



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



**GNSS ÖLÇÜLERİ İLE DEFORMASYON**  
**ANALİZİ AMAÇLI YAZILIM GELİŞTİRME**

**Burhaneddin BİLGİN**

**DOKTORA TEZİ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Haziran-2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Burhaneddin BİLGEN tarafından hazırlanan “GNSS ÖLÇÜLERİ İLE DEFORMASYON ANALİZİ AMAÇLI YAZILIM GELİŞTİRME” adlı tez çalışması 28/06/2022 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

Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ

.....

#### Danışman

Prof. Dr. Cevat İNAL

.....

#### Üye

Prof. Dr. Ayhan CEYLAN

.....

#### Üye

Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN

.....

#### Üye

Doç. Dr. Salih ALÇAY

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

## **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.

Burhaneddin BİLGEN

Tarih: 28/06/2022

# ÖZET

## DOKTORA TEZİ

### GNSS ÖLÇÜLERİ İLE DEFORMASYON ANALİZİ AMAÇLI YAZILIM GELİŞTİRME

**Burhaneddin BİLGİN**

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

**Danışman: Prof. Dr. Cevat İNAL**

**2022, 83 Sayfa**

**Jüri**

**Danışman Prof. Dr. Cevat İNAL  
Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ  
Prof. Dr. Ayhan CEYLAN  
Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN  
Doç. Dr. Salih ALÇAY**

Yerkabuğu ve yapılardaki deformasyonların belirlenmesi mühendislik ölçmelerinin önemli konularından biridir. Jeodezik yöntemlerle deformasyon belirleme çalışmalarında genellikle jeodezik ağ yöntemi kullanılmaktadır. Günümüzde deformasyon amaçlı jeodezik ağların ölçülmesinde kısa ölçü süresi ve yüksek doğruluk sağlaması nedeniyle GNSS teknikleri de tercih edilmektedir. GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinde kullanılan pek çok bilimsel ve ticari yazılım mevcut olup, deformasyon analizi gerçekleştirmek için açık kaynak kodlu bir yazılım bulunmamaktadır. Deformasyonların yol açabileceği olası zararlar düşünüldüğünde analizler mümkün olduğunca kısa sürede tamamlanmalıdır. Deformasyon analizinde hesap yükünün fazla olması analizleri kısa sürede tamamlamayı güçleştirmektedir. Analiz sonuçlarına kısa sürede ve doğru olarak ulaşmak için deformasyon analiz yazılımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

İteratif Ağırlıklı Benzerlik Dönüşümü (IWST) yöntemi deformasyon analizinde kullanılan robust bir yöntemdir. Yöntemin 1D, 2D, 3D ağlarda uygulanabilmesi ve ağda hareketli noktalar hakkında ön bilgiye ihtiyaç duymaması üstün yanıdır. Ayrıca, bu yöntemle elde edilen sonuçlar gerçek deformasyon modelini yansıtmakta ve fark vektörü üzerinde en az bozulma etkisine sahip olduğundan en iyi datumun belirlenmesini sağlamaktadır. Yöntem, GNSS ağlarında deformasyon analizi gerçekleştirmek için kullanışlı ve programlamaya uygundur. Günümüzde fen ve mühendislik alanında kullanılan açık kaynak kodlu teknolojik programlama dilleri bulunmaktadır. R programlama dilinin ücretsiz ve hazır kütüphanelerinin olması programlama dilleri arasında öne çıkmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, R dilinde, statik GNSS tekniği ile periyotlar şeklinde gerçekleştirilen ölçülerin değerlendirilmesiyle elde edilen sonuç ürünleri kullanılarak, IWST yöntemi ile deformasyon analizi için DefAn-for-GNSS-networks isimli bir program geliştirilmiştir. Hazırlanan programda, girdi verisi olarak kullanılacak ölçü periyotlarının sayısında bir sınırlama yoktur. Girdi verisi olarak Bernese v5.2 yazılımından elde edilen ve içerisinde jeodezik ağdaki noktaların koordinatları ile bilinmeyenlere ilişkin kovaryans matrisi elemanlarının bulunduğu çözümden bağımsız veri değişim formatı (SINEX) dosyaları ile sonuç (OUT) dosyaları direkt olarak kullanılabilir. Farklı GNSS değerlendirme yazılımlarından elde edilen bu veriler programın tanıdığı formata göre düzenlenerek de deformasyon analizi gerçekleştirilebilmektedir. Geliştirilen program, işletim sistemlerinden bağımsız olarak çalışabilmekte ve bir GNSS ağında deformasyona uğrayan noktaları robust olarak belirleyebilmektedir. Sonuçlar HTML ve PDF olmak üzere iki farklı formatta kullanıcıya sağlanmakta ve hareket büyüklükleri grafik olarak sunulmaktadır. Ayrıca, GNSS ölçülerinin

değerlendirilmesi sonucu elde edilen sonuç ürünler ile deformasyon analizi için geliştirilen ilk açık kaynak kodlu yazılım olduğundan bu alanda gerçekleştirilecek yeni çalışmalara öncü olmaktadır.

Geliştirilen programı test etmek için, Selçuk Üniversitesi kampüs alanında mikro jeodezik bir GNSS ağı oluşturulmuş ve tasarlanan ölçü düzeneği üzerinde kuzey, doğu ve yukarı yönlerde 1 cm büyüklüğünde sanal deformasyonlar oluşturularak GNSS ölçüleri yapılmıştır. Yapılan ölçüler Bernese v5.2 yazılımında sadece GPS (G) ve GPS+GLONASS (G+R) uydu kombinasyonları ile değerlendirilmiş, hazırlanan programda jeodezik deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen 44 adet statik deformasyon analizi (22 adet G, 22 adet G+R) sonucunda obje noktasındaki 1 cm'lik sanal deformasyonlar belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak, deformasyon ağına bazı baz vektörlerinde faz başlangıç belirsizliği çözüm oranları %20'nin altına düştüğünde veya ölçülerdeki gözlem sayıları azaldığında belirlenen deformasyon miktarlarının sanal deformasyon miktarından uzaklaştığı görülmüştür. Bunun sonucunda 1 cm'lik deformasyonlar 0.7 cm - 1.8 cm arasında belirlenmiştir. Vektörel deformasyon büyüklüklerinin sanal deformasyon değeriyle genel anlamda uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Analizler sonucunda hesaplanan yer değiştirmeler, hazırlanan program sayesinde lokal jeodezik koordinat sistemine dönüştürülerek ilgili eksen yönünde de ortaya konulmuştur. Hazırlanan programla deformasyonların geometrik boyutları ve istatistiksel olarak anlamlı nokta hareketleri uygulamada kullanılan mikro jeodezik ağda pratik bir şekilde tespit edilebilmiştir. Bu nedenle, deformasyonların geometrik boyutlarını tespit etmede, hazırlanan programın büyük ölçüde kolaylık sağladığı görülmüştür. Her ne kadar hazırlanan programla deformasyonlar büyük oranda belirlense de, GNSS ölçülerinin değerlendirme sonuçları üzerinde etkili olan faz başlangıç belirsizliği çözümleme oranlarının ve gözlem sayılarının analizden önce kontrol edilmesi ve uygun şartlar elde edildikten sonra analize geçilmesi önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Def-An-for-GNSS-networks, deformasyon analiz yazılımı, GNSS, IWST, jeodezik deformasyon analizi, obje noktası, referans noktası, R-programlama.

## **ABSTRACT**

### **PhD THESIS**

## **SOFTWARE DEVELOPMENT FOR DEFORMATION ANALYSIS WITH GNSS MEASUREMENTS**

**Burhaneddin BİLGİN**

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

**Advisor: Prof. Dr. Cevat İNAL**

**2022, 83 Pages**

**Jury**

**Advisor Prof. Dr. Cevat İNAL  
Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ  
Prof. Dr. Ayhan CEYLAN  
Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN  
Assoc. Prof. Dr. Salih ALÇAY**

Determination of deformations in the earth's crust and structures is one of the important subjects of engineering surveys. Geodetic network method is generally used in deformation determination studies with geodetic methods. Today, GNSS techniques are also preferred in the measurement of deformation-purpose geodetic networks due to their short measurement time and high accuracy. There are many scientific and commercial software used to process GNSS measurements, and there is no open source software to perform deformation analysis. Considering the possible damages caused by deformations, analyzes should be completed as soon as possible. The high calculation load in the deformation analysis makes it difficult to complete the analysis in a short time. In order to reach the analysis results in a short time and accurately, deformation analysis software is needed.

Iteratively Weighted Similarity Transformation (IWST) is a robust method used in deformation analysis. The advantage of the method is that it can be applied in 1D, 2D, 3D networks and does not require prior knowledge about unstable points in the network. In addition, the results obtained with this method reflect the actual deformation model and provide the best datum to be determined since it has the least distortion effect on the displacement vector. The method is useful and programmable for performing deformation analysis in GNSS networks. Today, there are open-source technological programming languages used in the field of science and engineering. The fact that the R-programming language has free and ready libraries makes it stand out among programming languages. In this study, a program called DefAn-for-GNSS-networks has been developed for deformation analysis with IWST method in R-language, using the result products obtained by processing the measurements performed in periods with the static GNSS technique. In the prepared program, there is no limit on the number of measurement periods to be used as input data. Solution-independent data exchange format (SINEX) files and result (OUT) files, which are obtained from Bernese v5.2 software as input data and contain the coordinates of the points in the geodetic network and the covariance matrix elements related to the unknowns, can be used directly. Deformation analysis can also be performed by arranging these data obtained from different GNSS processing software according to the format recognized by the program. The developed program can work independently of operating systems and can detect deformation points in a GNSS network as robust. The results are provided to the user in two different formats, HTML and PDF, and the motion sizes are presented graphically. In addition, since it is the first open-source software developed for deformation analysis with

the result products obtained as a result of the processing of GNSS measurements, it is a pioneer for new studies to be carried out in this field.

In order to test the developed program, a micro geodetic GNSS network was established in the Selçuk University campus and GNSS measurements were made by creating 1 cm virtual deformations in the north, east and upward directions on the designed measurement mechanism. The measurements were processed with GPS only (G) and GPS+GLONASS (G+R) satellite combinations in Bernese v5.2 software, and geodetic deformation analyses were carried out in the prepared program. As a result of 44 static deformation analyses (22 G, 22 G+R), 1 cm virtual deformations at the object point were tried to be determined. However, in some baseline vectors in the deformation network, when the ambiguity resolution (AR) rates decreased below 20% or the number of observations in the measurements decreased, it was observed that the determined deformation amounts moved away from the virtual deformation amount. As a result, deformations of 1 cm were determined between 0.7 cm and 1.8 cm. It has been determined that the vectorial deformation magnitudes are generally in agreement with the virtual deformation value. The displacements calculated as a result of the analyses have been converted into the local geodetic coordinate system and revealed in the relevant axis direction, thanks to the prepared program. With the prepared program, the geometric dimensions of the deformations and statistically significant point movements could be detected practically in the micro geodetic network used in the application. For this reason, it has been seen that the prepared program provides a great deal of convenience in determining the geometric dimensions of the deformations. Although the deformations are determined to a large extent with the prepared program, it is important to check the AR rates and the number of observations, which affect the processing results of the GNSS measurements, before the analysis and to proceed to the analysis after the appropriate conditions are obtained.

**Keywords:** Def-An-for-GNSS-networks, deformation analysis software, geodetic deformation analysis, GNSS, IWST, object point, reference point, R-programming.

## ÖNSÖZ

Yeryuvarının sürekli bir devinim ve değişim halinde olması, modern toplumların ekonomik kalkınmalarını sağlamak, yaşamlarını ve ulaşım hizmetlerini daha konforlu bir şekilde sürdürmek amacıyla her geçen gün yeni mühendislik yapıları inşa etmeleri jeodezik deformasyon analizi konusunu giderek daha önemli bir hale getirmektedir. Bu durum, Harita Mühendisliği disiplininde mühendislik ölçmelerinin en önemli konularından birini günümüzde olduğu gibi gelecekte de değerli kılacaktır. Günümüzde mevcut ölçme teknolojilerinin başında gelen GNSS, yer kabuğu ve yapılarıdaki deformasyonların belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. GNSS verilerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir pek çok yazılım paketi mevcutken, değerlendirme sonucu elde edilen ürünler kullanılarak deformasyon analizi için açık kaynak kodlu bir program bulunmamaktadır. Bu tez çalışması ile GNSS ağlarında İteratif Ağırlıklı Benzerlik Dönüşümü yöntemiyle deformasyon analizi konusu ele alınmış ve geliştirmelere de açık olması açısından ortaya konulan açık kaynak kodlu bir program sayesinde hem bu alandaki eksiğin giderilmesi hem de ileride yapılacak çalışmalara öncü olunması hedeflenmiştir.

Harita Mühendisliği disiplininde böylesine önemli bir tez konusunun ortaya çıkışında büyük emeği ve katkıları olan, gerek bundan önceki tüm bilimsel çalışmalarında gerekse bu tezin hazırlandığı süre boyunca bilimsel tecrübelerinden oldukça fazla yararlandığım, her türlü maddi, manevi destek, anlayış ve yol gösteren çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Cevat İNAL'a, doktora tez çalışmasının izlenmesi sürecinde önerileri ve değerli bilgileriyle önemli hususlarda sağladıkları bakış açısı ve yenilikler sayesinde tez çalışmamın son halini almasını sağlayan çok değerli Tez İzleme Komitesi üyeleri hocalarım Prof. Dr. İ. Öztuğ BİLDİRİCİ ve Doç. Dr. Salih ALÇAY'a, teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışma süresince yenilikçi ve farklı fikirleriyle her türlü yardım ve katkıyı sağlayan değerli mesai arkadaşım ve hocam Dr. Öğretim Üyesi Sercan BÜLBÜL'e de çok teşekkür ederim.

Destekleriyle her zaman yanımda olarak her türlü maddi ve manevi imkanları sunan, beni yüreklendiren ve bana güvenen çok kıymetli aileme de en içten teşekkürlerimi sunarım.

Burhaneddin BİLGİN  
KONYA-2022



# 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>x</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
<b>3. GNSS TEKNİĞİ İLE DEFORMASYON ÖLÇMELERİ.....</b>	<b>23</b>
3.1. Deformasyon Modelleri .....	23
3.1.1. Statik model .....	24
3.1.2. Kinematik model.....	25
3.1.3. Dinamik model .....	25
3.1.4. Uyum modeli .....	26
3.2. Deformasyonların Sınıflandırılması .....	27
3.2.1. Kalıcı deformasyonlar.....	27
3.2.2. Elastiki deformasyonlar .....	28
3.3. GNSS Tekniği ile Deformasyon ölçmeleri.....	28
3.3.1. Bernese v5.2 bilimsel GNSS değerlendirme yazılımı .....	29
3.3.2. Bernese v5.2 bilimsel GNSS değerlendirme yazılımında ölçülerin değerlendirilmesi .....	32
<b>4. İTERATİF AĞIRLIKLIL DÖNÜŞÜM İLE DEFORMASYON ANALİZİ.....</b>	<b>36</b>
4.1. Lokal Jeodezik Koordinat Sistemine Dönüşüm.....	39
<b>5. R PROGRAMLAMA DİLİ VE GELİŞTİRİLEN YAZILIM.....</b>	<b>41</b>
5.1. Geliştirilen Deformasyon Analiz Yazılımı .....	43
<b>6. UYGULAMA .....</b>	<b>55</b>
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>74</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>77</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\sigma_1^2, \sigma_2^2$	Birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hataları
$\hat{x}_1, \hat{x}_2$	Ağdaki noktaların dengelenmiş koordinatları
$Q_{\hat{x}_1}, Q_{\hat{x}_2}$	Dengelenmiş koordinatlara ait kofaktör matrisleri
$d$	Fark vektörü
$Q_d$	Fark vektörünün kofaktör matrisi
$\hat{\sigma}_0^2$	Ortak varyans
$P^{(k+1)}(i, i)$	(k+1). iterasyonda ağırlık matrisinin köşegen elemanları
$d^{(k+1)}$	(k+1). iterasyonda elde edilen fark vektörü
$[S^{(k+1)}]$	(k+1). iterasyonda dönüşüm matrisi
$I$	Birim matris
$df_1, df_2$	Periyotlara ilişkin serbestlik dereceleri
$\delta$	Tolerans değeri
$d^{(F)}$	Final S-transformasyonu sonrası fark vektörü
$Q_d^{(F)}$	Final S-transformasyonu sonrası kofaktör matrisi
$T_i$	Tek nokta testi için test büyüklüğü
$d_i$	i noktasının fark vektörü
$Q_{d_i}$	i noktasına ait fark vektörünün kofaktör matrisi,
$m$	Güven bölgesinin boyutu,
$df$	Analizlere ilişkin serbestlik derecelerinin toplamı
$\alpha$	Yanılma ihtimali
$F_{m,df,1-\alpha}$	$m, df$ serbestlik derecelerinde $1 - \alpha$ güven düzeyinde istatistik F tablo değeri
$n_i, e_i, u_i$	i noktasının lokal jeodezik koordinatları

## Kısaltmalar

AIUB	Astronomical Institute of the University of Bern
AMLSTM NN	Attention Mechanism with Long Short Time Memory Neural Network
BPE	Bernese Processing Engine
CEEMDAN	Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise
CNC	Computer Numerical Control
CORS	Continuously Operating Reference Stations
CORS-Tr	Continuously Operating Reference Stations-Turkey
DIMONS	Displacement Monitoring System
EAFS	Güney Anadolu Fay Sistemi
EKK	En Küçük Kareler
GIPSY/OASIS	GNSS-Inferred Positioning System and Orbit Analysis Simulation Software Package
GMF	Global Mapping Function
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GUI	Grafik Kullanıcı Arayüzü
GRS80	Geodetic Reference System-1980
GZK	Gerçek Zamanlı Kinematik
IGS	International GNSS Service
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
IWST	İteratif Ağırlıklı Benzerlik Dönüşümü
LAS	En Küçük Mutlak Toplam
LEO	Yakın Yer Uydusu
NAF	Kuzey Anadolu Fay Zonu
PPP	Precise Point Positioning
PSI	Persistent Scatterer InSAR
PsInSAR	Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar
REDOD	Robust Estimation of Deformation from Observation Differences
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RTK	Real Time Kinematic
RTS	Robotik Total Station
SLR	Satellite Laser Ranging
SNR	Sinyal Gürültü Oranı
TUSAGA-Aktif	Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı-Aktif
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
VMF	Vienna Mapping Function
WGS84	World Geodetic System-1984

## 1. GİRİŞ

Mühendislik ölçmelerinde en önemli konulardan biri deformasyon izleme çalışmalarıdır. Yer kabuğu veya herhangi bir mühendislik yapısında meydana gelebilecek geometrik değişimlerin (deformasyonların) belirlenmesi toplumun can ve mal güvenliğinin sağlanması açısından önemli bir yer tutmaktadır. Bahsi geçen deformasyonların incelenmesi ülkemizin deprem kuşağında yer alması nedeniyle de önemli araştırma konularının başında gelmektedir. Modern toplumlarda, ulaşım hizmetlerini sürdürmek ve sağlıklı sosyal ve ekonomik kalkınmayı desteklemek için gökdelenler, barajlar ve köprüler gibi büyük mühendislik yapılarının sayısı gelişen teknolojiye paralel olarak hızla artmaktadır. Bu tür yapıların fay hatlarının bulunduğu depreme eğilimli alanlarda yapılması da kaçınılmaz bir durumdur (Xi ve ark., 2021). Fay hatlarının bulunduğu bölgelerde sıklıkla depremlere neden olan kabuk hareketleri meydana gelmektedir. Bu tür durumlar, işletme faaliyetlerinin sağlıklı bir şekilde devam ettirilmesi, can ve mal kayıplarının önlenmesi ve azaltılması için olası zararların bir an önce tespit edilmesi amacıyla deformasyon ölçme ve analizi konusunun önemini daha da artırmaktadır.

Jeodezide deformasyon analizi, istatistik biliminin çok yoğun bir şekilde kullanıldığı alanlardan biridir. Sürekli bir değişime maruz kalan yer kabuğundaki hareketlerin, mühendislik yapılarındaki deformasyonların, toprak kaymalarının ve maden ocakları gibi kazı bölgelerindeki kaymaların izlenmesinde jeodezik kontrol ağları kullanılmaktadır. Jeodezik kontrol ağlarında ölçmeler; klasik yersel tekniklerle yapılabileceği gibi günümüzde yaygın kullanılan modern tekniklerden biri olan Global Navigasyon Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems: GNSS) teknikleri kullanılarak da gerçekleştirilebilmektedir. GNSS teknikleri 1980'li yıllarda geliştirilmeye başlanmış ve günümüzde çeşitli amaçlara yönelik hassas konum belirlemede kullanılır hale gelmiştir (Kahveci ve Yıldız, 2018). Kullanılan ölçme yöntemi (statik veya kinematik), ölçü ekipmanları ve veri işleme algoritmalarına bağlı olarak konum belirleme çalışmalarında farklı seviyelerde doğruluklar elde edilmektedir. Tek frekanslı alıcılarla kod gözlemleri kullanılarak gerçekleştirilen GNSS ile konum belirleme tekniğinde birkaç desimetre doğruluğa ulaşılabılırken, çift frekanslı alıcılarla taşıyıcı faz gözlemleri kullanıldığında daha yüksek doğruluklara ulaşılabilmektedir (Rizos ve ark. 2012).

GNSS teknikleri, yer kabuğu ve yapılardaki deformasyonların izlenmesi ve tespitinde yüksek doğruluklu bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle sürekli

gözlem yapan GNSS istasyonlarının deformasyonların belirlenmesine katkısı önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır. Deformasyon izleme çalışmalarında çoğunlukla statik konum belirleme yöntemi tercih edilmektedir. Statik konum belirleme yönteminde birden fazla alıcı tarafından eş zamanlı olarak yapılan ölçüler uygun bilimsel veya akademik değerlendirme yazılımları ile değerlendirilerek nokta konumları hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Ancak, deformasyon analizinde istatistik biliminin yoğun bir şekilde kullanılması ve hesap yükünün oldukça fazla olması gibi nedenlerle ölçülerin analiz aşamasında güçlüklerle karşılaşmaktadır. Yerkabuğu ile yapılarıdaki deformasyonların olası sonuçları düşünüldüğünde, deformasyonların tespit edilmesinde sonuca hızlı götürecektir stratejilere ve analiz yazılımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Deformasyon ölçülerinin analizinde statik, kinematik ve dinamik gibi farklı modeller kullanılmakta ve sonuçlar yorumlanmaktadır. Analizde çoğunlukla statik model ile gerçekleştirilen yöntemler tercih edilmektedir.

Günümüze kadar yapılan bilimsel çalışmalardan bazılarında farklı yöntemlerle analiz sonuçlarını elde etmek için yazılımlar geliştirilmiş olmasına rağmen, GNSS ağlarında ölçülerin değerlendirilmesi sonucu elde edilen ürünler kullanılarak deformasyon analizi için açık kaynak kodlu bir programın, yer bilimlari, özellikle jeodezi alanında çalışan araştırmacılarla paylaşılması sınırlı ilgi görmüştür. Yazılım çeşitliliğinin sağlanması ve sayılarının artması bakımından da yeni bir açık kaynak kodlu programın paylaşılması ilgi çekici bir konudur. Bu alanda açık kaynak kodlu bir program paketinin sunulması hem önemli bir eksiği kapatacak hem de bu alanda çalışan araştırmacılar için faydalı olacaktır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında, yerkabuğu ve yapılarıdaki deformasyonların izlenmesinde yaygın olarak kullanılan ve yüksek doğruluklu veri elde etmeye imkan sağlayan statik GNSS tekniği ile periyotlar şeklinde gerçekleştirilen deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen ürünler kullanılarak deformasyon analizi için bir program geliştirilmiş ve bu sayede meydana gelen deformasyonların pratik bir şekilde belirlenebilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen program Bernese v5.2 bilimsel GNSS değerlendirme yazılımı verilerini doğrudan okuyabilme yeteneğine sahiptir. Böylece, ölçüler değerlendirildikten sonra deformasyon analiz sonuçlarına oldukça hızlı bir şekilde ulaşılabilir. Tez kapsamında geliştirilen deformasyon analiz programının test edilmesi amacıyla, Selçuk üniversitesi kampüs alanında pilye şeklinde tesis edilmiş beş noktadan oluşan bir mikro jeodezik ağ tasarlanmıştır. Noktalardan bir tanesi obje noktası olarak belirlenmiş ve üzerine sanal deformasyon vermeye yarayan bir ölçü düzeneği yerleştirilmiştir. Ölçü düzeneği üzerinde

1'er cm aralıklarla sanal deformasyon verilerek kuzey yönde 2'şer saatlik 7 periyot, doğu yönde 2'şer saatlik 9 periyot, yukarı yönde ise 1'er saatlik 9 periyot deformasyon ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçüler Bernese v5.2 bilimsel değerlendirme yazılımında hem sadece GPS (G) hem de GPS+GLONASS (G+R) uydu kombinasyonlarıyla değerlendirilmiş ve geliştirilen deformasyon analiz programında IWST yöntemiyle deformasyon analizleri yapılarak test uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca faz başlangıç bilinmeyi çözümler oranları da incelendikten sonra GNSS ölçülerinden belirlenen deformasyon miktarı ile düzenek üzerinde oluşturulan 1 cm'lik sanal deformasyon miktarı arasındaki farka etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüze kadar GNSS tekniklerinin yer kabuğu ve mühendislik yapılarındaki deformasyonların belirlenmesindeki başarısını araştırmak amacıyla pek çok bilimsel çalışma yapılmıştır. Gökalp (1997), yaptığı çalışmada deformasyon ağlarındaki referans noktalarının hareketli olup olmadığını belirlemek amacıyla 5 referans 1 obje noktasından oluşan bir jeodezik test ağında yapılan doğrultu, kenar ve düşey açı ölçülerini kullanarak bir uygulama gerçekleştirmiştir. Ölçüler iki periyot yapılmıştır. Ağdaki iki noktaya yapay hareket verilmiş, ölçüler öncelikle En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile dengelenmiş ve sonra analizler gerçekleştirilmiştir. Analizde İteratif Ağırlıklı Benzerlik Dönüşümü (IWST) ve fredericton yaklaşımı kullanılmış, her iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve birbiriyle uyumlu oldukları görülmüştür.

Lutes ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada tamamen otomatik veri toplama ve deformasyon izleme sistemini oluşturmak için DIMONS (Displacement Monitoring System) yazılımını geliştirmişlerdir. Geliştirilen yazılım robotik total stationlar ve diğer sensörlerden gelen ölçüleri uzaktan kontrol edebilme, ön değerlendirmesini yapabilme ve ayrıca konum ölçmelerinin otomatik işlenmesi ve indirgenmesi, IWST ile hareketli referans noktalarının belirlenmesi ve yer değiştirmelerin grafik gösterimini yapabilmektedir.

Setan ve Singh (2001), yaptıkları çalışmada bir baraj izleme ağında kendilerinin geliştirmiş olduğu NETDEFAN yazılımını da kullanarak iki periyot ölçüye ilişkin üç farklı yöntemle deformasyon analizi gerçekleştirmiş ve böylece geliştirilen yazılımın tutarlı sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

İnal ve Ceylan (2002), ulusal makalede 1950'lerde Baarda tarafından geliştirilen S-transformasyonu ile ilgili genel bilgiler ve matematiksel modelini vermişler, yöntemin uygulama alanlarını araştırmış ve test ağı üzerinde yapılan deformasyon ölçülerinin analizini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar  $\theta^2$  ölçütü olarak isimlendirilen ortalama aykırılıklar yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

Cederholm (2003), uluslararası makalesinde üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde tek nokta deformasyon analizi için bir yöntem önermiştir. İki farklı periyotta Global Positioning System (GPS) tekniği ile ölçülen bir noktanın koordinatları ve kovaryans matrisi materyal olarak alınmış ve bunlar kullanılarak noktanın deformasyon vektörü ile deformasyon vektörünün kovaryans matrisi belirlenmiştir. Belirlenen kovaryans matrisinin özdeğer ve özvektörleri kullanılarak deformasyon vektörü için bir

güven elipsoidi hesaplanmıştır. Deformasyon vektörü bu güven elipsoidinin dışına çıkarsa noktadaki deformasyonun anlamlı olduğu kanısına varılmıştır. Yönteme ilişkin bir örnek sunulmuştur.

Taşçı (2003), doktora tezinde Altınkaya barajında oluşturulan deformasyon ağında 4 periyotluk GPS ölçmeleri gerçekleştirerek yatay deformasyonları incelemiştir. GPS ölçüleri GeoGenius 2000 GPS yazılımında değerlendirilmiştir. Bu işlemten sonra, deformasyon ağı serbest ağ dengelenmesi yöntemiyle dengelenip noktaların dengelenmiş koordinatları ile varyans-kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Dengelemeden sonra Tau testi ile bazların içerisinde uyumsuz ölçü olup olmadığı araştırılmış ve uyumsuz ölçüye rastlanmamıştır. GPS ölçmeleri sonucu World Geodetic System-1984 (WGS84) sisteminde elde edilen koordinatlar ve kofaktörleri yerel yeryüzü merkezli koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Deformasyonların analizinde IWST ve Fredericton yöntemi seçilmiş ve iki boyutlu analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında en uygun deformasyon modeli belirlenmiştir. Çalışma sonucunda baraj güvenliğini tehdit edecek anormal yer değiştirmeler olmadığı görülmüştür.

Wilkins ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada yapıların ve dik şevlerin izlenmesine vurgu yaparak bunların otomatik bir şekilde izlenmesini sağlayacak olan sensörler ve yazılımı Kaliforniya'da Diamond Vadisi Gölü rezervuarında ve British Columbia'da Highland Vadisi Bakır maden ocağında başarılı bir şekilde test etmişlerdir. Sistem Robotik Total Station (RTS)'ları işletme verimliliğini optimize edecek şekilde tekrar eden ölçmeler yapan sensörler olarak kullanmaktadır. RTS'lerden elde edilen veriler Chen ve Chrzanowski tarafından önerilen IWST yöntemiyle değerlendirilerek sabit nokta analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak sistemin başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüş ve yanlış alarm sayısının önemli ölçüde azalacağı öngörülmüştür.

