Dr. Ayhan CEYLAN  
Prof. Dr. Ömer YILDIRIM  
Doç. Dr. Tamer BAYBURA  
Doç. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU**

1980’li yıllarda hayatımıza giren ve 2000’li yıllarda sivil kullanıma açılan GPS(Global Positioning System), haritacılık uygulamalarında yoğun kullanım alanı bulmuştur. Daha sonraki yıllarda Rusya’nın GLONASS, Çin’in Beidou, Hindistan’ın IRNSS ve Avrupa Birliği’nin GALILEO gibi diğer ülkelerin uydu sistemlerinin de faaliyete geçmesiyle sistem, GNSS(Global Navigation Satellite System) olarak adlandırılmıştır.

GNSS tekniği ile önceleri, sadece statik gözlemler yapılarak elde edilen verilerin sonradan işlenmesi (post process) suretiyle nokta konumları belirlenebilmekteydi. Ancak GNSS tekniğinin yoğun kullanımı, günümüzde anlık olarak konum belirleme ihtiyacını doğurmuştur. Bunun sonucunda da önce tek bir noktaya dayalı olarak klasik RTK (Real Time Kinematic), ardından da Ağ-RTK teknikleri geliştirilmiştir. Günümüzde birçok ülkede Ağ-RTK tekniği ile sürekli gözlem yapan sabit GNSS istasyonları ağları (CORS - Continuously Operating Reference Station) bulunmaktadır. Ülkemizde de ulusal ölçekte 158 istasyondan oluşan (KKTC(Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti)’de 4 adet dahil) tüm ülkeyi kapsayan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı – Aktif) sistemi ve yerel ölçekte bazı belediyelerin kurmuş oldukları kendi bölgelerini kapsayacak şekilde sürekli gözlem yapan GNSS-CORS ağları mevcuttur. Bu ağlar hem post proses hem de anlık olarak koordinat üretimine imkan vermektedir.

TUSAGA-Aktif sistemi, tüm kullanıcıların kontrol merkezinden hizmet almasına imkan sağlamakta, tüm ülke genelinde hizmet sunulabilmekte, tüm coğrafi bilgi teknolojilerine altlık oluşturabilmekte, ED50 ve ITRFyy datumu dönüşümü ilişkilerini sağlayabilmektedir. Aynı zamanda kara, hava ve deniz araçlarının sürekli izlenmesi ve yönlendirilmesi, kişisel olarak yön, yol ve adres bulma, çok hızlı ve duyarlı kadastro ölçümü, haritalama ve mühendislik uygulamaları ile coğrafi kent ve bilgi sistemi çalışmalarında yoğun olarak kullanım alanı bulmaktadır.

Bu çalışmadaki amaç, herhangi bir mühendislik yapısındaki veya yer kabuğundaki deformasyonların belirlenmesinde TUSAGA-Aktif noktalarının kullanılıp kullanılmayacağı sorusuna yanıt bulmaktır. Bu amaçla iki aşamalı bir uygulama yapılmıştır. Uygulamanın ilk aşamasında, TUSAGA-Aktif sistemine ait noktaların yer kabuğu ya da yapı deformasyonlarını belirlemedeki başarısı ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bunun için TUSAGA-Aktif sistemine ait 1 saniyelik ve 30 saniyelik veriler kullanılarak herhangi bir mühendislik yapısındaki ya da yer kabuğundaki hangi büyüklükte deformasyonların belirlenebileceği ve optimal ölçü süresinin ne olacağı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu

amaç doğrultusunda deformasyon miktarını önceden belirlemeye imkan sağlayan bir düzenek tasarlanmıştır. Düzenek üzerinde yapılan ölçülerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde TUSAGA-Aktif noktaları kullanılarak yatay yöndeki deformasyonların belirlenebilmesi için 6 ve 12 saatlik ölçüler yeterli olurken, düşey yöndeki deformasyonların belirlenebilmesi için 24 saatlik ölçülerin kullanılmasının yerinde olacağı kanısına varılmıştır.

Uygulamanın ikinci aşamasında ise, KAF (Kuzey Anadolu Fay hattı) etrafında seçilen TUSAGA-Aktif sistemine ait 9 adet istasyonun 2009-2018 yıllarını kapsayan 10 yıllık ve 30 saniye kayıt aralıklı verileri kullanılarak, 7 adet IGS noktasına dayalı çözümleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında bu noktalarda ardışık yıllar için anlamlı bir hareket olup olmadığının bağıl güven elipsoidleri yöntemiyle analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan analizlerin neticesinde, KAF üzerinde seçilen TUSAGA-Aktif noktalarının tamamında anlamlı bir hareket olduğu ve bu hareketlerin literatürde geçen TUSAGA-Aktif nokta hızlarıyla uyumlu oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bernese v5.2, CORS-TR, Deformasyon, GNSS, TUSAGA-Aktif, Ölçü Düzeneği.



## **ABSTRACT**

### **Ph.D THESIS**

## **USABILITY OF TURKISH NATIONAL GNSS PERMANENT NETWORK- ACTIVE POINTS FOR DETECTING DEFORMATIONS**

**Ahmet Mete GUNDUZ**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Geomatics Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Cevat İNAL**

**2019, 106 Pages**

### **Jury**

**Prof. Dr. Cevat İNAL  
Prof. Dr. Ayhan CEYLAN  
Prof. Dr. Ömer YILDIRIM  
Assoc. Prof. Dr. Tamer BAYBURA  
Assoc. Prof. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU**

GPS (Global Positioning System), which came into our lives in 1980s and opened to civilian use in 2000s, has been used extensively in surveying applications. In the following years, the satellite systems of other countries such as Russian GLONASS, China Beidou, India IRNSS and European Union GALILEO also became operational and the system was named as GNSS (Global Navigation Satellite System).

Previously, the GNSS technique could be used to determine point positions by simply post-processing the data obtained by static observations. However, the intensive use of the GNSS technique has created the need for instant position determining. The GNSS method, firstly using static technique (post process), has caused the need to determine the position instantly. As a result, the classical RTK (Real Time Kinematic) was developed based on a single point and then the Network-RTK technique was developed. Today, in many countries there are networks of constant GNSS stations CORS (Continuously Operating Reference Station), which are continuously monitoring with the Network-RTK technique. In our country, there is a TNPNGN-Active (CORS-TR) system, consisting of 158 stations (including 4 in the TRNC (Turkish Republic of Northern Cyprus)) on a national scale. On the local scale, there are GNSS-CORS networks that are continuously monitoring to cover their own regions established by some municipalities. These networks enable both post-process and real time coordinate generation.

TNPNGN-Active system allows all users to receive services from the control center., all users can get service from the control center, service can be provided all over the country, can create a base for all geographic information technologies and provide ED50 and ITRFyy datum conversion relationships. It is also used extensively in continuous monitoring and steering of land, air and sea vehicles, personally finding directions and addresses, very fast and sensitive cadastral measurement, mapping and engineering applications and geographical city and information system studies.

The aim of this study is to find out whether TNPNGN-Active points can be used to determine deformations in any engineering structure or earth's crust. For this purpose, a two-stage application was made. In the first stage of application, the success of the points of TNPNGN-Active system in determining the crustal or structural deformations has been tried to be demonstrated. For this purpose, it has been tried to determine which magnitude deformations in any engineering structure or earth crust can be determined by using 1 second and 30 seconds data of TNPNGN-Active system and it has been tried to determine what the optimum measurement period will be. Therefore, a measure mechanism has been designed which allows to determine the amount of deformation beforehand. When the results obtained from the

measurements on the measure mechanism are examined, 6 and 12 hours measurements are sufficient to determine horizontal deformations using TNPNGN-Active points but it is necessary to use 24-hours measurements in order to determine the vertical deformations.

In the second stage of application, 9 stations belonging to the TNPNGN-Active system selected around the NAF (North Anatolian Fault Line) were analyzed based on 7 IGS points using 10 years and 30 seconds recording interval data covering the years 2009-2018. Afterwards, it was analyzed by relative confidence ellipsoids method to determine whether there is a significant movement for consecutive years at these points. As a result of the analyzes made within the scope of the study, it was concluded that there was a significant movement in all TNPNGN-active points selected on the NAF and it was concluded that these movements are compatible with TNPNGN-Active point's velocities in the literature.

**Keywords:** Bernese v5.2, CORS-TR, Deformation, GNSS, TNPNGN-Active, Measure Mechanism.



## ÖNSÖZ

Çalışmamın başlangıcından bitimine kadar ilminden faydalandığım, engin bilgi ve tecrübeleriyle tezime değer katan, insani ve ahlaki değerlerini de her zaman kendime örnek aldığım, birlikte çalışmaktan onur duyduğum değerli hocam ve tez danışmanım Sayın **Prof. Dr. Cevat İNAL**'a bana vermiş olduğu destekleri için yürekten teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında yanımda olup, karşılaştığım sorunların çözümünde desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen **Dr. Sercan BÜLBÜL**'e,

Ölçü düzeneğinin yapımında emeği geçen başta değerli kayınpederim **Orhan MERCAN** olmak üzere, tüm **Emre Makine çalışanlarına** ve özellikle firma sahibi **Şükrü ÜNAL**'a,

Tez İzleme Komitemde olup, her zaman olumlu görüşleri ile beni yönlendiren Sayın Hocalarım **Prof. Dr. Ömer YILDIRIM** ve **Doç. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU**'na,

Doktora çalışmam boyunca yanımda olan **tüm mesai arkadaşlarıma** ve

Tezime katkılarından dolayı **Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne** çok teşekkür ederim.

Eğitimci kimlikleriyle beni her zaman doğru yönlendiren ve bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan, sevgili annem **Şükran GÜNDÜZ** ve kıymetli babam **Hüseyin GÜNDÜZ**'e ne kadar teşekkür etsem azdır.

Özellikle de, acısıyla tatlısıyla bir ömür yanımdayım diyen, desteğini her zaman hissettiğim hayat arkadaşım, kıymetli eşim **Ayşegül GÜNDÜZ**, iyi ki varsın, sana minnettarım...

Ahmet Mete GÜNDÜZ  
KONYA-2019



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı ve Önemi .....	4
1.2. Literatür Araştırması .....	4
1.3. Tezin Bölümleri .....	10
<b>2. GNSS TEKNİĞİ İLE DEFORMASYON ÖLÇMELERİ VE DEFORMASYON MODELLERİ</b> .....	<b>12</b>
2.1. Deformasyon, Deformasyon Ölçmeleri ve Deformasyon Analizi.....	12
2.2. Deformasyonların Belirlenmesi .....	13
2.2.1. Deformasyonların nedenleri .....	13
2.2.2. Deformasyon ölçmelerinin gerekliliği .....	14
2.3. Deformasyonların Sınıflandırılması .....	14
2.3.1. Elastik (Geçici) deformasyonlar .....	15
2.3.2. Plastik (Kalıcı) deformasyonlar .....	15
2.4. Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları.....	16
2.5. Deformasyon Modelleri .....	18
2.6. GNSS Tekniği İle Deformasyon Ölçmeleri.....	18
2.6.1. Görelî konum belirlemede ulaşılabilen doğruluklar .....	19
2.7. Deformasyon Ölçülerinin Analizi.....	20
<b>3. GLOBAL VE ULUSAL GNSS AĞLARI</b> .....	<b>21</b>
3.1. Uluslararası GNSS Servisi (IGS).....	21
3.2. Ulusal GNSS Ağları.....	23
3.2.1. ABD NGS Cors Ağı .....	23
3.2.2. Almanya SAPOS Ağı .....	24
3.2.3. Japonya GEONET Ağı .....	24
3.3. TUSAGA-Aktif (CORS-TR) Sistemi.....	25
3.3.1. Projenin Kapsamı.....	27
<b>4. BERNESE v5.2 BİLİMSEL GNSS YAZILIMI</b> .....	<b>29</b>
4.1. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS Yazılımının Tanıtımı .....	29
4.2. Bernese v.5.2 Bilimsel GNSS Yazılımındaki Kullanıcı Klasörleri .....	32
4.2.1. DATAPOOL klasörü .....	32
4.2.2. CAMPAING52 klasörü .....	34

4.3. Bernese v.5.2 Bilimsel GNSS Yazılımında Ölçülerin Değerlendirilmesi .....	36
4.3.1. Ön hazırlık aşaması.....	38
4.3.2. Kutup ve yörünge bilgilerinin hazırlanması .....	39
4.3.3. Gözlem dosyalarının senkronizasyonu ve dönüşümü.....	39
4.3.4. Bazların oluşturulması ve ilk çözümün yapılması .....	39
4.3.5. Faz başlangıç belirsizliklerinin çözümü .....	40
4.3.6. Final çözümünün gerçekleştirilmesi .....	40
4.3.7. BPE'nin sonlandırılması ve sonuçların kaydedilmesi .....	41
4.4. Ölçek Faktörünün Belirlenmesi .....	41
4.4.1. A yöntemi .....	43
4.4.2. B yöntemi.....	44
4.4.3. C yöntemi.....	45
<b>5. GÜVEN ELİPSOİTLERİ İLE DEFORMASYON ANALİZİ .....</b>	<b>46</b>
5.1. Güven Elipsoitleri .....	46
5.2. Kartezyen ve Yerel Koordinat Sistemleri Arasında Dönüşüm .....	50
5.3. Deformasyon Analizi .....	52
<b>6. UYGULAMA .....</b>	<b>56</b>
6.1. Uygulama 1 .....	56
6.1.1. Çalışma Alanı .....	56
6.1.2. Çalışma alanına pilye tesis edilmesi .....	57
6.1.3. Ölçü düzeneğinin tasarımı ve üretimi .....	58
6.1.4. Uygulama 1 için yapılan ölçüler ve değerlendirmeler.....	60
6.2. Uygulama 2.....	68
6.2.1. Çalışma Alanı “Kuzey Anadolu Fay Hattı” .....	68
6.2.2. Uygulama 2 için yapılan değerlendirmeler.....	69
6.2.3. BILE noktası 2009 yılı için örnek ölçek faktörü hesabı .....	71
6.2.4. TUSAGA-Aktif noktalarının yıllık kuzey-güney, doğu-batı ve yukarı yönlerdeki yer değiştirmeleri .....	73
6.2.5. Yıllık Ortalama Hareketler ile TUSAGA-Aktif Hızlarının Karşılaştırılması .....	83
6.2.6. BILE noktası 2009-2010 için güven elipsoitleri yöntemiyle örnek deformasyon analizinin yapılması .....	86
6.2.7. KAF üzerindeki TUSAGA-Aktif noktaları için güven elipsoitleri kullanarak deformasyon analizlerinin yapılması .....	90
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>95</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>99</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>106</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$d_x, d_y, d_z$	: Konum Bileşeni Farkları
$m_x, m_y, m_z$	: Ortalama Hatalar
$m_{dx}, m_{dy}, m_{dz}$	: Farkların Karesel Ortalama Hataları
$T_x, T_y, T_z$	: “T” Test Büyüklüğü Değerleri
$n$	: Ölçüm Yapılan Nokta Sayısı
$\Sigma_x$	: Kovaryans Matrisi
$ \Sigma_x $	: Kovaryans Matrisinin Determinantı
$\lambda_1, \lambda_2$ ve $\lambda_3$	: Kovaryans Matrisinin Özdeğerleri
$e_1, e_2$ ve $e_3$	: Özvektörler
$\chi^2$	: Kikare İstatiksel Dağılımı
$y, x, h$	: Projeksiyon Koordinatlar (Sağa değer, Yukarı değer, Elipsoidal Yükseklik)
$X, Y, Z$	: Kartezyen Koordinatlar

### Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ABB	: Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında istasyon dosyalarının kısa adlarının yazılı olduğu dosya
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ADSL	: Asymmetric Digital Subscriber Line
AGA	: Ana GNSS Ağı ve Noktaları
ATL	: Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında atmosferik düzeltme bilgilerinin bulunduğu dosya
BLQ	: Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında okyanus gelgit yükleme bilgilerinin bulunduğu dosya
BÖHHBÜY	: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
BPE	: Bernese Processing Engine
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CLK	: Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında saat düzeltme bilgilerinin bulunduğu dosya
CNC	: Computer Numerical Control
CIGNET	: Cooperative International GPS Network
CORS	: Continuously Operating Reference Station
CRX	: Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında uydu hatalarını içeren dosyasının uzantısı
DGPS	: Diferansiyel GPS
ECEF	: Earth-Centered Earth-Fixed
ED50	: European Datum 1950
EPH	: Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında efemeris dosyalarının uzantısı
ERP	: The Earth Rotation Parameters
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
GEONET	: GNSS Earth Observation Network System
GLONASS	: Global Navigation Satellite System (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)

GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPRS	: General Package Radio Service
GPS	: Global Positioning System
GRACE	: Gravity Recovery and Climate Experiment
GSM	: Global System for Mobile Communications
GSI	: Geographical Survey Institute
GZK GPS	: Gerçek Zamanlı GPS
Hz	: Hertz
IAG	: International Association of Geodesy
IGS	: International GNSS Service
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
İKÜ	: İstanbul Kültür Üniversitesi
İSKİ-UKBS	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi-Uydudan Konum Belirleme Sistemi
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KBS	: Kent Bilgi Sistemi
KKTC	: Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
NAF	: North Anatolian Fault Line
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
NGS	: National Geodetic Survey
NTRIP	: Network Transport of RTCM Throught Internet Protocol
PLD	: Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında İstasyonların hangi tektonik plakada olduğunu gösteren dosya
PPM	: Parts Per Millions
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
RMS	: Root Mean Square
RNX2SNX	: The Process Control File of Double Difference Solution
RTK	: Real Time Kinematic
SAPOS	: Satellite Positioning Service
SF	: Scale Factor
SINEX	: Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format
SNX	: SINEX Dosyası
STA	: Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımındaki istasyon bilgi dosyası
STD	: Standard Deviation
SUM	: Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımındaki özet dosyası
TAKBİS	: Tapu Kadastro Bilgi Sistemi
TEM	: Trans European Motorway
TKGM	: Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
TNPGN	: Turkish National Permanent GNSS Network
TRNC	: Turkish Republic of Northern Cyprus
TUSAGA	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS ağı
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GNSS ağı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
USGS	: United States Geological Survey
VCV	: Variance-Covariance
VEL	: Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımındaki istasyon hızları dosyası
WMF1	: The Vienna Mapping Functions
.ION	: İyonosfer bilgisi dosya uzantısı
.sp3	: Hassas yörünge efemerisi bilgisi dosya uzantısı
.TRO	: Troposfer bilgisi dosya uzantısı

## 1. GİRİŞ

1978 yılında ilk GPS(Global Positioning System) uydusunun yörüngeye yerleştirilmesinden itibaren bu alandaki çalışmalar hızlanarak devam etmiş ve bu çalışmaların neticesinde yeni sinyaller ve farklı ülkelere ait (Rus GLONASS(Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), Avrupa Birliği GALILEO ve Çin COMPASS gibi) uydu sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu sistemlerin ve ileride geliştirilmesi olası diğer küresel sistemler ile bölgesel ve genişletici tüm uydu sistemleri için Global Navigasyon Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite System: GNSS) tanımı kullanılmaya başlanmıştır (Kahveci, 2009a).

Özellikle 1980'den itibaren bölgesel ya da bir bütün olarak yer yuvarının incelenmesi, izlenmesi, bilinmeyen yerlerin keşfi ve mühendislik çalışmalarında uydu ve uzay bazlı sistemler aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) amaçlı veri toplama, yer bilimi çalışmaları, jeodezik ölçmeler, navigasyon ve ulaşım uygulamaları, çevre çalışmaları, uzaktan algılama, meteorolojik amaçlı çalışmalar, tarım ve hidroloji alanları gibi gittikçe farklılaşan ve çeşitleri artan uygulama alanlarında GNSS tekniği uygulamaları, verilerin belirli standartlarda toplanması, değerlendirilmesi ve farklı yöntemler için pek çok kullanıcıya ulaştırılması için global izleme sistemi haline gelmiştir (Pektaş, 2010).

1980'lerden beri devam eden uydularla konum belirleme sistemindeki bu hızlı gelişim süreci, GNSS tekniklerinde de yeni metotların geliştirilmesine yol açmıştır. Günümüzde artık farklı amaçlarla hassas konum belirleme çalışmaları için statik ve diferansiyel (rölatif) konum belirleme yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır (Öcalan ve Soycan, 2012).

Tercih edilen ölçüm yöntemi (statik ya da kinematik), kullanılan donanımlar ve ekipmanlar, ölçü süresi, kullanılan kodlar ve sinyaller, referans alıcıların altyapısı, veri işleme algoritmaları, uydu ve alıcı geometrisi, ölçü sonrasında yapılan değerlendirme ya da çalışmanın gerçek zamanlı yapılması vb. gibi faktörler, konum belirleme çalışmalarında değişik seviyelerde performans elde edilmesine sebep olmaktadır. Örnek olarak, tek frekanslı kod (pseudorange) ölçüleri kullanılarak yapılan temel GNSS tekniği ile birkaç desimetre doğruluğunda konum doğruluğu elde edilebilirken, çift frekanslı ve taşıyıcı faz (carrier phase) ölçüleri kullanılarak yapılan çalışmalarda

santimetre mertebesinde konum doğruluğuna ulaşılabilir (Rizos ve ark., 2012). Statik yöntemde ise yatayda 5 mm + 0.5 ppm gibi daha yüksek konum doğruluğuna ulaşabilmek mümkündür (Wellenhof ve ark., 2008).

Birçok ülkede Ağ-RTK tekniği ile çalışan sürekli gözlem yapan sabit GNSS istasyonları ağları (CORS - Continuously Operating Reference Station) bulunmaktadır. Ülkemizde ise Mayıs 2009'dan beri faaliyet gösteren, 158 adet istasyondan oluşan (KKTC'de 4 adet dahil) ve bütün ülkeyi kapsayan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı – Aktif) sistemi bulunmaktadır. Günümüzde CORS ağlarındaki noktalara ait statik GNSS gözlemleri veya herhangi bir noktada yapılan statik GNSS gözlemleri kullanılarak deformasyon analizleri yapılabilmektedir.

Mühendislik ölçmeleri çalışmaları arasında giderek önem kazanan konulardan bir tanesi de deformasyon ölçmeleridir. Özellikle son zamanlarda bu konuya olan ilgi giderek artmaktadır. Gerek yer kabuğunda, gerekse herhangi bir mühendislik yapısında belirli bir zamanla meydana gelebilecek geometrik değişimlerin (deformasyonların) sonuçları, insan hayatını ve güvenliğini doğrudan ilgilendirmektedir. Bu nedenle, yer kabuğu hareketlerinin ve herhangi bir mühendislik yapısındaki ve onun çevresindeki geometrik değişimlerin izlenmesi, belirlenmesi ve tanımlanması büyük önem arz etmektedir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak günümüzde mühendislik yapılarının sayılarının hızla artması, deformasyon konusunun önemini daha da artırmıştır. Özellikle, anıt niteliğindeki tarihi yapılar, köprü, baraj, enerji santralleri, yüksek katlı yapılar ve tüneller gibi mühendislik yapılarında zamana bağlı olarak ortaya çıkabilecek geometrik değişimlerin belirlenmesi daha önemli bir hale gelmiştir. Bahse konu olan mühendislik yapıları ve onların çevresindeki zeminin özellikleri, bu yapının kendi ağırlığından ve hareketli dış yük etmenleri gibi sebepler yapı ve yakın çevresinde deformasyonların oluşmasına sebep olabilir. Bu değişikliklerin izlenmesi ve zamanında belirlenebilmesi, meydana gelebilecek olan ciddi zararların öncesinden alınacak tedbirlerle önlenmesini veya zararların en aza indirilebilmesini sağlayacaktır (Kalkan ve Alkan, 2005).

Son yıllarda, GNSS teknolojisi, hem tamamlayıcı hem de geleneksel ölçme yöntemlerine alternatif olarak deformasyon belirleme çalışmalarında sıkça kullanılmaya başlanmıştır (Bruckl ve ark., 2006).

1980'li yıllarda hayatımıza girmeye başlayan küresel konumlandırma sistemi (GPS), gerçekten tüm açık alanlarda kullanılabilmesi ve çok yetenekli bir operatöre

ihtiyaç duymaması sebebiyle deformasyonları tespit etmek için çok güçlü bir araç olmuştur (Roberts ve ark., 2006). Büyük mühendislik yapılarındaki periyodik olsun ya da olmasın, küçük miktarlardaki deformasyonları tespit etmeye çalışırken, GNSS ölçmelerini alternatif bir yöntem olarak kullanmak mümkündür (Schaal ve ark., 2012).

GNSS yöntemiyle yüksek doğruluklu konumların elde edilmesinin bir doğal sonucu olarak, yer bilimi çalışmaları, deprem öncesi ve sonrası deformasyon çalışmaları, tsunami erken uyarı sistemleri ve plaka hareketleri, toprak kaymaları, volkanlar, aktif faylar ve çökmelerle ilgili zemin deformasyonlarının izlenmesi gibi deformasyon ölçüleri için bu teknoloji giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Wang ve Soler, 2014).

Mühendislik yapılarındaki deformasyonların belirlenmesinde GNSS tekniği aşağıda belirtildiği gibi bazı avantajlara sahiptir (Yu ve ark., 2006):

- GNSS ölçmeleri uydulardan yeryüzüne gelen sinyallere bağlıdır. Beş veya daha fazla gözlenen uydudan sinyal alındığında, RTK diferansiyel konumlandırma gerçekleştirilebilir. İstasyonların birbirlerini görmesi zorunlu olmayıp, her istasyonda yapılan ölçü birbirinden bağımsızdır.
- GNSS tekniği, deformasyonların her zaman, kötü hava koşullarında bile izlenmesinde kullanılabilir.
- GNSS alıcısı ile deformasyonların izlenmesi kolaylıkla gerçekleştirilir. Mühendislik yapısının güvenlik analizini doğrudan gerçekleştirmek için, üç boyutlu koordinat ölçüleri lokal sisteme çevrilebilir.
- GNSS ölçmeleri sayesinde deformasyonları izleme süresi diğer yöntemlere göre daha kısarken, elde edilen doğruluk daha yüksektir.

GNSS ölçmeleri yukarıda sıralanan avantajlarının yanı sıra, cihazların kullanım kolaylığı nedeniyle ekonomik bir yöntemdir. Ancak tüp geçit, tünel yapımı, madencilik ölçmeleri vb. gibi kapalı alanlarda çalışma zorunluluğu olan uygulamalarda GNSS tekniği kullanılamamaktadır. Çünkü GNSS alıcısının uydu sinyallerini alabilmesi için gökyüzünü görme zorunluluğu vardır. Kapalı ve ağaçlık bölgelerde GNSS alıcılarının uydu sinyallerini görmesi zordur. Bununla beraber Radyo-TV(Televizyon) vericilerine, GSM(Global System for Mobile Communications) operatörlerinin vericilerine çok yakın tesis edilen noktalarda GNSS ölçülerinde sorunlarla karşılaşıldığı görülmüştür (Yıldırım, 2007).

### 1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Bu çalışmadaki amaç TUSAGA-Aktif noktalarının yer kabuğu ya da yapı deformasyonlarını belirlemedeki başarısını ortaya koymaktır. Deformasyon belirlemede en çok zaman ve emek gerektiren aşama olan zemine referans noktası tesis edilmesi işlemine gerek kalmaksızın, TUSAGA-Aktif sistemine ait noktalar kullanılarak herhangi bir mühendislik yapısındaki ya da yer kabuğundaki hangi büyüklükteki deformasyonların belirlenebileceği ve optimal ölçü süresinin ne olacağı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda 2 aşamalı bir uygulama yapılmıştır. Uygulamanın birinci aşamasında deformasyon miktarını önceden belirlemeye imkan sağlayan bir düzenek tasarlanmış ve TUSAGA-Aktif sistemine ait 1 ve 30 saniyelik veriler kullanılarak hangi büyüklükteki deformasyonların belirlenebileceği ve bunun için optimal ölçü süresinin ne kadar olması gerektiği konularına açıklık getirilmiştir. Tasarlanan ölçü düzeneği üzerine yerleştirilen GNSS alıcısı yardımıyla statik yöntemle 24 saat süren gözlemler yapılmıştır. Toplanan 24 saatlik veriler, analiz aşamasında 24, 12 ve 6 saatlik olacak şekilde ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Uygulamanın ikinci aşaması için Kuzey Anadolu Fay hattı etrafında seçilen 9 adet TUSAGA-Aktif istasyonuna ait statik yöntemle toplanmış olan 10 yıllık veriler kullanılarak bu noktalarda anlamlı bir hareket olup olmadığının analizi yapılmıştır. Noktaların Kuzey Anadolu Fay hattı üzerinde seçilmesinin temel sebebi, bu fayın aktif bir yapısının olmasından dolayıdır. Bu fay hattı üzerinde seçilen sabit noktaların, belirlenen 10 yıllık zaman aralığındaki hareketlerinin tespiti için fayın hareketli yapısı önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Yapılan tüm bu uygulamaların neticesinde, beklenen doğruluğu karşılayacak sürede TUSAGA-Aktif sistemine ait veriler kullanılarak yatayda veya düşeyde deformasyonların belirlenebileceği sonucuna ulaşılması, bu tezin önemini açıkça ortaya koymaktadır.

### 1.2. Literatür Araştırması

GNSS tekniği ile deformasyon belirleme konusunda daha önce yapılan bazı örnek uygulamalara bakmak gerekirse;

Eckl ve ark. (2001) yılında yapmış oldukları çalışmalarında, NGS (National Geodetic Survey) veya diğer CORS ağlarına ait GNSS verileri kullanılarak elde edilen



konum doğruluğunun baz uzunluğu ve gözlem süresi ile olan ilişkisini araştırmışlardır. Bu amaçla farklı uzunluklardaki toplamda 11 adet bazdan oluşan NGS nokta çifti için 1998 yılına ait 10 günlük GNSS verilerini kullanmışlardır. Çalışmalarının neticesinde, değerlendirmede IGS (International GNSS Service) final uydu yörünge bilgilerinin kullanılması, tam sayı belirsizliklerinin çözülmüş olması, uygun atmosferik gecikme parametrelerinin kullanılması, baz uzunluğunun 26 km ile 300 km arasında kalması ve gözlem süresinin 4 saat ile 24 saat arasında olması şartıyla elde edilen konum doğruluğunun baz uzunluğuna bağlılığının önemsiz sayılabilecek kadar küçük olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Hu ve ark. (2004)'deki çalışmalarında, Avustralya'daki CORS ağı Victoria GPSnet'in deformasyon izleme ve analizi çalışmalarında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Deformasyon analizleri için GPSnet sistemine ait 19 istasyonu seçmişlerdir. Değerlendirme işlemleri için GAMIT bilimsel yazılımını ve IGS tarafından yayınlanan hassas yörünge bilgilerini kullanmışlardır. Çalışmadan elde ettikleri sonuçlar, CORS sistemine dayanan deformasyon analizi yönteminin etkili ve uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Erol ve Ayan (2005) çalışmalarında TEM'in (Trans European Motorway), üzerinde yer alan Karasu viyadüğünde düşey yöndeki deformasyonların incelenmesi amacıyla, hem GNSS ölçüleri kullanarak hem de nivelman ölçüleri kullanarak deformasyon analizleri yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları birbirleriyle kıyaslamışlardır. Bu sayede GNSS ölçülerinin, düşey yöndeki deformasyonları belirlemedeki başarısının ne olacağı sorusuna cevap aramışlardır. Çalışma kapsamında yapılan deformasyon analizlerinden elde edilen sonuçlar genel olarak benzer doğrultuda olmasına rağmen, viyadük üzerinde bulunan noktalarda hassas nivelman yöntemine göre herhangi bir hareket tespit edilmemiş ancak GNSS yöntemine göre bazı noktalarda hareket olarak nitelendirilebilecek farklılıkların olduğu görülmüştür. GNSS yöntemine göre yapılan analiz sonuçlarından elde edilen hareketlerin sebebinin GNSS ölçmeleri sırasında giderilemeyen hataların sebep olabileceği veya GNSS alıcısı anten yüksekliğinin hatalı ölçülmesinden kaynaklanmış olabileceği sonucuna varmışlardır.

Erol (2008)'deki doktora tezinde yine TEM'in üzerinde yer alan Karasu viyadüğünde gerçekleştirmiş olduğu çalışması kapsamında herhangi bir mühendislik yapısında hem yataydaki, hem de düşeydeki deformasyonların belirlenebilmesi için GNSS yönteminin kullanılıp kullanılmayacağını araştırmıştır. Bu kapsamda 30

noktadan oluşan bir jeodezik ağ tesis ederek ortalama altı-sekiz ay arayla toplamda iki yıl boyunca 4 periyot hem GNSS hem de hassas nivelman ölçüleri yapmıştır. Çalışmanın neticesinde, GNSS tekniğinin, bazı özel önlemler alınması durumunda milimetre büyüklüğündeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılabileceği ancak GNSS tekniğinin presizyonlu nivelman tekniği ile desteklenmesiyle daha küçük deformasyonların da belirlenebileceği sonucuna ulaşmıştır.

Gao ve Hu (2009)'da hazırlamış oldukları çalışmalarında, madencilik alanında geniş ölçekte, 3 boyutlu deformasyon izlemede CORS teknolojisinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla Çin'in Yanzhou bölgesini ve Moğolistan'ın iç kesimlerini kapsayan bir hassas yükseklik ağı kurmuşlardır. Çalışmalarının neticesinde, CORS yönteminin maden sahalarındaki 3 boyutlu çökme deformasyonların izlenmesinde kullanılmasının uygun olacağı ve bu yöntemin zamansal ve mekânsal çözünürlüğü artırabileceği sonuçlarına ulaşmışlardır.

Sengü (2012)'de hazırladığı yüksek lisans tezinde, etrafı açık olan ve açık olmayan alanları içeren bir çalışma alanı seçmiş ve bu alan üzerinde bulunan önceden tesis edilmiş 30 tane kadastral sabit noktada statik yöntemle GNSS ölçüleri yapmış ve bu ölçüleri IGS noktalarına dayalı olarak değerlendirmiştir. Statik ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen veriler ile CORS yönteminden elde edilen sonuçları kıyaslamış ve kadastral amaçlı ölçme çalışmalarında CORS yönteminin kullanılabilirliği araştırmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre CORS yönteminin atmosfer modellemeleri, kötü uydu geometrisi gibi olumsuz etkenlere maruz kalmaması, sabit alıcı olmaması vb. gibi avantajları sayesinde daha yüksek doğruluklu sonuçlar elde ettiği neticesine ulaşmıştır. Ancak yerleşim alanlarında olumsuz çevresel etkenlerin çok olması sebebiyle, konum doğruluğunda düşme olduğunu görmüştür.

Doğan (2014)'te hazırladığı yüksek lisans tezinde, Afyon İli Dinar İlçesinde yapılmakta olan Rüzgar Enerji Santralinin yol projesinin servis yoluna ait 100 noktanın koordinatlarını CORS ve Post-Processing Kinematik ölçü yöntemleriyle belirlemiş ve elde edilen koordinatları klasik ölçme yönteminden hesaplanan koordinatlar ile karşılaştırılmıştır.

Jihyun ve ark. (2014) yapmış oldukları çalışmalarında, Kore yarımadasında 2011'de meydana gelen hem Kore'de hem de Japonya'da kabuk hareketlerine neden olan Tohoku-oki depreminin sonucunda meydana gelen kabuk hareketi miktarının CORS ağlarına ait statik verilere dayanarak hesaplanmasını ve önceki kabuksal hareketler ile

yapılan hesaplamayı karşılaştırmaya çalışarak Tohoku-oki depreminin Kore Yarımadası üzerindeki etkisini analiz etmeye çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda, Tohoku-oki depremi nedeniyle Güney Kore kabuğunun ortalama olarak 2,8 cm doğuya doğru hareket ettiğini ve bu değer kabuğun yıllık hızına eşit olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Zhang ve ark. (2014) çalışmalarında gerçek zamanlı yüzey deformasyonunu doğru bir şekilde izlemek için CORS yöntemini kullanılmışlar. Bu amaçla Çin'in Sichuan bölgesinde yaşanan Lushan depreminde meydana gelen sismik deformasyonların tespiti için CORS istasyonlarına ait statik verileri kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda bu yöntemle elde edilen sonuçların, USGS (United States Geological Survey) tarafından yayınlanan sonuçlarla uyumlu olduğu ve sismik yer hareketlerinin izlemesinde GNSS gözlemleri kullanmanın etkili ve makul bir yöntem olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Al-Tamar (2016) yüksek lisans tezinde, Aksaray Üniversitesi Kampüsü içerisinde kendi tasarlamış olduğu 7 noktalı bir jeodezik ağ üzerinde, noktaların koordinatlarını hem TUTGA(Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) noktalarına dayalı olarak, hem de TUSAGA-Aktif noktalarına ait statik gözlemlere dayalı olarak hesaplamış ve sonuçları birbirleriyle kıyaslamıştır. Kıyaslama neticesinde BÖHHBÜY(Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği)'ne göre sonuçların AGA(Ana GNSS Ağı ve noktaları) noktalarında kullanmak için yeterli doğruluğu sağlamadığı ancak C4 derece ağ noktaları için kullanılabilir olduğu kanısına ulaşmıştır.

Ng ve ark. (2016)'da yapmış oldukları çalışmalarında, Tayvan'ın başkenti Taipei City'de 2007-2011 tarihleri arasındaki deformasyon özelliklerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla arazi yüzeyi hareketlerini tespit edebilmek amacıyla InSAR zaman serilerini ve CORS ağlarına ait 21 istasyondan statik yöntemle elde edilen verileri kullanmışlardır. Sonrasında InSAR yöntemiyle elde edilen deformasyon sonuçlarını, CORS ağlarından elde edilen deformasyon sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda iki yöntem arasındaki farkların standart sapması ve ortalama hataları sırasıyla 3 mm/yıl ve 2 mm/yıl olarak hesaplamışlardır.

Özdemir (2016a)'da hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde, 23 Ekim 2011 tarihinde Van'da meydana gelen depremin etkisiyle bölgede oluşan deformasyonları TUSAGA-Aktif sistemine ait 13 noktanın statik verilerini kullanarak tespit etmeye çalışmıştır. Temin edilen verilerin değerlendirilme işlemlerinde Bernese Bilimsel GNSS yazılımını kullanmıştır. Ancak bu 13 adet referans noktasının deprem anı ve

sonrasındaki deformasyonların belirlenmesi için yetersiz kalması sebebiyle, Van Tapu ve Kadastro Müdürlüğü ile özel harita büroları tarafından deprem öncesine ait yeterli doğrulukta GNSS verileri bulunan başka noktaları da çalışmaya dâhil etmiştir. Çalışma kapsamında bu noktalar üzerinde deprem sonrası GNSS ölçüleri de yaparak, deprem öncesi verilerle kıyaslamış ve deformasyon analizleri yapmıştır. GNSS ölçüleri kullanılarak yaptığı deformasyon analizlerinden elde ettiği sonuçlara göre en çok hareket miktarının  $46 \text{ cm}(\pm 0.23 \text{ cm})$  olduğu, en az hareket miktarının ise  $4 \text{ cm}(\pm 0.22 \text{ cm})$  olduğunu tespit etmiştir.

Wan ve ark. (2016) hazırlamış oldukları çalışmalarında, Malezya yarımadası Sumatra bölgesinde meydana gelen şimdiye kadarki en büyük depremler arasında sayılan 2005 ve 2007 yıllarındaki depremlerin deformasyona etkisini CORS ağına ait statik verileri kullanarak araştırmışlardır. Çalışma kapsamında kullanmış oldukları 2005-2012 dönemine ait CORS verilerine dayanarak, bölgenin hız kazanan bir kayma yaşadığı sonucuna varmışlardır.

