

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DEKİ SÜREKLİ GNSS GÖZLEMLERİNİN OTOMATİK
DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ

GEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

GÖKHAN GÜRBÜZ

OCAK 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DEKİ SÜREKLİ GNSS GÖZLEMLERİNİN OTOMATİK
DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Gökhan GÜRBÜZ

DANIŞMAN: Prof. Dr. Ş. Hakan KUTOĞLU

ZONGULDAK
Ocak 2019

KABUL:

Gökhan GÜRBÜZ tarafından hazırlanan “Türkiye’deki Sürekli GNSS Gözlemlerinin Otomatik Değerlendirilmesi ve Analizi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 25/01/2019.



Danışman: Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik
Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. Dr. Rahmi Nurhan Çelik
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



Üye: Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ
Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü



Üye: Doç. Dr. Tevfik ÖZLÜDEMİR
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



Üye: Prof. Dr. Çetin MEKİK
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Geomatik
Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

31/01/2019



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”


Gökhan GÜRBÜZ

ÖZET

Doktora Tezi

TÜRKİYE'DEKİ SÜREKLİ GNSS GÖZLEMLERİNİN OTOMATİK DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ

Gökhan GÜRBÜZ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU
Ocak 2019, 95 sayfa

Türkiye aktif deprem kuşağında yer alması sebebiyle gün içerisinde birçok deprem, heyelan, obruk, krip hareketleri gibi birçok jeodinamik ve sismik aktivite gerçekleşmektedir. Bu sebeple Türkiye jeodezi ve jeofizik bilimcileri için doğal bir laboratuvar görevi görmektedir. Dolayısı ile GNSS verileri birçok alanda kullanılmaktadır. Veri elde edilmesi ve değerlendirme aşamalarının çok daha hızlı bir şekilde yapılabilmesi için diğer ülkelerde kullanılan analiz merkezlerinden Türkiye'de de özellikle konu ile ilgili akademik çalışmaların yapıldığı üniversitelerde bulunması gerekmektedir. Çalışma kapsamında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü'ne VİDA adı verilen analiz merkezi kurulmuştur. GNSS istasyonlarına ait konum bilgilerinin zaman serilerinin oluşturulması, gün içerisinde gerçekleşen depremler ile konum bilgilerinin eşleştirilerek gerinim miktarlarındaki değişimlerin depremler ile ilişkilendirilmesi, sonuçların görselleştirilerek kullanıcılar ile paylaşılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: VİDA, GNSS.

Bilim Kodu: 616.01.00



ABSTRACT

Ph. D. Thesis

AUTOMATIC PROCESSING AND ANALYSIS OF CONTINUOUS GNSS OBSERVATION IN TURKEY

Gökhan GÜRBÜZ

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering**

Thesis Advisor: Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU

January 2019, 95 pages

Turkey is actively involved in the earthquake zone, so that many geodynamic and seismic activities occur during the day, such as earthquakes, landslides, sinkholes, creep movements. For this reason, Turkey serves as a natural laboratory for geodesy and geophysical scientists. Therefore, GNSS data is used in many areas. In order to be much more quickly at the stages of data acquisition and evaluation for analysis, Turkey must have analysis centers like other countries, especially in universities where relevant academic studies are made on the subject. Within the scope of the study, the analysis center, called VIDA, is established in Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering Geomatics Engineering Department. Using results of VIDA GNSS processings, timeseries of GNSS stations positions, strain solutions related to earthquakes, visualization of the results are intended to be shared with the users.

Keywords: VIDA, GNSS.

Science Code: 616.01.00



TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimden itibaren bugüne kadar desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve gelecekte de bana destek olacağından emin olduğum sayın danışmanım Prof. Dr. Ş. Hakan KUTOĞLU'na teşekkürü bir borç bilir, üzerimdeki emeklerinin hiçbir zaman boşa gitmeyeceğini garanti ederim.

İnsan, mühendis ve akademisyen olmanın ne demek olduğunu bana öğreten, tez çalışmalarında yardımını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kurduğu her cümle ile teknik altyapımı geliştiren ve katkıları ile tez çalışmamı daha ileriye taşıyan sayın Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ'a teşekkürlerimin hiçbir zaman yeterli olacağını düşünmüyorum.

Değerli jüri üyeleri Doç. Dr. Tevfik ÖZLÜDEMİR ve Prof. Dr. Çetin MEKİK'e teşekkür ederim.

İyi günümde, kötü günümde yanımda olan, düşünceleri ve fikirleri ile beni yönlendiren sayın Dr. Öğr. Üyesi K. Sedar GÖRMÜŞ'e teşekkür ederim.

Meslektaşlarım, mesai arkadaşlarım, Arş. Gör. Volkan AKGÜL ve Arş. Gör. Dr. Çağlar BAYIK'a çalışmalarına yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Ailem, yuvam, hayat arkadaşım Yük. Biyolog Merve GÜRBÜZ'e bana verdiği tüm destekler için, hayatımda olduğu için, tez çalışmalarım sırasında beni anlayışla karşıladığı için, her an beni dinlediği, bana inandığı için ve daha birçok sebep için teşekkür ederim.

Değerli kardeşim Yük. Mühendis Umut ALTAN'a her an yanımda olduğu için teşekkür ederim. Ağabeyim Ruşan GÜRBÜZ'e tüm hayatım boyunca bana destek verdiği için teşekkür ederim.

Son olarak sevgili öğrencilerime, tez çalışmaları ve tez yazım sürecinin tamamlanmasını neredeyse imkansız hale getirdikleri için teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 TÜRKİYE’NİN TEKTONİK YAPISI.....	2
1.2. TÜRKİYE’NİN JEODİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN YAPILAN JEODEZİK ÇALIŞMALAR	4
1.3 ÇALIŞMANIN AMACI VE KONUSU.....	9
BÖLÜM 2 GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİYLE TEKTONİK ANALİZ ...	11
2.1 TEKTONİK ÇALIŞMALARDA DİKKATE ALINMASI GEREKEN ETKİLER.....	12
2.1.1 Hata Kaynakları.....	12
2.1.2 Jeofiziksel Etkiler	18
2.1.3 Atmosferik Etkiler	22
2.2 ZAMANSAL YER DEĞİŞTİRMELERİN BELİRLENMESİ	26
2.2.1 Kod Ölçüleri ile Konum Belirleme.....	27
2.2.2 Taşıyıcı Faz Ölçüleri ile Konum Belirleme	28
2.2.3 Bağıl Konumlama.....	29
2.3 GERİNİM ANALİZİ.....	30
2.3.1 İki Boyutta Gerinim Analizi.....	31
2.3.2 Üç Boyutta Gerinim Analizi	34

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3 VERİ İNDİRME VE DEĞERLENDİRME ALGORİTMASI (VİDA) TASARIMI	37
3.1 VERİ İNDİRME VE DEĞERLENDİRME ALGORİTMASI (VİDA)	38
3.1.1 VİDA'nın İşleyişi	43
3.1.2 Gerekli Donanım ve Yazılım Altyapısı	44
3.1.3 Yardımcı Yazılım Paketleri.....	46
3.1.4 Veri ve Meta-Veri.....	47
3.1.5 VİDA'nın Otomatikleştirilmesi.....	47
3.1.6 VİDA ile Gerçeğe Yakın Zamanlı Değerlendirme Hazırlıkları	49
3.1.7 Görselleştirme Aşaması ve Yöneticinin Bilgilendirilmesi.....	51
BÖLÜM 4 VİDA İLE TÜRKİYE'NİN TEKTONİK ANALİZİ.....	53
4.1 YERDEĞİŞTİRME ÇÖZÜMLERİ	58
4.2 GERİNİM ÇÖZÜMLERİ.....	65
4.3 JEODİNAMİK UYGULAMALARDA VİDA.....	69
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 (a) Türkiye'nin eski kıtalara göre konumu, (b) Jeolojik zaman çizelgesi	2
Şekil 1.2 Türkiye'deki aktif faylar	3
Şekil 2.1 GPS uydularının yörüngelerinin temsili gösterimi	11
Şekil 2.2 GNSS sistemlerindeki temel hata kaynağı gruplandırması	13
Şekil 2.3 Uydu yörüngesini etkileyen faktörler	15
Şekil 2.4 Sinyal yansıma (multipath) etkisine bir örnek.....	17
Şekil 2.5 Katı yeryuvarı gelgitinin temsili gösterimi	18
Şekil 2.6 Türkiye'nin güncel tektonik yapısını şekillendiren ana yapılar	21
Şekil 2.7 Atmosferde GNSS sinyalinin izlediği yolun temsili gösterimi	22
Şekil 2.8 Troposferde GNSS sinyalinin yayılışı	24
Şekil 2.9 Deformasyondan önceki ve sonraki durum	30
Şekil 2.10 Deformasyondan önceki ve sonraki durum ve gerinim türleri	32
Şekil 2.11 Deformasyondan önceki ve sonraki durum	33
Şekil 3.1 VIDA dosyalama sistemi	38
Şekil 3.2 RINEX src dosyası örneği	40
Şekil 3.3 RINEX fil dosyası örneği	41
Şekil 3.4 Efemeris fil dosyası örneği	41
Şekil 3.5 Efemeris kayıt dosyası örneği	42
Şekil 3.6 VIDA'nın modüllerine ait iş akış diyagramı	44
Şekil 3.7 VIDA'nın kurulduğu masaüstü bilgisayar	45
Şekil 3.8 Sistem otomatikleştirilmesinin sağlandığı crontab dosyası	48
Şekil 3.9 VIDA değerlendirmeleri öncesi zaman tanımlamalarının yapılması	50
Şekil 3.10 Değerlendirme öncesi RINEX dosyalarının taşınması ve düzenlenmesi	51
Şekil 3.11 Depremlere bilgilerinin internet ortamında indirilmesi ve klasörlere taşınması	51
Şekil 3.12 Değerlendirme sonrası sonuç ürünlerin yönetici ile paylaşılması	52
Şekil 4.1 Sonuç dosyalarının depolanması için kullanılan dizinleme	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.2 Yılın günü ve günün saatine göre yapılan dizinleme örneği.	55
Şekil 4.3 Yörünge bilgilerinin kontrollerine ait kayıt dosyası örneği.	55
Şekil 4.4 GAMIT değerlendirmelerinde kullanılan parametreler.	57
Şekil 4.5 CISM istasyonuna ait koordinat farkları zaman serisi.	59
Şekil 4.6 Günlük sağa koordinat bileşeni farkları enterpolasyon haritası.	60
Şekil 4.7 Günlük yukarı koordinat bileşeni farkları enterpolasyon haritası.	61
Şekil 4.8 Günlük toplam yatay konum farkları enterpolasyon haritası.	61
Şekil 4.9 Günlük yükseklik farkları enterpolasyon haritası.	62
Şekil 4.10 Kümülatif sağa koordinat bileşeni farkları enterpolasyon haritası.	63
Şekil 4.11 Kümülatif yukarı koordinat bileşeni farkları enterpolasyon haritası.	63
Şekil 4.12 Kümülatif toplam yatay konum farkları enterpolasyon haritası.	64
Şekil 4.13 Kümülatif yükseklik farkları enterpolasyon haritası.	65
Şekil 4.14 Gerinim analizi için yapılan üçgenleme görünümü.	66
Şekil 4.15 X eksenindeki günlük normal gerinim miktarları.	66
Şekil 4.16 XY düzlemindeki günlük makaslama gerinim miktarları.	67
Şekil 4.17 XY düzlemindeki günlük alansal değişimler miktarları.	68
Şekil 4.18 XYZ uzayında günlük hacimsel değişim miktarları.	69
Şekil 4.19 X eksenindeki kümülatif normal gerinimdeki değişim miktarları.	70
Şekil 4.20 Y eksenindeki kümülatif normal gerinimdeki değişim miktarları.	71
Şekil 4.21 XY düzlemindeki kümülatif makaslama gerinimdeki değişim miktarları.	72
Şekil 4.22 XZ düzlemindeki kümülatif makaslama gerinimdeki değişim miktarları.	72
Şekil 4.23 X eksenindeki kümülatif normal gerinimdeki değişim miktarları.	73
Şekil 4.24 Y eksenindeki kümülatif normal gerinimdeki değişim miktarları.	74
Şekil 4.25 X, Y eksenlerindeki normal gerinim ve XY, XZ düzlemlerindeki makaslama gerinimlerinin zamansal değişimi.	75
Şekil 4.26 X eksenindeki DoY 252'e ait kümülatif normal gerinimdeki değişim miktarları.	76
Şekil 4.27 XY düzlemindeki DoY 253'e ait kümülatif makaslama gerinimdeki değişimi.	76
Şekil 4.28 X, Y eksenlerindeki normal gerinim ve XY, XZ düzlemlerindeki makaslama gerinimlerinin zamansal değişimi.	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

b_{AB}	: A ve B noktaları arası baz vektörü
Δ	: Alan bozulması
λ	: Dalga boyu
e_{xy}	: Deformasyon sonucu ortaya çıkan açısal bozulma
ω_{xy}	: Deformasyon sonucu ortaya çıkan blok dönüklüğü
$\Phi_i^j(t)$: Döngü cinsinden ölçülen taşıyıcı fazı
l	: Düzeltme vektörü
Φ	: Faz ölçümü
ε_Φ	: Faz ölçümüne ait hata miktarları
E	: Gradyent tensörü
A	: Katsayılar matrisi
φ	: Maksimum gerinim yönü
γ_2	: Mühendislik kayması
ε_R	: R öncül mesafe ölçümündeki hatalar
γ_1	: Saf kayma
S	: Simetrik gerinim tensörü
A	: Simetrik olmayan gerinim tensörü
f^j	: Sinyal frekansı
N_i^j	: Tamsayı belirsizliği
ψ	: Toplam kaymanın yönü
$R_i^j(t)$: Uydu ile GNSS alıcısı arasında ölçülen öncül uzunluk
$\zeta_i^j(t)$: Uydu ile GNSS alıcısı arasındaki geometrik mesafe
$\delta_i^j(t)$: Uydu ve alıcıya ait toplam saat düzeltmeleri

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

u	: X yönündeki yerdeğiştirme miktarı
v	: Y yönündeki yerdeğiştirme miktarı
$\mathcal{E}_{maksimum}$: Maksimum asal gerinim
$\mathcal{E}_{minimum}$: Minimum asal gerinim
e_{xx}, e_{yy}	: Koordinat eksenleri boyunca birim uzunlukta oluşan genişleme
$v_{xy_i}, v_{xz_i}, v_{yz_i}$: Basit kayma miktarları
X_i, Y_i, Z_i	: Gözlem istasyonuna ait bilinmeyen ECEF koordinatlarını
$V_{x_i}, V_{y_i}, V_{z_i}$: Koordinat bileşenlerine ait hızlar
$\tau_{xy_i}, \tau_{xz_i}, \tau_{yz_i}$: Saf kayma miktarları
$\Delta X_{AB}, \Delta Y_{AB}, \Delta Z_{AB}$: A ve B noktaları arası koordinat farkları
$X^j(t), Y^j(t), Z^j(t)$: T anında uyduya ait jeosentrik konum vektör bileşenlerini

KISALTMALAR

ARP	: Antenna Reference Point
CATS	: Create and Analyze Time Series
CODE	: Center for Orbit Determination in Europe
CORS	: Continuously Operating Reference Station
CPU	: Central Processing Unit
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DoY	: Day of Year
ECEF	: Earth Centered and Earth Fixed
ERP	: Earth Rotation Parameters
EUREF	: Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe
FTP	: File Transfer Protocol
GB	: Gigabyte
Ghz	: Gigahertz
GLONASS	: Global Orbiting Navigation Satellite System
GMT	: Generic Mapping Tools

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

GNSS	: Global Navigation Satellite Systems
GPS	: Global Positioning System
HotD	: Hour of the Day
ICRF	: International Celestial Reference Frame
IERS	: International Earth Rotation Service
IGS	: International GNSS Service
IONEX	: Ionosphere Map Exchange Format
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
JPL	: Jet Propulsion Laboratory
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
km	: Kilometre
MATLAB	: Matrix Laboratory
Mbit	: Megabit
Mhz	: Megahertz
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
mm	: Milimetre
Mw	: Moment Magnitude
NGS	: National Geodetic Survey
ÖDF	: Ölü Deniz Fayı
PCO	: Phase Centre Offset
PCV	: Phase Center Variations
PRN	: Pseudo Random Noise
RAID	: Redundant Array of Inexpensive Disks
RAM	: Random Access Memory
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
TEC	: Total Electron Content
TEQC	: Translation, Editing, and Quality Control
TUSAGA-Aktif	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif
UT	: Universal Time
VİDA	: Veri İndirme ve Değerlendirme Algoritması



BÖLÜM 1

GİRİŞ

GNSS (Global Navigation Satellite Systems) gibi uydu jeodezisi ölçme yöntemlerindeki matematiksel ve teknolojik gelişmeler ile birlikte yer kabuğundaki hareketler, doğruluğu yüksek ve hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Uydu teknikleri, yersel ölçme yöntemlerine göre daha hızlı ve ekonomiktir. Yerel ve küresel seviyedeki kampanya tipi veya sürekli GNSS gözlemleri ile günümüzde yer kabuğunda meydana gelen deformasyonlar saptanabilmektedir. Bu sayede ölçüm için harcanan emek, zaman ve ekonomi azaltılırken, ölçüm bölgesi yerelden bölgeye ve hatta küresele çıkartılabilmektedir.

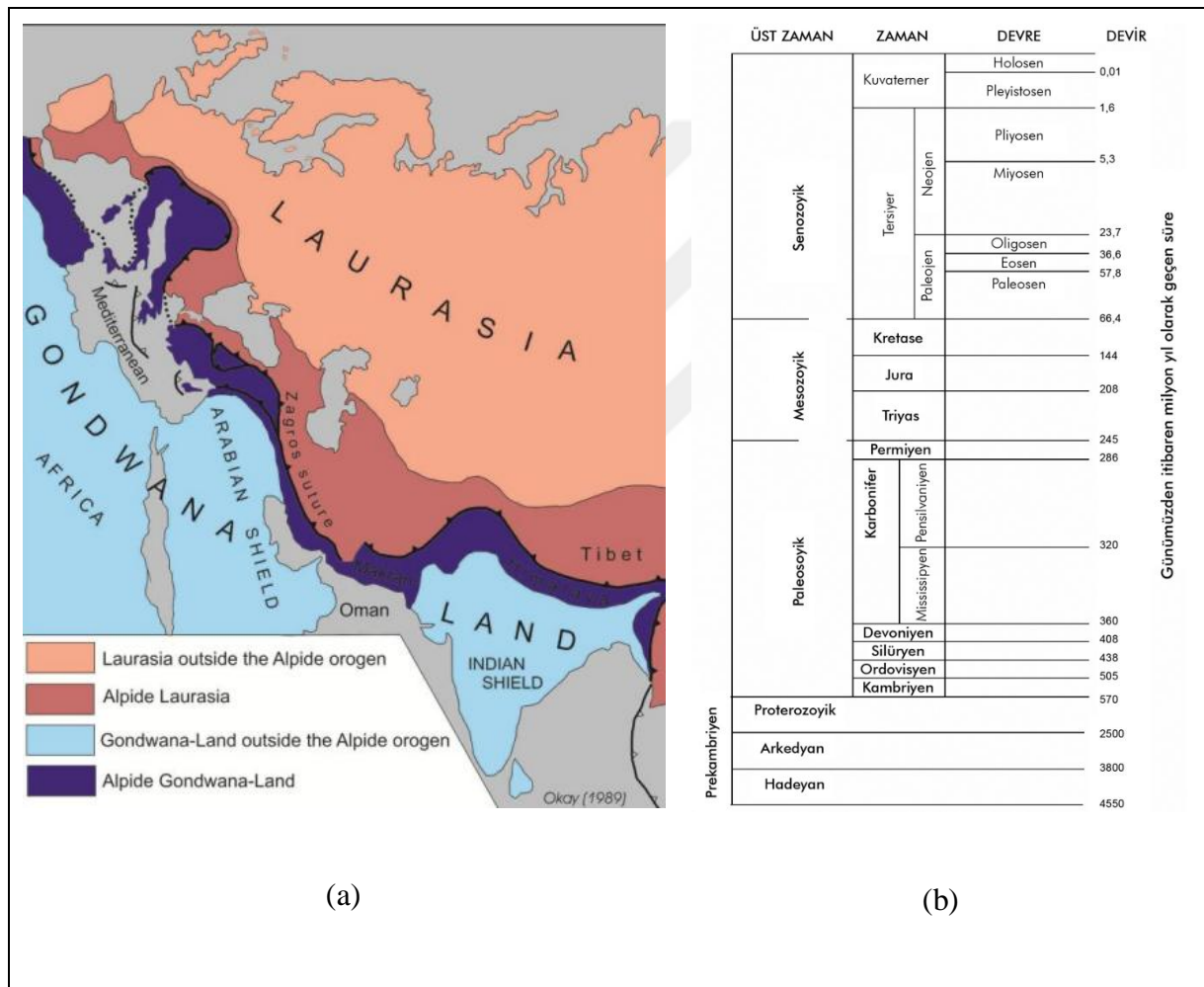
Diğer taraftan aktif deformasyon bölgelerinde farklı zamanlara ait kampanya ve/veya sürekli gözlemlerden elde edilen veriler, yer kabuğunda meydana gelen deformasyonların belirlenmesinde kullanılan en önemli araçlardandır. Deprem öncesi, sırası ve sonrası yer kabuğunda meydana gelen deformasyonlar belirlenirken aynı zamanda depremlerin karakteristiği ile ilgili veriler de elde edilmiştir. Buna ek olarak, deprem öncesi dönemde gerçekleştirilen gözlemler ile gerinim miktarı hesaplanabilmektedir.

Günümüzde deformasyon ile ilgili çalışmalar, toplumun can ve mal güvenliği, projelerde stratejik ve ekonomik kararların belirlenmesi adımlarında hayati öneme sahiptir. Özellikle Türkiye'nin depremselliği göz önünde bulundurulduğunda, litosferde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi en önemli araştırma konularındandır. Bu alandaki ilk çalışmalar, 20. yüzyılın başlarında yapılmıştır (Terada and Miyabe 1929, Tsuboi 1930).

Teknoloji ve bilimin ilerlemesiyle deformasyon ile ilgili çalışmalarda kullanılan analiz ve değerlendirme metotları gelişirken üretilen yeni ölçüm cihazları ile doğruluk ve hassasiyet arttırılmıştır. Bu paralelde kapsam ve doğruluk bakımından GNSS teknikleri yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

1.1 TÜRKİYE’NİN TEKTONİK YAPISI

Kıtaların sürekli kayması, yatay ve düşey yöndeki hareket sebebiyle oluşan deformasyon yer kabuğunun hareketliliği olarak açıklanmıştır (Wegener 1915). Süper kıta olarak adlandırılan Pangea, belirtilen zaman sürecindeki tek kıtadır ve sonrasında parçalara ayrılarak zaman içerisinde güncel anakaralar oluşmuştur. Türkiye eski isimleriyle Laurasia (Avrupa’nın doğu bloğu) ve Gondwana (Arabistan yarımadası ve Afrika kıtası) kıtaları arasında bulunmaktadır (Okay 2008) (Şekil 1.1).

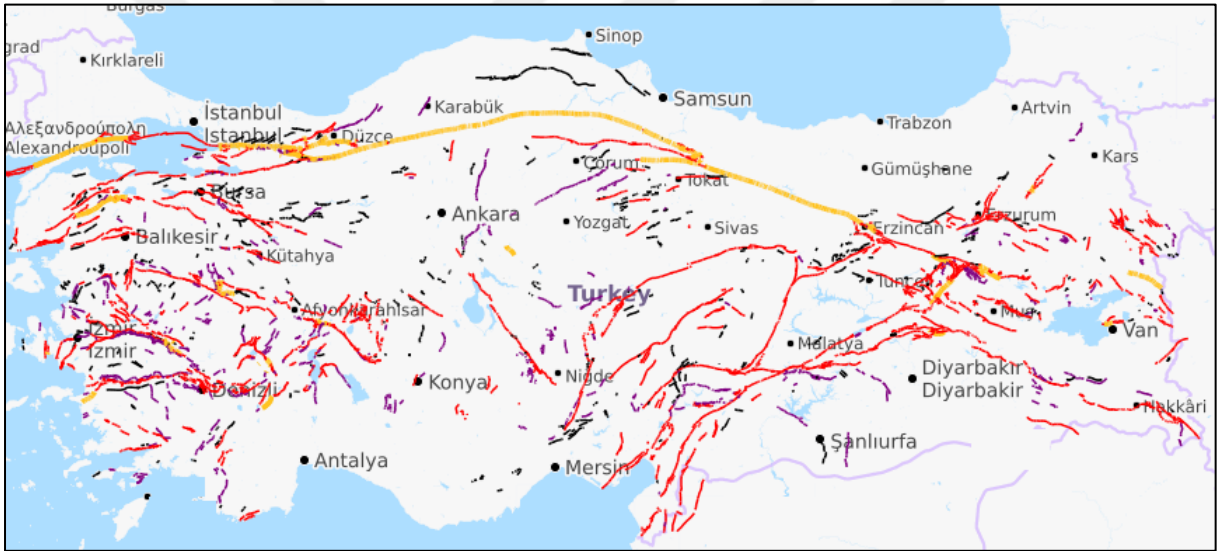


Şekil 1.1 (a) Türkiye'nin eski kıtalara göre konumu (Okay 2008), (b) Jeolojik zaman çizelgesi.

Laurasia bu tektonik birliğin aktif, Gondwana ise pasif kenarını oluşturmaktadır. Gondwana'dan süreç içerisinde ayrılan parçalar kuzeye yönelerek Laurasia ile birleşmiştir. Türkiye ise süreç içerisinde Laurasia ile birleşen kara parçalarından meydana gelmiştir.

Mesozoyik dönemde bu kara parçalarının birleşmesinin ardından Geç Miyosen döneminde Türkiye'nin vücudu oluşmuştur. (Okay 2008)

Türkiye'nin aktif tektoniği, Erken Pliyosen'den (<5 milyon yıl) itibaren gerçekleşen kıta içi çarpışma ve tektonik kaçış bağlantılı deformasyonun bir göstergesidir. Türkiye'nin güncel tektonik yapısını, üç ana yapı yönetmektedir. Bunlar; Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Ege-Kıbrıs Yayı ve Doğu Anadolu Fayı'dır (DAF). Ayrıca, Ölü Deniz Fayı'nın (ÖDF) da rolü büyüktür. Türkiye, dünyadaki sismik olarak en aktif bölgelerden biridir. Bunun sonucu olarak, tarih boyunca binlerce insanın hayatını kaybettiği ve ekonomik hasara neden olan büyük depremler meydana gelmiştir (Bozkurt 2001). Bu depremlere 1939 Erzincan, 1976 Van ve 1999 Gölcük depremleri örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 1.2 Türkiye'deki aktif faylar (URL-1).

Türkiye topraklarının büyük bir bölümü Anadolu Plakası üzerindedir. Anadolu Plakası; Avrasya, Afrika, Arap Plakaları ve Doğu Anadolu, Ege Bloklarının ortasında bulunmaktadır. Avrasya Plakası sabit kabul edildiğinde, Afrika Plakası yılda 5 mm, Arap Plakası yılda 19 mm hızla kuzeye ilerlemekte ve Anadolu Plakasını, Avrasya Plakasına doğru sıkıştırılmaktadır. Bu sebeple, Anadolu Plakası, Doğu Anadolu Bloğunun da etkisiyle yılda 23 mm hızla Ege bloğuna doğru ilerlemektedir. Anadolu Plakasının batıya doğru bu ilerleyişi KAF ve DAFZ boyunca devam etmektedir (Barka and Kadinsky-Cade 1988).

Mikro kıtaların tektonik yapıları ve sınırlarının nitelikleri, gerinim oluşumlarının düzensizliğinin temel etki kaynaklarından ve bu alanda çalışmalar yapan bilim insanlarının temel araştırma konularından biri olmuştur (Dewey et al. 1986, Özeren and Holt 2010). Türkiye'nin aktif tektonik rejimi, normal ve makaslama gerinimleri ile birlikte aşırı sismik karmaşıklık göstermektedir (Moix et al. 2008). Bu nedenle Türkiye; güncel tektonik birimler altında aktif gerinim sistemleri tarafından oluşturulan sınırlayıcı fayların üzerine bindirilmiş, heterojen gerinim sistemlerinin anormal bir modelini oluşturur (Bozkurt 2001, Koçyiğit et al. 2001). Genç tektonik çarpışma bölgesi olarak betimlenebilecek Türkiye'nin topografyası, plaka içi ve plakalar arası gerinimin salınmasıyla meydana gelen küçük ve orta büyüklükteki depremler ile şekillenmiştir (Pınar et al. 2007, Tan et al. 2008).

1.2. TÜRKİYE'NİN JEODİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN YAPILAN JEODEZİK ÇALIŞMALAR

20. yüzyılın ortaları ve öncesinde sonuçların doğruluğu ve hassasiyetinin geliştirilmesi adına matematiksel ve istatistiksel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Sarıyar Barajı'nda 1960'da yapılan Türkiye'deki ilk deformasyon çalışmasıyla birlikte deformasyon çalışmaları hızlanmıştır. Baraj deformasyonlarına ek olarak Kuzey Anadolu Fayı'nda, çeşitli bölgelerde meydana gelen heyelanlarda ve yapılarda da deformasyon çalışmaları yapılmaya başlanmıştır (İnal 2000). Özellikle bilgisayarların gelişmesiyle deformasyon çalışmaları yüksek doğruluğa ulaşmaya başlamış ve yeni araştırma alanları oluşmaya başlamıştır. Bunlara örnek olarak; zemin çökmeleri, heyelan izleme çalışmaları, yerkaşuğu hareketlerinin izlenmesi ve mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesi verilebilir.

GNSS ölçülerinin yersel jeodezik çalışmalardaki noktaların birbirini görme şartını ortadan kaldırması, nokta konumlarının belirlenmesi hususunda yersel jeodezik ağlara göre tercih edilmesini sağlamıştır. GNSS alıcılarının kullanım kolaylığı ve ölçülerin pratik yapılması sebebiyle, yersel jeodezik tekniklerine göre daha ekonomik bir sistem haline gelmiştir. Buna ek olarak; analiz ve değerlendirme yazılımlarında ticari ve akademik birçok yazılımın geliştirilmiş olması hem özel sektörde hem de akademik çalışmalarda GNSS sisteminin kullanım yelpazesini genişletmektedir. GNSS ölçümleri, gerekli koşullar sağlandığı takdirde santimetre altı mertebesindeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılmaktadır (Beutler et al. 2001). Akademik çalışmalarda, GNSS ölçümleri tek başına ve/veya başka bir yöntemle

deformasyonların belirlenmesinde çok sık kullanılmaktadır. Bu akademik çalışmalara örnek vermek gerekirse;

- Mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonlar (Wieser and Brunner 2002, Roberts et al. 2002),
- Barajlarda meydana gelen deformasyonlar (Hudnut 1996, Liu and Chen 1998, Dong et al. 1998),
- Çevresel etkiler kaynaklı (Ogaja 2001),
- Heyelan kaynaklı deformasyon (Hartinger and Brunner 1998, Acar vd. 2004),
- Buzul-altı bölgelerde gerçekleşen deformasyonlar (Hedling et al. 1999)
- Yerkabuğunda meydana gelen deformasyonların belirlenmesi (Hwang et al. 2004, Kim et al. 2003, Chen and Kakkuri 1993, Ayan vd. 2004, Denli 1998, 2004) çalışmaları gibi birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Oral (1994)'ın çalışması kapsamında Türkiye genelinde 1988-1992 yılları arasında altı GNSS kampanyası düzenlenerek ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler bölgesel olarak gerçekleştirilmiş olup toplam 102 adet noktada gözlemler yapılmıştır. 1988, 1990 ve 1992 yıllarında ülkenin batısında, 1989, 1991 ve 1992 yıllarında doğu kesiminde ölçümler yapılmıştır. Gerçekleştirilen proje sürecinde, 13 Mart 1992 tarihinde 6.9 Mw büyüklüğünde Erzincan depremi meydana gelmiştir. Gerçekleşen deprem anı ve deprem sonrası deformasyonları belirlemek adına Erzincan çevresinde de planlananın dışında ek GNSS ölçümleri yapılmıştır. GNSS gözlemleri GAMIT/GlobK yazılım paketi kullanılarak değerlendirilmiş ve nokta hızları hesaplanmıştır. Marmara Bölgesi'nde 11 noktada yapılmış olan çalışmada KAF'nın güneyinde bulunan noktaların hızlarının, Kandilli'de bulunan noktaya göre, batıya doğru 15 mm/y ile 25 mm/y aralığında olduğu hesaplanmıştır. GNSS ile elde edilen hızların, sismik aktivitelerden elde edilen hızlarla örtüştüğü gözlemlenmiştir. KAF'nın kuzeyinde bulunan noktaların hızları 8 mm/y olarak belirlenmiştir. KAF Hattı ile Doğu Anadolu Fay Hattı'nın Karlıova tarafında birleşmediği tespit edilmiştir.

Aktuğ ve Kılıçoğlu (2006), yaptıkları çalışmada Batı Anadolu'da 1992 ve 2004 yılları arasında yapılan GNSS kampanya ölçülerine ek olarak, 2001 yılında istasyonların bölgeye homojen olarak dağılması şartıyla tasarladıkları GNSS ölçüm ağında yaptıkları 3 kampanya ile bölgedeki deformasyon oranlarını gözlemlemişlerdir. Çalışmada, geçmiş verilerin

değerlendirilmesi için Bernese GNSS değerlendirme yazılımından yararlanılırken, 2001 sonrası toplanmış GNSS verileri GAMIT/GlobK yazılımı ile değerlendirilmiştir. Hesaplanan hız alanından yararlanılarak, katı vücut dönme oranları, saf gerinim ve makaslama gerinimleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler sonucunda, İzmir körfezinin Batı Anadolu ve Doğu Ege'nin genel genişleme rejimine uygun bir şekilde doğu batı yönünde daralması ve kuzey güney doğrultusunda genişlemesinin, Karaburun yarımadasının sağ-yanal atımlı faylanma ve saat yönü dönüşü sahip olması, sebebiyle olduğu açıklanmıştır.

Aktuğ vd. (2016), yaptıkları çalışmada Doğu Anadolu Fayı üzerinde noktaların kayma hızlarını belirlemeye yönelik çalışmanın yapılma tarihine kadar olan en kapsamlı GNSS araştırmasını gerçekleştirmiştir. Çalışma sırasında yeni gözlem yapılan istasyonlar ve bölgede bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarına ek olarak bölgede yapılmış olan geçmiş çalışmalara ait veriler de kullanılmıştır. Yapılan bu çalışma ile Türkiye'de yapılan nokta hızlarının belirlenmesi ve tektonik aktivitelere yönelik çalışmalarda genellikle Kuzey Anadolu Fayı'na odaklanıldığının altını çizerek, Doğu Anadolu Fayı'nın da son yüzyılda suskun olduğunu ve bu bölgede yeterli akademik çalışma yapılmadığını belirtmiştir. Palu-Sincik ve Çelikhan-Türkoğlu bölgelerinde, 1,5 m ile 5,2 m açılmalar gerçekleştiğini ve gelecekte 7,4 Mw ile 7,7 Mw büyüklüğünde depremler gerçekleşebileceğini belirtmiştir.

Kutoğlu vd. (2016), gerçekleştirdikleri çalışmada TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait 2009 – 2012 verilerinin GAMIT/GlobK yazılımı kullanılarak değerlendirilmesi sonucunda tüm Türkiye'yi içeren her 3 boyutta gerinim analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları hem eksenlere hem de düzlemlere göre ayrı ayrı analiz edilmiştir. Ana fay hatları ve deprem tehlikesi içeren bölgeler ayrı ayrı incelenmiş ve gerinim miktarları ve yönleri fay hatları ile karşılaştırılmıştır.

Kutoğlu vd. (2010), gerçekleştirdikleri çalışmada Kuzey Anadolu Fayı'nın İsmetpaşa segmentinde oluşturulmuş mikro jeodezik ağ ile 2002-2008 yılları arasında yaptıkları kampanya tipi GPS ölçümleri krip hareketlerini incelemiştir. 1999 yılında gerçekleşmiş olan Gölcük (Mw = 7,4) and Düzce (Mw = 7,2) depremleri sonrasında krip hareketlerinin rahatlama gösterdiği belirlenirken, bu bulgu ile büyük depremler sonrasında krip hareketlerinin rahatlama davranışında bulunduğu ve bu sebeple İsmetpaşa'daki krip hareketlerinin deprem öncüsü olabileceği belirtilmiştir.

Reilinger et al. (2006), yaptıkları çalışmada 1988 ve 1996 yılları arasında yedi farklı çalışmada kullanılan GNSS kampanya ölçüleri bir araya getirilerek elde edilen hızlarla Akdeniz'in doğu kısmının gerilim alanları çıkarılmış ve sonuçlar sismik verilerle karşılaştırılmıştır. İtalya, Yunanistan'ın iç kısımları, Ege Denizi çevresi, Marmara Bölgesi ve Anadolu Bölgesi olmak üzere toplam beş bölgede GNSS ağı kurularak ölçümler gerçekleştirilmiştir. GNSS değerlendirmeleri sonucunda Marmara Bölgesi'nde, Avrasya'ya göre batıya doğru ortalama 22 mm/y miktarında bir yer değiştirme olduğu belirtilmiştir. Hesaplanan hız vektörlerine göre Anadolu'nun kuzey batı kısmı yani Marmara Bölgesi'nde hem sıkışma hem de genişleme olduğu, Kuzey Anadolu Fayı'nın güney batısının sıkıştığı, kuzey batısının ise genişlediği ifade edilmektedir. Sağ yanal atımlı makaslama gösteren Kuzey Anadolu Fay hattının maksimum gerilim değerinin 220 nano-strain/y olduğu hesaplanmıştır.

Denli (2004), çalışmasında "The Marmara PolyProject" kapsamında toplanan veriler kullanılmıştır. Veriler Bernese akademik GNSS değerlendirme yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada farklı epoklarda hesaplanan koordinatların farklarından deprem tahmininde önemli rol oynayan gerilim değerlerinin belirlenebileceğinden bahsetmektedir. S dönüşüm yöntemi kullanılarak 2 ve 3 boyutlu deformasyon elde edilmiştir. Beş bölgeye ayrılan Marmara Bölgesi'nin 3 boyutlu analiz sonucunda bölgelerin ağırlık merkezinin hızları hesaplanmıştır.