Chrzanowski ve Wilkins (2006), hem batı Kanada'da hem de Güney Amerika'daki And dağlarındaki iki büyük maden ocağı işletmesinde kendilerinin geliştirmiş olduğu ALERT yazılımı ile RTS verilerini işlemiş ve deformasyon analizi gerçekleştirmişlerdir. Referans noktalarının sabit olup olmadığı IWST ile tespit edilmiştir.

Yıldırım (2007), yüksek lisans tezinde Selçuk Üniversitesi Hukuk Fakültesi binasında meydana gelen düşey ve yatay yöndeki hareketlerin belirlenmesinde GPS tekniğinin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bunun için bina üzerine 4 adet obje noktası ve binaya 1-2 km mesafede hareketli bölgenin dışında olduğu düşünülen noktalara da pilye şeklinde 4 adet referans noktası tesis edilmiştir. Oluşturulan jeodezik ağda üç periyot ölçü



yapılarak nokta hareketlerinin anlamlı olup olmadığı araştırılmıştır. GPS ölçüleri Leica Geo Office (LGO) ve GNSS Solutions ticari yazılımları ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, ağda 5 noktada anlamlı hareketlerin olduğunu göstermiş ve GPS'in mühendislik yapılarının deformasyon analizinde kullanılması için ölçü planlamasının iyi yapılması, uygun ölçü zamanının seçilmesi, GPS alıcılarının yanında eğim ölçer, ivme ölçer, total station gibi ek ölçü sistemlerinin kullanılması, yapıya etkiyen kuvvetlerin de sürekli izlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Erol (2008), doktora tezinde matematik ve stokastik olarak kombinasyonu sağlanmış presizyonlu nivelman tekniği ile GPS tekniğinin deformasyon belirleme amaçlı çalışmalarda kullanılabilirliğini test etmeyi amaçlamıştır. Bunun için İstanbul'un güneybatısında, Büyükçekmece gölü üzerinde yer alan ve TEM otoyolunun bir bölümünü oluşturan Karasu viyadüğünün zeminden kaynaklanan deformasyonlarının araştırılması ve mevcut stabilizasyonunun ortaya çıkarılması için tesis edilen 30 noktalı jeodezik kontrol ağında, yaklaşık altı-sekiz aylık aralıklarla, 1996-1998 yılları arasında iki yıl boyunca toplam dört ölçme kampanyasından elde edilen GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, presizyonlu nivelman ölçülerinin GPS tekniğinden elde edilen doğruluklara, bilinmeyenlere ve deformasyon vektörlerine dikkate değer olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür. Ayrıca GPS tekniğinin, bazı özel önlemlerin alınması şartıyla milimetre mertebesindeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılabileceği ve presizyonlu nivelman tekniği ile desteklenmesiyle daha küçük deformasyonların elde edilebileceği öngörülmüştür.

İnal ve Salgın (2008), yaptıkları çalışmada farklı GPS yazılımları ile değerlendirilen baz uzunluklarının birbirleriyle karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla, Ankara Sabit GPS İstasyon Noktası (ANKR) ve Gebze'deki Tübitak Sabit GPS İstasyon Noktası (TUBI) ile 6 adet Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) istasyonu arasında farklı baz uzunlukları için GPS ölçmeleri yapılmıştır. Uzunluklar 15.6 km. ile 284.6 km. arasında değişmektedir. 12 bazda Topcon Hiper Plus alıcıları ile 30 saniye epok aralığında 6 saat süre ile data toplanmıştır. Toplanan datalar LGO v5.0, Trimble Total Control (TTC 2.7), Pinnacle v1.0 ticari yazılımları ve Bernese v4.0 bilimsel yazılım ile 2, 4, 6 saatlik projeler bazında değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda elde edilen baz vektörleri bilinen değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda yeni nesil ticari yazılımların gelişmiş parametreler ile kullanıldığında, bilimsel yazılımlar kadar iyi sonuçlar verebileceği görülmüştür.

Satirapod ve ark. (2008), gerçekleştirdikleri çalışmada 2004 Sumatra ve 2005 Nias depremlerinden sonra Thai jeodezik kontrol ağındaki deformasyonu izlemişlerdir. Bu amaçla 2004'teki 9.3 şiddetindeki deprem sonrası yer değiştirmeyi izlemek için GPS kampanyaları yapılmıştır. Ancak 2005'te 8.7 şiddetindeki ikinci depremden sonra durum daha komplike bir hal almıştır. Yapılan GPS kampanyaları ve mevcut sürekli GPS istasyonlarında 2006 yılının sonuna kadar toplanan veriler GNSS-Inferred Positioning System and Orbit Analysis Simulation Software Package (GIPSY-OASIS) II yazılımında Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning: PPP) tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir.

Taşçı (2008), yaptığı çalışmada deformasyon ölçmelerinin sonuçlarının doğrudan mühendislik yapılarının güvenliği ile ilişkili olduğuna vurgu yapmış ve Altinkaya Barajının kretindeki GPS ölçmeleri ile deformasyon analizi gerçekleştirmiştir. 11 obje noktası ve 6 referans noktasından oluşan bir ağ kurulmuş ve ölçmeler iki yıl süresince 4 oturma olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Ölçüler IWST ve en küçük toplam yöntemi ile analiz edilerek anlamlı nokta hareketleri tespit edilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar arasında oldukça yüksek korelasyon olduğu ve tek nokta hareketlerini belirlemede en küçük toplam yönteminin IWST'ye göre daha etkili olduğu görülmüştür.

Gökalp ve Taşçı (2009), yaptıkları çalışmada Altinkaya barajında 6 referans ve 11 obje noktasından oluşan bir deformasyon ağına yapılan 4 periyot ölçüyü IWST ve Fredericton Yöntemi ile analiz etmişlerdir. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, Fredericton yönteminde hareketli olarak tespit edilen noktalar ile IWST yönteminde hareketli olarak belirlenen noktaların 1-2. ve 1-4. periyotlarda %86'sının, 1-3. periyotlarda ise %65'inin aynı noktalar olduğu görülmüştür.

Özyaşar (2009), yüksek lisans tezinde yaptığı uygulamada İstanbul GPS Nirengi Ağında gerçekleştirilen 1999 ve 2005 yılı ölçü kampanyalarını kullanarak İstanbul metropolitan alanında deprem sonrası yer değiştirmeleri belirlemek için her iki ölçme döneminde 452 ortak noktayı kullanarak değerlendirme yapmıştır. Değerlendirme için kullanılan 452 adet ortak noktaya ilişkin 6 yıllık yer değiştirme büyüklükleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 47 Ana ağ noktasına ait yer değiştirmelerden en az yatay konum değişimi 74.26 cm, en fazla yatay konum değişimi ise 19.53cm'dir. En fazla düşey konum değişimi 11.29 cm, en az düşey konum değişimi de 0.03cm olarak gerçekleşmiştir. 405 sıklaştırma ağı noktası göz önüne alınarak hesaplanan sonuçlarda ise maksimum yatay konum değişiminin 89.61cm, minimum değişimin de 18.43 cm olduğu,

düseyde ise maksimum 31.7cm, minimum 0.05cm yer değiştirme olduğu gözlemlenmiştir.

Pehlivan (2009), doktora tezinde Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) GPS tekniği ile bir kulenin uzun ve kısa periyotlu dinamik davranışlarının izlenmesi ve deformasyon parametrelerinin analizini amaçlamıştır. Tez kapsamında, yapısal izleme için GZK-GPS ve yardımcı ölçme aletleri kullanılarak bir ölçme sistemi tasarlanmıştır. Sistem test edildikten sonra uygulama alanı olarak seçilen yapıya kurulmuş ve GPS verileri 20 Hz örnekleme kapasitesine sahip iki adet GPS alıcısı ile, rüzgar (yönü ve şiddeti) ve sıcaklık değerleri 1 dakika aralıklı olarak kaydedilmiştir. Eğim değişimi verisi de Nivel20 sensörü ile aynı zaman diliminde toplanmıştır. Kulenin yer değiştirme hareketi iki günlük yersel ölçme ile total station kullanılarak 2 dakika kayıt aralığında ölçülmüştür. 9 gün süreyle eş zamanlı ölçülen eğim, GPS, rüzgar ve sıcaklık zaman serilerinden beklenmeyen değişimlerin gerçekleştiği zaman dilimleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yer değiştirme 40.9mm, eğim değişimi 0.7613mrad'dır. Eşzamanlı ölçülen 8 saatlik GPS-Nivel20-Totalstation zaman serileri birlikte değerlendirilerek üç farklı ölçme yöntemi ile X ve Y yönlü değişimler karşılaştırılmıştır. Total station ölçülerinden yer değiştirmeler dx: 5mm, dy: 19mm, GPS ölçülerinden yer değiştirmeler dx: 15.5mm, dy: 13.4mm olarak hesaplanmıştır. Toplam yer değiştirmeler total station verilerinden 19.65mm, GPS verilerinden ise 20.50mm olarak hesaplanmıştır.

şengün (2009), doktora tezinde GPS ve Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) ölçüleriyle İzmit depreminde oluşan deformasyonları araştırmıştır. Bu kapsamda, GPS noktaları arasındaki bağlı koordinat farklarıyla aynı noktalardaki InSAR ölçülerinin bağlı koordinat farkları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. GPS'ten elde edilen ortalama bağlı yer değiştirme miktarı 14.05 cm, InSAR tekniğinden elde edilen ortalama bağlı yer değiştirme miktarı ise 15.5 cm'dir. GPS ile InSAR ölçüleri arasındaki farkların ortalaması 20 mm ve standart sapması  $\pm 7$ mm'dir. İki farklı veri setinin, yani GPS ölçüleriyle InSAR ölçülerinin birlikte kullanılabilmesi için ve InSAR ölçülerinin sayı olarak daha fazla olması nedeniyle baskın olmaması için ağırlıklandırma yapılmıştır. Ağırlıklandırmada ilk önce iki farklı veri setinin eşit katkısı sağlanmaya çalışılmış ve ağırlıklar normalize edilerek her bir veri setinin toplam ağırlığı 1 olmuştur, daha sonra eğer bir veri setinin daha etkin olması isteniyorsa onun görel ağırlığı bir çarpanla arttırılması yoluna gidilerek İzmit depremine ait yeni fay parametreleri hesaplanmıştır. Eski fay parametreleri, yeni parametrelerle karşılaştırılmış, fay parametreleri ile hesaplanan yüzey deformasyonu ile ölçülen deformasyon arasındaki fark yeni

parametreler için GPS ve InSAR ölçülerinin tamamı ele alındığında daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Açıkgöz (2010), doktora tezinde Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağının kuzeybatı bölümünde yer kabuğu hareketleri nedeniyle meydana gelen deformasyonu araştırmıştır. Bu amaçla, 1930-1964 yıllarında ağın kurulması ve sıklaştırılması sırasında yapılan yersel ölçüler ve bu ağdaki 82 noktada 2000 - 2003 yıllarında gerçekleştirilen GPS ölçüleri kullanılmıştır. Yersel ölçüler değerlendirilirken 1930-1964 yılları arasında büyüklüğü bakımından jeodezik ağlarda etkiye sahip olduğu düşünülen üç deprem göz önüne alınarak ölçüler üç evreye ayrılmıştır. Ayrıca, triyagülasyon noktalarında gerçekleştirilen GPS ölçüleri Bernese v5.0 bilimsel yazılımında değerlendirilmiş ve International Terrestrial Reference Frame-2005 (ITRF2005) sistemindeki koordinatları hesaplanmıştır. Bölgedeki ağ noktalarında meydana gelen yer değiştirmeler üç evreye ayrılmış yersel ölçülerin Geodetic Reference System-1980 (GRS80) elipsoidinde ITRF2005 koordinat sisteminde dengelenmesi ve sonuçların güncel GPS koordinatları ile karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Sonuçlar, ağın bu bölümünde tektonik hareketler nedeniyle oluşan toplam yatay yer değiştirmelerin 3.5m'ye ulaştığı, bölgede meydana gelen depremler sebebiyle deformasyonun 2-3m civarında olduğu belirlenmiştir.

Taşçı (2010), yaptığı çalışmada bir barajdaki deformasyon ölçülerinin robust ve robust olmayan yöntemlerle analizini gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, Altinkaya barajında 6 referans ve 11 obje noktasından oluşan bir deformasyon ağı kurulmuştur. Bu ağda 2000 ve 2002 yılları arasında deformasyon ölçüleri yapılmıştır. Ölçüler her yıl Haziran ve Eylül aylarında statik GPS oturumları yapılarak toplam 4 periyot olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçülerin analizinde IWST, en küçük mutlak toplam, uyuşum testi analizi ve Fredericton yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, IWST, en küçük mutlak toplam ve uyuşum testi yöntemleri ile 4mm ve daha üzeri hareket gösteren noktalar hareketli noktalar olarak belirlenmiştir.

Erdoğan (2011), doktora tezinde yatay kontrol ve GPS ağlarında deformasyon analiz yöntemlerinin güvenilirliğini araştırmıştır. Çalışmada, yöntemlerin zayıf yönleri ortaya konularak, yeni bir yaklaşım ileri sürülmüştür. İleri sürülen yaklaşımda deformasyon izleme ağı, her bir ağda bir tane obje noktası bulunacak şekilde alt ağlara ayrılmaktadır. Bu şekilde gerçekleştirilen deformasyon analizlerinde daha güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Analizde kullanılan veriler yapay olarak üretilmiş ve doğrultu kenar ağı ve GPS ağında çok sayıda denemeler yapılmıştır. Ayrıca sekiz farklı senaryo oluşturularak, GPS ölçüleri gerçekleştirilmiş ve önerilen yaklaşım, oluşturulan ağda

denenmiştir. Analizlerde GPS ölçülerinin değerlendirilmesi amacıyla Bernese v5.0 kullanılmıştır.

Selendi (2011), yüksek lisans tezinde Marmara Bölgesi'nde yatay ve düşey yer kabuğu deformasyonları ve gerinim birikimlerini araştırmıştır. Bu amaçla gravite ve GPS ölçme yöntemleri kullanılmış, 2006-2010 yılları arasında 12 Marmara Sürekli GPS Ağı ve 47 GPS kampanya noktalarında beş periyot GPS ölçüsü gerçekleştirmiştir. Ayrıca, ağdaki 24 noktada bağıl, 10 noktada ise mutlak gravite ölçmeleri yapılmıştır. Çalışmada yapılan GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde Bernese v5.0 yazılımı kullanılmış, noktaların zamana bağlı yatay ve düşey konum değişiklikleri tespit edilmiş ve deformasyon analizi gerçekleştirilerek hareketlerin anlamlı olup olmadığı belirlenmiştir. Bölgede yer alan noktalarda anlamlı konum değişikliklerinin olduğu görülmüştür. Avrasya levhasındaki noktaların yaklaşık  $2.69 \pm 0.1 \text{ mm/yıl}$ 'lık bir hızla batıdan doğuya doğru hareket ettiği, Anadolu levhasında yer alan noktaların ise saat yönünün tersi şeklinde doğudan batıya doğru yaklaşık olarak  $15.03 \pm 0.1 \text{ mm/yıl}$ 'lık bir hızla hareket ettiği belirlenmiştir. Düşey hızların ise Avrasya levhasında yer alan noktalar için yaklaşık  $-0.33 \pm 0.3 \text{ mm/yıl}$  olduğu, Anadolu levhasında yer alan noktalar için ise yaklaşık  $0.70 \pm 0.3 \text{ mm/yıl}$  olduğu saptanmıştır.

Lim ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada Malezya İskandar'da deformasyonları belirlemek için sürekli gözlem yapan GPS istasyonlarından oluşan ISKANDARnet ağında bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Bu ağdan referans noktası olarak kullanılan 4 adet International GNSS Service (IGS) noktasına yakın 3 adet nokta obje noktası olarak kullanılmıştır. GPS verileri Bernese yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Periyot ölçülerinin analizlerini sürekli gerçekleştirmek için MATLAB programlama dili kullanılarak bir deformasyon analiz modülü geliştirilmiştir. Geliştirilen modül ile GPS datasına IWST yöntemi ve final S-transformasyonu uygulanarak hareketli obje noktaları ve hassas yer değiştirme vektörleri belirlenmiştir. Yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Test sonuçları sistemin sağlıklı bir şekilde çalıştığını göstermiştir.

Turan ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada deformasyon izleme çalışmalarının önemine vurgu yaparak, izlemede kullanılan yöntemlerden ve bunların hassasiyetlerinden bahsetmişlerdir. Deformasyon izlemede GNSS tekniğinin kullanımının hızlı bir gelişme gösterdiği belirtilmiş, Ağ-Real Time Kinematic (RTK) yönteminin Klasik RTK tekniğine göre uygulamadaki kolaylığı nedeniyle Ağ-RTK ölçülerinin deformasyon izlemede kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda, Gümüşhane Üniversitesi kampüsünde seçilen bir noktada ayda bir periyodik şekilde 10 epokluk Ağ-RTK ölçüleri

gerçekleştirilmiştir. Bu veriler kullanılarak statik ve kinematik modelde deformasyon analizi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırıldığında uyumlu oldukları gözlemlenmiştir.

Wang ve Soler (2012), web tabanlı konum belirleme hizmetinin GPS verilerinin değerlendirilmesi ve heyelan izleme çalışmalarında kullanışlı olduğunu göstermeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda Porto Riko, Virjin Adaları bölgesindeki bir heyelan alanında; uzun süreli veya kısa süreli, sürekli veya kampanya, gündüz veya öğleden sonra, yağışlı veya yağışsız hava gibi durumlarının etkilerini de incelemek için farklı koşullar altında 2 yıllık GPS verisi toplanmıştır. Veriler, web tabanlı konum belirleme hizmetiyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yağış miktarının GPS'in yüksek doğruluklara ulaşabilme performansını önemli ölçüde düşürdüğü ve web tabanlı statik ve hızlı statik konum belirleme hizmetlerinin santimetre seviyesinde doğrulukla heyelan izlemede alternatif araçlar olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Wang ve Soler (2013), Houston'daki bir çökme hareketini izlemek için kurulan Continuously Operating Reference Stations (CORS) ağını kullanarak düşey deformasyonları araştırmışlardır. Ölçüler web tabanlı konum belirleme hizmeti ve GIPSY/OASIS yazılımı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları birbiriyle karşılaştırıldığında, web tabanlı konum belirleme hizmetinin 1 günlük periyotlarda 1 santimetrelük düşey doğruluğa ulaştığını göstermiştir. Çalışma neticesinde 0.5cm/yıl gibi yavaş bir hızla meydana gelen çökmelerin, 5 ve üzeri yıllık GPS verisinin web tabanlı konum belirleme servisinde değerlendirilerek belirlenebileceği sonucuna varılmıştır.

Bak (2014), yüksek lisans tezinde İstanbul-İzmir otoyolu güzergahında körfez geçişinin sağlandığı köprü civarında oluşturulan deformasyon ağı ve sürekli gözlem yapan referans istasyonlarının güncel durumlarını incelemiştir. Bu kapsamda, tüm noktalar için 2010, 2011 ve 2013 yıllarına ait baz çözümleri LGO yazılımında gerçekleştirilmiş ve sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen çözümler kullanılarak periyot ölçüleri dengelenmiştir. Dengeleme sonucu üretilen veriler ile tüm noktalar için 3 Boyutlu deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde 2010-2011, 2011-2013 ve 2010-2013 periyotları karşılaştırılmış ve analizler sonucunda sürekli gözlem yapan referans istasyonlarının güncel durumları belirlenerek deformasyon noktalarının son durumları incelenmiştir.

Kazancı ve ark. (2014), Ağ-RTK ölçüleri yardımıyla heyelan nedeniyle Gümüşhane İmam Hatip Lisesi ve çevresinde meydana gelen deformasyonların değerlendirmesi ve analizini gerçekleştirmişlerdir. Bunun için gerçekleştirilen jeodezik çalışmalar kapsamında heyelan bölgesi ve çevresini kapsayan 3 noktalı bir ağ tesis

edilmiş ve bu noktalarda Ağ-RTK yöntemiyle 2 periyot ölçü yapılmıştır. Ölçüler kullanılarak yapılan statik deformasyon analizinde noktalarda anlamlı hareketlerin olduğu gözlenmiştir.

Nowel ve Kaminski (2014), serbest kontrol ağlarında deformasyon analizi için Robust Estimation of Deformation from Observation Differences (REDOD) olarak adlandırılan yeni bir robust yöntem önermişlerdir. Gerçekleştirilen testler deformasyon ölçmelerinin sonuçları rastgele hatalara ilaveten sabit hatalar içeriyorsa bu yöntemin bu hataları deformasyon analiz sonuçlarından tamamen elemine ettiğini göstermiştir. Eğer ölçülerin sonuçları sadece rastgele hatalarla yüklüyse REDOD yönteminin klasik IWST yöntemiyle aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Gerçekleştirilen testlerde bir yükseklik ağı ve bir konum ağı her iki yöntemle de analiz edilmiştir.

Kearns ve ark. (2015), gerçekleştirdikleri uygulamada 2005-2012 yılları arasında Houston metropolitan alanındaki çökme ve yer altı suyu seviyesi değişimlerini izlemişlerdir. Bu amaçla, 95 sabit GPS istasyonu verisi ile 11 sondaj genişleme ölçerinden çökme ölçümlerinin yanı sıra 490 su kuyusundan yer altı suyu seviyeleri izlenmiştir. GPS ve genişleme ölçer gözlemleri bölgede ortalama çökme hızının 2005'ten beri azaldığını göstermiştir. Sonuçlar, Houston metropolitan alanının güneydoğu kesimlerinde 3mm/yıl'dan daha düşük bir hızla, batı ve kuzey bölgelerinde ise 2.5cm/yıl kadar yüksek bir hızla çökme gerçekleştiğini ve yeraltı suyu seviyesinin yükseldiği alanlarda çökme hızının azaldığını göstermiştir.

Köse ve Taşçı (2015), yaptıkları çalışmada Keban Barajı'nın kreti üzerinde maksimum hareketin beklendiği bir obje noktasında 49 periyotluk yükseklik ölçmesinin ilk altı periyodunu sonraki ölçüleri tahmin etmek için kullanmışlardır. Bu amaçla Gri Tahmin yöntemi kullanılmış ve sonuçlar Basit Eksponansiyel Yumuşatma yönteminden elde edilenler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar gri tahmin yöntemi değerleri ile gerçek değerler arasında çok büyük bir uyum olduğunu göstermiş ve yöntemin bunu sadece 6 periyot ölçüyle başardığı belirtilmiştir.

Moschas ve Stiros (2015), maksimum 7 Hz olan yapı frekanslarının izlenmesi amacıyla GNSS tekniğini kullanmışlardır. Gerçekleştirdikleri uygulamada ahşap malzemeden üretilmiş bir yaya köprüsünde yapılan 100-Hz'lik bir GNSS ölçüsü ile ivme ölçer verisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, GNSS'in 7 Hz'e ulaşan doğal salınımları ve düşey yöndeki birkaç milimetrelik sehimleri belirleyebildiğini göstermiştir.

Wang ve Soler (2015) Texas'ta ve Porto Riko'da uzun süreli GPS gözlemleriyle arazi çökmesini belirlemişlerdir. Sonuçlar, arazi çökmesini belirlerken ortometrik

yükseklığe geçiş yapılması yerine direkt olarak elipsoid yüksekliğin kullanılabilceğini göstermiştir.

Aktuğ ve ark. (2016), Güney Anadolu Fay Sistemindeki (EAFS) hareketleri GPS gözlemleriyle araştırmışlardır. Bu amaçla bölgede önceki çalışmalarda belirlenen hızlar ve yeni yapılan GPS ölçüleri değerlendirilip birleştirilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Fayın kuzey kesimine ilişkin yapılan bu analiz sonucunda fayın kuzeybatı kesimindekilerle oldukça uyumlu hızlar elde edilmiştir. Sonuçlar, EAFS'ın kayma hızının Türkoğlu'nun kuzeyinde neredeyse sabit kaldığını (~10mm/yıl) gösterirken, güneyinde 4.5 mm/yıl'a düştüğünü göstermektedir. Ölü Deniz Fay Sisteminin (DSFS) kuzey kesiminde kayma hızı daha önceki çalışmalarla uyumlu olarak  $4.2 \pm 1.3$  mm/yıl bulunmuştur. EAFS boyunca daralma oranlarının 6.3 mm/yıl olduğu Karlıova yakınındaki kuzey kesim hariç, 5 mm/yıl'ın altında olduğu görülmüştür. Sonuçlar ayrıca EAFS'in karşısındaki bilinen iki sismik boşluk olan Palu-Sincik ve Çelikhhan-Türkoğlu segmentlerinde 1,5 m ve 5,2 m kayma olduğunu ve bunların sırasıyla 7,4 ve 7,7 büyüklüğünde deprem üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Nowel (2016), yaptığı çalışmada IWST metodu üzerine geliştirilen Robust M kestirimi (GREDOD) metodu için en etkili çözüm yönteminin ne olabileceğini araştırmıştır. Bunu değerlendirmek için, bu çalışmada yer değiştirme vektörü bileşenlerinin yaygın olarak kullanılan formdaki değişkenler ve yer değiştirme uzunlukları formundaki değişkenler için test edilen farklı robust ağırlık fonksiyonları kullanılmıştır. Tüm çözümler İsviçre'deki Montsalvens barajının mutlak kontrol ağının simüle edilmiş iki periyot ölçüleri temelinde test edilmiştir. Sonuç olarak Danish ağırlık fonksiyonunun GREDOD için en etkili çözümü verdiği görülmüştür.

Richter ve ark. (2016), gerçekleştirdikleri uygulamada çalışma alanı olarak seçilen Güney Patagonya Buzul bölgesine dağılmış 43 GNSS istasyonuna ait ölçüler yatayda ortalama 1 mm/ay düşeyde ise ortalama 6 mm/ay doğrulukta hızlar verdiğini belirtmişler ve bu hızları yatay ve düşey yer kabuğu deformasyonlarının şeklini ve şiddetini belirlemek için analiz etmişlerdir. Gözlenen düşey hızlar, buzul-izostatik dengelemeye (GIA) bağlı olarak maksimum 41 mm / ay hıza sahip bir yükselişe neden olduğunu göstermiştir. Yatay gerilme ve gerinim hızı alanlarının analizi, batıda kısalma ve doğuda uzama ile birlikte karmaşık bir üst üste binmeyi ortaya koymuştur.

Sağlam Selçuk ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada, fay-atım ve GPS verilerini ilişkilendirerek, İnönü-Eskişehir aktif fay sistemi çevresindeki bölgenin gerilme rejimini belirlemeyi amaçlamışlardır. Gerilme hızları 5 TUTGA noktasının hız vektörleri



kullanılarak hesaplanmıştır. Fay-atım verisi, Angelier'in stres inversiyon yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. İncelenen alan için elde edilen gerilme oranı yaklaşık  $65 \pm 15$  nanostrain/yıl olup, 10 km boyunca  $0.7 \pm 0.15$  mm / yıl kısalma oranına tekabül etmektedir. TUTGA-99 verilerinden hesaplanan son on yıllık gerilme hızı sonuçları, bölgede yaklaşık Kuzeybatı-Güneydoğu eğilimli tektonik sıkıştırma hareketine işaret etmektedir. Bu gerilme hızı ve yönler, İnönü-Eskişehir Fay Sistemi boyunca toplanan Plio-Quaternary atım yüzey verileri ile doğrulanmaktadır.

Taşçı ve Köse (2016), çalışmalarında Keban Barajı'nın kreti üzerindeki deformasyonları çok değişkenli gri tahmin yöntemleri ile belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, bir barajdaki deformasyon ile su seviyesi arasında güçlü bir ilişki olduğu ve kullanılan yöntemlerden Gri model(1,N)'in Gri model(0,N)'e göre çok daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Amiri-Simkooei ve ark. (2017), deformasyon ağlarında hareketli noktaların belirlenmesi için periyot ölçülerinin birlikte dengelenmesine dayanan bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntem hem Global Uyuşum testi yöntemi hem de IWST yöntemi ile gerçek bir GPS deformasyon ağında uygulanmış ve aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Böylelikle önerilen yöntemin güvenilirliği kanıtlanmıştır.

Aydın (2017), yaptığı çalışmada deformasyon ağlarında referans noktalarının yer değiştirmelerinin deformasyon analizi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, referans noktalarının yer değiştirmelerinin ağ noktalarının tahmini yer değiştirmeleri üzerindeki etkileri iki örnek üzerinde değerlendirilmiştir. Sonuç olarak S-transformasyonu yönteminin bu etkileri açıklamak için uygun bir yöntem olduğu kanısına varılmıştır.

Bilgen (2017), yüksek lisans tezinde GNSS tekniğinin yatay yöndeki deformasyonları belirleyebilmedeki başarısını araştırmıştır. Bu amaçla Selçuk Üniversitesi kampüs alanında kurulan GNSS ağında obje noktası üzerine bir düzencek yerleştirilmiş ve noktaya yatay koordinat eksenleri yönünde sanal deformasyonlar verilerek ölçmeler gerçekleştirilmiş ve GNSS ölçülerinden elde edilen kayma miktarları ile gerçek kayma miktarları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Karabulut (2017), yüksek lisans tezinde Marmara Bölgesi'nde sürekli gözlem yapan GNSS istasyonlarından seçilen 36 noktanın hızlarını GAMIT/GLOBK yazılımıyla elde etmiş ve bölgedeki yüzey deformasyonları ve gerinim değerlerini belirlemiştir. Gerinim hesaplamalarında grid strain yazılımı kullanılmıştır. Bu kapsamda istasyonların veri toplamaya başladığı ilk andan Kasım 2016'ya kadar olan verileri kullanılmış ve daha

sonra nokta sayısı 25'e ve 16'ya düşürülerek aynı işlemler tekrar edilmiştir. 36 ve 25 nokta ile yapılan analizlerde güvenilir sonuçlar elde edilirken 16 nokta ile yapılan analizde nokta sayısının azlığından dolayı sadece elde edilen hızların güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Taşçı (2017), yaptığı çalışmada statik bir yük altındaki çelik kafes köprü üzerinde oluşan deformasyonları çok değişkenli gri tahmin yöntemini kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Yük altında yapılan 7 periyot ölçüden ilk 5'i kullanılarak sonraki değerler gri tahmin yöntemiyle tahmin edilmiştir. Tahmin sonucunda yöntemin son iki periyot ölçülerini başarılı bir şekilde kestirebildiği görülmüştür.