Yalvaç (2016)'da hazırladığı doktora tezinde çalışma alanı olarak seçtiği Konya kapalı havzasında, 25 noktadan oluşan bir jeodezik deformasyon ağı tesis etmiş ve bu noktalarda 2011 ve 2016 yılları arasında periyodik olarak GNSS ölçüleri yapmıştır. Bu çalışma ile çok büyük bir alan olan Konya kapalı havzasındaki 6 yıllık zaman boyunca meydana gelen deformasyonları GNSS yöntemiyle tespit etmeyi amaçlamıştır. Aynı zamanda bölgedeki sürekli gözlem yapan istasyonlara ait verileri de temin ederek havzadaki zemin çökmelerini belirlemiş ve bu çökmelerin yeraltı suyu çekilmeleriyle olan ilişkilerini de zaman serileriyle araştırmıştır. Çalışma sonucunda şehir merkezinde ve tarımsal amaçlı sulamanın yoğun olarak yapıldığı alanlarda zemin çökmelerinin  $50 \text{ mm}$ 'ye varan değerlere ulaştığını görmüştür.

Yusfania ve ark. (2016)'daki çalışmalarında dört aktif tektonik plakanın yakınsama etkisinde olan Endonezya'nın Orta Java bölgesinin güneyinde meydana gelen deformasyonları, 2013-2015 yılları arasında Endonezya'nın CORS-INA ağını ait 6 adet istasyonun statik verilerini kullanarak araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda 6 istasyonun hepsinin de birbirine benzer şekilde güney doğu yönünde hareket ettiğini ve yatay yöndeki hızlarının  $9.1 \text{ mm}$  ile  $12 \text{ mm}$  arasında, düşey yöndeki hızlarının ise  $11.5 \text{ mm}$  ile  $43.5 \text{ mm}$  arasında değiştiği sonucuna ulaşmışlardır.

Akpınar ve ark. (2017)'de hazırlamış oldukları makalelerinde geliştirdikleri yapay sarsıntı üretmeye yarayan cihaz yardımıyla Ağ-RTK yönteminin yapı sağlığı

izleme çalışmalarındaki başarısının ne olacağı sorusuna cevap aramışlardır. Bu amaçla yapılan testlerde, farklı yapı hareketleri için tasarlanan senaryolarla Ağ-RTK tekniğinin bu hareketleri tespit etmedeki başarısını araştırmışlardır. Çalışma neticesinde, yapılardaki deplasman hareketleri ve titreşim frekanslarının belirlenmesinde Ağ-RTK yönteminin kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Awaluddin ve ark. (2017), Endonezya'nın Central Java bölgesindeki Jatibarang barajında 2 farklı yöntemle deformasyon analizi yapmışlardır. İlk yöntemde referans noktası olarak IGS istasyonlarını kullanmışlar, ikinci yöntemde ise Endonezya'da bulunan CORS-BIG sisteminden yararlanmışlardır. Çalışma alanının üzerinde bulunduğu Sunda tektonik plakasının dönme etkisi ortadan kaldırıldığında her iki yöntemle yapılan deformasyon analizi sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu ve bölgede anlamlı bir hareket olmadığı sonucuna varmışlardır.

Bilgen (2017)'deki yüksek lisans tezinde, Konya Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsü içinde 7 adet referans ve 1 adet obje noktasından oluşan bir mikrojeodezik ağ tasarlayıp GNSS yönteminin yatay yöndeki deformasyonları tespit etmedeki başarısını araştırmıştır. Bu kapsamda obje noktası üzerine sanal deformasyon vermeye yarayan bir ölçü düzeneği yerleştirmiş ve bu düzenek üzerinde her 1 cm'de bir ikişer saat süren statik oturumlar yapmıştır. Aynı esnada referans noktaları üzerinde de eş zamanlı ölçüler gerçekleştirmiştir. Daha sonra ikişer saatlik oturumları 90, 60 ve 30 dakikalık sürelerle bölerek Leica Geo Office 7.0 yazılımında bu verileri değerlendirmiştir. Çalışmanın sonucunda mikrojeodezik ağlarda yapılacak olan yarım saatlik GNSS ölçüleri yardımıyla, yatay yöndeki deformasyonların belirlenebileceği kanısına ulaşmıştır.

Wang ve ark. (2017), Çin'in Hubei eyaletindeki Three Gorges rezarvuvar bölgesindeki, su değişimlerinin neden olduğu kabuk deformasyonlarını belirleyebilmek için, bu bölgeyi kapsayan CORS ağını kullanmışlardır. Ocak 2011 ve Haziran 2015 yıllarını kapsayan statik yöntemle toplanmış verilerin değerlendirilmesi neticesinde hesaplanan düşey yöndeki hareketlerin GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) trendi ile uyumlu olduğu ve karasal su yüklemesinden kaynaklanan kabuk deformasyonlarının belirlenmesinde CORS ağlarının kullanılabilceği sonucuna varmışlardır.

Yuwono ve ark. (2017), Endonezya'nın Central Java bölgesinde yer alan, sel, toprak kayması ve arazi çökmesi gibi doğal afetlere karşı çok hassas olan Sayung

bölgesinde CORS-UDIP ve CORS-CSEM ağlarını kullanarak zemin deformasyonu ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında 2015 ve 2016 yıllarına ait statik verileri kullanmışlar ve verilerin değerlendirilmesi işlemini GAMIT 10.6 bilimsel GNSS yazılımında yapmışlardır. CORS-CSEM ağındaki, istasyonlar arasındaki mesafeler daha kısa olduğu için, noktaların ortalama hata değerleri CORS-UDIP ağındaki noktaların ortalama hata değerlerinden daha iyi çıktığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca beş altı saat ile sınırlı gözlemlerin değerlendirilmesi durumunda CORS-CSEM ağının kullanılması, IGS istasyonlarıyla yapılan analizlere göre daha iyi sonuç verdiği ancak daha iyi bir doğruluk için IGS istasyonlarına ait daha uzun süreli gözlem verilerinin kullanılması gerektiği sonuçlarına varmışlardır.

### 1.3. Tezin Bölümleri

Bu tez 7 bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde genel olarak tezin amacı ve öneminden bahsedildikten sonra teze ilgili yapılan literatür araştırmasına yer verilmiştir. Ayrıca bu bölümde uydularla konum belirleme sisteminin kısa bir tarihçesi, haritacılık uygulamaları açısından önemi ve günümüzde sistemin geldiği son durum hakkında genel bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, deformasyonun tanımından, deformasyon ölçmelerinin ve deformasyon analizinin haritacılık uygulamaları açısından öneminden bahsedilerek deformasyonların sınıflandırılması konusuna değinilmiştir.

Üçüncü bölümde, uluslararası GNSS servisi IGS hakkında ve diğer ülkelerdeki CORS ağları hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra ülkemizde CORS ağı mantığıyla hizmet vermekte olan TUSAGA-Aktif sistemi ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımından detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Yazılıma ait temel klasörler ve bu klasörlerin içerikleri hakkında bilgiler verildikten sonra çözüme başlamadan önce ön hazırlık aşamasında yapılması gereken işlemler anlatılmış, çözüm aşaması ve çözüm sonuçları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra akademik GNSS değerlendirme yazılımlarımdan elde edilen ortalama hata değerlerinin çok iyimser olmasından dolayı uygulanması gereken ölçek faktörü hesabından bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde, tek noktada güven elipsoidleri yöntemiyle deformasyon analizinin yapılması yöntemi anlatılmıştır. Uygulama aşamasında bu yöntem kullanılarak deformasyon araştırması yapılmıştır.

Altıncı bölümde, uygulama alanı olarak seçilen bölgeler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra uygulamada kullanılacak olan TUSAGA-Aktif noktaları ve IGS noktalarının genel özellikleri, toplanan veriler ve bu verilerin değerlendirmesinde kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Uygulama 1'den elde edilen sonuçlara göre TUSAGA-Aktif noktaları kullanılarak hangi büyüklükteki deformasyonların ne kadar sürede belirlenebileceği net bir şekilde ortaya konulmuştur. Uygulama 2'de ise KAF üzerinde seçilen TUSAGA-Aktif noktalarındaki hareketler tespit edilmiş, bu hareketlerin anlamlı olup olmadığının bir analizi yapılmış ve bu hareketlerin literatürdeki TUSAGA-Aktif hızlarıyla uyumu araştırılmıştır.

Yedinci ve son bölümde ise, daha önceki bölümlerde anlatılan ölçme ve değerlendirme yöntemlerine göre deformasyonların belirlenebilirliği ile ilgili sonuçlara yer verilmiştir.

## 2. GNSS TEKNİĞİ İLE DEFORMASYON ÖLÇMELERİ VE DEFORMASYON MODELLERİ

### 2.1. Deformasyon, Deformasyon Ölçmeleri ve Deformasyon Analizi

Jeodezik deformasyon ölçmeleri ve bu ölçülerin değerlendirilmesi konusu mühendislik ölçmelerinin en önemli uygulama alanlarından birisini oluşturmaktadır. Volkanik ve tektonik hareketler ile büyük mühendislik yapılarında, tünellerde, maden galerilerinde ya da bunların yakın çevrelerinde oluşan yatay ve düşey doğrultudaki konum değişiklikleri deformasyon olarak adlandırılır. Deformasyonların belirlenmesi amacıyla yapılan ölçmelere deformasyon ölçmeleri ve bu ölçülerin değerlendirilerek sonuçların yorumlanması işlemine de deformasyon analizi denilmektedir.

Deformasyon ölçmelerinin dünya çapındaki gelişimine bakıldığında, deformasyon ölçmeleri ilk olarak 1860 yılında ABD California'da San Andreas fay kuşağındaki ölçmelerle başlamıştır denilebilir. Daha sonra bu ölçmelerde 1876 ve 1906 yıllarında yatay açı gözlemleri yinelenmiştir. Ülkemizde ise deformasyon ölçmeleri konusu 1960 yılında gündeme gelmiş ve ilk olarak Kemer Bozdoğan barajında ölçme tesisleri yapılmasına karşılık ölçme ve değerlendirme yapılmamıştır. Sarıyer barajından ise ilk ölçülerde sonra değerlendirmenin nasıl yapılacağı bilinmediğinden yenileme ölçüsü yapılmamıştır. Keban, Gökçekaya, Oymapınar barajında yapılan ölçmeler ve Kuzey Anadolu fay kuşağında yapılan ölçüler ise akademik nitelikteki ilk ölçülerdir (İnal, 2012).

Yeryüzündeki bazı bölgeler (fay kuşakları gibi) ve büyük mühendislik yapıları (barajlar, gökdelenler ve köprüler gibi) ile bunların yakın çevrelerinde geçici veya kalıcı değişik faktörlerin etkisi altında bulunurlar. Bunları;

- Zeminin fiziksel yapısı,
- Bölgedeki yer kabuğu hareketleri,
- Yapıya etki eden hareketli dış yükler,
- Çeşitli atmosferik ve jeolojik faktörler,
- Suyun dinamik basıncı vb.

şeklinde sıralamak mümkündür (Hoşbaş, 1992).

Bu etmenlerden dolayı herhangi bir bölgede, yapıda veya yapının çevresinde meydana gelen şekil değişikliklerine genel olarak deformasyon denilmektedir.



Deformasyon analizi çalışmalarında uzun gözlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Doğal nedenlerle (rüzgar, sıcaklık, basınç) oluşan etki ve tepki sonuçları (ivme, yer değiştirme, eğilme ve gerilme) uygun ölçme aralığında gözlenmelidir. Yapı davranışları; rüzgar, sıcaklık ya da basınç değişimleriyle doğrudan ilişkilidir. Önemli problemlerden birisi çok miktarda olan gözlemlerin otomatik olarak kaydedilmesi ve değerlendirilmesidir (Pehlivan, 2009).

## 2.2. Deformasyonların Belirlenmesi

Bütün mühendislik projelerinde olduğu gibi, deformasyonların izlenmesi amaçlı çalışmalarda da izlenmesi gereken zorunlu bazı temel adımlar mevcuttur. Bu çalışmaların belirli bir sıra takip edilerek yapılması önem arz etmektedir. İlk olarak, beklenen deformasyon miktarının veya maksimum olası deformasyon değerlerinin tahmin edilerek, gerekli ölçme doğruluklarının ve ölçme yöntemlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Sonrasında, bu talebe cevap verebilecek bir ölçme ağının tasarlanması ve uygun olan ölçme teknikleriyle ölçülmesi aşamaları gelir. Daha sonraki adımlarda ise, toplanan bu verilerin değerlendirilmesi, dengelenmesi ve tespit edilen deformasyonların modellenmesi yer almaktadır.

Ayrıca deformasyonların tespit edilmesi için ağ ölçüleri belli periyotlarda yinelenmelidir. Yineleme ölçüleri arasında geçmesi gereken zamanın miktarı muhtemel deformasyonların büyüklüğüne, ölçme periyoduna veya yapıya etki eden kuvvetlerin değişimlerine bağlı olarak tespit edilir. Ağda yapılan ilk ölçüler, sıfır ölçüsü veya referans ölçüsü ismini alır. Yineleme amaçlı yapılan ölçüler ise, yineleme sırasına göre isimlendirilir.  $t_0$  ölçü grubu,  $t_1$  ölçü grubu ya da 1. yineleme ölçüsü, 2. yineleme ölçüsü gibi ölçü gruplarından söz edilir (Ayan, 1982).

### 2.2.1. Deformasyonların nedenleri

Mühendislik yapılarında veya yer kabuğunda deformasyon oluşumuna yol açan etkiler oluşma sebeplerine bakımından yapay veya doğal sebepler olarak çeşitlilik arz etmektedir.

Pek çok deformasyon oluşumunda sıcaklığın önemli bir rolü bulunmaktadır (Erdoğan, 2006). Yer altı su seviyesi değişimleri yerkabuğunda birtakım deformasyonlara sebep olmaktadır. Barajlarda kaya sıkıştırması ve baraj gölünde toplanan suyun gövdeye uygulamış olduğu basınç sebebi ile baraj gövdesinde

deformasyonlar meydana gelmekte ve suyla betonun etkileşime girmesi fizyolojik değişimlere sebep olabilmektedir. Ayrıca baraj gölünde toplanan suyun toprak ile etkileşimi yamaçlardan baraj gölüne toprak kaymalarına sebep olabilmektedir (Gülal, 2012).

İnşaat sahalarında veya maden işletmelerinde de temelden çıkan sudan dolayı meydana gelen kayma, çökme, sürüklenme şeklinde taban değişikliklerinin oluşması da birtakım deformasyonların meydana gelmesine neden olmaktadır.

Raylı sistemlerin yakın çevresindeki binaların temellerinde meydana gelen gevşeklikler, yüksek bir kuleye etki eden rüzgârın kuvveti veya köprüler üzerindeki trafiğin yükü ile nem miktarındaki değişiklikler de deformasyonlara sebep olmaktadır.

### **2.2.2. Deformasyon ölçmelerinin gerekliliği**

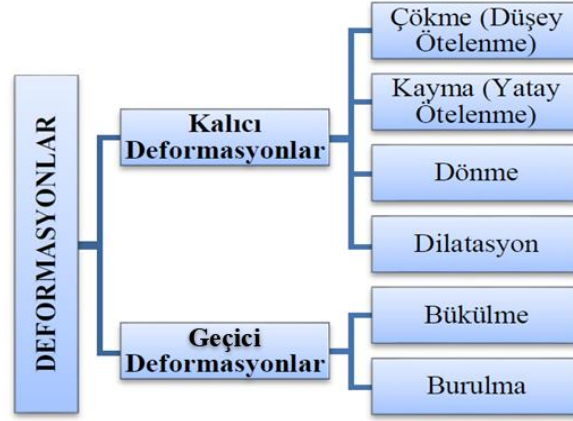
Jeodezik deformasyon ölçmelerinin temel amacı, nokta konum değişimlerini ve buna göre obje deformasyonlarını kanıtlayarak ortaya koymaktır (Öz, 2009).

Deformasyon ölçmeleri yer kabuğunda, yapılarda veya makine tesislerinde var olan bir problemin tespit edilmesi veya henüz ortaya çıkmamış fakat daha sonra problem oluşturabilecek bir durum olup olmadığını ortaya çıkarmak amacıyla yapılmaktadır. Herhangi bir problem veya tehlike kötü sonuçlar doğurmadan önce tespit edilip gerekli tedbirler alındığı takdirde deformasyon ölçmeleri amacına ulaşmış olacaktır (İnal, 2012).

Mühendislik ölçmelerinde tekrarlamalı ölçümler gerçekleştirilerek objede deformasyon olup olmadığına karar verilir. Deformasyon araştırması yapılan bölgenin dışından referans noktaları seçilir. Objeye ve referans noktaları birbirlerine bağlanır. Objeye deformasyonlarının referans noktalarına göre belirlendiği modellere mutlak model, referans nokta bulunmayan, yalnızca objeye noktaları arasındaki görece hareketin belirlenebildiği modellere ise bağıl model denir (Demirel, 2002).

### **2.3. Deformasyonların Sınıflandırılması**

Deformasyonlar şekil değişimlerinin yapısına ve cinsine göre kalıcı ve geçici olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Deformasyonların Sınıflandırılması (Doğanalp, 2005).

### 2.3.1. Elastik (Geçici) deformasyonlar

Objeye etkiyen faktörün ortadan kalkması ile objenin, faktörün etkisinden önceki durumuna gelmesidir. Geçici deformasyonlar bükülme, burkulma olarak adlandırılır. Objelerin ana eksenine dik olacak şekilde meydana gelen şekil değişiklikleri bükülme, ana eksen boyunca meydana gelen dönme hareketine ise burulma denilmektedir.

### 2.3.2. Plastik (Kalıcı) deformasyonlar

Objeye etkiyen faktör ortadan kalksa bile, objenin eski durumuna dönememesidir. Kalıcı deformasyonlar çökme, kayma, dönme, dilatasyon olarak sıralanabilir.

Yüzeyi gevşek olmayan doğal zeminin, tamamen düşey olarak veya düşeye yakın bir şekilde yerçekimi kuvveti yönünde hareket etmesine çökme denilmektedir. Bir yapının veya doğal zeminin yük ve çeşitli kuvvetlerin etkisiyle aşağıya doğru hareket etmesine de oturma adı verilmektedir. Çökme veya oturma türü deformasyonlarda yatay doğrultuda da çok az bir miktarda hareket olabilir. Çökmeler; kumlu zeminde yük uygulanmasıyla ani oturmalar, killi zeminlerde zamanla azalan konsolidasyon ve zeminin taşıma gücünün aşılmasıyla plastik oturmalar şeklinde gerçekleşmektedirler. Çoğu zaman konsolidasyon ile plastik oturmaları birbirinden ayırt etmek zor olmaktadır.

Bir objenin bir kuvvete maruz kalmasıyla yatay yönde yer değiştirmesi kayma olarak adlandırılmaktadır. Objeye uygulanan kuvvet sürtünme kuvvetinden büyük olduğunda kayma meydana gelir (İnal, 2012).

Objenin yatay düzlemde düşey eksen etrafındaki hareketi yatay dönme, düşey düzlemde yatay eksen etrafındaki hareketi de düşey dönme olarak tanımlanabilir.

Dilatasyon olarak da isimlendirilen sünme betonda büzülmenin yanı sıra kalıcı yük altında zamana bağlı olarak oluşan deformasyon olarak tanımlanmaktadır (Yıldırım, 2007).

#### 2.4. Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları

- **Makine ve tesislerinin inşasındaki ölçmeler:** Sanayi ve makine tesislerinde yapılan deformasyon ölçmeleri, bu tesislerin geometrik durumlarının belirlenmesi ve bu tesislerin içindeki büyük cihazların tesise zarar vermeyecek şekilde çalışmasını sağlamak için yapılır.

- **Mühendislik yapılarındaki ölçmeler:** Baraj, tünel, köprü, havaalanı, gökdelen vb. gibi mühendislik yapılarındaki şekil değişikliklerini araştırmak amacıyla yapılan ölçmelerdir. Bu ölçmeler şekil bozukluklarının önceden fark edilmesini sağlayarak, mühendislik yapılarının yakın çevrelerine verebilecekleri tehlikeleri önleyebilmek amacıyla yapılır.

Büyük mühendislik yapılarında özellikle köprü ve barajlarda yerel jeolojik yapıdan, binanın özelliğinden ve yapı üzerindeki dinamik kuvvetlerden dolayı belli değişimler olacaktır. Bu değişimlerin beklenen değerler dışında olup olmadığı izlenmelidir. Bu izleme deformasyon ölçmeleri çerçevesinde düşünülür. Bu hareketlerin yapının genel dinamik karakteri içerisinde kalıp kalmadığı deformasyon analizi yöntemleriyle belirlenir (Yıldırım, 2007).

Deformasyonların tam olarak belirlenebilmesi için objenin zamana bağlı olarak sürekli gözlenmesi gerekir. Bir tek ölçüden yararlanarak deformasyonlar hakkında yorum yapmak olanaksızdır. Farklı ölçmeler ya değişik zamanlarda ya da özel durumlarda yapılır. Örneğin bir yapının çökme ölçmeleri belirli aralıklarla yapıldığı halde barajlardaki ölçmeler su seviyesinin maksimum ya da minimum olduğu dönemlerde yapılır. Deformasyon ölçmelerinin yineleme aralığı deformasyon hızına bağlıdır. Hız düşük ise ölçme aralığı da fazladır. Hız fazla ise ölçme aralığı azalır. Her iki durumda da ölçülerin güvenilirliği ve kanıt çok önemlidir. Bu nedenle gerekli olan ölçü doğruluğu belirlenir (İnal, 2011).

- **Zemin ve kaya mekaniği, mühendislik jeolojisi ölçmeleri:** Heyelanlar, tektonik hareketler, zemin çökmeleri vb. gibi yeryüzünde şekil bozukluklarına sebep olan hareketlerin araştırılmasına yönelik yapılan ölçmelerdir.

- **Heyelanlı Alanlardaki Ölçümlerde:** Heyelanlı alanlardaki zemin hareketlerinin henüz gözle fark edilemeyecek kadar küçük miktarda iken gerçek büyüklüğünün ve yönünün somut olarak hesaplanabilmesi amacıyla yapılan ölçmelerdir.

- **Deprem Kestirimi Çalışmalarında:** Jeodezide herhangi bir depremden önce, deprem sırasında ve depremden sonra yeryuvarı ve gravite alanının zamana bağlı değişimleri belirlenerek bu değişimler yardımıyla deprem sırasında ortaya çıkan yer kabuğu gerilimlerinin yapısı hakkında bilgiler elde edilmeye çalışılır. Bu amaçla deformasyon ağırları, tektonik etkinliği yüksek olan bölgelere tesis edilerek, depremden etkilenen bölgelere ilişkin bilgiler toplanabilir.

- **Güncel Yer kabuğu Hareketlerinin Belirlenmesinde:** Aktif deprem bölgelerinde ortaya çıkan yatay ve düşey yöndeki kabuk hareketleri, güncel yer kabuğu hareketleri olarak adlandırılır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kabuk hareketi inceleme çalışmalarında düzenli kampanya ölçümlerinden çıkarılan sonuçlar ile oluşan deformasyonlar sadece 2 boyutlu olarak değil 3 boyutlu olarak da daha gerçekçi bir şekilde ortaya konulmaktadır (Cai ve Grafarend, 2007).

Genellikle 1-2 cm/yıl hızındaki güncel kabuk hareketlerini belirleyebilmek için yüksek duyarlılık jeodezik ölçüler gereklidir (Tanır, 2000).

Jeodezik deformasyon ölçmelerindeki amaç, araştırmaya konu olan herhangi bir objenin çevresine göre yatay ve düşey doğrultudaki konum değişikliklerini zamanın bir fonksiyonu olarak araştırmaktır. Ana prensip, deformasyona konu olan objenin bütün detay noktalarının sürekli olarak gözlenmesidir. Ancak bu işlemin gerçekleştirilmesi teknik olarak mümkün değildir veya ekonomik değildir. Bu sebeple deformasyona konu olan objeyi en iyi şekilde temsil edebilecek bazı noktalar seçilir ve seçilen bu noktaların koordinatları belirli periyotlarla belirlenir. Beklenen deformasyonların büyüklüğüne göre noktaların obje üzerindeki sıklığı ve ölçmelerin zaman aralığı seçilmelidir.

Aktif deprem bölgelerinde ve fay kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, mühendislik yapılarının (baraj, köprü) kontrolü, fay haritalarının kesin bir biçimde oluşturulması, deprem araştırma projelerine altlık sağlanması amacıyla, jeodezik deformasyon ölçü ve analizlerinin sürekli olarak yapılması, sonradan ortaya çıkabilecek hasarların azaltılması için önlem alabilme açısından yararlı olacaktır (Tanır, 2000).

## 2.5. Deformasyon Modelleri

Deformasyonlar, problemin kapsamına, şekline, uygulanan veya uygulanacak olan ölçme yönteminin çeşidine göre farklı modeller şeklinde incelenir; bu modeller kinematik, dinamik veya statik modellerdir.

**Kinematik Model:** deformasyon araştırması yapılacak olan yapının ya da bölgenin karakteristik noktalarının hareketlerini ve bu hareketlere ait hızlarını belirlemek amacıyla oluşturulan modellerdir. Deformasyon araştırmasına konu olan yapı ve bölgenin bir periyotta gerçekleşen ölçme işlerinin uzun zaman aldığı hallerde uygulanır.

**Dinamik modeller:** deformasyonların bir zaman fonksiyonu olarak düşünüldüğü modellerdir. Bu deformasyon modelinde, objelerdeki geometrik değişimlerle birlikte, deformasyona sebep olan kuvvetlerin dış etmenlere bağlı olan değişimleri ve birbirleriyle ilişkileri kuvvetlerin oluşumuna sebep olan, zamana bağlı dönüşüm fonksiyonlarının yardımıyla araştırılır.

**Statik modeller:** deformasyon araştırmasına konu olan yapı ve bölgelerde seçilen karakteristik noktaların bir ölçme periyodu boyunca konum değişikliği olmadığı varsayımına dayalı olarak oluşturulan modellerdir. Statik deformasyon modellerinde yatay veya düşey yöndeki konum değişiklikleri objeye etkileyen kuvvetlerden ve zamandan bağımsız olarak düşünülür. Jeodezik deformasyon ölçülerinin incelenmesinde en çok kullanım alanı bulunan yöntemdir (Bak, 2014).

## 2.6. GNSS Tekniği İle Deformasyon Ölçmeleri

1980'li yıllarda hayatımıza giren GNSS teknolojisinde yaşanan hızlı gelişmeler sayesinde jeodezik uygulamalarda çokça kullanılmaya başlanması, deformasyon ölçmeleri ve analizi çalışmalarında da etkisini göstermiştir (Erol ve Ayan, 2003). GNSS ölçmeleri gerek ülkemizde, gerekse de dünyada jeodezik amaçlı uygulamalarda yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Sürekli gelişimine devam eden uydu teknolojileri, deformasyon ölçmeleri konusunda da son derece etkili olmuş ve son zamanlarda yapılan deformasyon belirleme çalışmalarında klasik yersel yöntemlerin yanı sıra GNSS ölçmeleri büyük oranda tercih edilmeye başlanmıştır. Çünkü GNSS yönteminde noktaların birbirini görme zorunluluğunun olmaması, noktaların yer seçimleri konusunda yersel jeodezik ağlara göre büyük esneklik sağlamaktadır. GNSS alıcılarının kullanım kolaylığı ve ölçülerin

pratik bir şekilde yapılabilmesi, GNSS tekniğini ekonomik bir sistem haline getirmektedir. Ayrıca, GNSS ölçmeleri ile ulaşılabilen doğrulukların deformasyon ölçmelerinde kullanılabilir seviyede olması da bu yöntemin tercih edilmesinin başlıca sebepleri arasındadır. Ancak GNSS uydu sinyallerinin alıcı çevresindeki nesnelere çarpması sistemin dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, yoğun yapılaşmanın olduğu yerlerde, yoğun ağaçlık alanlarda, göl, tünel ve kapalı alanlarda (maden ocakları vb.) ölçüm yapabilmek imkânını düşürmektedir (Bilgen, 2017).

GNSS yöntemi tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu deformasyonların belirlenmesi çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin yalnızca GNSS tekniği kullanılarak, köprü, viyadük, baraj vb. gibi mühendislik yapılarındaki deformasyonların araştırılması, heyelanların izlenmesi ve yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi gibi çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Gelişkan, 2019).

### 2.6.1. Görelî konum belirlemede ulaşılabilen doğruluklar

Kinematik ölçme yöntemi, statik yöntemle belirlenmiş noktaların referans noktası olarak kullanılması kaydıyla, pek çok jeodezik amaçlı nokta konumlarının belirlenmesi uygulamalarında kullanılabilir.

Statik konum belirleme yöntemi ise birkaç bin kilometre gibi çeşitli uzunluklara varabilen diğer yöntemlere nazaran çok daha uzun bazlar üzerinde uygulanabilmektedir. Ancak genel olarak çoğu uygulamada baz uzunlukları 20 km'yi aşmamaktadır. Bu tür bazlar için belirsizliklerin çözüldüğü kabul edilerek, normal iyonosferik koşullar altında ve uygun geometriye sahip 5 uydudan sinyal alan tek frekanslı alıcılar için yatayda erişilebilen doğruluklar Çizelge 2.1.'de görülmektedir. Ancak düşey doğrultuda ulaşılabilen doğruluklar, yataya göre 1.5 ila 2 kat civarında daha kötüdür (Wellenhof ve ark., 2008). Statik yöntemde, çift ve üç frekanslı alıcıların kullanılması durumunda oturma süreleri önemli ölçüde azaltılabilir. Ancak, 20 km'ye kadar olan mesafeler için konum doğruluğunda kayda değer bir iyileşme görülmemektedir. Daha uzun bazların çözümünde, iyonosferik hataları azaltmak için çift frekanslı alıcıların kullanılması gereklidir. 100 km uzunluğundaki bazlar için görelî doğruluk 0.1 ppm seviyesindedir.

**Çizelge 2.1.** Görelî Konum Belirleme Doğruluğu (Wellenhof ve ark., 2008).

Yöntem	Yatay Doğruluk
Statik	5 mm + 0.5 ppm
Kinematik	5 cm + 5 ppm

Deformasyon ölçmeleri gibi yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda, elde edilen doğruluklar milimetre seviyelerinde olduğu için statik ölçü yönteminin kullanılması daha uygun olmaktadır. Bu sebeple 6. bölümde anlatılan uygulamalarda deformasyonların belirlenmesi amacıyla yapılan ölçmeler için statik yöntem kullanılmıştır. Yapılan ölçmeler sonradan değerlendirme işlemine (post-proses) tabi tutulduktan sonra nokta koordinatları elde edilmiştir.

## 2.7. Deformasyon Ölçülerinin Analizi

Deformasyon araştırmalarında genel olarak izlenen yol aşağıdaki gibidir:

- Periyot ölçüleri ayrı ayrı ve serbest olarak dengelenir.
- Uyuşumsuz ölçüler ayklanır.
- Periyot ölçüleri için uyuşum testi yapılır.
- Araştırılan objeye ve harekete uygun bir model seçilerek analiz işlemleri gerçekleştirilir.

Deformasyon araştırmaları için öncelikle oluşturulan ağı tamamında herhangi bir deformasyon olup olmadığını belirleyebilmek adına global test yapılır. Global test neticesinde eğer ağıda deformasyon olduğu tespit edilirse yerleştirme işlemine geçilir. Yerleştirme işlemi sırasında ağıdaki referans noktalarından herhangi birinde deformasyon olduğunun tespit edilmesi durumunda, o nokta obje noktası olarak ele alınarak işlemlere devam edilir.

Yatay yöndeki mutlak deformasyonların belirlenebilmesi için konum ağılarında en az iki noktanın sabit olarak alınması, düşey yöndeki mutlak deformasyonların belirlenebilmesi için yükseklik ağılarında en az bir noktanın sabit alınması gerekmektedir.

Objelerde deformasyonlar genellikle üç boyutlu olarak meydana gelmektedir fakat deformasyon ölçmelerinde genellikle yatay yönde doğrultu ve kenar ölçmeleri düşey yönde ise hassas nivelman tekniğı kullanıldığından daha iyi doğruluklar elde edebilmek adına deformasyonların konum ve yükseklik için birbirinden ayrı olacak şekilde belirlenmesi daha uygun olacaktır (Ogundare, 2016).



### 3. GLOBAL VE ULUSAL GNSS AĞLARI

Gerçek zamanlı düzeltme verisi sağlayan sabit GNSS ağlarının (CORS) kurulması çalışmaları, günümüzde neredeyse tüm ülkelerde hızla devam etmektedir. Kurulan bu ağların kullanılabilirliğinin ve verimliliğinin zaman içerisinde optimizasyonunun yapılması ise bu ağların teknolojiyi yakından takip etmelerinin yanında askeri ve sivil kullanıcıların ihtiyaçlarını ne ölçüde karşılayabildiği ile orantılı olacaktır. Gerçek zamanlı ve post proses veri sağlama kapasitesine sahip ulusal sabit GNSS ağları, ülkelerin kamu kurumlarını, özel sektörünü ve üniversitelerini yakından ilgilendiren çok amaçlı jeodezik ağlardır. Bu sabit GNSS ağları, kullanıcı kitlesine hem post proses olarak sonradan değerlendirebilecekleri hem de gerçek zamanlı ve yüksek doğrulukta konum bilgisi sağlamaktadır. Bunun yanında ülkeler için uzaysal referans sistemlerinin tanımlanmasında da büyük bir role sahiptir. Ayrıca, GNSS ağlarının kurulum aşamasında, diğer gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, mevzuat, yönetim, işletme, idari ve teknik konularda tüm tarafların görüşlerinin alınarak bu ağların kullanımı için uygun bir ortam oluşturulmaya çalışılması ve sistemin olabildiğince fazla miktarda tabana yayılmasının sağlanması en faydalı yöntem olacaktır (Kahveci, 2009a).

#### 3.1. Uluslararası GNSS Servisi (IGS)

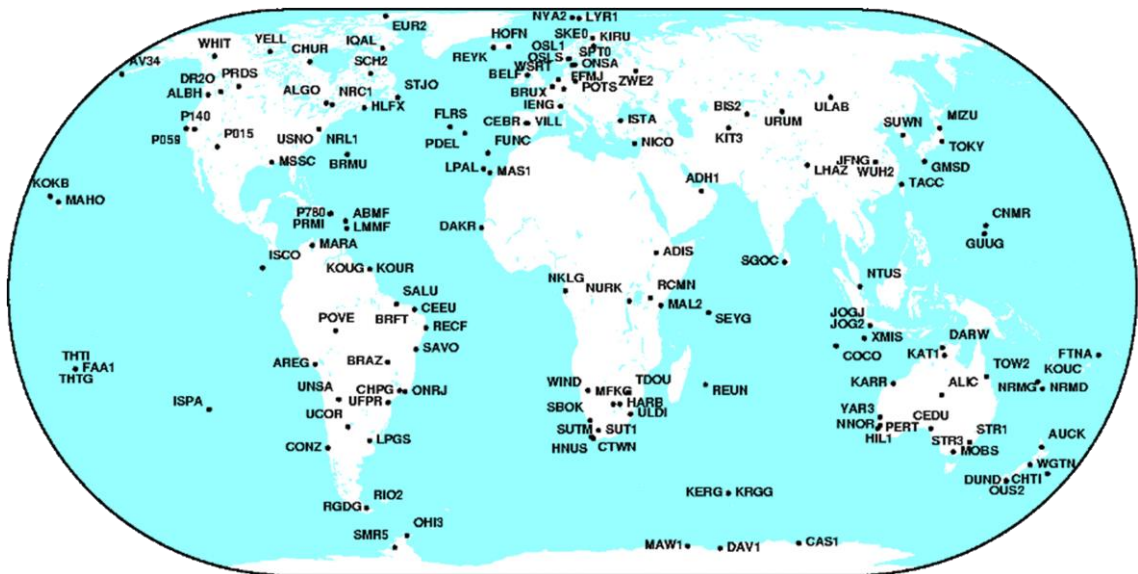
Uluslararası GNSS Servisi IGS, tüm dünyada iki yüzden fazla sivil kurum ve kuruluşun katılımıyla oluşturulmuş, sabit GPS ve GLONASS istasyonlarından oluşan ağı işletip, bu ağdan elde ettiği verileri analiz eden, bu veriler yardımıyla söz konusu uydu sistemlerine ait yüksek doğruluklu ürünleri (yörünge ve yer dönüklük parametreleri, uydu saat hataları, vb.) hesaplayan, sonrasında ise bu verileri internet ortamında tüm kullanıcıların hizmetine sunan uluslararası bir organizasyondur (Açıkgöz, 2010).

Amerika Birleşik Devletleri'ne ait olan GPS uyduları, faaliyete geçtiği 1980'li yılların sonlarından itibaren dünya çapındaki pek çok uygulamada önemli rol oynamaktadır. Bu GNSS uygulamalarının günden güne gelişmesi ve çeşitliliğinin artması neticesinde GNSS verilerinin elde edilmesi ve analizlerinin yapılması için uluslararası bir standart geliştirmeye, detaylı bir izleme sistemi kurmaya ve bu sistemi işletmeye ihtiyaç duyulmuştur.

Bu ihtiyacın bir parçası olarak, IGS resmen 1993 yılında IAG (International Association of Geodesy) tarafından tanımlanmış ve jeodezik ve jeofizik amaçlı araştırmalara destek sağlamak üzere GNSS yörüngeleri, izleme verileri ve diğer ürünleri tedarik edebilmek maksadıyla 1 Ocak 1994’de işletilmeye başlanmıştır (Zumberge ve ark., 1995).

IGS, denemeleri ve uygulamaları kapsayan geniş bir alan için ihtiyaçları ve hedefleri karşılayabilmek adına, yeterli doğrulukta GNSS gözlemlerini kapsayan veri ve ürün gruplarını toplayıp, arşivler ve sonrasında ise kullanıcılara dağıtır. İsteyen kullanıcılar bu ürün ve veri gruplarına internet aracılığıyla ulaşabilirler. Bu ürün ve veri grupları; yer dönme parametreleri, GPS ve GLONASS uydu efemerisleri, IGS izleme istasyonu koordinatları ve hızları, başucu (zenit) doğrultusu gecikme tahminleri, GNSS uydu ve IGS izleme istasyonları saat bilgisi ve global iyonosferik haritaları içermektedir. Özellikle dünyanın katı yüzeyindeki deformasyonları belirleme, ITRF’yi (International Terrestrial Reference Frame) geliştirmek ve yaymak amaçlı uygulamalar, dünyanın dönüşünü izleme ve bilimsel uyduların yörüngelerinin belirlenmesi amaçlı çalışmalar, iyonosferi izleme ve ayrışabilir su buharı ölçmelerini iyileştirme konularında IGS ürünlerinin doğrulukları yeterlidir (Anonim2, 2018).

IGS, koordinatları yüksek doğrulukta bilinen sürekli gözlem yapmakta olan 400’den fazla istasyondan oluşan bir izleme ağını işletme görevini yürütmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. IGS Ağı Nokta Dağılımı.

