

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SABİT GPS İSTASYONLARI KOORDİNAT ZAMAN SERİLERİNDEN HIZ
KESTİRİMİ: MARMARA BÖLGESİ 5 TUSAGA-AKTİF NOKTASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Müh. Beyza BİLGİN

ŞUBAT 2022
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SABİT GPS İSTASYONLARI KOORDİNAT ZAMAN SERİLERİNDEN HIZ
KESTİRİMİ: MARMARA BÖLGESİ 5 TUSAGA-AKTİF NOKTASI

Harita Müh. Beyza BİLGİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16/01/2022
Tezin Savunma Tarihi : 09/02/2022

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ertan GÖKALP

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

“Sabit GPS İstasyonları Koordinat Zaman Serilerinden Hız Kestirimi: Marmara Bölgesi 5 Tusaga-Aktif Noktası” adlı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Tez danışmanlığımı üstlenerek çalışma süresince değerli görüşlerini ve vaktini benimle paylaşan, akademik bilgisinden yararlandığım Hocam Sayın Prof. Dr. Ertan GÖKALP’e teşekkürlerimi sunarım. Tez süresince manevi destekleriyle her zaman yanımda olan Kübra IŞIK, Kubilay İSEN, Ferhat SALMANLI arkadaşlarıma teşekkür ederim. Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi olarak yanımda olup desteklerini ve sevgilerini esirgemeyen, bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan haklarını ödeyemeyeceğim kıymetli annem Sevgi BİLGİN’e, babam Mustafa BİLGİN’e kardeşlerim Aslı BİLGİN BAYRAKTAR ve Gizem BİLGİN ÖZTÜRK’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Desteklerinin esirgemeyen her soruma içtenlikle cevap veren Harita Genel Müdürlüğü’nün personeline ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda GAMIT/GLOBK programında yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşım Mustafa KARAKAYA’ya teşekkür ederim.

Beyza BİLGİN
Trabzon, 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sabit GPS İstasyonları Koordinat Zaman Serilerinden Hız Kestirimi: Marmara Bölgesi 5 Tusaga-Aktif Noktası” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ertan GÖKALP’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 09/02/2022

Beyza BİLGİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Problemin Tanımı	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.4. Metodoloji.....	6
1.5. Literatür Araştırması.....	7
1.6. GPS ile Konum Belirleme	8
1.7. Proses Aşamasında Fark Gözlemleri ve Tam Sayı Faz Belirsizliği	11
1.7.1. İkili Farklar	12
1.7.2. Tam Sayı Faz Belirsizliği (N).....	14
1.8. Zaman Serileri	17
1.8.1. Zaman Serilerinin Analizi.....	18
1.8.2. Zaman Serisi Bileşenleri.....	19
1.8.4. Regresyon Analizi	20
1.8.4.1. Basit Doğrusal Regresyon (Lineer Regresyon)	22
1.8.4.2. En Küçük Kareler Metodu.....	23
1.9. SGPS (Sabit GPS İstasyonu) Koordinat Zaman Serileri	25
1.10. GPS Zaman Serilerinin Gürültü Özellikleri	26
1.11. Zaman Serilerinde Hız Kavramı	26
1.12. Uyuşumsuz Ölçüleri Bulma.....	27
1.12.1. Baarda Yöntemi	27
1.12.1.1. Global Test.....	28
1.12.1.2. Pope Testi	29

1.12.1.3.	t-Testi.....	29
1.13.	Üç Boyutlu Helmert (Benzerlik) Dönüşümü.....	29
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	33
2.1.	Yazılımın Kurulması	33
2.2.	Uygun İstasyonların Seçimi.....	38
2.3.	GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi.....	39
2.4.	GAMIT Modülü Sonrası Oluşan Günlük Çözümler	42
2.5.	GAMIT Günlük Çözüm Sonuçlarının İrdelenmesi	43
2.6.	Günlük Zaman Serilerinin Oluşturulması.....	46
2.7.	Zaman Serilerindeki Kaba Hataların Bulunup Çıkarılması.....	53
2.7.1.	Koordinat Zaman Serisindeki Hataların Kaynakları	54
2.8.	Aylık Zaman Serilerinin Oluşturulması	56
2.9.	GLOBK ile Hız Bileşenlerinin Bulunması.....	68
2.10.	TUREF Sistemine Dönüşüm	75
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	78
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
5.	KAYNAKLAR	85
6.	EKLER	88
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SABİT GPS İSTASYONLARI KOORDİNAT ZAMAN SERİLERİNDEN HIZ KESTİRİMİ:
MARMARA BÖLGESİ 5 TUSAGA-AKTİF NOKTASI

Beyza BİLGİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ertan GÖKALP
2022, 87 Sayfa, 14 Sayfa Ek

Ülkemizde sabit istasyonlar arasında ülke ölçeğinde en çok istasyona sahip olan ağ Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) sistemidir. Bu çalışmada, Marmara Bölgesindeki TUSAGA-Aktif ağına ait veri kesikliliği olmayan 5 sabit GPS istasyonu (BURS, ISTN, BILE, IZMT ve TEKR) seçilmiş, Türkiye çevresindeki 18 IGS istasyonunun verisi kullanılarak 2016-2020 yılları arası için günlük analiz yapılmıştır. Verilerin analizinde, Linux işletimde sisteminde çalışan GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. GAMIT modülü ile oluşan 1827 günlük çözüm dosyasında (h-file) gevşek koşullu çözümler üretilerek koordinat zaman serileri elde edilmiştir. Kaba hatalardan arındırılan günlük çözümler koordinat ve hız belirlemek amacıyla aylık birleştirilmiş, son olarak GLOBK modülü ile aylık çözümlerden tüm istasyonlar için konum ve hız bilgileri hesaplanmıştır. Referans sistemi tanımlaması için analize dahil edilen IGS noktalarının koordinat ve hızları kullanılarak 6 parametrelilik (3 Öteleme, 3 Dönüklük) Helmert dönüşümü ile ITRF14 referans sisteminde datum dönüşümü yapılmıştır. Son olarak, çalışma kapsamında hesaplanan TUREF koordinatları ile Harita Genel Müdürlüğü tarafından hesaplanan ve TUSAGA-Aktif internet adresinde yayınlanan koordinat ve hızlar karşılaştırılmış ve elde edilen fark değerleri yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: TUREF, HELMERT, GAMIT/GLOBK, IGS, TUSAGA-AKTİF, Zaman Serileri

Master Thesis

SUMMARY

VELOCITY ESTIMATION FROM PERMANENT GPS STATIONS COORDINATE TIME
SERIES: 5 TUSAGA-ACTIVE STATIONS IN MARMARA REGION

Beyza BİLGİN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geomatics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ertan GÖKALP
2022, 87 Pages, 14 Appendix Pages

Among operating permanent stations in Turkey, network with the highest number of stations is the Turkish National Permanent GNSS Stations Network (CORS-TR) system. In this study, 5 continuous GPS stations (BURS, ISTN, BILE, IZMT and TEKR) with no data loss of the CORS-TR network in the Marmara Region were selected and analyzed daily for the years 2016-2020 using the data of 18 IGS stations selected around Turkey. For the analysis, GAMIT/GLOBK software running on the Linux operating system was used. Coordinate time series were produced from 1827 daily loose solution files (h-file) created with the GAMIT module. Daily solutions, which are free of errors, are combined monthly to determine coordinates and velocities. Finally, position and velocity information for all stations is estimated from monthly solutions via the GLOBK module. In order to define the reference frame, datum transformation was performed in the ITRF14 reference system with the 6 parameter (3 Translation, 3 Rotation) Helmert transform using the coordinates and velocities of the IGS stations included in the analysis. Finally, the TUREF coordinates and velocities calculated within the scope of this study and the ones estimated by General Directorate of Mapping and published on the CORS-TR internet address were compared and the obtained differences were interpreted.

Key Words: TUREF, HELMERT, GAMIT/GLOBK, IGS, TUSAGA-AKTİF, Time Series

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	ITRF 2014 datumunda hız alanı..... 3
Şekil 2.	TUSAGA-aktif istasyonlarının haritası..... 4
Şekil 3.	Marmara Bölgesinde işletilmekte olan sabit istasyonlar..... 4
Şekil 4.	Çalışmamızda seçilen TUSAGA-Aktif İstasyonları 5
Şekil 5.	TUSAGA-Aktif istasyon fotoğrafları..... 6
Şekil 6.	GPS uydusu 9
Şekil 7.	GPS çalışma prensibi 10
Şekil 8.	Mutlak konum belirleme 11
Şekil 9.	Rölatif konum belirleme..... 11
Şekil 10.	A1 ve A2 alıcıları arasındaki tekli farkların gösterimi..... 12
Şekil 11.	A1 ve A2 alıcıları arasındaki ikili farkların gösterimi 13
Şekil 12.	Tam sayı faz belirsizliği (N)..... 14
Şekil 13.	Zaman Serisi Bileşenleri (Herring vd. 2018) 19
Şekil 14.	GPS zaman serilerinin yapısı 19
Şekil 15.	(a) Doğrusal trend, (b) Doğrusal trend +Yıllık periyodik bileşen, (c) Doğrusal trend + Mevsimsel Bileşen, (ç) Doğrusal trend + Mevsimsel Bileşen + Gürültü 20
Şekil 16.	Regresyon şeması..... 21
Şekil 17.	En küçük kareler metodu..... 23
Şekil 18.	Ticari ve bilimsel yazılımlar 34
Şekil 19.	Örnek RINEX V2 Gözlem Dosyası (istn1250.20o)..... 35
Şekil 20.	Örnek RINEX V3 Gözlem Dosyası (ankr1250.20o) 36
Şekil 21.	Örnek RINEX GPS Navigasyon Dosyası (brdc1250.20n)..... 36
Şekil 22.	Tez çalışması için GAMIT/GLOBK yazılımının kullandığı dosyaların dizin yapısı 38
Şekil 23.	Çalışmada Kullanılan TUSAGA-Aktif İstasyonları 39
Şekil 24.	Tables Klasörü..... 40
Şekil 25.	GAMIT/GLOBK yazılımı işleme algoritması 41
Şekil 26.	Tezde kullanılan 5 TUSAGA-Aktif istasyonu ve 18 IGS istasyonunun haritadaki konumları 42
Şekil 27.	Çalışmada kullanılan sestbl dosyası..... 43
Şekil 28.	GAMIT çözüm özet dosyası (sh_gamit_2020_239.summary) 44

Şekil 29.	“Postfit nrms” değerleri.....	45
Şekil 30.	Faz Belirsizliği çözüm oranları	46
Şekil 31.	Bursa (BURS) günlük koordinat zaman serisi	49
Şekil 32.	Bilecik (BILE) günlük koordinat zaman serisi	50
Şekil 33.	İzmit (IZMT) günlük koordinat zaman serisi.....	51
Şekil 34.	İstanbul (ISTN) günlük koordinat zaman serisi	52
Şekil 35.	Tekirdağ (TEKR) günlük koordinat zaman serisi	53
Şekil 36.	SGPS zaman serilerindeki kaba hatalı ölçüler	54
Şekil 37.	Bilecik (BILE) istasyonu günlük zaman serilerindeki kaba hatalar (Kırmızı daireyle alınan noktalar)	56
Şekil 38.	Aylık birleştirme çözümlerinin ağırlıklı karesel ortalama hata (WRMS) değerleri.....	57
Şekil 39.	Bilecik (BILE) aylık koordinat zaman serisi.....	58
Şekil 40.	Bursa (BURS) aylık koordinat zaman serisi	59
Şekil 41.	İstanbul (ISTN) aylık koordinat zaman serisi	60
Şekil 42.	İzmit (IZMT) aylık koordinat zaman serisi.....	61
Şekil 43.	Tekirdağ (TEKR) aylık koordinat zaman serisi	62
Şekil 44.	Bilecik (BILE) aylık koordinat zaman serisi (yıllık trend çıkarılmış)	63
Şekil 45.	Bursa (BURS) aylık koordinat zaman serisi (yıllık trend çıkarılmış)	64
Şekil 46.	İstanbul (ISTN) aylık koordinat zaman serisi (yıllık trend çıkarılmış)	65
Şekil 47.	İzmit (IZMT) aylık koordinat zaman serisi (yıllık trend çıkarılmış)	66
Şekil 48.	Tekirdağ (TEKR) aylık koordinat zaman serisi (yıllık trend çıkarılmış).....	67
Şekil 49.	"aylk.gdl"çözüm dosyaları.....	68
Şekil 50.	İstasyon hızlarının vektörel gösterimi	77
Şekil 51.	Aylık çözümlerin sonucunda ağırlıklı karesel ortalama grafiği	80

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.	Sinyallerin frekans ve dalga boyunun tablosu..... 15
Tablo 2.	ITRF2014'den ITRF96'ya Datum Dönüşüm Parametreleri, 31
Tablo 3.	Çalışmada kullanılacak sabit istasyonların enlem ve boylam değerleri..... 39
Tablo 4.	Çalışmada kullanılan IGS istasyonları 41
Tablo 5.	Referans sistemi tanımlamasında kullanılan kontrol dosyası (glorg.cmd) 47
Tablo 6.	Referans sistemi tanımlamasında kullanılan "igb14_comb.apr" dosya içeriği..... 47
Tablo 7.	Referans sistemi tanımlamasında kullanılan kontrol dosyası (globk.cmd) 48
Tablo 8.	İstasyon bazında zaman serilerine ait karesel ortalama hata değerleri..... 57
Tablo 9.	5 istasyona ait aylık zaman serilerinin değerleri 68
Tablo 10.	Konum hesapları tablosu 70
Tablo 11.	Hız hesapları tablosu: 72
Tablo 12.	Bilecik (BILE) istasyonuna ait koordinat ve hız bilgileri 74
Tablo 13.	Analiz dahil edilen istasyonların ITRF2014 datumunda koordinat ve hız bilgileri 75
Tablo 14.	TUREF datumunda hesaplanan koordinat ve hız bilgileri 76
Tablo 15.	TUREF datumunda HGM tarafından yayınlanan koordinat ve hız bilgileri 76
Tablo 16.	GAMIT çözüm dosyası 78
Tablo 17.	GAMIT çözüm dosyasında karesel ortalama hata değerleri 79
Tablo 18.	Tez kapsamında hesaplanan konum ve hızlar ile HGM tarafından yayınlanan koordinat ve hız bilgileri arasındaki fark değerleri:..... 80