Aydın ve ark. (2018), çalışmalarında PPP tekniği ile düşey yer değiştirmenin doğruluğunu araştırmışlardır. Bu amaçla 2 saatlikten 12 saatliğe kadar değişen gözlem sürelerinde üç farklı koşul altında altı periyot deformasyon ölçüsü gerçekleştirilmiş ve periyotlar arasındaki gözlenen ve bilinen düşey yer değiştirmeler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda 4 saat ölçü süresiyle 6 cm'lik düşey yer değiştirmenin %80 doğrulukla belirlenebileceği görülmüştür.

Barzaghi ve ark. (2018), tarafından yapılan bir çalışmada Küresel Konum Belirleme Sistemlerinin son teknolojik gelişmelerle birlikte deformasyon belirleme çalışmalarında yaygın olarak kullanıldığı vurgulanmıştır. Eleonora D'Arborea (Cantoniera) barajında GNSS verilerinden elde edilen hareketler analiz edilerek pendulum (sarkaç) verileriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada Sarkaç ve GNSS'in 2.5 yıllık bir zaman dilimindeki zaman serileri kullanılmıştır. Bu zaman serilerine uyan analitik modeller tahmin edilip, karşılaştırılmıştır. Bu modeller, sarkaç ve GNSS verilerinin bir milimetreden daha küçük standart sapmalarla uyumlu olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, sarkaç gözlemlerine göre hem mekan hem de zaman alanında daha derin bir tanımlama imkanı sağlayan GNSS tekniğinin baraj deformasyonlarının belirlenmesinde kesin olarak uygulanabileceğini göstermiştir.

Bilgen ve ark. (2018), yaptıkları bir çalışmada GNSS ile nokta hareketlerinin belirlenmesinde oturma süresinin etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla 7 noktalı bir mikrojeodezik ağda obje noktasına sanal deformasyon verilerle gerçekleştirilen 2 saatlik ölçüler; 2 saatlik, 30 dakikalık ve 15 dakikalık gruplar şeklinde değerlendirilmiş ve elde edilen koordinatlardan hesaplanan kayma miktarlarının ortalama hataları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, mikro jeodezik ağlar için 15 dakikalık gözlem süresi ile 2 saatlik gözlem süresi arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Doğru ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada sismisite ve GPS ile gerilme oranının ölçümlerinden elde edilen b-değerlerinin analiz sonuçlarını, faylanma ve deprem felaketine etkileri açısından karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma ile, b-değeri ve gerilme hızı haritaları arasındaki mekansal korelasyonun araştırılmasına imkan sağlanmakta ve böylece büyük deprem(ler) üretme potansiyeli yüksek fay segmentleri bulunabilmektedir. Çalışmadan elde edilen b-değerleri, Kuzey Anadolu Fay Zonu (NAF) boyunca 0.5 ila 1.5 arasındadır. Maksimum ana gerilme oranları pozitif (gerilme) ve minimum temel gerilme oranları negatiftir (sıkıştırıcı). Yüzey gerilimi karşılık gelen gerilmelerin eğilimi ile tutarlı olarak pozitifdir. Bu durum gerilme dayanımının yüksek gerilme oranlarına sahip bölgelerde baskın olduğunu göstermektedir.

Jianshaneg ve ark. (2018), gerçekleştirdikleri çalışmada Longmen shan fayının her iki tarafında yer alan 109 sürekli gözlem yapan GNSS istasyonunun verilerini Wenchuan depreminden sonra çözümleyerek fayın her iki yanı için zaman serileri ve yatay koordinatları elde etmişlerdir. Yatay yönde maksimum deprem sonrası yer değiştirme miktarı fayın üst bölümünde merkez üssü yakınında 5~7 cm olarak belirlenmiş ve önümüzdeki 40 yıllık süreçte maksimum kümülatif post sismik deformasyon 19 cm'ye ulaşabileceği öngörülmüştür.

Konakoğlu ve Gökalp (2018), yaptıkları çalışmada Artvin Deriner barajında gerçekleştirilen GPS ölçmelerini kullanarak deformasyon analizi gerçekleştirmişlerdir. Periyot lüleri serbest dengelendikten sonra dengelenmiş koordinatlar ve kofaktör matrisleri kullanılarak IWST yöntemi ve en küçük toplam yöntemiyle referans ve obje noktalarındaki anlamlı hareketler belirlenmiştir.

Saleh ve Becker (2018) Nil Deltası'nın olası suya batma ihtimali ve sel baskını konularını incelemek için, Nil Deltası'ndaki mevcut GPS istasyonlarına ek olarak, Persistent Scatterer InSAR (PSI) analizini kullanarak mevcut düşey hareketi belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla, Nil Deltası'nın çöküş hızı PSI tekniği ile belirlendikten sonra Delta'daki altı GPS istasyonu için yapılan zaman serisi analizi sonuçları, PSI tekniğinden elde edilen çöküntü hızlarını doğrulamak için kullanılmıştır. PSI ve GPS özümleri, elde edilen zemin deformasyonunun büyük şehirlerde güçlü şekilde konumlandığını göstermektedir. Çökme hızlarının büyük şehirlerde fazla olması, bu durumun yeraltı suyu pompalama gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanabileceğini ve şu anda Delta'nın bir bütün olarak ökmediğini göstermektedir.

Taşçı ve Köse (2018), yaptıkları çalışmada çok değişkenli gri tahmin modellerini açıklamış ve bunların bir baraj kretinde oluşan deformasyonların belirlenmesinde

kullanılmasını amaçlamışlardır. Gri teorisi belirsizliği araştırmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Küçük örneklem ve az bilgi ile karakterize edilen belirsiz sistemler gri sistem teorisinin çalışma amacıdır. Çok değişkenli gri tahmin modelleri, gri tahmin sisteminin bir parçasıdır. Sistemdeki faktörler arasında karşılıklı ilişkiler varsa bunlar sunulur. Çok değişkenli gri tahmin modellerinde, bir değişkenin gelecekteki değeri, sistemdeki diğer etkili faktörler göz önünde bulundurularak tahmin edilmeye çalışılır. Bu çalışmada, bir barajda yapılan periyot ölçüleri kullanılarak belirlenen nokta hareketleri ve barajdaki su seviyesine bağlı olarak gri tahmin metodu ile tahmin edilen değerler karşılaştırılmış, oldukça uyumlu oldukları görülmüştür.

Taşçı ve Tunçez (2018), çalışmalarında seçilen çalışma bölgesinde heyelan potansiyeli bulunan bir alanda yapılan heyelan izleme çalışmaları ve en önemli açık maden ocaklarından biri olan Çine Alipaşa'dan elde edilen sonuçlara değinmişlerdir. Bölgede heyelanların sürekli izlenmesi için Robotik Total Station kullanılarak toplanan verilere dayanarak deformasyon tahminleri yapılmıştır. Deformasyon ölçeklerinin tahmininde çok değişkenli gri model benimsenmiştir. Jeodezik ve çok değişkenli gri modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Jeodezik ve çok değişkenli gri model tahminleri ile elde edilen veriler ışığında, analiz edilen alanda anlamlı hareketler tespit edilmiş ve her iki yöntemden elde edilen sonuçların birbirine paralel olduğu görülmüştür.

Tiryakioğlu ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada 20 Temmuz 2017 Bodrum kıyısında meydana gelen 6.6 büyüklüğündeki depremin kaynak parametrelerini belirlemişlerdir. Bu amaçla bölgedeki 20 istasyonun deprem öncesi ve sonrası GPS verileri değerlendirilmiştir. Fay düzlemi çözümleri ve sismik kayma dağılımı, olayı elastik fay hareketi olarak modelleyen kosismik GPS yer değiştirmelerinin tersinin alınmasıyla elde edilmiştir. Çalışma sonuçları fay düzleminin, kırılğan üst kabuğun içinde kalan, ~ 12 km derinliğe kadar uzanan, güneye doğru atımlı normal tip bir fay segmenti olduğunu göstermiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sismik kayma dağılımı sonuçları ise, depremin sismik kaymaları sırasıyla 13, 26 ve 5 cm'ye ulaşan üç bölümlü ~ 65 km'lik bir fay bölümünün batı, orta ve doğu bölümlerini etkinleştirdiğini göstermiştir.

Xi ve ark. (2018) barajlarda deplasman tahmini ve rezervuar seviyesi değişimi verilerini aynı anda elde etmek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntem doğrudan GPS ölçmeleri yerine Sinyal-Gürültü Oranı (SNR) verilerinin kullanımına dayanmaktadır. Çin'deki bir barajdan gerekli veriler temin edilerek gerçekleştirilen uygulamada SNR ölçümleri ile santimetre hassasiyetinde günlük su seviyesi

değişimlerinin elde edilebileceği ve böylece GPS'in hem baraj deplasmanlarını hem de rezervuar su seviyesini aynı anda izlemek için kullanılabileceği görülmüştür.

Gunawan ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada 2 Temmuz 2013 tarihinde gerçekleşen 6.1 büyüklüğündeki Aceh, Endonezya depreminde Kuzey Sumatra'daki yanal-atımlı fayın postsismik hareketini incelemişlerdir. Daha önce aynı fay üzerinde gerçekleşen iki depremi takiben postsismik deformasyon analizi, bu depremlerin Kuzey Sumatra'da devam eden deformasyonu etkilediğini göstermektedir. Deformasyon incelemesinde 15-18 Temmuz 2013 ve 7-10 Aralık 2013 tarihlerinde yapılan 30 saniye kayıt aralıklı GPS gözlemleri kullanılmış ve ölçüler Bernese v5.2 yazılımında değerlendirilmiştir. Aceh depreminin postsismik deformasyon analizi sonucunda, bu depremden daha önce gerçekleşen 2004 ve 2012 yılındaki depremlerin Kuzey Sumatra'yı hala etkilediği ve bu etkinin sırasıyla ~12 mm ve ~10 mm olduğu görülmüştür.

Jouanne ve ark. (2019), çalışmalarında 25 Nisan 2015 Gorkha depreminden (Mw 7.9) kaynaklanan postsismik deformasyonu, depremden önce kurulmuş olan 6 GNSS istasyonu ve depremden sonra kurulan 6 GNSS istasyonu ile desteklenen bir sürekli gözlem yapan GNSS ağına dayalı olarak belirlemişlerdir. GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinde Bernese v5.2 yazılımı kullanılmıştır. Postsismik yer değiştirme, intersismik deformasyon ve mevsimsel değişimlerden arındırılmış günlük zaman serilerinden elde edilmiştir. Maksimum postsismik yer değiştirme, yerel olarak 100 mm'ye ulaşan kırılma alanının kuzeyinde, deprem tarihi ile 2016 sonu arasında bulunmuştur.

Poyraz ve ark. (2019), bir depremin kaynak parametrelerinin ve kırılması muhtemel fayların belirlenmesi gerektiğini vurgulamış ve Gediz grabeninde GNSS gözlemlerini kullanarak bu tür bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. GNSS tekniğinin uygulanması için, daha önce bu alanda farklı amaçlar için kurulmuş olan 11 referans noktası kullanılmış ve ölçümler 2013, 2014 ve 2015 yıllarında gerçekleştirilmiştir. Bu noktalarda toplanan GNSS ölçüleri; GAMIT / GLOBK yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve noktaların Avrasya plakasına göre yıllık hız değerleri elde edilmiştir. GNSS istasyonlarında elde edilen yıllık yatay hız değerleri, 12 mm / yıl ila 27 mm / yıl arasında değişmiştir. Düşey hareketlerin en yüksek olduğu alanların graben içerisinde olduğu görülmüştür. Grabenin doğusundaki TRAZ noktasındaki yıllık düşey hız değeri yaklaşık -90 mm / yıl olarak elde edilmiştir. Bu noktayı grabenin batısına doğru BGCL (-33 mm / yıl) ve AKCL (-13 mm / yıl) noktaları takip etmiştir. Ayrıca, çalışma alanında önemli gerinim birikimleri elde edilmiş ve bölgenin tektonik yapısına uygunluğu ortaya

konmuştur. Maksimum ana gerinim parametresi  $0,604 \mu\text{s} / \text{yıl}$ , minimum ana gerinim parametresi  $-0,3775 \mu\text{s} / \text{yıl}$  ve bölge için ortalama sürüklenme ve sıkıştırma yönlerini sağlayan maksimum ana gerilme yönü  $11,27^\circ$  olarak elde edilmiştir. Çalışma alanındaki blok modelleme yıllık yanal atımın  $4 \pm 1,2 \text{ mm} / \text{yıl}$  ile  $19,3 \pm 0,6 \text{ mm} / \text{yıl}$  arasında değiştiğini ve eğik atımın  $-23,3 \pm 0,5 \text{ mm} / \text{yıl}$  ile  $-16,0 \pm 0,5 \text{ mm} / \text{yıl}$  arasında olduğunu göstermiştir.

Xiao ve ark. (2019), Çin'de bir baraja GNSS deformasyon izleme sistemi kurarak zaman serileriyle baraj deformasyonlarını belirlemişlerdir. Çalışma kapsamında GPS ve Beidou konum belirleme sistemleri kullanılmış ve özellikle uzun ölçü sürelerinde Beidou'nun GPS ile rekabetçi sonuçlar verdiği görülmüştür. 1 mm yatay ve 2 mm düşey hassasiyetlere sahip günlük çözümler elde edilmiş olup zaman serileri analizi barajda düzensiz bir oturma meydana geldiğini ortaya çıkarmıştır. Barajda meydana gelen deformasyonun nedenleri araştırılmış ve ana nedeninin rezervuardaki su seviyesi olduğu belirtilmiştir.

Yang ve ark. (2019), GNSS reflektometri yöntemi ile deformasyonların izlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen GNSS reflektometri sistemi kullanılarak saha testleri yapılmış ve sonuçlar yeni teknoloji ile santimetre altı deformasyonların gözlenebildiğini göstermiştir.

Yu ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, Çin anakarasını ve çevresini kapsayan Çin Yerkabuğu Hareketi Gözlem Ağı projesinden 260'tan fazla sürekli gözlem yapan istasyon ve 2000 kampanya istasyonunun 1998-2018 dönemindeki verilerini, Bernese bilimsel GNSS yazılımında değerlendirmişlerdir. Tüm istasyonların koordinat zaman serisi ITRF2014 referans çerçevesinde elde edilmiş, uyuşumsuz ölçüler ayıklanmış ve kosmik deformasyon tahmin edilmiştir. Son olarak, durağan Avrasya plakasına göre, postsismik deformasyonlara bakılmaksızın, en son, en eksiksiz ve en doğru güncel yatay hız alanları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, Batı Çin'deki tektonik hareket sinyalinin, 18-32 mm/ay bir hız ile, özellikle Tibet Platosu'ndaki Doğu Çin'den daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, sinyal güneyden kuzeye keskin bir şekilde azalmaktadır. Bununla birlikte, Kuzey Çin ve Güney Çin, Güneydoğu-Güney doğrultusuna tutarlı bir şekilde 4-10 mm/ay oranında hareket etmektedir. Kuzeydoğu Çin, biraz daha büyük hızlara sahip kıyı bölgelerine ek olarak, 2-4 mm/ay ile en düşük hızla sahiptir.

Eyübagil (2020), yüksek lisans tezinde İzmir bölgesinde yer alan Gülbahçe fayının yapısını incelemiştir. Bu bölgede 17 noktalı bir GNSS ağı kurulmuş ve 3 kampanya GNSS ölçüsü yapılmıştır. Elde edilen verilerle bölgenin güncel hız ve gerinim

alanları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda bölgenin 6 ve üzeri büyüklükte deprem için 65-120 yıl, 7 ve üzeri içinse 790-4330 yıl tekrarlama periyotlarına sahip olduğu görülmüştür.

Du ve ark. (2020), geleneksel RTK yönteminin yer değiştirme yaşayan referans istasyonlarını hesaba katmayacağını vurgulayarak hareket etmesi beklenen noktadaki hızlı hareketin bir işareti olarak kolayca yanlış yorumlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu sorunu çözmeye yönelik gerçekleştirilen uygulamada farklı zaman dilimlerinde senkron ve asenkron RTK yöntemleri birlikte uygulanmış ve böylece daha güvenilir yer değiştirme bilgilerinin elde edilebileceği görülmüştür.

Oktar ve ark. (2021) gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarda, Büyük Menderes Grabenindeki yüzey deformasyonu ve tektonik hareketleri hem GNSS hem Persistent Scatterer InSAR (PSInSAR) yöntemiyle araştırmışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu amaçla bölgedeki sekiz GNSS istasyonu verileri değerlendirilmiş ve hız alanı ile tektonik hareketler belirlenmiştir. Aynı bölgeye ait dört radar görüntüsü kullanılarak PSInSAR yöntemiyle de analizler gerçekleştirilmiş ve her iki metodun birbiriyle uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Konakoğlu (2021), yapmış olduğu çalışmada, Deriner Barajındaki deformasyonları dört periyot GNSS ölçüsüyle belirlemiştir. Uygulamada 12 adet referans 7 obje noktasından oluşan bir GNSS ağı kullanılmıştır. Baraj deformasyonları önce statik model ile belirlenmiş arkasından da Kalman filtreleme tekniğine dayalı kinematik model uygulanmıştır. Her iki modelde de su basıncı, mevsimsel sıcaklıklar ve depremler gibi yük etkileri ihmal edildiği için rezervuar su seviyesinin etkiyen yük olarak dikkate alındığı bir dinamik model ile de analiz gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak dinamik deformasyon modeli baraj deformasyonları ve rezervuar su seviyesi arasında net bir ilişki olduğunu göstermiş ve en fazla yer değiştirmeler barajın orta kısımlarında gözlenmiştir.

Wang ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada heyelanların izlenmesi için Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise (CEEMDAN) ile heyelan yer değiştirme tahminine dayalı Attention Mechanism with Long Short Time Memory Neural Network (AMLSTM NN) modelini önermişlerdir. Bu amaçla Baishuihe heyelanında bir uygulama gerçekleştirilmiş ve sonuçlar CEEMDAN-AMLSTM modelinin rekabetçi doğruluk elde ettiğini ve heyelanların izlenmesi için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Wang ve ark. (2021), köprü deformasyonlarının izlenmesinde GNSS ölçülerinin kullanılabilirliğini araştırmışlar ve bu amaçla çok frekanslı, çoklu GNSS izleyebilen,

yüksek örnekleme aralığına sahip GNSS alıcısı kullanılmasını ve ölçülerin de sinyal yansıma etkisini minimize edecek şekilde yapılmasını önermişlerdir.

Xi ve ark. (2021), çoklu GNSS ölçüleriyle Baishazhou Yangtze nehri köprüsünün deformasyonlarını araştırmışlardır. Çalışma sonuçları çoklu GNSS ölçüleri sayesinde 40 derece uydu yükseklik açısı seçildiğinde bile yatayda 1-2 mm düşeyde ise 2-5 mm hassasiyetin elde edilebildiğini göstermiştir.

Ansari ve Park (2022), çalışmalarında 2011 Tohoku-Okı depreminden sonra Güney Kore’de meydana gelen geçici deformasyonları dokuz yıllık GNSS ölçülerini kullanarak araştırmışlardır. Bu amaçla zaman serisi analizi gerçekleştirilmiş ve hızlar oto regresif hareketli ortalama yöntemiyle modellenmiş ve kabuk deformasyonları incelenmiştir. Çalışma sonuçları, 2011-2014 yılları arasındaki deprem sonrası periyot sırasında sıkışma şeklinde meydana gelen şekil değişikliğinin uzamaya dönüştüğünü, 2015-2017 döneminde ağırlıklı olarak genişleme halini aldığını ve Kore yarımadasında etkili bir dönme yönü değişikliği olduğunu göstermiştir.

Bak ve Çelik (2022), çalışmalarında açık kaynak kodlu yazılımları kullanarak statik deformasyon analizine yönelik bir web uygulaması geliştirmişlerdir. Uygulamanın geliştirilmesinde Javascript programlama dilini, deformasyon analizinde ise S-transformasyonunu kullanmışlardır. Geliştirilen web uygulamasında Leica Geo Office yazılımından elde edilen GPS kampanyasındaki baz vektörlerinin çözümlerini içeren dosyalar girdi verileri olarak kullanılmakta ve deformasyon analizi gerçekleştirilebilmektedir.

Isawi ve ark. (2022), yaptıkları çalışmalarında, Irak’ın çekirdek GNSS istasyonlarının stabilitesini araştırmışlardır. Bu amaçla, beş sürekli gözlem yapan GNSS istasyonunun 2013-2018 arasındaki günlük verileri çözümlenmiş ve zaman serisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları belirlenen istasyon hızları kuzeyde 25-27.6 mm arasında, doğu yönde ise 22.1-24.8 mm arasında değiştiğini ve 7.3 şiddetindeki son depremin GNSS istasyonları üzerinde hafif bir etkisi olduğunu göstermiştir.

Li ve ark. (2022), Kunyang fosfor maden ocağında yüzey deformasyonlarını InSAR ve GPS tekniği ile araştırmışlardır. Çalışma sonucunda ilgili bölge ve çevresinde ciddi yüzey deformasyonları olduğu ve GPS ölçülerinden elde edilen deformasyon verileriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Shen ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, GNSS kinematik konumlama tekniği ile yer değiştirmelerin belirlenmesine yönelik yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Bu amaçla zaman serilerinden yer değiştirmeyi elde etmek için Bayesci yaklaşım kullanılmıştır.



Çalışma sonucunda, anlamlı yer değiştirmelerin açıkça ortaya çıkarılabildiği; küçük yer değiştirmelerin önsel bir aralık kısıtlaması eklenerek belirlenebildiği ve GNSS ile gerçek zamanlı kinematik belirleme ile elde edilen düşey yer değiştirmelerin doğruluğunun 15 dakikada 2 mm'ye ulaşabildiği görölmüşür.



### 3. GNSS TEKNİĞİ İLE DEFORMASYON ÖLÇMELERİ

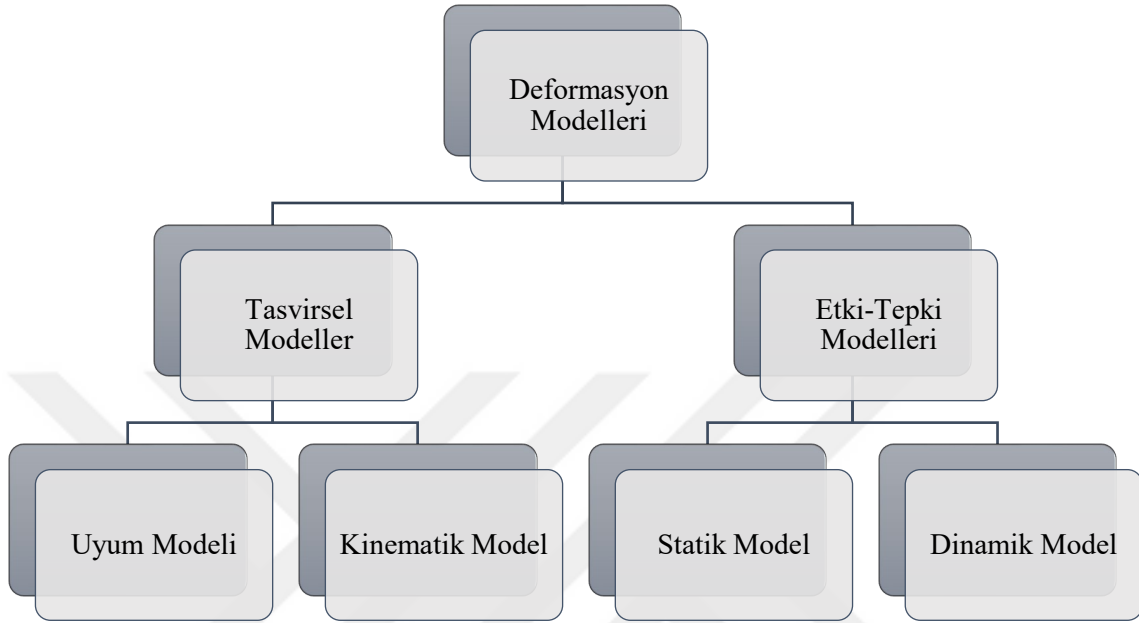
Yerkabuğu, Maden galerileri, büyük mühendislik yapıları, tüneller ya da bunlara yakın bölgelerde meydana gelen düşey ve yatay konum değişiklikleri deformasyon olarak tanımlanmaktadır (İnal, 2022). Bu konum değişikliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan ölçmeler de deformasyon ölçmeleri olarak adlandırılmaktadır. Deformasyonların belirlenip yorumlanması için obje zamana bağlı bir şekilde sürekli gözlenmelidir (Kutterer, 2010). Deformasyonların yorumlanabilmesi için bir periyottan daha fazla ölçüye gereksinim duyulmaktadır. Burada ilk yapılan ölçmeler referans ölçmeleri veya sıfır ölçmeleri, sonraki ölçmeler ise tekrar veya yineleme ölçmeleri olarak adlandırılmaktadır. Ölçülerin yinelenme sıklığı ise bu iki periyot arasındaki hareketin hızına göre belirlenmektedir. Deformasyon ölçmelerine dayanarak ağdaki nokta hareketlerinin tespit edilmesi, yerleştirilmesi ve modellenmesi deformasyon analizi olarak tanımlanmaktadır. Deformasyon ölçmeleri sonucunda noktaların ilk periyot ve sonraki periyot zamanındaki konumları belirlenerek bu konumlar arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı araştırılmaktadır. Nokta konumları genellikle GNSS teknikleri veya trilagon ağlar oluşturularak belirlenirken yükseklik tayininde ise hassas nivelman veya GPS nivelman tekniği kullanılmaktadır.

#### 3.1. Deformasyon Modelleri

Deformasyon ölçülerinin analizinde farklı modeller kullanılabilir. Deformasyon sürecine göre bunlar tasvirsel modeller ve etki-tepki modelleri olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılmaktadır. Tasvirsel modeller deformasyon sürecinin etkilerinin izlenmesine dayanırken etki-tepki modelleri süreci etkileyen büyüklükler ve incelenen objenin bunlara karşı tepkileri arasındaki ilişkinin analiz edilmesini amaçlamaktadır (Welsche ve Heunecke, 2001).

Tasvirsel modeller, objeye etkiyen kuvvetleri değerlendirmeye almadan sürecin analiz edilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. Bu modeller uyum modelleri ve kinematik modeller şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Uyum modelleri zaman boyutu dikkate alınmadan konum değişikliklerinin karşılaştırılması esasına dayanırken kinematik modeller nokta hareketlerinin zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanması esasına dayanmaktadır. Etki-tepki modelleri, deformasyon sürecinin giriş – çıkış ilişkisine bağlıdır. Burada yer çekimi veya sıcaklık değişimi gibi objeye etkiyen kuvvetler dikkate

alınmaktadır. Bu gruptaki modeller de statik ve dinamik model olarak iki ayrı sınıfa ayrılmaktadır. Statik model konumsal referanslı, dinamik model ise hem zaman hem konum referanslıdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deformasyon analizinde model hiyerarşisi (Welsch ve Heunecke, 2001)

### 3.1.1. Statik model

Statik model bir objede hareket meydana gelip gelmediğini, o obje ve çevresini kapsayan deformasyon ağındaki noktaların farklı zaman periyotlarında belirlenen koordinatları arasındaki farkların istatistik olarak eşdeğerlik testine tabi tutulması ile saptayan en temel yöntemdir. Statik model kullanılarak yapılan deformasyon araştırmasında deformasyon vektörleri, zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenmektedir (Doğanalp ve Turgut, 2009). Statik modelde zaman faktörü dikkate alınmadığından objenin her iki periyotta da ölçülmesi sırasında sabit kaldığı varsayılmaktadır. Objenin şekil değişimleri zamanın değil yalnızca yüklerin bir fonksiyonu olarak dikkate alınmaktadır. Statik modelde deformasyon analizi için objenin karakteristik özellikleri ve üretildiği malzemenin parametreleri bilinmelidir. Tüm bu özellikleriyle statik model baraj, köprü, sütun vb. mühendislik yapılarının deformasyon analizi için jeodezide yaygın olarak tercih edilmektedir.

### 3.1.2. Kinematik model

Değerlendirmede deformasyon sürecinin zamansal seyri dikkate alındığında kinematik model söz konusu olmaktadır. Kinematik model objeye etkiyen kuvvetleri içermeyip sadece deformasyonları yer değiştirme hızları ve ivmeleri aracılığıyla belirlemektedir (Caspar, 2000). Kinematik modelle deformasyon analizinde zaman boyutunun dikkate alınması sayesinde hem teşhis hem de tahmin imkanı vardır. Kinematik modelin amacı deformasyona neden olan yükleri dikkate almadan nokta hareketlerini zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlamaktır. Bu amaçla polinomal yaklaşımlar, özellikle hızlar, ivmeler ve harmonik fonksiyonlar yaygın bir şekilde uygulanmaktadır (Welsch ve Heunecke, 2001; Acar ve ark., 2008).

Kinematik model periyot sayısı fazla olduğunda veya deformasyon araştırmasına konu olan objenin bir periyottaki ölçüm sürecinin uzun zaman aldığı durumlarda kullanılmaktadır. Yıllık bileşenlerin yanı sıra istasyon konumları ve hızları ile bir yerel referans uygulama sisteminin güncel modellenmesi kinematik model için tipik bir örnektir. Ya da ülke nivelman ağları gibi geniş çaplı ağlarda deformasyon araştırması yapılmak istenirse bir periyoda ait ölçümler 3-4 yılda tamamlanabilmektedir. Böyle bir durumda nokta yüksekliklerinin sabit kaldığı düşünülmemeyeceğinden noktaların yükseklik değişimleri zamanın fonksiyonu olarak ifade edilerek düşey hareketlerin hızlarının araştırılması da kinematik modele örnek olarak gösterilebilir (Atasoy ve Öztürk, 2005, Bülbül, 2013).