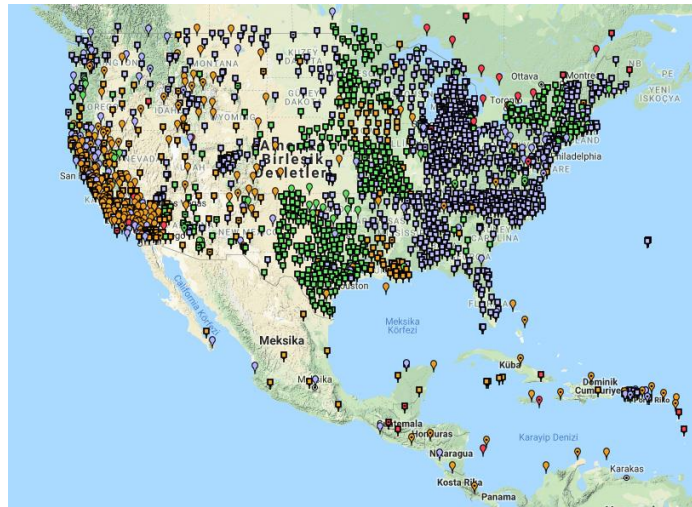
### 3.2. Ulusal GNSS Ağları

Günümüzde ülkelere ait jeodezik ağlar, hem gerçek zamanlı hem de post proses olarak hizmet veren ve sürekli gözlem yapan sabit GNSS ağlarından oluşmaktadır. Bu jeodezik ağlar, başta haritacılık olmak üzere sivil ve askeri birçok alanda (mühendislik ölçmeleri, jeodezik amaçlı ölçüler, CBS uygulamaları, navigasyon uygulamaları, jeodinamik ve jeofizik uygulamalar, meteorolojik çalışmalar vb.) yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Ülkemizde de Mayıs 2009'da faaliyete geçen ulusal ölçekte 158 istasyondan oluşan (KKTC'de 4 adet dahil) ve tüm ülkeyi kapsayan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) sistemi, yerel ölçekte ise İstanbul ilini kapsayan, 8 istasyondan oluşan ve Kasım 2008 itibarıyla çalışır hale getirilen İSKİ-UKBS (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi – Uydudan Konum Belirleme Sistemi), Bursa ilini kapsayan BUSAGA(Bursa Sabit GNSS Ağı), Konya ilini kapsayan KOSAGA(Konya Sabit GNSS Ağı), Malatya ilini kapsayan MASAGA(Malatya Sabit GNSS Ağı) gibi bir çok belediyenin de kendi bölgelerini kapsayacak şekilde sürekli gözlem yapan GNSS-CORS ağları mevcuttur.

#### 3.2.1. ABD NGS Cors Ağı

1990'lı yılların başında yaklaşık 10 noktadan oluşan CIGNET (Cooperative International GPS Network) ağı ile başlayan ve bugün CORS adı altında yaklaşık 2000 noktadan oluşan büyük bir ağ halini almıştır (Şekil 3.2.). ABD (Amerika Birleşik Devletleri)'de hemen hemen her eyaletin kendine ait CORS sistemleri mevcuttur ve her yıl istasyon sayısı ortalama olarak iki yüz adet artmaktadır (Anonim3, 2018).



Şekil 3.2. ABD CORS Ağı Nokta Dağılımı.

### 3.2.2. Almanya SAPOS Ağı

SAPOS (Satellite Positioning Service) ağı tüm ülkeye yayılmış sürekli çalışan 40-70 km aralıklı toplam 300 (270 kendine ait ve 30 adet komşu ülkelerden olmak üzere) istasyon noktasından oluşmaktadır (Şekil 3.3.). SAPOS sisteminin geleceğe ilişkin planları arasında bu ağın Japonya GEONET (GNSS Earth Observation Network system) Ağı'nın da temel prensibini oluşturan Ulusal Afet Bilgi Veri tabanına entegrasyonu bulunmaktadır (Anonim4, 2018).

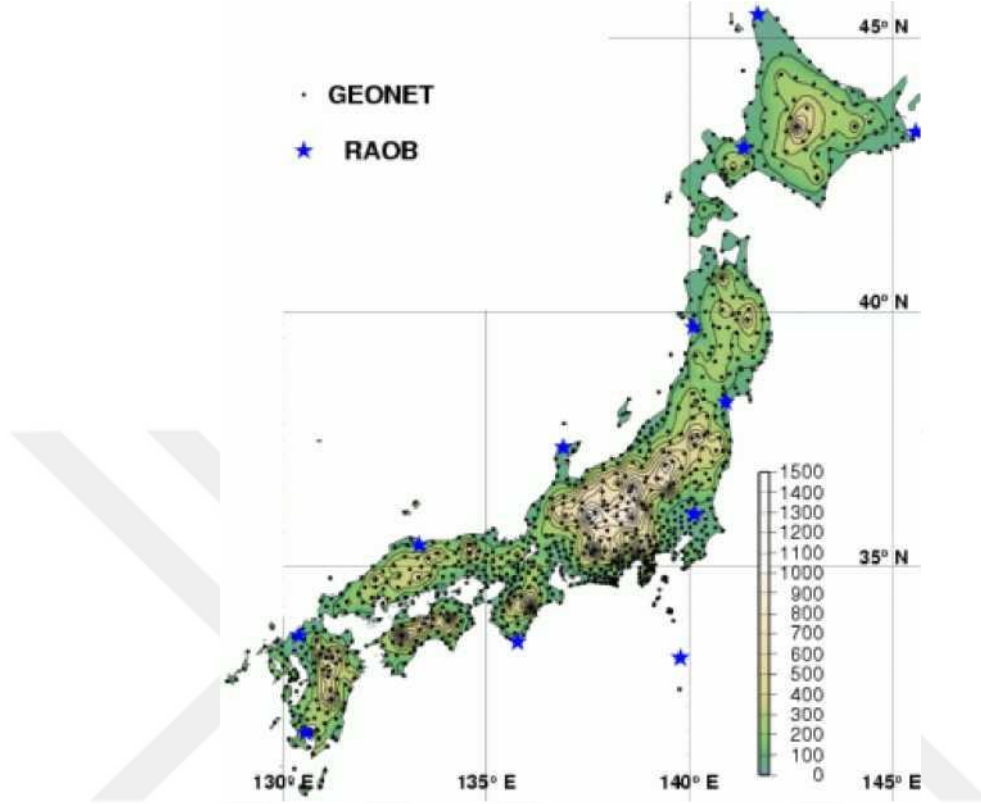


Şekil 3.3. SAPOS Ağı Nokta Dağılımı.

### 3.2.3. Japonya GEONET Ağı

Sabit GNSS istasyonların çalışması Japonya'da ulusal haritacılık kuruluşu olan GSI(Geographical Survey Institute) tarafından 110 istasyonun (COSMOS-G2) kurulması ile 1993 yılında başlatılmıştır. 1994 yılında 100 istasyon daha kurulmuş (GRAPES), her iki sistem daha sonra birleştirilmiş ve bunlara 400 istasyon daha eklenmiştir. Bu ağa GEONET adı verilmiştir (Şekil 3.4.). GEONET ağı ortalama 20 km sıklıkta yaklaşık 1300 referans istasyonundan oluşmaktadır. GEONET ağının kuruluş amaçları; jeodezik amaçlı çalışmalar, depremlerin önceden belirlenebilmesi çalışmaları,

meteorolojik amaçlı çalışmalar, kadastro çalışmaları ve ticari kullanımlar (navigasyon, araç takip, turizm vb.) olarak sayılabilir (Anonim1, 2018).

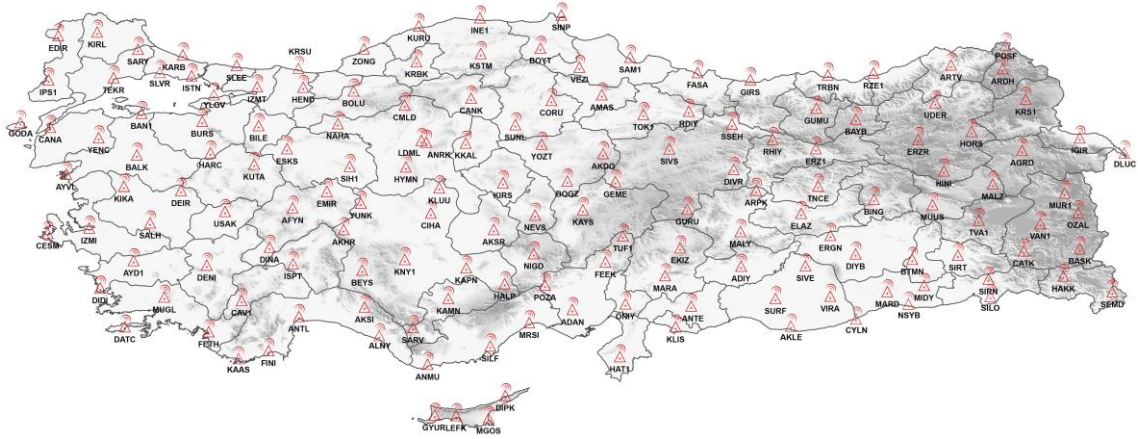


Şekil 3.4. GEONET Ağı Nokta Dağılımı.

### 3.3. TUSAGA-Aktif (CORS-TR) Sistemi

TUSAGA-Aktif sistemi, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ile Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından, TÜBİTAK'ın (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) desteği ve İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ)'nin yürütücülüğünde, jeodezik çalışmalar, kadastral ölçmeler ve diğer amaçlar (meteorolojik, navigasyon, hobi vb.) için kullanılmak üzere kurmuş oldukları sürekli gözlem yapan sabit bir GNSS ağıdır (Kahveci, 2009b). Proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiş, Mayıs 2006 yılında çalışmalar başlamış ve Mayıs 2009 tarihinde tamamlanarak faaliyete girmiştir (Anonim6, 2018).

TUSAGA-Aktif sisteminde, Türkiye ve KKTC (4 adet) geneline dağılmış 158 adet sabit GNSS istasyonu olup, bu istasyonların dağılımları şekil 3.5.'te görülmektedir.



Şekil 3.5. TUSAGA-Aktif İstasyonları.

24 saat süreyle gerçek zamanlı ve post proses olarak hizmet verecek olan CORS-TR projesinin başlıca amaçları şu şekildedir:

- Coğrafi bilgi ve belgelerin üretimi için gerekli olan yüksek doğrulukta konum verilerini CORS-TR yöntemleriyle daha çabuk, daha ekonomik ve yüksek doğruluklu olarak elde etmek ve bu sayede ülke savunmasına ve kalkınmasına destek olmak,
- Klasik yöntem kullanılarak üretilen, mevcut analog yapıdaki kadastral ölçülerin ve paftaların, halen kullanılmakta olan datuma ve TAKBİS(Tapu Kadastro Bilgi Sistemi)'e aktarımını sağlayabilmek adına, hücresel dönüşüm parametrelerinin hesaplanması hususunda başta TKGM ve HGM olmak üzere tüm harita ve harita bilgisi üreten kurumların bu konu ile ilgili temel sorunlarını çözmek,
- Her türlü araç takip uygulamaları, navigasyon ve ulaşım amaçları için yeterli doğrulukta konum bilgisi üretimini sağlamak,
- Tüm Türkiye için iyonosferi ve atmosferi modelleyerek ve daha sağlıklı meteorolojik tahminlerin yapılmasına katkıda bulunmak ve başta sinyal, iletişim konuları olmak üzere pek çok bilimsel çalışmaya imkân ve katkı sağlamak,
- Bir deprem ülkesi olan ülkemiz için tektonik (plaka) hareketlerinin yüksek doğruluklu ve sürekli olarak izlenmesini sağlamak ve böylelikle yer kabuğundaki deformasyon miktarlarını belirlemek ve depremlerin önceden tespiti ve erken uyarı sistemleri çalışmalarına katkı sağlamak,
- Başta TKGM ve HGM olmak üzere harita ve harita bilgisi üreten tüm kurumların, Jeodezik amaçlı nokta tesisi (nirengi, poligon vd) işlemleri, harita ve kadastral ölçmeleri ile hesapları, TAKBİS sistemi için veri dönüşümü ve yeni verilerin toplanıp düzenlenmesi, CBS/KBS(Kent Bilgi Sistemi) amaçlı diğer yersel ölçmeler

şeklinde özet olarak sıralanabilen ihtiyaçlarına çabuk, ekonomik olarak ve sağlıklı bir şekilde cevap verebilmek (Anonim6, 2018).

- Ülke genelinde 7 gün 24 saat prensibine göre nokta konumlarını hem gerçek zamanda(RTK) hem de postprocessing yöntemi ile ekonomik, hızlı ve yüksek doğruluklu olarak belirlemek,

- ITRFxx Datumu ile ED50 Datumu arasındaki dönüşüm parametrelerini hesaplamaktır (Yıldırım ve ark., 2011).

### 3.3.1. Projenin Kapsamı

Proje kapsamında, ülke geneline hizmet verecek özellikte ağ mantığıyla çalışan gerçek zamanlı ve post proses fonksiyonlu sabit GNSS istasyonları kurularak ve ITRFyy datumu ile ED50 (European Datum 1950) datumu arasındaki dönüşümler için olanak sağlanmıştır. Bu sayede;

- Tüm kullanıcılar kurulan merkezden hizmet alabilecek,
- Sistem gerçek zamanlı ve post proses olarak kullanılabilir,
- Tüm ülke çapında hizmete sunulabilecek,
- Bütün coğrafi bilgi teknolojileri için altlık oluşturacak olan bilgiler temin edilecek,
- Tüm Türkiye genelinde noktaların konumları hem gerçek zamanda hem de post processing yöntemi ile 7/24 saat ilkesine göre, hızlı, ekonomik ve duyarlı olarak belirlenebilecek,
- Ülkemizin yer aldığı bölgede atmosfer (iyonosfer ve troposfer) modellenilebilecek,

Kısacası, CORS-TR projesi, ülkemizde de haritacılık uygulamaları için yer tesisi inşa etme gereksinimini büyük oranda ortadan kaldırmış; kullanıcılara teknolojinin kolaylıklarından ve ürünlerinden faydalanma imkânı sunmaktadır (Anonim5, 2018).

CORS-TR ağı hem statik hem de RTK yöntemiyle konum belirleme çalışmalarında kullanılabilir. Ayrıca konum belirlemek için gereken zaman, bir kaç saniyelere kadar inmiştir. Klasik RTK yönteminde olan sabit baz istasyonuna olan sınırlı mesafede çalışma kısıtlaması CORS-TR kullanımı ile tamamen ortadan kalkmıştır. Bu sayede bu kadar kolaylıkla ve ekonomik olarak belirlenebilen noktalar, arazide rahatlıkla işaretlenebilmektedir.

TUSAGA-Aktif istasyonları için yer seçimi aşamasında, istasyon kurulacak olan alanın zemin yapısı, internet, elektrik, telefon ve güvenlik konuları dikkate alınmış ve tüm ülke çapında yapılan arazi keşifleri sonucunda Üniversiteler, Belediyeler ve diğer Kamu Kurum ve Kuruluşlarına ait bina ve araziler seçilmiştir.

Proje kapsamında tesis edilen 158 adet istasyonun her birinde birer tane GNSS alıcısı ve bu alıcıya bağlı olan bir jeodezik GNSS anteni yerleştirilmiştir. Sisteminin işletimi ve tüm düzeltme parametrelerinin hesaplanması işi, Ankara'da Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nde bulunan kontrol ve analiz merkezinde gerçekleştirilmektedir. TUSAGA-Aktif sisteminde, sabit GNSS istasyonları ile kontrol merkezi arasında iletişim ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) üzerinden sağlanmaktadır. Ayrıca, ADSL hattında oluşabilecek herhangi bir veri kesilmesi probleminde mevcut bir Router yardımı ile GPRS (General Package Radio Service) modem devreye girerek veri iletimini GPRS üzerinden gerçekleştirmektedir (Yıldırım ve ark., 2009).

Kontrol merkezinde bulunan sunucular(server) ülke genelindeki tüm baz istasyonlarından gelen anlık verilerin yardımıyla atmosferik modellemeleri yapmakta ve DGPS/RTK(Diferensiyel GPS/Real Time Kinematic) olarak düzeltme verilerini hesaplamaktadır. Kontrol merkezinde hesaplanan bu düzeltme verileri, arazide o esnada bulunan gezici alıcılara GPRS(General Package Radio Service) üzerinden aktarılmaktadır. Bu sayede eğer tek frekanslı bir GNSS alıcısı kullanılıyor ise DGPS düzeltmeleri kullanılarak metre altı doğrulukta, çift frekanslı bir GNSS alıcısı kullanılıyor ise RTK düzeltmesi kullanılarak 1-10 cm doğruluğunda konum belirlenebilmektedir. Veri aktarım formatı olarak ise NTRIP (Network Transport of RTCM through Internet Protocol) kullanılmaktadır.

CORS-TR sisteminin, Harita Genel Müdürlüğü ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü tarafından ITRFyy datumunda tesis edilmiş olan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) ile de entegrasyonu sağlanmıştır. Sistem dahilinde tesis edilen baz istasyonlarının koordinatları ITRF96 datumunda ve 2005.0 epoğundadır. Güncel ITRF veya ECEF(Earth-Centered Earth-Fixed) koordinatlarıyla yapılacak olan arazi çalışmalarında, noktaların kontrolünün yapılabilmesi için, TUSAGA-Aktif sisteminden elde edilen değerlerin ölçü epoğuna getirilmesi gerekmektedir.



#### 4. BERNESE v5.2 BİLİMSEL GNSS YAZILIMI

RTK yöntemiyle yapılan ölçüler hariç olmak üzere, tek başına GNSS alıcıları ile yapılan ham ölçülere herhangi bir düzeltme uygulamadan veya sonradan değerlendirme işlemine tabi tutmadan doğrudan jeodezik çalışmalar için gerekli yüksek doğrulukta sonuçlar elde etmek mümkün değildir. Bu doğrultuda, GNSS tekniği kullanılarak yapılan ölçülerin değerlendirilmesinde genellikle ticari yazılımlar tercih edilmektedir. Fakat ticari yazılımların çözülebilen baz uzunlukları sınırlı olması ve bu yazılımlarda kullanıcı müdahalesi en az düzeyde olması gibi bir takım dezavantajları bulunmaktadır. Bundan dolayı, daha uzun bazların çözümüne olanak sağlayan ve farklı yaklaşım ve modellerin kullanıldığı yazılımlar geliştirilmiş ve bu yazılımlar “bilimsel yazılımlar” olarak adlandırılmıştır (Wang ve Soler, 2012).

Bilimsel yazılımlar, deformasyon ölçüleri, yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, datum parametrelerinin belirlenmesi, ülke jeodezik ağlarının kurulması, troposfer ve iyonosfer belirleme gibi bilimsel çalışmalarda kullanılabilmesi için üniversitelerde ya da çeşitli araştırma merkezlerinde geliştirilmektedir. Bilimsel yazılımlara İsviçre Bern Üniversitesi tarafından geliştirilen Bernese, NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından geliştirilen GIPSY ve Amerika Birleşik Devletleri Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde (MIT) geliştirilen GAMIT yazılımları örnek gösterilebilir (İnal ve Salgın, 2008).

Genellikle GIPSY, GAMIT ve Bernese Bilimsel GNSS yazılımları, yüksek doğruluklu olarak GNSS konumlarını hesaplamak için araştırmacılar tarafından kullanılan üç büyük bilimsel GNSS işleme yazılımı paketidir (Wang ve Soler, 2012). Bu tezdeki GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinde Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı kullanılmıştır.

##### 4.1. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS Yazılımının Tanıtımı

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS değerlendirme yazılımı, yüksek hassasiyetli ve çok sayıda GNSS verisini bir arada çözebilen Bern Üniversitesi Astronomi Enstitüsü (AIUB: Astronomical Institute of the University of Bern) tarafından geliştirilen bir yazılımdır.

Bu yazılımın genel olarak kullanıcıları;

- Eğitim ve araştırma için akademisyenler,

- Yüksek doğruluklu GNSS verilerini işleyen firmalar,
- Sabit GNSS ağılarını sürdürmekle sorumlu firmalar,
- Yüksek doğruluk, güvenilirlik ve verimlilik gerektiren ticari kullanıcılar, olarak sıralanabilir.

Yazılımın genel özellikleri ise;

- Unix/Linux, Mac ve Windows sistemlerinde çalışması,
- HTML tabanlı bir kullanıcıya yardım sağlayan GUI'nin bulunması,
- Çok oturumlu paralel tekrar çözümleme olanağının olması,
- Farklı uygulamalar için farklı BPE'lerin kullanıma hazır olması (Hassas Nokta Konumlama (PPP: Precise Point Positioning), Alıcıdan Bağımsız Veri Değişim Formatı (RINEX), İstasyon Konumu ve Hız Çözümleri (SINEX), Saat belirleme,
- LEO GPS verilerine dayalı hassas uydu belirleme,
- SLR doğrulama,
- Otomatik olarak koordinat zaman serileri analizi gerçekleştirmek,
- GPS ve GLONASS için faz başlangıç belirsizliğini çözebilmek,
- Normal eşitlik seviyesinde ele alınan esnek parametreler sunmak (NEQ),
- Modern troposfer modelleri sunmak ( VMF1, GMF/GPT),
- Daha yüksek dereceli iyonosfer düzeltmelerini içeren iyonosfer modelleme yapmak,
- IGS ve IERS 2010'a uyumluluk,
- Farklı alıcı ve anten tiplerine uyum sağlayabilmek,
- Galileo çözümlemesine olanak sağlamak

olarak ifade edilebilir.

Yazılımın genel uygulamaları da;

- Küçük boyutlu tek ve çift frekanslı ölçmelerin hızlı çözülmesi,
- Sabit ağların otomatik çözülmesi,
- Gerçek zamanlı uygulamaları proses etmesi,
- Çok sayıda alıcıdan toplanan verileri çözümlemesi,
- GPS ve GLONASS verilerinin birlikte çözülmesi,
- İyonosfer ve troposferin izlenmesi,
- Saat tahmini ve zaman dönüşümü,
- Yörünge belirleme,
- SLR yörünge doğrulama olarak ifade edilebilir (Dach ve ark., 2015).

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında diğer yazılımlardan farklı olarak “proje” yerine, “kampanya” terimi kullanılmaktadır. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımının kullanımında iki tür dosya grubuna gereksinim duyulmaktadır. İlk grup, değerlendirme sürecinde yararlanılan genel dosyalardan oluşurken, ikinci grup ise çözüme konu olan zaman dilimine ait olan hassas yörünge, atmosferik düzeltme ve saat düzeltme dosyaları gibi çözümde referans olarak kullanılacak dosyalardan oluşmaktadır.

İlk grupta yer alan dosyaların bir kısmı yazılımla birlikte yüklenir ve güncellemelerine gerek yoktur. Ancak bu ilk grup içinde yer alan anten faz merkezi kayıklıklarını içeren dosyalar, uydulara ait hataları içeren CRX(Uydu hataları dosyasının uzantısı) uzantılı dosyaları, alıcı türlerini içeren “receiver” ve uydu yörünge bilgilerini içeren “satellite” dosyaları, düzenli bir şekilde yazılım geliştiricileri tarafından zaman zaman güncellenmektedir. Bu yüzden kullanıcılar bu güncellemeleri takip ederek dosyaların en güncel versiyonlarını kullanmalıdır.

İkinci gruba konu olan dosyalar ise her çözüm için ayrı ayrı düzenlenmesi gereken, çözümde referans olarak kullanılacak olan dosyalardır ve farklı kaynaklardan indirilebilmektedir. Çözüm için farklı kaynaklardan indirilen dosyaların herhangi biri kullanılabilir. Ancak bir proje için baştan sona kadar aynı kaynaktan indirilen verilerin kullanılmasına dikkat edilmelidir.

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında temel olarak 4 adet klasör bulunmaktadır.

- CAMPAIGN52 klasörü, GNSS çözümlerine ait oturum dosyalarının bulunduğu dizindir.
- DATAPOOL klasörü, Bernese Program Dizini (BPE: Bernese Processing Engine)’nin çalışabilmesi için gerekli olan ham verilerin yüklendiği dizindir.
- SAVEDISK klasörü, çözümlenme sonucunda elde edilen ve kullanıcıya daha sonrası için yarar sağlayacak özet sonuç dosyalarının depolandığı dizindir.
- GPSUSER klasörü ise, programa ait genel parametrelerin bulunduğu ve belirli zaman aralıklarında güncellenmesi gereken dosyaların bulunduğu dizindir (Başçiftçi, 2017).

## 4.2. Bernese v.5.2 Bilimsel GNSS Yazılımındaki Kullanıcı Klasörleri

### 4.2.1. DATAPOOL klasörü

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında otomatik olarak bir çözümleme gerçekleştirilecekse, çözüm için referans olarak kullanılacak olan tüm dosyalar her çözüme başlamadan önce tercih edilen kaynaktan indirilip DATAPOOL klasörünün içindeki ilgili alt klasörlere kopyalanmalıdır.

Bu bölümde DATAPOOL dizininde olması gerekenler ve bu verilerin nereden temin edileceği açıklanacaktır. DATAPOOL klasörünün (Şekil 4.1.) içinde bulunan alt klasörler ve bu alt klasörlerin içindeki dosyaların yapıları aşağıdaki gibi gösterilebilir (Bülbül, 2018).

- **BSW52 klasörü:** Bu klasörde; Anonim7 (2018) adresinden
  - CODwwwwd.ION.Z iyonosfer dosyası,
  - CODwwwwd.TRO.Z troposfer dosyası,
  - P1P2yymm.DCB.Z ve
  - P1C1yymm.DCB.Z uydular ve alıcılar için diferansiyel kod bias

dosyaları indirilir.

yyyy : Yıl (2017, 2018 vb.)

yy : Yılın son iki rakamı (03, 07, 11 vb.)

mm : Ay (01, 02,.....11, 12)

www : GPS haftası (1989 vb.)

d : GPS gününü(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6) ifade etmektedir.

Örnek olarak 1989. GPS haftası 5. günü (23 Şubat 2018) için COD19895.ION.Z ve COD19895.TRO.Z ile P1P21802.DCB, P1C11802.DCB dosyaları temin edilmelidir.

- **COD klasörü:** Bu klasörde; Anonim7 (2018) adresinden
  - CODwwwwd.EPH.Z,
  - CODwwwwd.CLK.Z,
  - CODwww7.ERP.Z,
  - CODwww7.SUM.Z,
  - CODwww7.SNX.Z dosyaları indirilir.

Örnek olarak 1989. GPS haftası 5. günü (23 Şubat 2018) için COD19895.EPH.Z, COD19895.CLK.Z, COD19897.ERP.Z, COD19897.SUM.Z, COD19897.SNX.Z dosyaları temin edilmelidir.

- **IGS klasörü:** Bu klasörde ölçü gününe ait referans olarak kullanılacak olan IGS istasyonlarına ait Anonim8 (2018) adresinden
  - igswwwwd.clk.Z,
  - igswwwwd.sp3.Z,
  - igswwww7.erp.Z,
  - igswwww7.sum.Z,
 (Anonim9, 2018) adresinden ise;
  - iglwwwwd.sp3.Z,
  - iglwww7.sum.Z dosyaları indirilir.

Örnek olarak 1989. GPS haftası 5. günü (23 Şubat 2018) için igs19895.clk.Z, igs19895.sp3.Z, igs19897.erp.Z, igs19897.sum.Z, igl19895.sp3.Z, igl19897.sum.Z dosyaları temin edilmelidir.

- **MSC klasörü:** Bu klasörde hangi noktalarının çözümü yapılacağına dair bilgilerin bulunduğu OBSSEL klasörü kullanıcı tarafından hazırlanacaktır.
- **REF52 klasörü:** Bu klasöre Anonim10 (2018) adresinden IGS08.FIX, IGS08\_R.CRD, IGS08\_R.VEL dosyaları indirilir. Ayrıca bu klasör içerisinde kullanıcı tarafından hazırlanan ABB, ATL, BLQ, CLU, CRD, PLD, STA ve VEL dosyaları bulunmalıdır.

ABB = istasyon dosyalarının kısa adları

ATL = Atmosferik gelgit dosyası

BLQ = okyanus yüklemesi katsayıları

CLU = çözümlemede kullanılan kümeler

CRD = koordinat dosyaları

PLD = istasyonların hangi tektonik plakada olduğunu gösteren dosya

STA = istasyon bilgi dosyası

VEL = istasyon hızları

- **RINEX klasörü:** Bu klasörde Anonim11 (2018) adresinden ya da Anonim12 (2018) adresinden ham veriler indirilebilmektedir. Ayrıca çözümleme yapılacak olan ham veriler tüm günü kapsıyorsa bu klasöre, günün belirli bir bölümünü kapsıyor ise HOURLY klasörüne kopyalanmalıdır. (bileddd0.yyd.Z gibi.)  
 ddd= Yılın Günü (006, 054, 185 vb.)  
 yy= Yılın son iki rakamı (09, 15, 18 vb.)  
 Örnek dosya adı: bile0540.18d.Z

- **VMF1 klasörü:** Bu klasörde ise gecikme dosyaları bulunmaktadır. Bu dosyalar günü dört bölüme ayırarak verilmektedir. VMF1 de bulunan dosyalar Anonim13 (2018) adresinden indirilmektedir.

- VMFG\_yyyymmdd.H00
- VMFG\_yyyymmdd.H06
- VMFG\_yyyymmdd.H12
- VMFG\_yyyymmdd.H18

olarak indirilmektedir. Örnek olarak 23 Şubat 2018 için gecikme dosyaları

VMFG\_20180223.H00      VMFG\_20180223.H06  
VMFG\_20180223.H12      VMFG\_20180223.H18'dir.



Şekil 4.1. Datapool Klasörünün İçeriği.

Şekil 4.2. Kampanya Klasörünün İçeriği .

#### 4.2.2. CAMPAING52 klasörü

Kampanya (CAMPAING52) klasörü GNSS çözümünde oturumların bulunduğu dizindir. Bu klasörün içindeki tüm dosyalar PCF'nin çalışması sonucunda yapılan çözümleme işlemi neticesinde otomatik olarak doldurulmaktadır. Otomatik çözümleme işlemi yapılacaksa DATAPOOL klasörünün doldurulması yeterlidir. Kampanya klasörünün (Şekil 4.2.) içinde bulunan alt klasörler ve bu alt klasörlerin içindeki dosyaların yapısı aşağıda açıklanmaktadır (Bülbül, 2018).

- **ATM klasörü:** Bu klasörün içinde atmosferik düzeltme dosyaları mevcuttur. Bu dosyalar çözümleme sonucunda otomatik olarak buraya getirilecektir. Bu atmosferik düzeltme dosyaları;
  - .ION uzantılı iyonosfer dosyaları ve
  - .TRP uzantılı troposfer dosyalarıdır.

- **BPE klasörü:** BPE ile gösterilen klasörde;
  - Programın komutlar arasındaki geçişini ve
  - Çözüm sırasında programın olası bir hata vermesi halinde bu hatalara ait raporları göstermektedir.
- **GEN klasörü:** Bu klasörde;
  - Proje ile ilgili genel parametreler,
  - Uydulara ilişkin hataları içeren .CRX uzantılı dosyalar,
  - Anten faz merkezi kayıklıklarını içeren PHAS\_IGS.REL dosyası,
  - Alıcı türlerini içeren RECEIVER ve
  - Yörüngedeki uydu bilgilerini içeren SATELLIT vb. dosyaları bulunmaktadır.
  - Bu dosyaların zaman zaman ftp adresinden ya da ilgili adresten güncellenmesi ve GPS/GEN klasörü altına kopyalanması gerekmektedir.
- **OBS klasörü:** Bu klasörde;
  - Faz ve kod ölçü dosyaları bulunmaktadır (faz ölçüleri PZH, PZO; kod ölçüleri CZH,CZO).
  - Bu ölçü dosyaları değerlendirme yapılırken otomatik olarak oluşmaktadır.
- **ORB klasörü:** Bu klasörde;
  - Yörüngeye ilişkin dosyalar; ERP, PRE, IEP, P1C1.DCB, P1P2.DCB ve
  - Saat düzeltme dosyası CLK bulunmaktadır.
- **ORX klasörü:** Bu klasörde;
  - Ölçüm yapılan istasyonlara ait RINEX verileri ve
  - Referans olarak kullanılan IGS ve diğer istasyonlara ait RINEX dosyaları bulunmaktadır.
- **OUT klasörü:** Bu klasörde, yapılan çözümlere ait sonuçları içeren özet dosyalar bulunmaktadır.
- **SOL klasörü:** Bu klasörde çözüme ilişkin dosyalar yer alır.
- **STA klasörü:** Bu klasörde;
  - Koordinat ve hız dosyaları olan FIX, CRD ve VEL dosyaları,
  - Projeye ilişkin STA, PLD, BLQ uzantılı dosyalar,
  - APR yaklaşık çözüm, F1 final çözümü ve P1 uzantılı troposfer çözümü sonuç dosyaları bulunmaktadır.

### 4.3. Bernese v.5.2 Bilimsel GNSS Yazılımında Ölçülerin Değerlendirilmesi

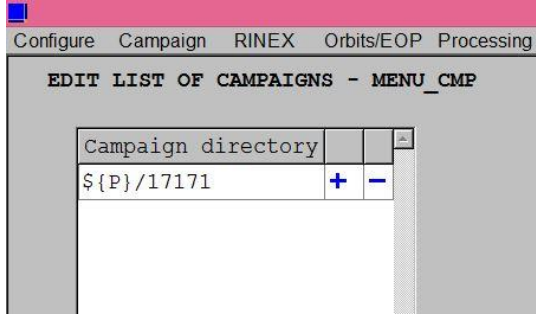
Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımındaki iş akışı özet olarak şekil 4.3.'te gösterildiği gibidir;



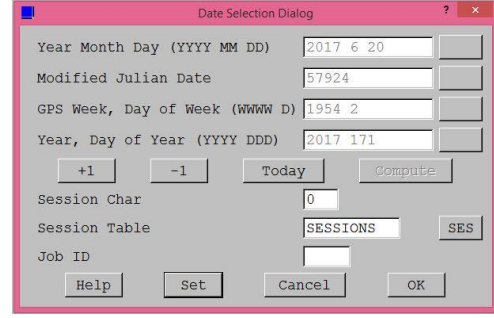
Şekil 4.3. Bernese v.5.2 Bilimsel GNSS Yazılımında İş Akışı.

- İlk olarak yeni bir kampanya oluşturulur (Şekil 4.4.).
- Daha sonra ölçü gününe ait yıl, ay ve gün, Jülyen günü, GPS haftası veya yılın günü seçeneklerinden herhangi biriyle çalışma günü seçimi yapılır (Şekil 4.5.).
- Yeni bir iş açılmasıyla otomatik olarak “KAMPANYA” klasörü oluşmakta ve bu kampanya klasörünün içindeki alt klasörler (ATM, BPE, GRD, OBS, ORB, ORX, OUT, RAW, SOL, STA) program tarafından çözümleme işlemi sonucunda doldurulmaktadır.
- Çözüm için referans olarak kullanılacak olan tüm dosyalar “DATAPOOL” klasörünün içinde, her çözüme başlamadan önce tercih edilen kaynaktan indirilerek ilgili alt klasörlerin içine kopyalanır (BSW52, COD, IGS, REF52, RINEX).
- DATAPOOL klasörü içindeki “REF52” klasörünün içinde bulunan dosyalar her çözüm için bölüm 4.2.1’de bahsedildiği şekilde düzenlenir (.ABB, .ATL, .BLQ, .PLD, .STA).
- Tüm bu ön hazırlık işlemleri tamamlandıktan sonra çözümleme (process) işlemi gerçekleştirilir (Şekil 4.6.) ve bu esnada karşılaşılan hatalar giderilerek sonuca ulaşılır.
- Çözümleme işlemi başarıyla tamamlandıktan sonra, çözüme konu noktalara ait kartezyen ve coğrafi koordinatları ve her koordinat bileşenine ait ortalama hataları gösteren “F1.out” (Şekil 4.7.) isimli çözüm dosyasına Kampanya klasöründeki “OUT” alt klasörünün içinden ulaşılabilir.

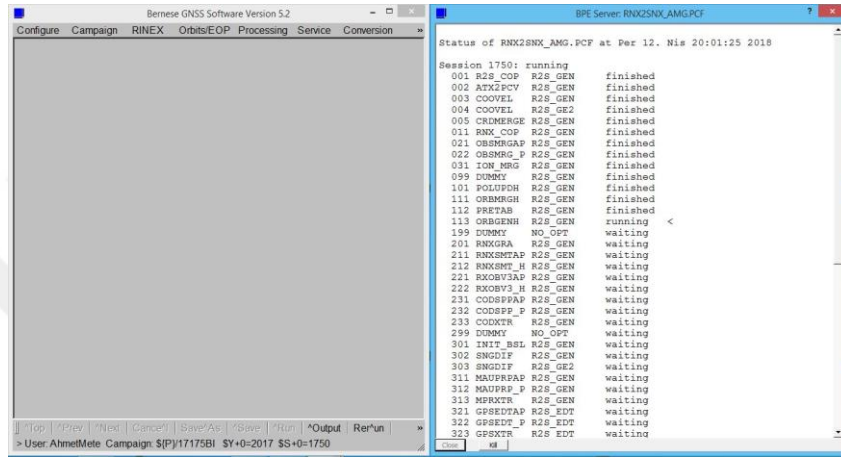




Şekil 4.4. Kampanya Oluşturma Ekranı.



Şekil 4.5. Ölçü Günü Seçim Ekranı.



Şekil 4.6. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS Yazılımında Çözümleme Ekranı.

Station name	Typ	A priori value	Estimated value	Correction	RMS error
Reference epoch: 2017-06-21 12:00:00					
PLYE PLYE	X	4273312.06270	4273312.37046	0.30776	0.00030
	Y	2466416.14530	2466416.36164	0.21634	0.00019
	Z	4029792.14810	4029791.39766	-0.75044	0.00027
	U	973.96749	973.78030	-0.18719	0.00041
	N	39.4284830	39.4284756	-0.81870	0.00010
	E	29.9921385	29.9921389	0.03344	0.00015
AFYN AFYN	X	4290278.37187	4290278.37913	0.00726	0.00074
	Y	2533323.84659	2533323.84368	-0.00291	0.00054
	Z	3970374.02023	3970374.02581	0.00558	0.00073
	U	1072.25072	1072.25794	0.00722	0.00106
	N	38.7383626	38.7383626	0.00137	0.00025
	E	30.5610038	30.5610037	-0.00618	0.00042
BILE BILE	X	4229802.31874	4229802.31644	-0.00230	0.00079
	Y	2439852.68249	2439852.68411	0.00162	0.00053
	Z	4090382.26581	4090382.25824	-0.00757	0.00079
	U	584.30664	584.30086	-0.00579	0.00113
	N	40.1414612	40.1414612	-0.00503	0.00029
	E	29.9773922	29.9773922	0.00254	0.00040
DEIR DEIR	X	4354177.83306	4354177.82887	-0.00419	0.00076
	Y	2378749.05589	2378749.05383	-0.00206	0.00054
	Z	3995884.16554	3995884.16331	-0.00223	0.00074

Şekil 4.7. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS Yazılımında Sonuç Ekranı.

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımındaki bir iş akışına ait yukarıda paylaşılan özet bilgilerden sonra, veri çözümlemede kullanılacak RNX2SNX.PCF Bernese otomatik çözümleme komutu ve bu komutun altında gerçekleşen işlemler açıklanmıştır. Şekil 4.8.'de gösterildiği üzere RNX2SNX.PCF otomatik çözümleme komutu altında temel olarak 7 aşamalı bir işlem gerçekleşmekte ve bu işlemlerin sonucunda çözüme konu noktalara ait nihai koordinatlar ve bu koordinatlara ait varyans kovaryans matrisleri elde edilmektedir (Dach ve ark., 2015).



Şekil 4.8. RNX2SNX.PCF Otomatik Çözümleme Komutu İş Akışı.