Özener vd. (2007), çalışmasında KAF ve DAF hatları üzerinde bulunan noktalarda yapılan GPS ölçümleri sonucunda elde edilen verilerin GAMIT/GlobK yazılımı ile değerlendirilmesi sonucunda elde edilen hızlardan bahsedilmiştir. Buna göre 1990-1991 yılları arasında İznik, Sapanca ve Akyazı'da tesis edilen 27 noktalı 3 mikro jeodezik ağıdaki noktalarda yapılan gözlemler yılda bir kez olmak üzere yapılmıştır. 2003-2006 yılları arasında, bahsedilen mikro-jeodezik ve mevcut ağlarda bulunan noktaların da içinde bulunduğu noktalarda yapılan ölçümler sonucunda hız değerleri hesaplanmıştır. Kuzey Anadolu Fay Hattının güneyinde kalan noktaların hızları, Avrasya Plakasına göre batıya doğru yaklaşık 21 mm/y olarak elde edilmiştir.

Çakmak (2010), Anadolu'nun batı kesiminin deformasyonunu belirlemek adına 1997 ve 2005 yılları arasında toplam 69 adet noktada yapılan GNSS kampanyaları ile sürekli gözlem yapan 13 adet istasyonun verileri ve Reilinger et al. (2006)'dan alınan hızlar kullanmıştır. Kampanya

tipi ölçümler Bernese akademik GNSS değerlendirme yazılımında değerlendirilirken sürekli ölçümler yapılan istasyonların verileri GAMIT yazılımında değerlendirilmiştir. CATS yazılımında bulunan maksimum olabilirlik yöntemi kullanılarak zaman serilerindeki gürültü karakteristiği ve hız hesaplanmasındaki gerçek belirsizlik belirlenmiştir. Zaman serilerinde kuzey yönde %3, doğu yönde %0 ve yukarı yönde %10 oranında beyaz gürültü ve rastgele yürüyüş gürültüsü tespit edilmiştir. GlobK ile hesaplanan hızların standart sapmaları 4 yıl veriye sahip istasyonlar için 0,5 mm/y, 1,5 yıl veriye sahip istasyonlar için 1 mm/y olarak hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan noktaların bir kısmı Marmara Bölgesi'nde KAF zonunun kuzey kolu altında yer almakta olup, katı kütle analizi kullanılarak bu noktaların neredeyse tümünün (İç Anadolu Bölgesi'ne göre) deformasyona uğradığı tespit edilmiştir. Genişleme miktarının doğudan batıya doğru arttığı gözlemlenmiştir.

Açıkgöz (2010), çalışmasında Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağı'na ait yersel ölçüler ve kontrol ağından seçilen 82 noktada 2000 ve 2003 yılların arasında yapılan GNSS ölçümleri kullanılmıştır. Çalışmada 1930-1964 yılları arasında meydana gelen üç deprem göz önüne alınarak ölçüler üç ayrı evreye ayrılmıştır. Çalışmada Bernese akademik GNSS değerlendirme yazılımı kullanılırken sonuçta elde edilen koordinatlar ITRF2005.0 sisteminde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hesaplanan yer değiştirme değerlerinin depremler sebebiyle kimi bölgelerde 3-4 metre aralığında olduğu belirtilmiştir.

Hastaoğlu (2009), çalışmasında belirlenen heyelan bölgesinde on iki noktalı bir GNSS ağı tesis etmiştir. Tesis edilen ağda günlük en az 12 saat şartını sağlamak koşuluyla altı farklı zamanda ölçüm yapılmıştır. GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen konum bilgileri ile noktalara ait hız bileşenleri hesaplanmıştır. Heyelan bölgesindeki ağa ait noktalarda 2 cm/yıl hareket gözlenmiştir.

Altın (2006), çalışmasında Kuzey Anadolu Fayı'nda meydana gelen hareketlerin araştırılması amacıyla 14 noktalık ağ tasarımı yapmıştır. Batı Marmara'da tasarlanan bu ağda yapılan gözlemler sonucu toplamda 3 kampanya gerçekleştirilmiştir. GNSS ölçüm verilerinin değerlendirilmesinde GAMIT/GlobK yazılımından yararlanılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda elde edilen koordinat bileşenlerinden yararlanılarak noktalara ait hız vektörleri belirlenmiştir.

Farklı sayılarda GNSS istasyonları kullanılarak tektonik ve GNSS istasyonlarının güncel hızlarının hesaplanması amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Ülkemizde bunların birçok örneği bulunmaktadır. Geçmişte kampanya usulü yapılan çalışmalara ek olarak TUSAGA-Aktif'in devreye girmesiyle sürekli GNSS istasyonlarının kullanımıyla çalışmalarda kullanılan GPS/GNSS istasyon sayısı da artmaktadır.

1.3 ÇALIŞMANIN AMACI VE KONUSU

Türkiye'nin tektonik yapısı ve bir deprem bölgesi olması, deformasyon alanında çalışan bilim insanları için bir laboratuvar ortamı oluşturmaktadır. 20. Yüzyıldan günümüze kadar yüzlerce bilim insanı jeolojik, jeofiziksel ve jeodezik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Fakat tüm bu çalışmalarda en temel parametre noktaların ve/veya yüzeylerin hareketleridir. Bu hareketin geniş çapta ve tekrarlanabilir şekilde belirlenebilmesi, deformasyon çalışmalarına sınırsız veri ve analiz şansı sunmaktadır.

Bu amaçla geliştirilen Analiz Merkezi ve bünyesindeki Veri İndirme ve Depolama Algoritması (VİDA) ile ulusal ve/veya bölgesel GNSS (Global Navigation Satellite System) ağlarındaki istasyonlara ait (TUSAGA-Aktif, BUSAGA-Aktif, vs.) gözlem dosyaları ve uydu yörünge bilgileri indirilmektedir. İndirilen verilerin kalite kontrolünün yapılması, değerlendirilmesi, sonuç ürünlerin görselleştirilmesi ve kullanıcıya sunulması sağlanmaktadır. Tüm hatlarıyla otomatik olan bu sistemin temel prensibi kullanıcının bir saat öncesine ait gözlem dosyalarından yararlanılarak istediği istasyona veya tüm ağa ait sistem çözümlerine (koordinat bileşenleri, zaman serileri, vs.) içerisinde bulunduğu saatte ulaşabilmesidir. Bu sebeple; veri indirilmesinden çözümlerin kullanıcıya sunulmasına kadar tüm işlemlerin en hızlı ve doğruluğu yüksek bir şekilde yapılması amaçlanmaktadır. Gerçeğe yakın zamanlı (saatlik) çözümlere ek olarak günlük çözümler kullanılarak yüksek hassasiyet gerektiren günlük konumsal değişimlerin belirlenmesi ve atmosferik parametrelerin kestirilmesi de kullanıcıya sunulmaktadır.

İlk adımda GNSS istasyonlarına ait RINEX (Receiver Independent Exchange Format) formatındaki gözlem dosyalarının ve bu sistemlere ait yörünge bilgilerinin FTP (File Transfer Protocol) kullanılarak internet ortamından analiz merkezine indirilmesi sağlanmıştır. İndirilen bu verilerin gününe ve saatine uygun klasörlere aktararak depolanmasına özen gösterilmiştir. Depolanan GNSS istasyonlarına ait bu veriler, gerek internet ortamında gerekse kullanıcı

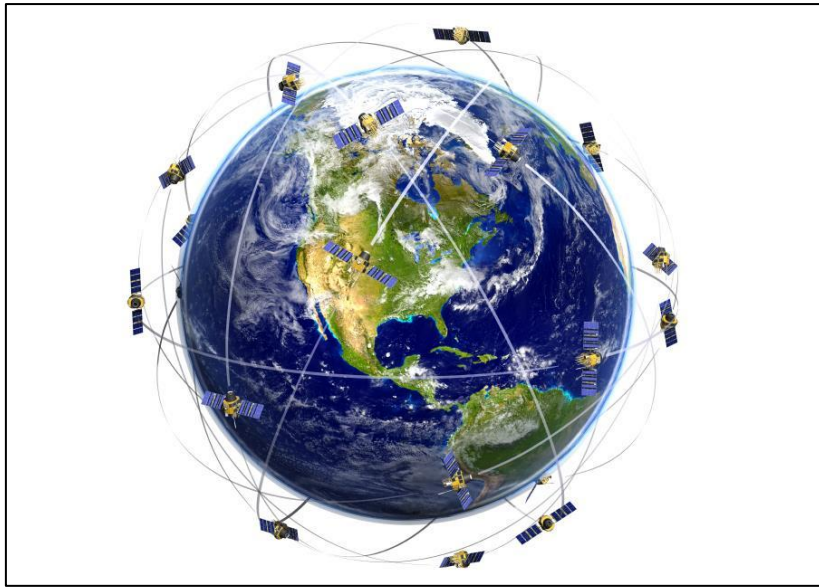
bilgisayarlarında yer kaplamaması amacıyla sıkıştırılmış formatta paylaşılmaktadır. Bu sebeple sıkıştırılmış dosyaların gerektiği zaman açılarak kullanılması ve tekrar sıkıştırılması sağlanmıştır. Açılan gözlem dosyalarının kalite kontrolleri yapılmış ve değerlendirme klasörlerine taşınması sağlanmıştır. Kullanılacak akademik GNSS değerlendirme yazılımlarına uygun hale getirilmiştir. Özellikle saatlik çözümler için kullanılacak çözüm stratejisi ve aynı anda değerlendirilecek istasyon sayıları önem teşkil ettiği için tüm ağı tek bir işlem ile çözmektense alt ağlar oluşturulup, işlem süresi kısaltılarak sistemin verimliliği arttırılmıştır.

Değerlendirme sonrası elde edilen sonuç dosyaları içerisinde kullanılacak parametreler çekilerek sistemin sıradaki değerlendirmeye hazır hale getirilmesi sağlanmış ve toplam veri boyutunun düşük tutulması amaçlanmıştır. Hazırlanan bu sonuç verilerine kullanılarak her istasyona ait zaman serileri oluşturulmuştur. Buna ek olarak her istasyona ait günlük ve kümülatif veriler kullanılarak enterpolasyon haritaları çizdirilmektedir. İstasyonlara ve tüm ağa ait sonuç ürünlerin kullanıcılar ile buluşturulması amacıyla belirlenecek olan bir internet sitesi üzerinden yayın yapılması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİYLE TEKTONİK ANALİZ

GNSS kavramı, Amerika'ya ait Global Positioning System (GPS), Rusya'ya ait Global Orbiting Navigation Satellite System (GLONASS), Çin ve Avrupa Birliğine ait uydu konumlandırma sistemlerinin tamamına verilen isimdir (Şekil 2.1). Bu sistemlerin temel amacı; Dünya'ya belirli uzaklıklardaki yörüngelerinde hareketlerine sürekli olarak devam eden uydulardan gelen sinyaller aracılığı ile Dünya üzerinde bulunan herhangi bir noktanın zaman bileşeni ile birlikte dört boyutlu konumunun elde edilmesidir. Buna ek olarak, elde edilen konumlardan yararlanılarak zaman koordinasyonu ile birlikte hız parametresinin anlık olarak elde edilebilmesidir. Bu parametrelerin başarıyla elde edilebilmesi için GNSS tekniğinin öncüsü olarak betimlenebilecek GPS sistemi üç temel bileşene ayrılmıştır. Bunlar sırasıyla uzayda ön tanımlı yörüngelerde sürekli hareket halinde olan uyduları içeren uzay bölümü, uzaydaki bu uyduların sağlıklarını, konumlarını sürekli olarak inceleyen gözlem ve kontrol istasyonlarından oluşan kontrol bölümü ve sivil ve/veya askeri amaçla sistemi kullanan kullanıcı bölümüdür.



Şekil 2.1 GPS uydularının yörüngelerinin temsili gösterimi (URL-2).

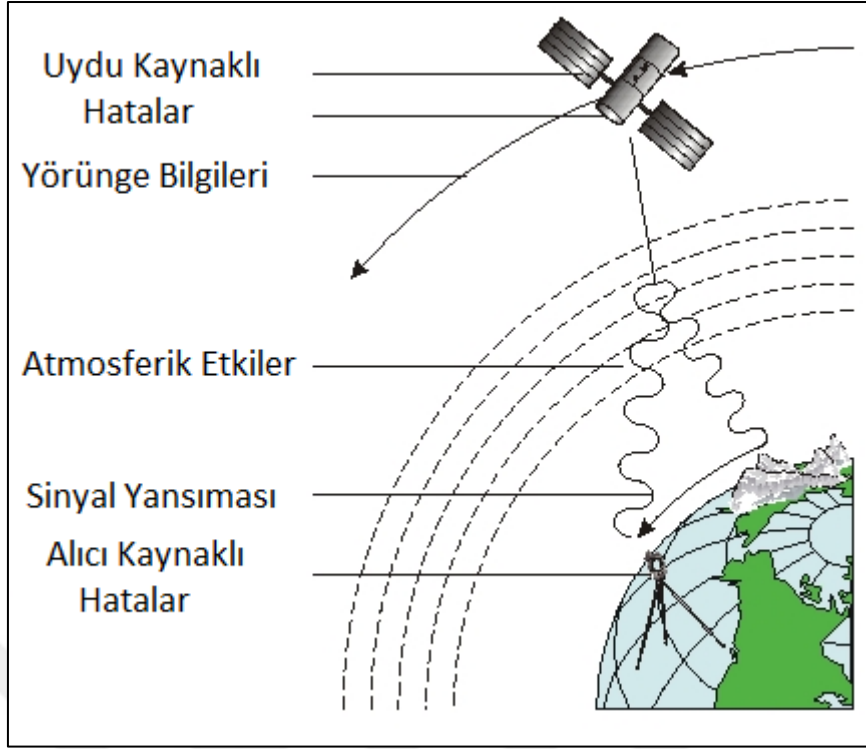
En az dört adet uydudan gelen kod ve/veya faz verilerini kullanarak bir konuma ait koordinat bilgileri zaman bileşeni ile birlikte geriden kestirme yöntemi ile belirlenebilmektedir. En az dört uydu kullanılmasının sebebi, zaman ve üç konum bileşeninin belirlenebilmesi için dört bilinmeyen elde edilebilmesi için koordinatları bilinen dört uyduya yapılan gözleme ait 4 adet denklem oluşturulması gerekmektedir. Ancak konum belirlemek için kullanılan bu denklemler hata bileşenlerini de içermektedir. Sinyalin uydudan çıkması ile GNSS alıcısı tarafından alınması anına kadar sinyal, birçok etkiye maruz kalmaktadır.

2.1 TEKTONİK ÇALIŞMALARDA DİKKATE ALINMASI GEREKEN ETKİLER

Hassas konum bilgisi gerektiren GNSS uygulamalarında (jeodezik ve jeodinamik amaçlı çalışmalar, deformasyon analizi vb. çalışmalar) bağıl konum belirleme ilkesi etkin olarak kullanılmaktadır. Bilindiği gibi bu yöntemde ölçülerin duyarlılığı baz uzunluğuna ve ölçü süresine ile doğrudan ilişkilidir. Duyarlık kavramının baz uzunluğu ile ilişkilendirilmesinin sebebi, baz uzunluğundaki artış ile kullanılan bağıl konumlama modelindeki yörünge ve atmosferik etkiler gibi fiziksel etkilere ait mekânsal korelasyonun azalmasıdır. Bu hatalar yörünge hatası, troposfer ve iyonosfer gecikmesi olarak sıralanabilir (Aktuğ ve Lenk 2010).

2.1.1 Hata Kaynakları

IGS standartlarına göre 100 km'den az baz uzunlukları yerel, 500-1.000 km arasındaki baz uzunlukları bölgesel, 1.000 km'den büyük baz uzunlukları ise global baz olarak adlandırılmaktadır. Baz uzunluğunun 100 km'den küçük olduğu yerel ağlarda, faz gözlemleri kullanılarak rölatif konum belirleme ilkesi ile birçok hata kaynağı ve etki göz ardı edilebilmektedir (Kahveci 2010). Ancak jeodezik, jeodinamik ve deformasyon analizi gibi çalışmalarda, bölgesel ve küresel düzeydeki ağ çözümleri için birçok hata kaynağının dikkate alınması ve/veya modellenmesi gerekmektedir. Bu açıdan GNSS'deki hata kaynakları ve modellemeler genel olarak uydu kaynaklı hatalar, alıcı kaynaklı hatalar, jeofiziksel modeller, sinyal yayılımı ile ilgili hatalar şeklinde sınıflandırılabilir (Şekil 2.2). Bu sınıflandırma içerisinde, uydu saat hataları, sinyal kayıklığı, uydu yörünge hataları, iyonosferik ve troposferik gecikme, sinyal yansıması etkisi ve alıcı anteni faz merkezi değişimleri gibi hatalar yer almaktadır. Bunlara ek olarak doğruluğu yüksek ve hassasiyet gerektiren GNSS çalışmalarında hesaba katılması gereken jeofiziksel modeller de bulunmaktadır (okyanus yüklenme etkisi, kutup kayması, vb.) (Gürbüz 2015).



Şekil 2.2 GNSS sistemlerindeki temel hata kaynağı gruplandırması (URL-3).

2.1.1.1 Uydu Anteni Faz Merkezi Kayıklıkları

GNSS uydularında uydu anteni faz merkezi ve ağırlık merkezi olmak üzere iki merkez bulunmaktadır. Uydulardaki antenlere ait anten faz merkezi kayıklığını, uyduların ağırlık merkezleri ile uydularda bulunan antenlere ait faz merkezi arasındaki fark oluşturmaktadır. Uydu kaynaklı hataların en önemli bileşeni olan bu unsur özellikle hassas konum belirleme çalışmaları için etkin olarak kullanılan uydu yörünge bilgilerinin elde edilmesinde dikkate alınarak modellenmektedir.

Uydu yörünge bilgilerinin oluşturulmasında uydulara etki eden kuvvetlerin modellemeleri, IGS sonuç (final) ürünlerinde uydu ağırlık merkezine (center of mass) göre hesaplanmaktadır. Diğer yandan uygulamalarda alıcı konumunun belirlenmesinde ise uydu navigasyon mesajı bilgileri ve uydu gözlemleri uydu anteni faz merkezine (center of phase) göre hesaplanmaktadır. 4 Kasım 2006 tarihine kadar IGS tarafından bu kayıklıklar için sıfır değeri kullanılmıştır. 5 Kasım 2006 tarihi itibarıyla ise uydu ve alıcı antenleri mutlak faz merkezi değerleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle yazılımlarla yapılacak veri değerlendirme ve

analizlerde uyduların ağırlık merkezleri ile uydularda bulunan antenlere ait faz merkezi arasındaki kayıklık değerleri dikkate alınmalıdır (Kouba 2009).

2.1.1.2 Uydu Saat Hataları

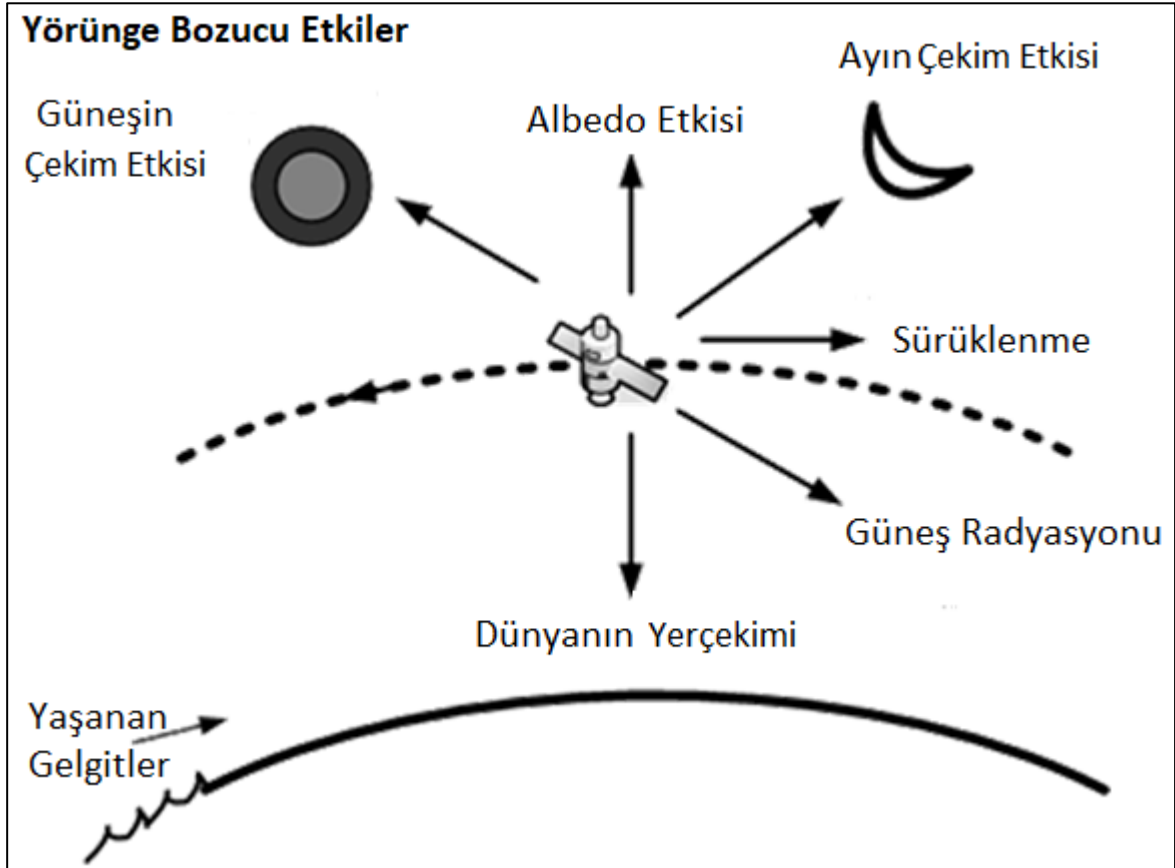
Tüm GNSS uyduları yayın sinyallerinin oluşturulmasını kapsayan zamanlama uygulamalarının kontrolü için atomik saatlerle donatılmıştır. Bu saatler yüksek derecede hassas ve kararlı olsalar da, uydu zamanı ile GNSS zamanı arasında küçük sapmalar oluşabilmektedir. Zaman bileşeninin uydudan çıkan sinyalin alıcıya ulaşması arasındaki mesafe hesabında ışık hızı bileşenini çarpan olarak kullanması sebebiyle, zaman parametresinin doğruluğu yüksek bir şekilde belirlenmesi çok önemlidir. Bu nedenle GNSS ana kontrol merkezi oluşan bu saat hatalarını hesaplayarak, saat düzeltme parametrelerini yeniden uydu navigasyon mesajı ile yayınlamaktadır. Bu düzeltme parametreleri ikinci dereceden polinomal eşitlik kullanılarak alıcılar tarafından uygulanmaktadır (Ebner 2008).

GNSS ile yapılan konumlama uygulamalarında uydu saat hataları oldukça önemlidir. Bu nedenle GNSS değerlendirmelerinde uydu saat hatalarının doğruluğu yüksek olarak belirlenmesi gerekmektedir. Uydu saat hatalarının bilinmemesi durumunda verimli sonuçların elde edilmesi imkansız hale gelmektedir. Çünkü ilgili çözüm, standart navigasyon çözümü ile aynı sınıfta yer almaktadır. Bu durumda uydu saat hataları yalnızca yayın efemerisinden elde edilmektedir. Bağlı konumlama için tekli ve çiftli farkların kullanılmasının en büyük avantajı uydu saat hatalarının giderilmesidir. IGS uydu saat hatalarını küresel veri setlerini kullanarak oluşturulan uydu yörünge bilgileri ile bağlantılı olarak hesaplamakta ve kullanıcılara sunmaktadır. IGS'in sunduğu sp3 dosyaları içerisinde uydu saatlerine ilişkin veri de kullanıcılara sunulmaktadır (Witchayangkoon 2000).

2.1.1.3 Uydu Yörünge Hataları

GNSS'in temel prensibi uydular ile alıcılar arasındaki mesafenin hesaplanması ilkesine dayanmaktadır. Bu nedenle uydu konumlarını içeren yörünge bilgilerinin (efemeris) alıcı tarafından bilinmesi gerekmektedir. Bu noktada yayın (broadcast) efemerisi, hızlı, aşırı hızlı ve hassas efemeris olarak adlandırılan yörünge bilgilerinden bahsedilmelidir. Yayın efemerisi diğer navigasyon verisi, mesaj parametreleri ile kontrol merkezi tarafından hesaplanarak uydulara yüklenmekte ve kullanıcılara ulaştırılmaktadır. Yayımlanan bu bilgi için Kalman Filtresi kullanılarak uydu yörüngeleri modellenmekte ve tahmin (kestirim) edilmektedir (Şekil

2.3). Böylece yayın efemerisi ile kolaylıkla gerçek zamanda navigasyon sağlanabilmektedir. Yörünge bilgileri, Kepler parametrelerinin modeli ile onların zamana bağlı değişimlerini sağlamaktadır. Ancak yörünge modelleri ve bu modellerin sayısal metotlarındaki ortalama hesap nedeniyle, yayın efemerisi bilgisi düşük doğrulukla hesaplanmaktadır. Efemeris hataları genellikle radyal doğrudaki küçük hatalardır (Kouba 2009).



Şekil 2.3 Uydu yörüngesini etkileyen faktörler.

Hassas efemeris ise genellikle analiz merkezleri tarafından ölçü gününden 12-18 gün sonra kullanıcılara sunulan yörünge bilgisidir. Günümüzde IGS tarafından GPS uyduları için yaklaşık 2,5 cm, GLONASS uyduları için yaklaşık 3 cm doğrulukla hassas uydu yörünge bilgisi sağlanmaktadır. Yayın ve hassas yörünge bilgilerine ek olarak günümüzde IGS ve diğer GNSS analiz merkezleri tarafından hızlı ve aşırı hızlı olmak üzere doğruluk düzeyi yayın efemeris ile hassas efemeris arasında iki farklı yörünge bilgisi yayınlamaktadır. Bunlardan aşırı hızlı efemeris 6 saatlik veri içermekle birlikte günde 4 kere güncellenmektedir. Hızlı efemeris ise günde bir yayınlanmaktadır (Gürbüz 2015).

2.1.1.4 Alıcı Anteni Faz Merkezi Kayıklıkları ve Değişimleri

Uydularda L1 ve L2 taşıyıcı sinyallerinin faz merkezi aynı kabul edilirken, bu durum alıcı antenlerinde farklıdır. GNSS uydu sinyalleri her doğrultudan geldiği için alıcı anteni faz merkezi konumu da bu doğrultulara bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu doğrultu bağımlılığı “alıcı anteni faz merkezi değişimleri (PCV: Phase Center Variations)” olarak adlandırılmaktadır. Bu değişimler alıcı antenlerinde, uydu antenlerine göre daha karmaşık bir sistem içerir. Çünkü söz konusu değişimler kullanılan anten modeline göre farklılık göstermektedir. Özellikle de aynı ağda farklı model antenler kullanılarak yapılan ölçümlerde, bu etki daha da önem kazanır. Bu etkinin dikkate alınmaması durumunda, genellikle istasyon yüksekliğinde desimetre düzeyinde hatalar meydana gelmektedir (Hugentobler et al. 2001).

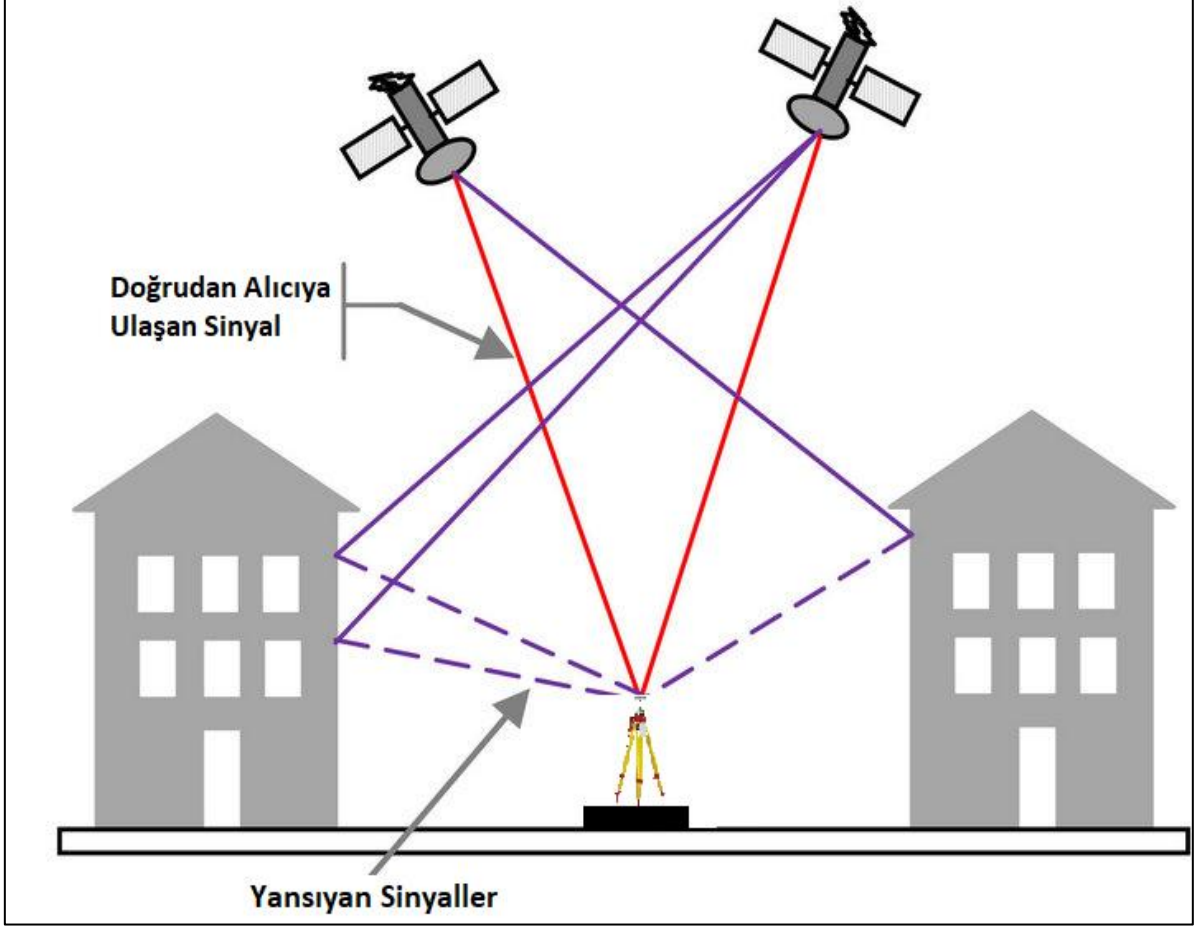
IGS, anten referans noktasını (ARP: Antenna Reference Point), antenin alt kısmı ile buna simetrik olan düşey anten ekseninin kesişme noktası olarak tanımlamaktadır. Bu nokta anten yüksekliğinin yukarıdan aşağıya doğru rahatlıkla ölçülebilmesi için seçilmiştir. Tüm ölçme yöntemlerinde alıcıya ulaşan GNSS sinyallerinin doğru referans noktası ise antenin elektriksel faz merkezidir. Elektriksel faz merkezinin anten içerisindeki konumu ise alıcıya ulaşan sinyalin yükseklik, azimut, yoğunluk ve frekans değerine bağlıdır. Anten faz merkezi kayıklığı (PCO: phase centre offset), anten referans noktası (ARP) ile ortalama elektriksel anten faz merkezi arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. PCO değerleri genellikle GNSS anten üreticisi firmalar tarafından her taşıyıcı sinyal frekansı için ayrı ayrı sağlanmaktadır.

Son yıllarda GNSS ağlarında farklı marka ve modeldeki antenlerin kullanımı giderek artmıştır. Bu nedenle yapılacak veri değerlendirme süreçlerinde bu türden ağlarda özellikle troposferik parametrelerin hesabında mutlak faz merkezi değişimlerini içeren PCV dosyalarının kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple özellikle akademik GNSS değerlendirme yazılımlarının kendilerine özel anten faz merkezi bilgilerini içeren dosyaları mevcuttur ve sürekli olarak güncellenmektedir (Öcalan 2015).

2.1.1.5 Sinyal Çok-Yönlülük (Multipath) ve Kırılma Etkisi

GNSS sinyalleri uydudan alıcı antenine ulaşma sürecinde çevresel etkiler nedeniyle birden fazla yol izleyerek, sinyal kırılmasına maruz kalmaktadır. Binalar, ağaçlar, göl ve hatta toprak gibi yüzeylerden yansıyabilen bu sinyaller, özellikle kentsel alanlarda yapılan ölçümlerde

sinyal çok yolluluk (multipath) ve kırılma etkisi ile karşı karşıya kalmaktadırlar. Kod gözlemleri için bu etkinin büyüklüğü sınırsızken, taşıyıcı faz gözlemlerinde, alıcıya doğrudan ve dolaylı olarak ulaşan sinyal dikkate alınarak kestirilebilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Sinyal yansıma (multipath) etkisine bir örnek (URL-4).

GNSS alıcıları, alınan uydu sinyali ile uydu türüne bağlı olarak içerisinde üretilen uydu PRN kodu arasında bir ilişki kurarak, GNSS sinyalinin yolculuk süresini belirler. Çok yolluluk etkisi hataları, alıcı yakınında bulunan yüzeylerden dolayı sinyalin yansıması ile olur ki, teoride simetrik olarak alıcı ile ilişkilendirilen bu geometriyi bozarak bu ilişkiyi en üst seviyede değiştirir. Kod ölçülerinde bu etki, çeşitli tasarım ve anten konumlandırma faktörlerine bağlı olarak 0,1-3 metre arasında hatalı sonuç verebilmektedir. L1 fazında multipath hatasının 5 cm'den daha az olması beklenmektedir. Olağandışı durumlarda eğer bu etki dikkate alınmaz ise konum hesabında 100 metreye kadar varan hatalar söz konusu olabilir.

2.1.1.6 Alıcı Saat Hataları

Çoğu GNSS alıcısı saatinde maliyeti düşürmek için bir kuvars kristal osilatör kullanılmaktadır. Ancak bunlar ortam sıcaklık değişiminden çabuk etkilenmektedirler ve GNSS uydu saatlerinde kullanılan atomik saatler kadar uzun süre kararlı olarak çalışmamaktadırlar. Temel olarak bu durum ise uydu-alıcı arasındaki mesafenin hatalı olarak hesaplanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle sık sık uydu zaman ölçeğine göre sapmaları karşılaştırılmaktadır (Hofmann-Wellenhof 2001).

2.1.2 Jeofiziksel Etkiler

2.1.2.1 Alıcı Katı Yeryuvarı Gelgit Modeli

Yeryuvarı, okyanuslardaki gelgite sebep olan çekime karşı yeteri kadar esnek olma özelliğine sahiptir (Şekil 2.5). Bu gelgitler sebebiyle oluşan düşey ve yatay yöndeki periyodik istasyon yer değiştirmeleri, küresel harmoniklerle ifade edilmektedir. Bu numaraların etkin değerleri Wahr (1981)'a göre de istasyonun enlemine ve gelgitin frekansına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle katı yeryuvarı gelgiti (Solid Earth Tides) etkisi, istasyon konumlarında milimetre düzeyinde doğruluklar istendiğinde göz ardı edilmemesi gereken önemli bir etkidir (IERS Conventions 2003).



Şekil 2.5 Katı yeryuvarı gelgitinin temsili gösterimi (URL-5).

Buna karşın 5 milimetreye kadar doğruluklar için gelgit etkisinin ikinci dereceye kadar alınması ve sadece yükseklik bileşeninde düzeltme yapılması yeterli olmaktadır (IERS

Standarts 1989). Gelgit düzeltmesi, temel olarak iki bileşen ile ifade edilmektedir. Bunlar, enlem değerine bağlı olan sabit kısım ve diğer bileşen olarak ifade edilen periyodik kısımdır. Bu düzeltme değeri, istasyon noktasının konumunda yatay doğrultu bileşeninde desimetre altı, radyal doğrultu bileşeninde ise 3 desimetre değerine ulaşabilmektedir. Periyodik olan kısım 24 saatlik statik gözlemler yapılarak ortalama bir değere getirilebilirken, enlem değerine bağlı olan sabit kısım aynı gözlemler ile giderilememektedir. Bu sebeple gelgit etkisi hesaplamalarında, ITRF ile uyuma dikkat edilmelidir (IERS Conventions 2003). Wahr (1981), enlem değerine bağlı sabit kısım ile periyodik bileşene bağlı olan katı yeryuvarı düzeltmesini, kartezyen koordinatların yer değiştirme vektörü çalışmasında paylaşmıştır. Etki ancak 100 km'den küçük bazlarda, bazı oluşturan istasyonların her ikisinin de aynı etkiye maruz kaldığı varsayılarak büyük oranda giderilmektedir (Kouba 2009).

2.1.2.2 Okyanus Gelgit Yüklenmesi

Okyanus gelgit yüklemesi (Ocean Tide Loading) katı yeryuvarı gelgiti etkisine benzer şekildedir. Kısaca okyanus gelgitlerinin yerkabuğuna baskı yapmasıdır. Bu etki günlük ve yarı günlük dönemlerden oluşmaktadır. Katı yeryuvarı gelgitine göre istasyon okyanustan uzaklaştıkça etkisi küçülmektedir. Sabit kısmı yoktur ve bölgesel olarak etki göstermektedir. Okyanus kıyısından 1.000 km ve daha fazla uzaktaki iç kısımlarda bulunan istasyonların konum bilgisi hesabında, ayrıca uzun süreli gözlemlerde bu etkisi minimum düzeydedir. Fakat istasyon okyanusa yakınsa ve/veya troposferik ıslak bileşen ile alıcı saat hatası hesaplanacaksa, uzun süreli gözlemlerde dahil olmak üzere bu etki dikkate alınmalıdır. Aksi durumlarda bu etki alıcı saat hatası ve troposferik etki olarak konum hesaplamalarına yansımaktadır (IERS Conventions 2003).