### 3.1.3. Dinamik model

Deformasyon araştırmasına konu olan objenin hareketlerinin zaman ve kuvvetler açısından uygun bir fonksiyonla tanımlanması dinamik modelin konusunu oluşturmaktadır. Bir dinamik model statik ve kinematik modelin kabiliyetlerini birleştirir. Statik modeldeki durumun aksine obje ölçümler sırasında da hareket halindedir. Böyle bir durumun izlenmesi sürekli ve otomatik gözlem yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Bir karayolu köprüsünün rüzgar ve trafik yükünden kaynaklanan yüksek frekanslı titreşimleri nedeniyle oluşan hareketler deformasyonların sebebini teşkil ettiğinden dinamik modele açıklayıcı bir örnektir.

Dinamik model hem zamansal süreci hem de etkiyen kuvvetleri aynı anda dikkate aldığından en geniş ve en kapsamlı modeldir. Dinamik model parametrik ve parametrik

olmayan model şeklinde iki grup altında incelenmektedir. Deformasyon analizine uygulanan dinamik modellerin neredeyse tamamını parametrik olmayan modeller oluşturmaktadır.

### 3.1.4. Uyum modeli

Uyum modeli zamandan ve etkiyen yüklerden bağımsız olarak deformasyon araştırmasına konu olan objenin iki farklı periyottaki durumu arasında tamamen geometrik bir karşılaştırma sağlamaktadır. Bir uyum modelinde sıfır hipotezi “Her iki periyotta karakteristik noktalardan oluşan obje birbirine benzerdir.” şeklinde ileri sürülmekte ve doğrusal bir hipotez testi yardımıyla objenin iki farklı durumu karşılaştırılmaktadır. Sıfır hipotezi geçerli değilse, deformasyon anlamlı olarak düşünülmektedir. Ardından sabit ve hareketli noktaların belirlenmesi için deformasyonların yerleştirilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir.

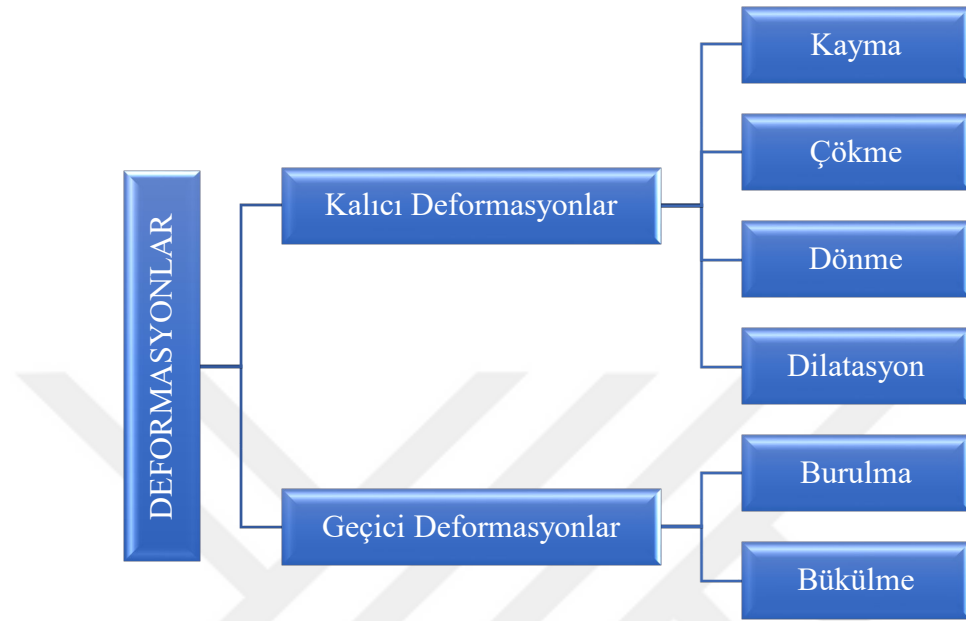
İhtiyaç halinde nokta kümelerinin hareketleri rijit yapı hareketi, gerinim analizi veya diğer sistematik modeller ile genelleştirilebilmektedir. Uyum modeli bir deformasyon sürecinin tahmininde, belli bir ölçüde teşhisine imkan sağlamaktadır. Barajlar gibi yapıların uzun süreli izlenmesinde, kalite kontrolünde ya da periyot sayısı oldukça az olduğunda uyum modeli sıklıkla kullanılmaktadır. Uyum modelinin de yer aldığı deformasyon modellerinin zaman, etkiyen kuvvetler ve obje durumu açısından sınıflandırılması Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Deformasyon modellerinin sınıflandırılması (Welsch ve Heunecke, 2001)

<b>Deformasyon Modeli</b>	<b>Statik Model</b>	<b>Kinematik Model</b>	<b>Dinamik Model</b>	<b>Uyum Modeli</b>
<b>Zaman</b>	Modellenmez	Hareketler zamanın bir fonksiyonudur.	Hareketler zamanın ve yüklerin bir fonksiyonudur.	Modellenmez
<b>Etkiyen Kuvvetler</b>	Yer değiştirmeler yüklerin bir fonksiyonudur.	Modellenmez		Modellenmez
<b>Objenin Durumu</b>	Yükler altında yeterince dengede	Sürekli hareket halinde	Sürekli hareket halinde	Yeterince dengede

### 3.2. Deformasyonların Sınıflandırılması

Deformasyonlar, şekil değişimlerinin yapısına ve cinsine göre kalıcı ve geçici olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadırlar (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Deformasyonların sınıflandırılması

#### 3.2.1. Kalıcı deformasyonlar

Deformasyona uğramış olan obje tekrar eski halini alamıyorsa bu tür deformasyonlara kalıcı deformasyonlar denilmektedir. Kalıcı deformasyonlar; kayma (yatay ötelenme), çökme (düşey ötelenme), dönme veya dilatasyon şeklinde ortaya çıkabilmektedir.

Bir yapının veya doğal zeminin yük ve çeşitli kuvvetlerin etkisiyle aşağı yönde hareket etmesi oturma olarak adlandırılırken yüzeyi gevşek olmayan doğal zeminin, düşey veya düşeye yakın bir şekilde yerçekimi kuvveti yönünde hareket etmesine çökme denilmektedir. 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 (İnal, 2022). 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, 2022). 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.

### 3.2.2. Elastiki deformasyonlar

Deformasyona uğramış olan obje tekrar eski halini alabiliyorsa bu tür deformasyonlar elastiki deformasyonlar olarak tanımlanmaktadır. Bu tür deformasyonlar burulma ve bükülme şeklinde meydana gelmektedir. Objelerin ana eksenine dik şekil değişimleri bükülme olarak tanımlanırken ana eksen boyunca meydana gelen dönme hareketi burulma olarak adlandırılmaktadır.

### 3.3. GNSS Tekniği ile Deformasyon ölçmeleri

Deformasyon ölçmelerinde kullanılan yöntemler jeodezik ve geoteknik olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir. Mutlak deformasyonların belirlenmesinde çoğunlukla jeodezik yöntemler kullanılırken bunlar içerisinde jeodezik ağ yöntemi yatay yönlü mutlak deformasyonların belirlenmesinde en çok tercih edilen yöntemdir. Bu yöntemde referans ve obje noktalarından oluşan bir jeodezik ağ tesis edilmektedir. Objeler tamamen hareketli bölgede, referans noktaları ise meydana gelebilecek hareketten etkilenmeyecek şekilde obje noktalarına mümkün olduğunca yakın bölgelerde seçilmelidir. Referans ve obje noktalarından oluşan jeodezik ağda doğrultu, kenar, semt, yükseklik farkları, konum ve yükseklik koordinat ölçüleri ve bu büyüklüklerde meydana gelen değişimler gibi jeodezik ölçmeler yapılır. Ağdaki ölçmeler, hareketin frekansına bağlı olarak belirli zaman aralıklarında tekrarlanır. Böylece, bir matematik işlem yardımıyla farklı ölçme dönemleri karşılaştırılarak noktalardaki konum değişikliklerinin tespiti mümkün olmaktadır (İnal, 1990).

Jeodezik ağ yöntemi ile deformasyon ölçülerinin analizinde nokta konumlarının belirlenmesinde yersel tekniklerin bir kısmının yerini GNSS teknikleri almıştır. GNSS ile mutlak ve görel olmak üzere iki temel konum belirleme yöntemi kullanılmaktadır. Görel konum belirleme yönteminde GNSS alıcıları ile yapılan ölçülere herhangi bir düzeltme getirilmeden ya da post-proses işlemine tabi tutmadan doğrudan yüksek doğruluklu

sonuçlara ulaşmak mümkün değildir (Wang ve Soler, 2012). Bu amaçla, GNSS tekniği kullanılarak yapılan statik ölçülerin değerlendirilmesinde genellikle ticari yazılımlar tercih edilmektedir. Ancak, ticari yazılımlar kullanılarak çözülebilen baz uzunluklarının sınırlı olması (~600 km) ve bu yazılımlarda kullanıcı müdahalesine izin verilmemesi gibi birtakım dezavantajlar bulunmaktadır. Bu nedenle, daha uzun bazlarda çözümlene yapabilen ve farklı yaklaşım ve modellerin kullanıldığı bilimsel GNSS değerlendirme yazılımları geliştirilmiştir. GIPSY, GAMIT ve BERNESE yazılımları GNSS istasyonlarının yüksek doğruluklu konumlarını hesaplamak için araştırmacılar tarafından kullanılan üç büyük bilimsel GNSS değerlendirme yazılımı paketidir (Wang ve Soler, 2012).

### 3.3.1. Bernese v5.2 bilimsel GNSS değerlendirme yazılımı

Bernese GNSS Yazılımı, GNSS'e dayalı jeodezik ve diğer uygulamalar için en yüksek kalite standartlarını sağlayan, çok sayıda GNSS verisini çözebilen ve Bern Üniversitesi Astronomi Enstitüsü (Astronomical Institute of the University of Bern: AIUB) tarafından geliştirilen bilimsel bir yazılım paketidir.

Bu yazılımın genel olarak kullanıcıları;

- Yüksek doğruluklu GNSS ölçmelerinden sorumlu kuruluşlar,
- Eğitim ve araştırma için akademisyenler,
- Yüksek doğruluk, güvenilirlik ve verimlilik gerektiren uygulamalar gerçekleştiren ticari kullanıcılar,
- Sürekli gözlem yapan sabit GNSS ağlarının çalışması ve bakımından sorumlu kuruluşlar,

olarak sıralanabilir (Dach ve ark., 2015).

Yazılımın genel özellikleri ise;

- Platformdan bağımsız şekilde Unix/Linux, Mac ve Windows sistemlerinde çalışması,
- Tek ve çift frekanslı verilerin aynı kestirim adımında işlenebilmesi,
- İkili farklar veya PPP çözümü yapabilme,
- GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS alıcılarıyla toplanan verileri işleyebilme,
- Hem GPS hem de GLONASS için çok uzun (birkaç bin kilometre) bazlarda faz başlangıç belirsizliklerinin çözülmesini sağlayan çözüm stratejilerinin bulunması,



- Yüksek hassasiyetli jeodezik alıcılar tarafından kaydedilen tüm temel gözlemlerin (Kod ve faz gözlemleri) işlenebilmesi,
- L1 ve L2 frekanslarının farklı doğrusal kombinasyonlarını kullanabilme: iono-free, geometri-free ve Melbourne-Wübbena,
- Kod kayıklıkları ve çeyrek cycle'ın tamamen entegre bir şekilde işlenmesi nedeniyle aynı işlem adımında farklı alıcı türlerinden gelen verilerin işlenmesi ve birleştirilmesi,
- Yakın Yer Uydusu (LEO) verilerine dayalı kinematik ve indirgenmiş-dinamik hassas uydu yörünge belirleme,
- Farklı troposfer haritalama işlevleri (VMF1, GMF/GPT) sayesinde troposfer gradyent parametrelerinin kestirimini yapabilme,
- Ölçek faktörlerinin kestirimini içeren ikinci ve üçüncü derece iyonosfer modellemesi yapabilme,
- Satellite Laser Ranging (SLR) gözlemlerini GNSS ve LEO uydularına işleyebilme yeteneği,
- Desteklediği anten değişim formatı (ANTEX) sayesinde GNSS'ye özgü alıcı ve uydu antenleri için anten faz düzeltmelerinin uygulanabilmesi ve bunların kestirimini yapabilme,
- Farklı alıcı ve anten tiplerine uyum sağlayabilme,
- Çok sayıda zamana bağlı parametre tipi için parçalı doğrusal ve sürekli bir gösterim şekli kullanabilme,
- Anlaşılması kolay giriş panellerine sahip bir grafik kullanıcı arayüzünün (GUI) bulunması,
- Birden fazla oturumda paralel çözümleme olanağının olması,
- Otomatik koordinat zaman serisi analizi gerçekleştiren FODITS programının bulunması,
- Bernese Program Dizini (BPE: Bernese Processing Engine) sayesinde, özellikle birkaç yıllık GNSS verilerinin işlenmesinde kullanılabilen otomatik veri işleme dizilerinin oluşturulabilmesi,
- Yazılımla birlikte farklı BPE'lerin kullanıma hazır olması PPP, ikili farklar tekniği ile ağ işleme (RINEX-to-SINEX), saat belirleme, LEO yörünge belirleme ve SLR yörünge doğrulaması),

Yazılımın genel uygulamaları da;

- Lokal ve global ölçekteki ağlarda tek veya çift frekanslı GNSS ölçülerinin verimli bir şekilde işlenmesi,
- Sürekli gözlem yapan ağların otomatik çözümlenmesi,
- Çok sayıda alıcıdan toplanan verilerin çözümlenmesi,
- Gerçek zamana yakın verilerden, birkaç yıllık GNSS verilerinin yeniden işlenmesine kadar her çeşit ölçü sonrası değerlendirme işleminin gerçekleştirilmesi,
- İyonosfer ve troposferin izlenmesi,
- GPS ve GLONASS verilerinin birlikte çözümlenmesi,
- Saat tahmini ve zaman dönüşümü,
- GNSS ve LEO uyduları için yörünge belirleme,
- SLR yörünge doğrulama

olarak ifade edilebilir (Dach ve ark., 2015).

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS değerlendirme yazılımında ticari yazılımlardan farklı olarak “proje” yerine, “kampanya” terimi kullanılmaktadır. Yazılımın kullanımı sırasında yararlanılan iki tür dosya grubu bulunmaktadır. İlk grup, ölçülerin değerlendirilmesi sırasında yazılımın ihtiyaç duyduğu genel dosyalardan oluşurken, ikinci grup ise işlenen verinin zaman dilimine ait hassas yörünge, atmosferik düzeltme ve saat düzeltme dosyaları gibi çözümde kullanılacak dosyalardan oluşmaktadır.

İlk gruptaki dosyaların büyük çoğunluğu yazılımın kurulmasıyla yüklenmekte ve güncelleme gerektirmemektedir. Ancak, bu grup içerisinde yer alan uyduların hatalarının yer aldığı CRX uzantılı dosyalar, anten faz merkezi kayıklıklarının bulunduğu dosyalar, alıcı tiplerini barındıran “receiver” ve uydu yörüngelerine ait bilgileri içeren “satellite” dosyaları, yazılım geliştiricileri tarafından zaman zaman güncellenmektedir. Bu nedenle kullanıcıların dosyaların en güncel versiyonlarını kullanabilmesi amacıyla bu güncellemeleri takip etmeleri gerekmektedir.

İkinci grupta yer alan dosyalar ise her çözüme özel olarak düzenlenmesi gereken, verilerin işlenmesi aşamasında kullanılacak olan dosyalardır ve farklı kaynaklardan indirilebilmektedir. Çözüm için farklı kurum veya kuruluşların üretmiş olduğu dosyalardan herhangi biri tercih edilebilir. Ancak bir proje için baştan sona kadar aynı kurum veya kuruluş tarafından üretilen verilerin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Bernese v5.2 yazılımında GNSS verilerinin işlenmesi için temelde kullanılan 4 adet klasör bulunmaktadır. Bunlardan CAMPAIGN52 klasörü, gerçekleştirilen GNSS ölçü

kampanyası çözümlerine ait tüm dosyaların bulunduğu dizindir. DATAPOOL klasörü, herhangi bir ölçü kampanyasındaki verilerin işlenmesi amacıyla BPE'nin çalışabilmesi için gerekli olan tüm harici dosyaların yüklendiği dizindir. SAVEDISK klasörü, verilerin işlenip çözümlenmesi sonucu üretilen ve kullanıcıya daha sonrası için yarar sağlayacak özet sonuç dosyalarının depolandığı dizindir. GPSUSER klasörü ise, yazılıma ait genel parametrelerin yer aldığı ve belirli zaman aralıklarında güncellenmesi gereken dosyaların bulunduğu dizindir.

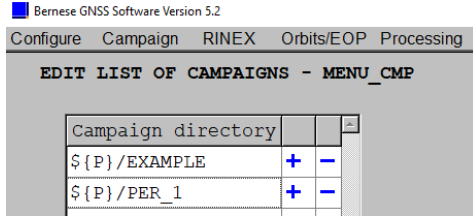
### 3.3.2. Bernese v5.2 bilimsel GNSS değerlendirme yazılımında ölçülerin değerlendirilmesi

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında ölçülerin değerlendirilmesi sırasında takip edilen iş akışı özet olarak şu şekildedir:

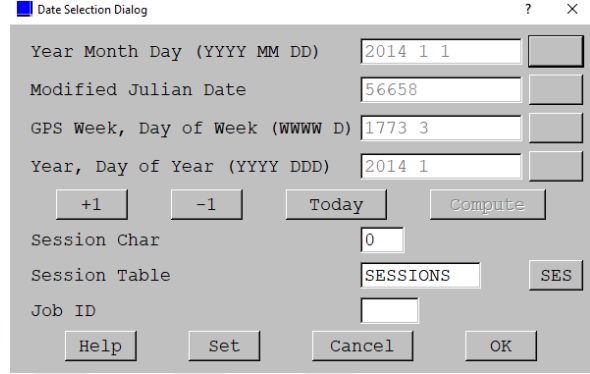
- Öncelikle yeni bir kampanya oluşturulur (Şekil 3.3).
- Daha sonra; yıl, ay, gün şeklinde ölçü tarihi, Jülyen günü, GPS haftası ve haftanın günü veya yıl ve yılın günü seçeneklerinden herhangi biriyle çalışma günü seçimi yapılır (Şekil 3.4).
- Yeni bir kampanya dosyası açılmasıyla birlikte "KAMPANYA" klasörü program tarafından oluşturulmakta ve bu klasörün içinde bulunan alt klasörler (ATM, BPE, GRD, OBS, ORB, ORX, OUT, RAW, SOL, STA) çözümlene işlemi sonucunda doldurulmaktadır.
- Yapılacak çözümlenmede referans olarak kullanılacak olan tüm dosyalar "DATAPOOL" klasörünün içinde, her çözüme başlamadan önce tercih edilen kaynaktan indirilerek ilgili alt klasörlerin içerisine kopyalanır (BSW52, COD, IGS, REF52, RINEX).
- DATAPOOL klasörü içindeki "REF52" klasörünün içinde bulunan istasyon ismi kısaltmaları, atmosferik düzeltme, okyanus yüklemesi, istasyonların bulunduğu levha bilgileri ve istasyonların yaklaşık koordinatlarını içeren dosyalar her çözüm için düzenlenir (.ABB, .ATL, .BLQ, .PLD, .STA).

Sıralanan bu ön hazırlık işlemleri tamamlandıktan sonra verilerin çözümlenmesi (process) işlemi gerçekleştirilir (Şekil 3.5) ve bu esnada herhangi bir hata ile karşılaşırsa bu hatalar da giderilerek sonuca ulaşılır. Çözümlene işlemi başarıyla tamamlandıktan sonra, çözüme konu noktalara ait kartezyen ve coğrafi koordinatlar ile her koordinat bileşenine ait ortalama hataları ve dengelemeye ait birim ağırlıklı ölçünün karesel

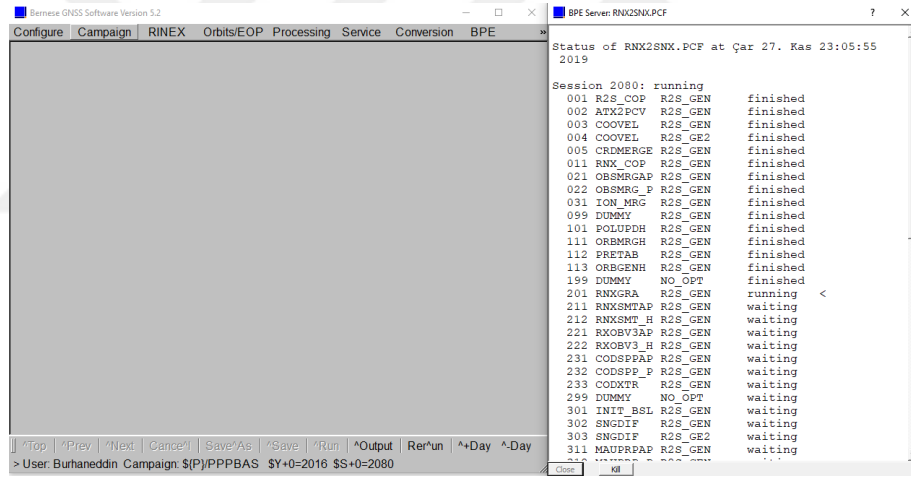
ortalama hatasını (koh) içeren “F1\_yydoy0.OUT” (Şekil 3.6) isimli çözüm dosyasına kampanya klasöründeki “OUT” alt klasörünün içinden ulaşılabilir. Benzer şekilde bilinmeyenlere ait kovaryans matrisinin alt üçgen elemanlarının bulunduğu “F1\_yydoy0.SNX” isimli dosyaya da “SOL” alt klasörünün içerisinden ulaşılabilir.



Şekil 3.3. Kampanya Oluşturma Ekranı



Şekil 3.4. Çalışma Günü Seçim Ekranı

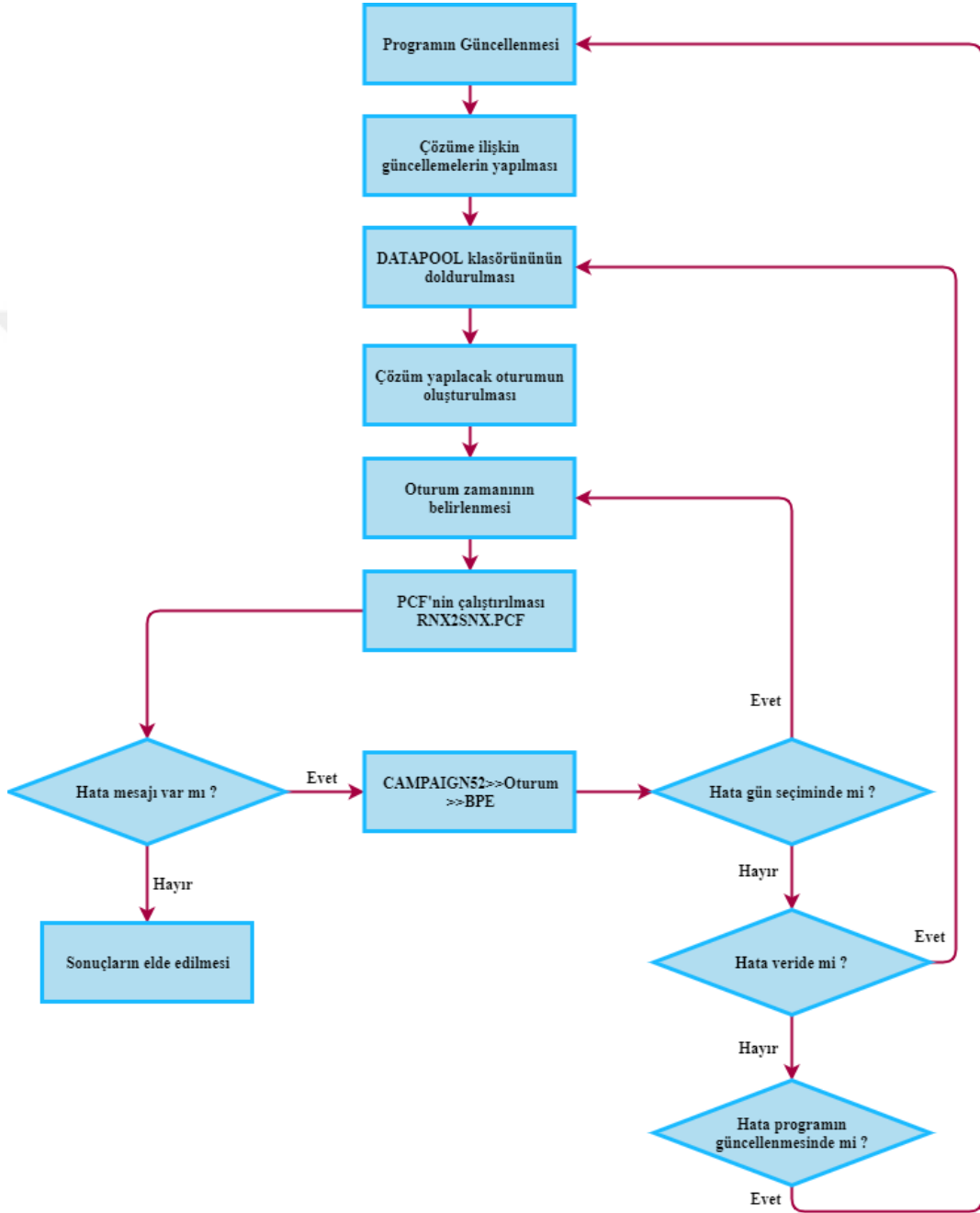


Şekil 3.5. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında çözümleme ekranı

Station name	Typ	A priori value	Estimated value	Correction	RMS error	3-D ellipsoid	2-D ellipse
ANKR 2080SM002	X	4121948.45394	4121948.46390	0.00996	0.00047	0.00070 1.9 0.00017 78.2 0.00018 -0.4	0.00017 77.1 0.00018
	Y	2652187.86925	2652187.87355	0.00430	0.00034		
	Z	4069023.83540	4069023.83253	-0.00287	0.00045		
	U	976.01769	976.02405	0.00637	0.00070		
	N	39.8873722	39.8873721	-0.00908	0.00018		
	E	32.7584700	32.7584700	-0.00177	0.00017		
ISBA 20308M001	X	3808364.71239	3808364.70807	-0.00432	0.00084	0.00130 2.6 0.00029 41.0 0.00031 1.6	0.00028 35.7 0.00031
	Y	3734430.17219	3734430.16998	-0.00221	0.00076		
	Z	3485693.58421	3485693.58579	0.00158	0.00075		
	U	72.35768	72.35468	-0.00300	0.00130		
	N	33.3414165	33.3414165	0.00388	0.00029		
	E	44.4384043	44.4384043	0.00144	0.00030		
RAMO 207035001	X	4514721.66388	4514721.65350	-0.01038	0.00056		
	Y	3133507.96495	3133507.95835	-0.00660	0.00042		
	Z	3228024.86379	3228024.86040	-0.00339	0.00050		

Şekil 3.6. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımında sonuç ekranı

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımındaki bir iş akışına ait yukarıda paylaşılan bilgilerden sonra, veri çözümlemede kullanılan RNX2SNX.PCF Bernese otomatik çözümleme modülüne ait bir iş akış diyagramı Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. RNX2SNX.PCF için iş akış diyagramı (Bülbül, 2018)

RNX2SNX.PCF otomatik çözümlene alt yordamı altında temel olarak yedi aşamalı bir işlem gerçekleşmekte ve bu işlemlerin sonucunda çözüme konu noktalara ait nihai koordinatlar ve bu koordinatlara ait kovaryans matrisi elemanları elde edilmektedir.



#### 4. İTERATİF AĞIRLIKLI DÖNÜŞÜM İLE DEFORMASYON ANALİZİ

Deformasyon araştırmasının son ve en önemli kısmı verilerin değerlendirilmesi ve sonuçların yorumu aşamasıdır. Deformasyonlar problemin şekline, kapsamına ve uygulanan ölçme yöntemlerinin türüne göre değişik modeller kullanılarak incelenmektedir. Statik model ile deformasyon analizinde bağıl güven elipsleri, Cholesky çarpanlara ayırma, ortalama aykırılıklar, S-transformasyonu, mierlo ve IWST gibi yöntemler kullanılmaktadır.

IWST yöntemi 1983'ten beri pek çok deformasyon izleme ağına başarıyla uygulanmış robust bir yöntemdir. Bu yöntemin genel hatları ilk olarak Chrzanowski ve ark. (1986) tarafından verilmiştir. Tek, iki, üç boyutlu ağlarda uygulanabilmesi ve ağda hareketli noktalar hakkında ön bilgiye ihtiyaç duymaması yöntemin üstün yanıdır. Ayrıca, bu yöntemle elde edilen sonuçlar gerçek deformasyon modelini yansıtmaktadır. Chen'e (1983) göre bu yöntem yer değiştirme vektörü üzerinde en az bozulma etkisine sahip olması anlamında, en iyi datumun belirlenmesini sağlamaktadır. GNSS ağlarında deformasyon analizi gerçekleştirmek için kullanışlı ve programlamaya da uygun bir yöntemdir. Yeni robust analiz yöntemlerin önerildiği ve bunların doğru ve güvenilir sonuçlar verip vermediğinin test edildiği bilimsel çalışmalarda (Nowel ve Kaminski, 2014; Nowel, 2016; Amiri-Simkooei ve ark., 2017), sonuçların karşılaştırmasında da IWST tercih edilmektedir. Sözü edilen özellikleri göz önünde bulundurularak bu çalışmadaki yazılımın geliştirilmesinde de IWST kullanılmıştır.

Bir jeodezik deformasyon ağına analiz gerçekleştirilene kadar hiçbir referans noktası sabit kabul edilemediği için, ağ serbest bir ağ olarak düşünülmektedir (Chen ve ark., 1990). Bu nedenle IWST'nin uygulanmasında periyot ölçüleri serbest dengelenir ve iki ayrı dengeleme sonucunda birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hataları  $\sigma_1^2$ ,  $\sigma_2^2$ , ağdaki noktaların dengelenmiş koordinatları  $\hat{x}_1$ ,  $\hat{x}_2$  ve kofaktör matrisleri  $Q_{\hat{x}_1}$ ,  $Q_{\hat{x}_2}$  hesaplanır. Periyot ölçülerinin aynı hassasiyette olup olmadığını belirlemek için  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  hipotezine dayalı varyans homojenlik testi gerçekleştirilir;

$$\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} < F_{df_1, df_2, 1-\alpha} \quad (4.1)$$

eşitliği sağlanırsa varyanslar uyumludur. Testin geçersiz olması durumunda iki dengeleme arasında ölçülerin uyumsuz ağırlıklandırıldığı veya hatalı bir şekilde ağırlıklandırıldığı düşünülür (Chen ve ark., 1990).