SEMBOLLER DİZİNİ

Semboller

N	: Tam Sayı Faz Belirsizliği
WL	: Geniş Bant
NL	: Dar Bant
Φ	: Faz Gözlemi
U	: Uydu
A	: Alıcı
ρ	: Uydu-Alıcı Arasındaki Mesafe
c	: Işık Hızı
f	: Frekans
λ	: Dalga Boyu
I	: İyonosferik Etki
T	: Troposferik Etki
k	: Regresyon Katsayısının Sayı Değeri
e(i)	: Hata Değeri

Kısaltmalar

BG	: Beyaz Gürültü
EKKY	: En Küçük Kareler Yöntemi
GAMIT	: GPS Analysis at MIT
GLOBK	: Global Kalman Filter
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
IGS	: International GNSS Service
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
KG	: Kırpışma Gürültüsü
MLE	: Maximum Likelihood Estimation
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
NRMS	: Normalized Root Mean Square
SGPS	: Sabit GPS
SOPAC	: Scripps Orbit and Permanent Array Center
PPP	: Precise Point Positioning

RMS	: Root Mean Square
RINEX	: Reicever Independent Exchange
TUSAGA-Aktif	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı
VLBI	: Very Long Baseline Interferometry
WRMS	: Weighted Root Mean Square



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Jeodezik uygulamalar(kıble tayini, halihazır harita jeodezik ağı, deformasyon gözlem ağı, metro, viyadük, baraj, havalimanı, toplu konut gibi inşaat sahalarının jeodezik ağı kurulumları gibi uygulamalar, karayolları yapımı ve ölçümleri, yer altı ve sualtı çalışmaları (petrol ve doğalgaz aramaları gibi)) eskiden klasik jeodezik yöntemlerle çözüldü. Uygulanan yöntemlerin güçlüğü sebebiyle bu alanda çalışan insanları yeni arayışlara itmiştir. 60'lı yıllardan itibaren uydu teknolojisine olan ilgi her geçen gün artmaktadır ve bu alandaki ölçme sistemleri geliştirilmektedir.

70'li yıllarda ise;

VLBI (Very Long Baseline Interferometry),

SLR (Satellite Laser Ranging),

LLR (Lunar Laser Ranging) gibi sistemlerle bu sorunlar çözülmeye çalışılmıştır.

Önceleri askeri amaçla kullanılan sonradan sivillere açılan GPS (Global Positioning Systems) sistemle ölçümlerin yapılması daha ekonomik, hızlı ve kolaydır. Yüksek doğrulukla küresel ölçekte GPS kullanımı gün geçtikçe daha da yaygın hale gelmektedir. Bu sistemin daha da avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bağıl konum hesaplamada mm mertebesinde doğruluklar sebebiyle uzun süreli IGS istasyonlarının kurulmasıyla haritacıların gözdesi haline gelmiştir. 1994 yılında "International GPS Service for Geodynamics"IGS kullanılmaya başlamıştır. 1994 yılından itibaren sayısı her gün artan sürekli gözlem yapan konumsal çözünürlüğü ve uzun süreli zamansal serilerin elde edilmesi ile tektonik hareketlerin yorumlanmasında kullanılabilecek metotlar çoğalmıştır.

Bu çalışmamızda referans olarak bu fikirden yola çıkılarak Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) ve Türkiye çevresinde seçilen IGS istasyonlarındaki gözlem verileri kullanılmıştır. Gözlem verileriyle haritacılık ya da jeodezik anlamda koordinat ve hız değerlerine hızlı ve kesintisiz ulaşılır. İstasyon noktalarının doğru hesaplanmasıyla bu istasyonlar kolay şekilde gözlemlenmektedir. İstasyonların konum ve hız değerlerinin nasıl hesaplanması gerektiği problemi karşımıza çıkmaktadır Bu problemi çözmek için değişik metotlar kullanılmıştır.

1.2. Problemin Tanımı

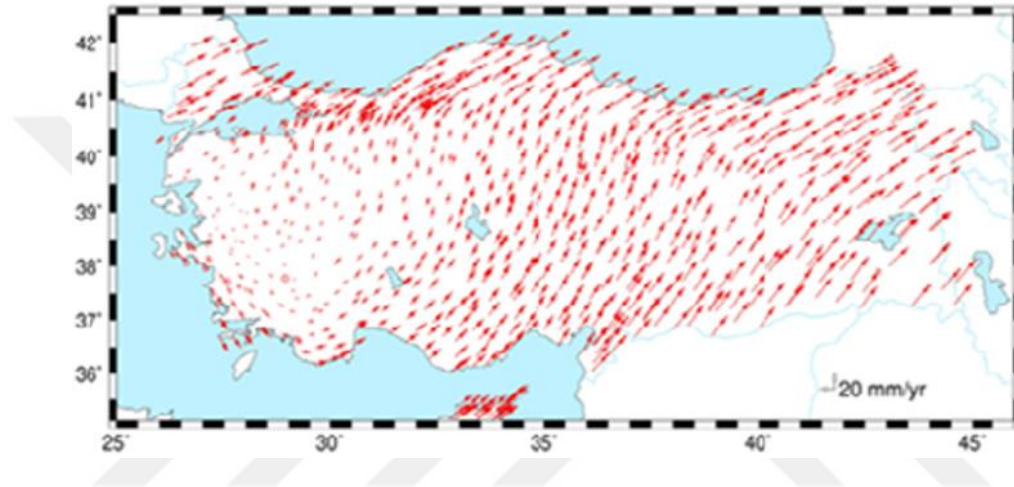
Yürürlükteki Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğine göre; Ana, Sıklaştırma ve Alım İçin Sıklaştırma GNSS Ağları yani C1, C2 ve C3 derece noktaların konumları ölçme epoğunda hesaplandıktan sonra ülkemizde kullanılan referans epoğuna (2005. 0) ötelenir. Bu amaçla, B derece noktalar olan Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) ve TUSAGA-Aktif hızlarından yararlanılır. Yine Yönetmelik kapsamında, dengeleme sonucunda söz konusu noktaların standart sapma değerlerinin sırasıyla yatayda; 3, 4 ve 5 santimetre, düşeyde ise; 5, 5 ve 6 santimetre ve altında olması gerekmektedir. Bu yüksek doğruluklara günümüzde GPS/GNSS verileri sayesinde herhangi bir ölçüm epoğu için ulaşılabilmektedir. Geriye kalan tek problem, bu epoktan referans epoğuna gidiş için gerekli olan hız değerinin de çok hassas olarak belirlenmesinin gerekliliğidir. Örneğin, 1 Ocak 2022 tarihli bir ölçüm epoğu (2022. 0) için hız değerinde yapılacak 5 milimetre/yıl yanlış hesaplama, 17 yıllık bir sürede 8. 5 santimetrelilik bir konum hatasına yol açacaktır. Bu hata miktarı Yönetmeliğe göre kabul edilebilir hata sınırlarından fazladır.

Kadastral çalışmalardan başka, Yer kabuğu hareketlerinin neden olduğu deformasyonların tespiti, depremlere yönelik stres ve gerilim birikimlerinin tahmin edilmesi, yer altı su seviyesindeki değişimlerin gözlenmesi, nirengi ağlarında, kıta ve kabuk hareketlerinde gibi birçok Yer bilimleri alanında hassas nokta hızlarına doğrudan ihtiyaç duyulmaktadır. Alfred Wegener tarafından öne sürülen Kıtaların Kayması (Continental drift) teorisi Tuzo Wilson ile Plaka Tektoniğine (Plate tectonics) dönüşmüş, günümüzde küresel uydu sistemleri sayesinde tekrarlı ölçülerle nokta hızları hassas olarak belirlenebilir hale gelmiştir. Bu hızlar; Anadolu, Avrasya, Arap ve Afrika levhalarının birbirini etkilediği bir coğrafyada yer alan ülkemiz için oldukça önemlidir.

Söz konusu hız değerlerini belirleyebilmek için aynı nokta üzerinde farklı zamanlarda periyodik olarak ölçüm yapmak ya da sabit istasyon tesis ederek sürekli gözlemlerle veri toplamak gereklidir. İster kampanya tipi isterse sabit istasyon olsun tekrarlı ölçümlerin analizi bilimsel yazılımların kullanılmasını gerektirmekte, analizler istasyon sayısına ve bilgisayar kapasitesine bağlı olarak uzun süreler almakta, analiz stratejilerinin belirlenmesinde ise uzmanlığa ihtiyaç duyulmaktadır.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Kurt vd. 2020 tarafından, Türkiye ve KKTC'ye dağılmış GPS noktalarının koordinat zaman serileri hesaplanarak elde edilen ITRF2014 datumundaki hızları Şekil 1'de görülmektedir. Hız vektörleri incelendiğinde, yıllık 2-3 cm/yıl'a varan nokta hızlarının bulunduğu görülmektedir. Bunun anlamı, hiç deprem olmasa bile noktalar sürekli olarak hareket halindedir.



Şekil 1. ITRF 2014 datumunda hız alanı (Kurt vd.2020)

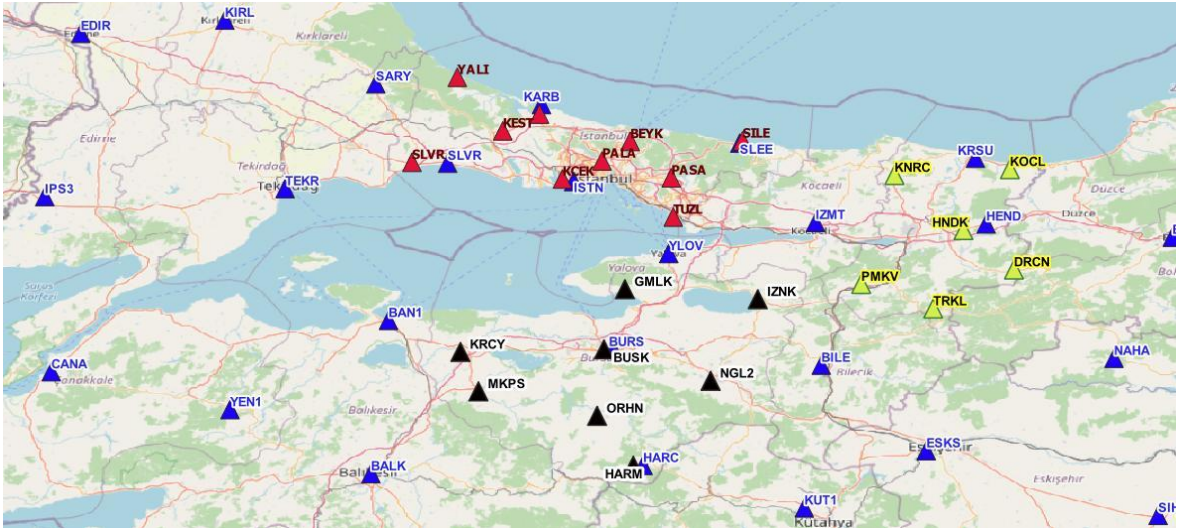
Söz konusu hız değerlerini belirleyebilmek için aynı nokta üzerinde farklı zamanlarda periyodik olarak ölçüm yapmak ya da sabit istasyon tesis ederek sürekli gözlemlerle veri toplamak gereklidir. Ülkemizde sabit istasyon işleten çok sayıda kamu kurum ve kuruluşu ile özel sektör bulunmaktadır.

Bunlar arasında ülke ölçeğinde en çok istasyona sahip olan ağ Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) sistemidir. TUSAGA-Aktif, 70-90 km istasyonlar arası uzaklıkla homojen dağılımlı 158 istasyon ile zamansal ve mekânsal çözünürlük sağlamaktadır. Harita Genel Müdürlüğüne, TUSAGA-Aktif verilerinin sürekli analizi yapılmakta, istasyonların koordinat ve hızları tespit edilmektedir. TUSAGA-Aktif sistemi ile ülkemiz ve KKTC genelinde yeterli GNSS uydusu görülebildiği ve iletişim imkânlarının mümkün olduğu yerlerde herhangi bir zamanda, birkaç saniye içerisinde santimetre doğruluğunda gerçek zamanlı coğrafi konum bilgisi elde edilebilmektedir. Şekil 2'de TUSAGA-Aktif istasyon dağılımı görülmekte olup, www.tusaga-aktif.gov.tr internet adresi üzerinden kullanıcılarına hizmet vermektedir.



Şekil 2. TUSAGA-aktif istasyonlarının haritası

TUSAGA-Aktif ağından farklı olarak bölgesel ölçekte belediyeler tarafından da sabit istasyonlar kurulmaktadır. Marmara Bölgesi özelinde Gerçek Zamanlı Kinematik ağı hizmeti veren GNSS ağları Şekil 3'te görülmektedir.