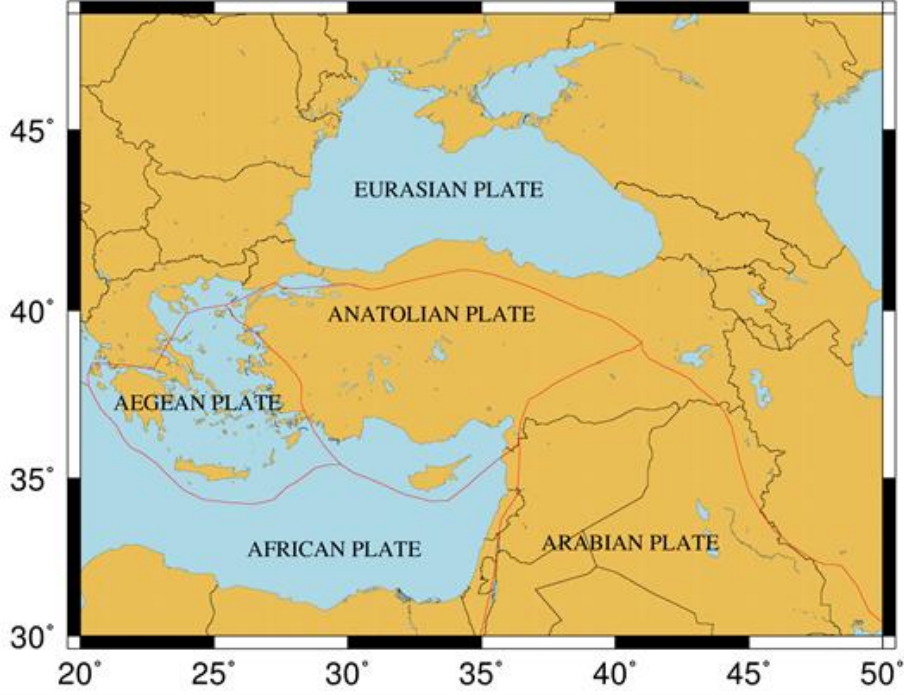
2.1.2.3 Kutup Gezinmesi / Kutup Gelgiti

Ayın ve Güneşin çekim etkileri gibi yeryuvarını etkileyen dış kuvvetler olmasa bile, yeryuvarının elastik yapısı, atmosfer ve okyanusların katı yeryuvarına etkileri nedeniyle dünyanın dönme ekseninde kaymalar meydana gelmektedir. Yeryuvarı merkezkaç kuvveti etkisiyle meydana gelen dönme eksenindeki, 1900-1905 tarihindeki ortalama kutba göre küçük değişimler kutup gezinmesi (Polar Motion) olarak tanımlanmaktadır. Bu harekete ek olarak Ayın ve Güneşin çekim etkileri de istasyon koordinatlarında periyodik değişimlere neden olmaktadır (Herring 1988).

Anlık kutbun hareketi, üst üste bindirilmiş iki hareketten oluşmaktadır. Bunlardan ilki yaklaşık periyodu 435 gün olan presesyon hareketidir ve elastik yeryuvarı modeli ile açıklanabilmektedir. İkincisi ise yeryuvarı kütlesindeki, nutasyon olarak adlandırılan ve mevsimsel değişimlerin neden olduğu yıllık harekettir. Dolayısıyla, presesyon ve nutasyon modellerinin tersine anlık kutbun katı yeryuvarına göre hareketi mevcut gelişmiş yeryuvarı modelleri ile açıklanamamaktadır. Aynı zamanda kutup gelgit (Polar Tides) etkisi değişimi çok yavaş olduğu için, diğer gelgit etkilerinde (okyanus ve katı yeryuvarı) olduğu gibi uzun süreli gözlem yapılarak bu etki giderilememektedir. Bu nedenle 1900-1905 yılları arasındaki ortalama kutup hareketi kutup gezinmesi gözlemleri için başlangıç kabul edilmektedir. Günümüzde kutup gezinmesi hareketinin yeryüzünde yaklaşık olarak 1-1,5 cm büyüklüğe karşılık geldiği, kutup gelgiti etkisinin de yükseklik bileşeninde en fazla 25 mm, yatay doğrultuda ise en fazla 7 mm'ye ulaşabildiği belirlenmiştir (Herring 1988).

2.1.2.4 Plaka Tektonik Hareketleri

Dünyanın yüzey tabakasını oluşturan ve ortalama kalınlığı 40 ile 90 km arasında değişen litosfer (kayaç küre/taşküre), boyutları birbirinden farklı bir dizi rijit plakadan (levha) oluşmaktadır (Şekil 2.6). Çok sayıda mozaik şeklindeki parçalardan oluşur ve ortalama yoğunluğu $2,67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Bu tabaka, okyanus tabanlarında yaklaşık 70 km, anakaralarda ise 100 km kalınlığa ulaşmaktadır. Manto katmanı, yeryüzündeki plaka tektonik hareketlerinin başlıca sebebidir. Manto'nun alt bölümlerinden yeryüzüne yaklaştıkça sıcaklık azalmaktadır. Manto'daki bu etkileşimde, sıcak olan magma yükselerek soğur ve katılaşmaya başlar, katılaştıran madde tabaka hareketleri ile tekrar Manto'nun alt katmanlarına doğru ilerler. Manto'nun üst kısımlarda bulunan soğuk kayaların bu alt katmanlara inmesi ile tekrar ısınarak, ergimesine neden olmaktadır. Günümüzde tam olarak modellenemeyen bu devinim, litosferdeki levhaların hareket etmesine sebep olmaktadır ve bu hareket süreklilik teşkil etmektedir (Öcalan 2015).



Şekil 2.6 Türkiye'nin güncel tektonik yapısını şekillendiren ana yapılar.

Plaka tektonik hareketleri (Plate Tectonic Motion), 1967-1968 yıllarından itibaren süreç içerisinde farklı uydu jeodezisi sistemlerin kullanılmasıyla (SLR, VLBI, GNSS vd.), uzun yıllardır yerbilimleri içerisinde jeodezik araştırmalar için odaklanılan bir konu haline gelmiştir. Klasik olarak bölgesel ve küresel GNSS ağları kullanılarak plaka tektonik hareketleri belirlenmektedir. Bu yaklaşımda uzun yıllar boyunca yapılan gözlemlerden elde edilen verilerle bir istasyona dayalı yer değiştirme vektörleri hesaplanarak plaka tektonik hareketleri hesaplanmaktadır. Günümüzde tüm dünyaya yayılmış yüzlerce IGS istasyonundan elde edilen günlük verilerle plaka hareketleri analiz edilmektedir. Bu sayede istasyonların konum bilgileri ile hızları internetten elde edilen verilerle kolayca hesaplanabilmektedir (Öcalan 2015).

2.1.2.5 Yeryuvarı Dönme Parametreleri

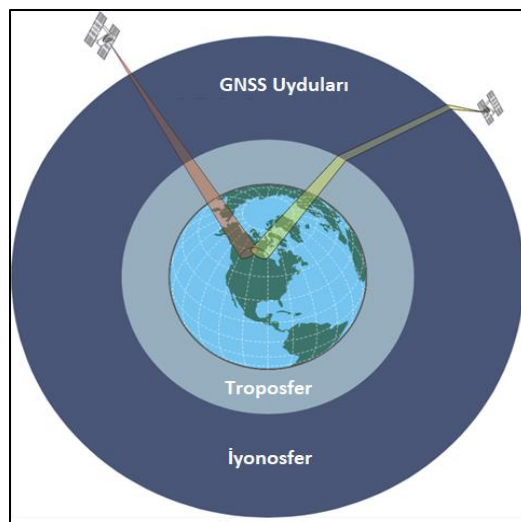
Uydu hareket denklemleri ve uydu koordinatları inersiyal koordinat sistemde, yeryüzündeki bulunan nokta koordinatları ise yersel koordinat sistemde tanımlanmaktadır. Bu nedenle, GNSS verilerinin değerlendirilmesi ve analizi aşamasında uydu koordinatları ve nokta koordinatlarının aynı referans sisteminde tanımlanması gerektiğinden, uluslararası göksel

koordinat sistemi (ICRF) ile uluslararası yersel koordinat sistemi (ITRF) arasındaki dönüşüm parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir (Castrique 1996).

Ancak GNSS verilerinin değerlendirilmesi ve analizi aşamasında, bu yönlendirme parametrelerinden yalnızca üçü (X_p , Y_p , UT1) kullanılmakta, bunlara yeryuvarı dönme parametreleri (ERP: Earth Rotation Parameters) denilmektedir (IERS Conventions 2003). Yıldız zamanı, presesyon ve nutasyon etkileri gibi kutup gezinmesi ve zaman ölçeğini kapsayan bu parametreler, akademik değerlendirme yazılımlarında ERP değişimleri olarak dikkate alınmaktadır. Özellikle okyanus yüklenmesinin günlük ve yarı günlük periyotlarından etkilenen ERP değerleri, yeryüzünde 3 cm büyüklüğünde etki yaratmaktadır (Kouba 2009).

2.1.3 Atmosferik Etkiler

GNSS sinyalleri uydudan yeryüzündeki alıcıya ulaşana kadar atmosferin çeşitli tabakalarından geçmektedir. Farklı tabakalara sahip atmosferin özellikle troposfer ve iyonosfer katmanları GNSS sinyallerini ve dolayısıyla elde edilecek nokta konum doğruluklarını önemli derecede etkilemektedir. Troposfer ve iyonosfer tabakalarında GNSS sinyalleri farklı şekilde etkilenmektedir. Bu nedenle hassas konum bilgilerinin elde edilmesi için her iki tabakada oluşan sinyal gecikmelerinin ayrı ayrı hesaba katılması gerekmektedir (Şekil 2.7). IGS kullanıcılar için hesapladığı atmosferik parametreleri kendi ürün kategorisinde farklı doğruluklarda sunmaktadır (Gürbüz 2015).



Şekil 2.7 Atmosferde GNSS sinyalinin izlediği yolun temsili gösterimi.

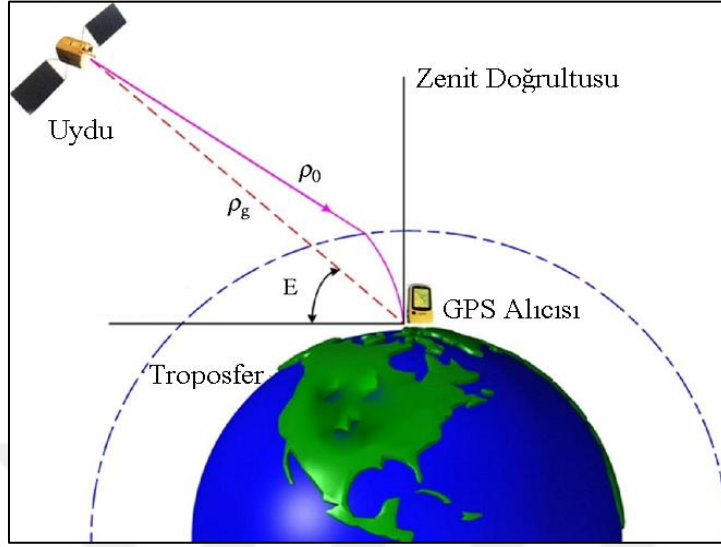
2.1.3.1 Troposferik Etki

Atmosferin litosfere temas eden en alt katmanı olan troposfer, gazların en yoğun olduğu katmandır. Yer yüzeyinden 20 km yüksekliğe kadar olan alan içerisinde bulunan ve kalınlığı enlem değerlerine göre değişen bu tabaka da GNSS sinyal yayılımı, sıcaklık ve basınç değerleri ile su buharı miktarına bağlıdır. Kalınlığı ekvatorda yaklaşık 20 km'ye ulaşırken, kutuplarda 8 km'ye kadar düşebilen bu katman tüm meteorolojik koşulların etkili olduğu hava olaylarının gerçekleştiği tabakadır. Uydu sinyallerinin troposferik gecikme etkisine maruz kalması, troposferin kuru (gaz bileşenleri) ve ıslak (su buharı) bileşenleri nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Kuru bileşenden kaynaklanan gecikme 2 m civarında olup, troposferik gecikmenin %90'ını oluşturmaktadır. Atmosferdeki su buharı ise ıslak bileşendir ve de gecikmenin %10'luk bölümünü oluşturmaktadır (Janes vd. 1989). Islak bileşenin etkisi ise sıcaklık ve basınç parametrelerine göre değişkenlik göstermektedir. Kuru bileşen yüzey basıncına bağlı olarak değiştiğinden dolayı ideal gaz yasası ile belirlenebilirken, heterojen dağılıma sahip ıslak bileşen modellenememektedir. Islak bileşeni, toplam gecikme miktarından kuru bileşenin çıkartılması ile hesaplanmaktadır (Mekik 1993, Mekik 1999, Gürbüz 2015).

Troposfer tabakası saçıcı olmayan bir ortam olduğundan sinyal frekansına bağımlı değildir. İyonosfer tabakasında uygulanan çift frekans kombinasyonu ile bu etki giderilemez. Bu nedenle ıslak bileşen, dolayısıyla toplam troposferik gecikme modellenmelidir. Bu modellerden en yaygın olanları; yüzey modelleri (Hopfield 1969, Saastamoinen 1973) ve küresel ve/veya bölgesel standart atmosfer modelleridir. Troposferin sinyaller üzerindeki etkisini formüle etmek amacıyla farklı yaklaşımlar ile troposferik gecikme modelleri geliştirilmiştir. Bunlara ek olarak uydu yükseklik açısına bağlı onlarca izdüşüm fonksiyonu (mapping function) geliştirilmiştir.

Sinyal, uydudan çıkıp alıcıya ulaşması anına kadar troposferde kat ettiği mesafe boyunca bu etkiye maruz kalmaktadır (Şekil 2.8). Dolayısı ile düşük uydu yükseklik açısına sahip gözlemlerde (0 ile 10 derece arasında), troposferik gecikme etkisi ciddi boyutlara ulaşabilmektedir (Mekik 1993, Mekik 1999, Gürbüz 2015). Bu nedenle geçmişte GNSS ölçme çalışmalarında sinyallerin troposferden az etkilenmesi için 15°'nin altından gelen uydu sinyallerinin kullanılmaması önerilmekteydi. Günümüzde yüzey modelleri ve izdüşüm fonksiyonlarının teknoloji ile birlikte gelişimi sayesinde 5°'ye kadar olan uydu yükseklik

açılardan gelen sinyaller başarılı bir şekilde kullanılabilir (Mekik 1999, Dousa 2003, Gürbüz 2015).



Şekil 2.8 Troposferde GNSS sinyalinin yayılışı (Gürbüz 2015).

2.1.3.2 İyonosferik Etki

İyonosfer, yeryüzünden yaklaşık 60 km ile 1.000 km arasındaki katmandır. İyonosfer, serbest elektronlar ve pozitif yüklü iyonları içeren, atmosferin iyonlaşmış bölümüdür. İyonosfer radyo dalgaları yayılımı için en önemli katmandır. Sinyal yayılımı, ortamın elektriksel özellikleri, serbest elektronlar ve pozitif yüklü iyon parçacıklarından önemli derecede etkilenmektedir. İyonosferdeki sinyal yayılımı toplam elektron içeriği, manyetik alan ve çalışma yapılacak alanın enlemi doğrudan ilişkilidir.

İyonosferden geçen sinyal kırılmaya uğramaktadır bu sebeple iyonosferik etki, GNSS ölçümlerindeki temel hata kaynaklarından biridir. İyonosferde bulunan toplam elektron içeriği güneşin çalışma yapılacak konuma olan açısı ve konumuyla ilişkilidir. Güneş ışınlarının belirlenen konuma gelen açısı dikleştikçe elektron içeriği artmaktadır. Güneş ile doğrudan ilişki sebebiyle çalışma yapılan alanda güneş batmasının ardından elektron içeriği azalmaktadır. Bu gece gündüz farklı sinyal yayılımında 20 m'ye varan bir farka sebep olmaktadır.

Gerçekleşen bu olaylar neticesinde ortaya çıkan serbest elektronlar GNSS sinyalleri üzerinde kod ölçülerini geciktirici, taşıyıcı faz ölçülerini ise hızlandırıcı bir etki gösterir. Bu etki toplamda GNSS sinyalinin uydudan alıcıya olan mesafe ölçüsünde 3-15 m arasında değişmeye sebep olur. Hassas konum belirleme çalışmalarında bu hatanın modellenmesi gerekmektedir (Hofmann-Wellenhof 2001, Erkan vd. 2010).

Güneşin günlük etkisinin dışında iyonosfer tabakasındaki düzensizlikler nükleer aktiviteler, roket fırlatılışı gibi insan kaynaklı olaylar ya da güneş tutulması, güneş patlamaları, depremler, volkanlar ve manyetik fırtınalar gibi doğal olaylar nedeniyle oluşmaktadır (Afraimovich et al. 2000). GNSS sinyallerini etkileyen iyonosferdeki bu değişimler “toplam elektron yoğunluğu (TEC)” ile açıklanmaktadır. İyonosferdeki dolayısıyla TEC’deki değişimlerin düzenli olan bölümü ile düzensiz olan stokastik bölümü mevcuttur. Düzenli bölüm için geliştirilen iyonosfer modelleri, özellikle uzun bazlara ilişkin tamsayı belirsizliği çözümlerinde iyi sonuçlar vermektedir. Buna karşın düzensiz etkilerin özellikle tamsayı belirsizliği çözümü ve koordinat bileşenlerini doğrudan etkilemesinden ötürü çalışmaların çoğu stokastik bölüm üzerine odaklanmıştır. Düzensiz değişimlerin başlıca kaynağı manyetik fırtınalardır. Bunlar GNSS sinyallerini etkileyerek parlama etkisine neden olmaktadır (Dach et al. 2007).

İyonosfer saçıcı bir ortam olduğundan GNSS’in çift frekans özelliğinden yararlanılarak, sinyal kombinasyonu ile TEC miktarları belirlenebilmektedir. TEC değerleri küresel ya da bölgesel iyonosfer yapısı hakkında bilgiler içermektedir. Bölgesel TEC haritalarının elde edilmesi için fark alınmamış taşıyıcı faz verisine Taylor açılımı uygulanmaktadır. Küresel iyonosfer etkilerinin modellenmesinde ise, bölgesel nitelikteki Taylor açılımı yetersiz kaldığı için küresel harmonik açılım kullanılmaktadır (Dach et al. 2007).

Günümüzde farklı ağırlıklandırma ve modellemelere sahip küresel ya da bölgesel TEC haritaları üreten pek çok GNSS analiz merkezi vardır. Bunlara örnek olarak CODE, JPL, ESOC, DLR, NOAA, NRCan vb. gibi organizasyonlar sayılabilir. Bu organizasyonlardan bazıları IGS çatısı altında analiz merkezi olarak hizmet vermektedirler. IGS analiz merkezleri tarafından üretilen bu TEC verileri tüm dünyayı kapsayacak şekilde IONEX (Ionosphere Map Exchange Format) yapısında tüm kullanıcılara standart olarak sunulmaktadır.

2.1.4 Dikkate Alınması Gereken Diğer Etkiler

2.1.4.1 İstasyon Hızları

Sabit GNSS referans istasyonları, kimi bölgelerde büyüklükleri yaklaşık desimetre mertebesinde olan periyodik hareketlere maruz kalmaktadır. Öte yandan santimetre altı hareketlere neden olan atmosferik yüklenme, yeraltı su seviyesi değişimi, toprak nemi miktarı, kar kütlesi etkisi gibi etkiler de bulunmaktadır. Büyük bir bölümü plaka tektoniği ile ilişkili olan periyodik istasyon hareketleri belli bir hız alanı oluşturmaktadır. Aynı tektonik plaka üzerindeki çalışma bölgelerinde bulunan GNSS istasyonlarının hızları birbirine yakın kabul edilmektedir. Fakat doğruluk ve hassasiyet gerektiren deformasyon çalışmalar için özellikle tekrarlı ölçümler söz konusu ise GNSS istasyonlarının hızları hesaba katılmak zorundadır.

2.1.4.2 Referans Çerçeve (Datum)

Nokta koordinatlarının hesaplanmasında kullanılan IGS yörünge ve saat bilgileri, aynı zamanda belirlenen konumun referans sistemini de tanımlamaktadır. Serbest ya da minimum zorlamalı bağıl konum belirleme uygulamalarında IGS yörünge/saat bilgilerinin kullanılarak, ağ hassas olarak yönlendirilmekte ve ölçeği belirlenmektedir. Bu nedenle GNSS ağ çözümlerine dahil edilecek tüm çözümlerin aynı referans çerçevesinde (datum) olması önem arz etmektedir. ITRF tarafından kullanıcılara sunulan 2005, 2008, 2014 çözümlerinde kullanılan lineer hızlara ek olarak bölgesel ya da yerel hız alanları da dikkate alınmalıdır.

2.2 ZAMANSAL YER DEĞİŞTİRMELERİN BELİRLENMESİ

GNSS ile farklı iki epok yapılan gözlemler ile elde edilen koordinat farkları, iki epok arasında gerçekleşen toplam yer değiştirme miktarını vermektedir. Bu sebeple temel parametre belirlenen epoklarda yapılan ölçümler ile elde edilen koordinat bileşenleridir. Ölçüm yönteminin statik veya kinematik olarak belirlenmesi; ölçüm süresi, gereken doğruluk, hassasiyet, zaman ve ekonomik parametreler gözetilerek seçilmektedir. Fakat ölçümün temelinde ise kod ve faz ölçüleri bulunmaktadır.

2.2.1 Kod Ölçüleri ile Konum Belirleme

GNSS alıcılarında uzunluk ölçüsü alıcıda oluşturulan kopya sinyal ile uydudan gelen sinyalin karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. Alıcı tarafından taşıyıcı fazlar üzerine modüle edilmiş kodlar çözüldüğünde kodun sıfır ve bir değerleri (binary code) elde edilmiş olunur. Uydu tarafından gönderilen sinyal alıcıya yaklaşık olarak 0,07 saniyede ulaşması sebebiyle gelen sinyal ile alıcıda oluşturulan kopya sinyal aynı zaman noktasında çakışamazlar. Bu iki sinyali zaman açısından çakıştırmak için gerekli olan öteleme, sinyalin uydudan alıcıya ulaşması için gerekli olan zamana eşit olacaktır. İkili kodun çakıştırılması ile ölçülen zaman gecikmesi sinyalin ortamda yayılma hızı olan ışık hızı ile çarpılarak uzaklık elde edilmiş olunur. Bu işlem alıcılardaki GNSS sinyalinin ardışık olarak tekrar eden döngülerinin izlenmesi özelliği sayesinde gerçekleştirilmektedir (Hofmann-Wellenhof et al. 2001).

Uygulamada uydu ve alıcı saatleri GNSS zamanı ile eş zamanlı olarak çalışmazlar. Bununla birlikte uydudan alıcıya giden sinyal bir takım hatalara ve gecikmelere uğramaktadır. Bu nedenle GNSS uzunluk ölçüsü etkili bir şekilde kullanılması için saat hatalarının ortadan kaldırılması gerekmektedir. Kod ölçüleri ile herhangi bir t anında mesafe belirlemek için aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Hofmann-Wellenhof et al. 2001).

$$R_i^j(t) = \zeta_i^j(t) + c\Delta\delta_i^j(t) + \varepsilon_R \quad (2.1)$$

Formüldeki $R_i^j(t)$, kod gözlemleri ile j uydu ile i GNSS alıcısı arasında ölçülen öncül uzunluk, $\zeta_i^j(t)$ uydu ile alıcı arasındaki geometrik mesafeyi, c ışık hızı, ε_R R öncül mesafe ölçümündeki hatalarını ve $\delta_i^j(t)$ ise uydu ve alıcıya ait toplam saat düzeltmelerini betimlemektedir. Formülde kullanılan geometrik mesafe ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\zeta_i^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_i)^2 + (Y^j(t) - Y_i)^2 + (Z^j(t) - Z_i)^2} \quad (2.2)$$

Formüldeki $X^j(t)$, $Y^j(t)$, $Z^j(t)$ t anında uyduya ait jeosentrik konum vektör bileşenlerini, X_i , Y_i , Z_i gözlem istasyonuna ait bilinmeyen ECEF koordinatlarını betimlemektedir.

2.2.2 Taşıyıcı Faz Ölçüleri ile Konum Belirleme

Taşıyıcı dalga üzerinden ikili kodların kaldırılmasının ardından geriye sadece saf sinüsoidal taşıyıcı sinyal kalmaktadır. Burada yapılan ölçüm işlemi ise alıcıdaki sinyal izleme birimi tarafından, alıcıda oluşturulan kopya sinyal ile uydudan gelen sinyal arasındaki faz farklarının ölçümü şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu işlem yapılırken taşıyıcı sinyalin sinüsoidal yapısından ve her bir tam devir sinyalin birbirinin aynısı olmasından en son tam devir sinyali karşılaştırılabilmektedir. Böylece alıcı içerisinde oluşturulan sinyal ile algılanan sinyal arasındaki faz farkı taşıyıcı faz gözleminin ondalık kısmı olarak elde edilmektedir. Uyduya alıcının kilitlenmesinin ardından alıcıya gelen her bir tam devir sinyal kaydedilerek bu küsuratlı kısım ile sayılan devirler toplanır ve faz ölçüsü elde edilmiş olunur. Taşıyıcı sinyal, belirsizliğinden dolayı ancak maksimum bir devir değerinde olabilmektedir.

Alıcı ile uydu arasındaki mesafenin taşıyıcı sinyal devirlerinin bu toplam miktarı ile ölçülemeyen kısmından oluşmaktadır. Sinyal devirlerinin uyduya kilitlenmeden önceki toplam miktarı ise tam sayı faz belirsizliği olarak isimlendirilmektedir ve eğer taşıyıcı faz ölçüleri yüksek duyarlık istenen uygulamalarda kullanılacaksa matematiksel olarak mutlaka çözümlenmelidirler. Ölçüm esnasında uydu izleme işlemi kesintiye uğramadığı takdirde, tam sayı faz belirsizliği değişmeyecektir. Sonuçta tam sayı faz bilinmeyen, uydu izlenmeye başladığında uydu ile alıcı arasındaki tam sayı devir miktarına karşılık gelmektedir. Eğer uydu ölçümünün başlangıcından itibaren sürekli olarak izlenirse, alıcı kendisine ulaşan tüm sinyal devirlerini belirleme olanağına sahip olur. Uydunun izlenmesinin herhangi bir sebeple kesintiye uğraması durumunda sinyal devir kaybı (faz sıçraması-cycle slip) oluşur (Hofmann-Wellenhof et al. 2001).

Statik uygulamalarda faz sıçraması istasyon hareket etmediği için kolayca giderilebilmektedir. Bu gibi durumlarda faz sıçraması, sadece tam sayı faz bilinmeyeninin matematiksel çözümü için gerekli olan zamanı uzatıcı bir etki oluşturmaktadır. Statik uygulamalarda istenen doğruluğa bağlı olarak gerekli olan oturum zamanının uzunluğunu belirleyen en temel faktörün tam sayı faz bilinmeyeninin çözümü olduğu unutulmamalıdır. Kinematik ölçümlerde ise faz sıçraması ölçme işleminin yeni baştan tekrarlanmasını gerektirmektedir. Bu geriye dönüş prosedürü tam sayı faz bilinmeyeninin tekrar belirlenmesini amaçlamaktadır. Taşıyıcı faz ölçüsü ile öncül mesafenin elde edilişi aşağıdaki gibidir.

$$\Phi_i^j(t) = \frac{1}{\lambda} \zeta_i^j(t) + N_i^j + f^j \Delta \delta_i^j(t) + \varepsilon_\Phi \quad (2.3)$$

Formüldeki $\Phi_i^j(t)$ döngü cinsinden ölçülen taşıyıcı fazı, λ dalga boyu, $\zeta_i^j(t)$ kod gözleminde olduğu gibi geometrik mesafeyi, N_i^j tamsayı belirsizliğini, f^j j uydusundan gelen sinyalin frekansını, $\Delta \delta_i^j(t)$ alıcı ve uyduya ait saat düzeltmelerini ve ε_Φ ise Φ faz ölçümüne ait hata miktarlarını betimlemektedir.

Bir GNSS alıcısı tek, çift ve özellikle günümüzde üçlü sinyalleri alacak şekilde tasarlanmaktadır. Jeodezik uygulamalarda çift ve üç frekanslı GNSS alıcıları kullanılmaktadır. Çift frekanslı alıcılar L1 ve L2 taşıyıcı fazları ölçmektedirler. Belirtilen L1 sinyali 1575,42 MHz ve L2 sinyali 1227,60 MHz değerine sahiptir. Alıcılar kod-korelasyon tekniğini kullanarak L2 fazını birkaç milimetre duyarlılığında ölçmektedirler. İkinci frekansın kullanımı uzun bazlarda iyonosferik gecikme hatasını kestirmeye olanak sağlamaktadır. Ayrıca ikinci frekans kısa bazlarda tam sayı faz belirsizliğinin çözümünde gereken zamanı azaltmaktadır. Bu işlem iki GNSS taşıyıcı faz ölçülerinin farklı kombinasyonları ile sağlanmaktadır. Tek frekanslı alıcılarda bu kombinasyonlar oluşturulamamaktadır.

2.2.3 Bağlı Konumlama

Bağlı konumlamamanın temeli, koordinatları bilinen bir noktadan yararlanılarak, koordinatları bilinmeyen bir noktanın koordinatlarının hesaplanmasıdır. Başka bir deyişle, bağlı konumlamadan yararlanılarak iki nokta arasındaki vektörün (baz vektörü) belirlenmesidir. Koordinatları bilinen olarak A noktası düşünülürse, koordinatları bilinmeyen olarak B noktası ve b_{AB} baz vektörüdür. Bu konumlar arası vektör ve konumların ilişkisi aşağıdaki gibidir.

$$X_B = X_A + b_{AB} \quad (2.4)$$

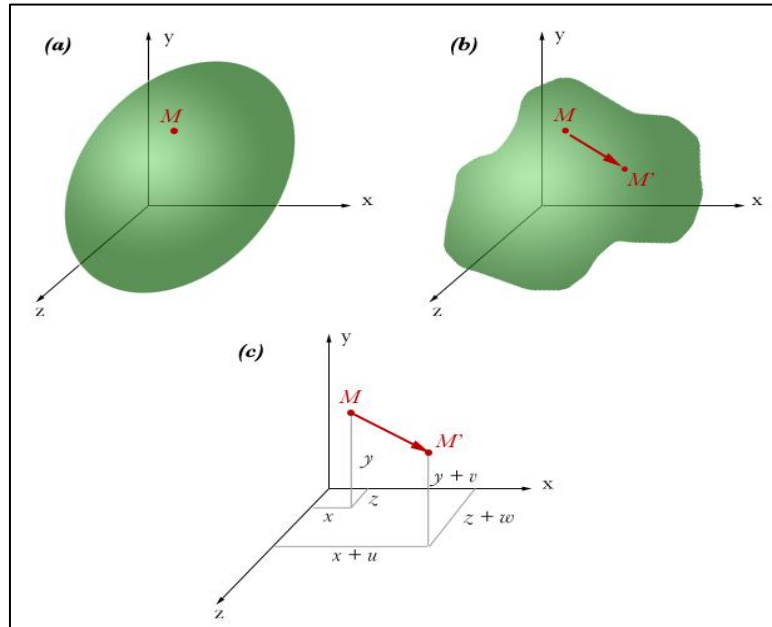
b_{AB} baz vektörünün bileşenleri aşağıdaki gibidir.

$$b_{AB} = \begin{pmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Bağıl konum belirleme için hem koordinatları bilinen hem de bilinmeyen noktalarda eş zamanlı gözlem yapılması gerekmektedir. Eş süreli yapılan bu gözlemlerden yararlanılarak özellikle faz ölçülerinde faz kombinasyonları yapılabilmektedir. Bu faz kombinasyonları alıcılar arası (tekli farklar), uydular arası (çiftli farklar) veya zamanlar arası (üçlü farklar) olacak şekilde yapılabilmektedir (Detaylı bilgi için Hofmann-Wellenhof 2001). Bunlara ek olarak faz ölçülerindeki tam sayı faz belirsizliğinin çözülmesi için L1 ve L2 taşıyıcı fazları farklı kombinasyonlar kullanılmaktadır. Bu kombinasyonlar, geniş aralık (wide lane), dar aralık (narrow lane) ve iyonosferden bağımsız (iono free) olarak adlandırılmaktadır. Bu kombinasyonlar doğrudan ölçülemez, matematiksel olarak hesaplanmaktadır (Hofmann-Wellenhof 2001, Seeber 1993).

2.3 GERİNİM ANALİZİ

Gerinim, şekil değiştirme ve deformasyon terimleri birçok bilim dalında incelenen ve kullanılan vazgeçilmezlerdendir. Gerinim, S alanı üzerine etkileyen F kuvvetinin bu alana bölümü şeklinde tanımlanır. Fiziksel anlamda gerinim, bir kuvvetin meydana getireceği deformasyona karşı cismin içinde meydana gelen birim yüzeye düşen iç kuvvettir (Şekil 2.9). Bir yerdeki gerinim ölçümünden amaç, o yerdeki ölçülen eksen yönlerindeki gerinim tensörünün bileşenlerinin belirlenerek asal gerinimlerin hesaplanması ya da doğrudan asal gerinimlerin belirlenmesidir (URL-6).



Şekil 2.9 Deformasyondan önceki ve sonraki durum (URL-6).

Yer bilimlerinde kullanılan gerinim, bir noktanın komşu noktalara göre yer değiştirme miktarının noktanın başlangıçtaki yeri ile referans noktası arasındaki uzaklığa bölümü şeklinde tanımlanabilir. Şekil 2.9’da (a) gerinim öncesi maddenin durumu gösterilmekteyken, (b) gerinim sonrası durum betimlenmekte ve (c)’de ise gerinim oluşumu boyunca 3 boyuttaki değişim miktarları matematiksel olarak betimlenmektedir. Yerkabuğundaki gerinimlerin belirlenmesinde jeodezik yöntemlerin kullanımına ilişkin bilinen ilk rapor 75 yıl önce (Terada and Miyabe 1929, Tsuboi 1930) Japon jeofizikçiler tarafından yayınlanmıştır. Takip eden yıllarda yapılan çalışmalarda gerinim tensörünün veya elemanlarının belirlenmesine yönelik farklı birçok değişik yöntem bulunmuştur. Gerinim analizi, tekrarlı jeodezik gözlemlerin kinematik analizi için en uygun matematiksel araçtır (Schneider and Vanicek 1991).

2.3.1 İki Boyutta Gerinim Analizi

İki boyutlu ağlarda bir P noktasının yer değişimi (Vanicek et al. 2001)

$$\Delta x_i = \begin{pmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada u , x yönündeki yer değişimi ve v , y yönündeki yer değişimdir. Gradyent tensörü E ,

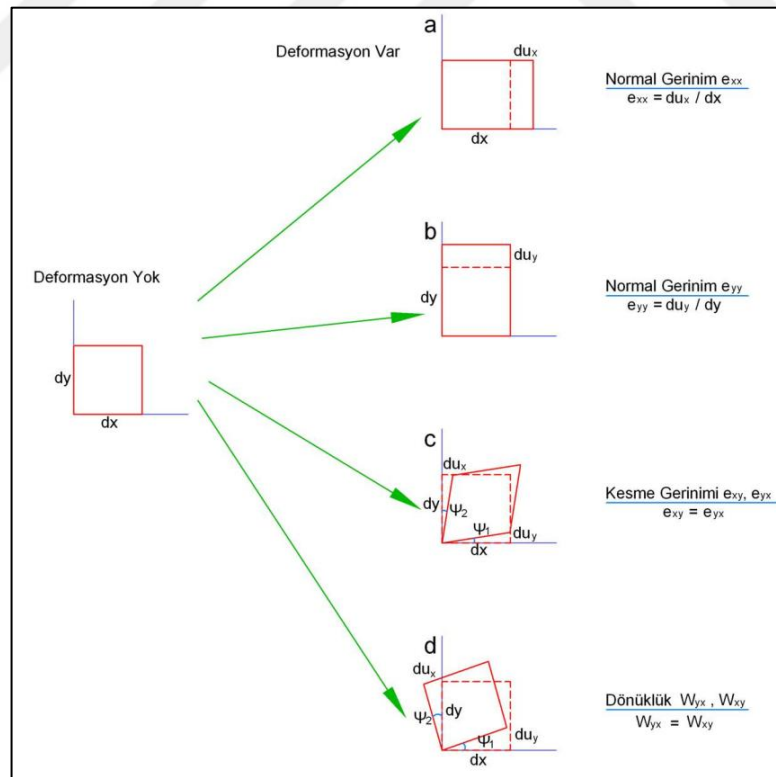
$$E = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_i}{\partial x} & \frac{\partial u_i}{\partial y} \\ \frac{\partial v_i}{\partial x} & \frac{\partial v_i}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

simetrik gerinim tensörü ve anti-simetrik dönme tensörü olarak ifade edilen iki matrisin toplamı şeklinde yazılır (Berber 2006):

$$S = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_i}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial y} - \frac{\partial v_i}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x} - \frac{\partial u_i}{\partial y} \right) & \frac{\partial v_i}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{xx} & \frac{1}{2} \gamma_{xy} \\ \frac{1}{2} \gamma_{yx} & e_{yy} \end{pmatrix}$$

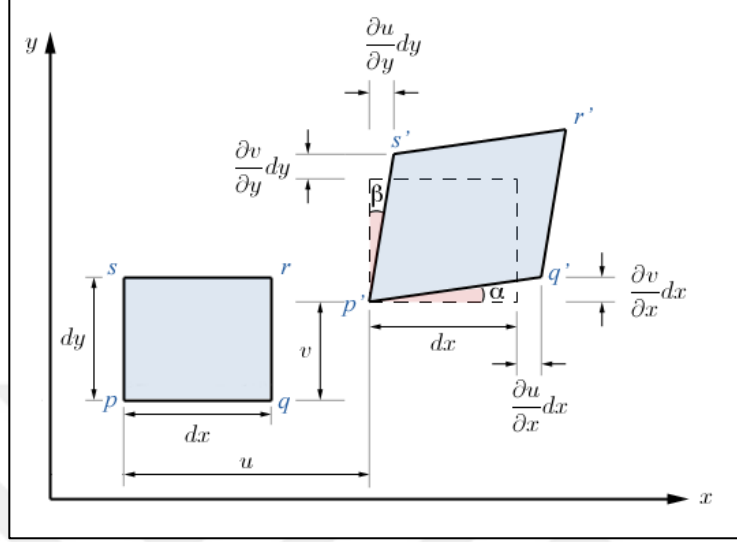
$$A = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial y} - \frac{\partial v_i}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x} - \frac{\partial u_i}{\partial y} \right) & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \omega_{xy} \\ -\omega_{yx} & 0 \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

Simetrik gerinim tensörü (S) köşegen elemanları olan e_{xx} ve e_{yy} değerleri; koordinat eksenleri boyunca birim uzunlukta oluşan genişleme miktarını verirken, köşegen dışındaki e_{xy} değerleri ise; koordinat eksenlerine göre deformasyon sonucu ortaya çıkan küçük açısız bozulmaları yansıtmaktadır (Berber 2006). Simetrik olmayan dönme tensörü (A) matrisinin ω_{xy} elemanları ise koordinat eksenlerini içeren düzlemde deformasyon nedeniyle oluşan blok dönüklüğünü göstermektedir (Şekil 2.10, 2.11).