IWST yönteminin uygulaması aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmektedir (Chen ve ark., 1990; Setan ve Othman, 2006; Gökalp ve Taşçı, 2009; Lim ve ark., 2012). İki ayrı dengeleme sonucundan fark vektörü ( $d$ ) ve fark vektörünün kofaktör matrisi ( $Q_d$ );

$$d = \hat{x}_2 - \hat{x}_1, \quad Q_d = Q_{\hat{x}_1} + Q_{\hat{x}_2} \quad (4.2)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Deformasyon analizinin başlangıcında hesaplanması gereken ilk matris,  $P$  ağırlık matrisidir. İlk iterasyon için ( $k=1$ ),  $P$  matrisi  $I$  birim matrise eşittir. Bu ise datum belirlenirken ağdaki tüm noktaların aynı öneme sahip olduğunu belirtmektedir. Bu durumda çözüm Helmert Dönüşümünün benzeridir (Chen, 1983). İteratif ağırlıklı benzerlik dönüşümü yönteminde ağırlık matrisi  $P$  iteratif olarak elde edilir (Gökalp, 1997). Bu durumda ikinci ( $k+1$ ) ve devam eden ardışık iterasyonlarda, ağırlık matrisinin köşegen elemanları;

$$p^{(k+1)}(i, i) = \text{köşegen}\{1/|d^{(k)}|\} \quad (4.3)$$

eşitliği ile hesaplanır. Üç boyutlu bir ağ için ağırlık matrisi  $P$  nin elemanları;

$$p^{(k+1)}(1,1) = \left[1/|dx_1^{(k)}|\right]$$

$$p^{(k+1)}(2,2) = \left[1/|dy_1^{(k)}|\right]$$

$$p^{(k+1)}(3,3) = \left[1/|dz_1^{(k)}|\right]$$

$$p^{(k+1)}(1,1) = \left[1/|dx_2^{(k)}|\right]$$

$$p^{(k+1)}(2,2) = \left[1/|dy_2^{(k)}|\right] \quad (4.4)$$

$$p^{(k+1)}(3,3) = \left[1/|dz_2^{(k)}|\right]$$

$$p^{(k+1)}(3m - 2, 3m - 2) = \left[1/|dx_m^{(k)}|\right]$$

$$p^{(k+1)}(3m - 1, 3m - 1) = \left[1/|dy_m^{(k)}|\right]$$

$$p^{(k+1)}(3m, 3m) = \left[1/|dz_m^{(k)}|\right]$$

şeklinde hesaplanır. İterasyonlar süresince bazı  $d^{(k)}$  değerleri sıfıra yaklaşabilir. Bu da  $p^{(k)}$  değerlerinin çok büyük çıkması nedeniyle sayısal tutarsızlıklara sebep olur. Bu problemi çözmek için de iki yol vardır:



i) Bir alt sınır koyulabilir (örneğin 0.0001 m). Eğer  $d^{(k)}$  değeri bu alt sınırdan küçükse onun ağırlığı sıfır alınır.

ii) Ağırlık matrisi formülü  $p^{(k)} = 1/[|d^{(k)}| + \delta]$  olarak değiştirilebilir. Burada  $\delta$  tolerans değeridir.

Bu işlemlerden sonra  $d^{(k+1)}$  aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır;

$$d^{(k+1)} = [S^{(k+1)}][d^{(k)}] \quad (4.5)$$

$$d^{(k+1)} = \{I - G[G^T P^{(k+1)} G]^{-1} G^T P^{(k+1)}\} [d^{(k)}] \quad (4.6)$$

Burada,  $G$  matrisinin boyutları 1D, 2D ve 3D ağlar için farklıdır ve datum defekte bağlı olarak değişmektedir. Deformasyon analizinde kullanılacak bir GPS ağı için datum elemanları sadece eksenler yönündeki ötelemelerdir ( $t_x, t_y, t_z$ ). Bu nedenle  $G$  matrisi,  $m$  nokta sayısını göstermek üzere;

$$G^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

şeklinde dir. İteratif süreç ardışık dönüştürülmüş yer değiştirmeler ( $d$ ) arasındaki mutlak farklar  $\delta$  tolerans değerinden (0.0001 m) küçük oluncaya kadar devam eder.

$$|d^{(k+1)} - d^{(k)}| < \delta \quad (4.8)$$

Son iterasyon ( $k+1$ )'inci iterasyon ise, kofaktör matrisi:

$$Q_d^{(k+1)} = S^{(k+1)} Q_d [S^{(k+1)}]^T \quad (4.9)$$

eşitliği ile hesaplanır. Son ağırlıklı dönüşümden sonra, ağıdaki hareketli noktalar belirlenir. Bu amaçla;

$$c_i = \frac{d_i^2}{q_{d_i} \hat{\sigma}_0^2} \quad (4.10)$$

eşitliği ile her bir yer değiştirme bileşeni için bir  $c_i$  değeri hesaplanır. Burada  $d_i$  i. yer değiştirme bileşeni,  $q_{d_i}$  i. yer değiştirme bileşeninin kofaktör değeri,  $\hat{\sigma}_0^2$  ise eşitlik (4.12)'den hesaplanan ortak varyans değeridir;

$$c_i \leq F_{1,df,1-\alpha} \quad (4.11)$$

ise nokta hareketi anlamsız, aksi takdirde hareketin anlamlı olduğu söylenebilir. Bu eşitlikte  $\alpha$  yanılma olasılığı,  $df$  ise 1. ve 2. periyotlara ilişkin serbestlik derecelerinin toplamıdır. Ortak varyans değeri;

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{df_1 \sigma_1^2 + df_2 \sigma_2^2}{df_1 + df_2} \quad (4.12)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada,  $\sigma_1^2$  ve  $\sigma_2^2$  1. ve 2. periyotlara ilişkin varyanslar,  $df_1$  ve  $df_2$  1. ve 2. periyotlara ilişkin serbestlik dereceleri.

Bu işlemlerden sonra son iterasyonda, fark vektörünün mutlak değerlerini elde etmek için sabit referans noktaları datum alınarak bir final S-transformasyonu gerçekleştirilir. Final S-transformasyonunda  $P$  ağırlık matrisinin elemanları stabil referans noktaları için 1, diğerleri için 0 alınır. Bu nedenle, mutlak yer değiştirme vektörünü hesaplamak için uyuşum testi ilkesi kullanılır (Setan and Singh, 2001). Final iterasyonunda, fark vektörü ve son kofaktör matrisi;

$$d^{(F)} = [S^{(F)}][d^{(k+1)}] \quad (4.13)$$

$$Q_d^{(F)} = S^{(F)} Q_d [S^{(F)}]^T \quad (4.14)$$

eşitliklerinden elde edilir. Burada eşitlik (4.15)'teki istatistik testin uygulanmasına dayalı olarak  $S^{(F)} = I - G[G^T P^{(F)} G]^{-1} G^T P^{(F)}$  ve sabit noktalar için  $P^{(F)} = 1$ , diğer noktalar için 0'dır.

Her bir noktanın kofaktör matrisi ve fark vektörü hesaplandığında, her nokta için sabitlik bilgisi tek nokta testiyle belirlenebilir. Yer değiştirme değerleri ve kofaktör matrisi bir kritik değer ile karşılaştırılır.  $i$  noktasının test edildiği varsayılırsa, test büyüklüğü;

$$T_i = \frac{d_i^T Q_{d_i}^{-1} d_i}{m \hat{\sigma}_0^2} \cong F_{m, df, 1-\alpha} \quad (4.15)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada  $d_i$   $i$  noktasının fark vektörü,  $Q_{d_i}$   $i$  noktasının fark vektörünün kofaktör matrisi,  $m$  güven bölgesinin boyutu (GNSS ağları için 3),  $df$  analizde kullanılan periyot ölçülerinin dengelenmesine ilişkin serbestlik derecelerinin toplamı,  $\alpha$  yanılma ihtimali (genelde 0.05 alınır),  $\hat{\sigma}_0^2$  ise ortak varyans değeridir. (4.15) eşitliğindeki test başarılı olursa (yani  $T_i \leq F_{m, df, 1-\alpha}$ ),  $i$  noktası  $1 - \alpha$  güven seviyesinde deformasyona uğramamıştır. Öte yandan, test başarısız olursa (yani  $T_i > F_{m, df, 1-\alpha}$ ),  $i$  noktasının deformasyona uğradığına karar verilir.

#### 4.1. Lokal Jeodezik Koordinat Sistemine Dönüşüm

GNSS tekniği ile global kartezyen koordinatlar belirlenmektedir. Bu nedenle deformasyonların yönleri yatay/düşey düzlemde tam olarak ortaya konulamamaktadır. Noktaların yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarını belirlemek amacıyla lokal jeodezik koordinatlara (toposentrik koordinat sistemi) dönüşüm yapılmalıdır. Lokal jeodezik

koordinatlar bazen ENU (east, north, up) koordinatlar olarak da isimlendirilmektedir (Hofman-Wellenhof ve ark., 2008). Bu bileşenler,  $X_{ij}$  vektörünün lokal jeodezik koordinat eksenleri  $n_i$ ,  $e_i$ ,  $u_i$  üzerine izdüşümüyle elde edilir. Analitik olarak bu, iç çarpımlarla (skaler veya nokta çarpımlar olarak da belirtilir) elde edilir. Bu durumda,

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} n_{ij} \\ e_{ij} \\ u_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_i \cdot X_{ij} \\ e_i \cdot X_{ij} \\ u_i \cdot X_{ij} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

eşitliği elde edilir. Lokal jeodezik sistemin  $n_i$ ,  $e_i$ ,  $u_i$  vektörleri bir  $R_i$  matrisinin sütunlarında toplanırsa,

$$R_i = \begin{bmatrix} -\sin \varphi_i \cos \lambda_i & -\sin \lambda_i & \cos \varphi_i \cos \lambda_i \\ -\sin \varphi_i \sin \lambda_i & \cos \lambda_i & \cos \varphi_i \sin \lambda_i \\ \cos \varphi_i & 0 & \sin \varphi_i \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

dönüşüm matrisi elde edilir. Bu durumda eşitlik (3.16) aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$x_{ij} = R_i^T \cdot X_{ij} \quad (4.18)$$

## 5. R PROGRAMLAMA DİLİ VE GELİŞTİRİLEN YAZILIM

R dilinin temeli, 1976 yılından bu yana Bell laboratuvarlarında istatistiksel programlama dili olarak geliştirilen S diline dayanmaktadır. Bu durum S dilinde yazılan kodların R için de çalışmasını sağlamaktadır (İhaka ve Gentleman, 1996). R dili kapsamlı istatistiksel analiz, istatistiksel çıkarım, istatistiksel grafik çizimleri, istatistiksel hesaplamalar gibi amaçlara yönelik olarak UNIX ile eş zamanlı geliştirilmeye başlanmıştır. Açık kaynaklı bir platform olan R dili 1990'lı yıllarda Auckland Üniversitesi İstatistik Bölümünden Ross Ihaka ve Robert Gentleman tarafından yazılmıştır (Eser ve ark., 2019). Daha sonra dünyanın çeşitli yerlerindeki araştırmacılar R'yi geliştirmek için bir araya gelmiş ve 1997'de bu gruba "R core team" adı verilmiştir. R dilinin ilk sürümü bu grup tarafından 29 Şubat 2000 tarihinde yayınlanmıştır ve iki-üç ayda bir sürümler güncellenmektedir.

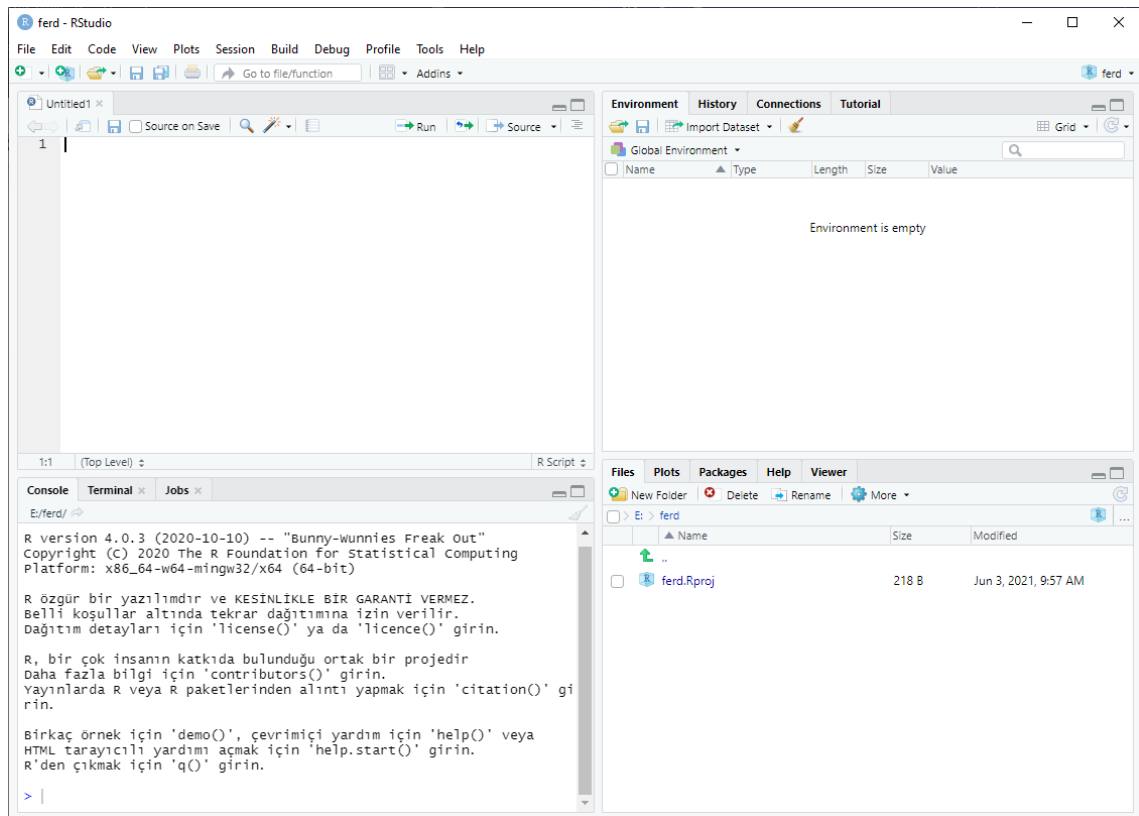
Fonksiyonel bir programlama dili olan R, istatistikçiler ve matematikçiler için kod yazmayı kolaylaştıran fonksiyonlara sahiptir. Etkin veri işleme ve saklama özellikleri, dizi ve matris hesaplamalarında kullanılacak özel operatörler, veri analizi için kullanılacak uyumlu araçlar ve veri çözümlemede kullanılacak grafiksel araçlar mevcuttur. R; bir veri tabanı olmamakla birlikte, veri tabanlarına ve tablolardan oluşan yazılım paketlerine (MS Excel, Minitab gibi) bağlanabilme yeteneğine sahip özgür bir yazılımdır (Baydoğan ve ark., 2014).

R dilinin avantajları;

- Hesap yoğun işlemlerde başarılı, hızlı ve ücretsiz olması,
- İstatistik alanında çalışan araştırmacıların algoritmalarını R ortamında paylaşımları ile yaygın kullanım ve kullanıcı desteği sayesinde güncel olması,
- İşletim sisteminden bağımsız olarak çalışabilmesi,
- Açık kaynak kodlu olduğu için esnek ve geliştirmeye açık olması

şeklinde sıralanabilir. Ancak, veriyi işlenecek hale getirmenin zaman alıcı ve hataya açık bir süreç olması ve tüm işlemler RAM'de gerçekleştirildiğinden çok büyük verilerin fazla RAM gerektirmesi gibi dezavantajlara da sahiptir (Yılmaz, 2021). R dilinin avantajları göz önünde bulundurulduğunda, jeodezik deformasyon analizi gibi hesap yoğun işlemlerde kendi bünyesinde mevcut olan kütüphaneleri sayesinde hızlı çözüm sağlayabileceği ve bu dil kullanılarak yazılan bir programın yeni bilimsel çalışmalar kapsamında geliştirmeye de açık olduğu görülmektedir.

Açık kaynak kodlu bir yazılım programı olan R'nin, çalışma ortamı için RStudio adında kendi editörü de bulunmaktadır. RStudio, daha kullanışlı bir çalışma ortamı ve arayüz sunmaktadır. RStudio'nun kullanılabilmesi için öncelikle R kurulumunun yapılması gerekmektedir. Bu amaçla <https://cran.rstudio.com> web adresi üzerinden ilgili R versiyonu bilgisayara kurulmalıdır. R kurulumu yapıldıktan sonra <https://rstudio.com> linki üzerinden RStudio kurulumu gerçekleştirilir. RStudio ana penceresi Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. RStudio ana penceresi

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi RStudio editörü bölümlere ayrılmıştır. İlk bahsedilmesi gereken bölüm sol alt köşedeki konsol bölümüdür. Konsol bölümü üzerinden komutlar tek tek girilerek işlemler gerçekleştirilmektedir. Ana penceredeki diğer bölüm sol üst köşede yer alan kod editörüdür. Burada geliştirilen uygulamaya ilişkin kodlar yazıldıktan sonra ilgili dosya içerisinde saklanması sağlanmaktadır. Sağ üst köşedeki bölümde ise önceki çalışmaların yeniden kullanılmasına imkân sağlanmaktadır. Daha önce kullanılmış olan komutlar, fonksiyonlar gibi özelliklere buradaki History sekmesinden erişilebilmektedir. Bu sekme sayesinde uzun bir projenin en başında kullanılan komutlara bile ulaşarak tekrar kullanılabilmesi mümkün olabilmektedir. Aynı

bölümdeki Environment sekmesinde ise projede tanımlanmış olan değişkenler, fonksiyonlar, vektörler vb. bulunmaktadır. Bunun dışında sağ alt köşede ise ihtiyaçlarınıza cevap verebilmek adına Plots, Viewer, Files gibi birçok sekme de ana pencerede yer almaktadır.

### 5.1. Geliştirilen Deformasyon Analiz Yazılımı

Tez çalışması kapsamında, Bölüm 4'te tanıtılan olan matematiksel modeller temel alınarak UNIX ve Windows platformlarında çalışabilen açık kaynak kodlu bir program, GNU genel kamu lisansı kapsamında RStudio ortamında geliştirilmiştir. Geliştirilen programın kaynak kodları <https://github.com/bbilgen/DefAn-for-GNSS-networks> adresinden indirilebilir. Program, bir dizi R kodu, bir R Markdown belgesi ve birkaç örnek girdi dosyasından oluşmaktadır. Programı kullanmak için ilgili web adresine girilerek yeşil renkli "Code" butonuna ve ardından "Download.ZIP" seçeneğine tıklayarak indirmek gerekmektedir. İndirilen zip arşivi bilgisayardaki "C:/" dizinine açılmalıdır. Programı çalıştırmak için önce <https://cran.r-project.org> adresinden işletim sistemine uygun R v4.1.1 veya daha yeni sürümü ve <https://www.rstudio.com> adresinden RStudio Desktop v1.4 veya daha yeni sürümü indirilmeli ve kurulmalıdır. RStudio'nun R v3.0.1 veya daha yeni sürümleri gerektirdiğine dikkat edilmelidir. RStudio masaüstü editörü açılmalı ve gerekli paketleri kurmak için RStudio konsolu aracılığıyla;

```
install.packages('dplyr', dependencies = TRUE)
install.packages('ISwR', dependencies = TRUE)
install.packages('matlib', dependencies = TRUE)
install.packages('readr', dependencies = TRUE)
install.packages('rmarkdown', dependencies = TRUE)
install.packages('rstudioapi', dependencies = TRUE)
install.packages('stringr', dependencies = TRUE)
```

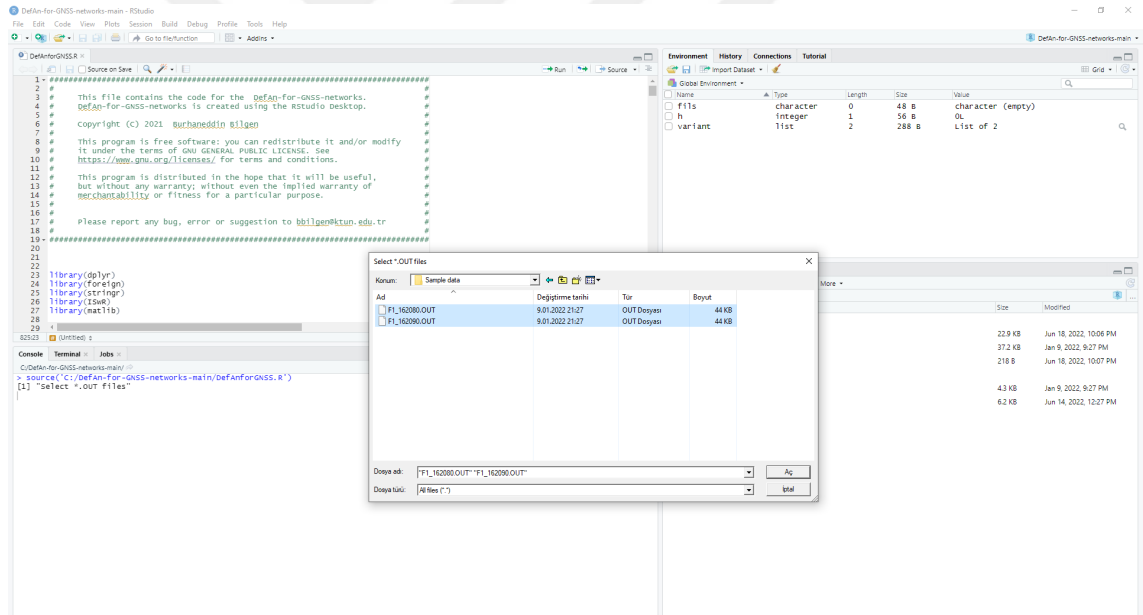
kod bloğu yazılmalıdır. Programın gerekli analizleri tamamladıktan sonra PDF ve HTML sonuç raporlarını oluşturabilmesi için 'tinytex' paketi de kurulmalıdır. Bunun için sırasıyla RStudio konsoluna;

```
install.packages('tinytex', dependencies = TRUE)
tinytex :: install_tinytex()
```

komutları girilmelidir. Daha sonra RStudio masaüstü yazılımında "C:/" dizinine açılan arşivde bulunan "DefAnforGNSS.Rproj" dosyası "Dosya --> Projeyi Aç" seçeneğine tıklayarak açılmalıdır. Ardından;

```
source("C:/DefAn-for-GNSS-networks-main/DefAnforGNSS.R")
```

kod bloğu RStudio konsoluna yazılarak program çalıştırılabilmektedir. Program çalıştırıldıktan sonra dosya seçim penceresi açılmaktadır. Windows tabanlı platformlarda girdi dosyalarının seçimi Windows gezgini penceresinden sağlanırken, UNIX platformlarda komut satırından dosya yolu belirtilerek gerçekleştirilmektedir. Program ilk çalıştırıldığında .OUT uzantılı dosyaların seçimi için açılan pencerenin görüldüğü bir ekran görüntüsü Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. GNSS ağlarında deformasyon analizi için geliştirilen program

Program, Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımının ürettiği çözümden bağımsız değişim formatı (SINEX) ve OUT olarak adlandırılan iki farklı tür ASCII girdi dosyalarını kullanmaktadır. Sözü edilen ASCII türü girdi dosyalarının içerikleri Şekil 5.3 - 5.5’de görülmektedir. Şekil 5.3 - 5.5’te verilen dosyalar ilk üç karakter F1\_; Bernese v5.2 Bilimsel GNSS değerlendirme yazılımdan elde edilen final çözümleri, yy; yılın son iki hanesini, doy; yılın gününü, 0; gözlem süresini, OUT/SNX; sırasıyla sonuç ve

çözümünden bağımsız veri değişim formatını göstermek üzere F1\_yydoy0.OUT, F1\_yydoy0.SNX şeklinde isimlendirilmektedir. Dosya isimleri, ölçü tarihleri ile ilişkili olduğu için, sıfır ve yenileme periyotlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle, dosya isimlerinin belirtilen formatta verilmesi önem arz etmektedir. Dosya seçim penceresi ilk olarak .OUT uzantılı dosyaları seçmek için, devamında ise .SNX uzantılı girdi dosyalarının seçimi için açılmaktadır.

Statistic	F1_162080.OUT	F1_162080_2.OUT
Total number of authentic observations	245489	247115
Total number of pseudo-observations	78	78
Total number of explicit parameters	117	117
Total number of implicit parameters	84	82
Total number of observations	245567	247193
Total number of adjusted parameters	201	199
Degree of freedom (DOF)	245366	246994
A posteriori RMS of unit weight	0.00143 m	0.00143 m
Chi**2/DOF	2.04	2.04
Total number of observation files	6	6
Total number of stations	7	7
Total number of satellites	0	0

Şekil 5.3. F1\_yydoy0.OUT dosyasında yer alan 1. ve 2. periyot dengelemesine ilişkin bilgiler

Station name	Typ	A priori value	Estimated value
OBJ1 14001M092	X	4243567.00434	4243567.00431
	Y	2704027.40407	2704027.40407
	Z	3908127.17311	3908127.17313
REF1 14001M090	X	4243518.19881	4243518.20000
	Y	2703302.02499	2703302.02670
	Z	3908682.53838	3908682.53772
REF2 REF2	X	4242829.72267	4242829.72119
	Y	2704599.89563	2704599.89340
	Z	3908471.96559	3908471.96331

Şekil 5.4. F1\_yydoy0.OUT dosyasında yer alan 1. ve 2. periyot nokta koordinatları

PARAL	PAR2	PAR2+0	PAR2+1	PAR2+2
1	1	0.29467837751347E-05		
2	1	0.1664311395639E-06	0.7676210166002E-06	
3	1	0.13003897587342E-05	0.47672964047243E-06	0.10546645120971E-05
4	1	-0.48889113217393E-06	-0.25885037769564E-07	-0.21616231849962E-06
4	4	0.16838829546736E-06		
5	1	-0.2301868836772E-07	-0.12263191905940E-06	-0.81800001045735E-07
5	4	0.57394314174993E-07	0.94504795740804E-07	
6	1	-0.21905556877010E-06	-0.81355269724075E-07	-0.17216516644750E-06
6	4	0.58112196513143E-07	0.36922609623232E-07	0.11038134696387E-06
7	1	-0.48861840580893E-06	-0.24768119807355E-07	-0.21735199301290E-06
7	4	0.67462076605658E-07	0.65073921305665E-08	0.17018245762644E-07
7	7	0.1746559647730E-06		
8	-4	-0.30809539312833E-07	-0.13030459241052E-06	-0.76916058537589E-07
8	4	-0.6240463145685E-08	-0.41492994685833E-08	0.21692257366718E-07
8	7	0.45146522659297E-07	0.76124315618252E-07	0.37302920559115E-07
9	1	-0.22008072887324E-06	-0.82551025174306E-07	-0.17227287325959E-06
9	4	0.24535801946397E-07	-0.13368579402018E-07	0.37302920559115E-07
9	7	0.85654361437011E-07	0.48604326867878E-07	0.10859640160036E-06
10	1	-0.48147040571360E-06	-0.2743997272592E-07	-0.21714091933102E-06
10	4	0.65321773746229E-07	-0.42632611450890E-08	0.24008402424310E-07
10	7	0.66391533916553E-07	-0.57230007529030E-08	0.23939824792924E-07
10	10	0.16907699979084E-06		

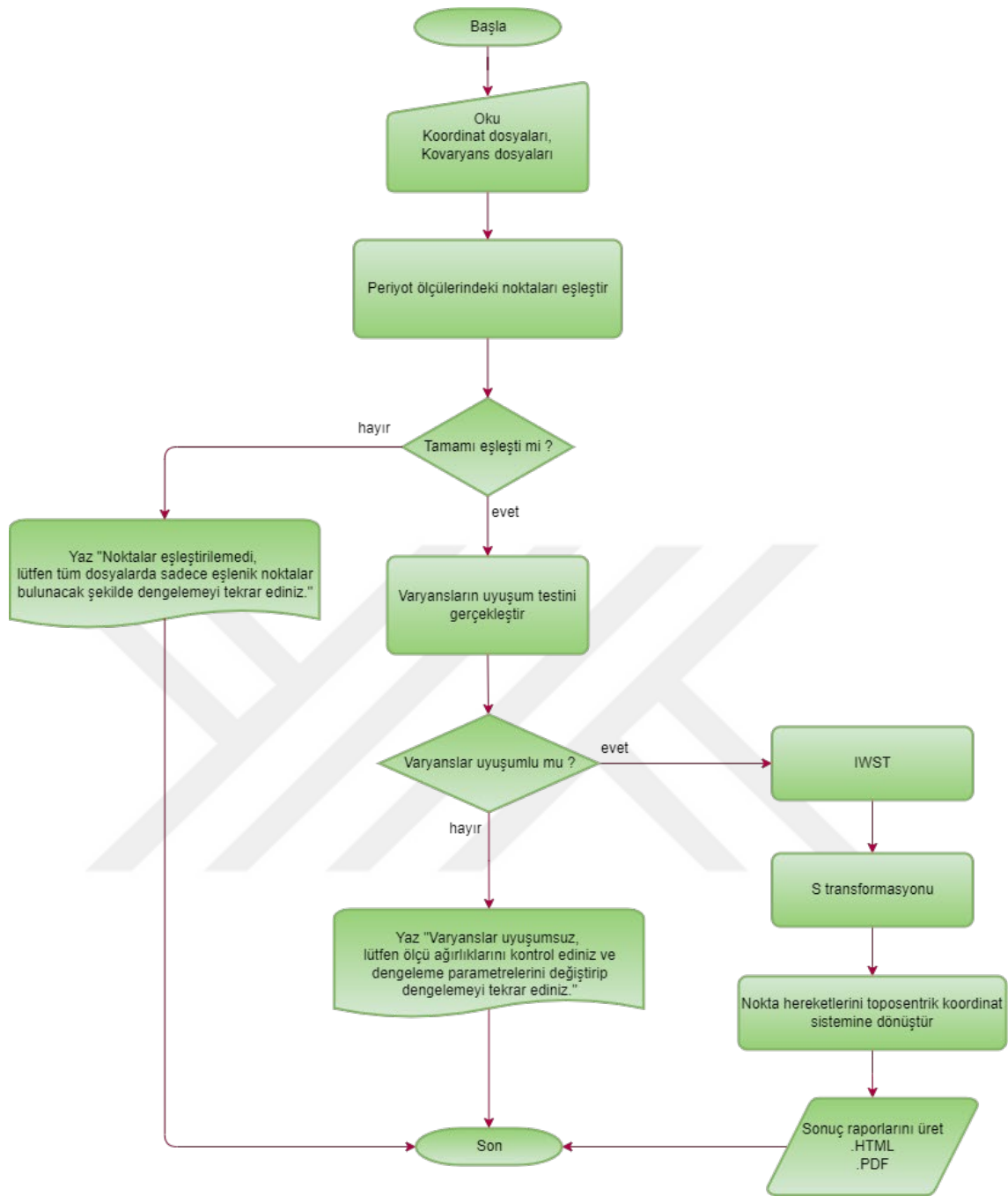
Şekil 5.5. F1\_yydoy0.SNX dosyasında yer alan kovaryans matrisi elemanları



İlk dosyada ölçülerin dengelenmesine ait serbestlik derecesi, birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası, ölçü tarihi ve tüm noktaların yer merkezli Kartezyen koordinat sisteminde koordinatları bulunmaktadır (Şekil 5.3 ve 5.4). İkinci dosyada ise ölçülerin dengelenmesine ait kovaryans matrisinin alt üçgen elemanları yer almaktadır (Şekil 5.5).