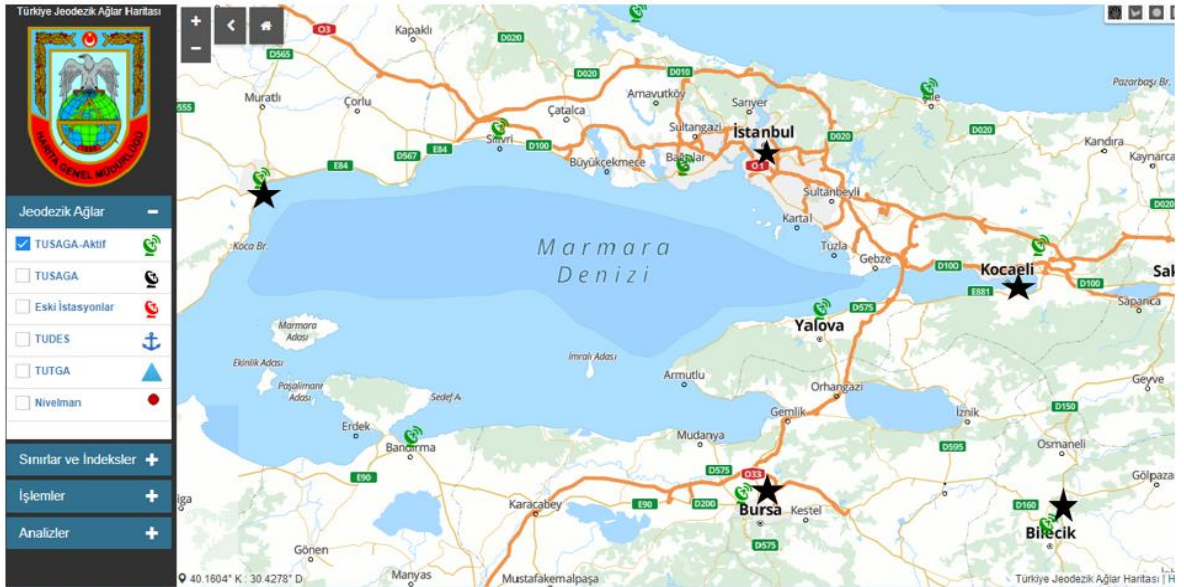
Şekil 3. Marmara Bölgesinde işletilmekte olan sabit istasyonlar (Mavi üçgen: TUSAGA-Aktif, Kırmızı üçgen: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Siyah üçgen: Bursa Büyükşehir Belediyesi. Sarı üçgen: Sakarya Büyükşehir Belediyesi istasyon yerlerini gösterir.)

Çalışmada kullanılacak istasyonlar seçilirken hesaplama süresi de dikkate alınarak hız vektörlerinin daha büyük olduğu Marmara Bölgesinden 5 TUSAGA-Aktif istasyonu tercih edilmiştir. Bu istasyonların 2016-2020 yıllarına ait verileri incelenmiş ve veri kesikliğinin olmadığı görülmüştür. Çalışmanın amacı, 5 yıllık istasyon verilerini analiz ederek koordinat ve hızların doğru şekilde hesaplanmasıdır. Bu şekilde, ITRF datumundaki istasyonların kayma hızlarının, gerek kartezyen koordinat sisteminde, gerekse yatay ve dikey koordinat bileşenleri halinde tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Datum tanımlamasında kullanmak için ülkemiz çevresinden ITRF14 referans sisteminde güvenilir koordinat ve hız değerlerine sahip 18 IGS istasyonu seçilmiştir.

Söz konusu istasyonlara ait 2016-2020 yıllarını kapsayan RINEX formatındaki veriler TUSAGA-Aktif sistemine ait internet portalinden (<https://www.tusaga-aktif.gov.tr>) 30 saniyelik RINEX formatında indirilmiştir. Veriler bilimsel çalışmalarda tercih edilen GAMIT/GLOBK yazılımıyla analiz edilmiş, koordinat zaman serileri elde edilmiş ve elde edilen zaman serilerinden koordinat ve hız değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, ITRF14 datumunda elde edilen değerler TUREF datumuna (ITRF96 2005.0) dönüştürülmüştür. Son olarak, TUREF datumundaki konum ve hızlar HGM'nin yayınladığı değerlerle karşılaştırılmıştır.

Çalışmamızda seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarının harita üzerinde gösterimi Şekil 4'te, fotoğrafları ise Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 4. Çalışmamızda seçilen TUSAGA-Aktif İstasyonları (<https://www.harita.gov.tr/public/sunum/>)



Şekil 5. TUSAGA-Aktif istasyon fotoğrafları

1.4. Metodoloji

Tez çalışması için Marmara Bölgesindeki TUSAGA-Aktif ağına ait veri kesikliği olmayan 5 sabit GPS istasyonu (BURS, ISTN, BILE, IZMT ve TEKR) seçilmiş, Türkiye çevresinden seçilen 18 IGS istasyon verileri kullanılarak günlük analiz edilmiştir.

TUSAGA-Aktif verileri ağına ait internet sitesinden (<https://www.tusaga-aktif.gov.tr>) 2016-2020 yılları arası için indirilmiştir.

Verilerin analizinde, Linux işletiminde sisteminde çalışan GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. Analizde, uydu yörünge bilgileri için IGS hassas efemerisi kullanılmış, okyanus, atmosferik ve iyonosferik etkilerin giderilmesi için gerekli dosyalar analize dahil edilmiştir. GAMIT modülü ile oluşan 1827 günlük çözüm dosyasında (h-file) gevşek koşullu çözümler üretilmiştir. Kaba hatalardan arındırılan günlük çözümler koordinat ve hız belirlemek amacıyla aylık birleştirilmiş ve oluşan bu yeni birleşik koordinat zaman serileri yeniden kontrol edilmiştir. Son olarak, aylık çözüm dosyaları kullanılarak GLOBK modülü ile ITRF14 referans sisteminde hassas koordinat ve hız tahmini yapılmıştır.

Günlük, aylık ve sonuç çözümlerde datum tanımlaması, analize dahil edilen IGS noktalarının koordinat ve hızları kullanılarak 6 parametrelilik (3 Öteleme ve 3 Dönüklük) Helmert dönüşümü ile ITRF14 referans sisteminde yapılmıştır.

Türkiye’de kullanılan referans sistemi Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) ismiyle adlandırılan ITRF96 2005.0 epoğudur. Bu nedenle, çalışma kapsamında ITRF14 referans sistemi ve ölçü epoğunda hesaplanan konum ve hızlar TUREF datumuna çevrilmiştir. Bunun için ITRF14-ITRF96 datumları arasındaki yayınlanmış dönüşüm parametreleri kullanılmıştır.

1.5. Literatür Araştırması

Yapılan tez çalışmasıyla ilgili literatürde koordinat ve nihai hız hesabı, zaman serileri ile ilgili birçok çalışma mevcut olup bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Ulusal alanda yapılmış çalışmalar;

(Şanlı, 2002), GPS zaman serilerinde periyodik etkenlerin dikkate alınmaması durumunda hız değerlerinde hataların ortaya çıkacağı belirtilmiştir. Bu durum deformasyonun yanlış yorumlanmasına neden olacağı açıklanmıştır.

(Simav, vd., 2006), SGPS istasyonlarının yaklaşık 5 yıllık koordinat zaman serilerinin analizi yapılmıştır. Oluşturulan zaman serilerinde En Küçük Kareler(EKK) metodu kullanılarak doğrusal regresyon yapılmıştır.

(Kurt, 2009), zaman serisi analizleri SGPS istasyonlarında yapılmış ve periyodik etkenlerin hesaplanması yapılarak bulunan sonuçlarla düzeltme olarak hız ölçülerine getirilmiştir.

(Kara, 2009), koordinat zaman serilerinde uyuşumsuz ölçülerin var olduğu görülmüştür. Tespit edilen uyuşumsuz ölçüler analiz işleminden önce temizlenmiştir. Seriden temizlenen uyuşumsuz ölçülerin olduğu zaman noktalarında depremlerin yaşandığı zaman noktalarıyla örtüştüğü görülmektedir.

(Tiryakioğlu, vd., 2017), deprem sonrasında sabit GNSS istasyonlarındaki deformasyonların tespiti ve deformasyon haritalarının hazırlanması için koordinat zaman serilerinde analiz edilmiştir.

Uluslararası Alandaki Çalışmalar

(Mao, vd., 1999), hata kaynaklarının zamanla değişebileceği için GPS zaman serilerinde hassas hız tahminlerinin yapılması için 7 yıldan daha uzun süreli veriye ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

(Blewitt ve Lavellee, 2002), GPS zaman serilerinin belirgin şekilde yıllık periyodik sinyal içerdikleri IGS istasyonlarında yapılan analizlerle anlaşılmıştır.

1.6. GPS ile Konum Belirleme

GPS ilk başta savunma teknolojisinde kullanılmaya başlanmış, sonraları bu teknolojinin geliştirilmesiyle jeodezik probleme cevap veren bir uydu ölçme sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır. GPS teknolojisi bilinmeyen noktadan bilinen noktalara yapılan gözlemlerle hesaplanma şeklidir. Bilinmeyenlerin sayısı 4 (X, Y, Z, t) olduğundan, 4 normal denklem yani en az 4 uyduya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple, GPS teknolojisi 4 boyutlu bir sistemdir. Kullanım alanları arasında;

- Coğrafi Bilgi Sistemi için veri toplama,
- Araç takip sistemleri,
- Navigasyon,
- Aplikasyon,
- Detay ölçmeleri,
- Fotogrametri uygulamaları,
- Hassas tarım,
- Deformasyon ölçmeleri,
- Havacılık sayılabilir.

GPS sistemi;

1. Uzay Bölümü
2. Kontrol Bölümü
3. Kullanıcı Bölümü olmak üzere 3 kısımdan oluşur.

GPS sisteminde uydular yörüngelerde dünyanın etrafını dolaşırken sürekli olarak dünyaya radyo sinyalleri gönderirler ve bu sinyalleri GPS alıcıları algılar. Alıcı, GPS uydusundan gelen sinyalin ne kadar süre içerisinde kendisine geldiğini hesaplar ve aralarındaki mesafe belirlenmesiyle radyo sinyalinin uydudan çıkıp alıcıya geliş süresiyle GPS alıcısının uyduya olan mesafesi belirlenir. Basit bir fizik denklemi olan $X=V.T$ formülü kullanılır.

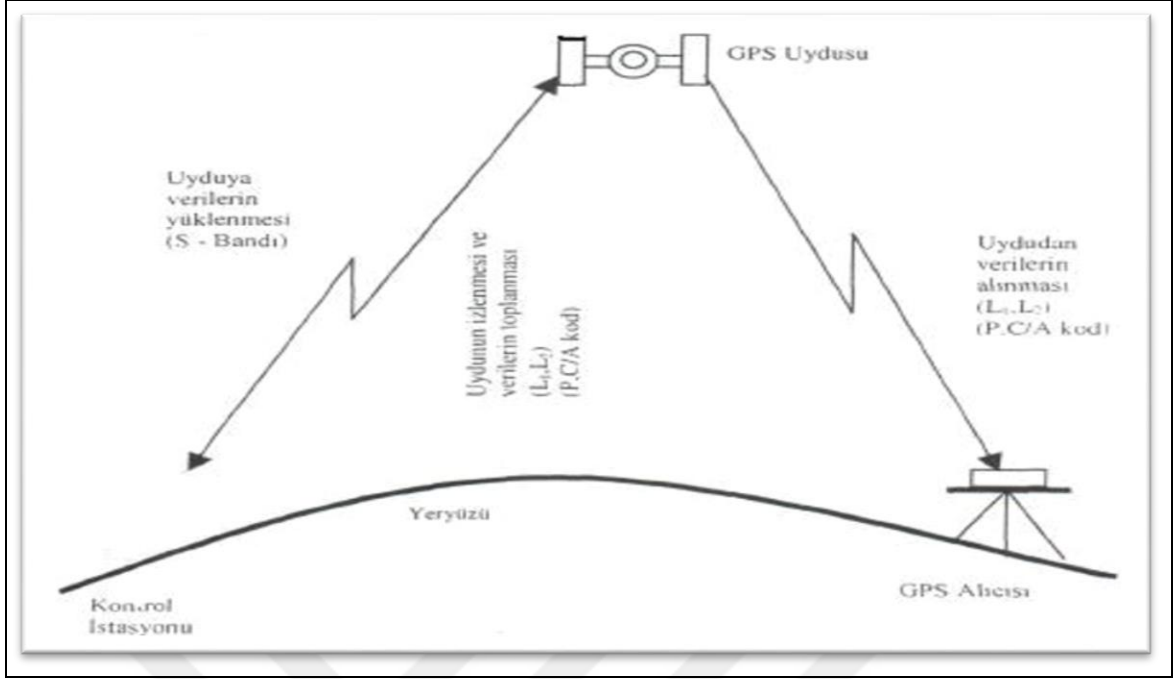
$$\rho = c \cdot \Delta t \quad (1)$$

ρ : Uydu-alıcı arasındaki mesafe,
 c : ışık hızı,
 Δt : zaman farkı şeklinde gösterilir.



Şekil 6. GPS uydusu (<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/com>)

Uydu sayısının çoğalmasıyla konum bulma hassasiyeti daha çok artmıştır. Koordinatları bilinen uydulardan yayımlanan sinyalin alıcıya varışına kadar geçen zaman yayılma hızı (ışık hızı) ile çarpılır. Uydu ve alıcı arasındaki mesafe belirlenip uydunun konumu bilindiği için alıcının konumu hesaplanmış olur.(Şekil 7).



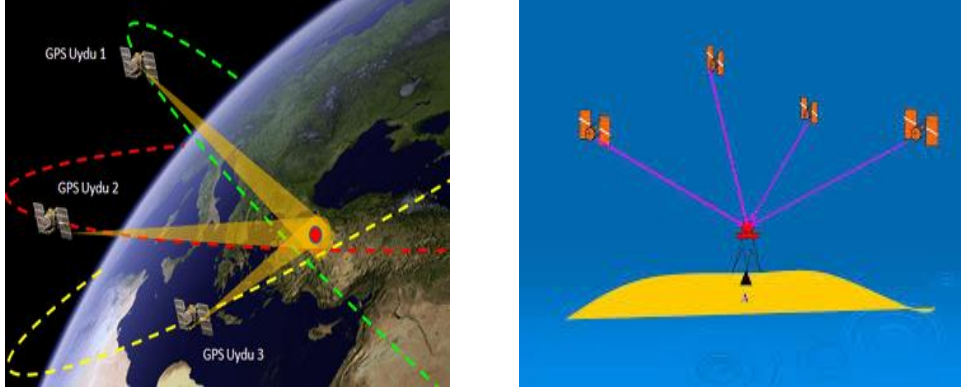
Şekil 7. GPS çalışma prensibi (<https://320volt.com/wp-content/uploads/2009/02/gps-kontrol-uzay-kullanici-bolumleri-iliskisi.jpg>)

2 boyut konum belirlemek için en az 3 tane uydudan radyo sinyallerini GPS tarafından algılanması gerekirken 3 boyutlu konum (enlem, boylam ve yükseklik) belirlemek için en az 4 uydudan GPS alıcısına ihtiyaç vardır. GPS te 2 temel konum belirleme prensibi vardır.