Şekil 2.10 Deformasyondan önceki ve sonraki durum ve gerinim türleri.

Gerinim tensör elemanları hem iki boyutlu hem de üç boyutlu olarak hesaplanabilir. Bu gerinim tensör elemanlarından yararlanılarak elde edilen iki boyutlu gerinim parametre eşitlikleri ayrı ayrı tanımlanmaktadır (Vanicek et al. 1981).



Şekil 2.11 Deformasyondan önceki ve sonraki durum (URL-6).

Asal gerinim parametreleri (özdeğerler) yani minimum ve maksimum asal gerinimler, pozitif veya negatif değerler olabilirler. Pozitif değer, ilgili doğrultudaki genişlemeyi negatif değer ise sıkışmayı belirtir. Deformasyon, her iki özdeğer pozitif ise gerinim elipsi, biri pozitif diğeri negatif ise iki bölümlü hiperbol, ikisi de negatif ise sanal elips biçimindedir. Grafik gösterimde pozitif ya da negatif elips eksenleri farklı karakterlerle gösterilir. Genişleme yönü noktadan dışarıya doğru, sıkışma yönü ise bunun tam tersi oklarla tanımlanır (Vanicek et al. 1981).

Saf Kayma (Pure Shear)

$$\gamma_1 = e_{xx} - e_{yy} \quad (2.9)$$

Mühendislik Kayması (Engineering Shear)

$$\gamma_2 = 2e_{xy}, (e_{xy} = \frac{1}{2}\gamma_{xy}) \quad (2.10)$$

Alan Bozulması (Dilation)

$$\Delta = e_{xx} + e_{yy} \quad (2.11)$$

Maksimum Asal Gerinim (Maximum Principal Strain)

$$\varepsilon_{maksimum} = \frac{1}{2} \left((e_{xx} + e_{yy}) + (\sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2}) \right) \quad (2.12)$$

Minimum Asal Gerinim (Minimum Principal Strain)

$$\varepsilon_{minimum} = \frac{1}{2} \left((e_{xx} + e_{yy}) - (\sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2}) \right) \quad (2.13)$$

Maksimum Gerinim Yönü (Rotation)

$$\varphi = \frac{1}{2} \left(2e_{xy} / (e_{yy} + e_{xx}) \right) \quad (2.14)$$

Toplam Kaymanın Yönü (Total Shear Rotation)

$$\psi = \varphi + (\pi / 4) \quad (2.15)$$

1.3.2 Üç Boyutta Gerinim Analizi

Üç boyutlu gerinim analizi için matematiksel model;

$$\begin{aligned} l + V &= Ax \\ C_{ll} &= \sigma_0^2 Q_{ll} \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\begin{pmatrix} x_i^2 - x_i^1 \\ y_i^2 - y_i^1 \\ z_i^2 - z_i^1 \\ \vdots \\ x_i^2 - x_i^1 \\ y_i^2 - y_i^1 \\ z_i^2 - z_i^1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_{x_i} \\ V_{y_i} \\ V_{z_i} \\ \vdots \\ V_{x_i} \\ V_{y_i} \\ V_{z_i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & 0 & 0 & y_1 & z_1 & 0 & 0 & z_1 & -y_1 \\ 0 & y_1 & 0 & x_1 & 0 & z_1 - z_1 & 0 & x_1 & \\ 0 & 0 & z_1 & 0 & x_1 & y_1 & y_1 & -x_1 & 0 \\ \vdots & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & \\ x_p & 0 & 0 & y_p & z_p & 0 & 0 & z_p & -y_p \\ 0 & y_p & 0 & x_p & 0 & z_p - z_p & 0 & x_p & \\ 0 & 0 & z_p & 0 & x_p & y_p & y_p & -x_p & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_{xx} \\ e_{yy} \\ e_{zz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ w_{xx} \\ w_{yy} \\ w_{zz} \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

dir (Pietrantonio and Riguzzi 2004). Dengelemeli çözüm sonucunda üç boyutlu gerinim parametrelerini içeren x bilinmeyenler vektörü elde edilir. Üç boyutlu bir ağ için gerinim tensörü (S) ve dönme tensörü (A) ,

$$S = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_i}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial y} + \frac{\partial v_i}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial z} + \frac{\partial w_i}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x} + \frac{\partial u_i}{\partial y} \right) & \frac{\partial v_i}{\partial y} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial z} + \frac{\partial w_i}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_i}{\partial x} + \frac{\partial u_i}{\partial z} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_i}{\partial y} + \frac{\partial v_i}{\partial z} \right) & \frac{\partial w_i}{\partial z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{xx} & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy} & e_{yy} & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xz} & \frac{1}{2}\gamma_{yz} & e_{zz} \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial y} - \frac{\partial v_i}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial z} - \frac{\partial w_i}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x} - \frac{\partial u_i}{\partial y} \right) & 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial z} - \frac{\partial w_i}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_i}{\partial x} - \frac{\partial u_i}{\partial z} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_i}{\partial y} - \frac{\partial v_i}{\partial z} \right) & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & w_{xy} & w_{xz} \\ -w_{yx} & 0 & w_{yz} \\ -w_{zx} & -w_{zy} & 0 \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

dir. Gerinim tensör elemanları üç boyutlu olarak aşağıdaki gibi belirlenir (Vanicek et al. 2001, Vanicek et al. 2008)

Alan Bozulması (Dilation)

$$\Delta = \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x} + \frac{\partial v_i}{\partial y} + \frac{\partial w_i}{\partial z} \right) \quad (2.19)$$

Saf Kayma (Pure Share)

$$\begin{aligned} \tau_{xy_i} = -\tau_{yx_i} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x} - \frac{\partial v_i}{\partial y} \right) \\ \tau_{xz_i} = -\tau_{zx_i} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x} - \frac{\partial w_i}{\partial z} \right) \\ \tau_{yz_i} = -\tau_{zy_i} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial y} - \frac{\partial w_i}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2.20)$$

Basit Kayma (Simple Share)

$$\begin{aligned} v_{xy_i} = -v_{yx_i} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial y} - \frac{\partial v_i}{\partial x} \right) \\ v_{xz_i} = -v_{zx_i} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial z} - \frac{\partial w_i}{\partial x} \right) \\ v_{yz_i} = -v_{zy_i} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial z} - \frac{\partial w_i}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (2.21)$$

Toplam Kaymanın Yönü (Total Share Rotation)

$$\begin{aligned} \psi_{xy_i} &= \sqrt{\tau_{xy_i}^2 + v_{xy_i}^2} \\ \psi_{xz_i} &= \sqrt{\tau_{xz_i}^2 + v_{xz_i}^2} \\ \psi_{yz_i} &= \sqrt{\tau_{yz_i}^2 + v_{yz_i}^2} \end{aligned} \quad (2.22)$$

BÖLÜM 3

VERİ İNDİRME VE DEĞERLENDİRME ALGORİTMASI (VİDA) TASARIMI

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte veri arama, elde etme, denetleme, değerlendirme ve görselleştirme büyük önem taşımaktadır. Mühendislik alanında veri ile ilgili tüm işlemlerin başarıyla tamamlanmasına ek olarak bu işlemlerin hızlı, yüksek doğruluğa sahip olması gerekmektedir. Bu sebeple endüstride olduğu gibi akademik çalışmalarda da işlemlerin otomatikleştirilmesi amaçlanmaktadır. İşlem adımları teker teker tanımlanarak sistemin çalıştırılması ve gerekli kontrollerin sürdürülmesi sonucunda her alanda insan gücü azaltılabilmektedir.

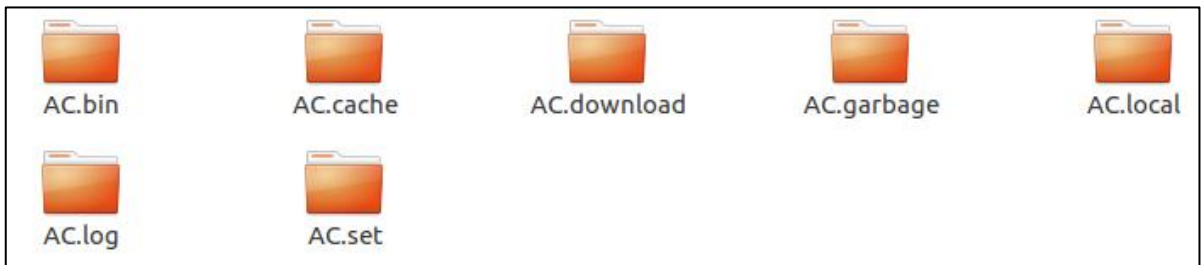
Geomatik Mühendisliği bünyesinde de Dünya'nın birçok yerinde bu tip otomatikleştirilmiş analiz merkezleri bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak International Global Navigation Satellite System Service (IGS), Center for Orbit Determination in Europe (CODE) vb. gibi birçok kurum ve üniversitenin analiz merkezi verilebilir. Tüm hatlarıyla otomatik olan bu analiz merkezlerinin temel prensibi kullanıcının istediği tarihe ait gözlem dosyalarından yararlanılarak istediği istasyona veya tüm ağa ait sistem çözümlerine (koordinat bileşenleri, zaman serileri, vs.) ulaşabilmesidir. Bu sebeple veri indirilmesinden çözümlerin kullanıcıya sunulmasına kadar tüm işlemlerin en hızlı ve doğruluğu yüksek bir şekilde yapılması amaçlanmaktadır. Gerçeğe yakın zamanlı (saatlik) çözümlere ek olarak günlük çözümler kullanılarak yüksek hassasiyet gerektiren günlük konumsal değişimlerin belirmesi ve atmosferik parametrelerin kestirilmesi de kullanıcıya sunulmaktadır.

Sürekli gözlem yapan tüm Global Navigation Satellite System (GNSS) istasyonlarından gelen verilerin işlendiği bu analiz merkezlerinde, diğer jeodezik ve/veya jeolojik sistemlerden gelen veriler sayesinde afetler (deprem, tsunami, heyelan, volkanik aktivite, vb.) için erken uyarı sistemleri kurulmuştur ve sürekli kullanıcılara veri sağlamaktadır. Buna ek olarak kullanıcılar geçmişe ait veri ve değerlendirmelere de istedikleri an ulaşarak, yapılacak çalışmalar için kullanabilmektedir.

3.1 VERİ İNDİRME VE DEĞERLENDİRME ALGORİTMASI (VİDA)

Tasarımı ve tüm test süreçlerini başarıyla tamamlamış olan Veri İndirme ve Değerlendirme Algoritması (VİDA) Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi bünyesinde Nisan 2018 itibariyle aktif hale getirilmiştir. Bu analiz merkezi ile ulusal ve/veya bölgesel GNSS ağlarındaki istasyonlara ait (TUSAGA-Aktif, BUSAGA-Aktif, vs.) gözlem dosyalarının ve uydu yörünge bilgilerinin indirilmesi, kalite kontrolünün yapılması, değerlendirilmesi, sonuç ürünlerinin (zaman serileri, enterpolasyon haritaları, gerinim hesaplamaları) görselleştirilmesi ve kullanıcıya sunulması amaçlanmıştır. Buna ek olarak analiz merkezinin aktif hale getirilmesinden çalışmanın tamamlanmasına kadar elde edilen sonuçlardan yararlanılarak, GNSS istasyonlarının bulunduğu bölgelerde gerçekleşen gerinim değerleri incelenerek deprem ve jeomorfolojik yapı ile ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır.

VİDA, analiz merkezinde değerlendirmede kullanılacak temel parametrelerin internet ortamından indirilmesi ve uygun şekilde depolanması için geliştirilmiştir. Temel görevleri, veri indirme ve kontrolü, GNSS değerlendirmesi için gerekli klasörlerin oluşturulması ve dosyaların taşıma işlemleri, tüm süreçlerdeki kayıt dosyalarının oluşturulması, özellikle eksik yörünge bilgileri için alternatif çözüm üretimidir. VİDA her ne kadar eksiksiz olarak tasarlanmış olsa da işletim sistemi, donanımlar ve internet bağlantısı ile ilgili problemler yaşanabilme olasılığı her zaman bulunmaktadır. Buna ek olarak değerlendirme için gerekli olan gözlem ve yörünge bilgisi dosyalarının internet ortamından indirilememesi de sistemde hatalara sebep olmaktadır. Algoritmanın ilk adımdaki internetten veri indirme işlemi 7 temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; AC_binary, AC_set, AC_log, AC_cache, AC_garbage, AC_download ve AC_local olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 VİDA dosyalama sistemi.

- **AC_binary**

VİDA'nın temel çalışma kodlarının bulunduğu dizindir. Tüm analiz merkezinin başlangıç adımlarını içermektedir. Ana görevi önceden tanımlanmış ara yolları kullanarak istenilen gözlem dosyaları ve uydu yörüngesi bilgilerini internet ortamından indirmektir. Buna ek olarak indirilen dosyaların gerekli formatlara dönüştürülerek gerekli klasörlere taşınmasını gerçekleştirmektedir. Temel olarak 4 bileşenden oluşmaktadır.

- RINEX_down (RINEX veri indirme)
- BRDC_down (Yayın Efemerisi veri indirme)
- EPHE_down (Uygun Efemeris indirme {aşırı hızlı, hızlı, hassas})
- SYSTEM_down (Yönetim ve dönüşüm)

- **AC_set**

VİDA'nın veri indirme protokollerini oluşturan kütüphane sistemidir. Temel olarak 2 tip dosya kullanılmaktadır.

.src (source) : Veri indirmek için FTP sitelerine ulaşım protokollerini içeren dosyadır. Yönetici istenildiği takdirde kaynak ekleme/çıkartma ve hatta erişim sıralamasını değiştirme işlemlerini yapabilmektedir. Dosyanın ilk bölümünde bulunan tanımlamalar alt bölümdeki bilgilerin bulunduğu kolonlara ait tanımlamalardır. Satır içerisinde kolonlar arası geçiş iki nokta üst üste ':' ile sağlanmaktadır. Birinci kolon değerlendirmede kullanılacak GNSS istasyonu ve/veya bağlı bulunduğu gruplandırmayı temsil etmektedir. İkinci kolon veri türünü, üçüncü kolon ise indirilecek olan RINEX verisine ait internet sitesini göstermektedir. Dördüncü kolon ise üçüncü kolonda tanımlanan internet sitesinde RINEX dosyalarının bulunduğu ara yolu betimlemektedir (Şekil 3.2).

```

#
# NAME          ... arbitrary (starting CDDIS?)
# TYP[;subTYP] ... data type (RNX, SP3+ERP [ci SP3, ERP], CRX, ..., MIRROR, UNIQUE)
# IP[;HOST]     ... ip address, voluntary HOST address
# DIR          ... remote directory (+ de-mask <sess>,<id>,..etc.)
#
# understand the table: check   - 4x! ':' -> separate into FIELDS
#                          exclude - all ' '
#                          separate - all ',' -> later used between array items
# -----
# NAME : TYP[;subTYP] : IP[;HOST] : DIR : comment
# -----

# rinex files

Separator = '!'

BKG_IGS ! RNX;HOURLY ! igs.bkg.bund.de;141.74.33.23 ! IGS/nrt/<doy>/<hr> !
BKG_EUR ! RNX;HOURLY ! igs.bkg.bund.de;141.74.33.23 ! EUREF/nrt/<doy>/<hr> !

# changed to NEW CDDIS server

CDDIS! RNX ! cddis.gsfc.nasa.gov;128.183.102.35 ! gps/data/hourly/<year>/<doy>/<hr> !
CDDIS! RNX;HOURLY ! cddis.gsfc.nasa.gov;128.183.102.35 ! gps/data/hourly/<year>/<doy>/<hr> !
CDDIS! RNX;DAILY;GPS ! cddis.gsfc.nasa.gov;128.183.102.35 ! gps/data/daily/<year>/<doy>/<yr>o !
CDDIS! RNX;DAILY;GLO ! cddis.gsfc.nasa.gov;128.183.102.35 ! gps/data/daily/<year>/<doy>/<yr>g !
CDDIS! RNX;DAILY;COMP ! cddis.gsfc.nasa.gov;128.183.102.35 ! gps/data/daily/<year>/<doy>/<yr>d !
CDDIS! RNX;DAILY;NAV ! cddis.gsfc.nasa.gov;128.183.102.35 ! gps/data/daily/<year>/<doy>/<yr>n !
CDDIS! RNX;DAILY;MET ! cddis.gsfc.nasa.gov;128.183.102.35 ! gps/data/daily/<year>/<doy>/<yr>m !
CDDIS! RNX;DAILY;SUM ! cddis.gsfc.nasa.gov;128.183.102.35 ! gps/data/daily/<year>/<doy>/<yr>s !

```

Şekil 3.2 RINEX src dosyası örneği.

.fil (file) : FTP sitelerine erişim başarı ile sağlandığı takdirde hangi tür veriye hangi dosyadan ulaşabileceğinin tanımlı olduğu dosyadır. Src uzantılı dosyada olduğu gibi dosyanın ilk bölümünde bulunan tanımlamalar alt bölümdeki bilgilerin bulunduğu kolonlara ait tanımlamalardır. Satır içerisinde kolonlar arası geçiş iki nokta üst üste ‘:’ ile sağlanmaktadır. Birinci kolon değerlendirmede kullanılacak GNSS istasyonu ve/veya bağlı bulunduğu gruplandırmayı temsil etmektedir. İkinci kolon veri türünü, üçüncü kolon ise indirilecek olan RINEX verisine ait internet sitesinin src uzantılı dosyada tanımlanan ara yolda nasıl isimlendirildiğini betimlemektedir. Buna ek olarak internet ortamından indirilecek olan RINEX dosyalarının VIDA’nın depolama ünitesinde hangi ara yolda saklanacağı tanımlanmaktadır. Bu modül ile sadece IGS ve/veya EUREF ağlarına ait GNSS istasyonlarının gözlem dosyaları indirilmektedir. TUSAGA-Aktif ve diğer bölgesel ağlara ait GNSS istasyonları için istasyonların bağlı bulunduğu kurum/kuruluşlardan alınan izinler üzerine, bu kurum/kuruluşların kendi internet protokollerine özel modüller hazırlanmıştır. RINEX dosyalarında olduğu gibi yörünge bilgilerini içeren dosyaların indirilmesi içinde fil uzantılı dosyalar hazırlanmıştır. Gerçeğe yakın zamanlı değerlendirmeler için aşırı hızlı yörünge bilgilerinin isimleri ve bilgisayar üzerindeki ara yolları tanımlanmıştır (Şekil 3.3, 3.4).

```

# NAME ... arbitrary (starting CDDIS?)
# TYP[;subTYP] ... data type (RNX, SP3+ERP [ci SP3, ERP], CRX, .., MIRROR, UNIQUE)
# MASK[;MASK] ... filemask (using '*,[,],?' +de-mask <doy>,<i>,<hr>,<gw>,<dw>, etc.)
# SRC[;SRC] ... ordered source list
# GRP[;GRP] ... group access: repository root located under "--out-directory=" (e.g. $HOME)
# LOCDIR ... destination: sub-directory of repository root (GRP)
#
# -----
# NAME : TYP[;subTYP] : MASK[;MASK] : SRC[;SRC] : GRP[;GRP] : LOCDIR : comment
# -----
#
# GPS EUREF
# -----
ARGI : RNX;HOURLY : argi*<doy><i>.<yr>[od]*;ARGI*<doy><I>.<yr>[OD]* : BKG_EUR : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
AUT1 : RNX;HOURLY : aut1*<doy><i>.<yr>[od]*;AUT1*<doy><I>.<yr>[OD]* : BKG_EUR : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
KTVL : RNX;HOURLY : ktvl*<doy><i>.<yr>[od]*;KTVL*<doy><I>.<yr>[OD]* : BKG_EUR : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
M0SE : RNX;HOURLY : m0se*<doy><i>.<yr>[od]*;M0SE*<doy><I>.<yr>[OD]* : BKG_EUR : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
PUYV : RNX;HOURLY : puyv*<doy><i>.<yr>[od]*;PUYV*<doy><I>.<yr>[OD]* : BKG_EUR : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
VLNS : RNX;HOURLY : vlns*<doy><i>.<yr>[od]*;VLNS*<doy><I>.<yr>[OD]* : BKG_EUR : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :

# BEU RINEX files
# BEUG : RNX;HOURLY : beug*<doy><i>.<yr>[od]*;BEUG*<doy><I>.<yr>[OD]* : BEUG : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
# BUSK : RNX;HOURLY : busk*<doy><i>.<yr>[od]*;BUSK*<doy><I>.<yr>[OD]* : BUSK : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
# GMLK : RNX;HOURLY : gmlk*<doy><i>.<yr>[od]*;GMLK*<doy><I>.<yr>[OD]* : GMLK : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
# INGL : RNX;HOURLY : ingl*<doy><i>.<yr>[od]*;INGL*<doy><I>.<yr>[OD]* : INGL : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
# IZNK : RNX;HOURLY : iznk*<doy><i>.<yr>[od]*;IZNK*<doy><I>.<yr>[OD]* : IZNK : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
# KRZY : RNX;HOURLY : krzy*<doy><i>.<yr>[od]*;KRZY*<doy><I>.<yr>[OD]* : KRZY : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
# MKPS : RNX;HOURLY : mkps*<doy><i>.<yr>[od]*;MKPS*<doy><I>.<yr>[OD]* : MKPS : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :
# ORHN : RNX;HOURLY : orhn*<doy><i>.<yr>[od]*;ORHN*<doy><I>.<yr>[OD]* : ORHN : REPO : nrtdata/<yr><doy>/<I> :

```

Şekil 3.3 RINEX fil dosyası örneği.

```

#
# NAME ... arbitrary (starting CDDIS?)
# TYP[;subTYP] ... data type (RNX, SP3+ERP [ci SP3, ERP], CRX, .., MIRROR, UNIQUE)
# MASK[;MASK] ... filemask (using '*,[,],?' +de-mask <doy>,<i>,<hr>,<gw>,<dw>, etc.)
# SRC[;SRC] ... ordered source list
# GRP[;GRP] ... group access: repository root located under "--out-directory=" (e.g. $HOME)
# LOCDIR ... destination: sub-directory of repository root (GRP)
#
# -----
# NAME : TYP[;subTYP] : MASK[;MASK] : SRC[;SRC] : GRP[;GRP] : LOCDIR : comment
# -----
#
# orbits (SP3+ERP)
# -----
# IGS ultra-rapid orbits & ERPs (masked separately due to local)
# BKG has both IGU & igu names, thus use only lowercase!!!
BRDN: GPS,NAV : brdc<doy>0.<yr>n.Z : CDDIS-BRDN : REPO : orbits/brdc/<year> :
BRDG: GLO,NAV : brdc<doy>0.<yr>g.Z : CDDIS-BRDG : REPO : orbits/brdc/<year> :

#
IGU: SP3+ERP;ULTRA : igu<gw><dw>_00.sp3* : IGSCB;CDDIS;BKG;IGN_ULR;SIO_ULR : REPO : orbits/<gw>u
IGU: SP3+ERP;ULTRA : igu<gw><dw>_00.erp* : IGSCB;CDDIS;BKG;IGN_ULR;SIO_ULR : REPO : orbits/<gw>u

# → → → → → → →
IGU: SP3+ERP;ULTRA : igu<gw><dw>_06.sp3* : IGSCB;CDDIS;BKG;IGN_ULR;SIO_ULR : REPO : orbits/<gw>u
IGU: SP3+ERP;ULTRA : igu<gw><dw>_06.erp* : IGSCB;CDDIS;BKG;IGN_ULR;SIO_ULR : REPO : orbits/<gw>u

# → → → → → → →
IGU: SP3+ERP;ULTRA : igu<gw><dw>_12.sp3* : IGSCB;CDDIS;BKG;IGN_ULR;SIO_ULR : REPO : orbits/<gw>u
IGU: SP3+ERP;ULTRA : igu<gw><dw>_12.erp* : IGSCB;CDDIS;BKG;IGN_ULR;SIO_ULR : REPO : orbits/<gw>u

# → → → → → → →
IGU: SP3+ERP;ULTRA : igu<gw><dw>_18.sp3* : IGSCB;CDDIS;BKG;IGN_ULR;SIO_ULR : REPO : orbits/<gw>u
IGU: SP3+ERP;ULTRA : igu<gw><dw>_18.erp* : IGSCB;CDDIS;BKG;IGN_ULR;SIO_ULR : REPO : orbits/<gw>u

IGU: SP3+ERP;ULTRA : igv<gw><dw>_00.sp3* : IGN_ULR;SIO_ULR;SIO_ULR;GL01 : REPO : orbits/<gw>u
IGU: SP3+ERP;ULTRA : igv<gw><dw>_06.sp3* : IGN_ULR;SIO_ULR;SIO_ULR;GL01 : REPO : orbits/<gw>u
IGU: SP3+ERP;ULTRA : igv<gw><dw>_12.sp3* : IGN_ULR;SIO_ULR;SIO_ULR;GL01 : REPO : orbits/<gw>u
IGU: SP3+ERP;ULTRA : igv<gw><dw>_18.sp3* : IGN_ULR;SIO_ULR;SIO_ULR;GL01 : REPO : orbits/<gw>u

```

Şekil 3.4 Efemeris fil dosyası örneği.

- **AC_log**

VİDA'nın her adımı sonrası oluşturduğu metin formatındaki kayıt dosyalarını içermektedir.

- Başarılı ya da başarısız veri indirme raporları (RINEX, BRDC, EPHE)
- Yörünge bilgisi eksikliği durumunda kayıt dosya kontrolleri
- Sistem yöneticisine tehlikeli durumları ileten e-posta sistemi
- Vaka kayıt dosyaları

- **AC_cache**

VİDA'nın veriye ilk erişim platformudur. İnternet üzerindeki farklı kaynaklardan gelen farklı veri türlerinin ilk olarak depolandığı dizindir (Şekil 3.5). Dosyalama sisteminin amacı son ürün olarak kullanılacak verilerin kontrol öncesi geçici olarak depolanması ve diğer klasörlerde oluşabilecek geri dönüşü olmayan hataların önüne geçilmesidir. Veri indirilmesi ve kontrolü sonucunda dosya içeriği silinip ve bir sonraki adım için tekrar hazır duruma getirilmektedir.

REPO/orbits/1839u/igu18392_00.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57119.00000 ;	28.44531 ;	190809
REPO/orbits/1840u/igu18400_00.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57124.00000 ;	23.44531 ;	182887
REPO/orbits/1840u/igu18401_00.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57125.00000 ;	22.44531 ;	188981
REPO/orbits/1840u/igu18402_00.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57126.00000 ;	21.44532 ;	183761
REPO/orbits/1841u/igu18410_00.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57131.00000 ;	16.44532 ;	189497
REPO/orbits/1841u/igu18411_00.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57132.00000 ;	15.44532 ;	190570
REPO/orbits/1841u/igu18412_00.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57133.00000 ;	14.44532 ;	182611
REPO/orbits/1842u/igu18420_00.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57138.00000 ;	9.44532 ;	189754
REPO/orbits/1842u/igu18421_00.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57139.00000 ;	8.44532 ;	189259
REPO/orbits/1839u/igu18390_00.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57117.00000 ;	30.44532 ;	454
REPO/orbits/1839u/igu18391_00.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57118.00000 ;	29.44532 ;	456
REPO/orbits/1839u/igu18392_00.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57119.00000 ;	28.44532 ;	461
REPO/orbits/1840u/igu18400_00.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57124.00000 ;	23.44532 ;	459
REPO/orbits/1840u/igu18401_00.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57125.00000 ;	22.44532 ;	458
REPO/orbits/1840u/igu18402_00.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57126.00000 ;	21.44532 ;	463
REPO/orbits/1841u/igu18410_00.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57131.00000 ;	16.44532 ;	460
REPO/orbits/1841u/igu18411_00.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57132.00000 ;	15.44532 ;	458
REPO/orbits/1841u/igu18412_00.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57133.00000 ;	14.44532 ;	453
REPO/orbits/1842u/igu18420_00.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57138.00000 ;	9.44532 ;	458
REPO/orbits/1842u/igu18421_00.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57139.00000 ;	8.44532 ;	459
REPO/orbits/1839u/igu18390_06.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57117.25000 ;	30.19532 ;	190081
REPO/orbits/1839u/igu18391_06.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57118.25000 ;	29.19532 ;	190690
REPO/orbits/1839u/igu18392_06.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57119.25000 ;	28.19532 ;	195123
REPO/orbits/1840u/igu18400_06.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57124.25000 ;	23.19532 ;	188633
REPO/orbits/1840u/igu18401_06.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57125.25000 ;	22.19532 ;	190075
REPO/orbits/1841u/igu18410_06.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57131.25000 ;	16.19532 ;	190543
REPO/orbits/1841u/igu18411_06.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57132.25000 ;	15.19532 ;	189031
REPO/orbits/1841u/igu18412_06.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57133.25000 ;	14.19532 ;	182451
REPO/orbits/1842u/igu18420_06.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57138.25000 ;	9.19532 ;	189485
REPO/orbits/1842u/igu18421_06.sp3.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57139.25000 ;	8.19532 ;	189115
REPO/orbits/1839u/igu18390_06.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57117.25000 ;	30.19532 ;	459
REPO/orbits/1839u/igu18391_06.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57118.25000 ;	29.19532 ;	450
REPO/orbits/1839u/igu18392_06.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57119.25000 ;	28.19532 ;	458
REPO/orbits/1840u/igu18400_06.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57124.25000 ;	23.19532 ;	458
REPO/orbits/1840u/igu18401_06.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57125.25000 ;	22.19532 ;	460
REPO/orbits/1840u/igu18402_06.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57126.25000 ;	21.19532 ;	461
REPO/orbits/1841u/igu18410_06.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57131.25000 ;	16.19532 ;	459
REPO/orbits/1841u/igu18411_06.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57132.25000 ;	15.19532 ;	460
REPO/orbits/1841u/igu18412_06.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57133.25000 ;	14.19532 ;	454
REPO/orbits/1842u/igu18420_06.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57138.25000 ;	9.19532 ;	453
REPO/orbits/1842u/igu18421_06.erp.Z ;	CDDIS ;	IGU.SP3+ERP_ULTRA ;	57139.25000 ;	8.19532 ;	460

Şekil 3.5 Efemeris kayıt dosyası örneği.

- **AC_garbage**

VİDA'nın çöp kutusu olması amaçlanmıştır. Fakat denemeler sonucunda bir kontrol mekanizmasına dönüştüğü görülmüştür. GNSS veri değerlendirme öncesi gerekli formatlara dönüştürülemediği veriler ve veri indirme sırasında yaşanan aksaklıklardan dolayı sorunlu veriler bu dosyada geçici olarak saklanmaktadır. Bunun amacı ise, eksik ve sorunlu dosyaların kontrolü ilk olarak kayıt dosyaları ve çöp kutusunun kontrolü ile başlamaktadır.

- **AC_download**

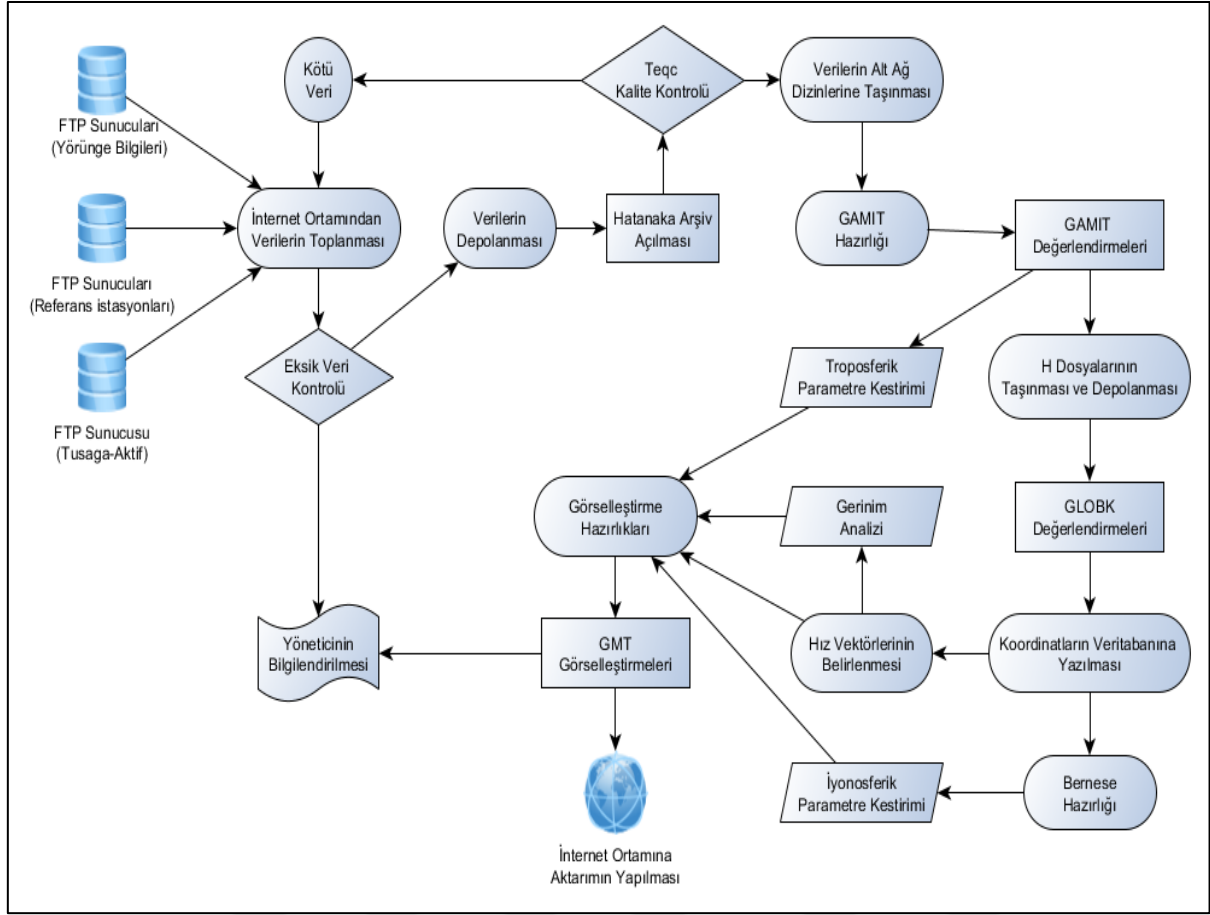
VİDA'nın veri indirme ve kontrolleri sonrası analiz merkezinin farklı adımlarında kullanılması için sağlıklı verinin kısa dönemli depolandığı dosyadır. Verinin analiz merkezinde kullanılmasının ardından veri, kalıcı depolama merkezine iletilmektedir.

- **AC_local**

VİDA'nın veri indirme sırasında problem yaşadığı dosyalar için yönetici statüsüne sahip kullanıcının, ciddi otomatik veri indirme problemlerini aşmak için bireysel olarak devreye girip farklı kaynaklardan veriyi indirip, sistemi geciktirmeden ve hiçbir problem ile karşılaşmadan sisteme müdahale etmesini sağlayan dosyalama sistemidir.

3.1.1 VİDA'nın İşleyişi

Sistemin genel olarak farklı amaçlı modüller, destekleyici yazılımlar ve farklı senaryolar için yapılandırılmış ayarların herhangi bir arayüz kullanılmadan bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. VİDA'yı oluşturan genel modüller, verilerin internet ortamından indirilmesi, verilerin değerlendirilmesi, verilerin görselleştirilmesi ve kullanıcıya sunulması olarak belirlenmiştir. Bu genel bileşenlere ek olarak, arşivlenen verilerdeki eksikliklerin giderilmesi, saatlik ve günlük çözümlere ek olarak haftalık çözüm stratejilerinin geliştirilmesi ve yöneticinin mail ile bilgilendirilmesi için de ek modüller hazırlanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 VIDA'nın modüllerine ait iş akış diyagramı.