#### 4.3.1. Ön hazırlık aşaması

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımının çözüm penceresi olan Bernese Processing Engine (BPE)'nin başlayabilmesi için gerekli ön hazırlığın yapıldığı aşamadır. GNSS ölçülerinin gerçek analizine başlamadan önce BPE için tüm gerekli dosyaların hazır olması gerekmektedir. Bu aşama BPE penceresinde 001 ile 099 aralığında değişen numaralarla isimlendirilir. Bölüm 4.2.2.'de anlatıldığı şekilde hazırlanan DATAPOOL klasöründeki dosyaların, CAMPAING52 klasörünün içindeki alt klasörlere kopyalanması işleminin gerçekleştirildiği aşamadır (Şekil 4.9).

```
#
# Skip session (reprocessing)
# -----
000 SKIP_SES R2S_GEN ANY 1
#
# Copy required files
# -----
001 R2S_COP R2S_GEN ANY 1 000
002 ATX2PCV R2S_GEN ANY 1 001
003 COOVEL R2S_GEN ANY 1 001
004 COOVEL R2S_GE2 ANY 1 001
005 CRDMERGE R2S_GEN ANY 1 003 004
011 RNX_COP R2S_GEN ANY 1 001
021 OBSMRGAP R2S_GEN ANY 1 011
022 OBSMRG_P R2S_GEN ANY 1 021
031 ION_MRG R2S_GEN ANY 1 011
099 DUMMY R2S_GEN ANY 1 002 005 022 031
```

Şekil 4.9. Otomatik Çözüm Programının İlk Aşaması.

### 4.3.2. Kutup ve yörünge bilgilerinin hazırlanması

BPE penceresinde 101 ile 199 aralığında değişen numaralarla isimlendirilen bölümdür. Bu aşamada, farklı kaynaklardan indirilen Dünya ve yer dönüklük parametreleri Bernese formatına dönüştürülür. Tutarsızlıklardan kaçınabilmek için kutup ve yörünge bilgilerinin birlikte kullanılması gerekmektedir (Şekil 4.10).

```
#
#
# Prepare the pole and orbit information
# -----
101 POLUPDH R2S_GEN ANY 1 001
111 ORBMRGH R2S_GEN ANY 1 001
112 PRETAB R2S_GEN ANY 1 101 111
113 ORBGENH R2S_GEN ANY 1 112
199 DUMMY NO_OPT ANY 1 113
```

Şekil 4.10. Otomatik Çözüm Programının İkinci Aşaması.

### 4.3.3. Gözlem dosyalarının senkronizasyonu ve dönüştürümü

PCF programının bu aşamasında RINEX dosyaları Bernese formatına dönüştürülmekte, alıcı saati GNSS zamanı ile senkronize edilmekte ve çözümlemede kullanılacak olan dosyalara kolay bir ulaşım imkânı sağlanmaktadır. Bu aşama BPE penceresinde 201 ile 299 aralığında değişen numaralarla isimlendirilen ve bölüm 4.3.2.'de bahsedilen kutup ve yörünge bilgileri ile birlikte düşünüldüğünde, PCF'nin büyük bir kısmını oluşturan bölümdür (Şekil 4.11).

```
#
# Preprocess, convert, and synchronize observation data
# -----
201 RNXSMTAP R2S_GEN ANY 1 099
202 RNXSMT_H R2S_GEN ANY 1 201
211 RNXGRA R2S_GEN ANY 1 202
221 RXOBV3AP R2S_GEN ANY 1 211
222 RXOBV3_H R2S_GEN ANY 1 221
231 CODSPAP R2S_GEN ANY 1 099 199 222
232 CODSP_P R2S_GEN ANY 1 231
233 CODXTR R2S_GEN ANY 1 232
299 DUMMY NO_OPT ANY 1 233
```

Şekil 4.11. Otomatik Çözüm Programının Üçüncü Aşaması.

### 4.3.4. Bazların oluşturulması ve ilk çözümün yapılması

Bu aşama asıl çözüm için gerekli olan bir ön çözümleme işleminin yapıldığı aşamadır. Bu bölümde tekli fark dosyaları oluşturulur, cycle slips'ler tespit edilerek düzeltilir ve uyuşumsuz ölçüler atılır. Bu bölüm uyuşumsuz ölçülerin temizlenmesi sebebiyle, gerçek GNSS çözümü için çok önemlidir ve anlamlı sonuçların kalitesini ciddi şekilde etkiler. Bu aşamanın sonunda, faz başlangıç belirsizliği

giderilmeden ilk ağ çözümlemesi gerçekleştirilmiş olur. BPE penceresinde 301 ile 399 aralığında değişen numaralarla isimlendirilir (Şekil 4.12).

```
#
# Form baselines and pre-process phase data (incl. residual screening)
# -----
301 INIT_BSL R2S_GEN ANY 1 299
302 SNGDIF R2S_GEN ANY 1 301
303 SNGDIF R2S_GE2 ANY 1 302
311 MAUPRPAP R2S_GEN ANY 1 302
312 MAUPRP_P R2S_GEN ANY 1 311
313 MPRXTR R2S_GEN ANY 1 312
321 GPSEDTP R2S_EDT ANY 1 313
322 GPSEDTP_P R2S_EDT ANY 1 321
323 GPSXTR R2S_EDT ANY 1 322
331 RES_SUM R2S_GEN ANY 1 322
341 ADDNEQ2 R2S_GEN ANY 1 331
342 GPSXTR R2S_GEN ANY 1 341
399 DUMMY NO_OPT ANY 1 303 323 342
```

Şekil 4.12. Otomatik Çözüm Programının Dördüncü Aşaması.

#### 4.3.5. Faz başlangıç belirsizliklerinin çözümü

Faz başlangıç belirsizliklerinin çözülmeye başlandığı, BPE penceresinde 401 ile 499 aralığında değişen numaralarla isimlendirilen bölümdür. Bu aşamanın sonunda GPS ve GLONASS gözlemleri için faz başlangıç belirsizlikleri çözülmüş olur (Şekil 4.13).

```
#
# Resolve phase ambiguities
# -----
401 SATMRK R2S_GEN ANY 1 399
411 GNSAMBAP R2S_AMB ANY 1 401
412 GNSAMB_P R2S_AMB ANY 1 411
421 GNSL53AP R2S_L53 ANY 1 412
422 GNSL53_P R2S_L53 ANY 1 421
431 GNSQIFAP R2S_QIF ANY 1 422
432 GNSQIF_P R2S_QIF ANY 1 431
441 GNSL12AP R2S_L12 ANY 1 432
442 GNSL12_P R2S_L12 ANY 1 441
443 AMBXTR R2S_AMB ANY 1 442
499 DUMMY NO_OPT ANY 1 443
```

Şekil 4.13. Otomatik Çözüm Programının Beşinci Aşaması.

#### 4.3.6. Final çözümünün gerçekleştirilmesi

Şimdiye kadar gözlem dosyaları çözüme uygun hale getirilmiş ve faz başlangıç belirsizlikleri çözümlenmişti. Artık bu bölümde her şey final çözümü için hazır durumdadır. Çözümleme sonucu elde edilen sonuçlar SINEX formatı ile kaydedilir. Bu bölümde PCF'nin bir özelliği olarak referans sisteminin otomatik olarak doğrulaması da gerçekleştirilir. BPE penceresinde 501 ile 599 aralığında değişen numaralarla isimlendirilir (Şekil 4.14).

```

#
# Compute ambiguity-fixed network solution, create final NEQ/SNX/TRD files
# -----
501 GPSCLUAP R2S_FIN ANY 1 499
502 GPSCLU_P R2S_FIN ANY 1 501
511 ADDNEQ2 R2S_FIN ANY 1 502
512 GPSXTR R2S_FIN ANY 1 511
513 COMPARF R2S_FIN ANY 1 511
514 HELMCHK R2S_FIN ANY 1 511
521 ADDNEQ2 R2S_RED ANY 1 514
522 GPSXTR R2S_RED ANY 1 521
599 DUMMY NO_OPT ANY 1 512 513 514 522

```

Şekil 4.14. Otomatik Çözüm Programının Altıncı Aşaması.

#### 4.3.7. BPE'nin sonlandırılması ve sonuçların kaydedilmesi

PCF'nin son aşaması olan bu bölümde artık herhangi bir Bernese programı çalışmaz. Sadece özet dosyalar oluşturulur, sonuçlar kaydedilir ve çözüm için oluşturulan geçici dosyalar kaldırılarak BPE sonlandırılır. BPE penceresinde 901 ile 999 aralığında değişen numaralarla isimlendirilir (Şekil 4.15).

```

#
# Create summary file and delete files
# -----
901 R2S_SUM R2S_GEN ANY 1 599
902 R2S_SAV R2S_GEN ANY 1 901
903 OBS_SAV R2S_GEN ANY 1 901
904 R2S_DEL R2S_GEN ANY 1 902 903
991 BPE_CLN R2S_GEN ANY 1 904
#
# End of BPE
# -----
999 DUMMY NO_OPT ANY 1 991

```

Şekil 4.15. Otomatik Çözüm Programının Son Aşaması.

#### 4.4. Ölçek Faktörünün Belirlenmesi

Bernese, Gamit vb. gibi bazı bilimsel GNSS değerlendirme yazılımlarından elde edilen VCV (Variance-Covariance) matrisleri gerçekçi olmayabilir. Bu nedenle elde edilen doğruluklar aşırı iyimserdir ve hesaplanan parametre hatalarını (örn., koordinatların ortalama hataları) doğru şekilde göstermez. Bu nedenle, yazılımdan elde edilen doğruluklara göre analistler tarafından yanlış bir karar verilebilir. GNSS işleme yazılımından türetilen VCV matrisinin gerçek hataları doğru olarak hesaplayamamasının nedeni, esasen ölçü epokları arasındaki korelasyonların ihmal edilmesi, sistematik hataların veya olası yanlış parametre modellenmesinin stokastik modelde doğru şekilde yansıtılmamasından dolayıdır. GNSS işleme yazılımı paketlerinin çoğu, gözlemlerin VCV matrisini köşegen (korelasyon yokmuş gibi düşünülür) olarak kabul eder, sadece matematiksel korelasyon göz önünde bulundurulur. Matematiksel korelasyon kolayca modellenebilirken, zamansal ve

mekansal fiziksel korelasyonların modellenmesi maalesef zordur. Sonuç olarak, tamamen dolu bir VCV matrisi üretebilen kapsamlı bir bilimsel yazılımla bile, aşırı iyimser istatistikler üretilir. Bu nedenle, parametre hatalarının gerçekçi tahminlerini elde etmek için, hataların yeniden ölçeklendirilmesi gerekir. Bununla birlikte, elde edilen doğrulukların gerçekçi ve kesin olması durumunda, herhangi bir SF (Scale Factor) uygulanmaması gerektiği de öncelikli olarak bilinmesi gerekir (Kashani ve ark., 2004).

GAMIT ve Bernese Bilimsel GNSS yazılımları, özellikle yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda (örneğin deformasyon analizi), GNSS ölçümü işleme ve analizi için bilimsel camiaya önemli bir araç olarak hizmet ederler. Bununla birlikte, bu yazılım paketlerinin VCV matrisleri, örneğin Hugentobler ve ark. (2001) ve King ve Bock (2001)'e göre gerçekçi değildir. Tüm Bernese ve GAMIT kullanıcıları bu önemli sorunla karşı karşıya kaldıkları için, bu konu birçok çalışmada araştırılmıştır. Bununla birlikte, bilindiği kadarıyla literatürde GNSS kullanıcıları topluluğu tarafından onaylanmış standart bir yaklaşım mevcut değildir ve her çalışma, yazılımdan kaynaklanan hatalar için bir ölçek faktörü elde etmek amacıyla kendi yöntemini kullanır. Genellikle ölçek faktörü, veri zaman çizelgelerinin dağılımını, düzenli hatalarla karşılaştırarak hesap edilir. Farklılıklar; dağılımların nasıl tanımlandığından ve dolu kovaryans matrisinin ölçeklendirilecek hataları tanımlamak için kullanılmasından kaynaklanır. Literatürde belirtilen SF değerleri Bernese için 3 ile 30 arasında ve GAMIT için ise 1 ile 5 arasında değişmektedir. Bu nedenle, tek bir SF veya bir dizi SF elde etmek ve doğrulamak için her iki yazılım paketindeki VCV matrisinin güvenilirliği ve geçerliliği hakkında kapsamlı bir çalışma yapılmalıdır. Ortaya çıkan SF değerleri; oturum süresi, gözlem örnekleme hızı, baz uzunluğu, çözüm modu (baz-baz veya ağa göre) ve hatta alıcı/anten türü gibi belirli parametrelerin bir fonksiyonu olabilir (Kashani ve ark., 2004).

GNSS yöntemi ile elde edilen konum doğruluğu, ölçme yöntemi, veri işleme stratejisi ve yazılım paketleri gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişir. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılım paketi, özellikle bilimsel topluluktaki yüksek doğruluk gerektiren uygulamalar için GNSS ölçülerinin işlenmesi ve analizi için önemli bir araçtır. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile hesaplanan koordinatların doğruluğu yeterli olsa da, elde edilen VCV matrisleri çok iyimserdir, çünkü her ölçüm tipi için yapılan analizlerde, eşit ağırlıklar seçilerek farklı gözlemler arasındaki korelasyonlar

yok sayılabilir. Bu durum, bu VCV matrislerine dayanan istatistiksel analizler için yanlış yorumlara neden olmaktadır. Bu nedenle, yazılımdan elde edilen VCV matrisleri de ölçeklendirilmelidir (Erdoğan ve Doğan, 2019).

Ölçek faktörünün belirlenmesi için; A, B ve C olmak üzere 3 farklı yöntem bulunmakta olup aşağıda bu 3 yöntem de detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Doğan (2017)'deki yüksek lisans tezinde ölçek faktörlerini hesaplariken bu 3 yöntemi de kullanmış ve ölçek faktörünün farklı gözlem sürelerine bağlı belirlenmesinde A yönteminin daha gerçekçi sonuçlar verdiğini görmüştür. Bu yüzden uygulama aşamasında ölçek faktörü hesaplanırken A yönteminin kullanılması tercih edilmiştir.

#### 4.4.1. A yöntemi

Ölçek faktörü değerleri en küçük kareler yöntemiyle belirlenir. RMS (Root Mean Square) değerleri ölçü vektörünü ve ilgili standart sapmalar katsayılar matrisini oluşturur. Ölçek faktörü için ana formül (4.1) eşitliğinde gösterildiği gibidir. Burada RMS, GNSS çözümleri sonucu tekrarlılıklardan elde edilen karesel ortalama hata değerini; STD (Standard Deviation), yazılımın çıktı ürünü olan VCV matrisinden elde edilen standart sapma değerini ve SF ölçek faktörünü ifade etmektedir (Doğan, 2017).

$$RMS = SF \times STD \quad (4.1)$$

Ölçek faktörü hesabı 4 işlem adımından oluşmaktadır. Birinci adımda standart sapmaların hesabı yer almaktadır. Bu amaçla (4.2) eşitliğinde gösterildiği üzere, çözümlene sonucu hesaplanan kofaktör değerinin karekökü ve birim ağırlıklı ölçünün ortalama hatası(RMS of unit weight) birbiri ile çarpılır.

$$STD = \sqrt{(kofaktör)} \times Birim \ Ağırlıklı \ Ölçünün \ Ortalama \ Hatası \quad (4.2)$$

İkinci aşamada yapılan 24 saatlik çözümler sonucunda üretilen koordinat bileşenlerinin (X, Y, Z) ortalaması alınır. Çözümlene sonucu bulunan her bir koordinat değerinden, hesaplanan ortalama koordinat değeri çıkarılır ve dX, dY ve dZ koordinat farkları bulunur. Daha sonra (4.3) eşitliğinde gösterildiği üzere; dX koordinat farklarının karelerinin toplamının ölçü sayısı (n) değerine bölünüp karekökünün

alınması ile X bileşeni için RMS değeri elde edilir. Y ve Z bileşenleri için de aynı işlem tekrarlanır.

$$RMS_X = \sqrt{\frac{[d_{X2}]}{n}}, \quad RMS_Y = \sqrt{\frac{[d_{Y2}]}{n}}, \quad RMS_Z = \sqrt{\frac{[d_{Z2}]}{n}} \quad (4.3)$$

Üçüncü aşamada (4.4) eşitliğinde ifade edildiği şekilde L küçültülmüş ölçü vektörü ve A katsayılar matrisi hesaplanır. Burada L vektörü, hesaplanan  $RMS_X$ ,  $RMS_Y$  ve  $RMS_Z$  değerlerinin alt alta yazılmasıyla elde edilen vektörü gösterirken, A vektörü ise X, Y ve Z koordinatları için hesaplanan standart sapmalar olan  $STD_X$ ,  $STD_Y$  ve  $STD_Z$  değerlerinin alt alta yazılmasıyla elde edilen vektörü göstermektedir.

“L” küçültülmüş ölçü vektörü;

$$L = \begin{bmatrix} RMS_X \\ RMS_Y \\ RMS_Z \\ \vdots \\ RMS_Z \end{bmatrix},$$

“A” katsayılar matrisi;

$$A = \begin{bmatrix} STD_X \\ STD_Y \\ STD_Z \\ \vdots \\ STD_Z \end{bmatrix}$$

(4.4)

Son aşama olan dördüncü aşamada (4.5) eşitliği yardımıyla ölçek faktörü değeri hesaplanır (Kashani ve ark., 2004).

$$SF = (A^T W^{-1} A)^{-1} A^T W L \quad (4.5)$$

Ancak tüm ölçüler aynı ortamda ve eşit şartlarda yapılmış ise, ağırlıkları eşit kabul edilebileceği için bir ağırlık matrisi oluşturmaya gerek yoktur ve SF değeri (4.6) eşitliği yardımıyla belirlenir.

$$SF = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (4.6)$$

#### 4.4.2. B yöntemi

Bu yöntemde de ölçek faktörü, yine A yöntemine benzer şekilde en küçük kareler yöntemine göre belirlenir. Ancak, A yönteminde “L” ölçü vektörü  $RMS_X$ ,  $RMS_Y$  ve  $RMS_Z$  değerlerinin alt alta yazılmasıyla elde edilen vektörü gösterirken; B yönteminde RMS değerlerinin standart sapmalara oranıdır. “A” katsayılar matrisi ise A yönteminde hesaplanan  $STD_X$ ,  $STD_Y$  ve  $STD_Z$  değerlerinin alt alta yazılmasıyla elde



edilen vektörü gösterirken; B yönteminde  $n$  ölçü sayısı olmak üzere  $n \times 1$  boyutlu  $1$ 'lerden oluşan bir vektörle tanımlanır (Doğan, 2017).

$$RMS/STD = SF \quad (4.7)$$

$$L = \begin{bmatrix} RMS_X/STD_X \\ RMS_Y/STD_Y \\ RMS_Z/STD_Z \\ \vdots \\ RMS_Z/STD_Z \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

A yöntemine benzer şekilde burada yine RMS, GNSS çözümleri sonucu tekrarlılıklardan elde edilen karesel ortalama hata değerini; STD, yazılımın çıktı ürünü olan VCV matrisinden elde edilen standart sapma değerini ve SF ise ölçek faktörünü ifade etmektedir. Yine tüm ölçülerin aynı ortamda ve eşit şartlarda yapıldığı varsayılarak ağırlıkları eşit kabul edilebileceği için bir ağırlık matrisi oluşturmaya gerek yoktur ve SF değeri (4.6) eşitliği yardımıyla belirlenebilir.

#### 4.4.3. C yöntemi

Bu yöntemde ise ölçek faktörü değeri, RMS değerinin ölçü kümesi içindeki standart sapmaların medyanına oranı olarak hesaplanır (Geirsson, 2003).

$$SF = RMS/median_{(STD)} \quad (4.9)$$

Yine burada RMS, GNSS çözümleri sonucu tekrarlılıklardan elde edilen karesel ortalama hata değerini; STD, yazılımın çıktı ürünü olan VCV matrisinden elde edilen standart sapma değerini ve SF ölçek faktörünü ifade etmektedir.

## 5. GÜVEN ELİPSOİTLERİ İLE DEFORMASYON ANALİZİ

Güven elipsoidleri ile deformasyon analizi yöntemi, 3 boyutlu Kartezyen koordinat sistemindeki tek bir noktada deformasyonları belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde ölçülerin GNSS alıcısı ile yapıldığı varsayılmaktadır. Ölçülerin değerlendirilmesi sonucu, nokta koordinatları ve noktalara ait varyans kovaryans matrisi her iki ölçü epogunda da hesaplanır. Bu hesaplardan yararlanarak deformasyon vektörü ve onun kovaryans matrisi belirlenir. Kovaryans matrisinin özvektör ve özdeğerlerinden deformasyon vektörü için güven elipsoidleri hesaplanır. Eğer deformasyon vektörü güven elipsoidlerinin dışında kalıyorsa hareketin anlamlı olduğu şeklinde yorum yapılır (Cederholm, 2003).

GNSS ölçmeleri, üç boyutlu nokta konumlarının yüksek doğrulukta hesaplanmasını mümkün hale getirmiştir. Yüksek doğruluk; eğer bir baz, bilinen bir noktayı referans alarak rölatif yöntemle ölçülürse elde edilebilir. Noktanın doğruluğunu genelde baz çözümü sonucunun bir parçası olan kovaryans matrisi belirler. Bu bölümde, her iki epokta da ölçülen noktada anlamlı bir hareket olup olmadığını tespit etmek için bir yöntem anlatılmıştır. Bu yöntemde her iki epoktaki ölçülerin de korelasyonsuz olduğu varsayılır. Bu metot klasik deformasyon analiziyle kıyaslandığında daha pratik, hesaplaması ve uygulaması daha kolay bir yöntemdir (Caspary, 2000).

### 5.1. Güven Elipsoidleri

$\dot{x}=[X \ Y \ Z]^T$  üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde hesaplanan bir nokta olsun. Bu koordinat sistemi global sistem olarak adlandırılır. Bu noktanın yazılımdan elde edilen kovaryans matrisi  $\sigma_{xy}=\sigma_{yx}$ ,  $\sigma_{xz}=\sigma_{zx}$  ve  $\sigma_{yz}=\sigma_{zy}$  olmak üzere;

$$\Sigma_{\dot{x}} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}, \quad (5.1)$$

şeklinde gösterilir.

Bir tesadüfi  $x=[X \ Y \ Z]^T$  vektörünün, 3 boyutlu normal dağılımda olduğu varsayılırsa,  $x$  için olası yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sqrt{|\Sigma_x|}} \exp\{-0.5(x - \mu)^T \Sigma_x^{-1}(x - \mu)\}, \quad (5.2)$$

şeklinde tanımlanır (Cooley, 1971; Mikhail ve Ackermann, 1976; Cooper, 1987; Johnson, 1987; Vanicek ve Krakiwsky, 1992);

Burada  $\Sigma_x$  x'in kovaryans matrisi,  $|\Sigma_x|$  kovaryans matrisin determinantıdır ve  $\mu$  x'in ortalamasıdır.  $\Sigma_x$  ve  $\mu$  bilinmediği için,  $\Sigma_{\hat{x}}$  ve  $\hat{x}$  bunları hesaplamak için kullanılır. Bu yüzden olası yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sqrt{|\Sigma_{\hat{x}}|}} \exp\{-0.5(x - \hat{x})^T \Sigma_{\hat{x}}^{-1}(x - \hat{x})\}, \quad (5.3)$$

şeklinde kabul edilir.

(5.4) eşitliğini sağlayan noktalar için olası yoğunluk fonksiyonu sabit bir değere sahiptir (Cooley, 1971; Mikhail ve Ackermann, 1976; Cooper, 1987; Johnson, 1987; Vanicek ve Krakiwsky, 1992);

$$(x - \hat{x})^T \Sigma_{\hat{x}}^{-1}(x - \hat{x}) = k^2 \quad (5.4)$$

$\Sigma_{\hat{x}}$  simetrik ve pozitif olduğu için, (5.4) eşitliği üç eksenli bir elipsoidi tanımlar. Bu elipsoid güven elipsoidi olarak isimlendirilir. Elipsoidin boyutu  $k^2$  ile tanımlanırken, üç boyutlu uzayda şekli ve boyutu  $\Sigma_{\hat{x}}$  ile tanımlanır. Eğer koordinat sisteminin orijini hesaplanan konuma ( $\hat{x}$ ) dönüştürülürse, eşitlik (5.4);

$$x^T \Sigma_{\hat{x}}^{-1} x = k^2$$

$$[x \ y \ z] \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = k^2 \quad (5.5)$$

şeklinde küçültülebilir.

$\Sigma_{\hat{x}}$  kovaryans matrisinin köşegen elemanlarının dışında da elemanlara sahip olması elipsoidin eksenlerinin global koordinat sisteminin eksenlerine paralel olmadığını gösterir. Eğer kovaryans matris, eksenleri elipsoidin eksenleriyle paralel

olan başka bir koordinat sistemine dönüştürülürse, kovaryans matris köşegen(diyagonal) matris olacak ve köşegen elemanların dışındaki diğer tüm elemanlar sifira eşit olacaktır. Matrisin köşegen elemanları koordinat sisteminin eksenleri boyunca olan noktaların varyansına eşit olacaktır. Eğer elipsoidin ve koordinat sisteminin eksenleri paralel olursa köşegen elemanların karekökleri elipsoit eksenlerinin uzunluklarını ifade edecektir. Yerel olarak adlandırılan bu koordinat sistemi, kovaryans matrisinin özvektörü olarak tanımlanır.

Elipsoidin yarı eksenlerinin uzunluğu, kovaryans matrisin özdeğerlerinin karekökü ile bulunur. Elipsoidi tanımlamak için kovaryans matrisinin özdeğer ve özvektörleri mutlaka hesaplanmalıdır.  $\Sigma_x$ 'in özdeğerleri  $\lambda_1, \lambda_2$  ve  $\lambda_3$  olarak adlandırılır. Özdeğerler boyutuna göre sıralanır ve isimlendirilir;

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq 0 \quad (5.6)$$

$\lambda_1, \lambda_2$  ve  $\lambda_3$ 'e tekabül eden özvektörler sırasıyla  $e_1, e_2$  ve  $e_3$  olarak isimlendirilirler. Özvektörlerin normalleştirildiği varsayılır.

$$\|e_1\| = \|e_2\| = \|e_3\| = 1 \quad (5.7)$$

(5.4) eşitliğindeki  $k^2$ 'yi değiştirerek, elipsoidin hacmi ve güven seviyesi değiştirilebilir.  $k^2=1$  için, elipsoit *standart güven elipsoidi* olarak tanımlanır. (5.4) eşitliğinin sol tarafı 3 ile ve  $r$  serbestlik derecesinde  $F$  dağılımını takip eder.  $r$  burada nokta hesabındaki serbestlik derecesidir. Eğer elipsoit başka bir güven seviyesini ifade ederse, elipsoidin eksenleri;

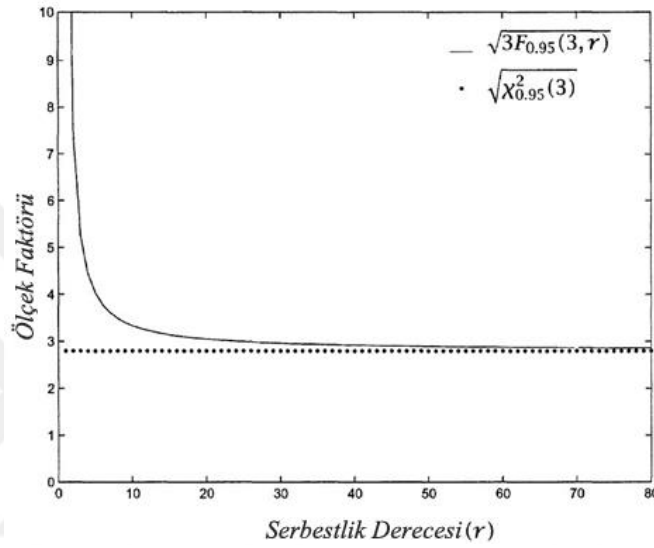
$$k = \sqrt{3F_{1-\alpha}(3, r)} \quad (5.8)$$

eşitliği ile çarpılmalıdır.

Eğer hesaplanan konum ve kovaryans matrisine karşılık gelen matris baz çözümünden geliyorsa, serbestlik derecesi  $r$  genellikle bilinmez. Bu durumda ölçek faktörü yerine  $\chi^2$  dağılımı kullanılır.

$$k = \sqrt{\chi^2_{1-\alpha}(3)} \quad (5.9)$$

Serbestlik derecesi yüksek olduğu zaman, eşitlik (5.8) ve (5.9) hemen hemen birbirine eşittir. (5.9) eşitliğindeki büyütme faktörünün hesaplanmasını doğrulamak için, noktaların ölçümü şekil 5.1.'de gösterildiği gibi serbestlik derecesinin makul bir değer alacağı şekilde planlanmalıdır.



**Şekil 5.1.** Bir Güven Elipsoidi İçin Sırasıyla F Dağılımından ve  $\chi^2$  Dağılımından Hesaplanan Büyütme Faktörü. Büyütme Faktörü İçin 95% Güven Seviyesi Alınmıştır.

Sırasıyla  $a$ ,  $b$  ve  $c$  olarak isimlendirilen ve  $1-\alpha$  güven seviyesinde verilen güven elipsoidinin büyük, orta ve küçük yarı eksenleri;

$$\begin{aligned} a &= k\sqrt{\lambda_1} \\ b &= k\sqrt{\lambda_2} \\ c &= k\sqrt{\lambda_3}, \end{aligned} \quad (5.10)$$

şeklinde hesaplanır.

Burada  $k$  değeri (5.8) veya (5.9) eşitliğinden hesaplanabilir. Artık  $e_1$ ,  $e_2$  ve  $e_3$  ile uzaydaki yönü ve  $a$ ,  $b$  ve  $c$  ile de şekil boyutu belirlenerek güven elipsoidi tanımlanmıştır.

## 5.2. Kartezyen ve Yerel Koordinat Sistemleri Arasında Dönüşüm

Bazı durumlarda kartezyen koordinat sistemlerinden yerel koordinat sistemlere dönüşüm gerekli olabilir. Örneğin, güven elipsoidinin bir 3 boyutlu bilgisayar programı tarafından çıktısı alınacaksa, bu dönüşüm gereklidir.

Global sistemde ifade edildiğinde, daha önce de bahsedildiği gibi yerel sistemin eksenlerinin yönleri üç özvektörle ( $e_1$ ,  $e_2$  ve  $e_3$ ) tanımlanır. Ortonormal temelin bir formu olan özvektörler için, vektörlerin çiftler halindeki nokta ürünleri 0'a, ve her bir vektörün kendisiyle birlikte olan nokta ürünü ise 1'e eşittir (Shuster, 1993).

$$\begin{aligned} e_1 \cdot e_2 = e_1 \cdot e_3 = e_2 \cdot e_3 &= 0 \\ e_1 \cdot e_1 = e_2 \cdot e_2 = e_3 \cdot e_3 &= 1 \end{aligned} \quad (5.11)$$

Özvektörler, sırasıyla  $e_1$ ,  $e_2$  ve  $e_3$  değerlerinin birinci, ikinci ve üçüncü kolonunu oluşturduğu ortogonal E matrisinden toplanır.

$$E = [e_1 \quad e_2 \quad e_3] \quad (5.12)$$

Yerel sistemde ifade edildiğinde, yerel sistemin eksenlerinin yönleri üç birim vektör  $i_1$ ,  $i_2$  ve  $i_3$  ile tanımlanır.

$$i_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad i_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad i_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

Bu vektörler de ortonormal temelin bir formudur. Birim vektörler, birinci, ikinci ve üçüncü kolonlarını sırasıyla  $i_1$ ,  $i_2$  ve  $i_3$ 'ün oluşturduğu ortogonal **I** matrisinden toplanır.

$$\mathbf{I} = [i_1 \quad i_2 \quad i_3]. \quad (5.14)$$

İki koordinat sistemi arasında dönüşüm yapabilmek için bir  $3 \times 3$ 'lük ortogonal R dönüşüm matrisi hesaplanır (Mortenson, 1985; Shuster, 1993);

$$R = E^{-1} \mathbf{I}. \quad (5.15)$$

E matrisi ortogonal bir matris ve I matrisi de birim matris olduğu için, eşitlik (5.15);

$$R = E^T = [e_1 \ e_2 \ e_3]^T \quad (5.16)$$

şeklinde kısaltılabilir.

Herhangi bir  $3 \times 3$ 'lük R dönüşüm matrisi, aşağıdaki özelliklere sahiptir (Pique, 1990):

-Eğer herhangi bir satır veya sütundaki elemanlarının karelerinin toplamı 1'e eşitse R matrisi normal bir matristir,

-Herhangi bir satır çiftindeki elemanlar ve aynı şekilde herhangi bir kolon çiftindeki elemanlar 0 ise R matrisi ortogondur,

-R matrisinin satırları, birim vektörlerin döndürülmüş uzayın(yerel sistem) koordinat eksenleri boyunca, orijinal uzaydaki(global sistem) koordinatlarını temsil eder.

-R matrisinin sütunları, birim vektörlerin orijinal uzayın(global sistem) koordinat eksenleri boyunca, döndürülmüş uzaydaki(yerel sistem) koordinatlarını temsil eder.

-R matrisinin determinanı +1'dir.

Global koordinat sisteminde hesaplanan  $\dot{x}$  noktası, artık yerel koordinat sistemine;

$$\hat{u} = R \dot{x}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad (5.17)$$

eşitliği yardımıyla dönüştürülebilir.

Burada  $\hat{u} = [u \ v \ w]^T$ , hesaplanan noktanın yerel koordinat sistemindeki birinci, ikinci ve üçüncü koordinatlarıdır. Ters dönüşüm işlemi ise;

$$\dot{x} = R^T \hat{u}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R^T \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

şeklinde verilir.

İki koordinat sistemi arasındaki dönüşüm işleminin doğruluğu, tanımlanan dönüşüm matrisinin doğruluğu ile sınırlıdır. Kovaryans matris, yerel koordinat sisteminde ifade edildiğinde diyagonaldir ve (5.17) numaralı eşitliğin hata yayılımı kuralı ile tanımlanır.

$$\Sigma_{\hat{u}} = R \Sigma_{\hat{x}} R^T = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

Yerel koordinat sisteminde ifade edildiğinde, güven elipsoidleri için eşitlik;

$$\begin{aligned} k^2 &= [u \quad v \quad w] \Sigma_{\hat{u}}^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \\ &= [u \quad v \quad w] \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \\ &= [u \quad v \quad w] \begin{bmatrix} \frac{1}{\lambda_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\lambda_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \\ &= \frac{u^2}{\lambda_1} + \frac{v^2}{\lambda_2} + \frac{w^2}{\lambda_3} \end{aligned} \quad (5.20)$$

şeklinde tanımlanır.

### 5.3. Deformasyon Analizi

$\dot{x}_1$  ve  $\dot{x}_2$ , koordinatları her iki epokta da hesaplanan bir nokta olmak üzere, bu iki epok arasındaki hareket;

$$\begin{aligned} \Delta \dot{x} &= \dot{x}_2 - \dot{x}_1 \\ &= \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5.21)$$

şeklinde olacaktır.



Noktanın iki epoktaki kovaryans matrisleri  $\Sigma_{\dot{x}_1}$  ve  $\Sigma_{\dot{x}_2}$  şeklinde gösterilir.  $\Delta\dot{x}$  için kovaryans matris, (5.21) numaralı hata yayılma eşitliğine göre hesaplanır. (5.22) eşitliğinin kolaylığı, iki epoğun birbiriyle korelasyonsuz olduğunu varsayımına dayanmasıdır.

$$\Sigma_{\Delta\dot{x}} = \Sigma_{\dot{x}_2} + \Sigma_{\dot{x}_1} \quad (5.22)$$

Bir güven elipsoidi bölüm 5.1.'de anlatıldığı gibi  $\Sigma_{\Delta\dot{x}}$ 'den hesaplanabilir.  $\Delta\dot{x}$  deformasyon vektörü elipsoidin orijinine dönüştürülür. Eğer deformasyon vektörü güven elipsoidinin dışında kalıyorsa, nokta iki epok arasında anlamlı bir şekilde hareket etmiş demektir. Deformasyon vektörünün güven elipsoidinin içinde kalıp kalmadığı;

$$\Delta\dot{x}^T \Sigma_{\Delta\dot{x}}^{-1} \Delta\dot{x} = k^2 \quad (5.23)$$

eşitliğinden belirlenebilir.

Eğer (5.23) eşitliğinden elde edilen test büyüklüğü değeri,  $k^2$  tablo değerinden büyükse nokta anlamlı bir şekilde hareket etmiştir. (5.23) eşitliğindeki  $k^2$  değeri (5.8) veya (5.9) eşitliğinden hesaplanır. Deformasyon analizi aynı zamanda (5.20) eşitliğinden başlamak suretiyle yerel koordinat sisteminde de yapılabilir. Analizlerin sonucu hangi koordinat sistemin kullanılırsa kullanılsın eşit olacaktır.

Eğer nokta GNSS tekniği ile ölçülmüşse, deformasyon vektörü WGS84 sisteminde oluşacaktır. WGS84 sisteminin koordinat eksenlerinin dünya yüzeyine nasıl yöneltildiğini anlamak zor olacaktır. Aynı şekilde, deformasyon vektörünün de dünya yüzeyine nasıl yöneltildiğini anlamak da zor olacaktır. Eğer deformasyon analizi bir toposentrik (başlangıç noktası gözlem yeri olan) koordinat sisteminde yapılırsa, analizi yorumlamak daha kolay olacaktır.

Deformasyon vektörü;

$$\begin{aligned} \Delta\dot{x}_{Topo} &= F\Delta\dot{x} \\ &= \begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta n \\ \Delta u \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (5.24)$$

eşitliği ile yerel toposentrik koordinat sistemine dönüştürülür.

Burada  $\Delta\dot{x}_{Topo}$  toposentrik sistemde ifade edilen deformasyon vektörü ve F de dönüşüm matrisidir (Leick, 1995).

$$F = \begin{bmatrix} -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) & 0 \\ \sin(\varphi) \cos(\lambda) & -\sin(\varphi) \sin(\lambda) & \cos(\varphi) \\ \cos(\varphi) \cos(\lambda) & \cos(\varphi) \sin(\lambda) & \sin(\varphi) \end{bmatrix} \quad (5.25)$$

Lokal toposentrik koordinat sistemi doğuya, kuzeye ve yukarıya doğru yönelen kendi eksenlerine ( $e, n, u$ ) sahiptir. WGS84 sisteminde ifade edilen noktanın enlem ve boylamı ise  $\lambda$  ve  $\varphi$  olarak isimlendirilir.

Deformasyon vektörünün kovaryans matrisi hata yayılımına göre tanımlanır;

$$\Sigma_{\Delta\dot{x}-Topo} = F \Sigma_{\Delta\dot{x}} F^T \quad (5.26)$$

Deformasyon analizi artık sadece (5.27) eşitliğinden yararlanarak lokal toposentrik koordinat sisteminde yapılabilir;

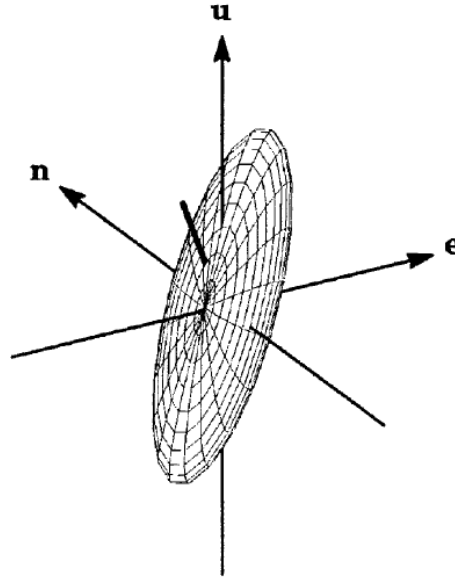
$$\Delta\dot{x}_{Topo}^T \Sigma_{\Delta\dot{x}-Topo}^{-1} \Delta\dot{x}_{Topo} = k^2 \quad (5.27)$$

Daha önceden de bahsedildiği gibi, hangi koordinat sistemi kullanıldığı fark etmeksizin analizlerin sonucu eşit olacaktır. Ancak, şekil 5.3.'teki ( $\alpha$ ) azimut ve ( $z$ ) zenit açısı hesaplandığı sürece deformasyon vektörünü yerel toposentrik koordinat sisteminde yorumlamak daha kolaydır.