Program OUT dosyalarından tüm noktaların koordinatlarını okuduktan sonra, bunları nokta isimlerine göre alfabetik sıralamaktadır. SINEX dosyalarından kovaryans matrislerinin elemanlarını alarak matrisleri oluşturduktan sonra, bunları da ilk dosyadaki alfabetik sıralamaya göre düzenlemektedir. Varyansların uyumlu olup olmadığını (4.1) eşitliğine göre test etmektedir. Ortak varyansları (4.12), fark vektörlerini ve fark vektörlerinin kofaktör matrislerini (4.2),  $G^T$  matrislerini (4.7), dönüştürülmüş fark vektörlerini ve kofaktör matrislerini iteratif süreç içerisinde (4.3-4.9) eşitliklerine göre hesaplamaktadır. Koordinat bileşenlerine ait test büyüklüklerini (4.10) eşitliğinden elde edip kritik tablo değeri ile karşılaştırarak deformasyona uğraması en muhtemel noktaları (4.11) eşitliğine göre belirlemektedir. Final S-transformasyonunu (4.13-4.14) eşitliklerine göre gerçekleştirip mutlak deformasyonları hesapladıktan sonra (4.15) eşitliğine göre tek nokta testi de yaparak deformasyona uğrayan noktaları tespit etmektedir. (4.16-4.18) eşitliklerine göre gerçekleştirmiş olduğu koordinat dönüşümü ile noktaların hareketlerini ve hareket vektörlerini lokal jeodezik koordinat sisteminde (kuzey, doğu, yukarı) de hesaplamaktadır.

Program, noktaların yer merkezli kartezyen koordinat eksenleri ve lokal jeodezik koordinat eksenleri yönündeki yer değiştirmelerini grafiklere de aktardıktan sonra HTML ve PDF olarak iki farklı formatta sonuç raporları üretmektedir. Geliştirilen programa ait akış diyagramı Şekil 5.6'da verilmiştir. Ayrıca, programın örnek girdi dosyalarıyla gerçekleştirilen analiz sonucunda ürettiği raporların ekran görüntüleri Şekil 5.7-5.13 arasında görülmektedir.



Şekil 5.6. Geliştirilen programa ait akış diyagramı

**GEODETTIC DEFORMATION ANALYSIS REPORT**  
by DefAn-for-GNSS-networks  
29 06 2022

**Parameters and Coordinates**  
Number of stations : 7  
Coordinates of Epoch on 26-07-2016

	X	Y	Z
OBJ1	4243567.00431	2704027.40407	3908127.17313
REF1	4243518.20000	2703302.02670	3908682.53772
REF2	4242829.72119	2704599.89340	3908471.96318
REF3	4243560.22072	2704124.37826	3908055.15874
REF4	4243857.45420	2705157.21786	3906968.93647
REF5	4244172.14953	2703935.77248	3907567.35177
REF6	4243885.68739	2703794.60289	3907970.26256

Coordinates of Epoch on 27-07-2016

	X	Y	Z
OBJ1	4243567.00966	2704027.40129	3908127.17277
REF1	4243518.19917	2703302.02720	3908682.53788
REF2	4242829.72039	2704599.89391	3908471.96331
REF3	4243560.21989	2704124.37873	3908055.15883
REF4	4243857.45330	2705157.21831	3906968.93643
REF5	4244172.14845	2703935.77289	3907567.35174
REF6	4243885.68648	2703794.60332	3907970.26261

**Variance Ratio Test**

A Posteriori RMS of Unit Weight of Epoch on 26-07-2016 : 0.00143 m  
A Posteriori RMS of Unit Weight of Epoch on 27-07-2016 : 0.00143 m

Pooled Variance Factor on 27-07-2016 : 2.04

Pooled variance factor values are in  $mm^2$ .  
Significance Level of Variance Ratio Test : 0.05

Variance ratio test passed for 27-07-2016

**Şekil 5.7.** HTML uzantılı deformasyon analiz raporu

Şekil 5.7 incelendiğinde, raporun ana başlığı ve altında programın ismi ile programda analizin yapıldığı tarih verildikten sonra alt başlıklar halinde diğer bilgilerin sunulduğu görülmektedir. “Parameters and Coordinates” başlığı altında jeodezik deformasyon analizindeki nokta sayısı ve girdi dosyalarından okunan kartezyen koordinatlar tarihleriyle birlikte tablolar halinde yer almaktadır. “Variance Ratio Test” başlığı altında ise periyot ölçülerine ait birim ağırlıklı karesel ortalama hata değerleri, ortak varyans, varyansların uyum testindeki  $\alpha$  yanılma ihtimali ve varyans homojenlik testi sonuçları bulunmaktadır.

Number of Iterations: 3  
Significance Level of Single Point Test: 0.05  
Critical Value on 27-07-2016 : 2.6049  
Single Point Test Results on 27-07-2016

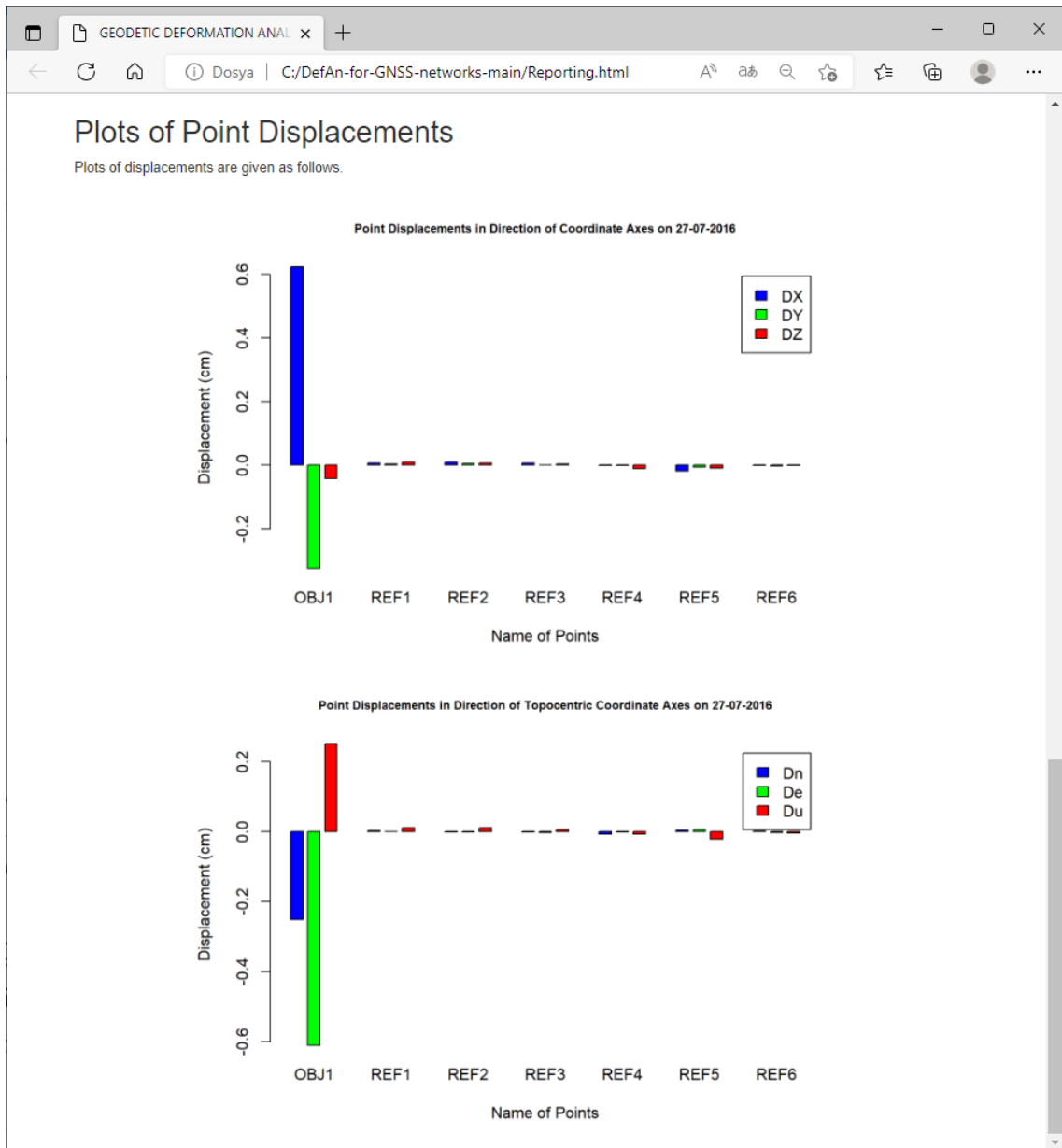
Station	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Disp Vector (mm)	Test Value	Status
OBJ1	6.2417	-3.2417	-0.4200	7.0458	8.0295	unstable
REF1	0.0617	0.0383	0.1000	0.1236	0.0245	stable
REF2	0.0917	0.0483	0.0700	0.1251	0.0168	stable
REF3	0.0617	0.0083	0.0300	0.0691	0.0178	stable
REF4	-0.0083	-0.0117	-0.1000	0.1010	0.0415	stable
REF5	-0.1883	-0.0517	-0.0900	0.2150	0.0874	stable
REF6	-0.0183	-0.0317	-0.0100	0.0379	0.0056	stable

Displacements in Local Geodetic Coordinate System on 27-07-2016

Station	Dn (mm)	De (mm)	Du (mm)	Disp Vector (mm)
OBJ1	-2.5002	-6.0880	2.5157	7.0458
REF1	0.0340	-0.0008	0.1188	0.1236
REF2	-0.0085	-0.0085	0.1245	0.1251
REF3	-0.0112	-0.0261	0.0630	0.0691
REF4	-0.0706	-0.0054	-0.0721	0.1010
REF5	0.0440	0.0576	-0.2024	0.2150
REF6	0.0121	-0.0169	-0.0317	0.0379

Şekil 5.8. HTML uzantılı deformasyon analiz raporu

Şekil 5.8’de görülen “Results of Geodetic Deformation Analysis” başlığı altında ise IWST yöntemi uygulanırken gerçekleştirilen iterasyon sayısı, tek nokta anlamlılık testindeki istatistik tablo değeri, noktanın deformasyona uğrayıp uğramadığı bilgisini içeren final S-transformasyonundan sonra elde edilen analiz sonuçları ve lokal jeodezik koordinat sistemindeki nokta hareketleri tarihleriyle birlikte çizelgeler hâlinde verilmektedir.



Şekil 5.9. HTML uzantılı deformasyon analiz raporu

Şekil 5.9’da ise “Plots of Point Displacements” başlığı altında her iki koordinat sistemindeki nokta hareketlerine ilişkin grafiklerin tarihleriyle birlikte yer aldığı görülmektedir. Şekil 5.10’dan 5.13’e kadar olan ekran görüntülerinde ise aynı bilgilerin PDF formatındaki raporu yer almaktadır.

# GEODETIC DEFORMATION ANALYSIS REPORT

by DefAn-for-GNSS-networks

29 06 2022

## Parameters and Coordinates

Number of stations : 7

Table 1: Coordinates of Epoch on 26-07-2016

	X	Y	Z
OBJ1	4243567.00431	2704027.40407	3908127.17313
REF1	4243518.20000	2703302.02670	3908682.53772
REF2	4242829.72119	2704599.89340	3908471.96318
REF3	4243560.22072	2704124.37826	3908055.15874
REF4	4243857.45420	2705157.21786	3906968.93647
REF5	4244172.14953	2703935.77248	3907567.35177
REF6	4243885.68739	2703794.60289	3907970.26256

Table 2: Coordinates of Epoch on 27-07-2016

	X	Y	Z
OBJ1	4243567.00966	2704027.40129	3908127.17277
REF1	4243518.19917	2703302.02720	3908682.53788
REF2	4242829.72039	2704599.89391	3908471.96331
REF3	4243560.21989	2704124.37873	3908055.15883
REF4	4243857.45330	2705157.21831	3906968.93643
REF5	4244172.14845	2703935.77289	3907567.35174
REF6	4243885.68648	2703794.60332	3907970.26261

## Variance Ratio Test

A Posteriori RMS of Unit Weight of Epoch on 26-07-2016 : 0.00143 m

A Posteriori RMS of Unit Weight of Epoch on 27-07-2016 : 0.00143 m

Pooled Variance Factor on 27-07-2016 : 2.04

Pooled variance factor values are in  $mm^2$ .

Significance Level of Variance Ratio Test : 0.05

Variance ratio test passed for 27-07-2016

1

Şekil 5.10. PDF formatında deformasyon analiz raporu (1. Sayfa)

### Results of Geodetic Deformation Analysis

Number of Iterations: 3

Significance Level of Single Point Test: 0.05

Critical Value on 27-07-2016 : 2.6049

Table 3: Single Point Test Results on 27-07-2016

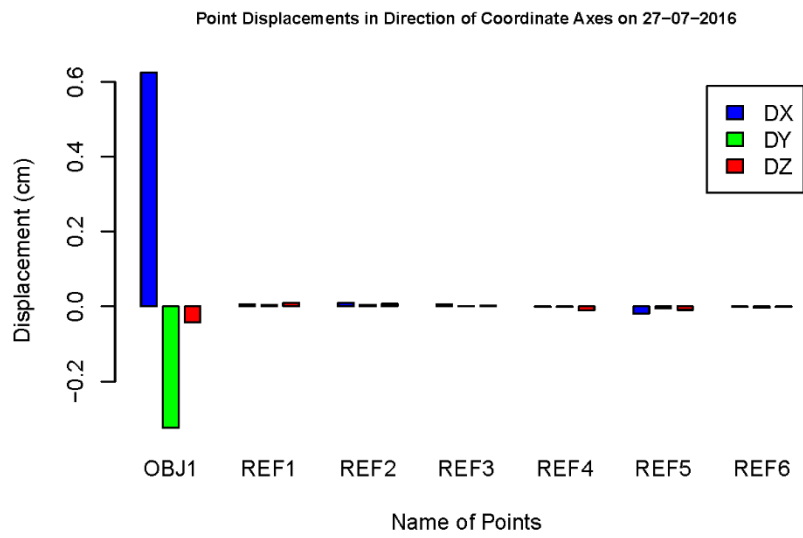
Station	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Disp Vector (mm)	Test Value	Status
OBJ1	6.2417	-3.2417	-0.4200	7.0458	8.0295	unstable
REF1	0.0617	0.0383	0.1000	0.1236	0.0245	stable
REF2	0.0917	0.0483	0.0700	0.1251	0.0168	stable
REF3	0.0617	0.0083	0.0300	0.0691	0.0178	stable
REF4	-0.0083	-0.0117	-0.1000	0.1010	0.0415	stable
REF5	-0.1883	-0.0517	-0.0900	0.2150	0.0874	stable
REF6	-0.0183	-0.0317	-0.0100	0.0379	0.0056	stable

Table 4: Displacements in Local Geodetic Coordinate System on 27-07-2016

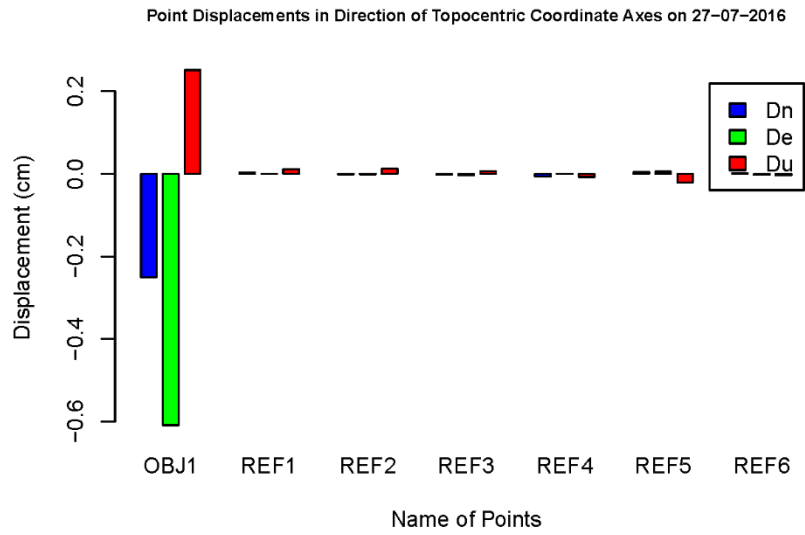
Station	Dn (mm)	De (mm)	Du (mm)	Disp Vector (mm)
OBJ1	-2.5002	-6.0880	2.5157	7.0458
REF1	0.0340	-0.0008	0.1188	0.1236
REF2	-0.0085	-0.0085	0.1245	0.1251
REF3	-0.0112	-0.0261	0.0630	0.0691
REF4	-0.0706	-0.0054	-0.0721	0.1010
REF5	0.0440	0.0576	-0.2024	0.2150
REF6	0.0121	-0.0169	-0.0317	0.0379

### Plots of Point Displacements

Plots of displacements are given as follows.

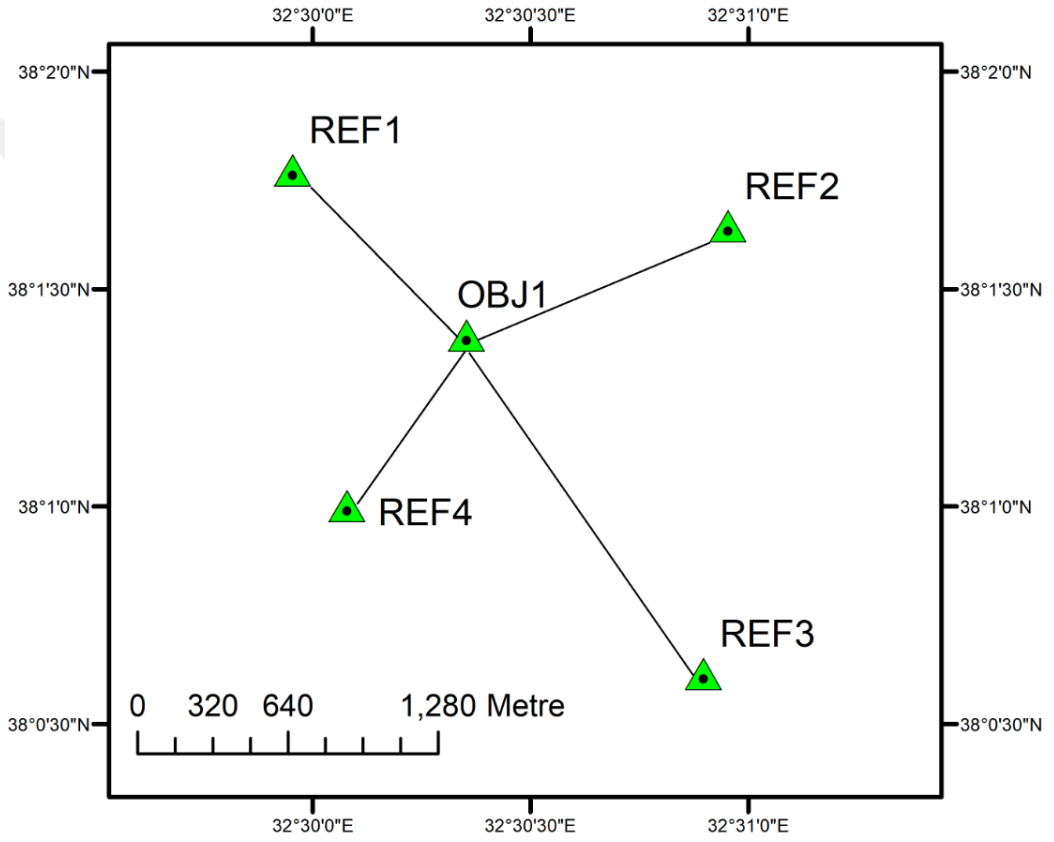




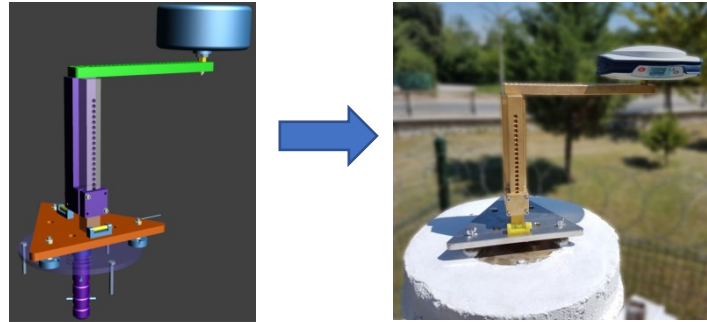


## 6. UYGULAMA

Tez kapsamında geliştirilen deformasyon analiz programının hesaplama performansının test edilmesi amacıyla, Selçuk üniversitesi kampüsünde beş noktadan oluşan pilye şeklinde tesis edilmiş bir mikro jeodezik ağ tasarlanmıştır (Şekil 6.1). Tasarlanan ağda baz uzunlukları 829 m ile 1.6 km arasında değişmektedir. Noktalardan bir tanesi obje noktası olarak belirlenmiş ve üzerine sanal deformasyon vermeye yarayan bir ölçü düzeneği yerleştirilmiştir (Şekil 6.2).



Şekil 6.1. Uygulamada kullanılan deformasyon ağı



Şekil 6.2. Ölçülerin gerçekleştirildiği düzenek

Obje noktasında sanal deformasyonlar meydana getirerek GNSS ölçüleri yapmak amacıyla geliştirilen ölçü düzeneğinin imalatında Computer Numerical Control (CNC) torna tezgâhı kullanılmış olup 4 kg ağırlığı taşıyabilecek şekilde, sıcak, soğuk ve genişmeden minimum düzeyde etkilenecek pirinç malzeme tercih edilmiştir. Bu düzeneğin sayesinde yatay ve düşey yönde 1 cm aralıklarla sanal deformasyonlar meydana getirilebilmektedir. Düzeneğin alt kısmında yer alan üçgen tabla üzerinde birbirine dik şekilde yerleştirilmiş iki adet silindirik düzeç bulunmaktadır. Bu düzeçler tablanın köşelerinde bulunan kelebek vidaları ile ayarlanmakta ve böylelikle GNSS alıcısının tam olarak düşeylenmesi sağlanmaktadır.

Tasarlanan mikro jeodezik ağda kuzey, doğu ve yukarı yönlü deformasyonları geliştirilen programla araştırmak amacıyla ölçü düzeneği başlangıçta kuzeye yöneltilerek yerleştirilmiştir. Bu sayede obje noktasındaki düzeneğin üzerindeki ilk noktadan başlanarak suretiyle art arda kuzey yönünde kaydırmalar yapılarak her bir noktada ikişer saatlik GNSS ölçüleri gerçekleştirilirken referans noktalarındaki GNSS alıcıları sürekli gözlem yapmıştır. Doğu yönündeki ölçülere başlanmadan önce düzeneğin doğuya yöneltilmiş ve aynı ölçme stratejisi uygulanmıştır. Yukarı yönlü deformasyonların araştırılması içinse obje noktasında düzeneğin her bir saatte 1 cm yükseltilerek GNSS ölçüleri yapılmıştır.

Mikro jeodezik ağdaki referans noktalarının koordinatları KNY1, KLUU, KAPN, KAMN, HALP, CIHA, BEYS ve AKHR Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) istasyonlarına dayalı olarak belirlenmiştir. Düzeneğin üzerinde ölçü yapılan her bir noktada toplanan Receiver Independent Exchange Format (RINEX) gözlemleri ile referans noktalarında toplanan RINEX gözlemleri birlikte değerlendirilmiştir. Değerlendirmede Bernese v5.2 bilimsel yazılımı kullanılmıştır. Bernese v5.2 yazılımında jeodezik ağ tasarımı her periyotta aynı olması için DEFINED olarak ayarlanmış, Center for Orbit Determination in Europe (CODE) duyarlı efemeris dosyaları tercih edilmiş, uydu yükseklik açısı 10 derece, veri kayıt aralığı 5 saniye olarak seçilmiştir. GNSS verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler Çizelge 6.1'de verilmiştir. Ölçüler değerlendirildikten sonra Bernese v5.2 yazılımının çıktı dosyaları doğrudan kullanılarak geliştirilen programla deformasyon analizleri gerçekleştirilmiş ve periyotlar arasındaki 1'er cm büyüklüğündeki deformasyonlar belirlenmiştir.



Çizelge 6.2, G+R ölçüleriyle gerçekleştirilen deformasyon analizleri sonucunda varyansların homojen olduğunu göstermektedir. Ortak varyanslar  $3.17 - 5.59 \text{ mm}^2$  arasında değişirken ölçülerin hassasiyetini gösteren dengelemeye ait birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hataları  $1.77 - 2.37 \text{ mm}$  arasında değişmektedir. GLONASS ölçüleri dengelemeden çıkarıldığında ise Çizelge 6.3'te görüldüğü gibi karesel ortalama hatalar ve ortak varyans değerleri iyileşmektedir.

Çizelge 6.4.  $t_0-t_1$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Sonuç	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Sonuç
OBJ1	9.98	12.13	Hareketli	16.27	112.65	Hareketli
REF1	0.39	0.08	Sabit	0.10	0.01	Sabit
REF2	0.38	0.17	Sabit	0.09	0.04	Sabit
REF4	0.44	0.09	Sabit	0.13	0.04	Sabit
REF5	0.4	0.20	Sabit	0.10	0.08	Sabit

Çizelge 6.5.  $t_1-t_2$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	14.80	425.63	Hareketli	17.40	269.40	Hareketli
REF1	0.17	0.04	Sabit	0.04	0.02	Sabit
REF2	0.17	0.05	Sabit	0.18	0.12	Sabit
REF3	0.26	0.11	Sabit	0.19	0.05	Sabit
REF4	0.19	0.11	Sabit	0.35	0.37	Sabit

Çizelge 6.6.  $t_2-t_3$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	13.92	151.45	Hareketli	14.43	110.49	Hareketli
REF1	0.50	0.27	Sabit	0.07	0.01	Sabit
REF2	0.46	0.28	Sabit	0.14	0.04	Sabit
REF3	0.57	0.31	Sabit	0.09	0.01	Sabit
REF4	0.38	0.32	Sabit	0.15	0.08	Sabit

Çizelge 6.7.  $t_3-t_4$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	12.91	84.87	Hareketli	11.43	123.07	Hareketli
REF1	0.12	0.13	Sabit	0.23	0.06	Sabit
REF2	0.44	0.21	Sabit	0.07	0.02	Sabit
REF3	0.13	0.14	Sabit	0.32	0.12	Sabit
REF4	0.27	0.15	Sabit	0.15	0.05	Sabit

Çizelge 6.8.  $t_4-t_5$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	16.33	333.49	Hareketli	15.98	170.25	Hareketli
REF1	0.17	0.06	Sabit	0.21	0.07	Sabit
REF2	0.10	0.03	Sabit	0.20	0.06	Sabit
REF3	0.14	0.06	Sabit	0.17	0.05	Sabit
REF4	0.15	0.03	Sabit	0.16	0.06	Sabit

Çizelge 6.9.  $t_5-t_6$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	14.66	276.39	Hareketli	8.66	63.31	Hareketli
REF1	0.14	0.04	Sabit	0.10	0.02	Sabit
REF2	0.29	0.07	Sabit	0.23	0.07	Sabit
REF3	0.16	0.05	Sabit	0.05	0.01	Sabit
REF4	0.30	0.10	Sabit	0.29	0.11	Sabit

Geliştirilen program deformasyona uğrayan noktaları belirlerken uyguladığı tek nokta anlamlılık testinde  $\alpha$  yanılma ihtimalini 0.05 olarak almaktadır. Dosyadan okuduğu dengelemelerin serbestlik derecelerine göre istatistik tablo değerini (4.15) eşitliğine göre 2.6049 olarak hesaplamıştır. Çizelge 6.4 - 6.9 birlikte incelendiğinde, OBJ1 noktasındaki test büyüklüklerinin tablo değerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu nedenle OBJ1 noktasında tüm analizlerde %95 ihtimalle sanal olarak verilen deformasyonlar belirlenebilmiştir. Kuzey bileşen yönünde obje noktasında sanal olarak verilen deformasyonlar G+R gözlemleriyle 9.98 - 16.33 mm arasında, GLONASS gözlemleri ölçülerden çıkarılınca aynı deformasyonlar 8.66 – 17.40 mm arasında değişen değerlerde elde edilmiştir. Gözlem sayısının azalması belirlenen deformasyon büyüklüklerinin daha geniş bir aralığa yayılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle Bernese v5.2'deki faz başlangıç belirsizliği çözümleme (AR) oranları da incelenmiştir (Çizelge 6.10 ve 6.11).