3.1.2 Gerekli Donanım ve Yazılım Altyapısı

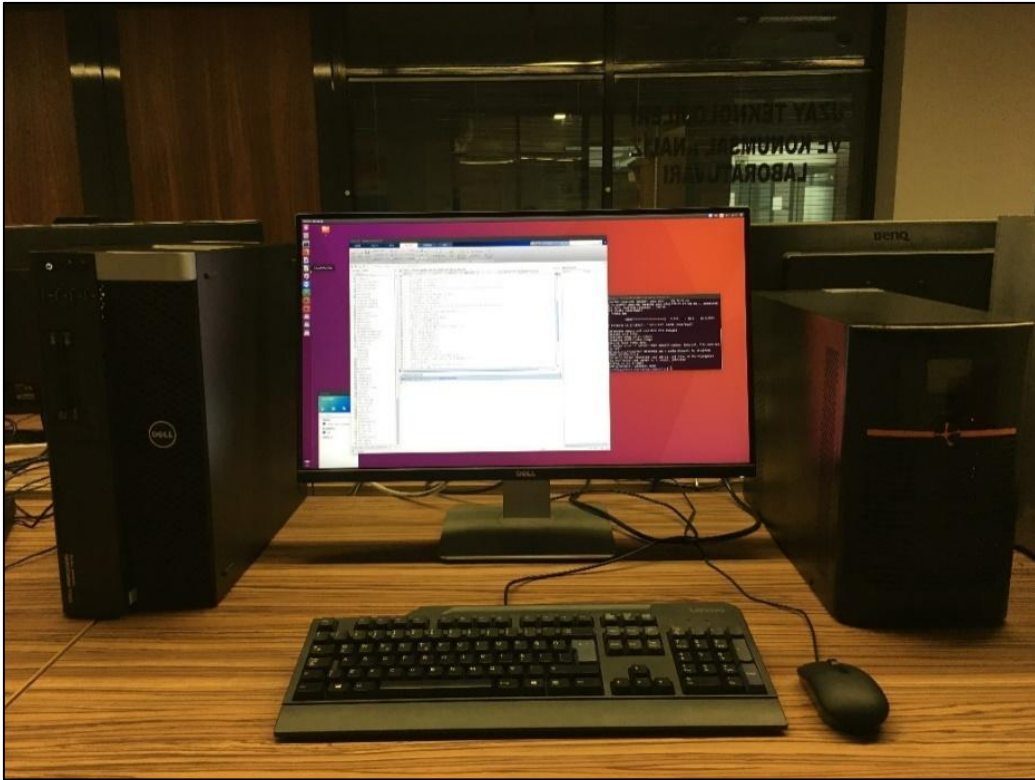
VIDA'nın gerekli iş adımlarını yerine getirebilmesi için gereken donanımsal özellikler günümüz üst düzey yazılımlarına göre düşük seviyededir. İlk olarak kesintisiz ve güvenilir internet ve elektrik altyapısı, sistemin devamlılığı için en temel bileşendir. Temel GNSS değerlendirmeleri GAMIT/GlobK yazılım paketi tarafından yapıldığı için Linux/Unix tabanlı bir işletim sistemi gerekmektedir. Yazar bu konuda kararlılığı ve kullanım kolaylığı açısından Debian tabanlı işletim sistemlerinden Ubuntu'yu önermektedir.

Sistemin sürekli ve yoğun bir çalışma potansiyeline sahip olabilmesi için kullanılacak sunucu ya da kişisel bilgisayarın güçlü bir soğutma sistemine ve sabit disklerinin RAID sistemine sahip olmasına, elektrik kesintisi durumunda oluşacak problemlerin önüne geçmek için kesintisiz güç kaynağına sahip olması gerekmektedir. VIDA'nın genel anlamda tek gerekliliği depolama kapasitesidir. Standart olarak tüm kişisel bilgisayarlarda çalışabilecek yapıda olan

VİDA için minimum 300 GB depolama kapasitesine sahip olması önerilmektedir. Bu miktarın, VİDA'nın kullanımının sürekli olması ve uzun süreli kullanımı göz önünde bulundurulduğunda arttırılması gerekecektir.

En düşük 1,5 Ghz'lik işlemci gücüne sahip bir bilgisayarda VİDA problemsiz olarak çalışabilmesine rağmen, 4 ile 16 çekirdekli bir işlemci optimum performans için idealdir. Buna ek olarak VİDA ile değerlendirilecek GNSS istasyon sayısı, değerlendirmelerin sahip olduğu zamansal çözünürlüğün artması ve/veya değerlendirilmelerde kestirilecek olan parametre sayısındaki artış kişisel bilgisayarın RAM ihtiyaçlarını arttıracaktır. Bu sebeple VİDA'nın standart hızda çalışması için en az 4 GB RAM önerilmektedir.

VİDA'nın aktif olarak çalıştığı Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Uzay Teknolojileri ve Konumsal Analiz Laboratuvarında kullanılan bilgisayar Dell Precision Tower 7810 olup donanımsal yapısı, Intel Xeon(R) CPU E5-2640 2,40 GHz x 40, 64 GB RAM, 256 GB Solid State Drive, 4 TB SATA, 6 TB Ek yedekleme ünitesi, Tunçmatik 3000VA/2700W Ups (16 saate kadar destek), 16 Mbit internet bağlantısı şeklindedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 VİDA'nın kurulduğu masaüstü bilgisayar.

3.1.3 Yardımcı Yazılım Paketleri

VİDA ve GAMIT/GlobK yazılım paketlerinin sisteme yüklenmesinden önce belirli yazılım paketlerinin işletim sistemine yüklenmesi gerekmektedir. Bunlar genellikle Debian tabanlı işletim sistemlerinde standart paketlerdir ve apt-get komutu ile sisteme eklenebilmektedir. Bu paketler;

- Bash, csh, tcsh ve perl (kodlama dilleri)
- Gcc, g++, make ve gfortran (derleyiciler)
- Zlib1g-dbg (geliştirici kütüphaneleri)
- Wget, lftp, ncftp (internet üzerinden veri indirme araçları)
- Tar, gzip, ncompress (arşivleme ve sıkıştırma araçları)

Bu araçlara ek olarak, değerlendirme aşaması öncesi ve sonrası kullanılması gereken fakat apt-get komutu ile sisteme eklenemeyecek birkaç yazılım daha sisteme entegre edilmiştir. Bu yazılımlardan bazıları lisanslı olup kullanıcılar bu yazılımların muadillerini ücretsiz olarak internet ortamından elde edebilmektedir.

- CRX2RNX, RNX2CRX (RINEX verilerinin Hatanaka formatında sıkıştırma araçları)
- MATLAB (nümerik hesaplama, programlama ve matris işleme yazılımı)
- GMT (güçlü bir veri görselleştirme yazılım paketi)
- TEQC (RINEX birleştirme, ayırma, kalite kontrol yazılımı)
- GAMIT/GlobK (GNSS değerlendirme yazılım paketi)

VİDA sisteminin tüm değerlendirme aşamaları GAMIT/GlobK yazılımı ile yapılmaktadır. Bu sebeple, değerlendirme işlemlerinin hatasız ilerlemesi için GAMIT/GlobK işletim sistemine kusursuz bir şekilde kurulmalı ve arayolları tanımlanmalıdır. Gerçeğe yakın zamanlı çözümler elde edebilmek için öncelikli olarak değerlendirme aşamasından önce internet ile ilişkili işlemlerin tamamlanmış olması (RINEX ve yörünge bilgilerinin önceden internet ortamından indirilmiş olması) gerekmektedir. Buna ek olarak özellikle birbirine paralel yapılacak alt ağ değerlendirmeleri sırasında kullanılacak verilerde tekrarlardan kaçınmak için veri indirme işlemlerinin kusursuz yapılması gerekmektedir.

3.1.4 Veri ve Meta-Veri

Gerçeğe yakın zamanlı değerlendirmeler için kullanılacak olan GNSS istasyonlarına ait saatlik RINEX dosyalarının ve mevzu bahis zamana ait yörünge bilgilerinin değerlendirme öncesinde internet ortamından indirilmesinin tamamlanmış olması gerekmektedir. Sonuçların kullanıcılara en hızlı şekilde ulaşabilmesi için RINEX verilerinin ait olduğu saatin tamamlanmasının ardından ilk yarım saatte tüm değerlendirme, görselleştirme ve web ortamına aktarma işlemlerinin tamamlanmış olması gerekmektedir. Güvenilir bir değerlendirme için kullanılacak ulusal/bölgesel ağlardaki GNSS istasyonlarına ek olarak, referans çerçevesinin tanımlanması için referans GNSS istasyonlarının kullanılması gerekmektedir. Yapılan akademik çalışmalarda gerekli referans GNSS istasyonu sayısının 10 ile 15 arasında olduğu ve bu istasyonların ağı merkezinden 500 ile 1.500 km uzaklığında olması önerilmektedir. Seçilecek olan referans istasyonlarının ise güvenilir ağlara dahil olması (IGS/EUREF) koordinat çözümlmeleri için tutarlı bir jeodezik datumu garantilemektedir.

Değerlendirme aşaması öncesi GAMIT/GlobK'nin kendi hazırlık dosyaları dışında sistemin devamlılığı, kendi kendine yetebilmesi adına GNSS istasyonlarının sağlıklarını kontrol eden ek bir modül VIDA sistemine eklenmiştir. Bu modül kullanılarak RINEX dosyalarının başlık kısımlarındaki meta-veriler her RINEX dosyası için okunarak istasyonlara ait log dosyalarına kaydedilmektedir. Bu şekilde GNSS istasyonlarına ait koordinat, alıcı ve anten bilgileri güncel olarak sisteme eklenmektedir.

3.1.5 VIDA'nın Otomatikleştirilmesi

Tüm genel ve ek modüller yönetici tarafından tek tek işleme sokulması ve öncül değerlendirmelerin tamamlanarak görsellerin elde edilmesi için, VIDA'nın geliştirme sürecinde birçok modül deneme sürecinden geçerek birleştirilmiştir. Temel işlem adımları verilerin indirilmesi, değerlendirmelerin yapılması, görselleştirmelerin yapılması ve sonuçların web ortamına aktarılması olarak 4 adıma ayrılmıştır. Tüm modüllerin ayarlanmasının ardından Linux tabanlı işletim sistemlerde görev zamanlayıcı olarak kullanılan Crontab hayalet yazılımda saatlik veri indirme, değerlendirme ve görselleştirme adımları zamanlanarak otomatikleştirme yapılmıştır (Şekil 3.8).

```

# /etc/crontab: system-wide crontab
USER=gg
SHELL=/bin/sh
PATH=/usr/local/sbin:/usr/local/bin:/sbin:/bin:/usr/sbin:/usr/bin:/home/gg/DC/bin/:
/home/gg/GNSSMET/DC:/usr/bin:/usr/bin/X11:/home/gg/GNSSMET/DC/bin:/home/gg:/usr/lib/python2.7/:
/home/gg/gamit_globk/gamit/bin:/home/gg/gamit_globk/kf/bin:/home/gg/gamit_globk/com:
/home/gg/gamit_globk/help:/home/gg/Matlab/R2016b/bin:/home/gg/Matlab/R2016b/bin/glnxa64:/home/gg/Matlab:
/home/gg/Matlab/R2016b:/home/gg/Documents/MatlabWork:/usr/bin/wget
PYTHONPATH=/usr/bin:/usr/lib/python2.7:/home/gg/gmt-4.5.17/bin
# m h dom mon dow user  command
#
# -----
# getting/convertig RINEX data
# -----
50 * * * * gg DC.bin/get_MIRROR.sh > $HOME/CRON/cron-mirror.log 2>> $HOME/CRON/cron-mirror.err
59 * * * * gg DC.bin/get_SP3_daily.sh > $HOME/CRON/cron-get-orbits.log 2>> $HOME/CRON/cron-get-orbits.err
*/5 * * * * gg DC.bin/get_RINEX-6h.sh > $HOME/CRON/cron-get-rinex.log 2>> $HOME/CRON/cron-get-rinex.err
* * * * * gg DC.bin/conv_RINEX_H.sh > $HOME/CRON/cron-conv-rinex.log 2>> $HOME/CRON/cron-conv-rinex.err
1 * * * * gg /usr/bin/python /home/gg/DC/bin/Tusagal.py
2 * * * * gg /usr/bin/python /home/gg/DC/bin/Tusaga2.py
#
# -----
# Processing, plotting
# -----
40 4 * * * gg /usr/bin/python /home/gg/eq.py
13 5 * * * gg /usr/bin/python /media/gg/Stash-1/Figures/Timeseries/tropo.py
15 5 * * * gg /usr/bin/python /media/gg/Stash-1/Figures/Daily/Daily.py
25 5 * * * gg /usr/bin/python /media/gg/Stash-1/Figures/Strain/strain.py
11 5 * * * gg /usr/bin/python /media/gg/Stash-1/Figures/Iono/iono.py
56 7 * * * gg /usr/bin/python /home/gg/mail.py
5 */1 * * * gg /usr/bin/python /home/gg/vida2.py
5 */1 * * * gg /usr/bin/python /home/gg/vida3.py
#
# -----
# data cleaning
# -----
10 5 * * * gg clean_DIR "AC.log/*" 14 force 3 > $HOME/CRON/cron_CLN-log 2>&l
20 5 * * * gg clean_DIR "AC.garbage/*" 14 force 3 > $HOME/CRON/cron_CLN-garb 2>&l
30 5 * * * gg clean_DIR "AC.local/*" 7 force 3 > $HOME/CRON/cron_CLN-local 2>&l

```

Şekil 3.8 Sistem otomatikleştirilmesinin sağlandığı crontab dosyası.

Crontab dosyasının yapılandırılması için öncelikle belirlenecek görevin zamanlamasının ayarlanması gerekmektedir. Bu sebeple şekilde belirtilen dosyanın ilk beş kolonu düzenlenmelidir. İlk beş kolon sırasıyla dakika, saat, haftanın günü, ay ve ayın günü olarak düzenlenmiştir. Görev için direkt sayı verilerek belirtilen günün saati ve dakikasında işlem başlatılabilirken aynı zamanda */5, */2 gibi belirli dakika ve/veya saatte bir işlem başlatılabilmektedir. Dosyanın başında belirtilen arayollar, eğer crontab standart kabuk komutları ve yazılımları dışında ek yazılımlar kullanılacaksa tanımlanmak zorundadır. Şekildeki örnekte görüldüğü gibi GAMIT/GlobK, MATLAB, TEQC, GMT gibi yazılımlar için arayollar tanımlanmıştır.

İkinci kısımda zamanlanmış internet ortamından RINEX ve yörünge bilgilerine ait veri indirme ayarlamaları yapılmışken, üçüncü kısımda değerlendirmelerin yapılması ve görselleştirme işlemlerinin başlatılma zamanlamaları düzenlenmiştir. VİDA olarak adlandırılan işlem adımları GAMIT/GlobK kullanılarak paralel değerlendirmelerin her saat

başı olacak şekilde düzenlenmiş halidir. Son kısımda ise VIDA'nın kullanıldığı bilgisayarın depolama alanında gereksiz yük oluşturmaması adına belirli süre aralıklarıyla depolanmış verilerin silinmesi için ayarlamaları içermektedir.

3.1.6 VIDA ile Gerçeğe Yakın Zamanlı Değerlendirme Hazırlıkları

GAMIT/GlobK yazılımı kullanılarak değerlendirme aşamasına geçilebilmesi için gerekli tüm GNSS istasyonuna ait gözlem dosyalarının ve yörünge bilgilerinin değerlendirme klasörlerine taşınması gerekmekte ve işlem sonrası sıradaki değerlendirme için bu klasörün hazırlanması gerekmektedir. Bu sebeple tıpkı verilerin internet ortamından indirilmesi için kullanılan modüller gibi değerlendirme klasörlerinin hazırlanması için alt ağlara ait komutları içeren modüller hazırlanmıştır. Bu sebeple her bir alt ağ değerlendirmesine ait klasör önceden tanımlanmıştır. Gerekli değerlendirme adımına geçilmeden önce ilk adım olarak sistem için zaman tanımlaması yapılmaktadır. Bir sonraki adımda ise her bir alt ağ için belirlenen GNSS istasyonlarına ait gözlem dosyaları ve geçerli zaman dilimine ait uydu yörünge bilgileri gerekli değerlendirme klasörlerine aktararak değerlendirme hazırlıkları tamamlanmaktadır. Özellikle GAMIT/GlobK yazılımının değerlendirme için belirlenen GNSS istasyonlarına ait verileri her değerlendirme için internet ortamında araması ve indirmesi gerek zaman gerekse veri depolanması açısından problem yaratmaması için referans istasyonlarına ait veriler her bir değerlendirme epoku için sadece bir defa indirilmektedir (Şekil 3.9).

```

from datetime import *
import time, math
import os
import wget
import sys

def DOY(year, month, day):
    t = time.mktime((year, month, day, 12, 0, 0, 0, 0, -1))
    return time.localtime(t)[7]

Years = ['RefData.18']
Months = ['.Jan', '.Feb', '.Mar', '.Apr', '.May', '.Jun', '.Jul', '.Aug', '.Sep', '.Oct', '.Nov', '.Dec']
stalist = ['aut1', 'bucu', 'glsv', 'gope', 'joze', 'ktvl', 'mate', 'mets', 'nico']
gamitRinexDir = '/home/gg/Tusaga/ical/rinex'
letlist = ['A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'H', 'I', 'J', 'K', 'L', 'M', 'N', 'O', 'P', 'Q', 'R', 'S', 'T', 'U', 'V', 'W', 'X']
seslist = ['0', '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9']
tnow = datetime.now()
dback = timedelta(hours=2)
tnow = tnow - dback
os.system('rm ' + gamitRinexDir + '/*')
wlength = 4
wlett = []
updir = []
doylist = []
yrlist = []

for i in range(wlength):
    delta = timedelta(hours=i+1)
    tback = tnow - delta
    wlett.append(letlist[tback.hour])
    doyst = 'echo "doy ' + str(tnow.year) + ' ' + str(tnow.month) + ' ' + str(tnow.day) + ' " > files.txt'
    os.system(doyst)
    fid = open('files.txt')
    line = fid.readline().split()
    doyyy = tnow.timetuple().tm_yday
    doynum = ("%03d"%doyyy)
    x = str(tnow.year)
    yrnum = x[2:4]
    updir.append(yrnum+doynum)
    doylist.append(doynum)
    yrlist.append(yrnum)
ndirname1 = '/home/gg/REPO/nrtdata/Tusaga/' + doynum
i = str(tnow.month - 1)
ay = Months[int(i)]
gun = str(tnow.day)

for year in range(len(Years)):
    syear = Years[year][8:10]
    nyear = int(Years[year][8:10]) + 2000

```

Şekil 3.9 VİDA değerlendirmeleri öncesi zaman tanımlamalarının yapılması.

Python yazılım dili kullanılarak hazırlanan modülde öncelikle gerekli alt modüller tanımlanarak komutlar için gerekli koşullar hazırlanarak zaman tanımlaması yapılmıştır. Zaman tanımlamalarının yönetici tarafından elle yapılması işlem adımlarının imkansızca yakın derecede zorlaşmasına sebep olacağından dolayı bu işin VİDA'nın kullanıldığı bilgisayar ile yapılması ve belirlenen zamana uygun verilerin internet ortamından indirilmesi, gerekli değerlendirme klasörlerine aktarılması sağlanmaktadır. Bu sebeple; gerek GNSS istasyon veri kayıtları ile uyuşması gerekse tüm veri sağlayıcı internet sitelerinin tercih etmesi sebebiyle UTC zaman dilimi kullanılmaktadır.


```

os.system('cd' + ' ' + ndirname1 + ' ' + '&& cp ESKS* SIH1* NAHA* CMLD* HYMN* ANRK* KKAL* /home/gg/Tusaga/ical/rinex/')
os.system('cd' + ' ' + '/home/gg/Tusaga/ical/rinex/ && rename y/A-Z/a-z/ *')
dirname = '/home/gg/REPO/nrtdata/'
for i in range(len(wlett)):
    adirname = dirname + updir[i]+'/' + wlett[i]
    for sta in stalist:
        fname = adirname + '/' + sta + doylist[i] + wlett[i].lower() + '.' + yrlist[i]+'d.Z'
        fname2 = '/home/gg/Tusaga/ical/rinex/' + '/' + sta + doylist[i] + seslist[i] + '.' + yrlist[i]+'d.Z'
    os.system('cp ' + fname + ' ' + fname2)

```

Şekil 3.10 Değerlendirme öncesi RINEX dosyalarının taşınması ve düzenlenmesi.

Gerekli zamanın tanımlanması hangi gözlem dosyalarının değerlendirme klasörlerine aktarılmasının belirlenmesinde rol oynayan tek etkidir. Ön tanımlı alt ağ için oluşturulmuş klasöre ait gözlem dosyaları klasörüne, GAMIT/GlobK yazılımının bir özelliği olarak dosya ismi küçük harfler olacak şekilde aktarılıp değerlendirme aşamasına hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.10).

3.1.7 Görselleştirme Aşaması ve Yöneticinin Bilgilendirilmesi

Değerlendirmelerin tamamlanması ile GNSS istasyonlarına ait veriler GAMIT/GlobK çıktı dosyalarından çekilerek her istasyona ait zaman serileri ve yer değiştirme bilgileri elde edilmektedir. Görselleştirme aşamasında bu yer değiştirme bilgileri kullanılarak elde edilen yer değişim haritaları ve gerinim haritalarında gün içerisinde yaşanmış depremlerin ve bu depremlere ait büyüklük bilgilerinin haritalara işlenmesi için güncel deprem bilgilerinin internet ortamından indirilmesi gerekmektedir. Bunun için tıpkı değerlendirme aşamasında olduğu gibi Python programlama dili kullanılarak bir modül geliştirilmiştir. İlk adımda zaman tanımlanmasının yapılmasının ardından Wget yazılımı kullanılarak ön tanımlı deprem bilgilerini içeren internet ortamındaki arşivden deprem bilgileri elde edilmektedir. İkinci adımda ise MATLAB yazılımı kullanılarak bu deprem bilgileri içerisinde verinin ait olduğu günle ilişkili deprem verileri ayıklanma ve GMT yazılımı ile görselleştirmelerin yapılabilmesi için gerekli klasörlere taşınmaktadır (Şekil 3.11).

```

eq = 'wget http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/lasteq.asp'
veri = 'egrep "(" + year2 + "." + month2 + "." + day3 + ".)" /home/gg/lasteq.asp > earthquakes.txt'
move = 'cp /home/gg/earthquakes.txt /home/gg/Documents/MatlabWork/'
temizlik = 'cd /home/gg/' + '&&' + 'rm lasteq.asp earthquakes.txt'
kolon = 'cd /home/gg/Documents/MatlabWork;'+matlab -nodesktop -nosplash -r "deprem; exit;""
dep1 = 'cp /home/gg/Documents/MatlabWork/dep1.txt /media/gg/Stash-1/Figures/Daily/'
dep2 = 'cp /home/gg/Documents/MatlabWork/dep2.txt /media/gg/Stash-1/Figures/Cumulative/'
dep3 = 'cp /home/gg/Documents/MatlabWork/dep3.txt /media/gg/Stash-1/Figures/Timeseries/'
dep4 = 'cp /home/gg/Documents/MatlabWork/dep4.txt /media/gg/Stash-1/Figures/Strain/'
dep5 = 'cp /home/gg/Documents/MatlabWork/dep5.txt /media/gg/Stash-1/Figures/Iono/'

```

Şekil 3.11 Depremlere bilgilerinin internet ortamında indirilmesi ve klasörlere taşınması.

Görselleştirme işlemlerinin tamamlanmasının ardından kullanıcılar için bu görsellerin internet ortamında bulunan kullanıcı ara yüzüne aktarılmasının dışında yönetici statüsüne sahip kişilere görsellerin üretimi ile ilgili bilgilendirme e-postası gönderilmektedir. Bu sayede işlemlerin her adımında güncellenen kayıt dosyalarının oluşturulmasının dışında yöneticilerin görselleri incelemesi ve eksikliklerin giderilmesi sağlanmaktadır. VİDA'nın aktif olarak çalıştığı bilgisayara kurulan posta hizmeti servisi ile bu işlem otomatikleştirilerek crontab'a eklenmiştir. Değerlendirmelerin her aşamasında olduğu gibi dosya kontrollerinin yapılması ve eksik görselleştirme var ise yönetici bu konu hakkında da bilgilendirme almaktadır (Şekil 3.12).

```
mail = 'mutt -s "Coordinates Solutions" -a /media/gg/Stash-1/Figures/Daily/' + doynumm + '_Daily.zip -a /media/gg/Stash-1/Figures/Cumulative/' + doynumm +
'_Cumulative.zip -- İSTENİLEN MAIL ADRESLERİ < /dev/null'
os.system(mail)
mail1 = 'mutt -s "Strain Solutions" -a /media/gg/Stash-1/Figures/Strain/' + doynumm + '_Strain.zip -- İSTENİLEN MAIL ADRESLERİ < /dev/null'
os.system(mail1)
mail11 = 'mutt -s "Atmosphere Solutions" -a /media/gg/Stash-1/Figures/Timeseries/' + doynumm + '_FWV.tif -a /media/gg/Stash-1/Figures/Timeseries/' + doynumm +
'_FWV_comp.mp4 -a /media/gg/Stash-1/Figures/Iono/' + doynumm + '_ion_daily.mp4 -- İSTENİLEN MAIL ADRESLERİ < /dev/null'
os.system(mail11)
#-----
mail2 = 'mutt -s "Hourly Directory is Empty" -- gokhannurbuz@gmail.com < /dev/null'
mail3 = 'mutt -s "Hourly Directory does not Exist" -- gokhannurbuz@gmail.com < /dev/null'
def main():
    print(doynumm)
    dirName = '/media/gg/Stash-1/Depo/' + doynumm + '_Q' ;
    ...
    ... Check if a Directory is empty and also check exceptional situations.
    ...
    if os.path.exists(dirName) and os.path.isdir(dirName):
        if not os.listdir(dirName):
            print("Directory is empty")
            os.system(mail2)
        else:
            print("Directory is not empty")
    else:
        print("Given Directory don't exists")
        os.system(mail3)
    if len(os.listdir(dirName) ) == 0:
        print("Directory is empty")
        os.system(mail2)
    else:
        print("Directory is not empty")
if __name__ == '__main__':
    main()
```

Şekil 3.12 Değerlendirme sonrası sonuç ürünlerin yönetici ile paylaşılması.

BÖLÜM 4

VİDA İLE TÜRKİYE’NİN TEKTONİK ANALİZİ

Çalışma kapsamında yapılan ve tüm değerlendirmeler için işlem adımları sırasıyla verilerin internet ortamından indirilmesi, indirilen verilerin değerlendirilmesi ve analizlerinin yapılması, son olarak ise sonuçların görselleştirilmesidir.

Temel olarak analiz merkezinin işlem adımları, veri indirme, verilerin gerekli dizinlere iletilmesi, verilerin kalite kontrollerinin yapılması, gerektiği zaman gereken verilerin değerlendirme klasörlerine iletilmesi, değerlendirmelerin yapılması, sonuçların görselleştirilmesi ve web ortamında son kullanıcıya iletilmesi olarak sayılabilmektedir.

Analiz merkezinin veri değerlendirme aşamasının en büyük problemi gerçeğe yakın zamanlı değerlendirme kavramının kullanıcının içinde bulunduğu saatten bir saat öncesine ait veri değerlendirme sonuçlarının içinde bulunduğu saatin başında yayınlanması sonucu bir saatlik gecikmeli veri değerlendirme sonuçlarına ulaşabilmektir. Bu koşulun sağlanması için verilerin hızlı bir şekilde indirilip kontrollerinin yapılması, taşınması alt ağlar için oluşturulmuş ayrı dizinlere taşınması ve değerlendirmelerin tamamlanması, sonuçların irdelenmesi ve görselleştirilmesi gerekmektedir.

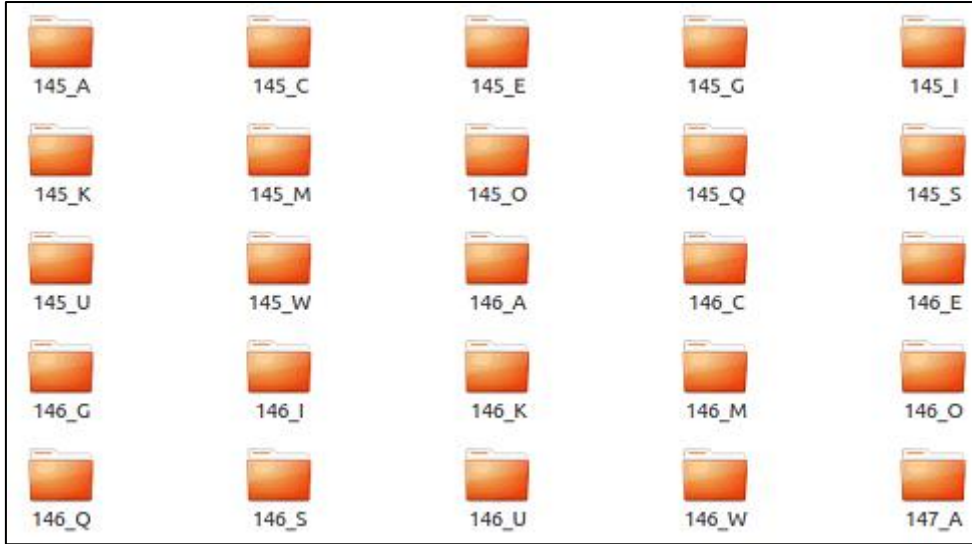
Tüm bu işlemler için dizin yapısının ayarlanmış olup, girdi dosyaları ve değerlendirme dizinleri haricinde tüm çıktı ve sonuç dosyaları için veri yedeklemesi ve güvenliği amacıyla farklı bir sabit disk üzerinde dizinleme yapılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Sonuç dosyalarının depolanması için kullanılan dizinleme.

Sonuçlar dizininde GAMIT/GlobK değerlendirmesi sonrası oluşturulan dosyaların ayıklanması sonucu koordinat ve kestirilen diğer parametreleri içeren çıktı dosyaları depolanmakta ve yılın günü + günün saati ile isimlendirilerek depolanmaktadır. Gerek VIDA ile otomatikleştirilmiş tüm analizler için gerekse gelecekte farklı amaçlarla kullanılma olasılığından dolayı sonuçlar kalıcı olarak depolanmaktadır. Elde edilen sonuçlardan yararlanılarak görselleştirmesi tamamlanan zaman serileri, koordinat bileşenlerine ait yer değiştirmeler ve gerinim çözümleri tek bir dizinde toplanarak depolanmaktadır. Görseller günlük olarak aktarıldığı internet ortamında ve yönetici bilgilendirme e-postalarında güncellenmekte ve istenildiği takdirde kullanıcıya tekrar sunulmak için depolanmaktadır.

İlk adımda veri indirme, verilerin gerekli dizinlere iletilmesi işlemleri analiz merkezine özel olarak entegre edilmiş VIDA ile sağlanmaktadır. Referans istasyon verileri için ön tanımlı IGS FTP'lerinden veriler saatlik olarak her saat başında otomatik olarak indirilmekte ve veri sağlıkları kontrol edilmektedir. GMT saat dilimi 00.00'dan başlamak üzere RINEX dosyalarının isimlendirmesindeki son hane İngiliz alfabesine uygun bir şekilde düzenlenmiştir. Aynı formatı kullanan dizin sistemi oluşturulmuş ve yılın günü (DoY – Day of Year) ve günün saati (HotD – Hour of the Day) formatı kullanılarak dizinler isimlendirilmiştir. Oluşturulan bu dizinlerin bir örneği Şekil 4.2'deki gibidir.



Şekil 4.2 Yılın günü ve günün saatine göre yapılan dizinleme örneği.

Geçerli güne ait aşırı hızlı efemeris VİDA tarafından indirilerek arşivlenmekte ve değerlendirme aşaması öncesi gerekli dizine taşınmaktadır. Ancak, kayıt dosyaları ve AC_SYSTEM modülü uygulanması ile birlikte geçerli saat için kullanılacak aşırı hızlı efemeris bulunamaması, geçerli aşırı hızlı efemerisin FTP’de yayınlanmaması, indirilen aşırı hızlı efemerisin yarıda kalması, okunamaması gibi durumlar için ön tanımlı kodlar kullanılarak hızlı efemeris indirilmekte ve değerlendirme aşaması için geçerli klasöre taşınmaktadır. İndirilen bu uydu yörünge bilgisi dosyalarının kontrolleri sonrası oluşturulan kayıt dosyasının bir örneği Şekil 4.3’deki gibidir.

```

Req: IGU_SP3+ERP_ULTRA from IGSCB ==> "igu20066_06.sp3*" [IGSCB CDDIS BKG IGN ULR SIO ULR]
Req: IGU_SP3+ERP_ULTRA from IGSCB ==> "igu20066_06.erp*" [IGSCB CDDIS BKG IGN ULR SIO ULR]
Req: IGU_SP3+ERP_ULTRA from IGSCB ==> "igu20066_12.sp3*" [IGSCB CDDIS BKG IGN ULR SIO ULR]
Req: IGU_SP3+ERP_ULTRA from IGSCB ==> "igu20066_12.erp*" [IGSCB CDDIS BKG IGN ULR SIO ULR]
Req: IGU_SP3+ERP_ULTRA from IGSCB ==> "igu20066_18.sp3*" [IGSCB CDDIS BKG IGN ULR SIO ULR]
Req: IGU_SP3+ERP_ULTRA from IGSCB ==> "igu20066_18.erp*" [IGSCB CDDIS BKG IGN ULR SIO ULR]
Req: IGU_SP3+ERP_ULTRA from SIO_ULR ==> "igv20066_06.sp3*" [IGN_ULR,SIO_ULR SIO_ULR GLO1]
Req: IGU_SP3+ERP_ULTRA from SIO_ULR ==> "igv20066_12.sp3*" [IGN_ULR,SIO_ULR SIO_ULR GLO1]
Req: IGU_SP3+ERP_ULTRA from SIO_ULR ==> "igv20066_18.sp3*" [IGN_ULR,SIO_ULR SIO_ULR GLO1]

```

Şekil 4.3 Yörünge bilgilerinin kontrollerine ait kayıt dosyası örneği.

GAMIT/GlobK yazılımının aslında en güçlü özelliği olan ön tanımlı istasyonlara ait verilerin otomatik olarak indirilmesi, gerçeğe yakın zamanlı değerlendirilme söz konusu olduğunda büyük bir zaman kaybı yaratmakta ve değerlendirmelerin istenilen sürede tamamlanamamasına yol açmaktadır. Bu engelin aşılması için her bir alt ağ değerlendirmesi için yeniden veri indirilmesi yerine ilk alt ağ için verinin indirilmesi ve devamında aynı verinin taşınması gerekmektedir. Bu sebeple her saat başında bir önceki saate ait GNSS

istasyonlarına ait gözlem verileri indirilmekte ve alt ağlar için gerekli klasörlere taşınmaktadır. Bu durum uydu yörünge bilgileri için de geçerlidir. TUSAGA-Aktif ağına dahil istasyonlar için VIDA'ya otomatik veri indirme kodu entegre edilmiştir.

GNSS istasyonlarına ait gözlem verilerinin ve uydu yörünge bilgilerinin FTP ortamından indirilmesi ve kalite kontrollerinin tamamlanmasının ardından gerekli dizinlere iletilmesinin ardından GAMIT/GlobK yazılım paketi kullanılarak değerlendirmeler başlatılmaktadır. Her bir alt ağa ait verilerin değerlendirilmesi için önemli olan parametre aktif değerlendirmede kullanılan GNSS istasyon sayısıdır. GAMIT/GlobK'nin değerlendirme hızı değerlendirme sürecinde kullanılan istasyon sayısı ile direkt olarak ilişkilidir. Gerçeğe yakın zamanlı çözümlerde çözüme hızlı ulaşılması gerektiğinden dolayı gerekli sayıda alt ağ oluşturulmuş ve bu değerlendirmeler de en hızlı çözüm sağlanabilmesi adına sırasıyla başlatılmaktadır.

GAMIT/GlobK, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology-MIT) tarafından geliştirilen bir yazılım paketidir. GAMIT/GlobK, açık kaynak kodludur ve bu sebeple GNSS ile ilgili birçok akademik çalışmada kullanılmaktadır. Perl, Fortran kodlarıyla desteklenen bir dizi komut sistemiyle çalışması sebebiyle Linux tabanlı işletim sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki GNSS verilerinin değerlendirilmesinde GAMIT/GlobK yazılımının en güncel 10.7 sürümü kullanılmıştır. Yazılımın sürümü, uydular, GNSS'deki gelişmeler ve yazılımın kendisi ile ilgili tüm gelişme ve düzeltmeler sebebiyle güncelleştirilmektedir.

RINEX formatındaki standart gözlem dosyaları, Hatanaka formatındaki sıkıştırılmış RINEX dosyaları ve hatta sıkıştırma yazılımlarıyla ekstra işlem görmüş tüm gözlem dosyaları GAMIT yazılımında değerlendirme sırasında kullanılabilir. GAMIT yazılımı ile koordinat bileşenlerine ek olarak troposfer gecikmeleri gibi bileşenler de kestirilebilmektedir. GAMIT yazılımında bulunan işlem adımları, kullanıcının istekleri doğrultusunda teker teker ya da Sh_GAMIT komutu kullanılarak tek seferde yapılabilmektedir. Sh_GAMIT komutu aslında sırasıyla yapılması gereken işlemlerin hepsini içermesi sebebiyle, gerekli hazırlıkların eksiksiz yapılması koşulu ile tek seferde yapılabilmektedir. İşlemlerin sırasıyla veya tek seferde yapılması elde edilecek sonucu etkilememektedir.

GAMIT değerlendirme sürecinde öncelikle kullanıcı RINEX ve/veya yörünge bilgilerine, kişisel olarak sisteme eklemeyişe, internet üzerinden ulaşır ve öncelikli olarak alıcı saat

düzeltilmelerini hesaplamaktadır. Sıradaki adımda faz sıçramalarını belirlenmesinin ardından belirli algoritmalarla yararlanarak bu sıçramaları gidermeye çalışır. Bir sonraki adımda GAMIT yazılımını ve Bernese GNSS değerlendirme yazılımından ayıran çiftli farklar (Double Difference-DD) yöntemi ve sonrasında iyonosferden bağımsız (Iono-free) çözüm algoritması kullanılmaktadır.