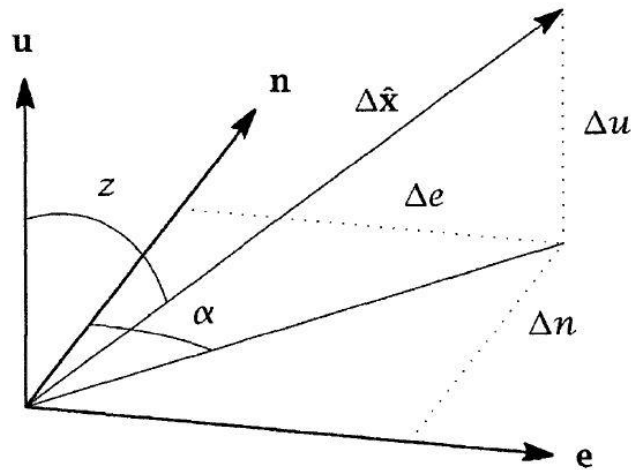
$$\begin{aligned} \alpha &= \tan^{-1} \left( \frac{\Delta e}{\Delta n} \right) \\ z &= \sin^{-1} \left( \frac{s_1}{s_2} \right), \text{ ve} \\ s_1 &= \sqrt{\Delta e^2 + \Delta n^2} \\ s_2 &= \sqrt{\Delta e^2 + \Delta n^2 + \Delta u^2}. \end{aligned} \quad (5.28)$$

Özet olarak, eşitlik (5.12)'de gösterildiği üzere  $e_1, e_2$  ve  $e_3$  özvektörleri sayesinde uzaydaki yönü ve eşitlik (5.10)'da gösterildiği üzere  $\sqrt{\lambda_1}, \sqrt{\lambda_2}$  ve  $\sqrt{\lambda_3}$  küçük,

orta ve büyük yarı eksen değerleri sayesinde de şekil ve boyutu belirlen güven elipsoidinin 3 boyutlu lokal koordinat sisteminde çizimi gerçekleştirilebilir (Şekil 5.2). Sonrasında ise deformasyon vektörünün yerel toposentrik sistemde çizilebilmesi için; (5.24) eşitliği ile hesaplanan  $\Delta_e, \Delta_n, \Delta_u$  ve (5.28) eşitliği ile hesaplanan  $\alpha, z, s_1$  ve  $s_2$  değerleri yardımıyla deformasyon vektörü 3 boyutlu lokal koordinat sisteminde çizilir (Şekil 5.3). Şekil 5.2.'de deformasyon vektörünün, güven elipsoidinin içinde kalmış olması, noktada anlamlı bir hareket olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.2. Lokal Toposentrik Koordinat Sisteminde Deformasyon Vektörü Ve Güven Elipsoidi (Cederholm, 2003).



Şekil 5.3. Yerel Toposentrik Koordinat Sisteminde Deformasyon Vektörü.

## 6. UYGULAMA

Günümüzde GNSS teknolojisinin yoğun kullanımının sonucu olarak birçok ülkede farklı amaçlar için CORS ağları kurulmuştur. Bu çalışmadaki amaç ise; ülkemizde 2009 yılından beri faaliyet göstermekte olan TUSAGA-Aktif CORS-TR sistemine ait noktaların, yer kabuğu deformasyonlarını ya da mühendislik yapılarındaki deformasyonları belirlemedeki başarısını ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda 2 aşamalı uygulama yapılmıştır.

Uygulamanın ilk aşamasında deformasyon miktarını önceden belirlemeye imkan sağlayan bir düzenek tasarlanıp, seçilen TUSAGA-Aktif sistemine ait noktaların verileri kullanılarak hangi büyüklükteki deformasyonların belirlenebildiği ve optimal ölçü süresinin ne olması gerektiği konularına açıklık getirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla bir adet pilye tesis edilmiş ve ölçüden önce istenilen miktarda sanal deformasyon vermeye yarayan bir ölçü düzeneği tasarlanarak imal edilmiştir. İmal edilen bu düzenek, tesis edilen pilyenin üzerine yerleştirilerek GNSS alıcısı ile düzenek üzerindeki her bir noktada 24 saat süreli statik yöntemle gözlemler yapılmıştır. Daha sonra bu gözlemler 6 saatlik, 12 saatlik ve 24 saatlik bölümlere ayrılıp Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında değerlendirilerek nokta koordinatları hesaplanmıştır.

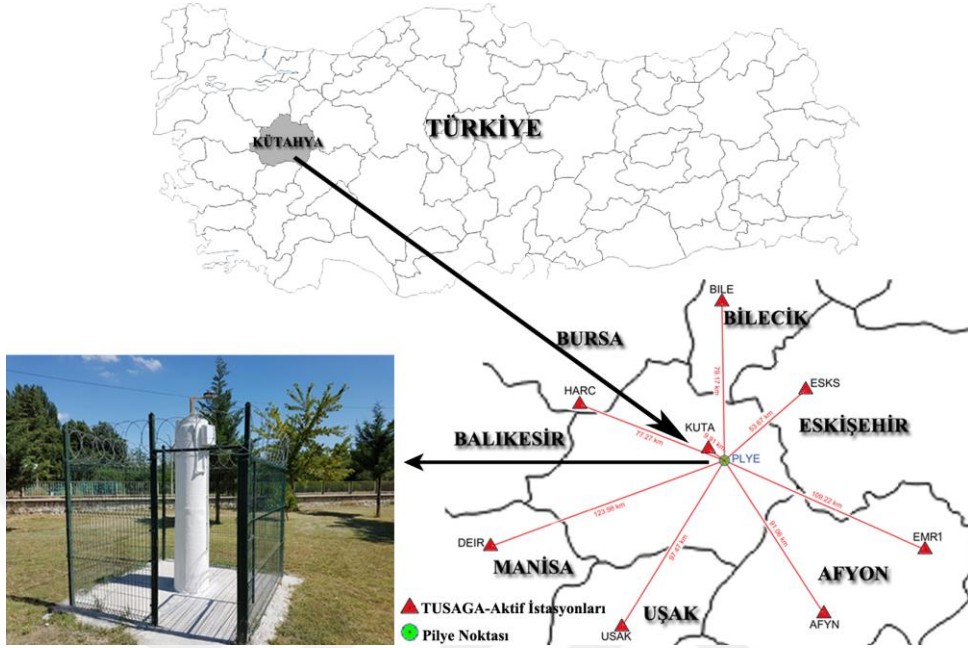
Uygulamanın ikinci aşamasında ise Kuzey Anadolu Fay hattı etrafında seçilen 9 adet TUSAGA-Aktif sistemine ait noktada anlamlı bir hareket olup olmadığının güven elipsoitleri yöntemiyle analizi yapılmıştır. Bu kapsamda Kuzey Anadolu Fay hattı etrafında seçilen 9 adet istasyonun 2009-2018 yıllarına ait her Haziran ayından 20 gün olacak şekilde toplamda 10 yıllık RINEX verileri Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

### 6.1. Uygulama 1

#### 6.1.1. Çalışma Alanı

Hangi büyüklükteki deformasyonların hangi sürelerde belirlenebileceği konusunu araştırmak için Kütahya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün bahçesi çalışma alanı olarak seçilmiş ve bu alana bir adet pilye tesis edilmiştir (Şekil 6.1.). Bu alanın seçiminde; GNSS gözlemleri yapmaya uygun açık gökyüzü görüşü imkanının olması, sinyal yansıma hatalarına sebep olabilecek engellerden uzak olması, etrafı bahçe

duvarı ile çevrili, korunaklı ve kameralarla sürekli izlenen güvenli bir alan olması, elektrik tesisatı alt yapısı imkanının olması etkili olmuştur.



Şekil 6.1. Çalışma Alanı.

### 6.1.2. Çalışma alanına pilye tesis edilmesi

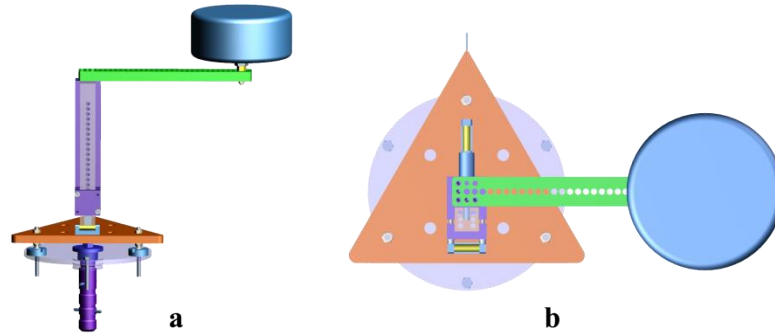
Çalışma alanı olarak belirlenen bölgeye, ölçü düzeneğinin yerleştirileceği bir adet pilye tesis edilmiş (Şekil 6.2.) ve ölçü süresince batarya problemi ile karşılaşmamak için elektrik tesisatı döşenmiş aynı zamanda etrafına panel çit ve jiletli tel uygulaması yapılarak gerekli güvenlik önlemleri alınmıştır. Ölçülerde Spectra Sp80 marka GNSS alıcısı kullanılmış, ölçü kayıt aralığı 1 saniye ve uydu yükseklik açısı  $10^\circ$  alınmıştır. Pilye üzerinde asıl ölçülere başlamadan önce bir test ölçüsü yapılmış ve bu ölçü sonucunda bulunan sinyal yansıma hatası (multipath) değerleri olan MP12 ve MP21 değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sinyal yansıma hatası değerlerinin sırasıyla 10.63 cm ve 8.71 cm olduğu ve sınır değeri olan 50 cm'den çok daha küçük olduğu anlaşılmıştır. Böylelikle tesis edilen pilyenin ölçüm yapmaya uygun olduğu kanısına varılmıştır.



Şekil 6.2. Tesis Edilen Pilye.

### 6.1.3. Ölçü düzeneğinin tasarımı ve üretimi

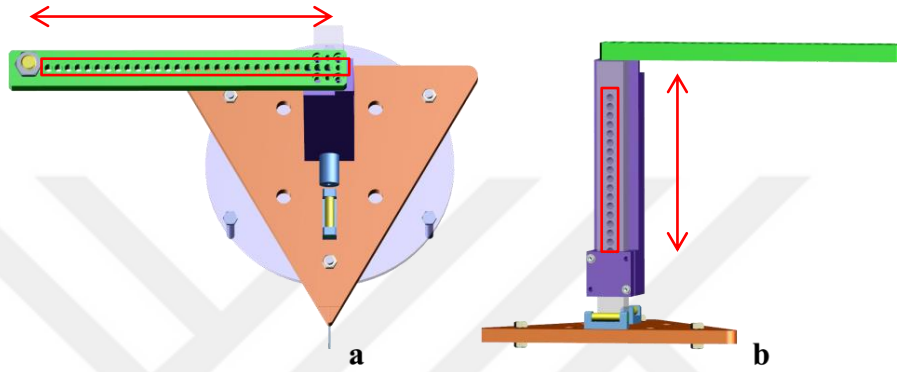
Birinci uygulama aşamasında kullanılmak üzere, yatayda ve düşeyde istenilen aralıklarla kaydırma yapabilmeye imkan sağlayan bir ölçü düzeneği tasarlanmıştır (Şekil 6.3.). Tasarlanan bu ölçü düzeneğinin sağlam olmasına, kaydırma miktarlarını kesin olarak belirleyebilmeye uygun yapıda olmasına ve pilye üstüne kurulabilecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 6.3. Tasarlanan Ölçü Düzeneğinin Yandan (a) ve Üstten (b) Görünüşü.

Bu düzenek, üzerine yerleştirilen GNSS alıcısı doğu-batı, kuzey-güney ve düşey doğrultuda yükseltmek suretiyle net birer cm aralıklarla hareket ettirilebilecek şekilde tasarlanıp imal edilmiştir. Ölçülerin hiçbir şekilde kesintiye uğramaması için GNSS alıcısına, pilye üzerindeki elektrik tesisatından çekilen kablo ile harici bir güç kaynağı bağlanmış ve yüksek kapasiteli bir depolama ünitesi takılmıştır. Ölçü düzeneği tesis edilen pilye üzerine kuzeye dönük olarak yerleştirilerek pilyenin içi beton ile

doldurulmak suretiyle sabitlenmiştir. Düzeçlenmiş düzenek üzerine yerleştirilen GNSS alıcısı Doğu-Batı, Kuzey-Güney ve yükseklik doğrultusunda 20 cm boyunca 1'er cm aralıklarla kaydırılmış ve her konumda 24'er saatlik statik oturumlar yapılmıştır. GNSS alıcısını yatay ekseninde kaydırmak için düzenek üzerindeki 1 cm aralıklı delikler kullanılmıştır (Şekil 6.4.a). Düzenek hangi yöne yöneltilirse, konum değişikliği de o yönde olacaktır. Düşey yönde bir sanal konum değişikliği yapılmak istendiğinde, düzeneğin yan tarafında görülen 1 cm aralıklı delikler kullanılır (Şekil 6.4.b).



**Şekil 6.4.** Sanal Deformasyon Verebilmek İçin Yatayda (a) ve Düşeyde (b) Kullanılan Noktalar.

Düzenek 4 kg ağırlığı taşıyabilecek şekilde, sıcaktan, soğuktan ve genişmeden en az etkilenecek olan pirinç metali kullanmak suretiyle yüksek doğruluklu olarak CNC (Computer Numerical Control) tezgâhta üretilmiştir. Üretimi tamamlanan ölçü düzeneği, tesis edilen pilyenin üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 6.5.).



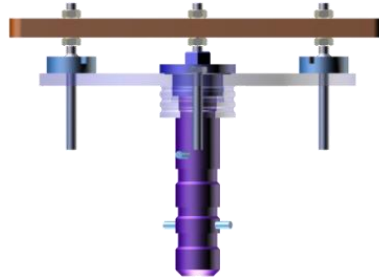
**Şekil 6.5.** Pilye Üzerine Düzeneğin Yerleştirilmesi.

Düzeneğin yerleştirildiği üçgen tabla üzerine, birbirine dik olacak şekilde iki silindirik düzeç yerleştirilmiştir (Şekil 6.6.). Bu düzeçler tablanın köşelerindeki vidalar yardımıyla ayarlanabilmektedir. Böylelikle GNSS alıcısının tam olarak yataylanması sağlanabilmektedir.



Şekil 6.6. Üçgen Tabla Üzerindeki Silindirik Düzeçler.

Düzenek istenilen yöne yöneltilebilmekte ve zorunlu merkezlendirme başlığının üzerine takılabilmektedir (Şekil 6.7.). Düzeneğin ölçü yapmaya hazır hale gelmesi için ilk olarak düzenek pilye üzerine takılır. Sonrasında üçgen tablanın üzerindeki düzeçler yardımıyla düzeneğin tam olarak yataylanması sağlanır.



Şekil 6.7. Zorunlu Merkezlendirme Başlığı Ve Üçgen Tabla.

#### 6.1.4. Uygulama 1 için yapılan ölçüler ve değerlendirmeler

Doğu-batı, kuzey-güney ve düşey doğrultulardaki nokta hareketlerini tespit edebilmek için şekil 6.8.'de gösterilen HARC, BILE, KUTA, ESKS, EMR1, AFYN, USAK, DEIR isimli TUSAGA-Aktif noktaları referans noktaları olarak kullanılmıştır. Ölçülerde Spectra Sp80 marka GNSS alıcısı (Şekil 6.9.) kullanılmış ve ölçü kayıt aralığı 1 saniye, uydu yükseklik açısı  $10^\circ$  alınmıştır.





Şekil 6.8. Referans TUSAGA-Aktif noktaları.



Şekil 6.9. Ölçümlerde kullanılan GNSS alıcısı.

Ölçü düzeneğinin üzerindeki her bir noktada yapılan ölçülere ait nokta koordinatları; her nokta üzerinde yapılan ham ölçülerin RINEX formatına dönüştürülmesinin ardından 6, 12 ve 24 saat süreli gözlemlere bölünerek Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında GPS+ GLONASS gözlemleri birlikte değerlendirilerek elde edilmiştir. Baz uzunluğu çözümlerinde IGS final uydu yörünge bilgileri kullanılmıştır. Verilen sanal deformasyon miktarı ile düzenden ölçülerek elde edilen deformasyon arasındaki farkların anlamlı olup olmadığı istatistik yöntemlerle test edilmiştir. Her durum için, noktaların dx, dy, dh koordinat farkları gerçek değer olan 1 cm ile kıyaslanarak sonuçlar grafik olarak gösterilmiştir.

#### 6.1.4.1. Bir saniye ve otuz saniye kayıt aralıklı 24 saatlik ölçülerin değerlendirme sonuçları

GNSS alıcısı üzerine yerleştirilen ölçü düzeneği sırasıyla kuzey-güney, doğu-batı ve düşey doğrultuda yönlendirilerek 1 saniye kayıt aralıklı 24 saatlik ölçüler yapılmıştır. Bu yüzden sanal deformasyonlar sırasıyla x eksenini, y eksenini ve h eksenini doğrultusunda elde edilmiştir. Eşitlik (6.1)'de gösterildiği şekilde ardışık yapılan ölçüler arasındaki dx, dy, dh koordinat farkları hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan bu koordinat farkları ile gerçek değer olan 1 cm arasındaki farklar eşitlik (6.2)'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. Sonrasında 1 saniye kayıt aralıklı veriler, 30 saniye kayıt aralıklı verilere dönüştürülerek aynı analiz işlemleri tekrar yapılmıştır. Hem bir, hem de otuz saniyelik veriler için elde edilen sonuçlar çizelge 6.1.'de gösterilmiştir. Sonuçlara ait grafikler ise şekil 6.10-12.'de gösterilmiştir.

Ardışık koordinatlar arasındaki farklar,

$$d_x = x_{i+1} - x_i \quad d_y = y_{i+1} - y_i \quad d_h = h_{i+1} - h_i \quad (6.1)$$

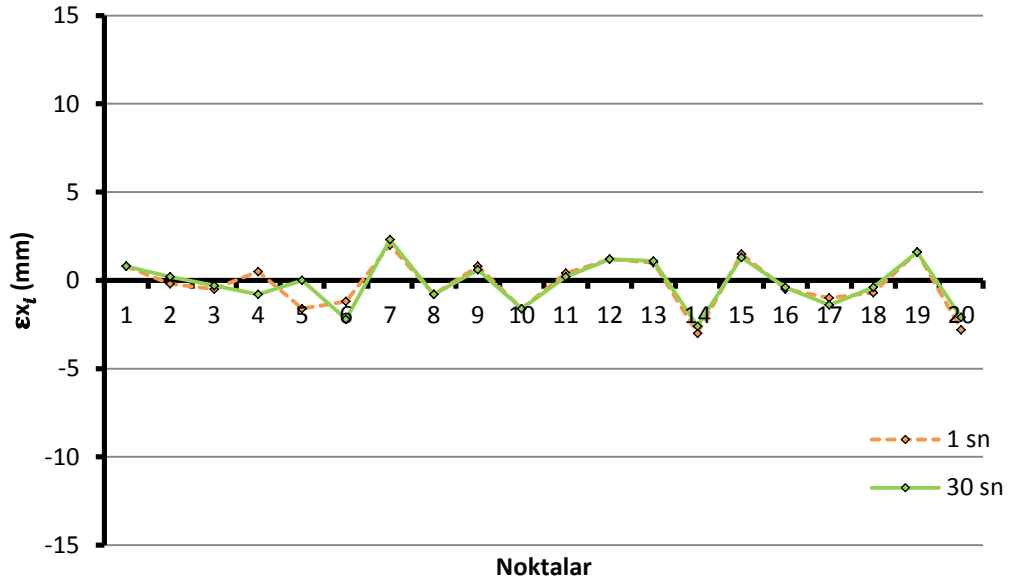
$d_x$ ,  $d_y$ ,  $d_h$  koordinat farkları ile gerçek değer 1 cm arasındaki farklar,

$$\varepsilon_{xi} = 1_{cm} - (d_x); \quad \varepsilon_{yi} = 1_{cm} - (d_y); \quad \varepsilon_{hi} = 1_{cm} - (d_h) \quad (6.2)$$

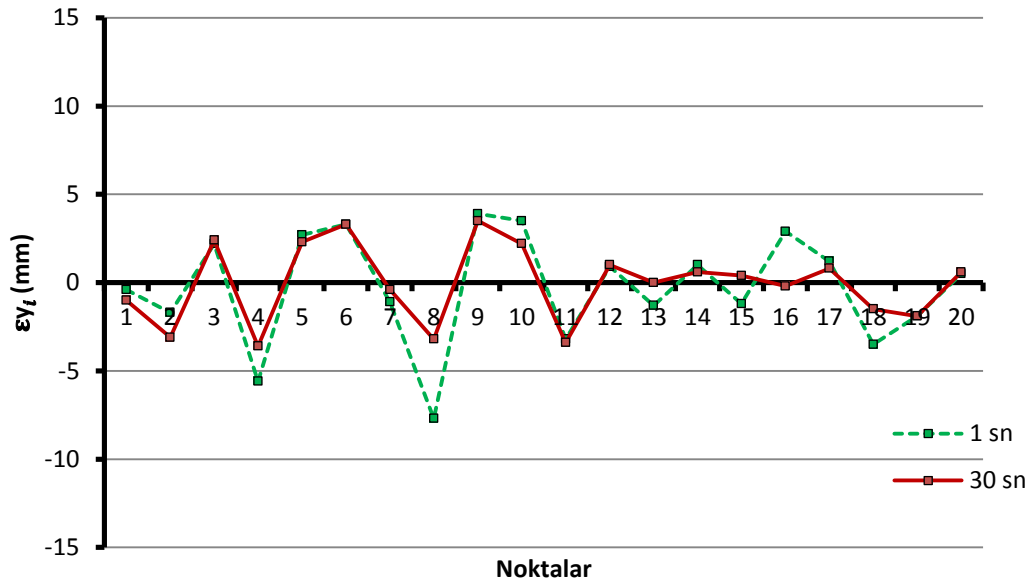
eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

**Çizelge 6.1.** Bir Saniye ve Otuz Saniye Kayıt Aralıklı 24 Saatlik Ölçüler İçin Ardışık Koordinat Farkları ( $d_x$ ,  $d_y$ ,  $d_h$ ) ile Gerçek Değer (1 cm) Arasındaki Farklar ( $\varepsilon_i$ ) (mm).

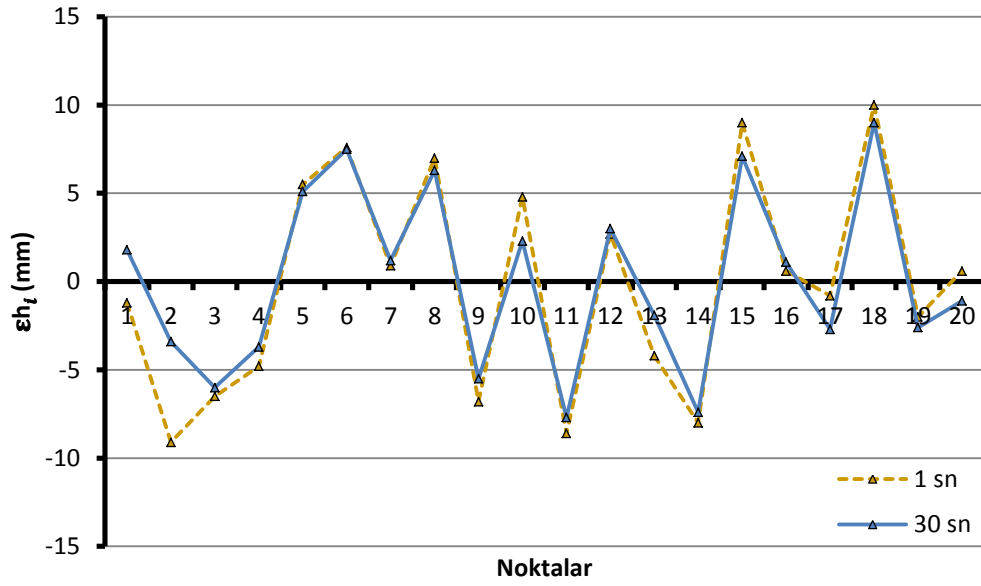
Fark No	24 Saatlik					
	1 Saniye için			30 Saniye için		
	$\varepsilon_{xi}(mm)$	$\varepsilon_{yi}(mm)$	$\varepsilon_{hi}(mm)$	$\varepsilon_{xi}(mm)$	$\varepsilon_{yi}(mm)$	$\varepsilon_{hi}(mm)$
1	0.8	-0.4	-1.2	0.8	-1.0	1.8
2	-0.2	-1.7	-9.1	0.2	-3.1	-3.4
3	-0.5	2.2	-6.5	-0.3	2.4	-6.0
4	0.5	-5.6	-4.8	-0.8	-3.6	-3.7
5	-1.6	2.7	5.5	0.0	2.3	5.1
6	-1.2	3.3	7.6	-2.2	3.3	7.5
7	2.0	-1.1	0.9	2.3	-0.4	1.2
8	-0.8	-7.7	7.0	-0.8	-3.2	6.3
9	0.8	3.9	-6.8	0.6	3.5	-5.5
10	-1.6	3.5	4.8	-1.6	2.2	2.3
11	0.4	-3.2	-8.6	0.2	-3.4	-7.7
12	1.2	0.9	2.7	1.2	1.0	3.0
13	1.0	-1.3	-4.2	1.1	0.0	-1.9
14	-3.0	1.0	-8.0	-2.6	0.6	-7.4
15	1.5	-1.2	9.0	1.3	0.4	7.1
16	-0.5	2.9	0.6	-0.4	-0.2	1.1
17	-1.0	1.2	-0.8	-1.4	0.8	-2.7
18	-0.7	-3.5	10.0	-0.4	-1.5	9.0
19	1.6	-1.9	-2.0	1.6	-1.9	-2.6
20	-2.8	0.5	0.6	-2.1	0.6	-1.1



Şekil 6.10. Kuzey Yöndeki (x-ekseni) Bir Saniye Kayıt Aralıklı Ölçüler ile Otuz Saniye Kayıt Aralıklı Ölçülerin Kıyaslanması.



Şekil 6.11. Doğu Yöndeki (y-ekseni) Bir Saniye Kayıt Aralıklı Ölçüler ile Otuz Saniye Kayıt Aralıklı Ölçülerin Kıyaslanması.



**Şekil 6.12.** Yukarı Yöndeki (h-ekseni) Bir Saniye Kayıt Aralıklı Ölçüler ile Otuz Saniye Kayıt Aralıklı Ölçülerin Kıyaslanması.

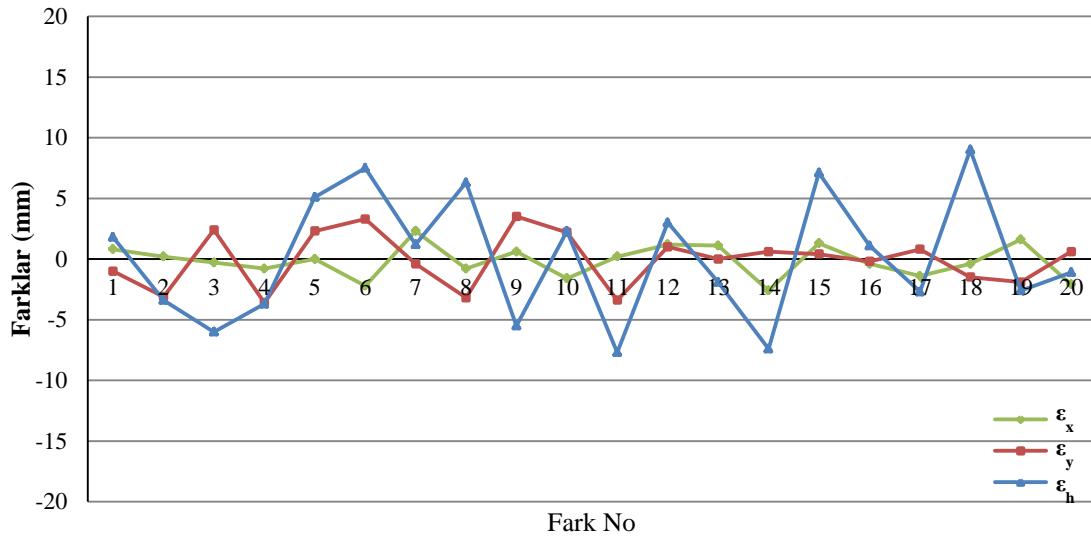
Şekil 6.10-12. incelendiğinde 1 ve 30 saniye kayıt aralığı ile 24 saatlik yapılan ölçülerin birbirleriyle kıyaslanması sonucu koordinat farkları ve ortalama hatalar, gerçek değerlerle yapılan hesap sonuçlarıyla uyumlu çıktığı görüldüğünden ve 1 saniye kayıt aralıklı 24 saatlik verilerin çözümü yaklaşık 5 saat civarında zaman alırken, 30 saniye kayıt aralıklı verilerin çözümü yaklaşık yarım saat gibi çok daha kısa bir sürede çözülebilmemesinden dolayı bu bölümden sonraki hesaplamalara 30 saniyelik ölçülerle devam edilmiştir.

#### **6.1.4.2. Otuz saniye kayıt aralıklı 24, 12 ve 6 saatlik ölçülerin değerlendirme sonuçları**

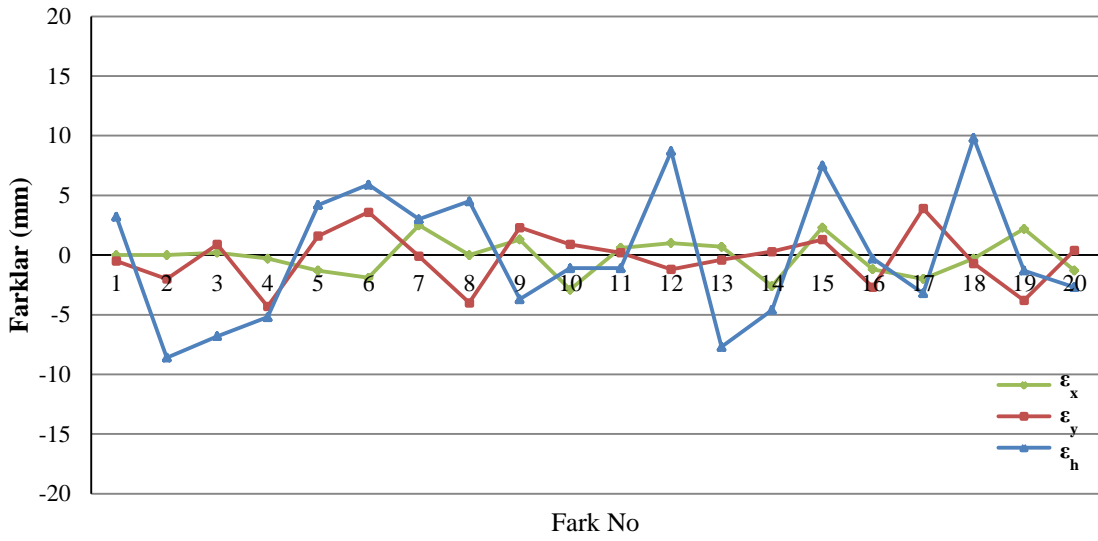
24 saatlik ölçüler tamamlandıktan sonra, GNSS alıcısı üzerine yerleştirilen ölçü düzeneği yine sırasıyla kuzey-güney, doğu-batı ve düşey doğrultuda yönlendirilerek 30 saniye kayıt aralıklı 12 ve 6 saatlik ölçüler yapılmıştır. Eşitlik (6.1)'de gösterildiği şekilde ardışık yapılan ölçüler arasındaki  $dx$ ,  $dy$ ,  $dh$  koordinat farkları hesaplanmıştır. Önceden verilen 1 cm büyüklüğündeki sanal deformasyon miktarı ile düzeneden 24, 12 ve 6 saatlik ölçüler sonucu elde edilen deformasyon miktarları arasındaki farklar (6.2) eşitliğine göre hesaplanmış ve tamamı bir arada olacak şekilde çizelge 6.2.'de gösterilmiştir. Sonuçlara ait grafikler ise şekil 6.13-15.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. 24, 12 ve 6 Saatlik Ölçülerin Ardışık Koordinat Farkları ile Gerçek Değer (1 cm) Arasındaki Farklar (mm).

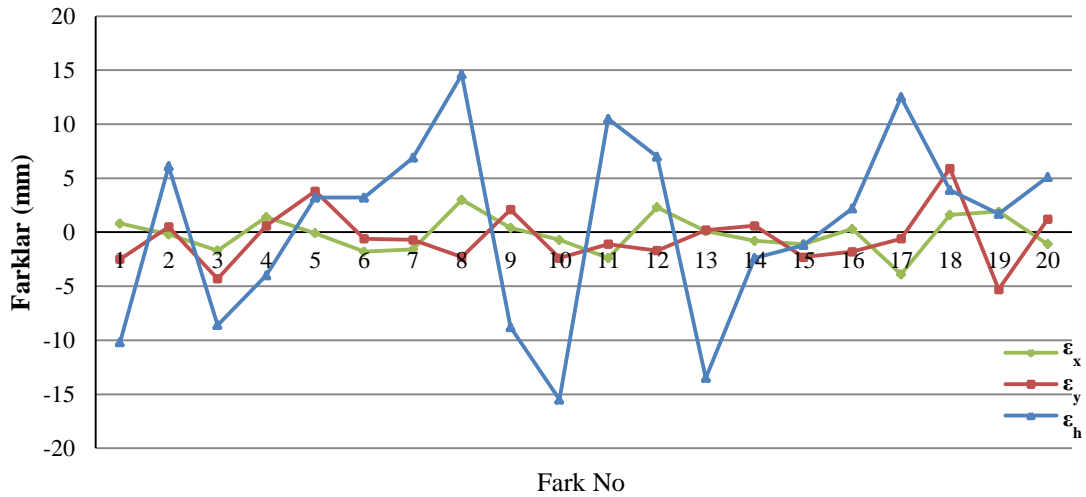
Fark No	24 saat			12 saat			6 saat		
	$\epsilon_{xi}(mm)$	$\epsilon_{yi}(mm)$	$\epsilon_{hi}(mm)$	$\epsilon_{xi}(mm)$	$\epsilon_{yi}(mm)$	$\epsilon_{hi}(mm)$	$\epsilon_{xi}(mm)$	$\epsilon_{yi}(mm)$	$\epsilon_{hi}(mm)$
1	0.8	-1.0	1.8	0.0	-0.5	3.2	0.8	-2.5	-10.2
2	0.2	-3.1	-3.4	0.0	-2.0	-8.6	-0.2	0.5	6.1
3	-0.3	2.4	-6.0	0.2	0.9	-6.8	-1.7	-4.3	-8.6
4	-0.8	-3.6	-3.7	-0.3	-4.3	-5.2	1.4	0.6	-4.0
5	0.0	2.3	5.1	-1.3	1.6	4.2	-0.1	3.8	3.2
6	-2.2	3.3	7.5	-1.9	3.6	5.9	-1.8	-0.6	3.2
7	2.3	-0.4	1.2	2.5	-0.1	3.0	-1.6	-0.7	6.9
8	-0.8	-3.2	6.3	0.0	-4.0	4.5	3.0	-2.3	14.6
9	0.6	3.5	-5.5	1.3	2.3	-3.7	0.4	2.1	-8.8
10	-1.6	2.2	2.3	-2.9	0.9	-1.1	-0.7	-2.4	-15.5
11	0.2	-3.4	-7.7	0.6	0.2	-1.1	-2.4	-1.1	10.5
12	1.2	1.0	3.0	1.0	-1.2	8.7	2.3	-1.7	7.0
13	1.1	0.0	-1.9	0.7	-0.4	-7.7	0.1	0.2	-13.5
14	-2.6	0.6	-7.4	-2.6	0.3	-4.6	-0.8	0.6	-2.4
15	1.3	0.4	7.1	2.3	1.3	7.5	-1.1	-2.3	-1.2
16	-0.4	-0.2	1.1	-1.2	-2.7	-0.3	0.3	-1.8	2.2
17	-1.4	0.8	-2.7	-2.0	3.9	-3.2	-3.9	-0.6	12.5
18	-0.4	-1.5	9.0	-0.3	-0.7	9.8	1.6	5.9	3.9
19	1.6	-1.9	-2.6	2.2	-3.8	-1.3	1.9	-5.3	1.7
20	-2.1	0.6	-1.1	-1.3	0.4	-2.7	-1.1	1.2	5.1



Şekil 6.13. 24 Saatlik Ölçülerin Ardışık Koordinat Farkları İle Gerçek Değer (1 Cm) Arasındaki Farklar (mm).



Şekil 6.14. 12 Saatlik Ölçülerin Ardışık Koordinat Farkları İle Gerçek Değer (1 Cm) Arasındaki Farklar (mm).



Şekil 6.15. 6 Saatlik Ölçülerin Ardışık Koordinat Farkları İle Gerçek Değer (1 Cm) Arasındaki Farklar (mm).

#### 6.1.4.3. Projeksiyon koordinatları kullanılarak deformasyon analizi yapılması

Sanal deformasyon vermeye yarayan düzencek yardımı ile kuzey-güney, doğu-batı ve düşey doğrultuda verilen 1 cm büyüklüğündeki deformasyon miktarlarını belirlemek için yapılması gereken minimum ölçü süresini tespit edebilmek amacıyla, projeksiyon koordinatları (x, y, h) kullanılarak bir analiz yapılmıştır.

Bu amaçla; çizelge 6.2.'de gösterilen koordinat farkları ile gerçek değer arasındaki farkların karelerinin toplamı, ölçü sayısına ( $n$ ) bölünüp karekökü alınarak (6.3) eşitliğinde gösterildiği gibi ortalama hatalar hesaplanmış ve çizelge 6.3.'de gösterilmiştir.

$$m_x = \sqrt{\frac{[\varepsilon_x \varepsilon_x]}{n}} \quad m_y = \sqrt{\frac{[\varepsilon_y \varepsilon_y]}{n}} \quad m_h = \sqrt{\frac{[\varepsilon_h \varepsilon_h]}{n}} \quad (6.3)$$

**Çizelge 6.3.** Ortalama Hatalar (mm).

24 saat			12 saat			6 saat		
$m_x$	$m_y$	$m_h$	$m_x$	$m_y$	$m_h$	$m_x$	$m_y$	$m_h$
1.33	2.16	4.99	1.54	2.26	5.40	1.68	2.59	8.32

Karşılaştırma gerçek değerle yapıldığı için  $T_{\text{tablo}}$  ( $T_{0.95}=1.96$ ) alınmıştır.  $d$ 'nin alabileceği maksimum değerleri belirleyebilmek için çizelge 6.3'deki ortalama hatalar 1.96 ile çarpılmıştır.

$$\max_{dx} = m_x \times 1.96 \quad \max_{dy} = m_y \times 1.96 \quad \max_{dh} = m_h \times 1.96 \quad (6.4)$$

Eşitlik (6.4)'e göre hesaplanan  $d$ 'nin alabileceği maksimum değerler çizelge 6.4.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.4.** 24, 12 ve 6 Saatlik Ölçülerle Belirlenebilecek Minimum Deformasyon Miktarları (mm).