1. Mutlak Konum Belirleme
2. Rölatif/Görelî Konum Belirleme

1. Mutlak konum belirleme:

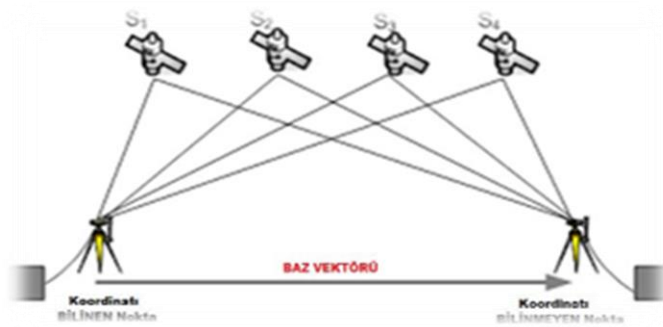
Bir alıcı ile en az 4 uydudan sinyal alımı şeklinde olan yöntemidir. Yöntem uzayda geriden kestirme esasına dayanarak yapılır. Konum tespiti alıcının koordinatları, gelen sinyaldeki kodlar(C/A kodu, P kodu) ve uydunun geometri bilgisine bağlı olarak yapılmaktadır. Alıcının sabit olması durumunda statik, alıcının hareketli olması durumunda kinematik yapılmaktadır.



Şekil 8. Mutlak konum belirleme (<https://www.elektronikhaberlesme.org/gps-global-positioning-system/>, <https://lh3.googleusercontent.com>)

2. Rölatif/Görelî Konum Belirleme:

Koordinatları bilinen noktadan koordinatları bilinmeyen nokta ve noktalara koordinatlandırma işlemidir. Koordinatı bilinen iki alıcının arasındaki baz vektörünün belirlenmesidir. Farklı iki noktada bulunan iki alıcı ve iki alıcının aynı uydulara eş zamanlı olarak gelen faz ve kod gözlemleridir. Bağlı konum belirlemedeki sonuç mutlak konum belirlemedeki çıkan sonuçtan iyidir. Doğruluk değeri 0.001 ile 100 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Tez çalışmamızda GAMIT/GLOBK programı kullanıldığı için rölatif konum belirleme yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 9. Rölatif konum belirleme (<https://docplayer.biz.tr/192766651>)

1.7. Proses Aşamasında Fark Gözlemleri ve Tam Sayı Faz Belirsizliği

GAMIT modülünde process aşamasında RINEX verilerinden ikili farklar alınarak istasyon koordinatlarını elde edilir.

1.7.1. İkili Farklar

Tekli fark (Şekil 10), iki alıcının aynı uyduya yaptığı eş zamanlı olan faz gözlemlerinin farkıdır.

Faz ölçüleri, en çok kullanılan GPS teki modüle edilmemiş olan L_1 ve L_2 olan sinyallerdir. Çift frekans kullanılmasının nedeni L_1 sinyalinde kesinti olması durumunda L_2 sinyalinden devam edilir ve farkı alınarak iyonosferik düzeltmesi yapılır.

Faz ölçülerinin kullanılmasının sebepleri;

- Faz gözlemlerinden elde edilen sonuçlar kod gözlemlerine nazaran daha doğru sonuçlar üretmektedir.
- Tam sayı faz belirsizliği adı verilen (N) değeri alıcının uydudan sinyal alınmasıyla faz belirsizliği olarak belirlenir. Tam sayı faz belirsizliğinin çözümü konusu tez çalışmamızın daha sonraki bölümlerinde detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

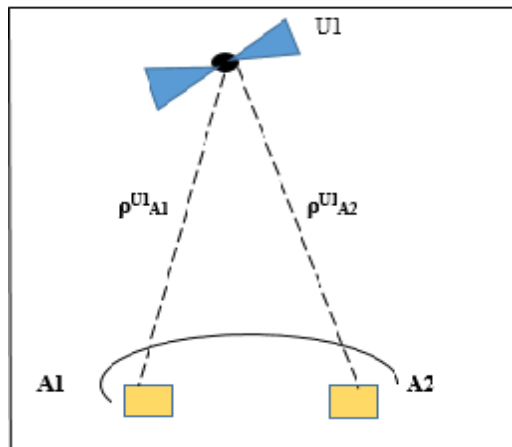
İkili fark (Şekil 11) yönteminde ise iki tekli farkın farkı alınır.

Tekli farklar:

$$\Delta\phi_{A2A1}^{U1}(t) = \Delta\phi_{A2}^{U1}(t) - \Delta\phi_{A1}^{U1}(t) \quad (2)$$

Tam sayı faz belirsizliği için;

$$N_{A2A1}^{U1}(t) = N_{A2}^{U1}(t) - N_{A1}^{U1}(t) \quad (3)$$



Şekil 10. A1 ve A2 alıcıları arasındaki tekli farkların gösterimi

Aynı uydu kullanıldığından alıcı saat hataları bu fark alma işlemiyle giderilmiş olur.

A1, A2: Alıcılar

U1:Uydu

ρ^{U1}_{A1} : U1 uydusuyla A1 alıcısının arasındaki uzaklık

ρ^{U1}_{A2} : U1 uydusuyla A2 alıcısının arasındaki uzaklık

N: Tam sayı faz belirsizliği

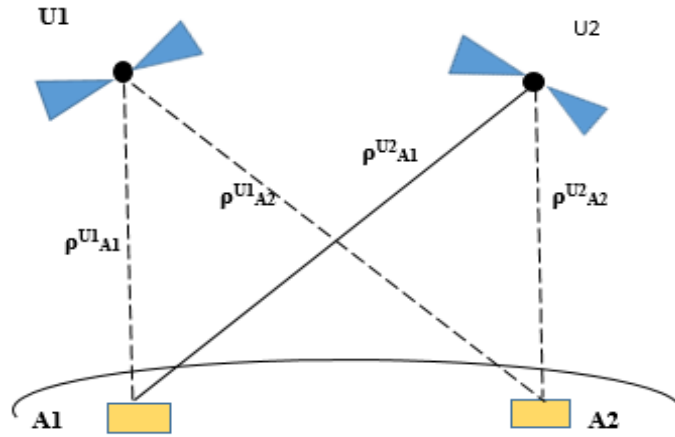
$\Delta\Delta$: İkili fark alma sembolü

İkili Farklar;

$$\Delta\Delta_{A2A1}^{U1U2}(t) = \Delta\Delta_{A2A1}^{U1}(t) - \Delta\Delta_{A2A1}^{U2}(t) \quad (4)$$

Tam sayı faz belirsizliği;

$$N_{A2A1}^{U1U2}(t) = N_{A1A2}^{U1}(t) - N_{A1A2}^{U2}(t) \quad (5)$$



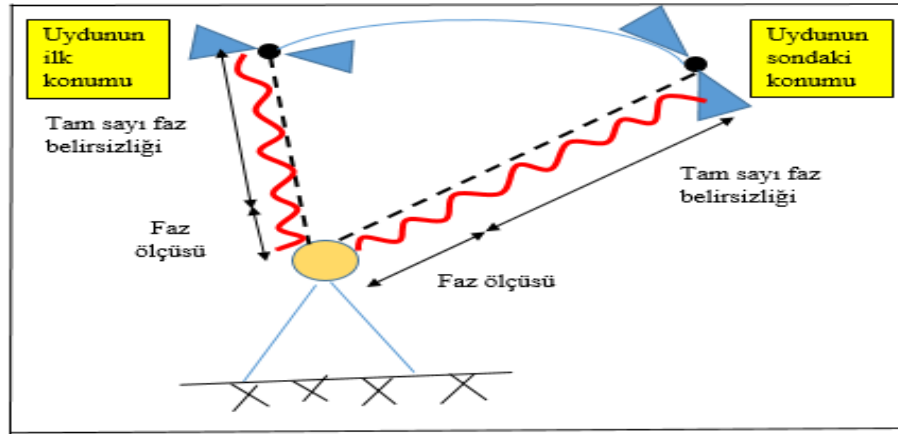
Şekil 11. A1 ve A2 alıcıları arasındaki ikili farkların gösterimi

İkili fark işlemiyle uydu ve alıcı saat hataları giderilir. Üçlü fark alma işlemiyle tam sayı faz belirsizliği yok edilir. Genellikle kullanılan model ikili fark alma işlemidir. Ayrıca bu işlemle kısa bazlardaki iyonosferik ve troposferik etkilerde giderilir.

1.7.2. Tam Sayı Faz Belirsizliği (N)

Yapılan GNSS gözlemlerinde kod ve faz ölçüleri bulunmaktadır. Faz ölçülerinde uydu ile alıcı arasındaki bağlantı kurulduğu zaman gelen faz ölçüsü tam dalga boyunun kesirli kısmına işaret etmektedir. Bu durumda kaç tane dalga boyu olduğu belirsizliği mevcuttur.

Uydunun hareketiyle dalga boyları tahmini yapılmaktadır. Buradaki problem başlangıçta kaç tane dalga boyu olduğunu bulmaktır. Kesirli kısım osilatörle belirlenir. Her bir uydu alıcı arasında bir N değeri vardır. Herhangi bir şekilde bağlantı koptuğunda yeni bir N değeri belirlenmesi gerekir (Şekil 12).



Şekil 12. Tam sayı faz belirsizliği (N)

L1 ve L2 frekanslarının lineer kombinasyonları ile yapay frekanslar elde edilmektedir. İyonosfer etkisinin giderilmesi ve tam sayı belirsizliğinin çözümü için L1 ve L2 frekansları haricinde geniş bant WL (Wide Lane), dar bant NL (Narrow Lane) ve iyonosferden bağımsız LC frekansları da kullanılır. (Hofmann ve ark. 1997). Bu yöntemlerle tam sayı faz belirsizliği giderilmiş olur.

GAMIT/GLOBK programı da tam sayı faz belirsizliğini çözmek için NL ve WL yöntemlerinden yararlanılarak tam sayı (fixed) hale getirilip doğru bir şekilde process aşamasının çözüme kavuşturulması sağlanır. Bu tez çalışmasında, WL ve NL yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla tam sayı faz belirsizliklerinin çözümüne ulaşılmıştır.

$$\Phi_5 = \Phi_1 - \Phi_2 \quad (6)$$

Bu denklemde;

Φ_1 : Uydudan gönderilen L_1 faz gözlemi,

Φ_2 : Uydudan gönderilen L_2 faz gözlemi,

Φ_5 : Uydudan gönderilen L_1 ve L_2 gözlemlerinin kombinasyonudur.

Bu sinyalin frekansı $f_5 = 347.82$ MHz ve dalga boyu ise $\lambda_5:86.2$ cm'dir. Uydudan gelen L_1 ve L_2 sinyallerinin dalga boyları incelendiğinde;

Tablo 1. Sinyallerin frekans ve dalga boyunun tablosu

Sinyal	Frekans (f)	Dalga Boyu (λ)
L_1	1575.42 MHz	19 cm
L_2	1227.60 MHz	24 cm
L_5	347.82 MHz	86.2 cm

Yukarıdaki tabloya bakıldığında frekans azaldıkça dalga boyunun arttığı görülmektedir.

$$\uparrow \lambda = \frac{c}{f} \downarrow \quad (7)$$

Bu denklemde de;

c : ışık hızı,

f : frekans,

λ : dalga boyunu simgelemektedir.

Dalga boylarına bakıldığında λ_5 önemli ölçüde bir dalga boyu genişliğine sahiptir. Bu nedenle tam sayı faz belirsizliğinin tam sayı aralığı oldukça geniş boyutta olup çözüm için yeterli alanı bize sunmaktadır. Böylece tam sayı faz belirsizliğinin çözümü kolaydır.

Geniş dalga fazının daha açık haline bakacak olursak;

$$\Phi_5 = \frac{f_5}{c} \rho + f_5 \Delta \delta + N_5 - \frac{l}{c} \left[\frac{f_2 - f_1}{f_1 f_2} \right] \quad (8)$$

Bu denklem tam sayı faz belirsizliğinin genel eşitliği denklemini gösterir.

$$\Phi_1 = f \left[\frac{\rho}{c} + \Delta\delta - \frac{l}{c} \right] + N \quad (9)$$

Bu denklemlerde;

ρ : uydu-alıcı arasındaki mesafe,

$\Delta\delta$: uydu ile alıcı arasındaki saat farkı,

c : ışık hızı,

I : İyonosferik etki,

N : Tam sayı faz belirsizliğidir.

Buradaki $\Phi_1 - \Phi_5$ denklemleri fark işlemi uygulandığında ve gerekli düzenlenmelerle N_1 değeri çekildiğinde denklem;

$$N_1 = \Phi_1 - (\Phi_5 - N_5) \frac{f_1}{f_5} + \frac{l}{c} \left[\frac{f_1 + f_2}{f_1 f_2} \right] \quad (10)$$

$$WL = n_1 - n_2 = \Phi_2 - \Phi_1 + (P_1 + P_2) (f_1 - f_2)/(f_1 + f_2) \quad (11)$$

Faz gözlemlerinde geniş bant lineer kombinasyonu

$$\Phi_{r,LwL}^p = (f_1/f_1 - f_2) \Phi_r^p(L_1) - (f_2/f_1 - f_2) \Phi_r^p(L_2) = \rho_r^p + (c/f_1 - f_2)(B_1 - B_2) - (f_1/f_1 - f_2) \quad (12)$$

$$I_r^p(L_1) - (f_2/f_1 - f_2) I_r^p(L_2) - c(\delta_{r,clock} - \delta_{clock}^p) + T_r^p + \delta_{r,mul,LwL}^p + \varepsilon_{r,nse,LwL}^p \quad (13)$$

Bu denklemde;

$\Phi_r^p(L_i)$: (L_i) Taşıyıcı faz gözlemlerindeki pseudo(kod) ölçümleri

B_i : Donanımsal gecikmelerden ve başlangıç faz hatalarını içeren belirsizliklerin gerçek değeri

$I_r^p(L_i)$: L_i taşıyıcı faz ölçüsündeki iyonosferik gecikme

T_r^p : Troposferik gecikme

$\delta_{r,clock}, \delta_{clock}^p$: Saat hataları

$\delta_{r,mul,LwL}^p, \varepsilon_{r,nse,LwL}^p$: Multipath, gürültü gibi diğer hatalar

c : ışık hızı

f_i : Sinyalin frekansı ($f_1 = 1575.42\text{MHz}$, $f_2 = 1227.60\text{MHz}$) olarak gösterilmektedir.