GAMIT yazılımında saatlik ve günlük çözümlerin üretilmesi aşamasında çeşitli kontrol tabloları kullanılmaktadır. Değerlendirme aşamasında kullanılacak bu tablolardaki parametreler, kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Bu parametreleri içeren sesstbl (Session Table) ve sittbl (Site Control Table) dosyaları önem teşkil etmektedir. Bu dosyalarda değerlendirme stratejisinin temelleri belirlenmekte ve sonuçlar buradaki parametrelere göre üretilmektedir. Bu dosyalardan sesstbl dosyası GAMIT ile GNSS verilerini değerlendirme stratejisi belirlenmektedir. Şekil 4.4'te sesstbl dosyasındaki bazı önemli parametreler verilmiştir. Bu parametreler çalışma kapsamında da aynı şekilde kullanılmaktadır.

```

Session Table
Processing Agency = BEU
Satellite Constraint = Y          ; Y/N (next two lines are free-format but 'all' must be present)
      all          a          e          i          n          w          M          rad1          rad2          rad3          rad4          rad5          rad6          rad7          rad8          rad9;
      0.01         0.01         0.01         0.01         0.01         0.01         0.01         0.01         0.01         0.01         0.01         0.01         0.01         0.01         0.01         0.01

  << Controls must begin in column 1 >>

Choice of Experiment = BASELINE    ; BASELINE/RELAX./ORBIT
Type of Analysis = 1-ITER          ; 1-ITER (autcln prefit and conditional redo) / 0-ITER (no postfit autcln) / PREFIT
AUTCLN redo = Y                   ; Y/N; 3rd soln only if needed, assume 'Y' if 'Type of analysis = 1-ITER'
Choice of observable = LC_AUTCLN   ; LC_AUTCLN (default), LC_HELP (codeless L2), L1_ONLY (L1 soln from dual freq),
      L2_ONLY (L2 soln from dual freq), L1,L2_INDEPENDENT (L1 + L2 from dual freq)
      L1&L2 (same as L1,L2_INDEPENDENT but with ion constraint);
      L1_RECEIVER (must add 'L1only' in autcln.cmd)
Station Error = ELEVATION 10 5     ; 1-way L1, a**2 + (b**2)/(sin(elev)**2) in mm. default = 10. 0.
AUTCLN reweight = Y               ; Y/N; reweight data from autcln rms; replaces 'Use N-file' in releases < 10.32
AUTCLN Command File = autcln.cmd  ; Filename; default none (use default options)
Decimation Factor = 4              ; FOR SOLVE, default = 1
Quick-pre decimation factor = 10   ; 1st iter or autcln pre, default same as Decimation Factor
Quick-pre observable = LC_ONLY     ; for 1st soln, default same as Choice of observable

Ionospheric Constraints = 0.0 mm + 8.00 ppm
Ambiguity resolution WL = 0.15 0.15 1000. 99. 15000. ; for LC_HELP, ignored for LC_AUTCLN
Ambiguity resolution NL = 0.15 0.15 1000. 99. 15000. ; allow long baselines with LC_AUTCLN

Zenith Delay Estimation = Y        ; Yes/No (default No)
Interval zen = 2                   ; 2 hrs = 13 knots/day (default is 1 ZD per day)
Zenith Constraints = 0.50           ; zenith-delay a priori constraint in meters (default 0.5)
Zenith Variation = 0.02 100.       ; zenith-delay variation, tau in meters/sqrt(hr), hrs (default .02 100.)
Elevation Cutoff = 0               ; default 0 to use value in autcln.cmd
Atmospheric gradients = Y         ; Yes/No (default No)
Number gradients = 2               ; number of gradient parameters per day (NS or ES); default 1
Gradient Constraints = 0.01        ; gradient at 10 deg elevation in meters; default 0.03 m

Update T/L files = L_ONLY          ; T_AND_L (default), T_ONLY, L_ONLY, NONE
Update tolerance = .3              ; minimum adjustment for updating L-file coordinates, default .3 m

Met obs source = GPT 50            ; hierarchical list with humidity value at the end; e.g. RNX UFL GPT 50 ; default GTP 50
      [if [humidity] < 0, use RNX, UFL(VMF1), or GPT2 if available]
Output met = Y                     ; write the a priori met values to a z-file (Y/N)
Use met.list = N                   ; not yet supported
Use met.grid = N                   ; not yet supported
DMap = GMF                         ; GMF(default)/VMF1/NMFH; GMF now invokes GPT2 if gpt.grid is available (default)

```

Şekil 4.4 GAMIT değerlendirmelerinde kullanılan parametreler.

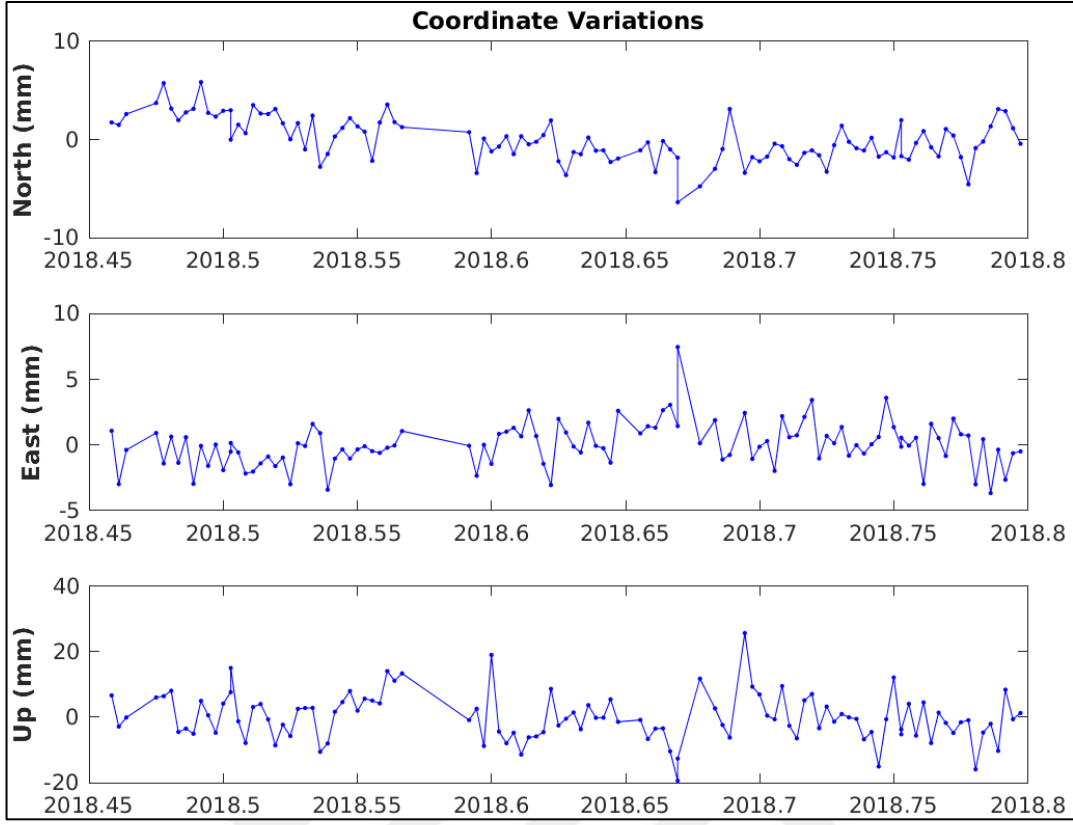
Her saatte bir zenit gecikmesi hesaplaması için “Interval Zenith” seçeneği 1 olarak belirlenmiştir. Diğer bir önemli parametre ise “Tides applied” seçeneğidir. Örnek olarak, okyanus yüklenmesinin göz ardı edilmesi için parametre karşılığına 23 değeri yazılması gerekir veya tüm etkilerin dahil edilmesi için bu kısım 63 olarak işaretlenir. Okyanus modellemesi de istenirse “otl.grid” dosyası yazılımın kullanım kılavuzunda belirtilen linklerden indirilmeli ve çalışma dosyasındaki gerekli dosya ile arasında link kurulmalıdır.

Diğer önemli parametre seçim dosyası ise sittbl dosyasıdır. Bu dosyada “IGS core stations” kısmında sırası ile kuzey-güney, doğu-batı ve yükseklik bileşenlerinin verileri girilmektedir. Değerlendirmede GlobK kullanılmayacaksa, dayalı dengeleme yapabilmek için datum tanımında kullanılacak IGS istasyonları buraya yazılmaktadır. GAMIT yazılımı ile değerlendirme sonucunda oluşturulan h-Dosyaları GlobK için temel girdiyi oluşturmaktadır. Günlük serbest çözümler oluşturulduktan sonra, ITRF2005 koordinatları ve hızları hassas olarak bilinen rijit levhalardan seçilen IGS noktalarının koordinatları sabit alınarak GlobK’nin “glorg” modülü sayesinde datum tanımlaması yapılmıştır. GNSS alıcılarının faz merkezi bilgileri NGS (National Geodetic Survey)’ten temin edilmekte, “rcvant.dat” ve “antmod.dat” dosyaları güncellenerek değerlendirmeler gerçekleştirilmektedir.

4.1 YERDEĞİŞTİRME ÇÖZÜMLERİ

Her bir değerlendirmeden elde edilen koordinat bileşenlerine ait sonuçlar birleştirilmekte ve görselleştirme için sıradaki adıma iletilmektedir. GAMIT/GlobK değerlendirmeleri sonucunda birçok sonuç dosyası üretilmekte ve bu da analiz merkezinin devamlılığını veri depolama kapasitesi açısından etkilemektedir. Bu sebeple sadece ön tanımlı dosyalar arşivlenmek için gerekli dizinlere iletilmekte ve alt ağlara ait değerlendirme dizinleri sıradaki değerlendirme için hazır hale getirilmek adına boşaltılmaktadır.

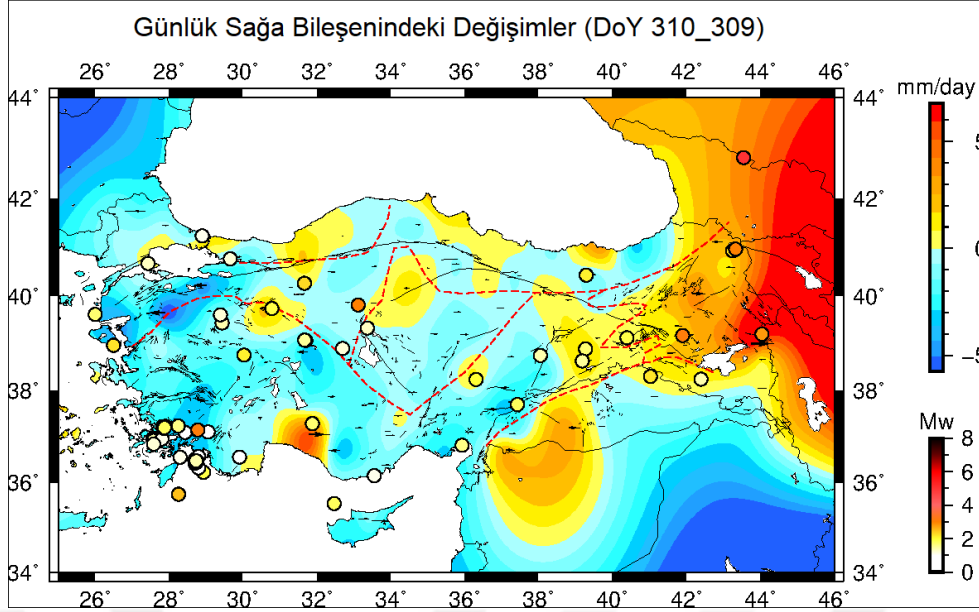
Sonuç ürünlerinin analizi için ön tanımlı MATLAB kodlarından yararlanılarak tüm alt ağlarda bulunan istasyonlar için zaman serileri oluşturulmaktadır. Değerlendirme sonrası bir GNSS istasyonuna ait her bir konum bileşeni için otomatik olarak çizdirilen zaman serisi örneği Şekil 4.5’te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 CESM istasyonuna ait koordinat farkları zaman serisi.

Şekil 4.5'te GAMIT/GlobK değerlendirmeleri sonucunda her bir koordinat bileşeninin referans olarak kabul edilen epoktan (2018.26) olan farklarını gösteren zaman serisi gösterilmiştir. Yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla yukarı, sağa ve yükseklik koordinat bileşenleri gösterilmekte olup yatay kolon ondalık sistemde zamanı betimlemektedir. Gün sonunda tüm istasyonlara ait koordinat bileşeni sonuçları listelenerek zaman serisi yeniden çizdirilmektedir. Zaman serisinin yanı sıra ileriki bir tarihte tekrar kullanılmak için koordinat bileşenine ait varyasyonlar ve gerçek değerler metin formatında saklanmakta ve her gün sonunda güncellenmektedir.

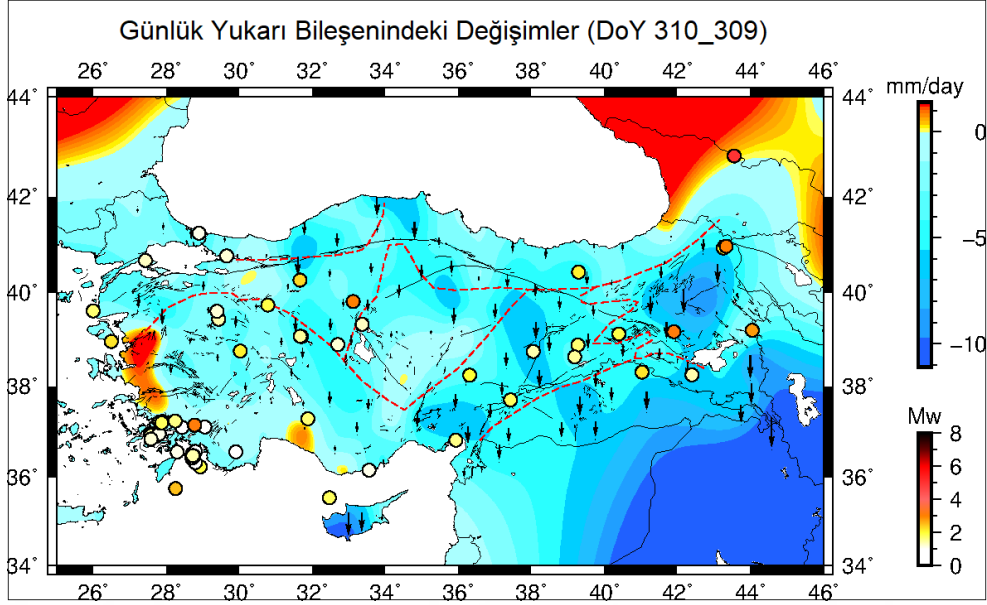
Zaman serilerinin oluşturulmasının ardından günlük farklar hesaplanarak her bir GNSS istasyonu için veriler GMT yazılımının kullandığı formata uygun olarak hazırlanmakta ve görselleştirmenin yapılacağı klasörlere aktarılmaktadır. Günlük farklar, GMT yazılımında enterpolasyon haritası oluşturularak her bileşen ayrı ayrı çizdirilmektedir (Şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9). Buna ek olarak referans olarak alınan epoktan itibaren günlük farklar kümülatif olarak toplanarak toplam değişimi simgeleyecek şekilde çizdirilmektedir (Şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13).



Şekil 4.6 Günlük sağa koordinat bileşeni farkları enterpolasyon haritası.

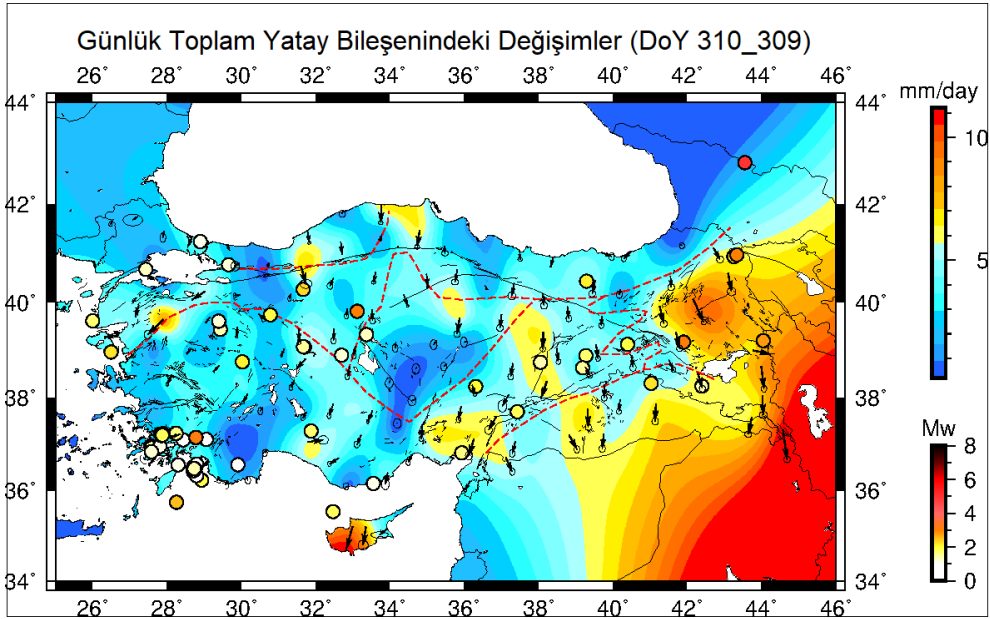
Şekil 4.6'da gösterilen haritada, günlük sağa bileşenindeki değişimlerine örnek olarak 2018 yılının 309. gün ile 310. günü arasındaki yer değiştirme miktarları gösterilmiştir. Şekil 4.6'da renk değişimleri milimetre cinsinden günlük değişim miktarlarını simgelerken, vektörler değişim büyüklüğünü ve yönlerini temsil etmektedir. Buna ek olarak harita üzerinde gösterilen daireler yılın 309. gününde oluşan depremlerin konumlarını, renkleri ise gerçekleşen depremlerin Mw cinsinden büyüklüklerini göstermektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi Doğu Anadolu Fay hattının sağında kalan bölgelerde hareket sağa yönünde artış göstermekteyken, İç Anadolu ve Ege bölgelerinde hareketin yönü değişmekte ve batıya yönelmektedir. Bu hareketler ile ilgili daha sağlıklı ve kapsamlı yorum yapabilmek için uzun süreli gözlemlerin incelenmesi gerekmektedir.

Fakat ilk incelemelerde bile ön plana çıkan renk geçişlerinin sert olduğu bölgelerde büyüklüğü küçük olsa bile depremler yaşandığı görülmektedir. Örnek verilen inceleme tek günlük yer değişimleri göstermekte olup, harita üzerine çizdirilmiş sütur olarak adlandırılan yapısal kuşak geçişlerinin işaretlendiği bölgelerde hareketlerin büyüklüğü ve yönlerinde değişimler olduğu tespit edilmiştir (Şengör ve Yılmaz 1981).



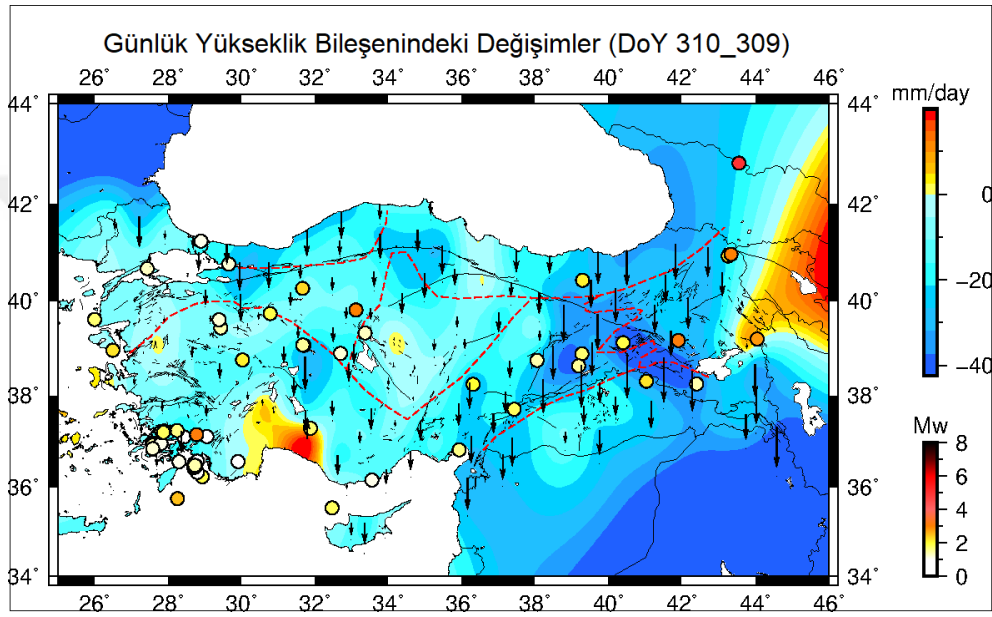
Şekil 4.7 Günlük yukarı koordinat bileşeni farkları enterpolasyon haritası.

Şekil 4.7’de gösterilen haritada, günlük yukarı bileşenindeki değişimlerine örnek olarak 2018 yılının 309. gün ile 310. günü arasındaki yer değiştirme miktarları gösterilmiştir. Şekil 4.7’de renk değişimleri milimetre cinsinden günlük değişim miktarlarını simgelerken, vektörler değişim büyüklüğünü ve yönlerini göstermektedir. Doğuda hareket 310. gün için aşağı yönde bulunmuş olup, batıda hareket sifıra yakın olarak hesaplanmıştır.



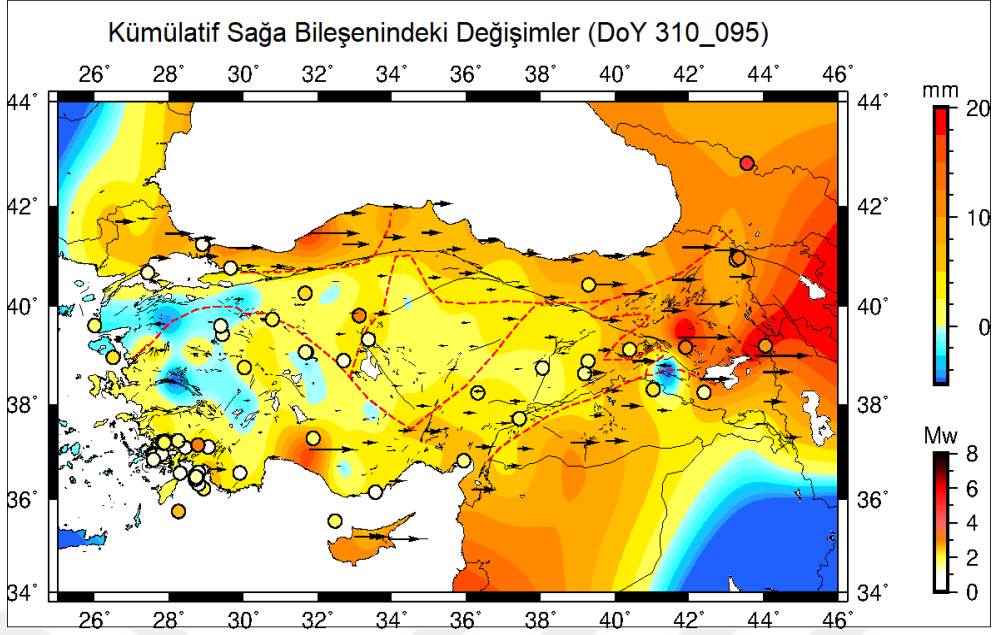
Şekil 4.8 Günlük toplam yatay konum farkları enterpolasyon haritası.

Şekil 4.8’de gösterilen haritada, günlük toplam yatay bileşendeki değişimlere örnek olarak 2018 yılının 309. gün ile 310. günü arasındaki yer değiştirme miktarları gösterilmiştir. Şekil 4.8’de renk değişimleri milimetre cinsinden günlük değişim miktarlarını simgelerken, vektörler değişim büyüklüğünü ve yönlerini göstermektedir. Doğuda toplam yataydaki hareket sadece 310. gün için maksimum 1 santimetre olarak hesaplanmıştır. Türkiye’nin batısı ve güneyi incelendiğinde toplam yataydaki hareketin doğudaki bölgelere göre daha az olduğu tespit edilmiştir.



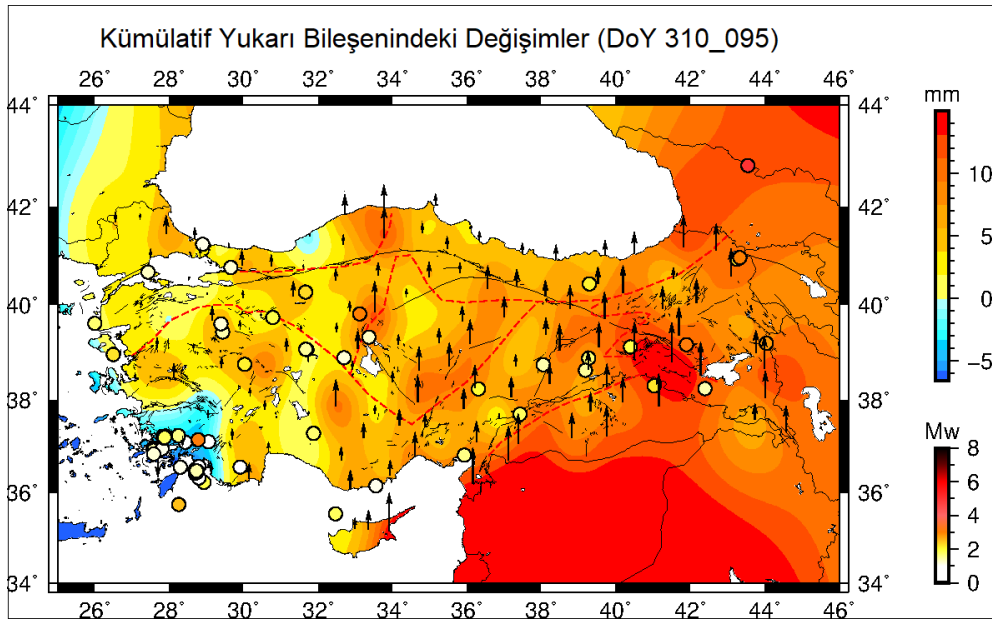
Şekil 4.9 Günlük yükseklik farkları enterpolasyon haritası.

Şekil 4.9’da gösterilen haritada, günlük yükseklik bileşenindeki değişimlere örnek olarak 2018 yılının 309. gün ile 310. günü arasındaki yer değiştirme miktarları gösterilmiştir. Şekil 4.9’da renk değişimleri milimetre cinsinden günlük değişim miktarlarını simgelerken, vektörler değişim büyüklüğünü ve yönlerini göstermektedir. Doğuda ve kuzeyde yükseklik bileşenindeki hareket 310. gün için maksimum 4 santimetre hesaplanmıştır. Türkiye’nin batı ve güneyi incelendiğinde ise doğudaki bölgelere göre hareketin azaldığı görülmüştür. Sütur sınırları incelendiğinde, hareket değişimlerinin büyüklüklerindeki ciddi değişimlerin sütur sınırları ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.



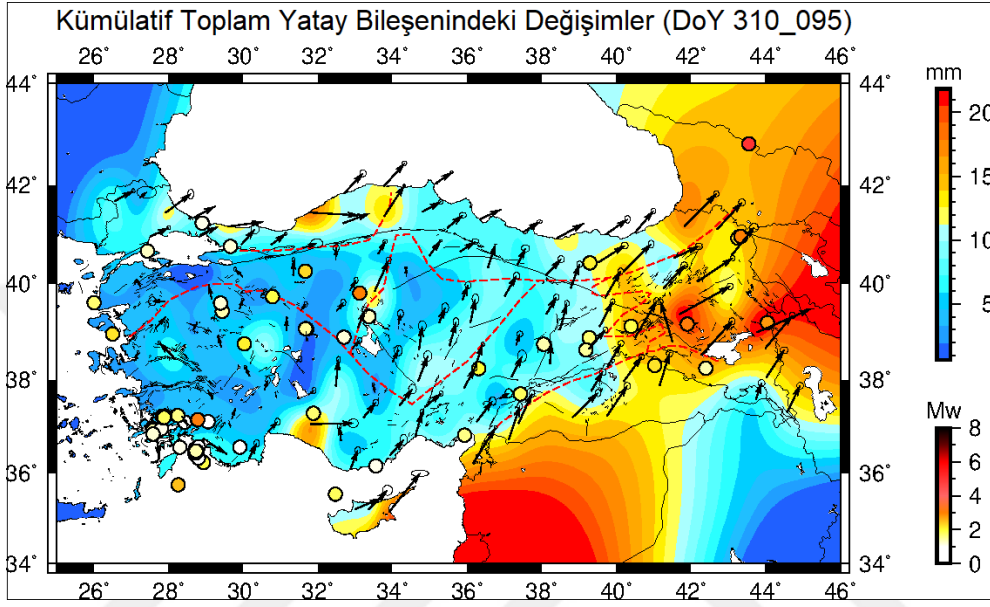
Şekil 4.10 Kümülatif sağa koordinat bileşeni farkları enterpolasyon haritası.

Şekil 4.10'da gösterilen haritada, kümülatif sağa bileşenindeki değişimlere örnek olarak 2018 yılının 95. günü ile 310. günü arasındaki yer değiştirme miktarları gösterilmiştir. Harita üzerine çizdirilmiş sütür sınırlarının hareket değişimlerine uyduğu açıkça görülmektedir. Şekilde toplam 215 günlük yer değiştirme incelenmiş ve maksimum değişimin 2 santimetre sınırına yaklaştığı belirlenmiştir.



Şekil 4.11 Kümülatif yukarı koordinat bileşeni farkları enterpolasyon haritası.

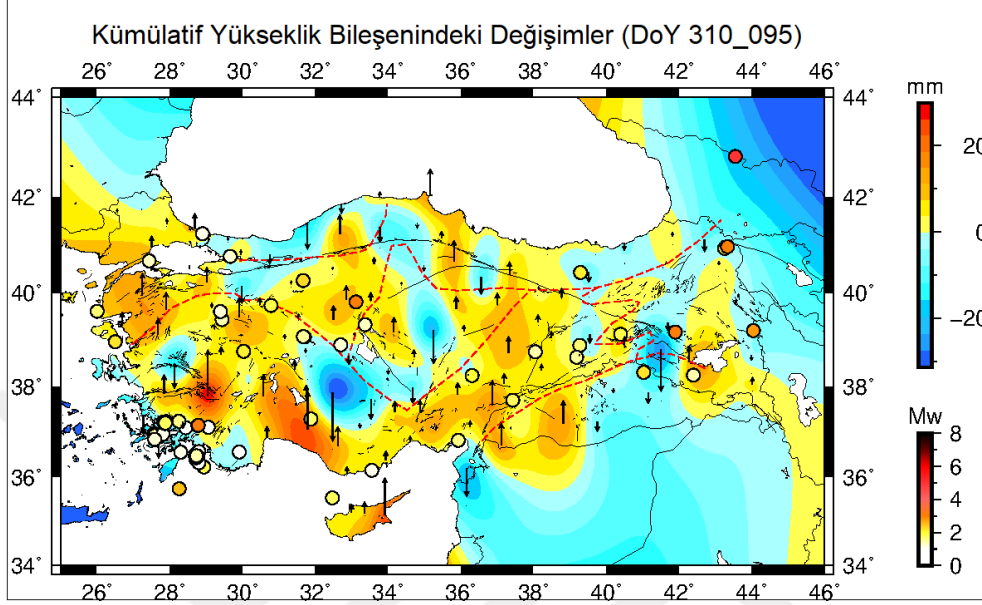
Şekil 4.11’de gösterilen haritada, kümülatif yukarı bileşenindeki değişimlere örnek olarak 2018 yılının 95. günü ile 310. günü arasındaki yer değiştirme miktarları gösterilmiştir. Şekil 4.11’de renk değişimleri milimetre cinsinden günlük değişim miktarlarını simgelerken, vektörler değişim büyüklüğünü ve yönlerini göstermektedir. Türkiye’nin genelinde hareket sadece yukarı yönde bulunmuş olup batıya kaydıçça hareket sifira yakınlaşmaktadır.



Şekil 4.12 Kümülatif toplam yatay konum farkları enterpolasyon haritası.

Şekil 4.12’de gösterilen haritada, kümülatif toplam yatay bileşenindeki değişimlere örnek olarak 2018 yılının 95. günü ile 310. günü arasındaki yer değiştirme miktarları gösterilmiştir. Şekil 4.12’de renk değişimleri milimetre cinsinden günlük değişim miktarlarını simgelerken, vektörler değişim büyüklüğünü ve yönlerini göstermektedir. Toplam yataydaki kümülatif hareket -0,5 ile 2,5 santimetre arasında hesaplanmıştır. Doğu ve kuzey bölgelerde hareket daha büyük miktardaiken batı ve güneyde hareket sifira yaklaşmaktadır. Bulunan yerdeğiştirme miktarları geçmişte yapılmış akademik çalışmalar ile örtüşmektedir (Aktuğ vd, 2011). Gösterilmekte olan hız bileşenleri mutlak sabit (ITRF sabit) sistemde hesaplanmıştır. Arap plakasının Afrika plakasına göre daha hızlı hareket etmesi, Türkiye’nin doğu kısımlarının batı bölgelerine göre daha yüksek hıza sahip olmasına sebep olmaktadır. Doğu Anadolu Fay hattının sağında kalan bölgelerde hareket sağa yönünde artış göstermekteyken, İç Anadolu Bölgesi’nde hareket sifira yaklaşmakta ve Ege Bölgesi’nde hareketin yönü değışerek batıya yönelmektedir. Karadeniz Bölgesi’ndeki hareketlerin, Ege ve İç Anadolu Bölgelerine göre daha hızlı olmasının sebebi ise Avrasya Plakası’nın Anadolu Bloğunu

sıkıştırmasıdır. Böylece haritada gösterilen hareket hızları incelendiğinde, Türkiye'nin jeodinamiğini etkileyen temel kuvvetlerin Avrasya ve Arap plakaları olduğu sonucuna varılmıştır.



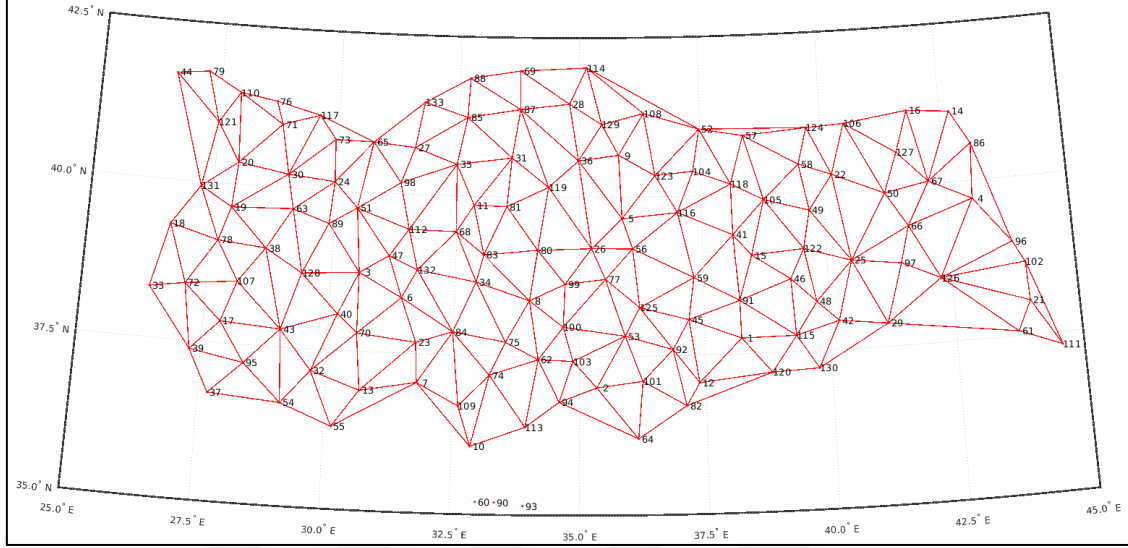
Şekil 4.13 Kümülatif yükseklik farkları enterpolasyon haritası.

Şekil 4.13'te gösterilen haritada, kümülatif toplam yükseklik değişimlere örnek olarak 2018 yılının 95. günü ile 310. günü arasındaki yükseklik değişim miktarları gösterilmiştir. Şekil 4.13'te renk değişimleri milimetre cinsinden kümülatif değişim miktarlarını simgelerken, vektörler toplam yatay değişim büyüklüğünü ve yönlerini göstermektedir. Harita üzerinde gösterilen daireler yılın 310. gününde oluşan depremlerin konumlarını, renkler ise gerçekleşen depremlerin Mw cinsinden büyüklüklerini göstermektedir.

4.2 GERİNİM ÇÖZÜMLERİ

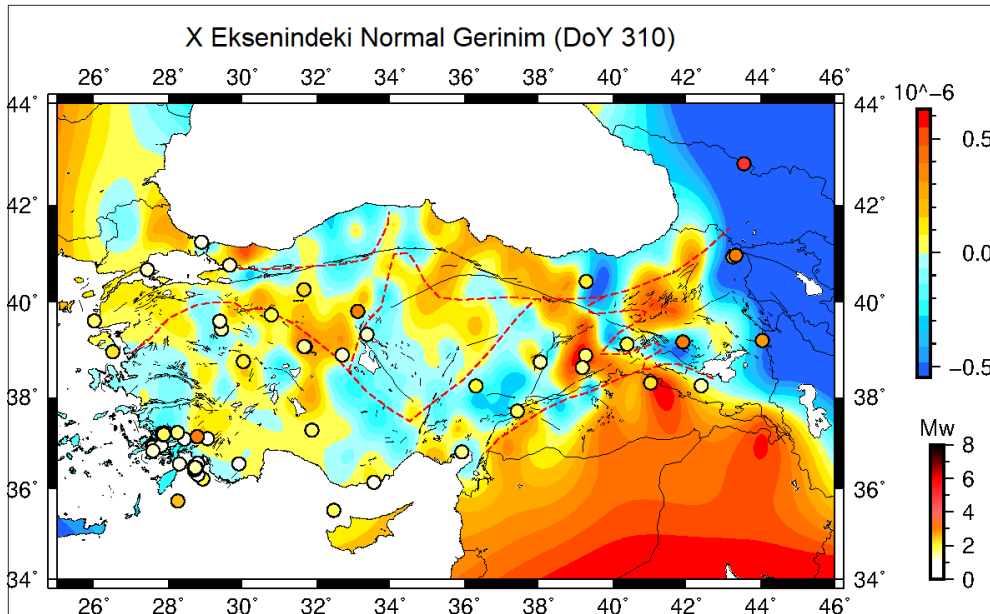
VİDA ile yapılan değerlendirmeler sonucu, kullanılan GNSS istasyonlarına ait projeksiyon ve kartezyen koordinatları hesaplanmaktadır. Günlük ve/veya kümülatif olarak hesaplanacak gerinim parametleri için tüm ağda Delaunay Üçgenlemesi kullanılarak üçgenler oluşturulmaktadır. Hesaplanan günlük ve kümülatif kartezyen koordinatı farkları için oluşturulan Delaunay Üçgenlerinin merkezleri baz alınarak 3 boyutlu gerinim hesabı yapılmaktadır. Bu hesap için jeosentrik kartezyen koordinatlardan toposentrik dik koordinatlara dönüşüm yapılmaktadır. Sonuç olarak üç ekseninde normal gerinimler, bu

eksenlerin ikili oluşturdıkları düzlemlerde makaslama gerinimleri, alansal değişimler ve toplam hacimde meydana gelen değişimler elde edilmektedir. Şekil 4.14'te oluşturulan üçgenleme sonucunda çizdirilmiş TUSAGA-Aktif ağı gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Gerinim analizi için yapılan üçgenleme görünümü.