Çizelge 6.10. G+R için faz başlangıç belirsizliği çözümleme oranları (%)

Baz	Ölçü Periyotları					
	$t_0-t_1$	$t_1-t_2$	$t_2-t_3$	$t_3-t_4$	$t_4-t_5$	$t_5-t_6$
OBJ1-REF1	22.4-21.7	21.7-20.0	20.0-21.1	21.1-19.0	19.0-17.4	17.4-17.4
OBJ1-REF2	40.3-44.5	44.5-28.1	28.1-36.0	36.0-41.7	41.7-22.4	22.4-22.4
OBJ1-REF3	42.1-40.4	40.4-43.6	43.6-39.6	39.6-42.9	42.9-44.3	44.3-44.3
OBJ1-REF4	40.3-39.3	39.3-40.7	40.7-43.3	43.3-37.1	37.1-38.2	38.2-38.2
<b>Belirlenen Deformasyon Miktarı (mm)</b>						
	9.98	14.80	13.92	12.91	16.33	14.66

Çizelge 6.10'da oluşturulan jeodezik ağdaki OBJ1-REF1 bazında AR oranlarının %17,4 ile %22,4 arasında değiştiği görülmektedir. Ölçülerin gerçekleştirildiği zamandaki

uydu geometrisi ve alınan sinyaller için AR oranları dikkate alındığında, belirlenen deformasyon miktarları genel olarak sanal deformasyon miktarına yakınken,  $t_1-t_2$ ,  $t_4-t_5$  ve  $t_5-t_6$  zaman aralıklarında sanal deformasyon miktarından 4.66 mm ile 6.33 mm arasında sapmalar meydana gelmiştir.  $t_1-t_2$  zaman aralığında OBJ1-REF2 bazında çözümleme oranının %44.5'tan %28.1'e düşmesi,  $t_4-t_5$  zaman aralığında OBJ1-REF1 bazında her iki çözümleme oranının % 20'nin altında kalması ve OBJ1-REF2 bazında bu oranın %41.7'den %22.4'e düşmesi,  $t_5-t_6$  zaman aralığında ise hem OBJ1-REF1 bazında oranların %20'nin altında kalması hem de OBJ1-REF2 bazında %20'lerde seyretmesi bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir.

**Çizelge 6.11.** GPS için faz başlangıç belirsizliği çözümleme oranları (%)

Baz	Ölçü Periyotları					
	$t_0-t_1$	$t_1-t_2$	$t_2-t_3$	$t_3-t_4$	$t_4-t_5$	$t_5-t_6$
<b>OBJ1-REF1</b>	23.1-27.3	27.3-19.1	19.1-30.0	30.0-27.3	27.3-28.3	28.3-36.4
<b>OBJ1-REF2</b>	33.3-33.3	33.3-33.3	33.3-37.9	37.9-41.9	41.9-31.9	31.9-41.9
<b>OBJ1-REF3</b>	39.3-39.3	39.3-39.3	39.3-41.4	41.4-37.9	37.9-37.9	37.9-37.9
<b>OBJ1-REF4</b>	41.9-41.9	41.9-41.9	41.9-40.7	40.7-55.0	55.0-45.0	45.0-55.0
<b>Belirlenen Deformasyon Miktarı (mm)</b>						
	16.27	17.40	14.43	11.43	15.98	8.66

Çizelge 6.11'de ilk iki deformasyon analizinden sonra belirlenen deformasyon miktarları OBJ1-REF1 ve OBJ1-REF2 bazlarında AR oranlarının önemli ölçüde yükselmesiyle sanal deformasyon miktarına daha fazla yaklaşmaya başlamış, fakat  $t_4-t_5$  zaman aralığında OBJ1-REF2 ve OBJ1-REF4 bazındaki çözümleme oranlarında düşüş meydana geldiği için sanal deformasyon miktarından uzaklaşmıştır.  $t_5-t_6$  zamanında ise yine ağdaki iki bazda çözümleme oranlarında iyileşme görülmüş ve belirlenen deformasyon miktarı sanal deformasyon miktarına yaklaşmıştır.

Doğu bileşen yönünde sanal deformasyon verilerek gerçekleştirilen dokuz periyottan oluşan ikişer saatlik deformasyon ölçüleri de benzer şekilde her iki senaryoda değerlendirilip düzenek üzerinde sanal olarak verilen deformasyonlar geliştirilen programla deformasyon analizi sonucunda belirlenmiş ve varyans homojenlik testi sonuçları Çizelge 6.12 ve 6.13'te, deformasyon analiz sonuçları ise Çizelge 6.14-6.21'de verilmiştir.



Çizelge 6.12. Doğu bileşeni yönündeki varyans homojenlik testi sonuçları (G+R)

Periyotlar	t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub> -t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub> -t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub> -t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub> -t <sub>6</sub>	t <sub>6</sub> -t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub> -t <sub>9</sub>
<b>m<sub>0</sub> (mm)</b>	2.24-2.22	2.22-2.23	2.22-2.04	2.04-1.92	1.92-1.92	1.92-1.57	1.57-1.57	1.57-1.58
<b>Ortak varyans (mm<sup>2</sup>)</b>	4.97	4.95	4.57	3.93	3.69	3.04	2.46	2.48
<b>Varyans homojenlik testi</b>	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.

Çizelge 6.13. Doğu bileşeni yönündeki varyans homojenlik testi sonuçları (G)

Periyotlar	t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub> -t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub> -t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub> -t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub> -t <sub>6</sub>	t <sub>6</sub> -t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub> -t <sub>9</sub>
<b>m<sub>0</sub> (mm)</b>	1.33-1.32	1.32-1.33	1.33-1.33	1.33-1.37	1.37-1.36	1.36-1.34	1.34-1.33	1.33-1.33
<b>Ortak varyans (mm<sup>2</sup>)</b>	1.76	1.76	1.77	1.82	1.86	1.82	1.78	1.77
<b>Varyans homojenlik testi</b>	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.

Çizelge 6.12’de Ortak varyanslar 2.46 – 4.97 mm<sup>2</sup> arasında değişirken dengelemeye ait birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hataları 1.57 – 2.24 mm arasında değişmektedir. G+R ölçüleriyle gerçekleştirilen deformasyon analizleri sonucunda varyansların homojen olduğu görülmektedir. GLONASS ölçüleri dengelemeden çıkarıldığında ise Çizelge 6.13’te görüldüğü gibi karesel ortalama hatalar ve ortak varyans değerleri iyileşmektedir.

Çizelge 6.14. t<sub>0</sub>-t<sub>1</sub> zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	9.64	110.87	Hareketli	17.35	390.85	Hareketli
REF1	0.17	0.15	Sabit	0.02	0.01	Sabit
REF2	0.15	0.01	Sabit	0.02	0.01	Sabit
REF3	0.13	0.06	Sabit	0.05	0.01	Sabit
REF4	0.11	0.02	Sabit	0.07	0.01	Sabit

Çizelge 6.15.  $t_1-t_2$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	16.97	208.29	Hareketli	11.33	205.01	Hareketli
REF1	0.39	0.08	Sabit	0.40	0.13	Sabit
REF2	0.31	0.08	Sabit	0.30	0.09	Sabit
REF3	0.49	0.13	Sabit	0.39	0.10	Sabit
REF4	0.31	0.09	Sabit	0.19	0.08	Sabit

Çizelge 6.16.  $t_2-t_3$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	7.93	91.94	Hareketli	14.15	147.07	Hareketli
REF1	0.22	0.03	Sabit	0.49	0.17	Sabit
REF2	0.29	0.17	Sabit	0.55	0.29	Sabit
REF3	0.30	0.05	Sabit	0.55	0.22	Sabit
REF4	0.21	0.10	Sabit	0.42	0.22	Sabit

Çizelge 6.17.  $t_3-t_4$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	18.82	697.54	Hareketli	17.47	354.59	Hareketli
REF1	0.17	0.03	Sabit	0.43	0.15	Sabit
REF2	0.62	0.35	Sabit	0.34	0.13	Sabit
REF3	0.36	0.17	Sabit	0.58	0.26	Sabit
REF4	0.10	0.01	Sabit	0.27	0.11	Sabit

Çizelge 6.18.  $t_4$ - $t_5$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	12.58	289.72	Hareketli	13.10	275.71	Hareketli
REF1	0.83	0.47	Sabit	0.60	0.24	Sabit
REF2	0.76	0.57	Sabit	0.52	0.21	Sabit
REF3	0.95	0.45	Sabit	0.66	0.23	Sabit
REF4	0.52	0.43	Sabit	0.43	0.22	Sabit

Çizelge 6.19.  $t_5$ - $t_6$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	15.79	590.51	Hareketli	14.08	369.15	Hareketli
REF1	0.37	0.15	Sabit	0.16	0.02	Sabit
REF2	0.30	0.26	Sabit	0.15	0.04	Sabit
REF3	0.40	0.14	Sabit	0.07	0.01	Sabit
REF4	0.26	0.17	Sabit	0.29	0.16	Sabit

Çizelge 6.20.  $t_6$ - $t_7$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	10.84	131.58	Hareketli	9.30	64.47	Hareketli
REF1	0.22	0.06	Sabit	0.25	0.06	Sabit
REF2	0.19	0.13	Sabit	0.25	0.12	Sabit
REF3	0.18	0.04	Sabit	0.27	0.05	Sabit
REF4	0.12	0.05	Sabit	0.14	0.05	Sabit

Çizelge 6.21. t<sub>7</sub>-t<sub>8</sub> zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	15.69	376.04	Hareketli	14.45	244.38	Hareketli
REF1	0.91	0.99	Sabit	0.26	0.06	Sabit
REF2	0.76	1.04	Sabit	0.42	0.16	Sabit
REF3	0.97	0.90	Sabit	0.26	0.04	Sabit
REF4	0.55	0.92	Sabit	0.29	0.10	Sabit

Çizelge 6.14 - 6.21 birlikte değerlendirildiğinde, doğu bileşeni yönünde obje noktasında sanal olarak oluşturulan 10'ar mm büyüklüğündeki deformasyonların G+R gözlemleriyle 7.93 - 18.82 mm arasında değişen değerlerde elde edilebildiği görülmektedir. GLONASS gözlemleri ölçülerden çıkarılınca aynı deformasyonlar 9.3 - 17.47 mm arasında değişen değerlerde elde edilebilmektedir. Doğru bileşeni yönünde hem G+R hem de G uydu kombinasyonlarında elde edilen sonuçlar deformasyona uğrayan noktanın doğru bir şekilde belirlenebildiğini göstermektedir. G+R gözlemleri için t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub>, t<sub>3</sub>-t<sub>4</sub> periyotları, G gözlemleri içinse t<sub>0</sub>-t<sub>1</sub>, t<sub>3</sub>-t<sub>4</sub> periyotları arasında belirlenen deformasyonların düzenerk üzerinde verilen sanal deformasyon miktarından bir miktar uzaklaştığı görülmektedir. Bu nedenle Kuzey yöndekine benzer şekilde Bernese v5.2'deki AR oranları da incelenmiş ve Çizelge 6.22 ve 6.23'te verilmiştir.

Çizelge 6.22. G+R için faz başlangıç belirsizliği çözümleme oranları

Baz	Ölçü Periyotları							
	t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub> -t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub> -t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub> -t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub> -t <sub>6</sub>	t <sub>6</sub> -t <sub>7</sub>	t <sub>7</sub> -t <sub>8</sub>
OB-R1	22.4-20.4	20.4-20.4	20.4-23.0	23.0-19.8	19.8-32.0	32.0-32.0	32.0-32.0	32.0-32.0
OB-R2	59.5-59.5	59.5-49.5	49.5-33.3	33.3-26.4	26.4-40.0	40.0-40.0	40.0-40.0	40.0-40.0
OB-R3	31.1-30.7	30.7-31.1	31.1-35.2	35.2-26.5	26.5-38.8	38.8-38.8	38.8-38.8	38.8-38.8
OB-R4	44.0-21.0	21.0-30.0	30.0-23.5	23.5-23.8	23.8-19.0	19.0-22.7	22.7-23.8	23.8-14.3
<b>Belirlenen Deformasyon Miktarı (mm)</b>								
	9.64	16.97	7.93	18.82	12.58	15.79	10.84	15.69

Çizelge 6.22, analizlerde kullanılan her iki periyotta ağıdaki iki baz vektöründe AR oranları ölçülerin gerçekleştirildiği zamanlarda aynı anda ~%20'ye düştüğünde, ölçülerden belirlenebilen deformasyon miktarının sanal deformasyon miktarından uzaklaştığını göstermektedir. Hem OBJ1-REF1 hem de OBJ1-REF4 baz vektörleri için AR oranları,  $t_3$  ve  $t_4$  periyotları arasında ~%20'ye düşmüştür. Bu nedenle ölçülerden belirlenen deformasyon miktarı 18,82 mm'ye varan değeriyle sanal deformasyon miktarından uzaklaşmıştır.  $t_2$  kampanyasındaki AR oranlarının  $t_1$ 'e göre daha düşük olması,  $t_1$ - $t_2$  analiz sonuçlarında belirlenen deformasyon miktarının sanal deformasyon miktarından uzaklaşmasına neden olmuştur.  $t_5$ - $t_6$  ve  $t_7$ - $t_8$  periyotlarında baz vektörlerinden birinde sırasıyla %19,0 ve %14,3 AR oranlarının bulunması nedeniyle, elde edilen deformasyon miktarları 15 mm civarına yükselerek sanal deformasyon değerinden uzaklaşmıştır.

Çizelge 6.23. GPS için faz başlangıç belirsizliği çözümleme oranları

Baz	Ölçü Periyotları							
	$t_0$ - $t_1$	$t_1$ - $t_2$	$t_2$ - $t_3$	$t_3$ - $t_4$	$t_4$ - $t_5$	$t_5$ - $t_6$	$t_6$ - $t_7$	$t_7$ - $t_8$
<b>OB-R1</b>	20.1-20.4	20.4-28.1	28.1-22.4	22.4-18.9	18.9-28.0	28.0-26.1	26.1-32.0	32.0-27.3
<b>OB-R2</b>	57.5-47.5	47.5-48.7	48.7-35.6	35.6-25.3	25.3-38.4	38.4-41.8	41.8-46.7	46.7-40.0
<b>OB-R3</b>	30.1-32.9	32.9-32.3	32.3-34.8	34.8-27.1	27.1-36.4	36.4-40.4	40.4-40.8	40.8-38.8
<b>OB-R4</b>	45.0-23.0	23.0-33.2	33.2-22.9	22.9-22.9	22.9-25.6	25.6-22.9	22.9-25.5	25.5-19.1
<b>Belirlenen Deformasyon Miktarı (mm)</b>								
	17.35	11.33	14.15	17.47	13.10	14.08	9.30	14.45

Çizelge 6.23'e göre analizlerdeki  $t_0$ - $t_1$  periyodunda üç tane baz vektöründe AR çözüm oranlarının %20'ye yakın olması,  $t_3$ - $t_4$  periyodunda dört baz vektöründe bu oranların %20'ye yakın olup OBJ1-REF1 baz vektöründe %18.9'a düşmesi ölçülerden belirlenen deformasyon miktarlarını gerçek değerden uzaklaştırmıştır.  $t_2$ - $t_3$  ve  $t_7$ - $t_8$  zaman aralıklarında bazı baz vektörlerinde AR çözümleme oranlarında ~%10 civarında düşüşlerin olması bu periyotlarda belirlenen deformasyon miktarlarının 14 mm seviyelerinde belirlenmesine yol açmıştır. Bu durumun, ölçülerinin yapıldığı zamandaki uydu geometrisi ve alınan sinyal kalitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir

Yatay yöndeki araştırmalar tamamlandıktan sonra geliştirilen programla yukarı yönlü deformasyonların araştırılması için sanal deformasyon verilerek gerçekleştirilen dokuz periyottan oluşan birer saatlik deformasyon ölçüleri aynı strateji ile

değerlendirilmiş ve varyans homojenlik testi sonuçları Çizelge 6.24 – 6.25'te, deformasyon analiz sonuçları ise Çizelge 6.26-6.33'te verilmiştir.

**Çizelge 6.24.** Yukarı bileşen yönündeki varyans homojenlik testi sonuçları (G+R)

Periyotlar	t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub> -t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub> -t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub> -t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub> -t <sub>6</sub>	t <sub>6</sub> -t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub> -t <sub>9</sub>
<b>m<sub>0</sub> (mm)</b>	1.83-1.83	1.83-1.83	1.83-1.83	1.83-1.83	1.83-2.20	2.20-2.20	2.20-2.20	2.20-2.20
<b>Ortak varyans mm<sup>2</sup></b>	3.35	3.35	3.35	3.35	4.20	4.84	4.84	4.84
<b>Varyans homojenlik testi</b>	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.

**Çizelge 6.25.** Yukarı bileşen yönündeki varyans homojenlik testi sonuçları (G)

Periyotlar	t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub> -t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub> -t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub> -t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub> -t <sub>6</sub>	t <sub>6</sub> -t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub> -t <sub>9</sub>
<b>m<sub>0</sub> (mm)</b>	1.41-1.41	1.41-1.42	1.42-1.41	1.41-1.41	1.41-1.42	1.42-1.40	1.40-1.39	1.39-1.40
<b>Ortak varyans (mm<sup>2</sup>)</b>	1.99	2.00	2.00	1.99	2.00	1.98	1.95	1.95
<b>Varyans homojenlik testi</b>	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.	Varyanslar homojendir.

Çizelge 6.24'te ortak varyanslar 3.35 – 4.84 mm<sup>2</sup> arasında değişirken birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hataları 1.83 – 2.20 mm arasında değişmektedir. G+R ölçüleriyle gerçekleştirilen deformasyon analizleri sonucunda varyansların homojen olduğu görülmektedir. GLONASS ölçüleri dengelemeden çıkarıldığında ise Çizelge 6.25'te görüldüğü gibi varyans homojenlik testi sonuçları değişmemiş, karesel ortalama hatalar ve ortak varyans değerleri iyileşmiştir.

Çizelge 6.26.  $t_0-t_1$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	6.67	10.55	Hareketli	14.91	8.53	Hareketli
REF1	0.40	0.12	Sabit	0.10	0.01	Sabit
REF2	0.36	0.12	Sabit	0.11	0.02	Sabit
REF3	0.43	0.15	Sabit	0.05	0.01	Sabit
REF4	0.26	0.12	Sabit	0.06	0.01	Sabit

Çizelge 6.27.  $t_1-t_2$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	13.55	34.62	Hareketli	11.18	48.68	Hareketli
REF1	0.36	0.14	Sabit	0.16	0.02	Sabit
REF2	0.23	0.06	Sabit	0.34	0.15	Sabit
REF3	0.39	0.15	Sabit	0.24	0.05	Sabit
REF4	0.18	0.09	Sabit	0.10	0.03	Sabit

Çizelge 6.28.  $t_2-t_3$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	9.52	38.35	Hareketli	13.40	17.63	Hareketli
REF1	2.26	2.27	Sabit	0.75	0.35	Sabit
REF2	0.00	0.00	Sabit	0.59	0.36	Sabit
REF3	2.72	2.20	Sabit	0.84	0.34	Sabit
REF4	2.80	2.56	Sabit	0.53	0.32	Sabit

Çizelge 6.29.  $t_3$ - $t_4$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	7.79	11.47	Hareketli	8.20	33.90	Hareketli
REF1	0.68	0.31	Sabit	0.19	0.03	Sabit
REF2	0.55	0.30	Sabit	0.26	0.09	Sabit
REF3	0.75	0.31	Sabit	0.17	0.01	Sabit
REF4	0.43	0.29	Sabit	0.12	0.03	Sabit

Çizelge 6.30.  $t_4$ - $t_5$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	13.20	22.65	Hareketli	14.24	11.37	Hareketli
REF1	0.39	0.12	Sabit	0.19	0.05	Sabit
REF2	0.34	0.12	Sabit	0.34	0.13	Sabit
REF3	0.39	0.09	Sabit	0.09	0.01	Sabit
REF4	0.22	0.06	Sabit	0.25	0.09	Sabit

Çizelge 6.31.  $t_5$ - $t_6$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	10.12	38.37	Hareketli	12.88	4.98	Hareketli
REF1	1.13	0.91	Sabit	0.18	0.05	Sabit
REF2	0.92	0.86	Sabit	0.16	0.05	Sabit
REF3	1.24	0.92	Sabit	0.16	0.04	Sabit
REF4	0.70	0.86	Sabit	0.13	0.03	Sabit



Çizelge 6.32.  $t_6-t_7$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	12.29	13.76	Hareketli	15.10	15.05	Hareketli
REF1	0.31	0.07	Sabit	0.14	0.03	Sabit
REF2	0.33	0.10	Sabit	0.16	0.04	Sabit
REF3	0.37	0.11	Sabit	0.09	0.02	Sabit
REF4	0.17	0.05	Sabit	0.11	0.03	Sabit

Çizelge 6.33.  $t_7-t_8$  zamanı arasındaki analiz sonuçları

NN	G+R			G		
	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar	Def. Vektörü (mm)	Test büyüklüğü	Karar
OBJ1	10.59	21.60	Hareketli	16.92	37.78	Hareketli
REF1	0.88	0.59	Sabit	0.41	0.16	Sabit
REF2	0.65	0.46	Sabit	0.36	0.18	Sabit
REF3	0.98	0.56	Sabit	0.45	0.15	Sabit
REF4	0.54	0.49	Sabit	0.28	0.15	Sabit

Çizelge 6.26 - 6.33 birlikte incelendiğinde, yukarı bileşen yönünde obje noktasında sanal olarak oluşturulan 10'ar mm büyüklüğündeki deformasyonların G+R gözlemleriyle 6.67 - 13.55 mm arasında değişen değerlerde elde edilebildiği görülmektedir. GLONASS gözlemleri ölçülerden çıkarılınca aynı deformasyonlar 8.20 – 16.92 mm arasında değişen değerlerde elde edilebilmektedir. Gözlem sayısının azalması nedeniyle ölçülerden belirlenen deformasyonların bazı periyotlarda gerçek değerlerden uzaklaştığı, dolayısıyla yukarı bileşen yönünde G+R gözlemleri birlikte kullanıldığında deformasyonların daha doğru belirlenebildiği görülmektedir. Belirlenen vektörel deformasyon miktarlarının genel çoğunluğu ve analiz sonuçları verilen sanal deformasyon miktarı ile uyumludur. Yatay yöndeki analizlere benzer şekilde AR oranları da incelenmiş ve Çizelge 6.34 - 6.35'te verilmiştir.

Çizelge 6.34. G+R için faz başlangıç belirsizliği çözümleme oranları

Baz	Ölçü Periyotları							
	t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub> -t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub> -t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub> -t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub> -t <sub>6</sub>	t <sub>6</sub> -t <sub>7</sub>	t <sub>7</sub> -t <sub>8</sub>
<b>OB-R1</b>	22.2-16.0	16.0-29.4	29.4-20.0	20.0-16.7	16.7-36.1	36.1-22.2	22.2-33.3	33.3-27.6
<b>OB-R2</b>	50.0-50.0	50.0-50.0	50.0-51.6	51.6-51.6	51.6-50.0	50.0-43.5	43.5-43.5	43.5-45.0
<b>OB-R3</b>	28.1-28.1	28.1-28.1	28.1-28.7	28.7-28.7	28.7-28.1	28.1-27.9	27.9-27.9	27.9-28.8
<b>OB-R4</b>	37.0-37.0	37.0-37.0	37.0-38.0	38.0-38.0	38.0-37.0	37.0-44.7	44.7-44.7	44.7-45.9
<b>Belirlenen Deformasyon Miktarı (mm)</b>								
	6.67	13.55	9.52	7.79	13.20	10.12	12.29	10.59

Çizelge 6.34'te deformasyon analizinde kullanılan her iki periyotta ağıdaki baz vektörlerinde AR oranlarından bir tanesi %20'nin altına düştüğünde, ölçülerden belirlenebilen deformasyon miktarının sanal deformasyon miktarından uzaklaştığı görülmektedir. t<sub>0</sub>-t<sub>1</sub> ve t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub> zamanlarında AR oranlarından bir tanesi %16'ya düşmüş, t<sub>3</sub>-t<sub>4</sub> ve t<sub>4</sub>-t<sub>5</sub> zamanlarında ise %16.7'ye düşmüştür. Sözü edilen periyotlarda ölçülerden belirlenen deformasyonların düzenerk üzerinde sanal olarak meydana getirilen deformasyon miktarlarından uzaklaşmasında bu değerlerdeki düşüşün etkisinin olduğu düşünülmektedir.

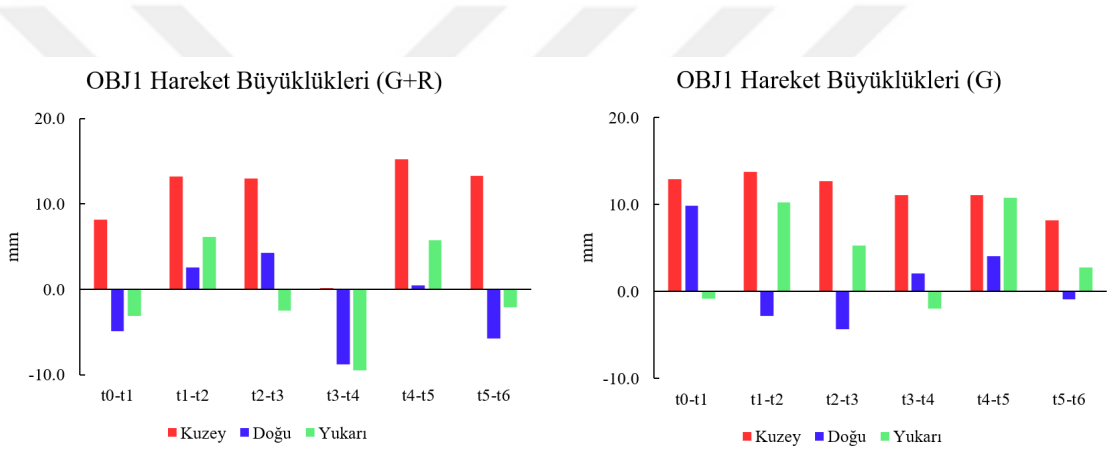
Çizelge 6.35. GPS için faz başlangıç belirsizliği çözümleme oranları

Baz	Ölçü Periyotları							
	t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub> -t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub> -t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub> -t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub> -t <sub>6</sub>	t <sub>6</sub> -t <sub>7</sub>	t <sub>7</sub> -t <sub>8</sub>
<b>OB-R1</b>	36.4-19.4	19.4-54.5	54.5-27.3	27.3-36.4	36.4-20.0	20.0-26.4	26.4-18.3	18.3-20.0
<b>OB-R2</b>	44.1-44.1	44.1-44.1	44.1-44.1	44.1-44.1	44.1-44.1	44.1-43.8	43.8-43.8	43.8-43.8
<b>OB-R3</b>	37.2-37.2	37.2-37.2	37.2-37.2	37.2-37.2	37.2-27.2	27.2-43.8	43.8-43.8	43.8-43.8
<b>OB-R4</b>	46.2-26.2	26.2-46.2	46.2-46.2	46.2-46.2	46.2-46.2	46.2-51.2	51.2-51.2	51.2-51.2
<b>Belirlenen Deformasyon Miktarı (mm)</b>								
	14.91	11.18	13.40	8.20	14.24	12.88	15.1	16.92

Çizelge 6.35'te genel anlamda yüksek çözüm oranlarına ulaşıldığı görülmektedir. Ancak, bazı değerlerin ~%20'li seviyelere ve altına düşmesi ölçülerden belirlenen deformasyon miktarı üzerinde etkisini göstermiştir. t<sub>0</sub>-t<sub>1</sub>, t<sub>6</sub>-t<sub>7</sub> ve t<sub>7</sub>-t<sub>8</sub> periyotlarında OBJ1-REF1 baz vektöründeki çözüm oranlarından bir tanesinin %20'nin altına inmesiyle birlikte deformasyon miktarları sırasıyla 14.91 mm, 15.1 mm ve 16.92 mm olarak belirlenebilmiştir. Sadece G ve G+R uydu kombinasyonları ile yapılan ölçülerin gerçekleştirildiği zamanlardaki uydu geometrisi ve alınan sinyallere bağlı olarak AR

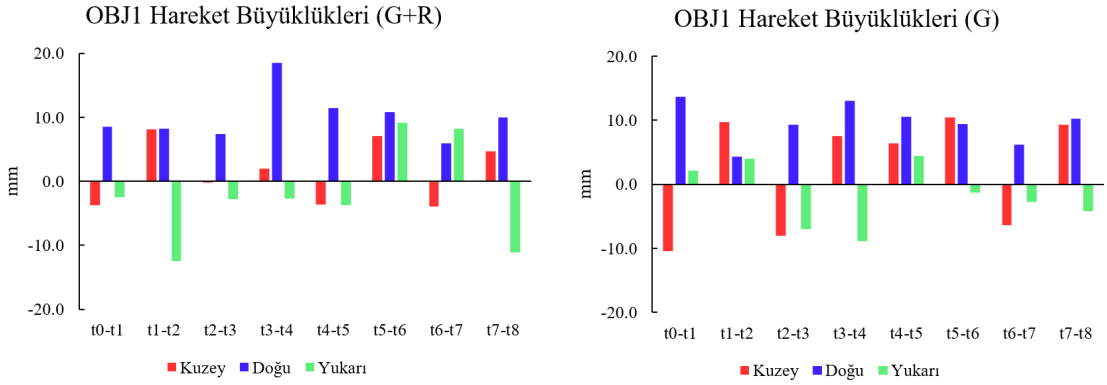
oranlarındaki değişimlerin, belirlenen deformasyon miktarları üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

GNSS ağlarının dengelenmesi sonucunda yer merkezli kartezyen koordinatlar (X, Y, Z) elde edilmekte ve bu koordinatlar yardımıyla deformasyonların büyüklükleri belirlenebilmektedir. Ancak, deformasyonların yönleri yatay/düşey düzlemde tam olarak ortaya konulamamaktadır. Bu nedenle, hareket büyüklükleri lokal jeodezik koordinat sistemine (kuzey, doğu, yukarı) dönüştürülmüştür. Sanal deformasyonlar; kuzey bileşeni yönünde verildiğinde lokal jeodezik koordinat sisteminde elde edilen hareket büyüklüklerinin grafikleri Şekil 6.3'te, doğu bileşeni yönünde verildiğinde elde edilen hareket büyüklüklerinin grafikleri Şekil 6.4'te, yukarı bileşen yönünde verildiğinde elde edilen hareket büyüklüklerinin grafikleri ise Şekil 6.5'te verilmiştir.