Yine aynı şekilde $\Phi_2 - \Phi_5$ denklemlerinin fark işlemiyle N_2 değeri elde edilir. N_1 ve N_2 denklemlerinden ρ (uydu ile alıcı arasındaki uzaklık) ile $\Delta\delta$ (uydu-alıcı saat hatası) bu terimler fark alma işlemlerinden dolayı yok edilmiştir. Denklemdaki iyonosferik etki (I) denklemde belirlemek için yerini almaktadır. Kısa bazlarda iyonosferik terim faz farkı alınarak giderilirken, uzun bazlarda bu etkinin giderilmediği görülmektedir.

2. Dar dalga sinyaliyle tam sayı faz belirsizliğinin çözümü;

$$\Phi_4 = \Phi_1 + \Phi_2 \quad (14)$$

Dar dalga boyunun değeri $\lambda_4 = 10.7$ cm dir.

Faz gözlemlerinde dar bant lineer kombinasyonu;

$$\Phi_{r,LNL}^p = (f_1/f_1 - f_2) \Phi_r^p(L_1) + (f_2/f_1 - f_2) \Phi_r^p(L_2) = \rho_r^p + (c/f_1 - f_2)(B_1 + B_2) - (f_1/f_1 - f_2) \quad (15)$$

$$I_r^p(L_1) - (f_2/f_1 - f_2) I_r^p(L_2) - c(\delta_{r,clock} - \delta_{clock}^p) + T_r^p + \delta_{r,mul,LwL}^p + \varepsilon_{r,nse,LwL}^p \quad (16)$$

1.8. Zaman Serileri

Zaman serileri, zamana göre sıralanan verilerden oluşmuş dizelerdir. (2016,2017,..., 2020 vb. şeklinde oluşur.) Bir zaman serisi ardışık olarak yapılan gözlem dizilerinden oluşmaktadır. Verilerin ardışık olması verilerin arasındaki korelasyonu sağlamaktadır. Zaman içerisinde sürekli yapılan gözlemlerden elde edilen verilere sahip dizilere sürekli zaman serileri, sürekli olmayan gözlemlerden elde edilen verilere kesikli zaman serileri adı verilir.

Oldukça yaygın bir kullanım alanına sahip olan zaman serilerine örnek olarak;

- ✓ Koordinat zaman serileri,
- ✓ Meteorolojik veriler,

- ✓ Ekonomik veriler,
- ✓ Tarım verileri verilebilir.

1.8.1. Zaman Serilerinin Analizi

Zaman serilerinin anlamlı ilişkiler kurarak analiz edilmesi işlemine denir. Bu analiz işleminden sonra seri üzerinden tahmin işlemi yapılmak istenebilir.

Seri analiz etmenin 2 amacı vardır;

1. Birinci amaç, hangi dağılıma hangi fonksiyonun karşılık bulduğunu tespit etmektir. Böylece hangi değişkenlerin seride ön planda olduğunu ya da seriyi bozan verileri tespit edebiliriz. Bu verilerin tespiti, kaba hata denilen uyuşumsuz ölçülerin ayıklanmasını sağlar ve serideki veriler arasındaki ilişkileri tespit eder.

Doğrusal fonksiyon: $y = \beta_0 + \beta_1 * t$ (zaman değişkenle doğrusal bir ilişki kurmuşsa) (3).

$$\text{Üssel (Logaritmik): } y = \beta_0 * \beta_1^t \quad (17)$$

$$\text{Üstel fonksiyon: } y = \beta_0 * e^{\{\beta_1 * t\}} \quad (18)$$

$$\text{Parabolik fonksiyon: } y = \beta_0 + \beta_1 * t + \beta_2 * t^2 \quad (19)$$

$\beta_{0,1,2}$:Değişkenler

t : zaman

y: zamana bağlı değişen değişkeni gösterir.

2. İkinci amaç, bir sonraki verileri tahmin edilmesidir.

Zaman seri tahminleri birden fazla değişkenden etkilenebilir. Bu durumda çok değişkenli zaman serisi analizlerine bakmak gerekir. Zaman serileri şuan t zamanındaysak bu seri t+1, t+2 den etkilendiği gibi t-1, t-2 den etkilenebilir. Bu durum zaman serilerinde çoklu ilişki olduğunu gösterir. Zaman serileri analizinde zaman bağımsız bir değişken iken değişkenimiz zamana bağımlıdır. Zaman serisinde birden fazla özelliğin olması durumunda zaman serisini modellemek için çoklu regresyon modelleri kullanılır.

1.8.2. Zaman Serisi Bileşenleri

Zaman serilerinde; Trend (doğrusal, doğrusal olmayan), Periyodik (Yıllık, yarıyıllık vb.), Mevsimsel ve Rastgele (Gürültü) olmak üzere farklı bileşenler mevcuttur (Şekil 13). GNSS koordinat zaman serilerinde rastlanan en belirgin mevsimsel etkiler; yeraltı su seviyesindeki değişim, atmosferik yükleme etkisi, sıcaklığın GNSS anteni ve üzerine monte edildiği yapıya (pilye, konstrüksiyon) olan etkisi sayılabilir.

$$x^i = x_0^i + v^i(t - t_0) + \underbrace{A_0^i \cos\left(\frac{2\pi(t - t_0)}{T_0} - \tau_0\right)}_{\text{Yıllık periyodik bileşen}} + \underbrace{A_1^i \cos\left(\frac{2\pi(t - t_0)}{T_1} - \tau_1\right)}_{\text{Yarı-yıllık periyodik bileşen}} + \varepsilon$$

Mevsimsel etki

Gürültü

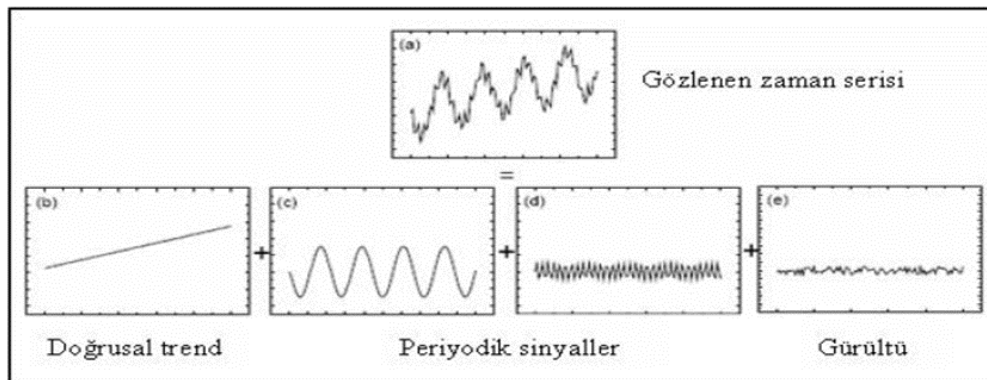
Doğrusal Trend/hız

Hesaplanan Konum

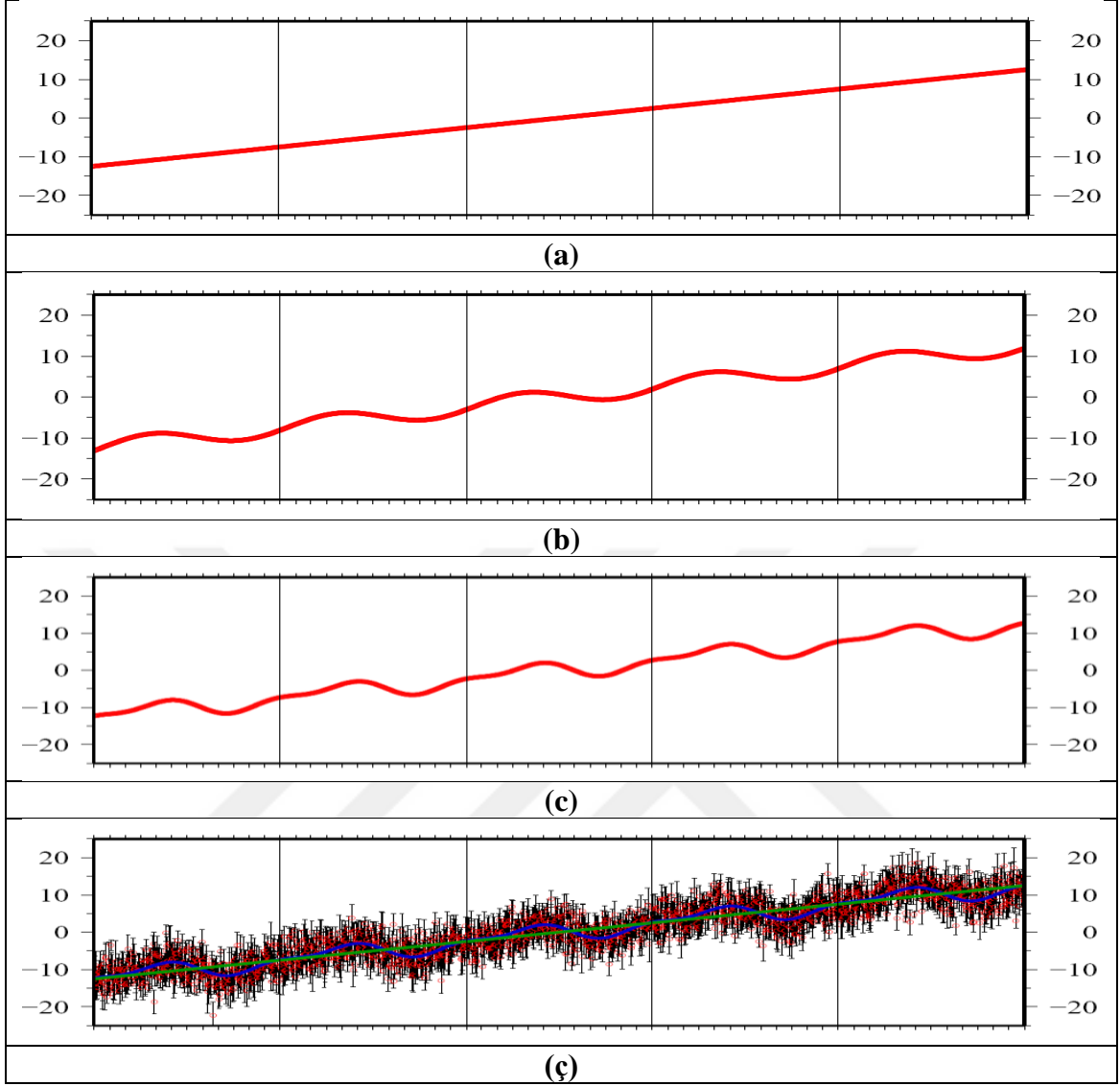
Başlangıç Konum

Şekil 13. Zaman Serisi Bileşenleri (Herring vd. 2018)

GPS zaman serilerindeki analizin amacı doğrusal tektonik hızın ve hatasının en doğru şekilde belirlemektir. Tez konusu zaman serilerinden hız kestirimi olduğu için diğer zaman bileşenlerinden bahsedilmemiştir. Şekil 14 zaman serilerini ve bileşenlerini göstermektedir (Pytharouli vd. 2004).



Şekil 14. GPS zaman serilerinin yapısı (Pytharouli vd., 2004)



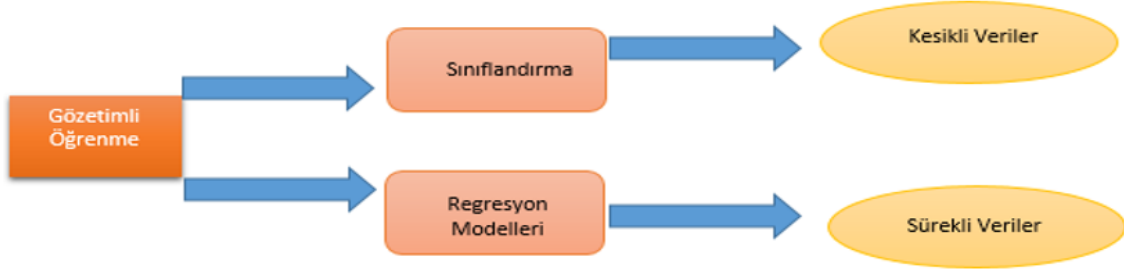
Şekil 15. (a) Doğrusal trend, (b) Doğrusal trend +Yıllık periyodik bileşen, (c) Doğrusal trend + Mevsimsel Bileşen, (ç) Doğrusal trend + Mevsimsel Bileşen + Gürültü (Herring vd., 2018)

Trend üç çeşittir.

- ✓ Artan Trend (3 ya da 4 defa yukarıya doğru dalgalanma varsa artış trendi)
- ✓ Azalan Trend (3 ya da 4 defa aşağıya doğru dalgalanma varsa azalış trendi)
- ✓ Trend yok şeklindedir (Net şekilde bir artış veya azalış eğilimi olan veri yoktur.).

1.8.4. Regresyon Analizi

Regresyon analizi aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.