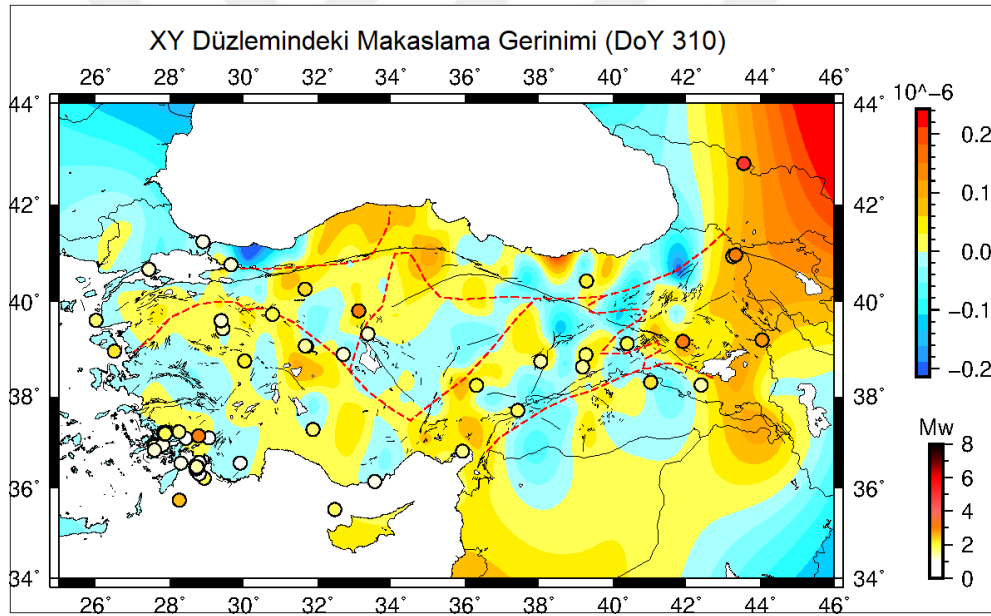
Üçgenlerin oluşturulmasının ardından gerinim hesabı yapılmakta ve sonuç dosyaları tekrar GMT yazılımında gerinim haritalarının oluşturulması için GMT formatına uygun hale getirilmektedir.



Şekil 4.15 X eksenindeki günlük normal gerinim miktarları.

Şekil 4.15'te gösterilen haritada, günlük x eksenindeki normal gerinim miktarlarına örnek olarak 2018 yılının 309. gün ile 310. günü arasındaki gerinim miktarları gösterilmiştir. Pozitif değerler x eksenini boyunca genişlemeyi gösterirken, negatif değerler x eksenindeki sıkışmayı göstermektedir. Buna ek olarak harita üzerinde gösterilen daireler yılın 309. gününde oluşan depremlerin konumlarını, renkleri ise gerçekleşen depremlerin Mw cinsinden büyüklüklerini göstermektedir. Tek eksen için çizdirilen bu enterpolasyon haritalarında, değerlendirme sonucunda elde edilen günlük ve kümülatif değerler tüm eksenler için görselleştirilmektedir. Eksenlerdeki normal gerinimler için;

- X eksenini (günlük, kümülatif),
- Y eksenini (günlük, kümülatif),
- Z eksenini (günlük, kümülatif) görselleştirmeleri yapılmaktadır.

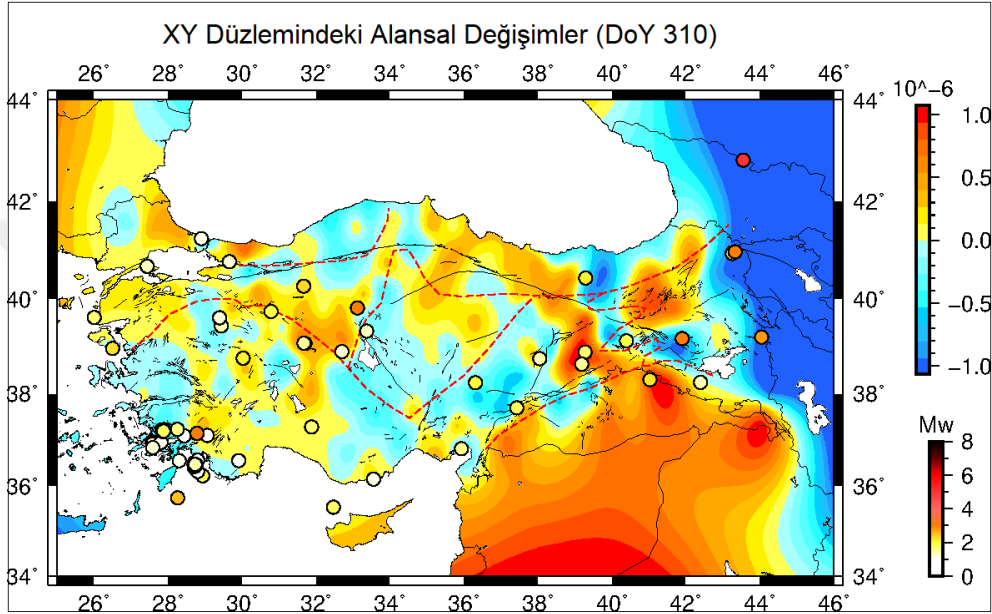


Şekil 4.16 XY düzlemindeki günlük makaslama gerinim miktarları.

Şekil 4.16'da gösterilen haritada, günlük xy makaslama gerinimi miktarlarına örnek olarak 2018 yılının 309. gün ile 310. günü arasındaki gerinim miktarları gösterilmiştir. Pozitif değerler XY düzlemindeki sıkışmayı gösterirken, negatif değerler XY düzlemindeki genişlemeyi göstermektedir. Buna ek olarak harita üzerinde gösterilen daireler yılın 309. gününde oluşan depremlerin konumlarını, renkleri ise gerçekleşen depremlerin Mw cinsinden büyüklüklerini göstermektedir. Belirtilen düzlemler için çizdirilen bu enterpolasyon

haritalarında, değerlendirme sonucunda elde edilen günlük ve kümülatif değerler tüm düzlemler için görselleştirilmektedir. Düzlemlerdeki makaslama gerinimleri için;

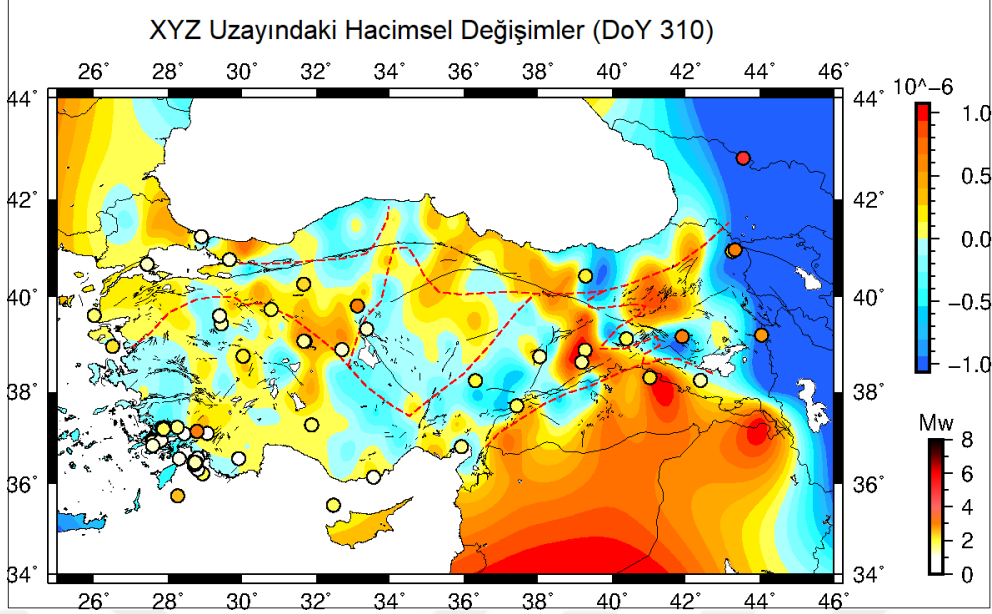
- XY düzlemi (günlük, kümülatif),
- XZ düzlemi (günlük, kümülatif),
- YZ düzlemi (günlük, kümülatif) görselleştirmeleri yapılmaktadır.



Şekil 4.17 XY düzlemindeki günlük alansal değişimler miktarları.

Şekil 4.17'da gösterilen haritada, günlük XY düzlemindeki alansal bozulma miktarlarına örnek olarak 2018 yılının 309. gün ile 310. günü arasındaki gerinim miktarları gösterilmiştir. Pozitif değerler XY düzlemindeki alansal büyümeyi gösterirken, negatif değerler XY düzlemindeki alansal küçülmeyi göstermektedir. Belirtilen düzlemler için çizdirilen bu enterpolasyon haritalarında, değerlendirme sonucunda elde edilen günlük ve kümülatif değerler tüm düzlemler için görselleştirilmektedir. Düzlemlerdeki alansal değişimler için;

- XY düzlemi (günlük, kümülatif),
- XZ düzlemi (günlük, kümülatif),
- YZ düzlemi (günlük, kümülatif) görselleştirmeleri yapılmaktadır.

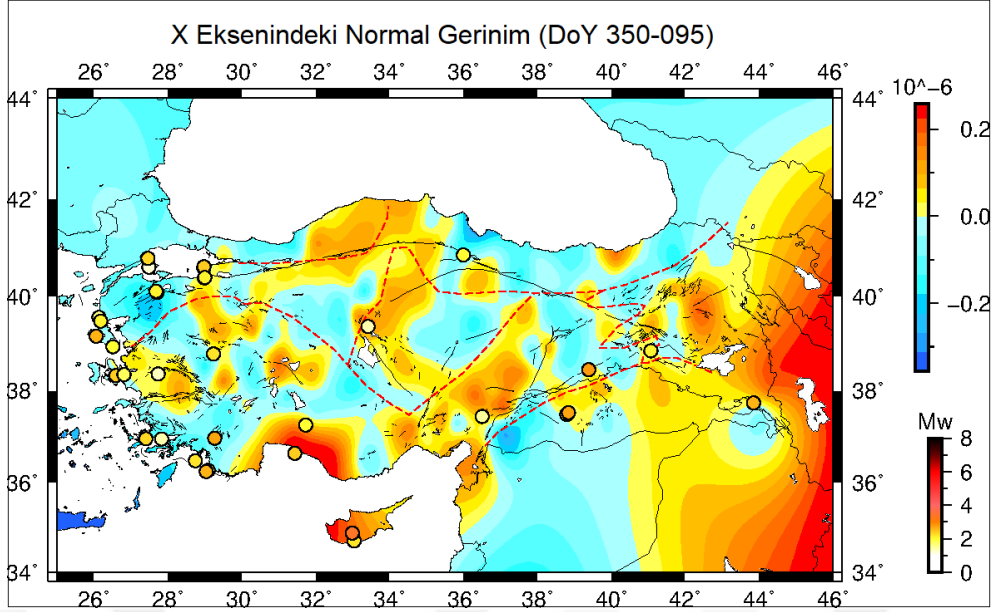


Şekil 4.18 XYZ uzayında günlük hacimsel değişim miktarları.

Şekil 4.18’de gösterilen haritada, günlük xyz uzayındaki hacimsel değişim miktarlarına örnek olarak 2018 yılının 309. gün ile 310. günü arasındaki gerinim miktarları gösterilmiştir. Pozitif değerler XYZ uzayındaki hacimsel büyümeyi gösterirken, negatif değerler XYZ uzayındaki hacimsel küçülmeyi göstermektedir. Belirtilen uzay için çizdirilen bu enterpolasyon haritalarında günlük ve kümülatif değerler görselleştirilmektedir.

4.3 JEODİNAMİK UYGULAMALARDA VİDA

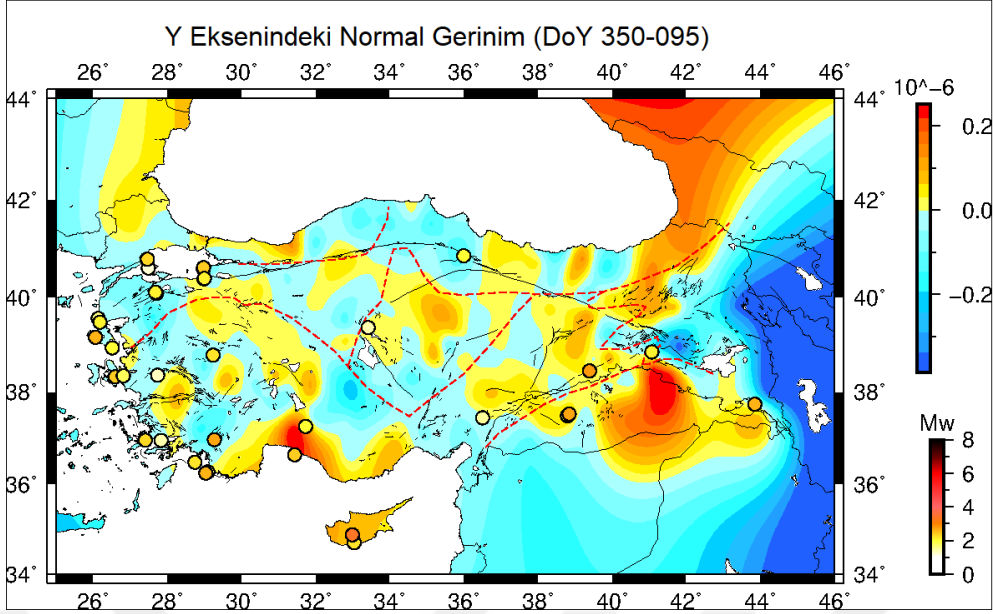
Türkiye; kuzeyde Avrasya Plakası, güneyde Arap ve Afrika plakaları tarafından sürekli sıkıştırılmaktadır. Bu sebeple, Türkiye’nin fiziksel yapısı ve kıyı şeridi plaka hareketleri ile şekillenmektedir. Türkiye’deki sıradağ yapılarının doğu-batı doğrultusunda olması da plaka hareketleri ile ilişkilidir. Çalışma kapsamında elde edilen farklı eksen ve düzlemlerdeki gerinimler bu bilgileri doğrulamaktadır. X eksenindeki normal gerinimler incelendiğinde Marmara Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi’nin doğu kesimleri hariç Türkiye’nin büyük bir bölümünde genişleme görülmektedir. Doğu Anadolu Fayı yakınlarında genellikle genişleme bölgeleri bulunurken, Kuzey Anadolu Fayı boyunca genişleme ve sıkışma bölgeleri birbirlerini takip etmektedir. Kuzey Anadolu Fayı’nın batı bölümünde bulunan, geçmişte büyük depremlerin yaşandığı, İzmit ve Yalova gibi Marmara Denizi’ne yakın bölgelerde beklendiği gibi genişleme görülmektedir. Şekil 4.19’te X eksenindeki normal gerinim değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.19 X eksenindeki kümülatif normal gerinimdeki değişim miktarları.

Türkiye'nin en doğusudaki Van Gölü ve çevresinde X ekseninde, Avrasya ve Arap plakalarının Kuzey-Güney doğrultusunda sıkıştırması sebebiyle beklendiği gibi genişleme ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeyi ve Kafkasya sınırının sıkışma yöneliminde olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda Türkiye'nin Akdeniz kıyısının doğu kısmındaki Tuz Havzası çevresi, Adana Deltası ve Mersin'de genişleme görülmektedir. 2018 yılı içerisinde birçok depremin yaşandığı Antalya ve çevresinde ise büyük miktarda genişleme görülmektedir.

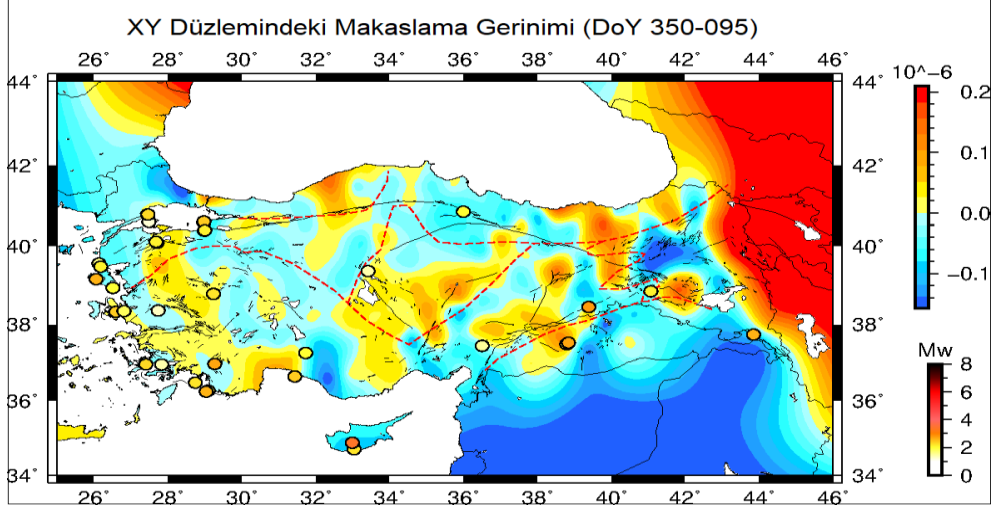
Anadolu'nun Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı etkisiyle Doğu-Batı yönünde hareket etmesiyle Y ekseninde gerçekleşmekte olan normal gerinimler büyük öneme sahiptir. Şekil 4.20'da görüldüğü gibi Y eksenindeki normal gerinim sebebiyle oluşan genişleme ve sıkışma durumları X eksenine göre daha homojen bir yapıya sahiptir. Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu Faylarında Y eksenindeki sıkışma ve genişleme bölgelerinin birbirlerini takip ettiği görülmektedir. Marmara Denizi'nin doğu ve batı uçlarında sıkışma görülürken, deprem beklenen bölgelerinden Tekirdağ Havzasında genişleme görülmektedir.



Şekil 4.20 Y eksenindeki kümülatif normal gerinimdeki değişim miktarları.

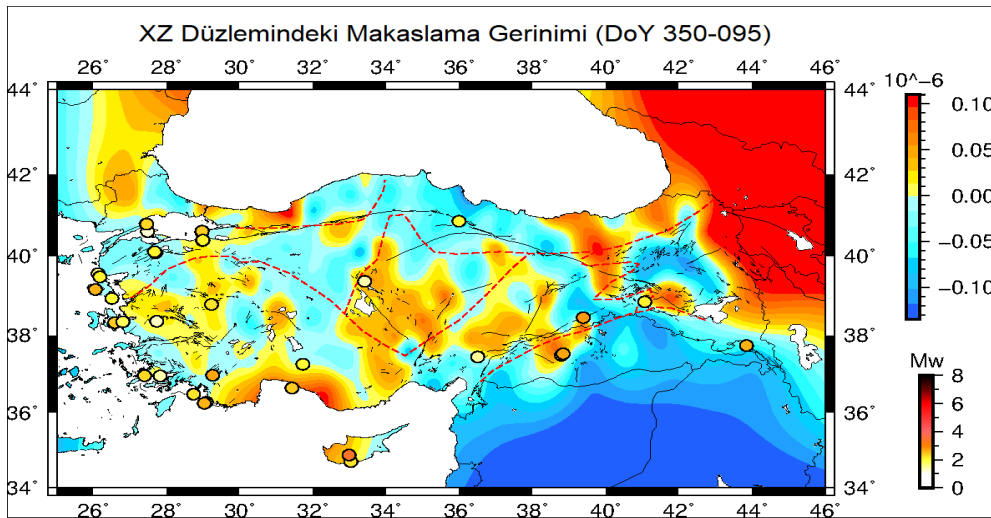
Her iki eksen aynı anda düşünüldüğünde doğu-batı yönünde sıkışmakta olan Marmara Denizi, kuzey-güney yönünde genişlemektedir. Aynı zamanda Marmara Bölgesi'nin doğu kısmındaki sıkışma bölgeleri geçmişte büyük depremlerin yaşandığı bölgelerdir. Aynı şekilde 2011 yılında gerçekleşen Van depreminin gerçekleştiği merkez ve çevresinde sıkışma görülmektedir. Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey-güney yönünde sıkışan orojenik bir bölge olması sebebiyle Y eksenindeki normal gerinim değerlerinin önemi büyüktür ve sıkışma yaşanan bölgeler X eksenine göre daha belirgin bir şekilde görülmektedir.

XY düzlemindeki makaslama gerinimleri incelendiğinde, Kuzey Anadolu Fayı'nda genişleme ve sıkışma tekrarlaması görülürken, Doğu Anadolu Fayı'nın kuzey ucundaki dağlık kesimlerde de sıkışma görülmektedir. DAF boyunca güneye inildiğinde nehirlerin oluşturduğu düzlüklerde genişlemeler ve fayın orta kesimlerinde tekrar sıkışmalar gözlenmektedir. Türkiye'nin topografyasının oluşumu incelendiğinde, hesaplanan XY makaslama gerinimlerinin bu fiziksel yapıya uygun olduğu görülmektedir. Afrika ve Arap plakaları ile şekillenen Türkiye'nin tektonik rejimi dikkate alındığında ise makaslama gerinimlerinin doğuda sıklaştığı ve batıya gidildikçe gerinim değerlerinin küçüldüğü görülmektedir (Şekil 4.21).



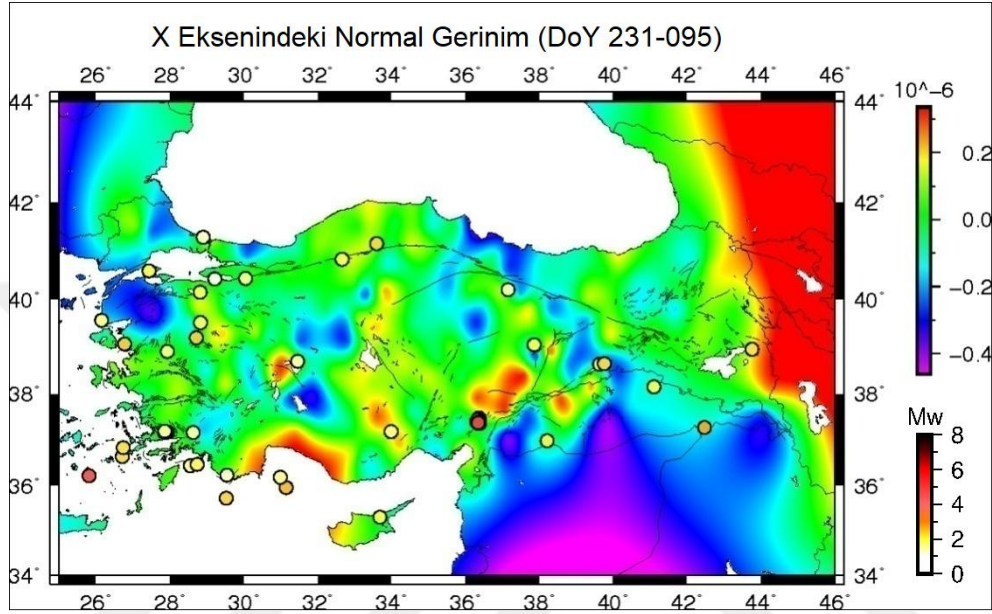
Şekil 4.21 XY düzlemindeki kümülatif makaslama gerinimdeki değişim miktarları.

Türkiye'nin kıyı şeridinde ait tüm gerinimler incelendiğinde en büyük etkiye sahip gerinimlerin XZ düzleminde olduğu görülmektedir. Bu sebeple; Türkiye'nin sahil şeridinin kıvrımlarının oluşmasında XZ düzlemindeki gerinimlerinin etkisi olduğu sonucuna varılabilmektedir. Ayrıca XZ düzlemi dahil tüm eksenlerdeki normal gerinimler ve/veya düzlemlerdeki makaslama gerinimleri incelendiğinde, oluşan depremlerin gerinim değerlerinin maksimum olduğu bölgelerde değil, genişleme bölgelerinden sıkışma bölgelerine geçişlerde olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 4.22). Buna ek olarak VIDA sisteminin 1 yıldan daha az veri değerlendirdiği ve gerinim değerleri hakkında daha kapsamlı yorum yapılabilmesi için uzun süreli değerlendirmelerin gerektiği bilinmektedir. Bunun en önemli sebebi, GNSS istasyonlarının konum bileşenlerindeki mevsimsel değişimler olduğu düşünülmektedir.



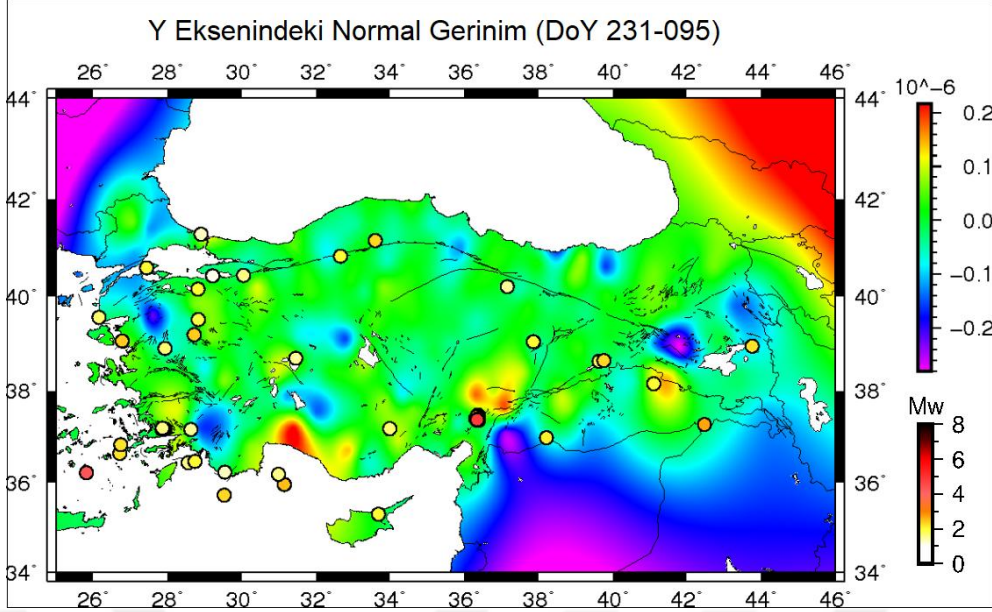
Şekil 4.22 XZ düzlemindeki kümülatif makaslama gerinimdeki değişim miktarları.

Gerçekleşen depremler ile gerinim bileşenlerinin eşleştirilmesi için VIDA sisteminin aktif olduğu tarihten itibaren gerçekleşen depremler araştırılmış ve kriterlere uygun iki deprem incelenmek için seçilmiştir. Bunlar, 19/08/2018, 15:22(UTC) de Düziçi-Osmaniye’de gerçekleşen 4,9 Mw büyüklüğündeki ve 10/09/2018, 23:02 (UTC)’de Döşemealtı-Antalya’da gerçekleşen 4,9 Mw büyüklüğündeki depremlerdir.



Şekil 4.23 X eksenindeki kümülatif normal gerinimdeki değişim miktarları.

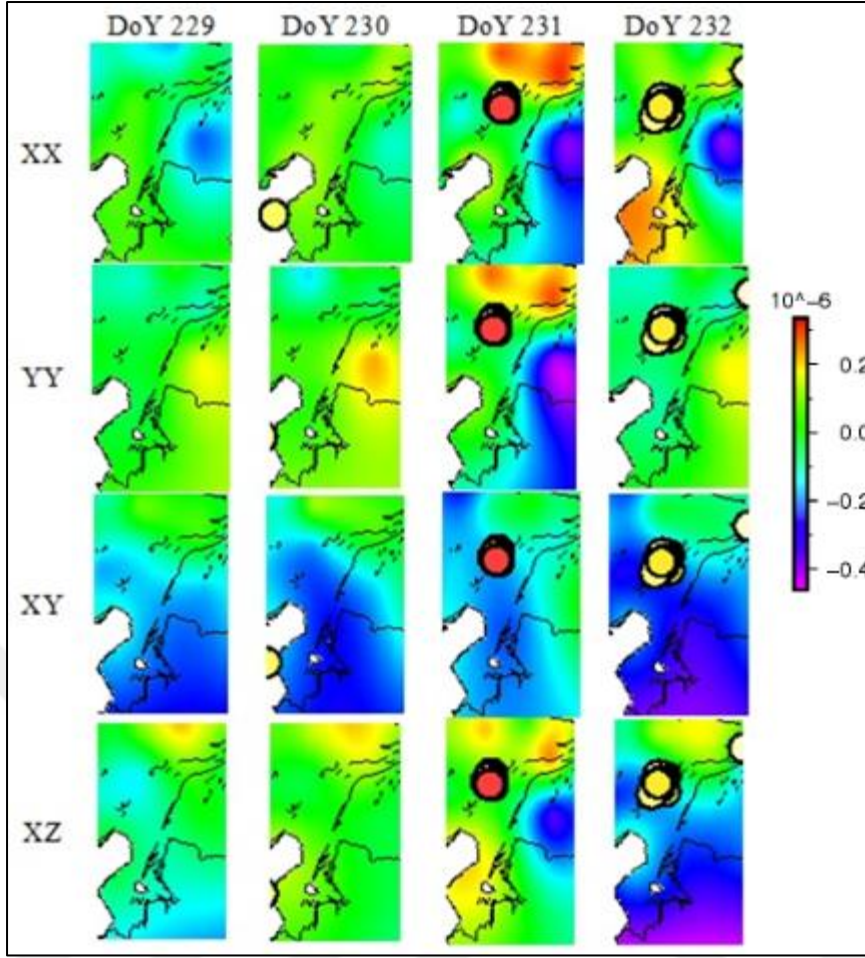
Doğu Anadolu Fayı'nın güney ucuna yakın bir bölgede gerçekleşen Düziçi-Osmaniye depremi öncesi ve sonrasında gerçekleşen küçük artçı depremler ile bölgede toplumsal panik yaratmıştır. Ceyhan Nehri'nin Dibek Dağları ve Nur Dağlarını kestiği bölgede gerçekleşen deprem ile ilişki gerinim parametreleri VIDA grafik çıktıları kullanılarak incelenmiştir.



Şekil 4.24 Y eksenindeki kümülatif normal gerinimdeki değişim miktarları.

X (Şekil 4.23) ve Y (Şekil 4.24) eksenlerindeki kümülatif normal gerinim değerleri incelendiğinde, deprem merkezinin kuzeyinde birikerek artan genişleme görülürken güneyinde gerinim sıfıra yakın olarak hesaplanmıştır. Makaslama gerinimleri incelendiğinde, XY düzleminde deprem merkezinin doğu-batı yönünde sıkışma-genişleme geçiş bölgesinde gerçekleştiği görülmektedir.

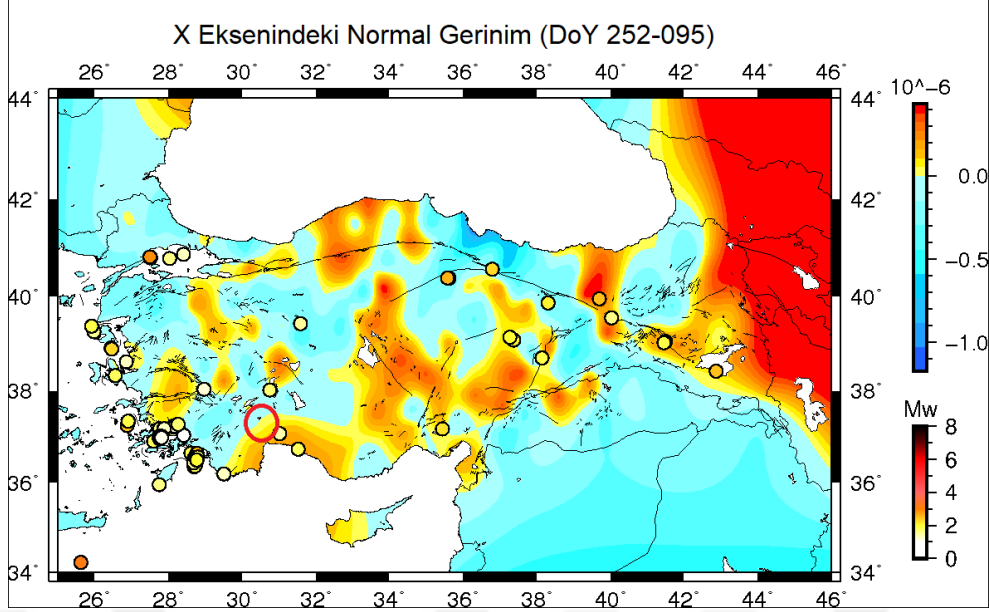
Deprem merkezinin Ceyhan Nehri'nin daha güçlü zemine sahip dağlık alanları kestiği bölgede olması sebebiyle Z bileşenin de dahil olduğu makaslama gerinimlerinin incelenmesi uygun görülmüştür. Beklendiği gibi deprem merkezi YZ düzleminde genişleme-sıkışma geçiş bölgesinde gerçekleştiği görülmüştür. Deprem sonrası bölgede küçük depremler gerçekleşmeye devam etmiş ancak gerinim parametreleri incelendiğinde X ve Y eksenlerindeki normal gerinim değerlerinin yaklaşık olarak sıfırlandığı belirlenmiştir (Şekil 4.25). Buna ek olarak deprem öncesi YZ düzlemindeki makaslama gerinimi deprem merkezinin sadece güneyinde değil kuzeyinde de genişleme eğilimi göstermeye başlamıştır.



Şekil 4.25 X, Y eksenlerindeki normal gerinim ve XY, XZ düzlemlerindeki makaslama gerinimlerinin zamansal değişimi.

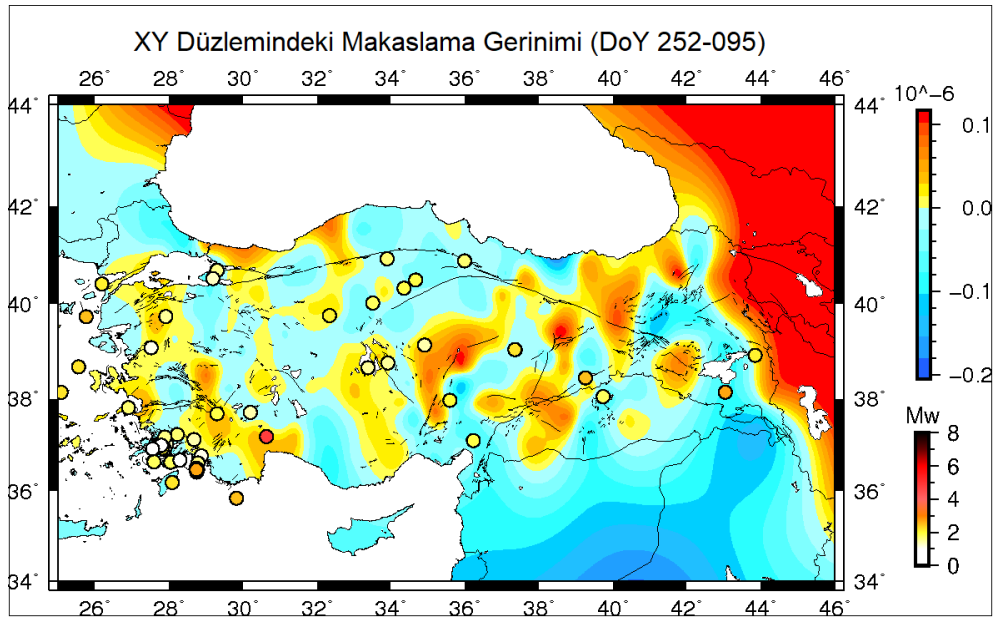
Şekil 4.25'te gerçekleşen deprem öncesi gerinim birikimi ve deprem sonrası gerinim miktarlarının değişimi gösterilmiştir. Deprem öncesi (DoY 229, 230) normal ve makaslama gerinim miktarlarında artış görülürken, deprem sonrası (DoY 232) X ve Y eksenlerindeki normal gerinimler sıfıra düşmüştür. XY düzlemindeki makaslama gerinimi azalmakta ve bölge genişleme yönünde ve deprem sonrası bu gerinim genişleme yönünde artmaktadır. XZ düzleminde ise deprem merkezinin kuzey ve güneyinde sıkışma miktarı artmakta ve deprem sonrası sıkışma durmuş ve bölge genişlemeye başlamıştır.

Döşemealtı-Antalya'da gerçekleşen deprem öncesinde deprem merkezinin bulunduğu bölgede X ve Y eksenlerine ait normal gerinim değerlerinde birikerek artan genişleme (Şekil 4.26), XY ve XZ düzlemlerine ait kümülatif makaslama gerinimlerinde ise deprem merkezinin sıkışma-genişleme geçişinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.27).