24 saat			12 saat			6 saat		
$\max_{dx}$	$\max_{dy}$	$\max_{dh}$	$\max_{dx}$	$\max_{dy}$	$\max_{dh}$	$\max_{dx}$	$\max_{dy}$	$\max_{dh}$
2.6	4.2	9.8	3.0	4.4	10.6	3.3	5.1	16.3

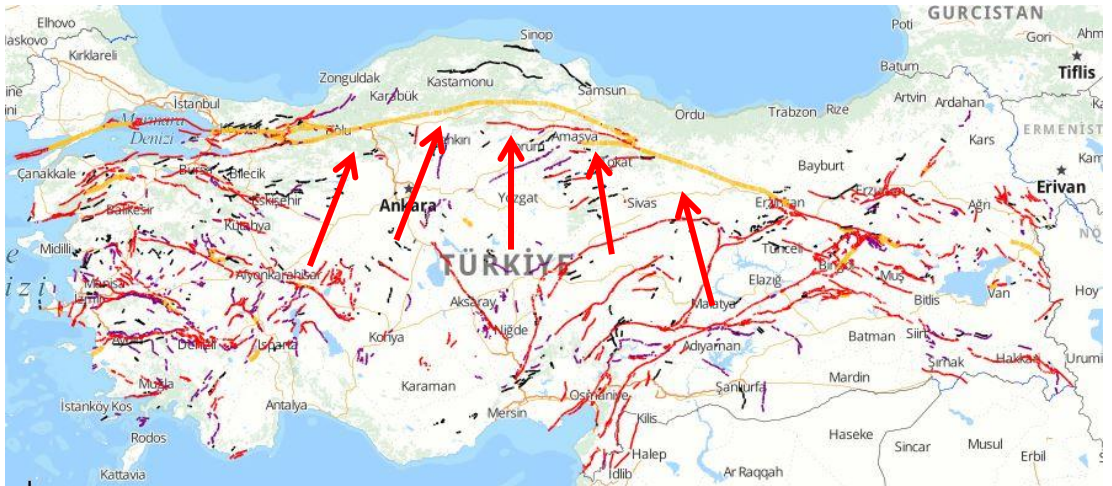
Çizelge 6.4. incelendiğinde; 6 saatlik ölçülerle; kuzey-güney doğrultusunda minimum 3.3 mm, doğu-batı doğrultusunda 5.1 mm, düşey doğrultuda ise 16.3 mm büyüklüğündeki, 12 saatlik ölçülerle; kuzey-güney doğrultusunda minimum 3.0 mm, doğu-batı doğrultusunda 4.4 mm, düşey doğrultuda ise 10.6 mm büyüklüğündeki, 24 saatlik ölçülerle; kuzey-güney doğrultusunda minimum 2.6 mm, doğu-batı doğrultusunda 4.2 mm, düşey doğrultuda ise 9.8 mm büyüklüğündeki değişimlerin deformasyon olarak belirlenebileceği sonucuna ulaşılmaktadır. Düşey (h) doğrultu için sanal deformasyon (1 cm) miktarı ile hesaplanan değer arasındaki farkların, yatay (x, y) doğrultudaki farkların yaklaşık 3 katı olduğu görülmektedir. Uydu geometrisi ve atmosferik hatalardan kaynaklı olarak, GNSS çözümleri sonucu elde edilen düşey konum bileşeni doğruluğunun, yatay konum bileşeni doğruluğuna göre daha düşük

olması, önceden bilinen ve beklenen bir durumdur. Benzer şekilde Eckl ve ark. (2001) çalışmalarında, düşey konum bileşenine ait ortalama hatanın, yatay konum bileşenine ait ortalama hataların yaklaşık 3,6 katı olduğunu belirtmişlerdir.

## 6.2. Uygulama 2

### 6.2.1. Çalışma Alanı “Kuzey Anadolu Fay Hattı”

Kuzey Anadolu fayı, Anadolu Levhası'nın batıya doğru hareketini barındıran önemli bir yanal atımlı faydır (Okay ve ark., 2004). Kuzey Anadolu Fayı, doğuda Karlıoava'dan (Bingöl), batıda Kuzey Ege'ye doğru Ege Denizi'ne kadar yaklaşık 1600 km boyunca uzanır (Hubert-Ferrari ve ark., 2002). Kuzey Anadolu Fayı doğudan batıya doğru genişleyen bir yamulma bölgesi içine yerleşmiştir. Fay genel olarak bir fay çizgisi değil, doğudan batıya giderek dallanıp budaklanan bir fay ailesi şekline sahiptir (Şekil 6.16.). Bolu'dan batıya fayın iki ana kolu olduğu görülmektedir. Kuzey Kol adı verilen bir hat, Düzce, Adapazarı, Sapanca, İzmit üzerinden Marmara Denizi'ne girmekte ve Şarköy'ün hemen güneyinde karaya çıkarak Gelibolu yarımadasını Trakya'nın geri kalan kısmından ayırmaktadır. Güney Kol denilen hat ise Pamukova ve Yenişehir üzerinden Bursa-Ulubat ve Manyas çizgisini izleyerek Biga Yarımadasından Ege'ye çıkmaktadır. İznik üzerinden Gemlik'e ve güney Marmara sahilini yalayarak Kapıdağ'a ulaşan bir fay çizgisi, bu güney kolun bir parçasıdır (Bak, 2014).



Şekil 6.16. Kuzey Anadolu Fayı ve Türkiye (Anonim14, 2019).



Çalışma alanı olarak Kuzey Anadolu Fayı'nın seçilmesinin temel sebebi fayın aktif bir yapısının olmasıdır. Fayın hareketli yapısından dolayı bu hat üzerinde seçilen sabit TUSAGA-Aktif noktalarının, belirlenen 10 yıllık zaman aralığındaki hareketleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

### 6.2.2. Uygulama 2 için yapılan değerlendirmeler

İkinci uygulama aşamasında Kuzey Anadolu Fay hattı üzerindeki TUSAGA-Aktif noktalarının hareketlerinin tespiti için 30 saniye kayıt aralıklı 24 saatlik veriler kullanılmıştır. Bu kapsamda Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde seçilen 9 adet TUSAGA-Aktif noktasına ait (Şekil 6.17.) 2009 ve 2018 yılları arasındaki 10 yıllık süre için her Haziran ayının 05-25. günlerine ait 30 sn. kayıt aralıklı 24 saatlik RINEX verileri Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Tarih seçimi amacıyla 2009 ve 2018 yılları için yapılan incelemede, Anonim15 (2018)'de yapılan araştırmaya göre depremlerin en az olduğu, bölgenin en durağan olduğu zaman diliminin Haziran ayına denk gelmesinden dolayı bu tarihteki veriler kullanılmıştır.



Şekil 6.17. KAF Üzerinde Seçilen 9 Adet TUSAGA-Aktif Noktaları.

TUSAGA-Aktif noktalarına ait 10 yıllık veriler referans 7 adet IGS noktasına (Şekil 6.18.) dayalı olarak Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında değerlendirilmiştir.



Şekil 6.18. 7 Adet Referans IGS Noktası.

9 adet TUSAGA-Aktif noktasına ait, her bir yıl için 20 gün ve toplamda 10 yıllık veriler için düşünüldüğünde Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında 1800 adet çözümleme işlemi yapılmıştır.

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile hesaplanan koordinatların doğruluğu yeterli olsa da, bölüm 4.4.'te detaylı şekilde anlatıldığı üzere elde edilen koordinatlara ait ortalama hata değerleri ve VCV matrisleri çok iyimserdir. Bu amaçla bu çalışma kapsamında Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile elde edilen sonuçlara bölüm 4.4.1.'de anlatılan A yöntemi kullanılarak bir SF uygulaması yapılmıştır.

Bu çalışmada uygulanacak olan SF için, kaç günlük ölçülerin kullanılması gerektiğinin araştırıldığı bir ön çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda SF hesabı için 30 günlük veriler kullanılarak çözümlere başlayıp sonrasında ikişer gün azaltmak suretiyle (28 gün, 26 gün, ..., 20 gün) yapılan çözümlerin karşılaştırması sonucunda 30 günlük ölçüler için elde edilen değerler ile, 20 günlük ölçüler için elde edilen değerlerin arasındaki farkın anlamlı olmadığı ve 20 günden sonra elde edilen değerlerin neredeyse birbiriyle aynı olduğu görüldüğünden SF hesabında 20 günlük ölçülerin kullanılmasının yeterli olacağı sonucuna varılmıştır. Bu kapsamda, ölçek faktörü hesabı yapabilmek için 2009 ve 2018 yılları Haziran ayı 05-25. günlere ait 20 günlük veriler kullanılmıştır.

### 6.2.3. BILE noktası 2009 yılı için örnek ölçek faktörü hesabı

Bu bölümde BILE noktasına için 2009 ve 2018 yılları Haziran ayı 05-25. günlere ait 20 günlük ölçüler kullanılarak yapılan örnek bir ölçek faktörü hesabı anlatılacaktır.

İlk işlem adımı olarak STD değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile yapılan BILE noktasına ait 2009 yılı, 156. gün için yapılan çözümlene sonucu elde edilen birim ağırlıklı ölçünün ortalama hatası 0.0012 bulunmuştur. Çözümlene sonucu aynı gün için elde edilen kofaktör matrisi ise;

$$Kofaktör = \begin{bmatrix} 1.09E^{-1} & 4.22E^{-2} & 7.75E^{-2} \\ 4.22E^{-2} & 7.03E^{-2} & 4.95E^{-2} \\ 7.75E^{-2} & 4.95E^{-2} & 8.21E^{-2} \end{bmatrix}$$

olarak elde edilmiştir.

Bulunan birim ağırlıklı ölçünün ortalama hatası değeri ve kofaktör matrisi (4.2) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$STD_X = \sqrt{1.09E^{-1}} \times 0.0012 = 3.97E^{-4}$$

$$STD_Y = \sqrt{7.03E^{-2}} \times 0.0012 = 3.18E^{-4}$$

$$STD_Z = \sqrt{8.21E^{-2}} \times 0.0012 = 3.44E^{-4}$$

olarak standart sapma değerleri hesaplanmış olacaktır.

Burada örnek olarak sadece 1 gün için hesaplanmış olan bu değerler, 20 gün için ayrı ayrı hesaplanır.

İkinci işlem adımında ise RMS değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla 20 gün için yapılan 24 saatlik çözümler sonucunda üretilen koordinat bileşenlerinin (X, Y, Z) ortalaması alınır. Çözümlene sonucu bulunan her bir koordinat değerinden, hesaplanan ortalama koordinat değeri çıkarılır ve  $d_x$ ,  $d_y$  ve  $d_z$  koordinat farkları bulunur. Bu örnekte 156. gün için hesaplanan koordinat farkları ve koordinat farklarının kareleri;

$$d_x = 0.0027(m) \quad d_x^2 = 0.00000729 (m^2)$$

$$d_y = -0.0005(m) \quad ve \quad d_y^2 = 0.00000025 (m^2)$$

$$d_z = 0.0015(m) \quad d_z^2 = 0.00000225 (m^2)$$

olarak hesaplanmıştır.

Daha sonra, (4.3) eşitliğinde gösterildiği üzere, 20 gün için hesaplanan tüm koordinat farklarının kareleri toplamı, ölçü sayısı(n) olan 20 değerine bölünerek RMS değerleri hesaplanır.

$$RMS_X = \sqrt{\frac{[d_{X^2}]}{n}}, \quad RMS_Y = \sqrt{\frac{[d_{Y^2}]}{n}}, \quad RMS_Z = \sqrt{\frac{[d_{Z^2}]}{n}}$$

$$RMS_X = \sqrt{\frac{0.0001}{20}}, \quad RMS_Y = \sqrt{\frac{0.0001}{20}}, \quad RMS_Z = \sqrt{\frac{0.0001}{20}}$$

$$RMS_X = 0.00261, \quad RMS_Y = 0.00189, \quad RMS_Z = 0.00198$$

Üçüncü aşamada (4.4) eşitliğinde ifade edildiği üzere, hesaplanan  $RMS_X$ ,  $RMS_Y$  ve  $RMS_Z$  değerlerinin alt alta yazılmasıyla elde edilen L vektörü ve hesaplanan  $STD_X$ ,  $STD_Y$  ve  $STD_Z$  değerlerinin alt alta yazılmasıyla elde edilen A vektörü oluşturulur.

$$L = \begin{bmatrix} RMS_X \\ RMS_Y \\ RMS_Z \\ \vdots \\ RMS_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00261 \\ 0.00189 \\ 0.00198 \\ \vdots \\ 0.00198 \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} STD_X \\ STD_Y \\ STD_Z \\ \vdots \\ STD_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.97E^{-4} \\ 3.18E^{-4} \\ 3.44E^{-4} \\ \vdots \\ 4.67E^{-4} \end{bmatrix}$$

Son olarak, oluşturulan L ve A vektörlerine göre (4.6) eşitliği SF değeri hesaplanır.

$$SF = (A^T A)^{-1} A^T L$$

$$SF = 5.819$$

Yukarıda BILE noktası 2009 yılı için örnek ölçek faktörü hesabında anlatıldığı şekilde, diğer tüm noktalar için hesaplanan tüm yıllara ait SF değerleri çizelge 6.5.'de gösterilmiştir.

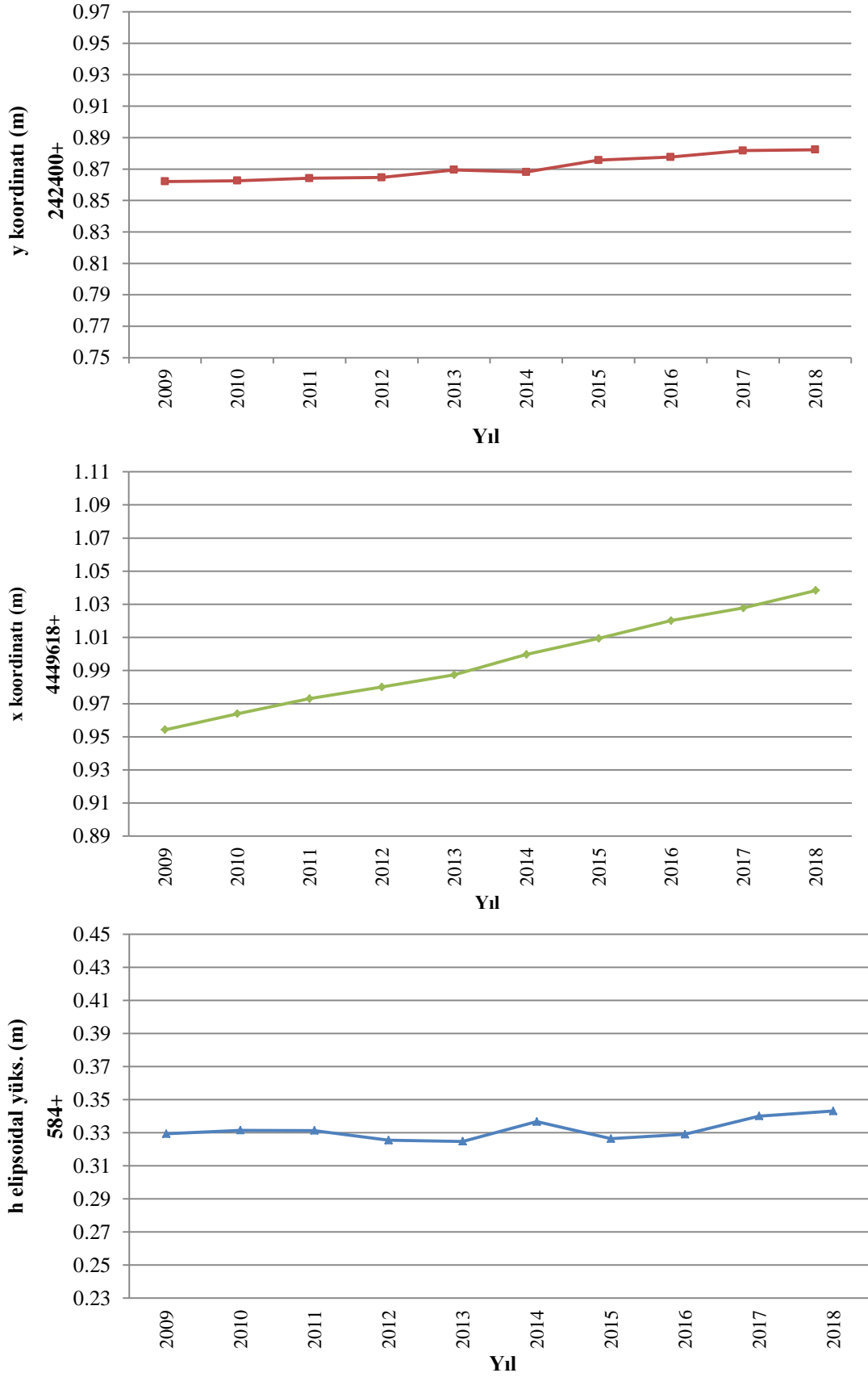
**Çizelge 6.5.** 24 Saatlik Ölçüler İçin Hesaplanan SF Değerleri.

	<b>BILE</b>	<b>BOLU</b>	<b>CMLD</b>	<b>HEND</b>	<b>IZMT</b>	<b>KRBK</b>	<b>NAHA</b>	<b>SLEE</b>	<b>ZONG</b>
<b>2009</b>	5.819	3.473	10.682	6.028	8.886	6.110	7.339	7.423	6.903
<b>2010</b>	5.964	4.368	11.378	10.612	11.243	6.296	9.115	6.684	6.980
<b>2011</b>	4.436	5.333	10.958	8.792	8.263	10.252	6.632	7.257	6.162
<b>2012</b>	1.346	6.148	8.357	6.336	9.470	9.535	6.075	3.253	7.924
<b>2013</b>	4.144	5.804	2.806	1.760	3.434	4.866	11.225	3.133	3.259
<b>2014</b>	8.750	11.032	9.056	8.599	9.964	11.984	13.849	8.135	9.136
<b>2015</b>	5.346	7.382	9.093	3.793	11.513	4.806	7.191	8.769	3.394
<b>2016</b>	8.577	11.242	12.360	4.829	13.742	9.126	7.639	7.042	4.504
<b>2017</b>	7.223	8.200	8.612	6.620	11.159	7.091	4.694	6.894	6.510
<b>2018</b>	10.351	1.378	15.626	12.271	14.431	9.889	4.730	13.261	13.004

#### **6.2.4. TUSAGA-Aktif noktalarının yıllık kuzey-güney, doğu-batı ve yukarı yönlerdeki yer değiştirmeleri**

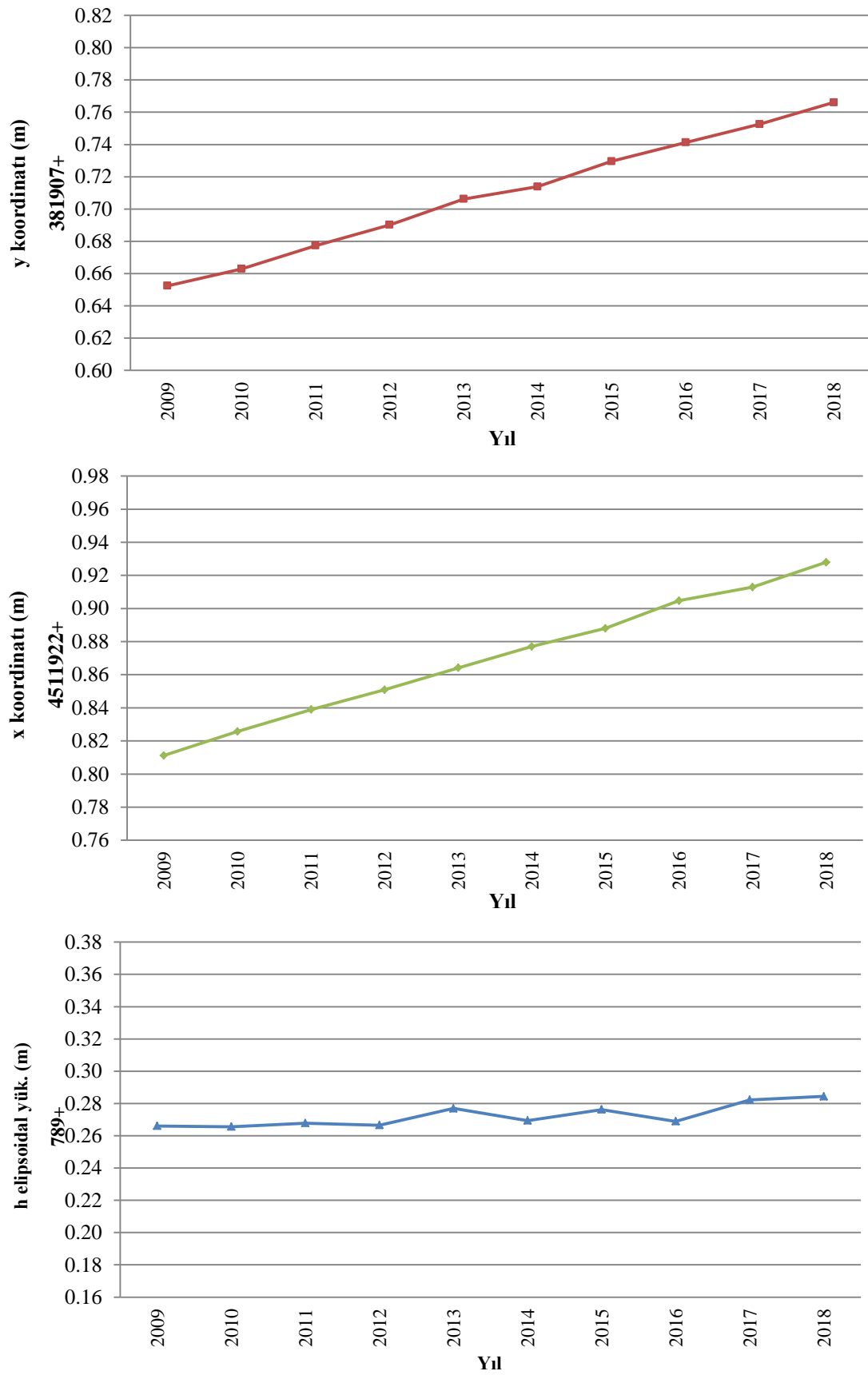
TUSAGA-Aktif noktalarının yıllık doğu-batı, kuzey-güney ve düşey doğrultulardaki yer değiştirmeleri grafikler üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.19. – Şekil 6.27.).

### 6.2.4.1. “BILE” noktasındaki hareket



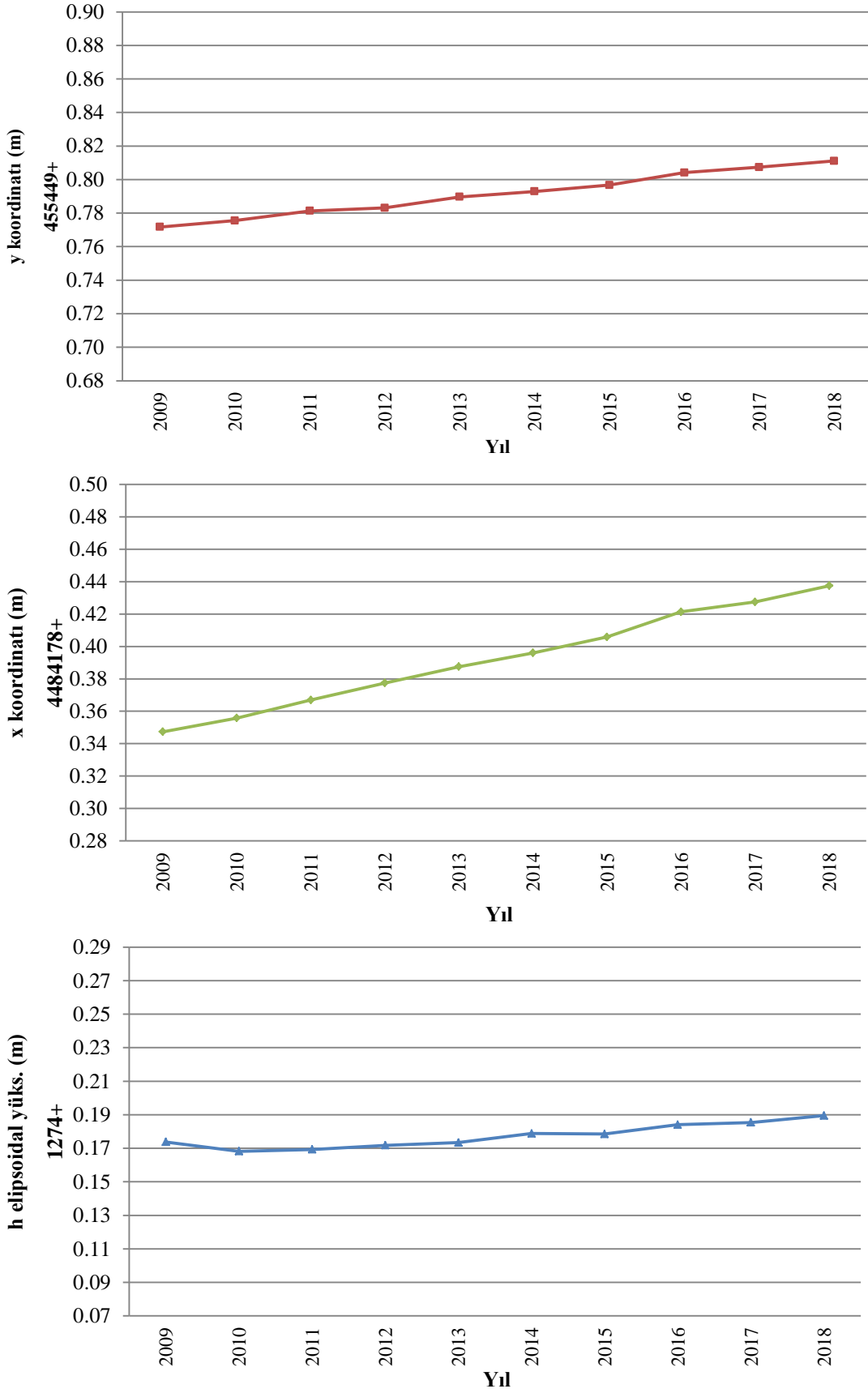
Şekil 6.19. BILE Noktasının Doğu-Batı(y), Kuzey-Güney(x) ve Düşey(h)Doğrultudaki Hareketleri.

### 6.2.4.2. “BOLU” noktasındaki hareket



Şekil 6.20. BOLU Noktasının Doğu-Batı(y), Kuzey-Güney(x) ve Düşey(h)Doğrultudaki Hareketleri.

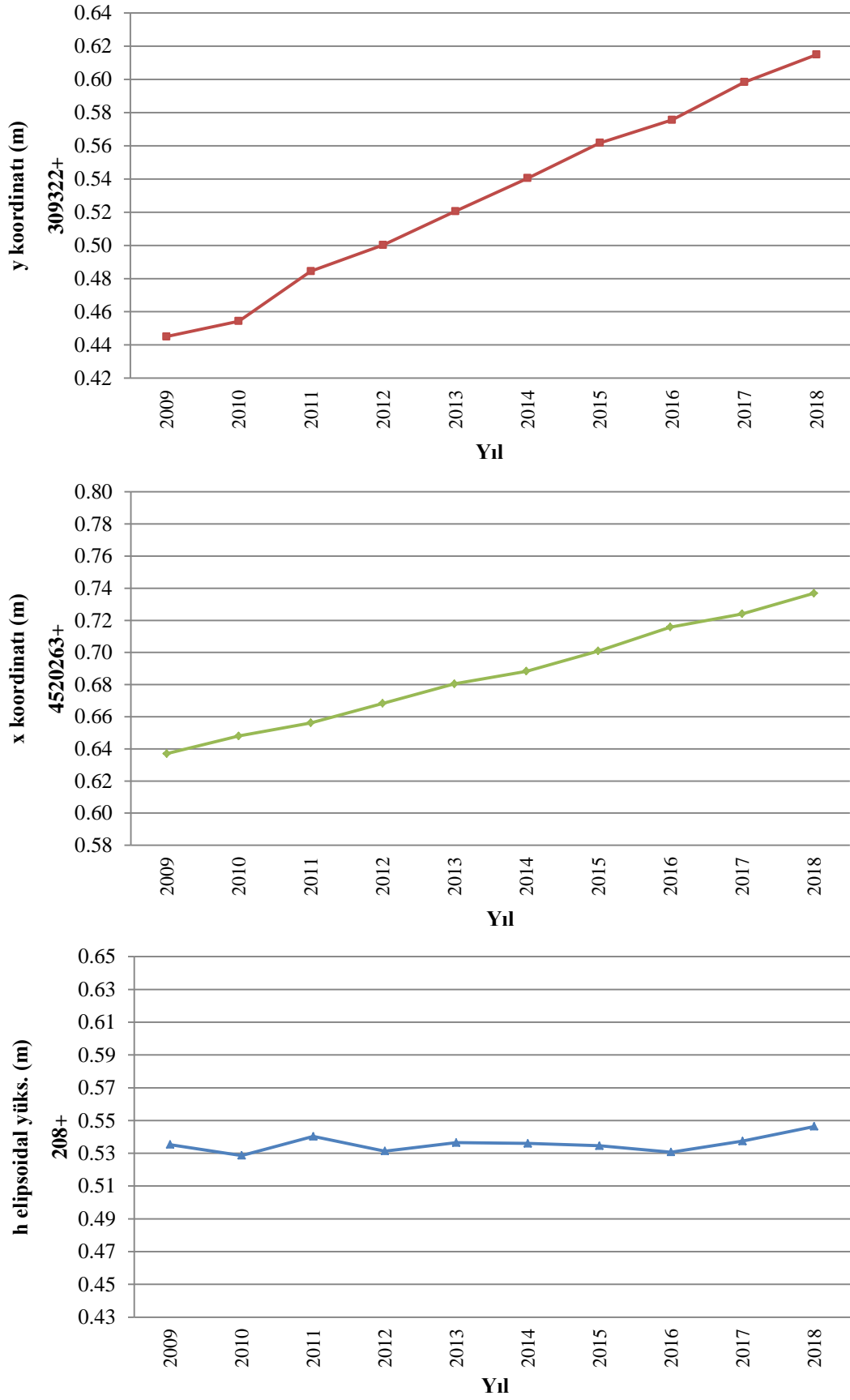
### 6.2.4.3. “CMLD” noktasındaki hareket



Şekil 6.21. CMLD Noktasının Doğu-Batı(y), Kuzey-Güney(x) ve Düşey(h)Doğrultudaki Hareketleri.

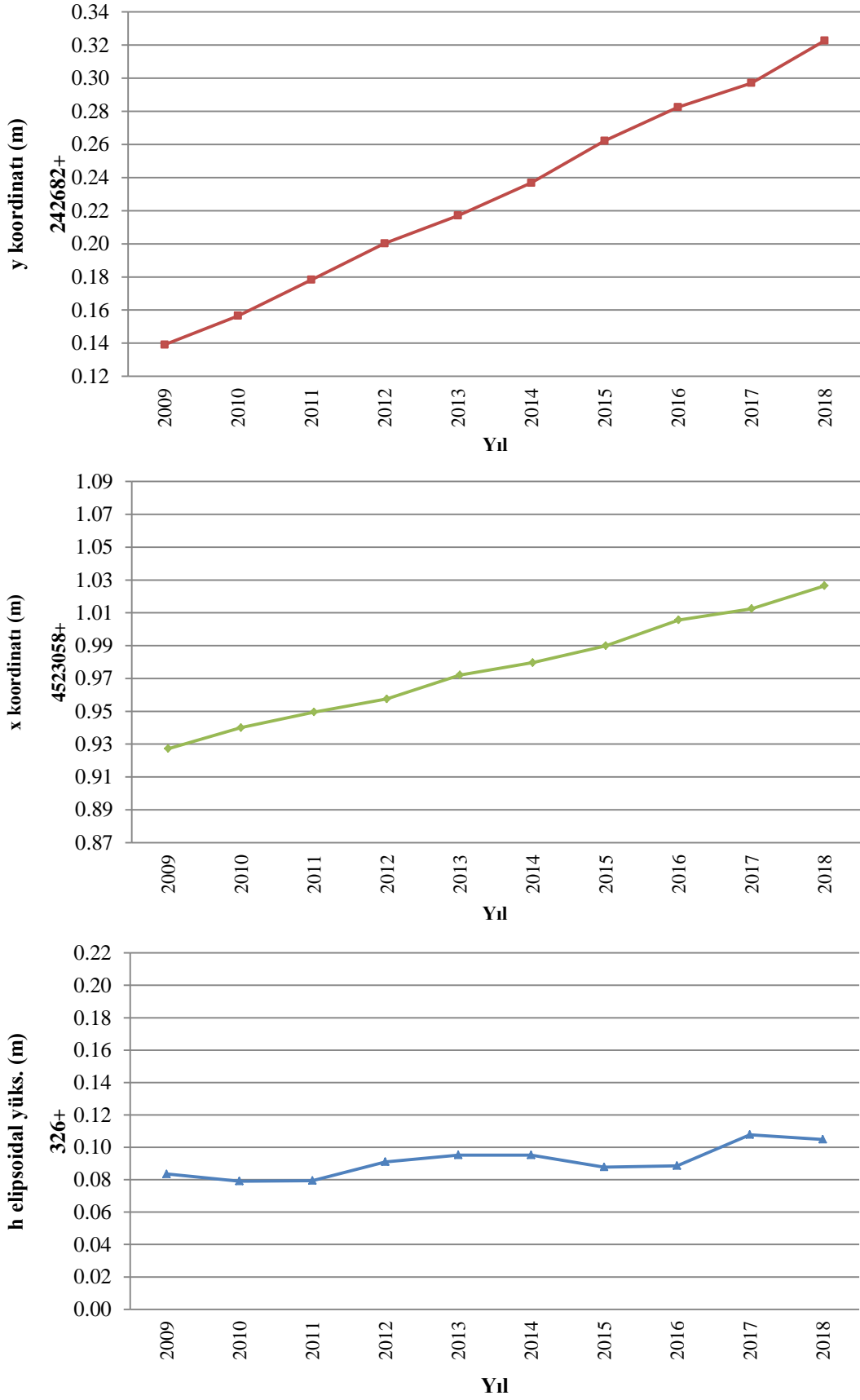


#### 6.2.4.4. “HEND” noktasındaki hareket



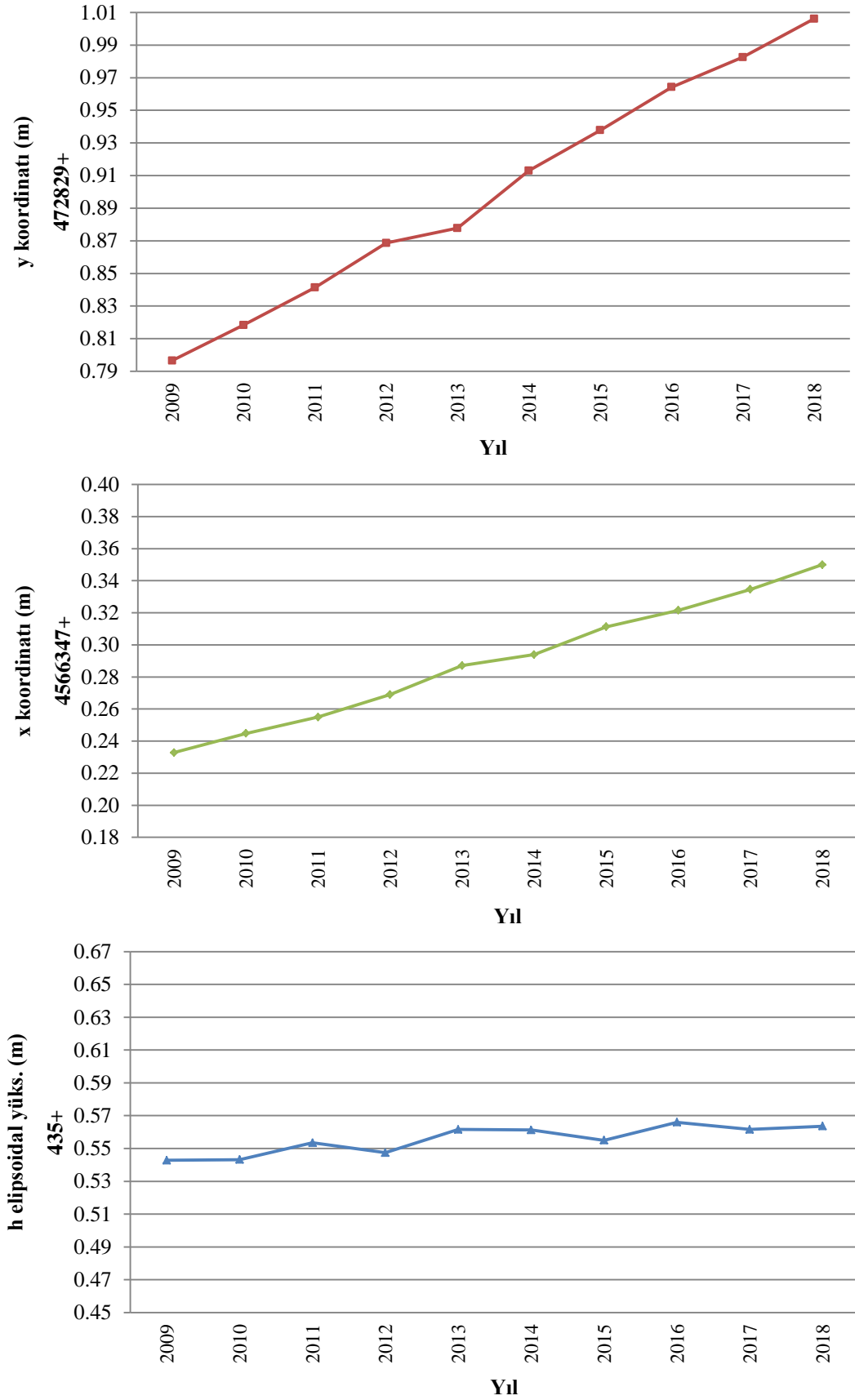
Şekil 6.22. HEND Noktasının Doğu-Batı(y), Kuzey-Güney(x) ve Düşey(h)Doğrultudaki Hareketleri.