Şekil 16. Regresyon şeması

Bağımlı değişken (y) kesikli veriler ya da sürekli verilerden oluşup oluşmadığı tespit edilir. Bağımlı değişkenlerde bir sınıflandırma söz konusudur. Değerin bilindiği durumda sınıflandırma işlemine başvurulmaktadır. Mevcut veri skalasının geniş olması ve herhangi bir sınıflandırmanın olmaması durumunda regresyon modeli kullanılır (Şekil 16). Regresyon: Değişkenlerden yola çıkarak değişkenlerin arasındaki ilişkiyi tespit etmeye yarar.

Lineer Regresyon: Bağımlı değişken (y) ile bağımsız değişken (x) serisi arasındaki ilişkilerin fonksiyonunu belirler.

Mevcut veriyi bir çizgiye uydurma işlemidir (doğrusal modelleme).

y : Bağımlı değişken, çıktı, sonuç

x : Bağımsız değişken, etkileyen değişken, girdi, neden

Regresyonun 2 amacı vardır;

1. y 'nin x ile olan ilişkisinin tespit edilmesi,

2. yeni x değerleri için y 'nin tahmin edilmesidir.

y değeri arttığında x değerinde de artış yaşanması görülmektedir.

Regresyon analizinde neden- sonuç ilişkisinin kurulması çok önemlidir. Hangi değişkeni etkilediğine karar verilmesi gerekir. Bu durumda y 'yi etkileyen faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

x değerleri artarken y değerleri artıyorsa pozitif yönlü bir ilişki vardır. x değerleri artarken y değerleri azalıyorsa negatif yönlü bir ilişki den bahsedebiliriz. Regresyonla x değerlerinin önündeki katsayıları bulma işlemi gerçekleştirilir. Ağırlık parametreleri ve x değerlerinin önündeki bu katsayılar ne kadar doğru bulunursa tahmin o kadar doğrudur. Regresyondaki Maksimum Olasılık Tahmini metoduyla bu ağırlıkların tahminini gerçekleştirmiş oluruz.

1.8.4.1. Basit Doğrusal Regresyon (Linear Regresyon)

Literatürde en çok kullanılan ve en basit şekildeki regresyondur.

Regresyon verileri sürekli verilerde çalışır. Kesikli verilerde yani kategorik verilerde çalışmaz. Bu verilerde sınıflandırma metodu kullanılır.

Bağımlı değişkenimiz olan y ile bağımsız değişkenimiz olan x değişkeni arasında düz bir çizgi çizilerek aralarındaki bağlantı ortaya çıkar.

Tek Boyutlu Basit Lineer Denklemi

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_i + hata(e_i) \quad (20)$$

x_i : Bağımsız değişken

y_i : Bağımlı değişken

e_i : Hata değeri

Bu denklemde β_0 , β_1 değerlerinin tahmini yapılır. Hata payı denklemde görülmektedir. Tahmin edebileceğimiz regresyon modeli kurulur. Ve birtakım tahminler β_0 ve β_1 değerlerini gerçekleştirerek devam edilir. β_0 ve β_1 değerlerini tahmin etme işlemi bir öğrenmedir. Amaç bu değerleri olabildiğince doğru tespit edip hata değerlerinin toplamını minimum olacak şekilde tespitinin yapılmasıdır.

Regresyon Yöntemiyle β_0 ve β_1 değerlerini tahmin yani öğrenme işleminin yapıldığı denklem incelenirse;

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 * x_i \quad (21)$$

\hat{y}_i = y değerinin tahmini değeridir. Gerçek değerleri göstermez.

x_i = Bağımsız değişken

β_0 ve β_1 = Tahmin edilecek değerler

Regresyon işlemindeki esas amaç oluşacak hata paylarını en az seviyeye çekmektir. Şekilde görülen yeşil çizgi doğrusal regresyon çizgisini gösterir. Mavi noktalar ise x 'e karşılık gelen gerçek y değerlerini gösterir. Bu mavi noktalardan çizilen yeşil çizgiye indirilen doğrular bize hata değerlerini gösterir. Buradaki denklemimiz;

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (22)$$

e : hata değeri,

y_i : gerçek değer,

\hat{y}_i : tahmin edilen değer. Buradaki hata payı tahmin edilen değerden gerçek değerden farkını alarak bulunur.



Şekil 17. En küçük kareler metodu

1.8.4.2. En Küçük Kareler Metodu

Bu metot şekilde çizilen yeşil çizgiyi yani regresyon çizgisini en doğru şekilde çizmemizi sağlayan yöntemdir (Şekil 17). Toplam hatayı en aza indirmeye işlemidir.

$$\sum e_i = \{y_i - (\beta_0 + \beta_1 * x_i)\}^2 \text{ denklemi yazılır.} \quad (23)$$

Toplam hatanın en iyi olduğu nokta aslında sıfırdır.

$$\sum e = 0 \text{ olmalıdır.}$$

Tahmini yapılacak olan β_0 ve β_1 değerleri gösterilen karelerin alanlarını en aza indirmek için çizilen çizgiyle regresyon çizgisi belirlenmiş olur.

$\sum e^2$ değerlerinin sıfır olmasıyla karelerin toplamının minimizasyonu gerçekleştirilmiş olmaktadır. Denklem en küçük kareler metodunun denklemi olan:

$$\min \sum e^2 = 0 \quad (24)$$

Bu şekilde bir matematiksel modelini kurmuş olunur.

$$\sum e^2 = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum (y_i - \beta_0 - \beta_1 * x_i)^2 = \min \quad (25)$$

Yukarıdaki denklemin minimum olabilmesi için birinci dereceden türevi alınıp sıfıra eşitlenir. Bu denklemin sıfıra eşit olduğu noktalar minimum noktalardır. β_0 ve β_1 değerleri için ayrı ayrı türevlerini alıp sıfır değerine eşitlendiğinde söz konusu denklemlerden tahmin edilecek değerler olan β_0 ve β_1 değerleri çekildiğinde denklem aşağıdaki formata dönüşecektir;

$$\sum y_i = \beta_0 (n) + \beta_1 * \sum x_i \quad (26)$$

$$\sum y_i x_i = \beta_0 \sum x_i + \beta_1 * \sum x_i^2 \quad (27)$$

Söz konusu denklemlerden tahmin edilecek değerler olan β_0 ve β_1 değerleri çekildiğinde denklem aşağıdaki formata dönüşecektir;

$$\beta_0 = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (28)$$

$$\beta_1 = \frac{\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (29)$$

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 * x_i \quad (30)$$

Bu denklemde yerine yazılarak β_0 ve β_1 değerler bulunur.

Regresyon kurulduktan sonra performansı incelenir ve hataların durumuna bakılır. Regresyon ile yukarıdaki şekillerdeki hatalardan yola çıkarak hesaplamalar yapılır.

Basit Lineer Regresyonda en baştaki formülde hatırlanacak olursa;

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_i + hata(e_i) \quad (31)$$

Bu denklemde e_i değerlerinin ortalamasının sifira eşit olması gerekir.

$$e^- = 0$$

Sapmalarının karesi olarak;

$$\sum (e^i - e^-)^2 = \sum e_i^2 \text{ olur.} \quad (32)$$

Hataların varyansı incelendiğinde aşağıdaki denklem bulunur;

$$\sigma^2 = \frac{\sum e_i^2}{n - k} \quad (33)$$

e_i : hata değeri,

k : regresyon katsayısı,

n : gözlem değeri

Paydadaki n değeri ne kadar büyük olursa hata o kadar az olacaktır.

1.9. SGPS (Sabit GPS İstasyonu) Koordinat Zaman Serileri

GPS verilerinden elde edilen istasyonlara ait zaman serilerinden istasyonların doğrusal ve periyodik hareketleri gözlenmektedir. Zaman serilerinde doğrusal hareketlerin bulunması için zaman serisi basit lineer regresyon ile modellenir. Elde edilen zaman serisinin eğimi alınarak noktaya ait hız değerine ulaşılır.

Zaman serilerinde istasyonların yakın çevresindeki su seviyesinin değişimi, atmosferik gel-git gibi lokal etkiler periyodik olarak ortaya çıkar. Bu lokal etkiler bulunan hızı etkilemektedir. Blewitt ve Lavallée (2002) bu lokal etkinin 2. 5 yılı kapsayan günlük zaman serilerinde önemli olduğunu ifade etmiştir. Zaman serileri incelendiğinde doğrusal bir değişim göstermediği gözükmektedir. İstasyonun koordinat zaman serisi doğrusal olmayan bir değişim sergilemesiyle istasyon noktasında yoğun şekilde deformasyon olduğu ve tektonik levha sınırlarından uzak olduğunu gösterir.

Zaman serilerinden anlamlı ve gerçeğe yakın doğrulukları kestirmek için maksimum olabilirlik kestirimi yapılmıştır (Zhang vd., 1997; Mao vd., 1999).

1.10. GPS Zaman Serilerinin Gürültü Özellikleri

GNNS ölçü hatalarının dışında GNSS frekanslarından kaynaklanan gürültü değeri vardır. Bu hatalar modellenmezse bulunan koordinat gerçeği yansıtmayarak hatalı bir değere sahip olacaktır. Bu sebepten dolayı bu gürültüyü modelleyerek ölçü üzerinden gidermeye ya da en aza indirmeye gayret edilir. SGPS noktalarının sabit kalmayıp tektonik hareketler, heyelan, yer altı su seviyesi değişimleriyle ülkemize etki eden depremler gibi etkenlerden dolayı hareketli bir yapı özelliği kazanmıştır. Bu sebeple hız kavramı bizim mesleğimiz için çok önemlidir. Gürültü analizi yapmamızın nedenleri;

1. Verimizdeki gürültüyü kaldırmak,
2. Gürültüyü en aza indirmek.

Gürültüyü modelleyerek daha doğru yatay ve düşey olarak hız bileşenleri bulunur.

Gürültü Çeşitleri

Literatürde ve en çok kullanılan yöntem olan beyaz gürültü (WN) ile renkli gürültü (FN) ve bunların kombinasyonlarından oluşmaktadır.

Beyaz gürültü (WN): Zamanla korelasyona sahip olmayan, daha çok ölçü ve donanımsal hatalardan kaynaklanan gürültü şeklidir.

Renkli gürültü (FN): Zamanla korelasyona sahip olan ve GNSS hatalarından bağımsız kalmayan hatalara sahip gürültü şeklidir.

Gürültü modellerini tespit etmek için kullanılan yöntem, En Büyük Olasılık Tahmini (Maksimum Likelihood Tahmini-MLE)'dir.

Maksimum Likelihood Tahmini, modeli oluşturan parametreleri en iyi şekilde tespit eden yöntemdir.

Simav, vd., (2006), Sabit GPS istasyonlarında 1,5 yıldan sonra istasyonların hız değişimi 0.03 mm/yıl gibi çok küçük değerler olduğunu test etmiştir. Bu durum (Blewitt, vd., 2002) ile ifade edilen verilerin gürültü değerleri analizi için 2,5 yıldan daha az süreli olması gerekir. 2,5 yıldan daha fazla olan verilerde gürültü değerindeki değerler hız değişimine olan etkisi gözardı edilmektedir.

1.11. Zaman Serilerinde Hız Kavramı

Öncelikle noktalara rölatif konum belirlenmesi durumunda ağ dengelemesi yapılır. Uygulanan lineer (doğrusal) regresyon ile noktaların hızları tespit edilir.

Hızların belirlenmesinde kullanılan lineer regresyon modeli;

$$x_i = x_0 + rt_i + \varepsilon_i(t_i) \quad (34)$$

$\varepsilon_i(t_i)$: hata terimi ve zamandan bağımsız ya da zamanla korelasyonsuz lineer kombinasyondur.

Zamanla bağımlı ya da korelasyonlu yazarsak denklem;

$$\varepsilon_i(t_i) = a \cdot \alpha(t_i) + b_\kappa \beta(t_i) \quad (35)$$

1.12. Uyuşumsuz Ölçüleri Bulma

Zaman serilerinde bazı ölçülerde fazla sıçramalar gözlemlenir. Bu sıçramalar bulunan sonucu büyük ölçüde etkiler. Uyuşumsuz ölçüler bulunup zaman serisinden çıkartılarak doğru hız kestirimi yapılır. Bu kaba hatalı ölçüleri tespit edilip uygulanacak aşamalara dâhil etmememiz gerekir. Kaba hatalı ya da uyuşumsuz ölçüleri bulmak için geleneksel veya robust yöntemler kullanılır. Bu kaba hataya sahip ölçüler genel olarak en çok kullanılan popüler yöntem Pope testidir. Amaç ölçülerin düzeltilmesidir.

Klasik uyuşumsuz ölçüleri tespit eden klasik yöntemler:

- ✓ Baarda yöntemi (Global Test + Data Snooping)
- ✓ Pope testi
- ✓ t testi

1.12.1. Baarda Yöntemi

Bu yöntem iki kısımdan oluşur.

Global Test

Data Snooping

Öncelikle Global test aşaması yapılır. Sonuç testten geçemiyorsa;

1. Stokastik model(ağırlıklar, varyans, kovaryans) yanlıştır.
2. Fonksiyonel model yanlıştır.
3. Kaba hata yapılmıştır.

1.12.1.1. Global Test

Global testteki amaç önsel varyans ile sonsal varyansın eşit olması beklenir. Global testten geçip diğer aşaması Snopping Dataya tabi tutulur. Bu testin standartlaştırılmasında kullanacağımız ölçülerin birim ağırlıklarının önsel varyans değeriyle ölçülerin kovaryans matrisinin tersi çarpılarak elde edilen sonsal varyansın eşit olması testi geçtiğini gösterir.

$$T_{global} = \frac{fs_0^2}{\sigma_0^2} = \frac{[pvv]}{\sigma_0^2} \leq \chi^2_{f, 1-\alpha} \quad \text{Ağda uyuşumsuz ölçü yoktur.} \quad (36)$$

$$T_{global} = \frac{fs_0^2}{\sigma_0^2} = \frac{[pvv]}{\sigma_0^2} > \chi^2_{f, 1-\alpha} \quad \text{Ağda uyuşumsuz ölçü vardır.} \quad (37)$$

$\chi^2_{f, 1-\alpha}$:Ki-kare dağılımının α yanılma olasılığına ve f serbestlik derecesine karşılık gelen güven sınır değeridir. α , genellikle %1 ya da %5 seçilir.