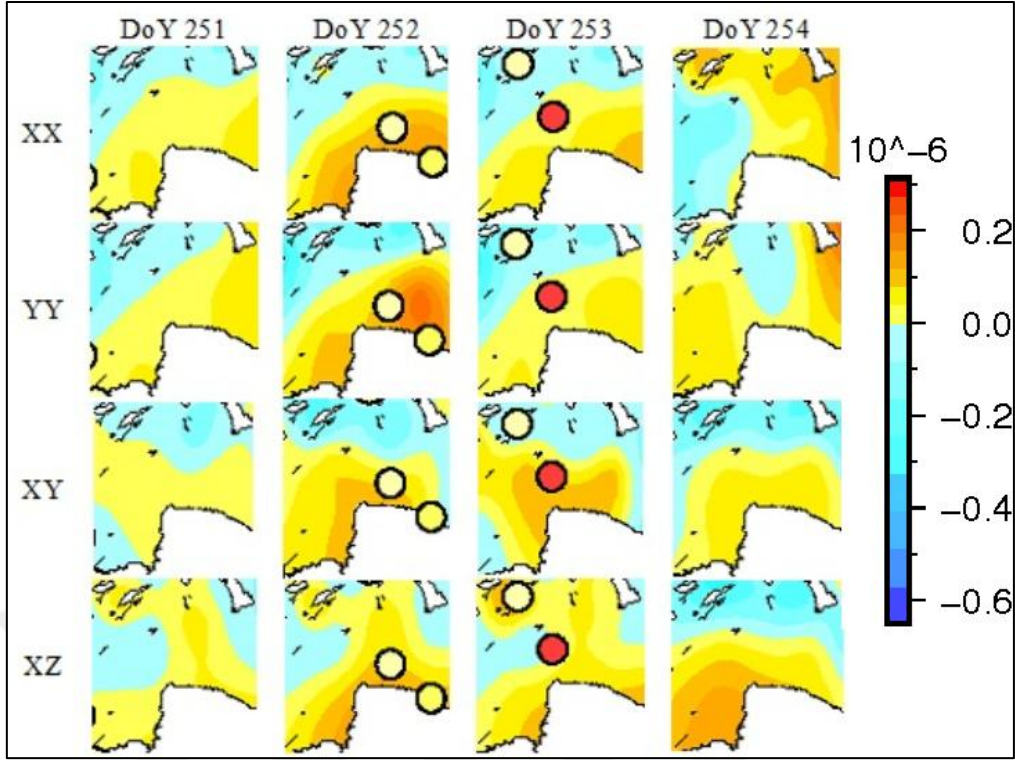


Şekil 4.26 X eksenindeki DoY 252'e ait kümülatif normal gerinimdeki değişim miktarları.

Deprem yaşandığı gün deprem merkezinde yaşanan XY düzlemindeki sıkışma Şekil 4.27'de görülmektedir. Deprem sonrası, X ve Y eksenlerindeki genişleme azalmış ve XY ve XZ düzlemlerindeki makaslama gerinimi değerleri sıfıra yaklaşmıştır. Bu gibi depremlere ait öncül parametrelerin belirlenmesi ve izlenmesinin Türkiye için önemi büyüktür. Örneklerle gösterilmiş olduğu gibi deprem öncesi, sırası ve sonrası gerinimler GNSS gözlemleri ile belirlenebilmektedir.



Şekil 4.27 XY düzlemindeki DoY 253'e ait kümülatif makaslama gerinimdeki değişimi.



Şekil 4.28 X, Y eksenlerindeki normal gerinim ve XY, XZ düzlemlerindeki makaslama gerinimlerinin zamansal değişimi.

Döşemealtı-Antalya’da gerçekleşen deprem öncesinde ve sonrasında meydana gelen gerinimler Şekil 4.28’de gösterilmektedir. Deprem öncesinde normal gerinim miktarlarında artış görülmekte, bölge genişlemektedir. Deprem gerçekleşmesi ile gerinim miktarları azalmış ve özellikle Y ekseninde gerinim sıfırlanmıştır. XY düzleminde depremin merkezi ve çevre bölgelerde sıkışma görülürken deprem sonrasında sıkışma miktarlarında azalma görülmektedir.



BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

GNSS tabanlı jeodezik çalışmalarda statik oturumların planlanması, gerçekleştirilmesi, değerlendirilmesi ve analizlerinin yapılması çok zaman almaktadır. 1990'li yıllarda geliştirilen ve Türkiye'de 2009 yılında aktif olarak kullanımına başlanılan CORS sistemleriyle (TUSAGA-Aktif), çok daha hızlı fakat statik oturumlara göre daha düşük doğruluklu konum bilgisi elde edilebilmektedir. Ancak, CORS sistemleri aynı zamanda sürekli gözlem yapan GNSS istasyonlarıdır. 7/24 gözlem yapan ve tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde planlanan TUSAGA-Aktif ağı sayesinde doğruluğu yüksek veriye saniyeler içinde erişilebilmektedir. Ancak, akademik çalışmalarda milimetre seviyesinde doğruluğa sahip veriler gerekmesi sebebiyle statik yöntem ile elde edilmiş veri kullanımı tercih edilmektedir. Özellikle tektonik amaçlı yapılan GNSS tabanlı çalışmalarda pek çok oturuma sahip GNSS verileri ve/veya sürekli veri toplayan GNSS alıcılarına ait veriler ortak değerlendirmeye sokularak daha hassas ve doğruluğu yüksek sonuçlar elde edilmektedir.

Bu işlemde verilerin toplanması çok sayıda GNSS istasyonuna ait verilerin birlikte değerlendirilmesinde istasyon sayısının işlem hızına etki etmesi problem yaratmaktadır. Bu sebeple teknolojik olarak gelişmiş ülkelerde 1990'dan itibaren sürekli gözlem yapan GNSS istasyonları kurulmuş ve bu istasyonlardan gelen verilerin otomatik olarak değerlendirilebilmesi için VİDA kurulmuştur. Verilerin otomatik elde edilmesi, değerlendirilmesi, görselleştirilerek internet sitelerine aktarıp kullanıcılar ile paylaşan bu analiz merkezlerine örnek olarak JPL, CODE, IGS gibi büyük organizasyonların analiz merkezleri sayılabilmektedir. Türkiye'de jeodezik çalışmalar için kurulan ve 146 aktif GNSS alıcısına sahip TUSAGA-Aktif sistemi 7/24 GNSS alıcıları ile veri toplamakta ve gerek özel sektörde gerekse kamu sektöründe jeodezik amaçlı çalışan kişiler ile bu verileri paylaşmaktadır. Asıl amacı aktif olarak kullanıcılara veri düzeltmeleri göndererek doğruluğu yüksek konum bilgisi elde edilmesini sağlamaktır. Ancak, gün boyu toplanan verileri kaydeden ve ana sisteme gönderen GNSS alıcıları sayesinde aynı zamanda statik oturumda

yapılmakta ve bu veriler üniversiteler ve kamu kuruluşlarına ücretsiz olarak sağlanmaktadır. Bu sayede geçmişe yönelik akademik çalışmalarda da TUSAGA-Aktif verileri kullanılabilir.

Türkiye aktif deprem kuşağında yer alması sebebiyle gün içerisinde birçok deprem gerçekleşmektedir. Buna ek olarak heyelan, obruk, krip hareketleri gibi birçok jeodinamik ve sismik aktivite gerçekleşmektedir. Bu sebeple Türkiye jeodezi ve jeofizik bilimcileri için doğal bir laboratuvar görevi görmektedir. Dolayısı ile GNSS verileri birçok alanda kullanılmaktadır.

Veri elde edilmesi ve değerlendirme aşamalarının çok daha hızlı bir şekilde yapılabilmesi için diğer ülkelerde kullanılan analiz merkezlerinden Türkiye'de de özellikle konu ile ilgili akademik çalışmaların yapıldığı üniversitelerde bulunması gerekmektedir. Çalışma kapsamında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü'ne VİDA kurulmuştur.

GNSS istasyonlarına ait konum bilgilerinin zaman serilerinin oluşturulması, gün içerisinde gerçekleşen depremler ile konum bilgilerinin eşleştirilerek gerinim miktarlarındaki değişimlerin depremler ile ilişkilendirilmesi, atmosferik parametre kestirimlerinin yapılması, sonuçların görselleştirilerek kullanıcılar ile paylaşılması amaçlanmıştır. VİDA; TUSAGA-Aktif ve/veya diğer bölgesel ağlara ait GNSS istasyonlarından gelen verileri toplayarak verinin ait olduğu saat diliminden 1 saat sonra tüm istasyonlara ait verilerin değerlendirilerek saatlik, gün sonu tüm verileri kullanarak günlük konum bileşenlerini elde etmektedir. Bu sayede saatlik ve günlük konum bileşenlerinden yararlanarak saatler arası ve/veya günler arası GNSS istasyonlarına ait yer değiştirmeler ve gerinim parametreleri elde edilmektedir.

VİDA 2018 Nisan ayı itibari ile aktif hale getirilmiş ve kullanıcılara veri sunmaya başlamıştır. Ancak, bu aşamaya gelmek için çok ciddi problemleri aşması gerekmiştir. Örnek olarak, veri elde edilmesi aşamasında verilerin indirildiği ftp sitelerinden TUSAGA-Aktif verilerinin indirilmesinde yaşanan sıkıntılardır. Kamu kuruluşlarında internet güvenliği amacıyla gelen ve giden veriler için portlarda sınırlandırmalar yapılmakta ve sisteme erişimde bu sebeple problemler yaşanmaktadır. Gerekli resmi yazışmalar yapılmasıyla bu problem aşılmış gibi görülmüş ftp sitelerinin veri paylaşmasını sağlayan sunuculardaki veri aktarımı sebebiyle oluşan trafik mevzu bahis kamu kuruluşu bilgi işlem dairelerinde sorunlar oluşturmaktadır.

Gerekli görüşmelerin yapılması ile veri akışının başarı ile sağlanmış ve değerlendirme aşamasına geçilmiştir.

Değerlendirmelerde kullanılan GNSS istasyonu sayısı ile değerlendirme işleminin süresi doğrudan ilişkili olup istasyon sayısı arttıkça işlem süresi uzamaktadır. VIDA'nın kuruluş amaçlarından saatlik veri değerlendirilmesinin yapılabilmesi için belirtilen 146 istasyon ve 20 adet referans istasyonuna ait verilerin birlikte değerlendirilmesi, verinin elde edilmesinin ardından aynı saat içinde tamamlanamadığı için alt ağlar oluşturularak işlem parçalara bölünmüştür. İstasyon sayıları alt ağlarda azaltılarak çözümleme süresi azaltılmıştır. Bu sayede saatlik değerlendirmeler verinin elde edilmesinin ardından gereken süre içerisinde tamamlanarak analizlerin yapılabilmesi için gereken klasörleme aşamasına geçebilmiştir.

Gerekli analiz ve görselleştirmelerin yapılmasının ardından yönetici ve öncelikli kullanıcılara e-posta üzerinden tüm sonuç ve görsellerin iletilmesi amacıyla VIDA sistemine e-posta sistemi entegre edilerek, günlük çözümlerin iletilmesi amaçlanmıştır. Ancak, tüm e-posta sistemi aktif olarak çalışsa da sonuç dosyalarının yönetici ve kullanıcılara gönderilmesinde problemler yaşanmıştır. Bunun sebebinin google şirketi tabanlı gmail e-posta sağlayıcısına ait e-posta gönderilerinin e-posta başına 25 megabayt geçemediği olduğu anlaşılmıştır. Sonrasında sonuç ürünleri içeren üç adet farklı e-posta gönderimi sağlanmıştır. Bunlar sırasıyla koordinat çözümleri, gerinim çözümleri ve atmosferik çözümlerdir.

Tüm bu gibi ve daha birçok problem aşılarak sistem aktif hale getirilmiştir. Ancak, Zonguldak şehrinin genel internet ve elektrik altyapısı sebebiyle aşılamayan sorunlar da mevcuttur. Buna örnek olarak Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nin elektrik kesintisi durumunda güçlü bir jeneratörü bulunmasına rağmen jeneratör 15 saniye içinde devreye girmekte bu da VIDA sisteminin kurulu olduğu bilgisayarın kapanmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı ek bir güç sağlayıcı temin edilmiştir. Elektrik problemi aşılmış olsa da gerçekleşen bölgesel ve/veya il çapındaki internet kesintileri için alternatif bir çözüm bulunamamıştır. Sistemin aktif olduğu 2018 yılının Nisan ayından itibaren 8 aylık süreçte bu problem sadece iki kere yaşanmış olup, alternatif çözümler aranmaktadır.

VIDA sistemi ile saatlik ve günlük elde edilen sonuç ürünler;

- GNSS istasyonlarına ait kartezyen ve projeksiyon koordinat bileşenleri,

- Günlük ve kümülatif yer değiştirme miktarları,
- Yer değiştirme miktarlarından yararlanılarak hesaplanılan aksenlere ait normal gerinim değerleri, ikili aksenlerin oluşturduğu makaslama gerinimleri, alansal bozunumlar ve hacimsel değişim miktarları üretilmektedir.

Bahsedilen sonuç ürünlerden yararlanılarak Türkiye'nin şeklinin kıtasal hareketler ve Türkiye'deki jeodinamik etkiler ışığında şekillenen fiziksel yapısı hakkında ipuçları araştırılmıştır. Araştırmalar sırasında yaklaşık 200 günlük veriden elde edilen sonuçlar kullanılırken, elde edilen sonuçlar uzun süreli değerlendirmeler ile elde edilen sonuçlar ile yaklaşık olarak uyumaktadır. Yorumlar genellikle kümülatif gerinim değerleri üzerinden yapılmıştır.

- X aksenindeki normal gerinim parametreleri incelendiğinde Türkiye'nin büyük bir bölümünde genişleme görülürken, Doğu Anadolu Fayı da bu eğilimdedir. Kuzey Anadolu Fayı incelendiğinde ise genişleme ve sıkışma bölgelerinin birbirini takip ettiği görülmektedir. Özellikle Doğu Anadolu Bölgesinde Arap ve Avrasya Plakalarının kuzey güney yönünde sıkıştırması sebebiyle X akseninde beklendiği gibi genişleme görülmektedir.
- Y aksenindeki normal gerinim parametreleri incelendiğinde tektonik plakaların etkileşimleri sebebiyle Türkiye'nin kuzey, güney ve doğu kesimlerinde sıkışma görülürken en büyük sıkışma Van Gölü ve çevresinde görülmektedir.
- Türkiye'nin topografyasının oluşumu incelendiğinde, hesaplanan XY makaslama gerinimlerinin bu fiziksel yapıya uygun olduğu görülmektedir. Afrika ve Arap Plakaları ile şekillenen Türkiye'nin tektonik rejimi dikkate alındığında ise makaslama gerinimlerinin doğuda sıklaştığı ve batıya gidildikçe gerinim değerlerinin küçüldüğü görülmektedir.

Ayrıca XZ düzlemi dahil tüm aksenlerdeki normal gerinimler ve düzlemlerdeki makaslama gerinimleri incelendiğinde, oluşan depremlerin gerinim değerlerinin maksimum olduğu bölgelerde değil, genişleme bölgelerinden sıkışma bölgelerine geçişlerde olduğu saptanmıştır. Bu sebeple VİDA sisteminin aktif olmasından itibaren geçen süre içerisinde Döşemealtı-Antalya ve Düziçi-Osmaniye'de gerçekteşen 4,9 Mw büyüklüğe sahip depremler incelenmiştir. Deprem öncesi deprem merkezi ve yakın bölgelerinde normal ve/veya

makaslama gerinimlerinde artış gözlemlenirken deprem sonrası gerinimler değerlerinde küçölme saptanmıştır.

Örnekleri verilen uygulamalar ile VİDA ile yapılabileceklerin küçük bir kısmı paylaşılmış olup, farklı öncöl deprem parametreleri ile birleştirilmesi planlanmaktadır. Sismik aktivitelere ek olarak diğer tektonik uygulamalar içinde VİDA ile çalışmalar yapılması planlanmaktadır. Bunlara örnek olarak kullanılan GNSS istasyonlarının bulunduğu konumlar için güncel hızların belirlenmesi, heyelan bölgelerinin takibi, yeni istasyonların eklenmesi ve ulusal ya da bölgesel GNSS ağlarının sıklaştırılması ile bölgesel çalışmaların yapılabilmesi, atmosferik değişikliklerin gözlenmesi düşünölmektedir.

VİDA sistemiyle ilgili gelecekte, yeni GNSS istasyonlarının eklenmesi, güncel sismograf ve mareograf verilerinin analize dahil edilmesi ve var olan sonuçlar ile ilişkilendirilmesi, geçmiş verilerin sisteme eklenerek GNSS istasyonlarının bulunduğu konumların karakteristiklerinin incelenmesi ve VİDA'nın uluslar arası GNSS analiz merkezlerinin oluşturduğu IGS, EUREF gibi topluluklara katılmak için gerekli başvuru hazırlıklarının yapılması planlanmaktadır.

Yazar, VİDA ile elde edilen günlük çözümleri incelemek ve yapılan bu çalışma kapsamında güncel veya geçmiş çözümlere ulaşmak isteyen kullanıcıların için “<http://afetmerkezi.beun.edu.tr/>” internet sitesini takip edilmesi gerektiğini önermektedir.



KAYNAKLAR

- Acar M, Özlüdemir M T, Çelik R N, Erol S and Ayan T** (2004) Landslide Monitoring Through Kalman Filtering: A Case Study in Gürpınar, *ISPRS XXth Congress*, 12-23 Temmuz, İstanbul, Türkiye, 682-685.
- Açıkgöz M** (2010) Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağı'nın Kuzeybatı Bölümünde Yer Kabuğu Hareketleri Nedeniyle Oluşan Deformasyonun Yersel ve GNSS ölçüleri ile Araştırılması, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 136 s.
- Aktug B, Ozener H, Dogru A, Sabuncu A, Turgut B, Halicioğlu K, Havazli E** (2016) Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field. *Journal of Geodynamics*, 94: 1-12.
- Aktuğ B and Kılıçoğlu A** (2006) Recent crustal deformation of Izmir, Western Anatolia and surrounding regions as deduced from repeated GPS measurements and strain field. *Journal of Geodynamics*, 41(5): 471-484.
- Aktuğ B ve Lenk O** (2010) Yeni Gelişmeler Işığında Ağ Hiyerarşisi, Ölçü Süreleri ve Duyarlık Ölçütlerinin İncelenmesi. *Harita Dergisi*, 135: 40- 50.
- Aktuğ B, Sezer S, Özdemir S, Lenk O ve Kılıçoğlu A.** (2011) Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı Güncel Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması (Computation of the Actual Coordinates and Velocities of Turkish National Fundamental GPS Network). *Harita Dergisi*, 145: 1-14.
- Altın M U** (2006) Kuzey Anadolu Fayının Batı Marmara Bölümündeki Hareketlerinin GNSS Ölçmeleri ile Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 111 s.
- Ayan T, Deniz R, Çelik R N, Arslan E, Özlüdemir M T, Güney C, Özöner B, Erol S ve Akyılmaz O** (2004) Jeodezik Amaçlı Yerel GNSS Ağları. *TUJK 2002 Yılı Bilimsel Toplantısı, Bildiriler ve Konuşma Tutanakları*, O. Gürkan (Ed.), HKMO ve TUJK, İstanbul, Türkiye, 199-216.
- Ayhan M E, Lenk O, Demir C, Kılıçoğlu A, Kahveci M, Türkezer A, Ocak M, Açıkgöz M, Yıldırım A, Aktuğ B, Şengün YS, Kurt A İ ve Fırat O** (2001) "Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA-1999)", *Teknik Rapor*, Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Dairesi, Ankara, 1-3.
- Barka A** (1996) Slip Distribution along the North Anatolian Fault Associated with the Large Earthquakes of the Period 1939 to 1967, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 86: 1238 – 1254.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Barka A and Kadinsky-Cade K.** (1988) Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7: 663-684.
- Behr J A, Hudnut K W and King N E** (1998) Monitoring Structural Deformation at Pacoima Dam, California Using Continuous GNSS, *Seismological Research Letters*, 69: 299-308.
- Berber M** (2006) Robustness Analysis of Geodetic Networks, University of New Brunswick, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, *Doktora Tezi*, Kanada, 121 pp.
- Beutler G, Bock H, Brockman E, Dach R, Fridez P, Gurtner W, Hugentobler U, Ineichen D, Johnson J, Meindl M, Mervart L, Rothacher M, Schaer S, Springer T and Weber R** (2001) *Bernese GNSS Software Version 4.2*. Astronomical Institute, Bern Üniversitesi, Bern, İsviçre, 42 pp.
- Bitelli G, Bonsignore F and Unguendoli M** (2000) Levelling and GNSS Networks to monitor ground subsidence in the Southern Po Valley. *Journal of Geodynamics*, 30: 355-369.
- Blewitt G and Lavallee D** (2002) Effect of Annual Signals on Geodetic Velocity, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B7-9): 1-11.
- Bozkurt E** (2001) Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14: 3-30.
- Castrique L** (1996) IERS Annual Report 1995, Jet Propulsion Laboratory.
- Chang C C** (2000) Estimation of Local Subsidence Using GNSS and Levelling Combined Data. *Surveying and Land Information System*, 2(60): 85-94.
- Chen R and Kakkuri J** (1993) Capability of GNSS Technique for Local Crustal Deformation Detection, *the CRCM'93*, 6-11 Aralık, Kobe, Japonya, 209-213.
- Chen Y G and Chrzanowski A** (1990) Integration of GNSS with Levelling in Ground Subsidence Studies: Mathematical Modelling. *A collection of 8th International Symposium on Geodetic Computation*, C. Junyong (Ed.), International Academic Publishers, Beijing, 21-30.
- Chrzanowski A, Chen Y, Leeman R W and Leal J** (1989) Integration of the Global Positioning System with Geodetic Levelling Surveys in Ground Subsidence Studies, *CISM Journal ACSGC*, 43: 377-386.
- Çakmak R** (2010) Jeodezik Çalışmalarla Marmara Bölgesinde Deprem Döngüsünün Belirlenmesi ve Modellerle Açıklanması, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 153 s.
- Dach R, Hugentobler U, Fridez P and Meindl M** (2007) *User Manual of Bernese GPS Software Version 5.0*, Astronomical Institute, University of Bern, 612 pp.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Denli H H** (1998) GNSS ile Marmara Bölgesindeki Yer Kabuğu Hareketlerinin Belirlenmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 98 s.
- Denli H H** (2004) Crustal Deformation Analysis in the Marmara Sea Region. *Journal of Surveying Engineering*, 130(4): 151-155.
- Dewey J F, Hempton M R, Kidd W S F, Saroglu F A M C, Şengör A M C** (1986) Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia—a young collision zone. *Geological Society, London, Special Publications*, 19(1): 1-36.
- Dong D, Herring T A and King R W** (1998) Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data, *Journal of Geodesy*, 72: 200-214.
- Douša J** (2003): Evaluation of Tropospheric Parameters Estimated in Various Routine Analysis. *Phys Chem Earth*, 29(2-3): 167-175.
- Ebner R** (2008) Validation and application of free-online and commercialpost-processing PPP packages. *Yüksek Lisans Tezi*, Institute of Navigation and Satellite Geodesy, Graz University of Technology, Graz, 218 pp.
- Erol O** (1983) Türkiye'nin Genç Tektonik ve Jeomorfolojik Gelişimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, 11: 1-22.
- Erol S, Erol B and Ayan T** (2007) Analysing the deformations of a Bridge using GNSS and Levelling Data. *International Association of Geodesy Symposia*, vol. 131, Geodetic Deformation Monitoring: From Geophysical to Engineering Roles, F. Sanso and J. Antonio Gil (Ed.), Springer-Verlag, Berlin, 224-253.
- Guo J and Ge S** (1997) Research of Displacement and Frequency of tall Bulding under Wind Load Using GNSS. *Proceedings of the 10th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Eylül, Kansas City, ABD, 1385-1388.
- Gürbüz G** (2015) GNSS ve Radyosonda'dan Elde Edilen Yoğuşabilir Su Buharı Miktarlarının Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 96 s.
- Hartinger H and Brunner F K** (1998) Experimental detection of deformations using GNSS, in *Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*, Kahmen H, Brückl E and Wunderlich T (Ed.), IAG Special Commission 4, Eisenstadt, 145-152.
- Hartinger H and Brunner F K** (1999) Variances of GNSS Phase Observations: the SIGMA Model. *GNSS Solutions*, 2(49): 35-43.
- Hastaoğlu K Ö** (2009) GPS Hızlı Statik Yöntem ile Heyelanların İzlenebilirliğinin Araştırılması: Sivas Koyulhisar Heyelanı Örneği. *Doktora Tezi*, Yıldız teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği ABD, İstanbul, 208 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Hedling G, Jonsson B, Lilje C and Lilje M** (2001) SWEPOS – The Swedish Network of Permanent GNSS reference Station (Status February 2001). *FIG Working Week, International Conference on New Technology for a New Century*, 6-11 Mayıs, Kore, Seul, 6-11.
- Herring T A** (1988) Precession and Nutation. The Interdisciplinary Role of Space Geodesy. *Lectures Notes in Earth Sciences*, 22: 14-17.
- Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H and Collins J** (2001) *GPS Theory and Practice. Fifth Edition*. Springer, Wien New York, 382 pp.
- Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H and Wasle E** (2008) GPS. *GNSS Global Navigation Satellite Systems*. Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H and Wasle E (Ed.), Springer, Wien, New York, 309-340.
- Hopfield H S** (1969) Two-Quartic Tropospheric Refractivity Profile Forcorrecting Satellite Data, *Journal of Geophysical Research*, 74(18): 4487-4499.
- Hudnut K W** (1996) Continuous GNSS Monitoring of dam Deformation. *EOS*, 77(46): 139–140.
- Hudnut K W and Behr J A** (1998) Continuous GNSS monitoring structural deformation at Pacoima Dam, California. *Seismological Research Letters*, 69(4): 299–308.
- Hwang C, Lee L H, Yu S B and Rizos C** (2004) Single- and Multiepoch Analyses of Global Positioning System Baseline Network: Application to Coordinate and Velocity Determinations in Central Taiwan. *Journal of Surveying Engineering*, 130(2): 86-94.
- IERS** (1989) IERS Standards. *IERS Technical Note 3*, D.D. McCarthy (ed.), 97 pp.
- IERS** (2003) IERS Conventions. *IERS Technical Note 32*, DD. McCarthy and G. Petit (eds.), 127 pp.
- İnal C** (2014) Deformasyon Ölçülerinin Analizi. *Yüksek Lisans Ders Notları*, Selçuk Üniversitesi, Konya, 69 s.
- Janes H W, R J B Langley; S P Newby** (1989): A Comparisan of Several Models for The Prediction of Tropospheric Propagation Delay. *Proceedinds of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning*, Las Cruces, New Mexico, Mart 13-17, 28-52.
- Kahveci M** (2010) GPS/GNSS Gözlemlerini Değerlendirme Yöntemlerinde Son Gelişmeler. *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 102: 3-9.
- Kapovic Z, Ratkajec M and Mastelic-Ivic S** (2000) Combination of GNSS and Precise Levelling in Measurements of Vertical Bridge Deformations. *Acta Geod. Geoph. Hung*, 35(2): 219–226.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kearns T J, Wang G, Bao Y, Jiang J and Lee D** (2015) Current Land Subsidence and Ground water Level Changes in the Houston Metropolitan Area (2005–2012). *Journal of Surveying Engineering*, 141(4): 31.
- Ketin İ** (1968) Türkiye'nin Genel Tektonik Durumu ile Başlıca Deprem Bölgeleri Arasındaki İlişkiler. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 71: 63-67.
- Ketin İ** (1976) A Comparison Between the San Andreas and the North Anatolian Faults. *Bull. Geol. Soc. Turkey*, 19(2): 149–154.
- Ketin İ** (1977) Türkiye'nin başlıca orojenik olayları ve paleocoğrafik evrimi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 88: 1-4.
- Ketin İ** (Ed.) (1983) *Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 595 s.
- Kim D D, Langley R B, Bond J and Chrzanowski A** (2003) Local Deformation Monitoring Using GNSS in an Openpit Mine: Initial Study. *GNSS Solutions*, 7: 176–185.
- Koçyiğit A, Yılmaz A, Adamia S and Kuloshvili S.** (2001) Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for Transition From Thrusting to Strike-Slip Faulting. *Geodinamica Acta*, 14(1-3): 177-195.
- Kouba J** (2009) *A Guide to Using International GNSS Service (IGS) Products*. IGS Central Bureau, 34 pp.
- Kutoglu H S, Akcin H, Gundogdu O, Gormus K S and Koksall E** (2010): Relaxation on the Ismetpasa segment of the North Anatolian Fault after the Golcuk Mw=7.4 and Duzce Mw = 7.2 shocks. *Nat. Hazards Earth Syst Sci*, 10: 2653-2657.
- Kutoglu H S, Toker M and Mekik C** (2016) The 3D Strain Patterns in Turkey Using Geodetic Velocity Fields From the RTK-CORS (TR) Network. *Journal of African Earth Sciences*, 115: 246-270.
- Leal J** (1989) Integration of GNSS and Levelling for Subsidence Monitoring Studies at Costa Bolivar Oil Fields, Venezuela, *Yüksek Lisans Tezi*, New Brunswick University, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Kanada, 124 pp.
- Leinen S, Groten E, Ayan T, Alanko G, Çelik R N, Denli H H, Özlüdemir M T and Erol S** (1999) Deformation Monitoring of Karasu Viaductwith GNSS and Levelling. *the Third Turkish-German Joint Geodetic Days*, 1-4 Haziran, İstanbul, Türkiye, 61-70.
- Liu Q W and Chen Y Q** (1998) Combining the geodetic models of vertical crustal deformation. *Journal of Geodesy*, 72: 673–683.
- Mao A, Harrison C G A and Dixon T H** (1999) Noise in GNSS Coordinate Time-series. *J. Geophys. Res*, 104: 2797-2896.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Mekik C** (1993): Tropospheric path delay modelling in GPS relative positioning. *UKGA General Assembly*, Nisan 1993, Oxford, İngiltere, 1-8.
- Mekik C** (1999): GPS'e Atmosferin Etkileri. *HKMO Dergisi*, 2(86): 14-20.
- Moix P, Beccaletto L, Kozur H, Hochard C, Rosselet F, and Stampfli G M** (2008) A new Classification of the Turkish Terranes and Sutures and Its Implication for the Paleotectonic History of the Region. *Tectonophysics*, 451(1-4): 7-39.
- Ogaja C** (2001) On-line GNSS Integrity Monitoring and Deformation Analysis for Structural Monitoring Applications, in *Proceedings of 14th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. Of Navigation*, 11-14 Eylül, Salt Lake City, Amerika, 989-999.
- Okay A I** (2008) Geology of Turkey: A synopsis, *Zeitschrift für Kunst und Kultur im Bergbau*, Beiheft Anschnitt: 21, Veröffentlichungenaus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, 157:19-42.
- Okay A I and Tüysüz O** (1999) Tethyansutures of northern Turkey. In *The Mediterranean Basins: Tertiary extension with in the Alpineorogen*. Eds. B Durand, L Jolivet, F Horváth and M Séranne. *Geological Society*, London, Special Publication 156: 475-515.
- Oral B** (1994) Global Positioning System (GPS) Measurements in Turkey (1988-1992): Kinematics of The Africa-Arabia-Eurasia Plate Collision Zone. *Doktora Tezi*, Massachusetts Institute of Technology, Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts, 344 pp.
- Ozener H, Kerem Halicioğlu and Asli Garagon Dogru** (2007) *Strain Analysis of Eastern Turkey with GPS Data Obtained from Geodetic GPS Campaigns*, IUGG 24th General Assembly, 2-13 July 2007, Perugia, Italia, 185.
- Öcalan T** (2015) GPS Ağlarında GPS Hassas Nokta Konumlama (GPS-PPP) Tekniği Yaklaşımli Çözümler, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 177 s.
- Özeren M S, Holt W E** (2010) The Dynamics of the Eastern Mediterranean and Eastern Turkey. *Geophysical Journal International*, 183(3): 1165-1184.
- Pietrantonio G and Riguzzi F** (2004) Three-Dimensional Strain Tensor Estimation by GPS Observations: Methodological Aspects and Geophysical Applications. *Journal of Geodynamics*, 38(1): 1-18.
- Pinar A, Honkur A Y, Kuge K, Matsushima M, Sezgin N, Yilmazer M, and Ögütçü Z** (2007) Source Mechanism of the 2000 November 15 Lake Van Earthquake (M w= 5.6) in Eastern Turkey and Its Seismotectonic Implications. *Geophysical Journal International*, 170(2): 749-763.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Reilinger R E, Ergintav S, Bürgmann R, McClusky S, Lenk O, Barka A, Gürkan O, Hearn L, Feidl K L, Cakmak R, Aktug B, Ozener H and Toksöz M N** (2000) Coseismic and Postseismic Fault Slip for the 17 August 1999, M=7.5, İzmit, Turkey Earthquake. *Science*, 289: 1519-1524
- Reilinger R, McClusky S, Vernant P, Lawrence S, Ergintav S, Cakmak R, Ozener H, Kadirov F, Guliev I, Stepanyan R, Nadariya M, Hahubia G, Mahmoud S, Sakr K, ArRajehi A, Paradissi D, Al-Aydrus A, Prilepin M, Guseva T, Evren E, Dmitrova A, Filikov S V, Gomez F, Al-Ghazzi R and Karam G** (2006) GNSS Constraints on Continental Deformation in The Africa- Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for The Dynamics of Plate Interactions. *Journal Of Geophysical Research*, 111(B5):1-26.
- Roberts G W, Meng X, Dodson A Hand Cosser E** (2002) Multipath Mitigation for Bridge Deformation Monitoring. *Journal of Global Positioning Systems*, 1(1): 25-33.
- Saastamoinen J** (1973) Contribution to the Theory of Atmospheric Refraction. *Bulletin Géodésique*, 107: 13-34.
- Satirapod C, Simons W J F and Promthong C** (2008) Monitoring Deformation of Thai Geodetic Network due to the 2004 Sumatra-Andaman and 2005 Nias Earthquakes by GNSS. *Journal of Surveying Engineering*, 134(3): 83-88.
- Scherneck H G, Johansson J M, Mitrovica J X and Davis J L** (1998) The BIFROST project: GNSS determined 3D displacement rates in Fennoscandia from 800 days of continuous observations in the SWEPOS network. *Tectonophysics*, 294: 305-321.
- Schneider D and Vaníček P** (1991) A New Look at the US Geological Survey 1970-1980 Horizontal Crustal Deformation Data Around Hollister, California. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 96(B13): 21641-21657.
- Seeber G** (2003) *Satellite Geodesy*, Walter de Gruyter, Berlin, 589 pp.
- Segall P and Davis J L** (1997) GNSS Applications for Geodynamics and Earthquake Studies. *Annual Review Earth Planet Sci*, 25: 301-36.
- Selendi A** (2011) Marmara Bölgesi'nde Yer kabuğu Hareketlerinin GNSS ve Gravite Ölçmeleri (2006-2010) ile Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği ABD, İstanbul, 141 s.
- Şaroğlu F, Emre Ö, Kuşçu İ** (1992) The East Anatolian Fault Zone of Turkey. *Annales Tectonicae*, Special Issue, Supplement to V. VI, 99-125.
- Şengör A M C** (1980) *Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları*. Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Dizisi, Ankara, 40 s.
- Şengör A M C and Yılmaz Y** (1981) Tethyan Evolution of Turkey, a Plate Tectonic Approach: *Tectonophysics*, 75: 181-241.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Tan O, Tapirdamaz M C and Yörük A** (2008) The Earthquake Catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(2): 405-418.
- Taymaz T, Jackson J and McKenzie D** (1991). Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophysical Journal International*, 106(2): 433-490.
- Terada T and Miyabe N** (1929) Deformation of the Earth Crust and Topographical Features. *Proceedings of the Imperial Academy*, 5(8): 322-325.
- Tsuboi C** (1930) Investigation of the Deformation of the Earth's Crust in the Tango District connected with the Tango Earthquake of 1927 (Part 1). *Bulletin of the Earthquake Research Institute University of Tokyo*, 8: 153-221.
- URL-1**<<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/>>, Ziyaret tarihi: 23.01.2019.
- URL-2**<https://fleetimages.bobitstudios.com/upload/autorentalnews/content/article/_migrated/iS-19385277-L-ARN.jpg>, Ziyaret tarihi: 16.11.2018.
- URL-3**<http://www.althos.com/Sample_Diagrams/ag_GPS_error_sources_low_res.jpg>, Ziyaret tarihi: 15.11.2018.
- URL-4**<<http://www.innovatefpga.com/attachment/member/2017/EM057-AF6BAF71BBB2EB30/image/349886dd-4021-4705-92a8-596ebf42a25b.jpg>>, Ziyaret tarihi: 18.11.2018.
- URL-5**<http://www.geozone.com/images/Navcom/TECHNOLOGY/integrated_solid_earth_tide_204x138.jpg>, Ziyaret tarihi: 20.11.2018.
- URL-6**<<https://muhendishane.org/kutuphane/malzemelerin-mekanik-davranisi/bir-noktadaki-gerinimin-tarifi/>>, Ziyaret tarihi: 15.11.2018.
- Vanicek P, Craymer M R and Krakiwsky E J** (2001) Robustness Analysis of Geodetic Horizontal Networks. *Journal of Geodesy*, 75: 199-209.
- Vanicek P, Grafarend E W and Berber M** (2008) Short Note: Strain Invariants, *Journal of Geodesy*, 82(4-5): 263–268.
- Vanicek P, Thapa, K. and Schneider D** (1981) The Use of Strain to Identify Incompatible Observations and Constraints in Horizontal Geodetic Networks, *Manuscripta Geodaetica*, 6: 257-281.
- Vermeer M** (2002) Review of the GNSS Deformation Monitoring Studies. *Radiation and Nuclear Safety Authority*, STUK-YTO-TR 186, Helsinki, 21 pp.
- Wahr J M** (1981) The Forced Nutation of an Elliptical Rotating, Elastic, and Ocean Less Earth. *Geophys. J.Roy. Astron. Soc*, 64: 705-727.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Wang G and Soler T** (2013) Using OPUS for Measuring Vertical Displacements in Houston, Texas. *Journal of Surveying Engineering*, 139(3): 126-134.
- Wegener A** (1915) *Die Entstehung de Kontinente und Ozeane. (The Origin of Continents and Oceans.)*, Vieweg, Braunschweig, Germany. 367 pp.
- Wieser A and Brunner F K** (2002) Analysis of Bridge Deformations Using Continuous GNSS Measurements. *INGEO 2002 the 2nd Conference of Engineering Surveying*, 45-52.
- Witchayangkoon B** (2000) Elements of GPS Precise Point Positioning. *Doktora Tezi*, The Graduate School The University of Maine, Spatial Information Science and Engineering, USA, 265 pp.
- Zhang J, Bock Y, Johnson H, Fang P, Williams S, Genrich J, Wdowinski S and Behr J** (1997) Southern California Permanent GNSS Geodetic Array: Error Analysis of Daily Position Estimates and Site Velocities, *J. Geophys. Res.*, 102(18): 35-55.



ÖZGEÇMİŞ

Gökhan GÜRBÜZ 1987’de İstanbul ili Fatih ilçesi’nde doğdu; ilk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamladı; 2007-2013 yılları arasında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde öğrenim gördü. 2015 senesinde Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitiminden mezun oldu, 2014 senesinde Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, İncivez, Zonguldak.

Tel: (+90) 372 291 25 77

E-posta: gokhanngurbuz@gmail.com