### 6.2.4.5. “IZMT” noktasındaki hareket



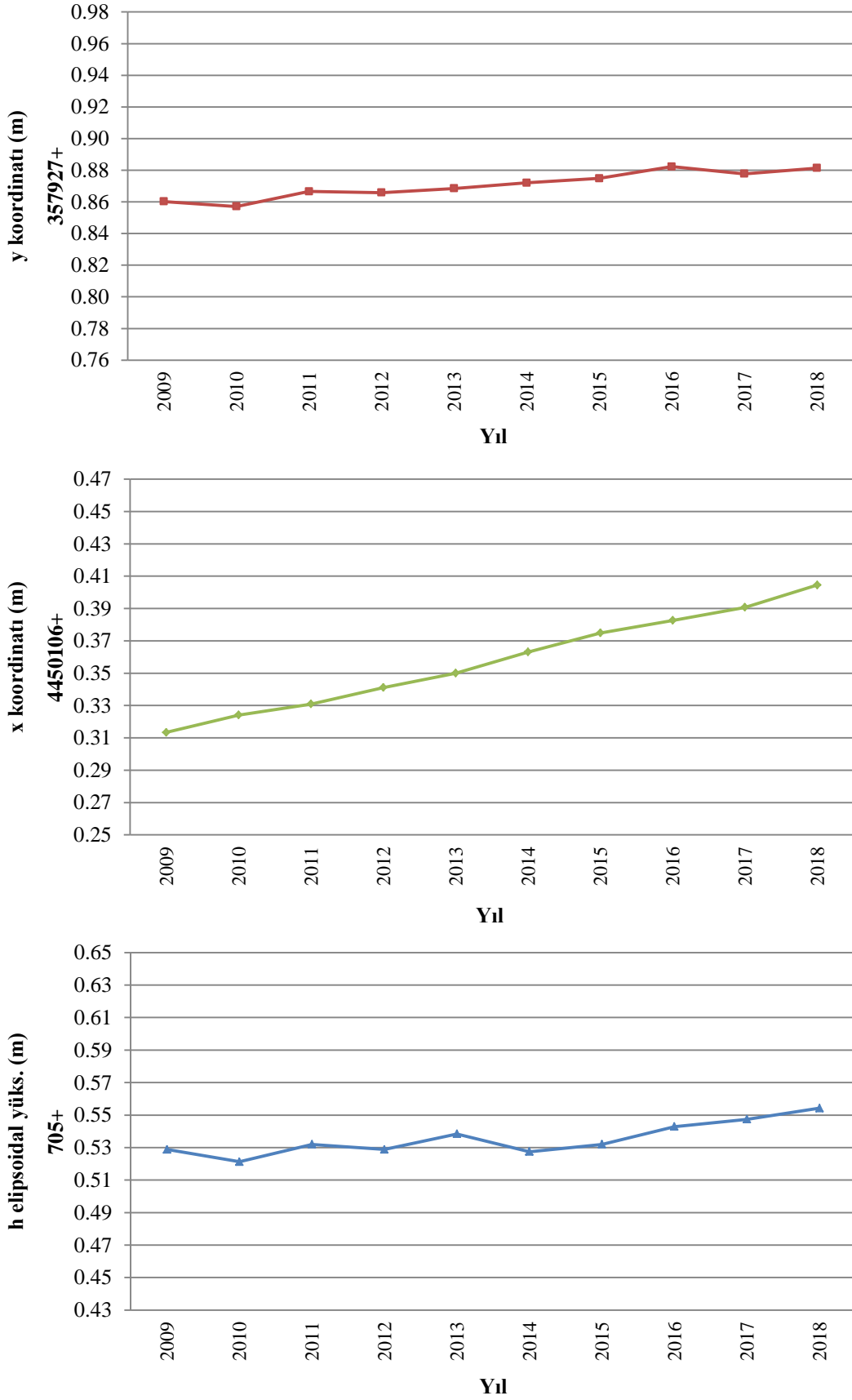
Şekil 6.23. IZMT Noktasının Doğu-Batı(y), Kuzey-Güney(x) ve Düşey(h)Doğrultudaki Hareketleri.

### 6.2.4.6. “KRBK” noktasındaki hareket



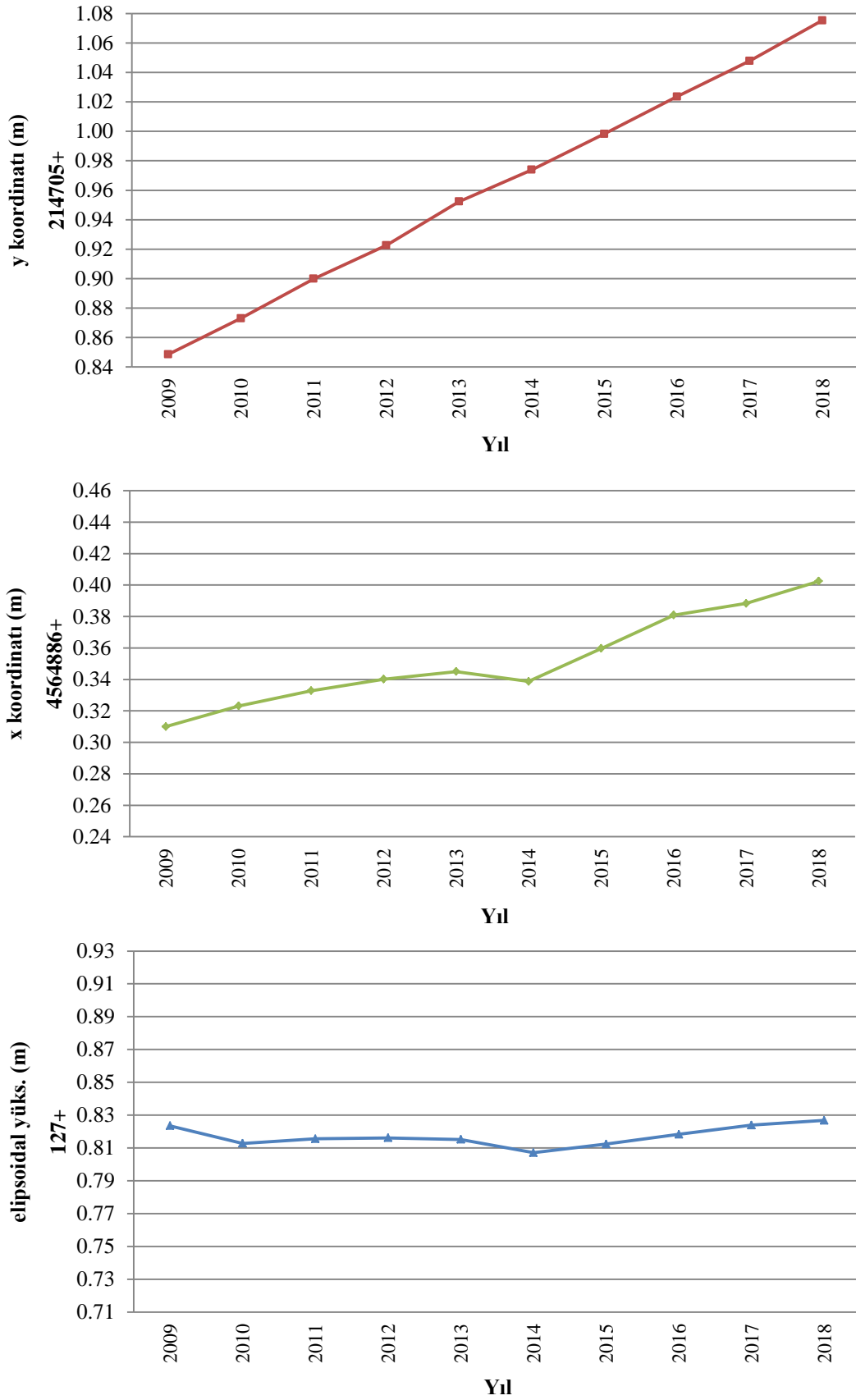
Şekil 6.24. KRBK Noktasının Doğu-Batı(y), Kuzey-Güney(x) ve Düşey(h)Doğrultudaki Hareketleri.

#### 6.2.4.7. “NAHA” noktasındaki hareket



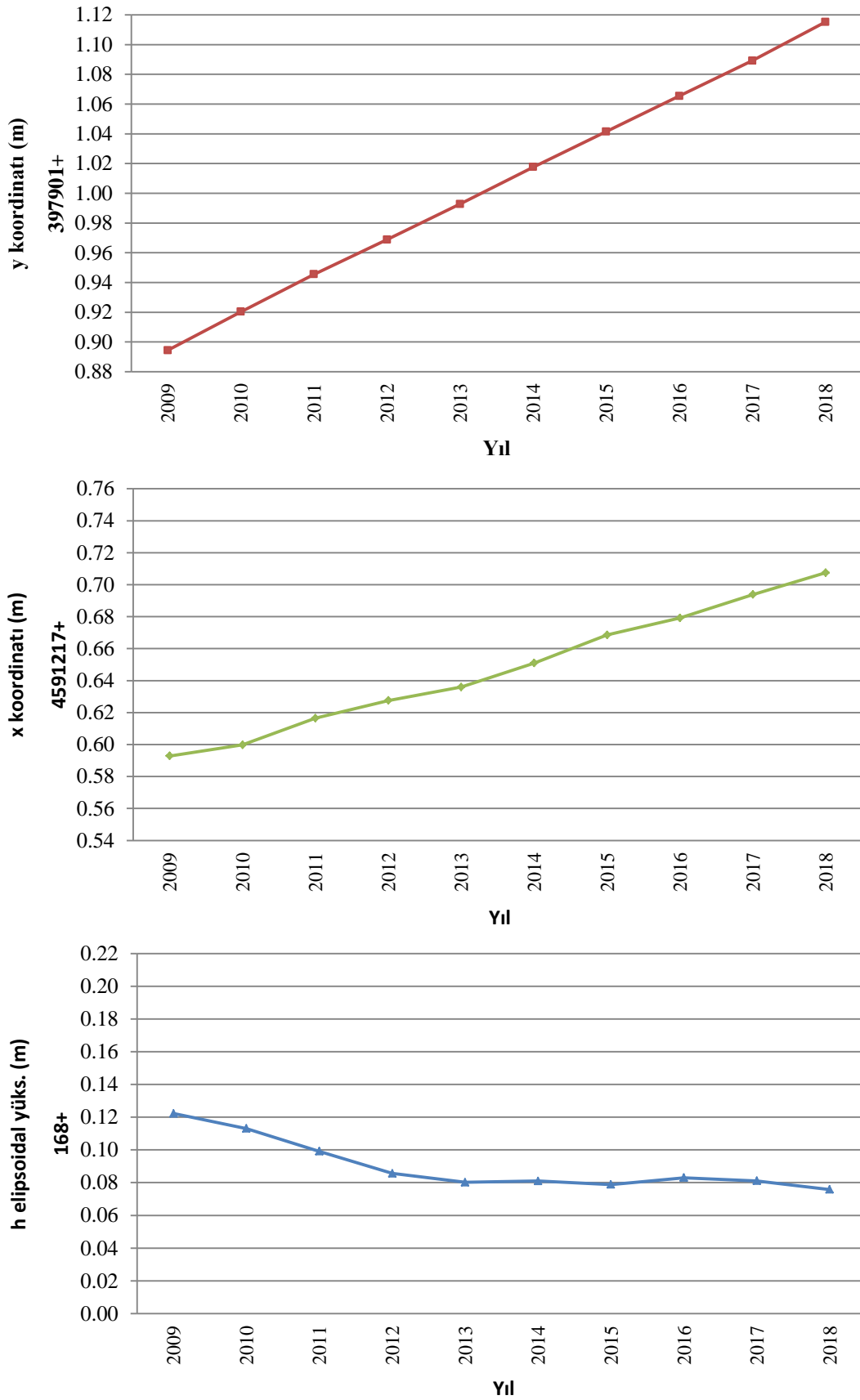
Şekil 6.25. Noktasının Doğu-Batı(y), Kuzey-Güney(x) ve Düşey(h)Doğrultudaki Hareketleri.

### 6.2.4.8. “SLEE” noktasındaki hareket



Şekil 6.26. Noktasının Doğu-Batı(y), Kuzey-Güney(x) ve Düşey(h)Doğrultudaki Hareketleri.

### 6.2.4.9. “ZONG” noktasındaki hareket



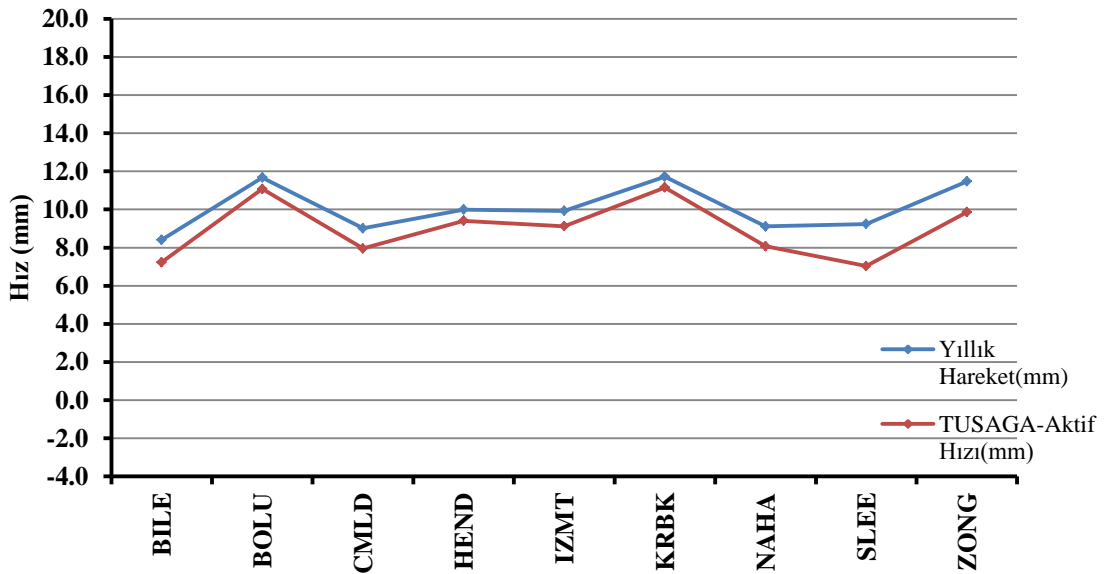
Şekil 6.27. Noktasının Doğu-Batı(y), Kuzey-Güney(x) ve Düşey(h)Doğrultudaki Hareketleri.

### 6.2.5. Yıllık Ortalama Hareketler ile TUSAGA-Aktif Hızlarının Karşılaştırılması

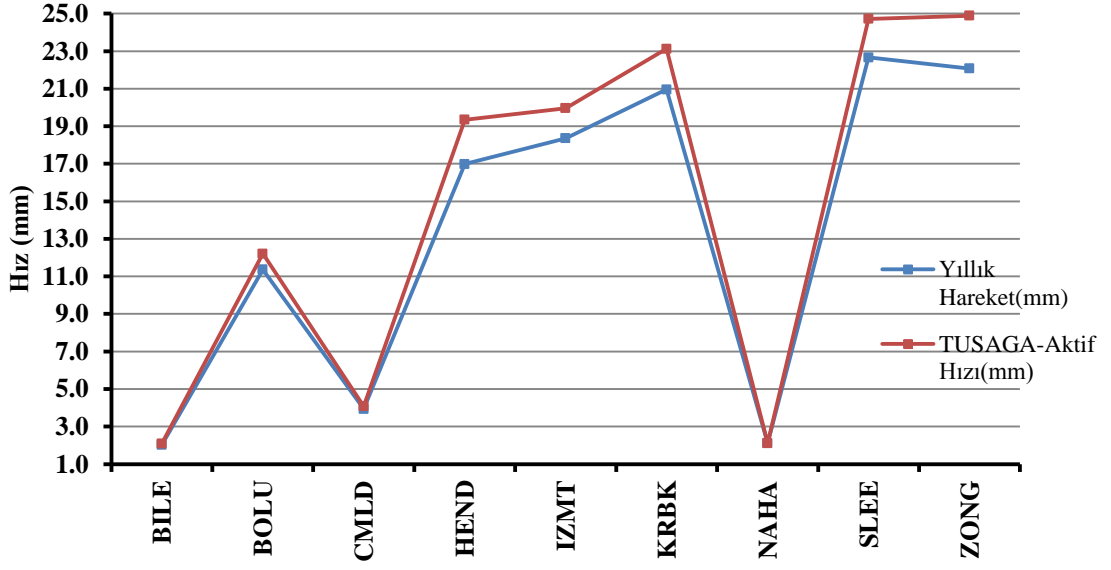
Uygulama 2’de yapılan çözümlemelere göre belirlenen nokta hareketleri, Özdemir (2016b) tarafından TUSAGA-Aktif istasyonlarında 2008-2015 tarihleri arasında toplanan GNSS gözlemlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen projeksiyon koordinatlarına göre nokta hızlarıyla çizelge 6.6.’da, kartezyen koordinatlara göre nokta hızlarıyla ise çizelge 6.7.’de kıyaslanmış ve aradaki farklar şekil 6.28. – 6.33.’te gösterilmiştir.

**Çizelge 6.6.** Çözümlmelerden Elde Edilen Yıllık Ortalama Hareketler ile TUSAGA-Aktif Hızlarının Karşılaştırılması (Projeksiyon).

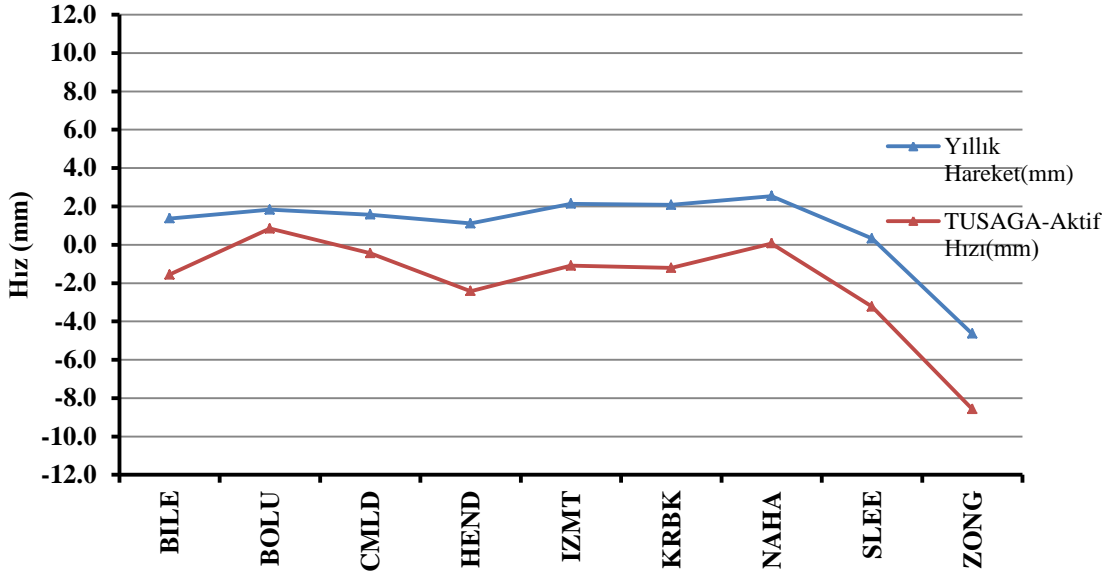
	Kuzey-Güney (x) Doğrultusu			Doğu-Batı (y) Doğrultusu			Düsey (h) Doğrultu		
	10 Yıllık Toplam Hareket (mm)	Yıllık Ortalama Hareket (mm)	TUSAGA-Aktif Hızı (mm)	10 Yıllık Toplam Hareket (mm)	Yıllık Ortalama Hareket (mm)	TUSAGA-Aktif Hızı (mm)	10 Yıllık Toplam Hareket (mm)	Yıllık Ortalama Hareket (mm)	TUSAGA-Aktif Hızı (mm)
<b>BILE</b>	84.1	8.41	<b>7.23</b>	20.2	2.02	<b>2.09</b>	13.7	1.34	<b>-1.56</b>
<b>BOLU</b>	116.7	11.67	<b>11.08</b>	113.7	11.37	<b>12.21</b>	18.3	1.83	<b>0.84</b>
<b>CMLD</b>	90.1	9.01	<b>7.95</b>	39.4	3.94	<b>4.08</b>	15.7	1.57	<b>-0.44</b>
<b>HEND</b>	99.9	9.99	<b>9.41</b>	169.9	16.99	<b>19.35</b>	11.1	1.11	<b>-2.42</b>
<b>IZMT</b>	99.3	9.93	<b>9.12</b>	183.6	18.36	<b>19.96</b>	21.4	2.14	<b>-1.09</b>
<b>KRBK</b>	117.2	11.72	<b>11.15</b>	209.6	20.96	<b>23.13</b>	20.8	2.08	<b>-1.21</b>
<b>NAHA</b>	91.1	9.11	<b>8.07</b>	21.2	2.12	<b>2.11</b>	25.4	2.54	<b>0.07</b>
<b>SLEE</b>	92.4	9.24	<b>7.03</b>	226.7	22.67	<b>24.72</b>	3.3	0.33	<b>-3.23</b>
<b>ZONG</b>	114.7	11.47	<b>9.86</b>	220.8	22.08	<b>24.89</b>	-46.4	-4.64	<b>-8.57</b>



**Şekil 6.28.** Kuzey-Güney (x) Doğrultusundaki Farklar.



Şekil 6.29. Doğu-Batı (y) Doğrultusundaki Farklar.

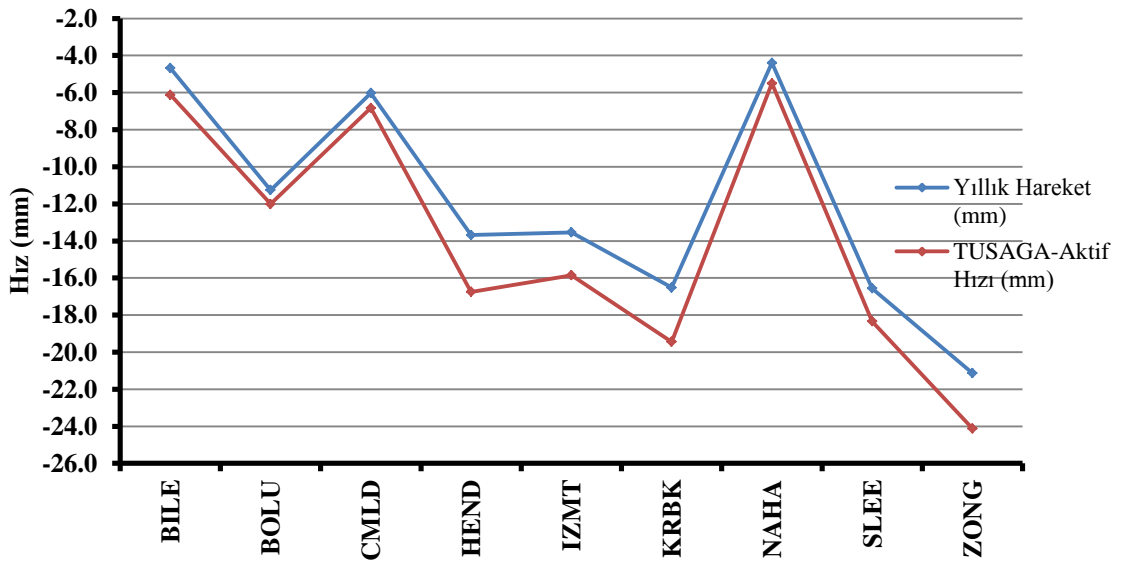


Şekil 6.30. Düşey (h) Doğrultusundaki Farklar.

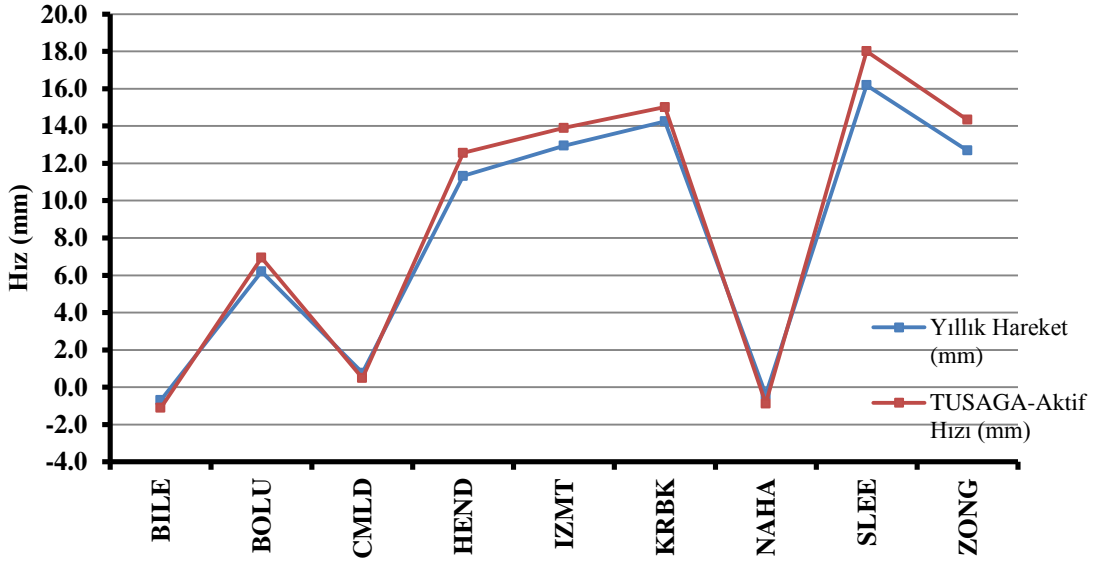


Çizelge 6.7. Çözümlmelerden Elde Edilen Yıllık Ortalama Hareketler ile TUSAGA-Aktif Hızlarının Karşılaştırılması (Kartezyen).

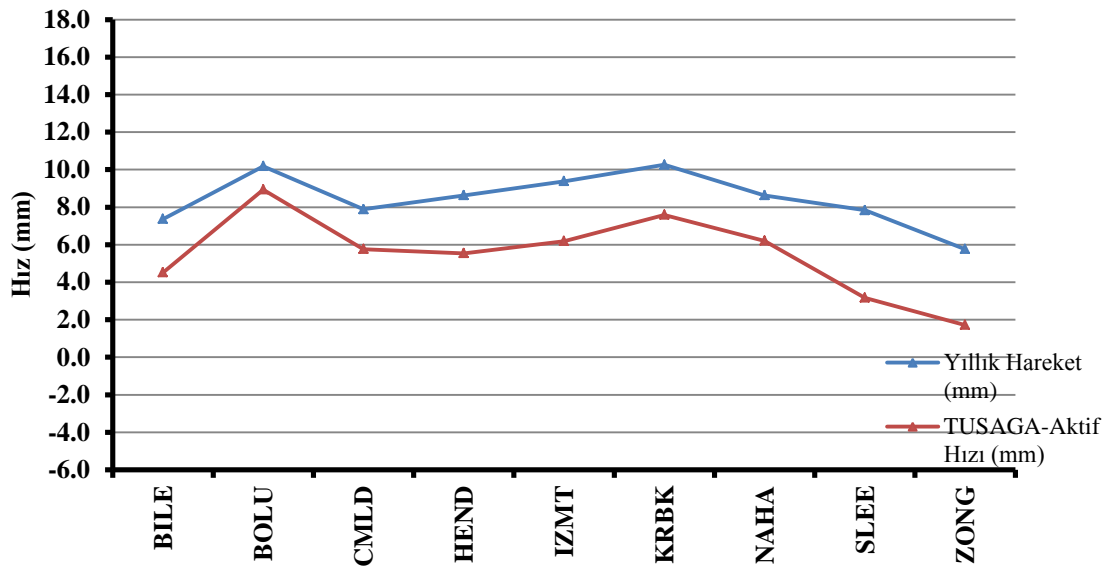
	X Yönünde			Y Yönünde			Z Yönünde		
	10 Yıllık Toplam Hareket (mm)	Yıllık Ortalama Hareket (mm)	TUSAGA-Aktif Hızı (mm)	10 Yıllık Toplam Hareket (mm)	Yıllık Ortalama Hareket (mm)	TUSAGA-Aktif Hızı (mm)	10 Yıllık Toplam Hareket (mm)	Yıllık Ortalama Hareket (mm)	TUSAGA-Aktif Hızı (mm)
<b>BILE</b>	-46.8	-4.7	<b>-6.12</b>	-7.0	-0.7	<b>-1.11</b>	73.6	7.4	<b>4.52</b>
<b>BOLU</b>	-112.6	-11.3	<b>-12.01</b>	62.0	6.2	<b>6.94</b>	101.8	10.2	<b>8.94</b>
<b>CMLD</b>	-60.3	-6.0	<b>-6.83</b>	7.7	0.8	<b>0.49</b>	78.9	7.9	<b>5.76</b>
<b>HEND</b>	-136.8	-13.7	<b>-16.75</b>	113.2	11.3	<b>12.56</b>	86.3	8.6	<b>5.54</b>
<b>IZMT</b>	-135.4	-13.5	<b>-15.85</b>	129.5	13.0	<b>13.90</b>	93.8	9.4	<b>6.19</b>
<b>KRBK</b>	-165.2	-16.5	<b>-19.44</b>	142.5	14.3	<b>15.02</b>	102.6	10.3	<b>7.59</b>
<b>NAHA</b>	-43.9	-4.4	<b>-5.50</b>	-4.0	-0.4	<b>-0.88</b>	86.3	8.6	<b>6.21</b>
<b>SLEE</b>	-165.6	-16.6	<b>-18.34</b>	161.9	16.2	<b>18.01</b>	78.3	7.8	<b>3.17</b>
<b>ZONG</b>	-211.3	-21.1	<b>-24.12</b>	126.9	12.7	<b>14.34</b>	57.6	5.8	<b>1.72</b>



Şekil 6.31. X Yönündeki Farklar.



Şekil 6.32. Y Yönündeki Farklar.



Şekil 6.33. Z Yönündeki Farklar.

### 6.2.6. BİLE noktası 2009-2010 için güven elipsoidleri yöntemiyle örnek deformasyon analizinin yapılması

Bu bölümde örnek olarak BİLE noktası için 15 Haziran 2009 ve 15 Haziran 2010 yılları aralığında anlamlı bir hareket olup olmadığının araştırılması amacıyla güven elipsoidleri yöntemi kullanılarak deformasyon analizinin yapılması anlatılmıştır.

- BILE noktasının 15 Haziran 2009'daki kartezyen koordinatları ve kovaryans matrisi;

$$\hat{X}_1 = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4229802.345 \\ 2439852.679 \\ 4090382.276 \end{bmatrix}; \quad \sum \hat{X}_1 = \begin{bmatrix} 1.69E^{-5} & 1.05E^{-5} & 1.42E^{-5} \\ 1.05E^{-5} & 1.41E^{-5} & 1.14E^{-5} \\ 1.42E^{-5} & 1.41E^{-5} & 1.46E^{-5} \end{bmatrix}.$$

- BILE noktasının 15 Haziran 2010'daki kartezyen koordinatları ve kovaryans matrisi;

$$\hat{X}_2 = \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4229802.341 \\ 2439852.677 \\ 4090382.285 \end{bmatrix}; \quad \sum \hat{X}_2 = \begin{bmatrix} 2.02E^{-5} & 1.31E^{-5} & 1.72E^{-5} \\ 1.31E^{-5} & 1.63E^{-5} & 1.36E^{-5} \\ 1.72E^{-5} & 1.36E^{-5} & 1.77E^{-5} \end{bmatrix}.$$

- $\Delta_{\hat{X}}$  Koordinat farkları;

$$\Delta_{\hat{X}} = \begin{bmatrix} X_2 - X_1 \\ Y_2 - Y_1 \\ Z_2 - Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.004 \\ -0.002 \\ 0.009 \end{bmatrix};$$

- $\sum \Delta_{\hat{X}}$  kovaryans matrisleri toplamı;

$$\sum \Delta_{\hat{X}} = A = \begin{bmatrix} 3.71E^{-5} & 2.35E^{-5} & 3.14E^{-5} \\ 2.35E^{-5} & 3.05E^{-5} & 2.51E^{-5} \\ 3.14E^{-5} & 2.51E^{-5} & 3.24E^{-5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

- Kartezyen koordinatla yapılan deformasyon analizi için karar aşaması;

$$\text{Test Büyüklüğü: } \Delta \hat{X}^T \sum_{\Delta \hat{X}}^{-1} \Delta \hat{X} = 36.93$$

$$\text{Ki kare tablo: } k_{0.95,3}^2 = 7.82$$

Test büyüklüğü değerinin tablo değerinden büyük olması, BILE noktasında 2009-2010 yılları arasında anlamlı bir hareket olduğunu ortaya koymaktadır.

### 6.2.6.1. Güven elipsoidinin ve deformasyon vektörünün çizimi

Güven elipsoidinin bir çizim programı tarafından 3 boyutlu çiziminin yapılabilmesi için, kartezyen koordinat sisteminden yerel koordinat sistemine dönüşüm yapılması gereklidir. Bu dönüşüm işleminin yapılabilmesi ve güven elipsoidinin çizdirilebilmesi için gerekli olan işlem adımları aşağıda örnek olarak gösterilmektedir.

-  $a_1, a_2$  ve  $a_3$  değerlerinin hesabı;

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= -(a_{11} + a_{22} + a_{33}) \\ a_2 &= -(a_{13} a_{31} - a_{11} a_{22} + (-a_{11} - a_{22}) a_{33} + a_{23} a_{32} + a_{12} a_{21}) \\ a_3 &= -(a_{11} a_{22} a_{33} + a_{13} a_{21} a_{32} - a_{13} a_{22} a_{31} + a_{12} a_{23} a_{31} - \\ & a_{11} a_{23} a_{32} - a_{12} a_{21} a_{33}) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} a_1 &= -9.986E^{-5} \\ a_2 &= 1.144E^{-9} \\ a_3 &= -2.326E^{-15}. \end{aligned}$$

-  $Q, R$  ve  $\theta$  değerlerinin hesabı;

$$Q = \frac{a_1 - 3a_2}{9} = 7.266E^{-10},$$

$$R = \frac{2a_1^3 - 9a_1a_2 + 27a_3}{54} = -1.900E^{-14},$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{R}{\sqrt{Q^3}}\right) = 2.897.$$

-  $\sqrt{\lambda_1}, \sqrt{\lambda_2}$  ve  $\sqrt{\lambda_3}$  yani güven elipsoitinin küçük, orta ve büyük yarı eksen değerlerinin hesabı;

$$\lambda_{1,2,3} = \left\{ \begin{aligned} -2\sqrt{Q} \cos\left(\frac{\theta}{3}\right) - \frac{a_1}{3} &= 8.70E^{-5} \\ -2\sqrt{Q} \cos\left(\frac{\theta + 2\pi}{3}\right) - \frac{a_1}{3} &= 1.02E^{-5} \\ -2\sqrt{Q} \cos\left(\frac{\theta + 4\pi}{3}\right) - \frac{a_1}{3} &= 2.61E^{-6} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \sqrt{\lambda_1} &= 9.33E^{-3} \\ \sqrt{\lambda_2} &= 3.20E^{-3} \\ \sqrt{\lambda_3} &= 1.62E^{-3}. \end{aligned}$$

- Özvektörler ( $e_1, e_2$  ve  $e_3$ ) değerlerinin hesabı;

$$\begin{bmatrix} a_{11} - \lambda_i & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda_i & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} - \lambda_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{i1} \\ e_{i2} \\ e_{i3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, i = 1, 2, 3,$$

$$e_1 = \begin{bmatrix} 0.617 \\ 0.519 \\ 0.592 \end{bmatrix}, \quad e_2 = \begin{bmatrix} 0.555 \\ -0.820 \\ 0.140 \end{bmatrix}, \quad e_3 = \begin{bmatrix} 0.558 \\ 0.243 \\ -0.794 \end{bmatrix},$$

-  $R$  dönüşüm matrisinin hesabı;

$$R = e^T = [e_1 \quad e_2 \quad e_3]^T$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.617 & 0.519 & 0.592 \\ 0.555 & -0.820 & 0.140 \\ 0.558 & 0.243 & -0.794 \end{bmatrix}.$$

- Özdeğerler ise aşağıda gösterilen  $\Sigma \hat{u}$  matrisinin köşegen elemanlarına eşittir;

$$\hat{u} = R\hat{x}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$\Sigma \hat{u} = R \Sigma_{\hat{x}} R^T$$

$$\Sigma \hat{u} = \begin{bmatrix} \mathbf{8.70E^{-5}} & 3.39E^{-20} & 4.07E^{-20} \\ 2.94E^{-20} & \mathbf{1.02E^{-5}} & -4.02E^{-21} \\ 3.52E^{-20} & -5.29E^{-21} & \mathbf{2.61E^{-06}} \end{bmatrix}.$$

- BİLE noktasının kartezyen koordinatlarına karşılık enlem “ $\lambda$ ” ve boylam “ $\varphi$ ” olmak üzere, F dönüşüm matrisinin hesabı;

$$\lambda=40.1414612$$

$$\varphi=29.9773920$$

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

$$F = \begin{bmatrix} -5.00E^{-1} & 8.66E^{-1} & 0 \\ -5.58E^{-1} & -3.22E^{-1} & 7.64E^{-1} \\ 6.62E^{-1} & 3.82E^{-1} & 6.45E^{-1} \end{bmatrix}.$$

- Deformasyon vektörü, aşağıdaki şekilde lokal toposentrik koordinatlara dönüştürülür. Güven elipsoidinin ve deformasyon vektörünün bir 3 boyutlu bilgisayar programı tarafından çizdirilebilmesi için bu dönüşüm gereklidir.

$$\Delta_{\hat{x}_{Topo}} = F \cdot \Delta_{\hat{x}} = \begin{bmatrix} \Delta_e \\ \Delta_n \\ \Delta_u \end{bmatrix}$$

$$\Delta_{\hat{x}_{Topo}} = \begin{bmatrix} -5.00E^{-1} & 8.66E^{-1} & 0 \\ -5.58E^{-1} & -3.22E^{-1} & 7.64E^{-1} \\ 6.62E^{-1} & 3.82E^{-1} & 6.45E^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -0.004 \\ -0.002 \\ 0.009 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_e \\ \Delta_n \\ \Delta_u \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta_e \\ \Delta_n \\ \Delta_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00019 \\ 0.00972 \\ 0.00220 \end{bmatrix};$$

$$\Sigma_{\Delta_{\hat{x}-Topo}} = F \Sigma_{\Delta_{\hat{x}}} F^T$$

$$\Sigma_{\Delta_{\hat{x}-Topo}} = \begin{bmatrix} -5.00E^{-1} & 8.66E^{-1} & 0 \\ -5.58E^{-1} & -3.22E^{-1} & 7.64E^{-1} \\ 6.62E^{-1} & 3.82E^{-1} & 6.45E^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -0.004 \\ -0.002 \\ 0.009 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -5.00E^{-1} & -5.58E^{-1} & 6.62E^{-1} \\ 8.66E^{-1} & -3.22E^{-1} & 3.82E^{-1} \\ 0 & 7.64E^{-1} & 6.45E^{-1} \end{bmatrix}$$

$$\Sigma_{\Delta\dot{x}-Topo} = F\Sigma_{\Delta\dot{x}}F^T$$

$$\Sigma_{\Delta\dot{x}-Topo} = \begin{bmatrix} 1.17E^{-5} & -1.16E^{-6} & 1.07E^{-5} \\ -1.16E^{-6} & 2.93E^{-6} & -4.84E^{-6} \\ 1.07E^{-5} & -4.84E^{-6} & 8.52E^{-5} \end{bmatrix}.$$

- Lokal koordinatla yapılan deformasyon analizi için karar aşaması;

$$\text{Test Büyüklüğü: } \Delta\dot{x}_{Topo}^T \Sigma_{\Delta\dot{x}-Topo}^{-1} \Delta\dot{x}_{Topo} = 36.925$$

$$\text{Ki kare tablo: } k_{0,95,3}^2 = 7.82$$

Test büyüklüğü değeri tablo değerinden büyük olduğu için, BILE noktasında 2009-2010 yılları arasında anlamlı bir hareket vardır. Görüldüğü gibi gerek kartezyen koordinatlar, gerekse de lokal koordinatlar kullanılarak yapılan analizlerde, hangi koordinat sisteminin kullanıldığı fark etmeksizin analizlerin sonucu eşit çıkmaktadır.