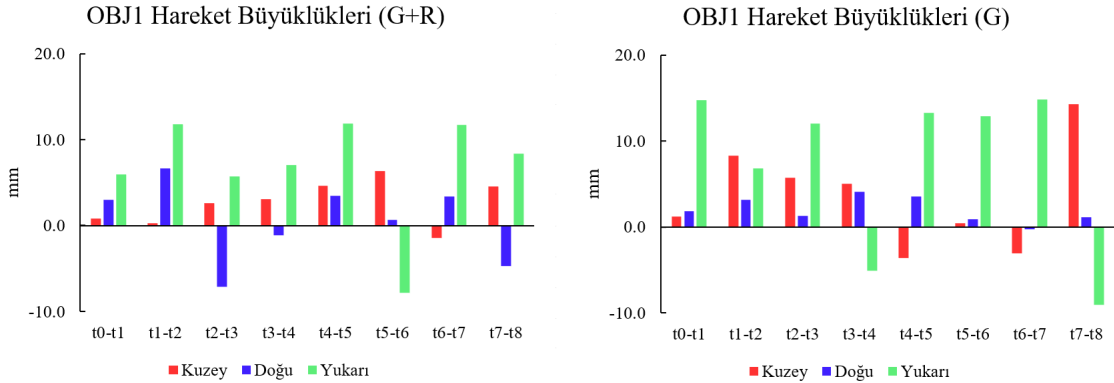
Şekil 6.3. Kuzey yönde sanal deformasyon verilmesi durumunda hareket büyüklükleri

Şekil 6.3 incelendiğinde hem G hem de G+R gözlemleriyle belirlenen hareket büyüklüklerinin genelde sanal deformasyon değeriyle uyumlu olduğu görülmektedir. GLONASS gözlemleri ölçülerden çıkarıldığında ise doğu ve yukarı eksenler yönünde de bazı sıçramaların meydana geldiği, sadece t3-t4 periyodunda lokal jeodezik koordinat eksenleri yönünde daha doğru deformasyon miktarlarının belirlendiği görülmektedir.



Şekil 6.4. Doğu yönde sanal deformasyon verilmesi durumunda hareket büyüklükleri

Şekil 6.4'te hem G hem de G+R gözlemleriyle doğu yöndeki deformasyonların düzenek üzerindeki sanal deformasyon miktarına oldukça yakın şekilde belirlenebildiği, ölçülerden GLONASS gözlemleri çıkarıldığında ise diğer eksenlerdeki sıçramaların sayısının arttığı ve doğu yönünde meydana getirilen hareketin her iki değerlendirme senaryosunda da büyük ölçüde yakalanabildiği görülmektedir.



Şekil 6.5. Yukarı yönde sanal deformasyon verilmesi durumunda hareket büyüklükleri

Yukarı yöndeki deformasyonları gösteren Şekil 6.5 incelendiğinde G+R gözlemleri birlikteyken, deformasyonların gerçek değere yakın şekilde belirlenebildiği ancak dengeleme öncesindeki yaklaşık koordinatlardan uzaklaşıldıkça diğer eksenlerde de beklenmedik şekilde hareketlerin meydana geldiği görülmektedir. Ölçülerden GLONASS gözlemleri çıkarıldığında ise yukarı yöndeki deformasyon miktarlarının sanal deformasyon miktarından uzaklaştığı görülmektedir.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Jeodezik deformasyon ağları, yer kabuğu deformasyonlarını, mühendislik yapılarında meydana gelen yer değiştirmeleri, heyelanları, maden ocakları gibi kazı alanlarındaki deformasyonları izlemek için kullanılmaktadır. İşletme aksaklıklarını en aza indirmek için jeodezik deformasyon ağlarında ölçmeler kısa sürede gerçekleştirilmeli ve analiz sonuçlarına kısa sürede ulaşılmalıdır. Analiz sonuçlarına kısa sürede ulaşabilmek amacıyla da deformasyon analizi için geliştirilmiş bilgisayar programlarına ihtiyaç vardır.

Son zamanlarda geliştirilen farklı robust analiz yöntemlerinin güvenilir ve doğru sonuçlar verip vermediğinin test edildiği bilimsel çalışmalarda sonuçlar genellikle IWST ile karşılaştırılmaktadır. IWST yöntemi 1D, 2D, 3D ağlarda uygulanabilen ve ağdaki hareketli noktalar hakkında ön bilgiye ihtiyaç duymayan bir yöntemdir. Yöntemden elde edilen sonuçlar gerçek deformasyon modelini yansıtmakta ve fark vektörü üzerinde en az bozulma etkisine sahip olduğundan, en iyi datumun belirlenmesini sağlamaktadır. Yöntem GNSS ağlarında deformasyon analizi gerçekleştirmek için kullanışlı ve programlamaya uygundur. Bu nedenle çalışmada, GNSS ağlarında deformasyon analizi için IWST yöntemini kullanan DefAn-for-GNSS-networks isimli bir program geliştirilmiş ve açık kaynak kodlu olarak paylaşılmıştır. Programın kodları fen ve mühendislik alanında kullanılan teknolojik programlama dillerinden biri olan R dilinde yazılmıştır. Programda, Bernese v5.2 yazılımından elde edilen ve içerisinde jeodezik ağdaki noktaların koordinatları ile bilinmeyenlere ilişkin kovaryans matrisi elemanlarının bulunduğu çözümden bağımsız veri değişim formatı (SINEX) dosyaları ile sonuç (OUT) dosyalarının direkt olarak girdi verisi şeklinde kullanılabilir. Farklı GNSS değerlendirme yazılımlarından elde edilen sonuçlarla da programın tanıdığı formata göre düzenleme yapılarak analiz gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, girdi verisi şeklinde kullanılacak ölçü periyotlarının sayısında da bir sınırlama bulunmamaktadır. Program Unix/Linux ve Windows işletim sistemlerinde çalışabilmekte ve sonuçları HTML ve PDF olmak üzere iki farklı formatta rapor halinde sunabilmektedir. GNSS ağlarında nokta hareketleri yer merkezli kartezyen koordinat sisteminde elde edildiğinden lokal jeodezik koordinatlara (kuzey, doğu ve yukarı) dönüşüm işlemi de gerçekleştirilerek noktaların yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarını da sonuç raporlarında göstermektedir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen programın hesaplama performansını test etmek için Selçuk Üniversitesi kampüs alanında mikro jeodezik bir GNSS ağı tasarlanmış

ve tasarlanan ölçü düzeneği üzerinde sanal deformasyonlar oluşturularak kuzey yönde yedi periyottan, doğu ve yukarı yönlerde ise dokuzar periyottan oluşan GNSS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Referans noktalarında GNSS alıcıları sürekli gözlem yaparken obje noktasındaki düzener üzerinde iki saatte bir 1 cm yatay yönlü sanal deformasyon meydana getirilerek ölçüler yapılmıştır. Düşey yöndeki periyot ölçülerinde ise obje noktasında her bir saatlik ölçü süresi sonunda 1 cm deformasyon verilmiştir. Mikro jeodezik GNSS ağında gerçekleştirilen bu GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinde Bernese v5.2 yazılımı kullanılmış ve her periyoda ait ölçüler hem sadece G hem de G+R uydu kombinasyonları ile değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Değerlendirme sonucunda 44 adet jeodezik deformasyon analizi (22 adet G+R, 22 adet G) gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kuzey, doğu ve yukarı bileşenler yönünde obje noktasında sanal olarak oluşturulan 10'ar mm büyüklüğündeki deformasyonların geliştirilen program ile hem G+R hem de sadece G uydu kombinasyonlarında doğru bir şekilde belirlenebildiği görülmüştür. GLONASS gözlemleri ölçülerden çıkarıldığında gözlem sayısının azalması nedeniyle ölçülerden belirlenen deformasyonlar düzener üzerinde verilen sanal deformasyon miktarından uzaklaşmış, dolayısıyla G+R gözlemleri birlikte kullanıldığında deformasyon miktarları daha doğru belirlenebilmiştir. Analizlerde kullanılan GNSS verilerindeki çözümlenelerde AR oranları açısından bir değerlendirme yapıldığında, hem G hem de G+R çözümlerinde ağdaki baz vektörlerinden bir tanesi için bu değer %20 seviyelerine veya daha altına düşmesinin ölçülerden belirlenebilen deformasyon miktarının belirlenmesinde olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Ayrıca, değerlendirme yapılan periyotların farklı uydu geometrisine sahip olması ve alınan sinyallerdeki farklılığın yatay ve düşey analizlerde AR oranlarında farklılaşmaya neden olduğu görülmüştür. AR oranlarının daha doğru olarak yatay ve düşey eksenlerdeki deformasyon analizinde bir karşılaştırmasının yapılabilmesi için, eksenler yönündeki deformasyonların aynı zaman dilimi içinde, aynı uydu geometrisine sahip olarak gerçekleştirilmesinin daha doğru sonuç vereceği düşünülmektedir.

Tüm analizler sonucunda elde edilen vektörel deformasyon büyüklükleri sanal deformasyon değeriyle uyumlu şekilde elde edilmiştir. Geliştirilen programın noktalardaki hareket büyüklüklerini lokal jeodezik koordinat sistemine dönüştürerek de sunabilmesi sayesinde sanal olarak deformasyon verilen noktada elde edilen yatay ve düşey yöndeki hareket büyüklükleri incelenmiş ve ilgili eksen yönünde de beklenen

hareketlerin büyük ölçüde yakalanabildiği ortaya konulmuştur. Diğer eksenler yönünde elde edilen hareket büyüklüklerinin ölçü hatalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bernese v5.2 bilimsel yazılımı ile ölçüleri değerlendirilen GNSS ağına, geliştirilen program ile deformasyonların geometrik boyutları ve istatistiksel olarak anlamlı nokta hareketleri çok hızlı ve pratik bir şekilde tespit edilebilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, geliştirilen bu programın yer kabuğu ve yapılarıdaki deformasyonların geometrik boyutlarını tespit etmede büyük ölçüde kolaylık ve zamandan tasarruf sağlayacağını göstermektedir. Ayrıca geliştirilen programın uydu sistemlerinden bağımsız olması, GALILEO ve BEIDOU gibi daha sonra kullanıma sunulan uydularla konum belirleme sistemlerinin deformasyon araştırmalarına dahil edilerek yeni bilimsel çalışmaların gerçekleştirilmesinde oldukça faydalı bir araç olarak kullanılabilmesini sağlayacaktır. İlerleyen süreçte bu tür programların ve GNSS değerlendirme yazılımlarıyla işlenebilen gözlem türü sayılarının artmasıyla deformasyon analizi gibi hesap yoğun işlemlerin bir sunucuya aktararak evrensel bir platformdan kullanıcıların hizmetine sunulması mümkün olabilecektir. Deformasyon analizi sonucunda deformasyonların geometrik büyüklükleri belirlendikten sonra elde edilen anlamlı nokta hareketlerinin yorumlanması disiplinler arası bir yaklaşımla yapılmalıdır. Bir mühendislik yapısındaki veya yer kabuğundaki hareketlerin insan hayatını tehlikeye atıp atmayacağı konusunda nihai bir karar verilirken uzman görüşleri mutlaka dikkate alınmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Acar, M., Özlüdemir, M. T., Erol, S., Çelik, R. N. ve Ayan, T., 2008, Kinematic landslide monitoring with Kalman filtering, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8 (2), 213-221.
- Açıkgöz, M., 2010, Türkiye ulusal yatay kontrol ağı'nın kuzeybatı bölümünde yer kabuğu hareketleri nedeniyle oluşan deformasyonun yersel ve GPS ölçüleri ile araştırılması, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halıcioğlu, K., Yılmaz, O. ve Havazlı, E., 2016, Slip Rates and Seismic Potential on the East Anatolian Fault System Using an Improved GPS Velocity Field, *Journal of Geodynamics*, 94-95 (2016) 1-12.
- Amiri-Simkooei, A.R., Alaei-Tabatabaei, S.M., Zangenah-Nejad, F. ve Voosoghi, B., 2017, Stability Analysis of Deformation-Monitoring Network Points Using Simultaneous Observation Adjustment of Two Epochs, *J Surv Eng*, 143(1).
- Ansari, K. ve Park, K-D., 2022, Geodetic Analysis inside the South Korean Peninsula and Impact of the 2011 Tohoku–Oki (TO) Earthquake, *Acta Geologica Sinica*, 96, (2), 631-647.
- Atasoy V., Öztürk E., 2005, Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri ve Sonuçların Yorumu, *Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi*, 50, (51), 27-40.
- Aydın, C., 2017, Effects of Displaced Reference Points on Deformation Analysis, *Journal of Surveying Engineering-ASCE*, 143, (3), 1-1.
- Aydın, C., Aykut, N.O. ve Akpınar, B., 2018, GNSS-PPP ile Elde Edilen Düşey Yerdeğiştirmenin Doğruluğu, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (2018) 605-615.
- Bak, M., 2014, Jeodezik çalışmalarla İzmit körfezi ve yakın çevresi kabuk deformasyonlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bak, M. ve Çelik, R.N., 2022, Web-NDefA: Açık kaynak kodlu GNSS tabanlı deformasyon analizi platformu, *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 9, (2), 166-181.
- Barzaghi, R., Cazzaniga, N.E., De Gaetani, C.I., Pinto, L. ve Tornatore, V., 2018, Estimating and Comparing Dam Deformation Using Classical and GNSS Techniques, *Sensors*, 18, (3), 756.
- Baydoğan, M., G., Çetin, U., ve Orbay, B., 2014, R ile Programlamaya Giriş ve Uygulamalar, *XIX. Türkiye'de İnternet Konferansı*, İzmir.



- Bilgen, B., 2017, GNSS Tekniği ile Yatay Yöndeki Deformasyonların Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Bilgen, B., İnal, C. ve Bülbül, S., (2018), The Effect of Session Duration in Determination of Point Movements with GNSS, *FIG International Congress*, Turkey.
- Bülbül, S., 2013, Yatay Yöndeki Deformasyonların Belirlenmesinde Bağıl Güven Elipsleri ve Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yönteminin Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Bülbül, S., 2018, Tusaga-Aktif Noktalarında Renkli Gürültülerden Arındırılmış Hız Bileşenlerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Caspary, W. F., 2000, Concepts of Network and Deformation Analysis, Australia, School of Geomatic Engineering The University of New Southwales UNSW, p. 1-3.
- Cederholm, P., 2003, Deformation Analysis Using Confidence Ellipsoids, *Survey Review*, 37, (287), 31-45.
- Chen, Y. Q., 1983. Analysis of deformation surveys – a generalized method. Technical Report no. 94, Dept. of Surveying Engineering, University of New Brunswick.
- Chen, Y. Q., Chrzanowski, A., Secord, J. M., 1990. A strategy for the Analysis of the Stability of Reference Points in Deformation Surveys, *Cism Journal ACSGS*, 44, (2), 141-149.
- Chrzanowski, A. ve Wilkins, R., 2006, Accuracy Evaluation of Geodetic Monitoring of Deformations in Large Open Pit Mines, *The 12<sup>th</sup> FIG International Symposium*, Baden.
- Chrzanowski, A., Chen, Y. Q., Secord, J. M., 1986. Report of the adhoc committee on the Analysis of Deformation Surveys. Proceedings of the FIG XVIII International Congress, Toronto, June. Vol. 6, pp. 165-185.
- Dach, R., Lutz, S., Walser, P., ve Fridez, P., 2015, Bernese GNSS Software Version 5.2 User Manual, Astronomical Institute, University of Bern.
- Doğru, A., Görgün, E., Aktuğ, B. ve Özener, H., 2018, Seismic hazard assessment of the central North Anatolian Fault (Turkey) from GPS-derived strain rates and b-values, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9, (1), 356-367.
- Doğanalp, S. ve Turgut, B., 2009, Statik ve Kinematik Modelde Deformasyon Analizi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 31-44.
- Du, Y., Huang, G., Zhang, Q., Gao, Y., Gao., Y., 2020. Asynchronous RTK Method for Detecting the Stability of the Reference Station in GNSS Deformation Monitoring. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(5), 1320.

- Erdoğan, B., 2011, Deformasyon Analizi Güvenilirliğinin Farklı Yöntemler için Araştırılması, Doktora Tezi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Erol, S., 2008, GPS ve nivelman ölçüleriyle deformasyonların belirlenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Eser, M.T., Aksu, G. ve Güzeller, C.O., 2019, R Programlama Dili ile Temel İstatistikler ve Raporlama, Pegem Akademi Yayınları 2. Baskı, Ankara.
- Eyübagil, E., 2020, GNSS ölçüleri ile Tektonik Hareketlerin Modellenmesi: Gülbahçe Fayı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.
- Gökalp, E., (1997), Deformasyon Ağlarındaki Referans ve Objeler Noktalarının Hareketli Olup Olmadığının Belirlenmesi, *Harita Dergisi*, 117 (2) 36-46.
- Gökalp, E. ve Taşçı, L., 2009. Deformation Monitoring by GPS At Embankment Dams and Deformation Analysis. *Survey Review*, 41(311) 86-102.
- Gunawan, E., Widiyantoro, S., Zulfakriza, Meilano, I. ve Pratama, C., 2019, Postseismic deformation following the 2 July 2013 Mw 6.1 Aceh, Indonesia, earthquake estimated using GPS data, *Journal of Asian Earth Sciences*, 177, (2019), 146-151.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Wasle, E., 2008, GNSS global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo and more, *Springer-Verlag*, Austria-Wien.
- İhaka, R. ve Gentleman, R., 1996, R: A Language for Data Analysis and Graphics, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5 (3), 299-314.
- İnal, C., 1990, Yerkabuğu ve Yapılardaki Deformasyonların Oluşumu ve Yorumu, *Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi*, (66), 42-48.
- İnal, C., 2022, Deformasyon ölçülerinin analizi, Basılmamış Ders Notları, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü*, Konya.
- İnal, C. ve Salgın, Ö., 2008, Farklı GPS yazılımları ile değerlendirilen GPS baz uzunluklarının bilinen değerler ile karşılaştırılması, *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, 23, (2), 13-24.
- İnal, C. ve Ceylan, A., 2002, S Transformasyonu Uygulama Alanları, *S.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Konya.
- Isawi, S., Schuh, H., Männel, B. ve Sakic, P., 2022, Stability analysis of the Iraqi GNSS stations, *Journal of Applied Geodesy*, 2022-0001.
- Jianshaneg, Y., Bin, Z., Kai, T. ve Dangzhen, W., 2018, Analysis of GNSS Postseismic Deformation of Wenchuan Earthquake, *Acta Geodaetica et Cartographia Sinica*, 47, (9), 1196-1206.

- Jouanne, F., Gajurel, A., Mugnier, A., Bollinger, L., Adhikari, L.B., Koirala, B., Cotte, N., Bhattarai, R., Pecher, A., Bascou, P. ve Huyghe, P., 2019, Postseismic deformation following the April 25, 2015 Gorkha earthquake (Nepal): Afterslip versus viscous relaxation, *Journal of Asian Earth Sciences*, 176, (2019), 105-119.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2018, GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori ve Uygulama, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 1-5.
- Karabulut, M.F., 2017, Yerkabuğu Deformasyonlarının GNSS Ölçüleri ile Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Kazancı, E., Başoğlu, N. ve Bayrak, T., (2014), Statik TUSAGA-Aktif ölçüleri yardımı ile heyelanların izlenmesi Gümüşhane İmam Hatip Lisesi heyelan örneği, HKMO-Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 7. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Çorum.
- Kearns, T.J., Wang, G., Bao, Y., Jiang, J. ve Lee, D., 2015, Current land subsidence groundwater level changes in the Houston metropolitan area (2005-2012), *J. Surv. Eng.-Asce*, 141, (4), 1-16.
- Konakoğlu, B., 2021, Deformation Analysis Using Static, Kinematic and Dynamic Geodetic Deformation Models with GNSS: Deriner Dam, Artvin, Turkey, *Experimental Techniques*, 45 (2021) 645-660.
- Konakoğlu, B. ve Gökalp, E., 2018, Deformation Measurements and Analysis with Robust Methods: A Case Study, Deriner Dam, *Turkish Journal of Science and Technology*, 13, (1), 99-103.
- Köse, E. ve Taşçı, L., 2015, Prediction of the Vertical Displacement on the Crest of Keban Dam, *The Journal of Grey Sysem*, 27, (1), 12-20
- Kutterer, H., 2010, Geodetic deformation Analysis with Respect to an Extended Uncertainty Budget. In: *Handbook of Geomathematics*. Eds: Freeden W, Nashed MZ, Sonar T: Springer Berlin Heidelberg, p. 1077-1100.
- Li, Y., Zuo, X., Xiong, P., You, H., Zhang, H., Yang, F., Zhao, Y., Yang, Y., ve Liu Y., 2022, Deformation monitoring and analysis of Kunyang phosphate mine fusion with InSAR and GPS measurements, *Advances in Space Research*, 69, (2022), 2637-2658.
- Lim, M. C., Setan, H., Othman, R., ve Chong, A. K., 2012, Deformation detection for ISKANDARnet, *Survey Review*, 44(326), 198-207.
- Lutes, J., Chrzanowski, A., Bastin, G., ve Whitaker, C., (2001), 'Dimons' Software for Automatic Data Collection and Automatic Deformation Analysis, *The 10th FIG Int. Symposium on Deformation Measurements*.
- Moschas, F. ve Stiros, S., 2015, Dynamic deflections of a stiff footbridge using 100-Hz GNSS and accelerometer data, *J. Surv. Eng.-Asce*, 141, (4), 1-8.

- Nowel, K. ve Kaminski, W., 2014, Robust Estimation of Deformation from Observation Differences for Free Control Networks, *JGeod*, 2014, (88), 749-764.
- Nowel, K., 2016, Investigating efficacy of robust M-estimation of deformation from observation differences, *Survey Review*, 48, (346), 21-30.
- Oktar, O., Erdogan, H., Poyraz, F. ve Tiryakioğlu, İ., 2021, Investigation of deformations with the GNSS and PSInSAR methods, *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (2021) 2586.
- Özyaşar, M., 2009, İstanbul GPS nirengi ağı 1999 ve 2005 kampanyalarından yararlanarak İstanbul metropolitan alanında deprem sonrası hareketlerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Pehlivan, H., 2009, Gerçek zamanlı kinematik GPS yöntemiyle yapıların dinamik davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Poyraz, F., Hastaoğlu, K.Ö., Koçbulut, F., Tiryakioğlu, İ., Tatar, O., Demirel, M., Duman, H., Aydın, C., Ciğer, A.F., Gürsoy, O., Türk, T. ve Sığırıcı, R., 2019, Determination of the block movements in the eastern section of the Gediz Graben (Turkey) from GNSS measurements, *Journal of Geodynamics*, 123, (2019), 38-48.
- Richter, A., Ivins, E., Lange, H., Mendoza, L., Schröder, L., Hormaechea, J.L., Casassa, G., Marderwald, E., Fritsche, M., Perdomo, R., Horwath, M. ve Dietrich, R., 2016, Crustal deformation across the Southern Patagonian Icefield observed by GNSS, *Earth and Planetary Science Letters*, 452, (2016), 206-215.
- 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.
- Sağlam Selçuk, A., Gökten, Y.E. ve Aktuğ, B., 2016, The Stress State of The Region around İnönü-Eskişehir active fault system (Turkey); kinematic analysis accompanied with GPS Data, *J. Ind. Geophys. Union*, 20, (6), 527-535.
- Saleh, M. ve Becker, M., 2018, New estimation of Nile Delta subsidence rates from InSAR and GPS analysis, *Environmental Earth Sciences*, 78, (2019), 6.
- Satirapod, C., Simons, W.J.F. ve Promthong, C., 2008, Monitoring deformation of Thai geodetic network due to the 2004 Sumatra-Andaman and 2005 Nias earthquakes by GPS, *J. Surv. Eng.-Asce*, 134, (3), 83-88.
- Selendi, A., 2011, Marmara Bölgesi'nde yer kabuğu hareketlerinin GPS ve gravite ölçmeleri (2006-2010) ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- Setan, H. ve Singh, R., 2001, Deformation Analysis of a Geodetic Monitoring Network, *Geomatica*, 55, (3), 333-346.
- Setan, H. ve Othman, R., 2006. Monitoring of Offshore Platform Subsidence Using Permanent GPS Stations. *Journal of Global Positioning Systems*, 5(1) 17-21.
- Shen, N., Chen, L. ve Chen, R., 2022, Displacement detection based on Bayesian inference from GNSS kinematic positioning for deformation monitoring, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 167, (Part B), 108570.
- Şengün, Y.S., 2009, GPS ve Insar ölçülerini birlikte kullanarak İzmit depreminde oluşan deformasyonların belirlenmesi: Nokta seyrekleştirmede yeni bir algoritma, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Taşçı, L., 2003, Kaya Dolgu Barajlarda Deformasyonların GPS Yöntemi ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Taşçı, L., 2008, Dam Deformation Measurements with GPS, *Geodezija ir Kartografija*, 34, (4), 116-121.
- Taşçı, L., 2010, Analysis of Dam Deformation Measurements with the Robust and Non-Robust Methods, *Scientific Research and Essays*, 5, (14), 1770-1779.
- Taşçı, L., 2017, Çok Değişkenli Gri Sistem Teorisi ile Deformasyon Tahmini, *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 29, (1), 279-285.
- Taşçı, L. ve Köse, E., 2016, Deformation Forecasting Based on Multi Variable Grey Prediction Models, *The Journal of Grey System*, 28, (4), 56-64.
- Taşçı, L. ve Köse, E., 2018, Multy Variable Grey Method For Multy Point Deformation Analysis, *Turkish Journal of Science & Technology*, 13, (1), 65-68.
- Taşçı, L. ve Tunçez, M., 2018, Monitoring of Deformations in Open-pit Mines and Prediction of Deformations with the Grey Prediction Model, *The Journal of Grey System*, 30, (4), 155-166.
- Tiryakioğlu, İ., Aktuğ, B., Yiğit, C.Ö., Yavaşoğlu, H.H., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Poyraz, F., Taneli, E., Bulut, F., Doğru, A. ve Özener, H., 2018, Slip distribution and source parameters of the 20 July 2017 Bodrum-Kos earthquake (Mw6.6) from GPS observations, *Geodinamica Acta*, 30, (1), 1-14.
- Turan, S.N., Eyo, E.E., Acar, M. ve Bayrak, T., 2012, Periyodik toplanmış TUSAGA-Aktif ölçülerinin deformasyon izlemede kullanılabilirliğinin araştırılması, *Harita Teknolojileri Dergisi*, 4, (2), 19-29.
- Wang, J. Nie, G., Gao, S., Wu, S., Li, H. ve Ren, X., 2021, Landslide Deformation Prediction Based on a GNSS Time Series Analysis and Recurrent Neural Network Model, *Remote Sensing*, 2021 (13) 1055.

- Wang, G. ve Soler, T., 2012, OPUS for horizontal subcentimeter-accuracy landslide monitoring: Case study in the Puerto Rico and Virgin Islands Region, *J. Surv. Eng.-Asce*, 138, (3), 143-153.
- Wang, G. ve Soler, T., 2013, Using OPUS for measuring vertical displacements in Houston, Texas, *J. Surv. Eng.-Asce*, 139, (3), 126-134.
- Wang, G. ve Soler, T., 2015, Measuring land subsidence using GPS: Ellipsoid height versus orthometric height, *J. Surv. Eng.-Asce*, 141, (2), 1-12.
- Wang, X., Zhao, Q., Xi, R., Li, C., Li, G. ve Li, L., 2021. Review of Bridge Structural Health Monitoring Based on GNSS: From Displacement Monitoring to Dynamic Characteristic Identification. in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 80043-80065.
- Welsch, W. M. ve Heunecke, O., 2001, Models and Terminology For the Analysis of Geodetic Monitoring Observations-Official Report of the Ad-Hoc Committee of FIG Working Group 6.1-. The 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements. Orange, California, USA.
- Wilkins, R., Bastin, G. ve Chrzanowski, A., (2003), Monitoring of Structures and Steep Embankments: A Fully Automated Approach, *The CSCE Annual Conference*, Kanada.
- Xi, R., He, Q. ve Meng, X., 2021. Bridge monitoring using multi-GNSS observations with high cutoff elevations: A case study. *Measurement*, 168, (2021) 108303.
- Xi, R., Zhou, X., Jiang, W. ve Chen, Q., 2018. Simultaneous estimation of dam displacements and reservoir level variation from GPS measurements. *Measurement*, 122(2018) 247-256.
- Xiao, R., Shi, H., He, X., Li, Z. Jia, D. ve Yang, Z., 2019. Deformation monitoring of reservoir dams using GNSS: An application to south-to-north water diversion project, China. in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 54981-54992.
- Yang, Y., Zheng, Y., Yu, W., Chen, W. ve Weng, D., 2019. Deformation monitoring using GNSS-R technology, *Advances in Space Research*, 63(2019) 3303-3314.
- Yıldırım, A.F., 2007, Mühendislik yapılarının deformasyon analizinde GPS ölçülerinin kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Yılmaz, A., 2021, R Programlamaya Giriş, İnkılap Kitabevi-Kodlab Yayın Dağ. 1. Baskı, İstanbul.
- Yu, J., Tan, K., Zhang, C., Zhao, B., Wang, D. ve Li, Q., 2019, Present-day crustal movement of the Chinese mainland based on Global Navigation Satellite System data from 1998 to 2018, *Advances in Space Research*, 63, (2019), 840-856.