Ki-Kare testinde gözlenmiş ve beklenen frekansların arasındaki fark incelenip anlamlı olup olmadığı test edilir.

Eğer uyuşumsuz ölçü çıkarsa;

Her bir ölçü için aşağıdaki denklemlerle hesabı yapılır.

$$w_i = \frac{|v_i|}{\sigma_0 \sqrt{Q_{v_i v_i}}} = \frac{|v_i|}{\sigma_{v_i}} \quad (38)$$

Bu denklemlerde;

$Q_{v_i v_i}$: Düzeltmenin ağırlık katsayısı.

$$Q_{v_i v_i} = \frac{1}{P_i} - \bar{Q}_{l_{iii}} = \frac{r_i}{P_i} \quad (39)$$

Baarda testinde $|w_i| > 3.29$ olması ölçünün kaba hata olduğu gösterir. Bu ölçü bir sonraki aşamalarda kullanılmaz. Bu işlem bütün ölçülerde kaba hatalar bulunup ayıklanıncaya kadar devam eder.

(3.29'un anlamı standart normal dağılımın %0.1 tek boyutlu testin yanılma olasılığına karşılık gelen güven sınır değeridir.)

1.12.1.2. Pope Testi

Önsel varyansın bilinemediği durumda sonsal varyansın kullanıldığı testte denir. Bulunan değer kaba hatadan etkilenmesi sebebiyle çok doğru bir yöntem değildir.

$$T_i = \frac{|v_i|}{\sigma_0 \sqrt{(Q_{vv})_{ii}}} \quad (40)$$

Paydada varyans değeri olduğu için ne kadar çok kaba hata yapılması durumunda varyansı o kadar arttıracığından T_i testi de o kadar azalır ve bu şekilde ölçümüz daha iyi tespit edilir.

1.12.1.3. t Testi

Kaba hatalı ölçülerin iyi ölçülere göre katkısı daha fazla olduğu bilinir. Kaba hatalı ölçülerin dışındaki ölçüleri kullanarak hesapladığımız sonsal varyans değeriyle testimizi yapılır. Bu şekilde kaba hatanın etkisi daha az olacağından dolayı pope testine göre daha iyi bir testtir.

$$T_i = \frac{|v_i|}{\sigma_{0,i} \sqrt{(Q_{vv})_{ii}}} \sim t_{f-1} \quad (41)$$

$$\sigma_{0,i}^2 = (V^T P V) - \frac{v_i^2}{Q_{vivi}} / f - 1 \quad (42)$$

1.13. Üç Boyutlu Helmert (Benzerlik) Dönüşümü

Genellikle üç boyutlu iki datum arasındaki ilişki, Helmert Dönüşümü olarak bilinen üç dönüklük, üç öteleme ve bir ölçek faktöründen oluşan yedi parametrelilik benzerlik dönüşümü ile yapılmaktadır. Dönüşüm parametreleri, her iki sistemde yeteri kadar ortak nokta kullanılarak en küçük kareler yöntemine göre dengelenerek elde edilir. Parametrelerin kestirimi yapıldıktan sonra bu değerler kullanılarak koordinatlar diğer datuma dönüştürülür.

Bu kapsamda, a ve b datumları arasındaki Helmert Benzerlik Dönüşümü şu şekilde doğrusal bir formda yazılabilir;

$$X_b = T + (1 + D) \cdot R \cdot X_a \quad (43)$$

Burada, D: Ölçek faktörü

$$T \text{ (Öteleme Matrisi)} = \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix}, \quad R \text{ (Dönüklük Matrisi)} = \begin{bmatrix} 0 & -R_Z & R_Y \\ R_Z & 0 & -R_X \\ -R_Y & R_X & 0 \end{bmatrix}$$

$$X_a \text{ (Konum Vektörü)} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Uzay-tabanlı jeodezik teknikler yukarıdaki eşitliğin sadeleştirilmesine olanak tanıyacak şekilde birbirine çok yakın koordinat sistemleri sağlamaktadır. Ölçek ve dönüklüğün çarpımındaki ikinci derece terimler ihmal edilerek eşitliğin doğrusallaştırılmış hali aşağıdaki şekilde elde edilebilir (Altamimi vd., 2016):

$$X_b = X_a + T + D \cdot X_a + R \cdot X_a \quad (44)$$

Referans koordinat sistemi dönüşümündeki bu form hemen hemen tüm ITRS gerçekleştirmeleri için kullanılan temel matematik modeli oluşturmaktadır. Hız dönüşümü için ise, eşitliğin zamana göre diferansiyeli yani türevinin alınıp, hızların ölçek ve dönüklük ile olan çarpımları ihmal edilirse aşağıdaki eşitlik elde edilir (Aktuğ, 2008, Altamimi vd., 2016):

$$V_{Xb} = V_{Xa} + V_T + V_D \cdot X_a + V_R \cdot X_a \quad (45)$$

ITRF2014 ile geçmiş ITRF çözümleri arasındaki bağlantıyı sağlamak için ise, kullanıcılara çözümler arasındaki 14 dönüşüm parametresinin sağlanması esastır (Altamimi vd., 2016). Mevcut 7 parametreye doğrusal hızların da eklenmesiyle 14'e ulaşan söz konusu dönüşüm parametreleri hesaplanırken; Yerküre üzerinde olabildiğince homojen dağılımda ve mümkün olduğunca fazla sayıda VLBI, SLR, GNSS ve DORIS istasyon koordinatları ortak nokta olarak kullanılmakta ve 14 parametrelilik benzerlik dönüşümlerinin karesel ortalama hatalarının minimum olmasına dikkat edilmektedir.

Tez özelinde, GAMIT/GLOBK yazılımının GLOBK aşamasında nihai konum ve hızların hesaplandığı en güncel ITRF sürümü olan ITRF2014'den ITRF96'ya dönüşüm için konum ve hız eşitlikleri sırasıyla aşağıdaki gibidir;

$$X_{ITRF96} = X_{ITRF14} + T + D \cdot X_{ITRF14} + R \cdot X_{ITRF14} \quad (46)$$

$$V_{XITRF96} = V_{XITRF14} + V_T + V_D \cdot X_{ITRF14} + V_R \cdot X_{ITRF14} \quad (47)$$

Bu çalışmada, ITRF2014'den ITRF96'ya Datum Dönüşüm Parametreleri için, Fransa Ulusal Coğrafya Enstitüsü (Institut Geographique National-IGN) tarafından yayınlanan değerler kullanılmıştır (Tablo 2). IGN, Uluslararası Yer Dönme Servisi (International Earth Rotation Service-ITRS) adına ITRF'in oluşturulması ve sonuçların yayımlanmasından sorumlu kuruluştur.

Tablo 2. ITRF2014'den ITRF96'ya Datum Dönüşüm Parametreleri, (https://itrf.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2014_ITRFs.txt)

DATUM	T _x (mm)	T _y (mm)	T _z (mm)	D ppb*	R _x .001"	R _y .001"	R _z .001"	EPOK
ITRF96	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0	0	0.26	2010.0
Hızlar	V _{Tx} mm/yıl	V _{Ty} mm/yıl	V _{Tz} mm/yıl	V _D ppb/yıl	V _{Rx} .001"/yıl	V _{Ry} .001"/yıl	V _{Rz} .001"/yıl	
	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0	0	0.02	

*ppb: 10⁻⁹

Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, tabloda verilen epoktur. Bu tarih, datum dönüşüm parametrelerinin tanımlandığı zamandır. Söz konusu parametrelerin değerlerinin yanında hızları da olduğu için, hangi tarihte tanımlamanın yapıldığı önemli olmaktadır. Bu nedenle, söz konusu parametreler hesaplamalarda kullanılmadan önce yine aynı tabloda verilen hızları kullanarak hesap epoğuna getirilmelidir.

$$\begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ D \\ R_x \\ R_y \\ R_z \end{pmatrix} (t) = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ D \\ R_x \\ R_y \\ R_z \end{pmatrix} (2010.0) + \begin{pmatrix} VT_x \\ VT_y \\ VT_z \\ VD \\ VR_x \\ VR_y \\ VR_z \end{pmatrix} * (t-2010.0) \quad (48)$$

Bu şekilde hesap epoğuna getirilen datum dönüşüm parametreleri artık dönüşüm matrislerinde kullanılabilir.

Yapılacak son bir işlem de, dönüşüm sonunda hesap epoğunda elde edilen ITRF96 datumundaki koordinat değerleri, TUREF için 2005.0 epoğuna getirilmelidir. Bu epok kaydırma işlemi için aşağıdaki formül kullanılır;

$$X_{TUREF} = X_{ITRF96} + V_{ITRF96} * (2005.0 - t) \quad (49)$$

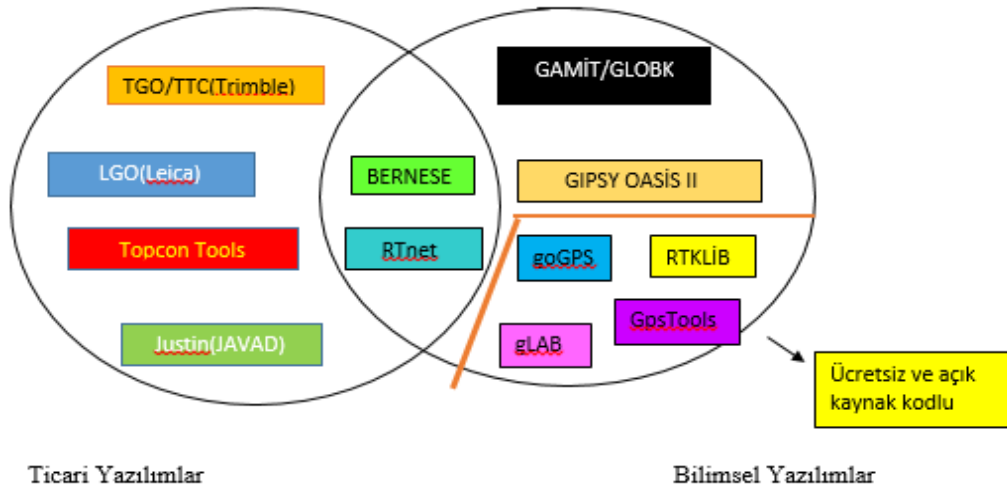


2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yazılımın Kurulması

GNSS verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan çeşitli bilimsel ve ticari yazılımlar mevcuttur. Ticari yazılımlar kullanımı kolay olmasına rağmen kaynak kodlarına erişim olmaması nedeniyle model ve strateji değişiklikleri yapılamamakta, sadece yazılımın verdiği seçenekler kullanılabilir. GNSS verilerinin değerlendirildiği ticari ve bilimsel yazılımlar: (Şekil 18).

- ❖ Bernese
- ❖ BKG NtripClient
- ❖ goGPS
- ❖ GAMP
- ❖ gLab
- ❖ GAMIT/GLOBK
- ❖ GIPSY-OASIS II
- ❖ GNUT
- ❖ GPStk
- ❖ GPSstools
- ❖ GPSd
- ❖ Leica Geo Office (LGO)
- ❖ PANDA
- ❖ PPPH



Şekil 18. Ticari ve bilimsel yazılımlar

Verilerin online olarak değerlendirildiği yazılımlar:

AUSPOS (Australia A free online GPS data processing facility)

CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System - Precise Point Positioning)

GAPS (Canadian GNSS Analysis and Positioning Software)

Magic-GNSS

Tezlerde ve bilimsel çalışmalarda en çok kullanılan yazılımlar:

- ✓ GAMIT/GLOBK
- ✓ BERNESE
- ✓ GIPSY-OASIS II

Bu çalışmada GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) Yer, Atmosfer ve Gezegen Bilimleri Bölümü tarafından geliştirilmiş ve açık kaynak kodludur. Ticari olmamak kaydıyla üniversitelere ve kamu kurum ve kuruluşlarının kullanımına ücretsizdir. GAMIT (GNSS at MIT) modülü, GNSS faz ölçülerini değerlendirerek noktaların bağıl konumlarını, uydu yörüngelerini, atmosferik gecikme değerlerini ve Yer Dönme Parametrelerini hesap eder. GLOBK ise kalman filtrelemesi yaparak oluşturduğu koordinat zaman serilerinden istenen bir referans sisteminde koordinat tahmini ve hız kestirimi yapar. Ayrıca, GPS çözümleri ile birlikte VLBI ve SLR sonuçlarının birleştirilmesinde de yararlanılmaktadır.

Program komutlar yardımıyla çalışır ve herhangi bir ara yüze sahip değildir. Büyük ölçüde Fortran kodlarından oluşan mimarisi herhangi bir Linux işletim sisteminde çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Analizde alıcıdan bağımsız veri formatı olan RINEX

(Receiver Independent Exchange Format) kullanılır. RINEX veri formatı aşağıdaki ASCII (American Standard Code for Information Interchange) dosya tiplerinden oluşur;

- ✓ Gözlem veri dosyası (Observation “o”)
- ✓ Navigasyon mesaj dosyası (Navigation “n”)
- ✓ Meteorolojik veri dosyası (Meteorological “m”)
- ✓ İyonosferik veri dosyası (Ionospheric “i”)

RINEX dosya adları ise kısa (Versiyon 2) ve uzun (Versiyon 3) olmak üzere iki çeşittir. Kısa ad için örneğin; ISTN1250.20o (ISTN istasyonunun 2020 yılı 125’inci gününe ait gözlem dosyası) (Şekil 19).