- Deformasyon vektörünün lokal koordinat sisteminde ifade edilebilmesi için gerekli olan  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $\alpha$  ve  $z$  değerlerinin hesaplanması;

$$s_1 = \sqrt{\Delta e^2 + \Delta n^2} = 0.0097$$

$$s_2 = \sqrt{\Delta e^2 + \Delta n^2 + \Delta u^2} = 0.0099$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta e}{\Delta n}\right) = 1.23$$

$$z = \sin^{-1}\left(\frac{s_1}{s_2}\right) = 85.86$$

Artık  $e_1$ ,  $e_2$  ve  $e_3$  özvektörleri ile uzaydaki yönü ve  $\sqrt{\lambda_1}$ ,  $\sqrt{\lambda_2}$  ve  $\sqrt{\lambda_3}$  küçük, orta ve büyük yarı eksen değerleriyle de şekil ve boyutu belirlen güven elipsoidinin 3 boyutlu lokal koordinat sisteminde çizimi yapılabilir. Sonrasında  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $\alpha$  ve  $z$  değerleri yardımıyla ise yine 3 boyutlu lokal koordinat sisteminde deformasyon vektörünün çizimi yapılır. Eğer deformasyon vektörü, güven elipsoidinin içinde kalıyorsa, noktada anlamlı bir hareket olduğu sonucuna varılır.

### 6.2.7. KAF üzerindeki TUSAGA-Aktif noktaları için güven elipsoidleri kullanarak deformasyon analizlerinin yapılması

Bölüm 6.2.6.'da örnek olarak BILE noktası için tek noktada deformasyon analizinin yapılmasının anlatıldığı şekilde, Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde seçilen

diğer TUSAGA-Aktif noktalarında da 5. bölümde anlatılan güven elipsoitleri yöntemi kullanılarak tek noktada deformasyon analizleri yapılmıştır. Bu amaçla 9 adet TUSAGA-Aktif noktasının her biri için ardışık iki ölçü epogunda (örneğin; 2009-2010) noktaların 3 boyutlu kartezyen koordinatları ve ölçeklendirilmiş kovaryans matrisleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Analizler neticesinde (5.23) eşitliğine göre elde edilen test büyüklüğü değerleri,  $\chi^2_{(0.95, 3)}=7.81$  tablo değeri ile kıyaslanmıştır (Çizelge 6.8 - 6.16).

Çizelge 6.8. “BILE” Noktası İçin Tek Noktadan Deformasyon Analizi Sonuçları.

	Kartezyen Koord. Hes. Mesafe (mm) 3D	$\chi^2_{(0.95, 3)}$ Tablo Değeri	Tek Nok. Def. An. Değeri	Karar
2009-2010	10.0	7.81	<b>36.93</b>	Analiz Değeri $> \chi^2$ tablo olduğu için BILE noktasında hareket (deformasyon) vardır
2010-2011	9.2	7.81	<b>45.09</b>	
2011-2012	9.1	7.81	<b>93.01</b>	
2012-2013	8.9	7.81	<b>11.94</b>	
2013-2014	17.1	7.81	<b>21.78</b>	
2014-2015	16.1	7.81	<b>37.96</b>	
2015-2016	11.2	7.81	<b>29.77</b>	
2016-2017	14.0	7.81	<b>16.95</b>	
2017-2018	11.0	7.81	<b>24.14</b>	

Çizelge 6.9. “BOLU” Noktası İçin Tek Noktadan Deformasyon Analizi Sonuçları.

	Kartezyen Koord. Hes. Mesafe (mm) 3D	$\chi^2_{(0.95, 3)}$ Tablo Değeri	Tek Nok. Def. An. Değeri	Karar
2009-2010	17.8	7.81	<b>87.47</b>	Analiz Değeri $> \chi^2$ tablo olduğu için BOLU noktasında hareket (deformasyon) vardır
2010-2011	19.8	7.81	<b>112.08</b>	
2011-2012	17.6	7.81	<b>151.69</b>	
2012-2013	23.2	7.81	<b>133.45</b>	
2013-2014	16.8	7.81	<b>44.59</b>	
2014-2015	20.3	7.81	<b>47.71</b>	
2015-2016	21.6	7.81	<b>68.61</b>	
2016-2017	19.3	7.81	<b>23.14</b>	
2017-2018	20.3	7.81	<b>151.45</b>	

Çizelge 6.10. "CMLD" Noktası İçin Tek Noktadan Deformasyon Analizi Sonuçları.

	Kartezyen Koord. Hes. Mesafe (mm) 3D	$\chi^2$ (0.95, 3) Tablo Değeri	Tek Nok. Def. An. Değeri	Karar
2009-2010	10.9	7.81	<b>13.09</b>	Analiz Değeri $> \chi^2$ tablo olduğu için CMLD noktasında hareket (deformasyon) vardır
2010-2011	12.6	7.81	<b>24.83</b>	
2011-2012	10.9	7.81	<b>30.56</b>	
2012-2013	12.1	7.81	<b>76.12</b>	
2013-2014	10.6	7.81	<b>44.90</b>	
2014-2015	10.6	7.81	<b>29.43</b>	
2015-2016	18.1	7.81	<b>54.40</b>	
2016-2017	7.1	7.81	<b>8.42</b>	
2017-2018	11.3	7.81	<b>13.15</b>	

Çizelge 6.11. "HEND" Noktası İçin Tek Noktadan Deformasyon Analizi Sonuçları.

	Kartezyen Koord. Hes. Mesafe (mm) 3D	$\chi^2$ (0.95, 3) Tablo Değeri	Tek Nok. Def. An. Değeri	Karar
2009-2010	15.9	7.81	<b>36.69</b>	Analiz Değeri $> \chi^2$ tablo olduğu için HEND noktasında hareket (deformasyon) vardır
2010-2011	33.4	7.81	<b>72.82</b>	
2011-2012	21.8	7.81	<b>85.58</b>	
2012-2013	24.3	7.81	<b>274.93</b>	
2013-2014	21.4	7.81	<b>98.27</b>	
2014-2015	24.7	7.81	<b>117.96</b>	
2015-2016	20.7	7.81	<b>138.54</b>	
2016-2017	25.0	7.81	<b>85.22</b>	
2017-2018	22.9	7.81	<b>52.41</b>	

Çizelge 6.12. "IZMT" Noktası İçin Tek Noktadan Deformasyon Analizi Sonuçları.

	Kartezyen Koord. Hes. Mesafe (mm) 3D	$\chi^2$ (0.95, 3) Tablo Değeri	Tek Nok. Def. An. Değeri	Karar
2009-2010	22.0	7.81	<b>57.16</b>	Analiz Değeri $> \chi^2$ tablo olduğu için IZMT noktasında hareket (deformasyon) vardır
2010-2011	23.7	7.81	<b>57.60</b>	
2011-2012	26.0	7.81	<b>59.58</b>	
2012-2013	22.6	7.81	<b>131.51</b>	
2013-2014	21.2	7.81	<b>85.64</b>	
2014-2015	28.3	7.81	<b>68.12</b>	
2015-2016	25.7	7.81	<b>58.56</b>	
2016-2017	25.0	7.81	<b>17.53</b>	
2017-2018	29.2	7.81	<b>51.16</b>	



Çizelge 6.13. “KRBK” Noktası İçin Tek Noktadan Deformasyon Analizi Sonuçları.

	Kartezyen Koord. Hes. Mesafe (mm) 3D	$\chi^2$ (0.95, 3) Tablo Değeri	Tek Nok. Def. An. Değeri	Karar
2009-2010	24.9	7.81	<b>105.39</b>	Analiz Değeri $> \chi^2$ tablo olduğu için KRBK noktasında hareket (deformasyon) vardır
2010-2011	27.2	7.81	<b>73.84</b>	
2011-2012	31.3	7.81	<b>104.90</b>	
2012-2013	24.8	7.81	<b>134.58</b>	
2013-2014	35.8	7.81	<b>65.88</b>	
2014-2015	30.9	7.81	<b>115.22</b>	
2015-2016	30.4	7.81	<b>62.23</b>	
2016-2017	23.0	7.81	<b>51.12</b>	
2017-2018	28.2	7.81	<b>105.34</b>	

Çizelge 6.14. “NAHA” Noktası İçin Tek Noktadan Deformasyon Analizi Sonuçları.

	Kartezyen Koord. Hes. Mesafe (mm) 3D	$\chi^2$ (0.95, 3) Tablo Değeri	Tek Nok. Def. An. Değeri	Karar
2009-2010	13.5	7.81	<b>21.25</b>	Analiz Değeri $> \chi^2$ tablo olduğu için NAHA noktasında hareket (deformasyon) vardır
2010-2011	15.8	7.81	<b>21.39</b>	
2011-2012	10.7	7.81	<b>51.49</b>	
2012-2013	13.3	7.81	<b>21.95</b>	
2013-2014	17.3	7.81	<b>21.21</b>	
2014-2015	13.0	7.81	<b>24.98</b>	
2015-2016	15.3	7.81	<b>14.35</b>	
2016-2017	10.3	7.81	<b>14.18</b>	
2017-2018	15.8	7.81	<b>94.49</b>	

Çizelge 6.15. “SLEE” Noktası İçin Tek Noktadan Deformasyon Analizi Sonuçları.

	Kartezyen Koord. Hes. Mesafe (mm) 3D	$\chi^2$ (0.95, 3) Tablo Değeri	Tek Nok. Def. An. Değeri	Karar
2009-2010	29.6	7.81	<b>165.70</b>	Analiz Değeri $> \chi^2$ tablo olduğu için SLEE noktasında hareket (deformasyon) vardır
2010-2011	28.8	7.81	<b>155.32</b>	
2011-2012	23.8	7.81	<b>153.73</b>	
2012-2013	30.0	7.81	<b>520.30</b>	
2013-2014	24.0	7.81	<b>109.67</b>	
2014-2015	32.5	7.81	<b>224.98</b>	
2015-2016	33.6	7.81	<b>252.43</b>	
2016-2017	25.9	7.81	<b>100.15</b>	
2017-2018	31.0	7.81	<b>84.71</b>	

Çizelge 6.16. “ZONG” Noktası İçin Tek Noktadan Deformasyon Analizi Sonuçları.

	Kartezyen Koord. Hes. Mesafe (mm) 3D	$\chi^2$ (0.95, 3) Tablo Değeri	Tek Nok. Def. An. Değeri	Karar
2009-2010	28.4	7.81	<b>64.01</b>	Analiz Değeri $> \chi^2$ tablo olduğu için ZONG noktasında hareket (deformasyon) vardır
2010-2011	33.2	7.81	<b>164.88</b>	
2011-2012	29.0	7.81	<b>137.44</b>	
2012-2013	26.0	7.81	<b>133.48</b>	
2013-2014	29.0	7.81	<b>158.80</b>	
2014-2015	29.8	7.81	<b>184.12</b>	
2015-2016	26.5	7.81	<b>234.77</b>	
2016-2017	27.9	7.81	<b>231.53</b>	
2017-2018	30.0	7.81	<b>71.66</b>	

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada TUSAGA-Aktif noktalarının deformasyon belirlemede kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda iki farklı uygulama yapılmıştır.

İlk uygulama için yatayda ve düşeyde 1 cm aralıklarla kaydırma yapmaya ve sanal deformasyon oluşturmaya yarayan bir ölçü düzeneği tasarlanmıştır. Tasarlanan düzeneğin sağlam olmasına, 4 kilograma kadar ağırlığı taşıyabilecek, kaydırma miktarlarını kesin belirleyebilecek ve pilye üzerine kurulabilecek bir yapıda olmasına özen gösterilmiştir. Düzeneğin yapımında sıcaktan ve soğuktan en az etkilenecek, genleşmesi en az malzeme olan pirinç metali kullanılmış ve yapımı CNC tezgahta gerçekleştirilmiştir. Ayrıca düzeneğin üzerine GNSS alıcısı yerleştirilebilmektedir.

Düzeneğin yerleştirildiği pilye Kütahya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün bahçesine tesis edilmiştir. Ölçü süresince batarya problemi ile karşılaşmamak için elektrik tesisatı döşenmiş ve pilyenin dış etkilerden korunması için ölçülerin yapılmasına engel teşkil etmeyecek şekilde panel çit ve jiletli tel ile pilye koruma altına alınmıştır. Asıl ölçülere başlamadan önce pilye üzerine yerleştirilen düzeneğin üzerinde bir test ölçüsü yapılmış ve bu test sonucunda sinyal yansıma hatası açısından herhangi bir problem olmadığı sonucuna varılarak pilyenin ölçüm yapmaya uygunluğu kanıtlanmıştır. Daha sonra düzeneğin üzerindeki GNSS alıcısı doğu-batı, kuzey-güney ve düşey yönde birer santimetre kaydırılarak her yön için 20 ölçü yapılmıştır. Yapılan ölçülerin değerlendirilmesinde referans olarak kullanılmak üzere pilyenin tesis edildiği yakın çevrede bulunan AFYN, BILE, DEIR, EMIR, ESKS, HARC, KUTA, USAK isimli TUSAGA-Aktif noktaları seçilmiştir (Şekil 6.8.).

Ölçüler statik yöntemle, 1 saniye kayıt aralığında,  $10^0$ 'lik uydu yükseklik açısında ve 24 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Ölçülerin tamamlanması yaklaşık 3 ay sürmüştür. Yapılan ölçüler 30 saniyelik 6 saatlik, 12 saatlik ve 24 saatlik bölümlere ayrılmıştır. 1 saniye ve 30 saniye kayıt aralıklı 24 saatlik ölçülerle GNSS alıcısının her konumu için Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında değerlendirme yapılmış ve nokta koordinatları hesaplanmıştır. 1 saniye ve 30 saniyelik ölçülerle hesaplanan koordinatlar arasında anlamlı fark görülmemiştir. Bunun üzerine 6 saat ve 12 saat süreli ölçülerde 30 saniye kayıt aralığı dikkate alınarak GNSS alıcısının her konumdaki koordinatları hesaplanmıştır. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında uygulama 1 için toplamda 240 değerlendirme yapılmıştır. Ölçülerin değerlendirilmesi yaklaşık bir ay sürmüştür.

Değerlendirme sonucu her yön için ayrı ayrı koordinatlar hesaplanmıştır. Hesaplanan ardışık koordinat farkları, sanal kaydırma miktarı olan 1 santimetreden çıkarılarak gerçek hatalar ve ölçülerin ortalama hataları hesaplanmıştır.

Projeksiyon koordinatlarıyla yapılan deformasyon analizi sonuçlarının gösterildiği çizelge 6.4. incelendiğinde; 24, 12 ve 6 saatlik ölçülerle 1 cm büyüklüğündeki kaydırmaların hem doğu-batı (y), hem de kuzey-güney (x) doğrultusunda deformasyon olarak belirlenebildiği anlaşılmaktadır. Ancak, düşey (h) doğrultuda 1 cm büyüklüğündeki kaydırmaların deformasyon olarak belirlenebilmesinin, sadece 24 saatlik ölçülerle mümkün olacağı anlaşılmaktadır. Ayrıca, 6 saatlik ölçülerle; doğu-batı doğrultusunda 5.1 mm, kuzey-güney doğrultusunda minimum 3.3 mm, düşey doğrultuda ise 16.3 mm büyüklüğündeki, 12 saatlik ölçülerle; doğu-batı doğrultusunda 4.4 mm, kuzey-güney doğrultusunda minimum 3.0 mm, düşey doğrultuda ise 10.6 mm büyüklüğündeki, 24 saatlik ölçülerle; doğu-batı doğrultusunda 4.2 mm, kuzey-güney doğrultusunda minimum 2.6 mm, düşey doğrultuda ise 9.8 mm büyüklüğündeki değişimlerin deformasyon olarak belirlenebileceği sonucuna ulaşılmaktadır.

Ayrıca her durum için hesaplanan projeksiyon koordinat farkları (dx, dy, dh) ile kaydırma miktarı (1 cm) karşılaştırılmıştır. Çizelge 6.2. ve şekil 6.13. - 6.15. incelendiğinde, ölçü süresi arttıkça sanal deformasyon miktarı (1 cm) ile hesaplanan değer birbirlerine yaklaştığı görülmektedir. 6 saatlik ölçülerin değerlendirilmesi sonucu; yatay (x, y) doğrultudaki farklar -5.3 ile 5.9 mm, düşey (h) doğrultudaki farklar -15.5 ile 14.6 mm, 12 saatlik ölçülerin değerlendirilmesi sonucu; yatay (x, y) doğrultudaki farklar -4.3 ile 3.9 mm, düşey (h) doğrultudaki farklar -8.6 ile 9.8 mm, 24 saatlik ölçülerin değerlendirilmesi sonucu; yatay (x, y) doğrultudaki farklar -3.6 ile 3.5 mm, düşey (h) doğrultudaki farklar -7.7 ile 9.0 mm arasında değişmektedir. Düşey (h) doğrultu için sanal deformasyon (1 cm) miktarı ile hesaplanan değer arasındaki farkların, yatay (x, y) doğrultudaki farkların yaklaşık 3 katı olduğu görülmektedir. Uydu geometrisi ve atmosferik hatalardan kaynaklı olarak, GNSS çözümleri sonucu elde edilen düşey konum bileşeni doğruluğunun, yatay konum bileşeni doğruluğuna göre daha düşük olması, önceden bilinen ve beklenen bir durumdur.

İkinci uygulama kapsamında, Kuzey Anadolu Fay hattı üzerinde seçilen BILE, BOLU, CMLD, HEND, IZMT, KRBK, NAHA, SLEE, ZONG isimli TUSAGA-Aktif noktaları için 2009-2018 yılları aralığını kapsayan 10 yıllık süreçteki hareketlerinin

tespit edilmesi ve sonrasında bu hareketlerin TUSAGA-Aktif nokta hızlarıyla kıyaslanması amaçlanmıştır. Çalışma alanı olarak Kuzey Anadolu Fayı'nın seçilmesinin temel sebebi fayın aktif bir yapısının olmasıdır. Fayın hareketli yapısından dolayı bu hat üzerinde seçilen sabit TUSAGA-Aktif noktalarının, belirlenen 10 yıllık zaman aralığındaki hareketleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Analizlerin yapılacağı zaman olarak her yılın Haziran ayının 15. günü seçilmiştir. Bu seçimin yapılmasında belirlenen tarih aralığı için yapılan incelemede depremlerin en az olduğu, bölgenin en durağan olduğu zaman diliminin Haziran ayına denk gelmesi temel sebep olmuştur. Ayrıca bilimsel GNSS yazılımlarının koordinatlara ait ortalama hata değerlerini çok iyimser hesaplamasından dolayı uygulanması gereken ölçek faktörü hesabının yapılabilmesi için Bölüm 6.2.2.'de anlatıldığı üzere 20 günlük ölçülerin kullanılmasının optimum sonuç verdiği anlaşıldığından çalışmaya konu tarih aralığı için gün sayısı artırılarak her Haziran ayının 05-25. günlerine ait TUSAGA-Aktif noktaları için RINEX verileri temin edilmiştir.

Bu kapsamda ihtiyaç olan TUSAGA-Aktif noktalara ait 30 saniye kayıt aralıklı 24 saatlik RINEX verileri Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nden belirtilen tarihler için temin edilmiştir. Bu verilerin çözümünde referans olarak kullanılmak üzere aynı tarihler için ANKR, NOT1, GRAZ, POLV, RAMO, TEHN ve ZECK isimli IGS noktalarına ait veriler Anonim11 (2018) adresinden indirilerek temin edilmiştir. Şekil 6.18.'den anlaşılacağı üzere bu referans noktaları seçilirken mümkün olduğunca homojen dağılımda olmasına özen gösterilmiştir.

9 adet TUSAGA-Aktif noktasına ait, her bir yıl için 20 gün ve toplamda 10 yıllık veriler düşünüldüğünde Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında 1800 adet çözümleme işlemi yapılmıştır. Her bir çözümleme işlemi yaklaşık 20 dakika sürmüş ve toplamda tüm ölçülerin değerlendirilmesi yaklaşık bir ay zaman almıştır.

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile hesaplanan koordinatların ortalama hata değerlerinin çok iyimser olması sebebiyle, elde edilen sonuçlara bölüm 4.4.1.'de anlatılan A yöntemi kullanılarak bir ölçek faktörü uygulaması yapılmıştır. 9 adet TUSAGA-Aktif noktasına ait 10 yıl için toplamda 90 adet SF değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan SF değerleri 1.346 ile 15.626 aralığında değişiklik göstermektedir. Bölüm 4.4.'te de bahsedildiği üzere Bernese Bilimsel GNSS yazılımı için SF değerlerinin 3 ile 30 arasında olması gerektiğini belirtmiş olup, hesaplanan SF değerlerinin %97'sinin bu aralıkta kaldığı görülmüştür.

Ölçek faktörlerinin hesaplanmasının ardından, KAF üzerinde seçilen TUSAGA-Aktif noktalarındaki hareketlerin tespiti için güven elipsoidleri yöntemi kullanılarak deformasyon analizleri yapılmıştır. Bu amaçla 9 adet TUSAGA-Aktif noktasının her biri için ardışık iki ölçü epoğunda (örneğin; 2009-2010) noktaların 3 boyutlu kartezyen koordinatları ve ölçeklendirilmiş kovaryans matrisleri kullanılarak analizler yapılmıştır.

Güven elipsoidleri yöntemiyle yapılan deformasyon analizlerinin sonuçlarının gösterildiği çizelge 6.8. – 6.16. incelendiğinde; çalışmaya konu olarak seçilen 9 adet TUSAGA-Aktif noktası için bulunan test büyüklüğü değerleri tablo değerlerinden büyük çıktığı için tüm noktalarda anlamlı bir hareket olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak bu çalışmada elde edilen nokta hareketlerinin, hız dahil toplam deformasyon miktarını gösterdiğinin unutulmaması gerekir.

Ayrıca, çizelge 6.6.'dan anlaşılacağı üzere; 10 yıl boyunca kuzey-güney doğrultusunda toplamda 84.1 mm ve doğu-batı doğrultusunda toplamda 20.2 mm ile en az hareket eden noktanın BILE noktası olduğu, düşey doğrultuda toplamda 3.3 mm ile en az hareket eden noktanın SLEE noktası olduğu, 3 boyutlu olarak(x, y, h) ise en fazla hareket eden noktanın ZONG noktası olduğu görülmektedir. Daha sonra sırasıyla SLEE, KRBK ve IZMT noktalarının da ZONG noktasından sonra en hareketli noktalar olduğu görülmektedir. Ayrıca en az hareket eden üç nokta olan BILE, NAHA ve CMLD noktaları şekil 6.17.'de incelendiğinde, Kuzey Anadolu Fay hattının altında (güneyinde) kalan noktalar olduğu açıkça görülmektedir. Bu üç noktanın tamamının Kuzey Anadolu Fay Hattının altında kalması, en az hareket eden nokta olmalarının sebebini de açıklamaktadır.

Bu çalışma, ülkemizde 2009 yılından beri faaliyet göstermekte olan TUSAGA-Aktif sistemine ait noktaların yer kabuğu ve yapı deformasyonlarını belirlemedeki başarısını açıkça ortaya koymaktadır. Bu sayede CORS ağlarının yer kabuğu ve yapı deformasyonlarının belirlenmesinde, ihtiyaca göre yeterli sürede gözlemlerin yapılması şartıyla kullanılabilceği sonucuna varılmaktadır. Ayrıca bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda KAF noktası üzerinde seçilecek noktalardaki hareketlerin belirlenmesinde, deformasyon belirleme çalışmalarında en çok zaman ve emek gerektiren aşama olan zemine referans noktası tesis edilmesi işlemine gerek kalmaksızın, TUSAGA-Aktif sistemine ait noktalar güvenle kullanılabilcektir.

## KAYNAKLAR

- Açıkgöz, M., 2010, Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağı'nın Kuzeybatı Bölümünde Yer Kabuğu Hareketleri Nedeniyle Oluşan Deformasyonun Yersel ve GPS Ölçüleri İle Araştırılması, *İstanbul Teknik Üniversitesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 119.
- Akpınar, B., Aykut, N. O., Dindar, A. A., Gürkan, K. ve Güllal, E., 2017, Ağ RTK GNSS Yönteminin Yapı Sağlığı İzleme Çalışmalarında Kullanımı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 1030-1040.
- Al-Tamar, K. A. F., 2016, Jeodezik Amaçlı GNSS Görelî Konum Belirleme Yöntemlerinde Doğruluk Araştırması, Yüksek Lisans, *Aksaray Üniversitesi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 57.
- Anonim1, 2018, GNSS Earth Observation Network System (GEONET) Web Sayfası, [http://datahouse1.gsi.go.jp/terras/terras\\_english.html](http://datahouse1.gsi.go.jp/terras/terras_english.html): [13/11/2018].
- Anonim2, 2018, Uluslararası GPS Servisi (IGS)'nin Web Sayfası, <http://www.igs.org/about> [13/11/2018].
- Anonim3, 2018, National Geodetic Survey (NGS CORS) Web Sayfası, <http://www.ngs.noaa.gov> [13/11/2018].
- Anonim4, 2018, Satellite Positioning Service of the Official German Surveying and Mapping (SAPOS) Web Sayfası, <http://www.sapos.de/> [13/11/2018].
- Anonim5, 2018, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Web Sayfası, <https://www.tkgm.gov.tr/tr/icerik/tusaga-aktif-0>: [13/11/2018].
- Anonim6, 2018, TUSAGA-Aktif (CORS-TR) web sayfası, <http://cors-tr.iku.edu.tr>: [13/11/2018].
- Anonim7, 2018, <ftp://ftp.aiub.unibe.ch/CODE/yyyy>: [13/11/2018].
- Anonim8, 2018, <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/www>: [13/11/2018].
- Anonim9, 2018, <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/glonass/products/www>: [13/11/2018].
- Anonim10, 2018, <ftp://ftp.aiub.unibe.ch/BSWUSER52/STA>: [13/11/2018].
- Anonim11, 2018, <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/data/daily/yyyy/yyd>: [13/11/2018].
- Anonim12, 2018, <http://www.tusaga-aktif.gov.tr>: [13/11/2018].
- Anonim13, 2018, <http://ggosatm.hg.tuwien.ac.at/DELAY/GRID/VMFG/yyyy>: [13/11/2018].
- Anonim14, 2019, <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>: [28/08/2019].
- Anonim15, 2018, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>: [13/11/2018].

- Awaluddin, M., Sudarsono, B. ve Amarrahman, F. J., 2017, The Monitoring of 2017 Jatibarang Dam Deformation Using GNSS Technology, *International Symposium On Earth Hazard And Disaster Mitigation*, 1987.
- Ayan, T., 1982, Jeodezik ağlarda deformasyon analizine genel bakış, *İTÜ Dergisi*, 40 (1).
- Bak, M., 2014, Jeodezik alışmalarla İzmit Körfezi Ve Yakın evresi Kabuk Deformasyonlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 129.
- Başçıfti, F., 2017, GNSS Veileri Kullanılarak İyonosfer Modelinin Oluşturulması ve Global Modellerle Karşılaştırılması, *Selçuk Üniversitesi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 269.
- Bilgen, B., 2017, GNSS Tekniği İle Yatay Yöndeki Deformasyonların Araştırılması, Yüksek Lisans, *Selçuk Üniversitesi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 68.
- Bruckl, E., Brunner, F. K. ve Kraus, K., 2006, Kinematics of a deepseated landslide derived from photogrammetric, GPS and geophysical data, *Eng. Geol.*, 88 (3-4), 149-159.
- Bülbül, S., 2018, TUSAGA-Aktif Noktalarında Renkli Grltlerden Arındırılmış Hız Bileşenlerinin Belirlenmesi, *Selçuk Üniversitesi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 156.
- Cai, J. ve Grafarend, E. W., 2007, Statistical analysis of geodetic deformation (strain rate) derived from the space geodetic measurements of BIFROST Project in Fennoscandia, *Journal of Geodynamics*, 43, 214-238.
- Caspary, W. F., 2000, Concepts of Network and Deformation Analysis, *School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales*, p.
- Cederholm, P., 2003, Deformation Analysis Using Confidence Ellipsoids, *Survey Review*, 37 (287), 31-45.
- Cooley, W. W. L., P. R., 1971, Multivariate Data Analysis, John Wiley & Sons, p.
- Cooper, M. A. R., 1987, Control Surveys in Civil Engineering,, William Collins Sons & Co. Ltd., p.
- Dach, R., Lutz, S., Walser, P. ve Fridez, P., 2015, Bernese GNSS Software Version 5.2, *Astronomical Institute, University of Bern*, p.
- Demirel, H., 2002, Deformasyon llerinin Analizi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü ders notu*.
- Doğan, A., H., 2017, Kısa Süreli GPS Baz zmlerinde Varyans Kovaryans Matrisinin Güvenirliđinin Araştırılması, Yüksek Lisans, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85.



- Doğan, Ç., 2014, Yol Aplikasyonu Çalışmalarında CORS'un Uygulanabilirliğinin Test Edilmesi, Yüksek Lisans, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 85.
- Doğanalp, S., 2005, Kinematik Modelde Kalman Filtreleme Yöntemi ile Deformasyon Analizi, Yüksek Lisans, *Selçuk Üniversitesi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 135.
- Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W. ve Mader, G. L., 2001, Accuracy of GPS-Derived Relative Positions As a Function of Interstation Distance and Observing-Session Duration, *Journal of Geodesy*, 75, 633-640.
- Erdoğan, B. ve Doğan, A. H., 2019, Scaling of the variance covariance matrix obtained from Bernese software, *Acta Geodaetica et Geophysica*, 54, 197-211.
- Erdoğan, H., 2006, Mühendislik Yapılarındaki Dinamik Davranışların Jeodezik Ölçmelerle Belirlenmesi, Doktora, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 184.
- Erol, S. ve Ayan, T., 2003, An Investigation on Deformation Measurements of Engineering Structures with GPS and Levelling Data, *International Symposium of Modern Technologies, Education and Professional Practice in Globalizing World*.
- Erol, S. ve Ayan, T., 2005, GPS ve Nivelman Verilerinin Kombinasyonu ve Deformasyon Analizi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 7.
- Erol, S., 2008, GPS ve Nivelman Ölçüleriyle Deformasyonların Belirlenmesi, Yüksek Lisans, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 183.
- Gao, J. ve Hu, H., 2009, Advanced GNSS technology of mining deformation monitoring, *The 6th International Conference on Mining Science & Technology*, 1, 1081-1088.
- Geirsson, H., 2003, Continuous GPS measurements in Iceland 1999 - 2002, MSc Thesis, *University of Iceland*, 94.
- Gelişkan, Ş., 2019, Hassas Nokta Konumlama ile Deformasyonların Belirlenmesi, *Selçuk Üniversitesi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 112.
- Gülal, E., 2012, Mühendislik Jeodezisinde Sistem Analizi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Lisans Ders Notları*.
- Hoşbaş, R. G., 1992, Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi ve Bir Öneri, Doktora, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 175.
- Hu, Y., Zhang, K. ve Liu, G., 2004, An investigation of deformation monitoring and analysis using continuously operating GPS reference station network,

*International Conference on Environmental and Engineering Geophysics*, 550-555.

- Hubert-Ferrari, A., Armijo, R., King, G., Meyer, B. ve Barka, A., 2002, Morphology, displacement and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey, *J. Geophys. Res.*, 107 (B10).
- Hugentobler, U., Schaer, S. ve Fridez, P., 2001, BERNESE GPS Software Version 4.2, Astronomical Institute, *University of Berne*, p.
- İnal, C. ve Salgın, Ö., 2008, Farklı GPS Yazılımları ile Değerlendirilen GPS Baz Uzunluklarının Bilinen Değerler ile Karşılaştırılması, *J. Fac.Eng.Arch. Selçuk Univ.*, 23 (2), 13-24.
- İnal, C., 2011, Mühendislik Ölçmeleri Dersi, *Selçuk Üniversitesi Lisans Ders Notları*.
- İnal, C., 2012, Deformasyon Ölçülerinin Analizi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları*.
- Jihyun, H., Kwan, P., Jihye, W. ve Moon, B. H., 2014, Investigations into Co-seismic Deformation and Strain in South Korea Following the 2011 Tohoku-oki Earthquake using GPS CORS Data, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18 (2), 634-638.
- Johnson, M. E., 1987, *Multivariate Statistical Simulation*, John Wiley & Sons, p.
- Kahveci, M., 2009a, Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS (CORS) Ağları ve Düşündürdükleri, *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 100, 13-20.
- Kahveci, M., 2009b, Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, *Zerpa Yayınları*, p.
- Kalkan, Y. ve Alkan, R. M., 2005, Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri, *Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 64-74.
- Kashani, I., Wielgosz, P. ve Brzezinska, D. A. G., 2004, On the reliability of the VCV Matrix: A case study based on GAMIT and Bernese GPS Software, *GPS Solutions*, 8, 193-199.
- King, R. W. ve Bock, Y., 2001, Documentation for the GAMIT GPS software analysis, *University of California at San Diego*, p.
- Leick, A., 1995, *GPS Satellite Surveying*, John Wiley & Sons, Inc., p.
- Mikhail, E. M. ve Ackermann, F., 1976, *Observations and Least Squares*, A Dun-Donnelley p.
- Mortenson, M. E., 1985, *Geometric Modeling*, John Wiley & Sons, p.

- Ng, A., Alex, H., Ge, L. ve Li, X., 2016, Land Deformation Mapping With Alos Palsar Data: A Case Study Of Taipei City, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 6051-6054.
- Ogundare, J. O., 2016, Precision Surveying: The Principles and Geomatics Practice, Wiley, p.
- Okay, A., Tüysüz, O. ve Kaya, Ş., 2004, From Transpression to Transtension: Changes In Morphology and Structure Around a Bend On The North Anatolian Fault In The Marmara Region, *Tectonophysics*, 391, 259-282.
- Öcalan, T. ve Soycan, M., 2012, RTCM/SSR Mesajları İle Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (PPP\_RTK) Tekniği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2 (4), 30-41.
- Öz, D., 2009, Avcılar Heyelan Bölgesindeki Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması, Yüksek Lisans, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 101.
- Özdemir, A., 2016a, 23 Ekim 2011 Van Depreminin Yakın Alan Deprem Anı Deformasyonlarının GPS İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 87.
- Özdemir, S., 2016b, TUSAGA ve TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Hassas Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması Üzerine, *Harita Dergisi*, 155, 53-81.
- Pehlivan, H., 2009, Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Yöntemiyle Yapıların Dinamik Davranışlarının İncelenmesi, Doktora, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 180.
- Pektaş, F., 2010, Gerçek Zamanlı Ulusal ve Yerel Sabit GNSS Ağlarına Dayalı Kinematik Konumlama (TUSAGA-Aktif – İSKİ-UKBS Ağlarının Yerel Ölçekte Karşılaştırılması), Yüksek Lisans, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 74.
- Pique, M. E., 1990, Rotation Tools, In Graphics Gems, Academic Press Inc., p.
- Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C. ve Grinter, T., 2012, Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End, *FIG Working Week*, 1-17.
- Roberts, G. W., Brown, C. ve Meng, X., 2006, Bridge deflection monitoring: Tracking millimeters across the Firth of Forth, *GPS World*, 17 (2), 26-31.
- Schaal, R. E., Larocca, A. P. C. ve Guimarães, G. N., 2012, Use of a Single L1 GPS Receiver for Monitoring Structures: First Results of the Detection of Millimetric Dynamic Oscillations, *Journal Of Surveying Engineering © Asce*, 92-95.
- Sengü, M. Ö., 2012, Yerleşim Alanlarında CORS Yönteminin Kadastral Ölçmelerde Uygulanabilirlik Analizi, Yüksek Lisans, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 125.

- Shuster, M. D., 1993, Survey of Attitude Representations, *The Journal of the Astronautical Sciences*, 41 (4), 439-517.
- Tanır, E., 2000, Deformasyon Analizinde Statik Değerlendirme Yöntemleri, Yüksek Lisans, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 113.
- Vanicek, P. ve Krakiwsky, E., 1992, Geodesy: The Concepts, Elsevier Science Publishers B.V., p.
- Wan, A. W. A., Tajul, A. M. ve Kamaludin, O., 2016, Estimation of Co- and Postseismic Deformation After the Mw 8.6 Nias-Semeulue and Mw 8.5 Bengkulu Earthquakes From Continuous GPS Data, *International Conference on Geomatic and Geospatial Technology*, 42 (4), 61-64.
- Wang, G. ve Soler, T., 2012, OPUS for Horizontal Subcentimeter-Accuracy Landslide Monitoring: Case Study in the Puerto Rico and Virgin Islands Region, *Journal Of Surveying Engineering © Asce*, 138 (1), 143-153.
- Wang, G. ve Soler, T., 2014, Measuring Land Subsidence Using GPS: Ellipsoid Height versus Orthometric Height, *Journal Of Surveying Engineering © Asce*, 1-12.
- Wang, W., Dang, Y. ve Zhang, C., 2017, Monitoring of crustal deformation and gravity variation from terrestrial water loading in the Three Gorges region by the CORS network, *Chinese Journal of Geophysics*, 60 (3), 962-971.
- Wellen Hof, B. H., Lichtenegger, H. ve Wasle, E., 2008, GNSS - Global Navigation Satellite Systems, Springer, p.
- Yalvaç, S., 2016, Konya Kapalı Havzasında Düşey Yönlü Zemin Hareketlerinin GNSS Zaman Serileri Yardımıyla Belirlenmesi, Doktora, *Selçuk Üniversitesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 111.
- Yıldırım, A. F., 2007, Mühendislik Yapılarının Deformasyon Analizinde GPS Ölçülerinin Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 76.
- Yıldırım, Ö., Cingöz, A., Lenk, O., Bakıcı, S., Aktuğ, B., Kılıçoğlu, A., Aysezen, M. Ş. ve Erdoğan, A. O., 2009, Tusaga-Aktif(Cors-Tr), 4. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*.
- Yıldırım, Ö., Bakıcı, S. ve Mekik, Ç., 2011, TUSAGA-Aktif(CORS-Tr) Sistemin Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne Katkıları, 13. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 1-7.
- Yu, M., Guo, H. ve Zou, C., 2006, Application of wavelet analysis to GPS deformation monitoring, *Proc. of IEEE/ION PLANS*, 670-676.
- Yusfania, M., Anjasmara, I. M. ve Hadi, A. L., 2016, Central Java Southern Part Area Deformation Analysis by using GPS-CORS 2015, 6th *International Symposium on Earth Hazard and Disaster Mitigation*, 1857.

- Yuwono, B. D., Awaluddin, M., Kun, F. H. ve Lutfi, E. R., 2017, Evaluation of Base Station CORS UDIP and CSEM for monitoring Ground Deformation Sayung Demak Indonesia, *The 5th Geoinformation Science Symposium*, 98, 1-10.
- Zhang, X., Huang, D. ve Liao, H., 2014, Real-Time Monitoring of Strong Ground Motion Using 50 Hz GNSS Data of Continuous Operation Reference Station (CORS), *5th China Satellite Navigation Conference*, 305, 101-110.
- Zumberge, J. F., Liu, R. ve E., N. R., 1995, 1994 Annual Report., International GPS Service for Geodynamics, Jet Propulsion Lab., p.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ahmet Mete GÜNDÜZ  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Emet/KÜTAHYA – 16.04.1989  
**Telefon** : 0 553 403 17 67  
**Faks** : -  
**e-mail** : mete.gunduz@csb.gov.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Kütahya Anadolu Öğretmen Lisesi, KÜTAHYA	2007
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2011
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2013
Doktora	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2019

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011	Olçar Harita	Mühendis
2011-Günümüz	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	Mühendis

### UZMANLIK ALANI

GNSS ölçmeleri, Deformasyon Analizi, Bernese, RTK

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

İnal. C., Gündüz. A. M., Bülbül. S., 2014, Klasik RTK ve Ağ-RTK Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, c.2, s.2, Konya.

Geliskan. S., Inal. C., Bulbul. S., Gunduz. A. M., 2018, The Comparison of Accuracies of Results Obtained from Bernese v5.2 Software and Web-Based PPP Services, FIG Congress 2018, İstanbul.

Gunduz A. M., Inal C., Yıldırım Ö., 2018, Usability of Turkish National GNSS Permanent Network-Active Points for Detecting Deformations, International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Ankara.