2.10	OBSERVATION DATA				M (MIXED)	RINEX VERSION / TYPE														
TPP 3.5.8					03-MAY-20 23:59	PGM / RUN BY / DATE														
COMMENT																				
COMMENT																				
COMMENT																				
MARKER NAME																				
MARKER NUMBER																				
OBSERVER / AGENCY																				
REC # / TYPE / VERS																				
ANT # / TYPE																				
APPROX POSITION XYZ																				
ANTENNA: DELTA H/E/N																				
WAVELENGTH FACT L1/2																				
# / TYPES OF OBSERV																				
INTERVAL																				
RCV CLOCK OFFS APPL																				
LEAP SECONDS																				
# OF SATELLITES																				
TIME OF FIRST OBS																				
END OF HEADER																				
ISTN																				
ISTN																				
Trimble Navigation	LTrimble Navigation Limited																			
4737K07084	TRIMBLE NETR5	Nav 4.48 / Boot 4.18																		
	TRM55971.00	NONE																		
4223661.0362	2325014.9789	4161716.1639																		
0.0870	0.0000	0.0000																		
1	1	0																		
6	C1	L1	S1	P2	L2	S2														
30.000																				
0																				
18																				
55																				
2020	05	04	00	00	00.0000000	GPS														
20	05	04	0	0	0.0000000	0	16G	1G	2G	3G	4G	6G	7G	9G	22R	2R	3R	4R	11	.000000000
R12R13R14R18																				
25430456.656	133637969.436	1																		
21.700																				
25192817.555	132389065.069	2																		
19.000																				
21383309.219	112370117.809	6																		
46.000																				
21383316.160																				
87561177.738																				
9																				

Şekil 19. Örnek RINEX V2 Gözlem Dosyası (istn1250.20o)

Uzun ad için örneğin; ANKR00TUR_R_20201250000_01D_30S_MO.crx.gz (ANKR istasyonunun 2020 yılı 125’inci gününe ait gözlem dosyası. Burada; TUR: ISO ülke kodu, R: veri kaynağı alıcı, 01D: 1 günlük veri, 30S: 30 saniyelik gözlem aralığı, MO: GNSS gözlem verisi anlamındadır.) Aynı verinin kısa adı ankr120.20o olarak isimlendirilir (Şekil 20). Örnek RINEX GPS Navigasyon Dosyası (brdc1250.20n) ise Şekil 21’de verilmiştir.

```

3.03 OBSERVATION DATA M: MIXED RINEX VERSION / TYPE
GR30 V4.31 General Command of M20200503 235947 UTC PGM / RUN BY / DATE
SNR is mapped to RINEX snr flag value [1-9] COMMENT
LX: < 12dBHz -> 1; 12-17dBHz -> 2; 18-23dBHz -> 3 COMMENT
24-29dBHz -> 4; 30-35dBHz -> 5; 36-41dBHz -> 6 COMMENT
42-47dBHz -> 7; 48-53dBHz -> 8; >= 54dBHz -> 9 COMMENT
ANKR MARKER NAME
20805M002 MARKER NUMBER
Geodesy General Command of Mapping OBSERVER / AGENCY
1705608 LEICA GR30 4.31/7.403 REC # / TYPE / VERS
19353039 LEIAR10 NONE ANT # / TYPE
4121934.2600 2652189.8120 4069034.9110 APPROX POSITION XYZ
0.0700 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
G 12 C1C L1C S1C C2S L2S S2S C2W L2W S2W C5Q L5Q S5Q SYS / # / OBS TYPES
R 9 C1C L1C S1C C2P L2P S2P C2C L2C S2C SYS / # / OBS TYPES
E 12 C1C L1C S1C C5Q L5Q S5Q C7Q L7Q S7Q C8Q L8Q S8Q SYS / # / OBS TYPES
C 6 C2I L2I S2I C7I L7I S7I SYS / # / OBS TYPES
J 9 C1C L1C S1C C2S L2S S2S C5Q L5Q S5Q SYS / # / OBS TYPES
S 3 C1C L1C S1C SYS / # / OBS TYPES
DBHZ SIGNAL STRENGTH UNIT
30.0000 INTERVAL
2020 05 04 00 00 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
2020 05 04 23 59 30.0000000 GPS TIME OF LAST OBS
0 RCV CLOCK OFFS APPL
G L2S -0.25000 SYS / PHASE SHIFT
G L2X -0.25000 SYS / PHASE SHIFT
R L2P 0.25000 SYS / PHASE SHIFT

```

Şekil 20. Örnek RINEX V3 Gözlem Dosyası (ankr1250.20o)

```

2 NAVIGATION DATA RINEX VERSION / TYPE
CCRINEXN V1.6.0 UX CDDIS 05-MAY-20 19:31 PGM / RUN BY / DATE
IGS BROADCAST EPHEMERIS FILE COMMENT
0.8382D-08 0.2235D-07 -0.5960D-07 -0.1192D-06 ION ALPHA
0.8602D+05 0.6554D+05 -0.1311D+06 -0.4588D+06 ION BETA
-0.931322574615D-09-0.888178419700D-14 319488 2104 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
18 LEAP SECONDS
END OF HEADER
2 20 5 4 0 0 0.0-0.450026709586D-03-0.625277607469D-11 0.000000000000D+00
0.470000000000D+02 0.803437500000D+02 0.475876965043D-08-0.306114013067D+01
0.424496829510D-05 0.197250442579D-01 0.739097595215D-05 0.515368998528D+04
0.864000000000D+05 0.437721610069D-06-0.290789058342D+01-0.558793544769D-07
0.959121885539D+00 0.230250000000D+03-0.163212838753D+01-0.805104964425D-08
0.531093550750D-09 0.100000000000D+01 0.210400000000D+04 0.000000000000D+00
0.200000000000D+01 0.000000000000D+00-0.176951289177D-07 0.470000000000D+02
0.792180000000D+05 0.400000000000D+01 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00
3 20 5 4 0 0 0.0-0.164580065757D-03-0.117097442853D-10 0.000000000000D+00
0.320000000000D+02-0.637812500000D+02 0.482270088485D-08 0.193680950935D+01
-0.341795384884D-05 0.278787617572D-02 0.507570803165D-05 0.515356063271D+04
0.864000000000D+05-0.152736902237D-06-0.179146786233D+01 0.260770320892D-07
0.965086353229D+00 0.283531250000D+03 0.690611046036D+00-0.835891961113D-08
-0.336085427878D-09 0.100000000000D+01 0.210400000000D+04 0.000000000000D+00
0.200000000000D+01 0.000000000000D+00 0.186264514923D-08 0.320000000000D+02
0.792180000000D+05 0.400000000000D+01 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00
4 20 5 4 0 0 0.0-0.846246257424D-04-0.500222085975D-11 0.000000000000D+00
0.163000000000D+03-0.202500000000D+02 0.415981613018D-08-0.219310905566D+01
-0.114180147648D-05 0.708733219653D-03 0.132881104946D-04 0.515369832230D+04

```

Şekil 21. Örnek RINEX GPS Navigasyon Dosyası (brdc1250.20n)

GAMIT/GLOBK yazılımı kurulumu öncesinde zorunlu olmamakla birlikte, analiz dosyaları ile yazılımın kaynak kodlarının karışmaması için bilgisayarda 3 farklı klasör yaratılması tavsiye edilmektedir.

1. Kaynak Kod Klasörü: Kurulum sırasında bir sorun oluştuğunda yazılımı ftp adresinden yeniden indirmeden kullanabilmek için kaynak kodlar ayrı bir dizinde saklanabilir.

2. Kurulum Klasörü: Yazılımın kurulacağı, derlenen ve çalıştırılabilir (exe) alt programların otomatik olarak oluşacağı klasördür.

3. Analiz Klasörü: Kullanıcının analizleri yapacağı kişisel klasördür.

Daha sonra, ftp://chandler.mit.edu adresine kullanıcı adı ve parola ile bağlanılır.

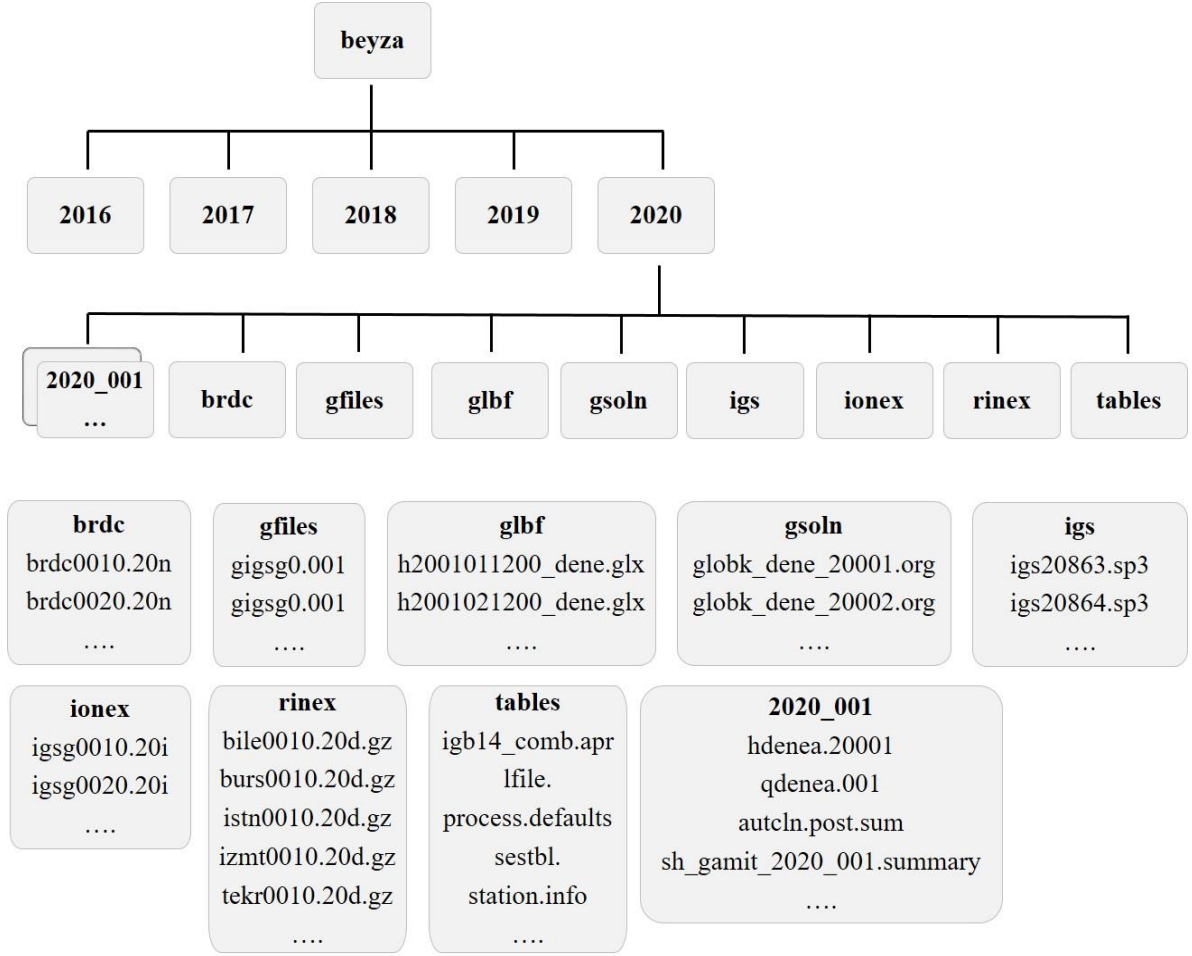
Buradan, aşağıdaki dosyalar indirilir:

- libraries.10.71.tar.gz (Genel kütüphane dosyaları ve alt programlar)
- gamit.10.71.tar.gz (GAMIT kaynak kodları)
- kf.10.71.tar.gz (GLOBK kaynak kodları)
- com.10.71.tar.gz (Komut satırından yazılan alt programlar)
- tables.10.71.tar.gz (Metaveriler ve analiz için gerekli bilgi/tablo içeren dosyalar)
- help.10.71.tar.gz (Yardım dosyaları)
- incremental_updates.*.tar.gz (Güncelleme dosyaları)

Kaynak dizindeki indirilen dosyalar programın kurulacağı dizine kopyalanır. Yazılım yüklenir. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra 'exit' komutuyla yöneticilikten çıkılıp kendi kullanıcı adıyla devam edilir.

Analiz klasöründe bulunan dizinler ve içindeki dosyalar;(Şekil 21)

- brdc: Yayın efemerisi (Broadcast ephemeris) dosyaları
- gfiles: GAMIT formatına çevrilen hassas efemeris (Precise) dosyaları
- glbf: Günlük çözüm dosyaları (binary *.glx)
- gsoln: Referans sistemi tanımlanmış sonuç dosyaları (*.org)
- igs: Hassas efemeris (Precise ephemeris) dosyaları
- ionex: İyonosfer dosyaları
- rinex: GNSS gözlem verileri
- tables: Analiz için gerekli önemli dosyalar.



Şekil 22. Tez çalışması için GAMIT/GLOBK yazılımının kullandığı dosyaların dizin yapısı

Öncelikle çalışma alanı olarak Marmara Bölgesi tercih edildi. Bunun nedeni, nokta hızlarının bu bölgede nispeten büyük olmasıdır. Veriler TUSAGA-Aktif sitesinden 2016-2020 yılları için indirildi. İndirilen veriler 30 snlik RINEX formatındaki verilerdir. Bu verilerle GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak ağ çözümü yapılmış, daha sonra uzun dönemli koordinat zaman serileri oluşturulmuş, bu zaman serilerinden basit lineer regresyon yöntemiyle hız bileşenleri (yatay, düşey) kestirilip TUSAGA-Aktif sitesinden yayınlanan güncel hız değerleri ile olan farklar tespit edilmiştir.

2.2. Uygun İstasyonların Seçimi

Uygulama için Marmara Bölgesindeki 5 istasyon seçilmiştir. İstasyon seçerken boşluklu veri olmamasına önem gösterilmiştir. Aşağıdaki haritada seçilen sabit GPS

istasyonları yer almaktadır. Aşağıdaki tabloda bu sabit istasyonlara ait enlem ve boylam değerleri verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılacak sabit istasyonların enlem ve boylam değerleri

TUSAGA-Aktif İstasyonunun Adı	Şehir	Enlem	Boylam
ISTN	İstanbul	39,9818272	29,7144152
TEKR	Tekirdağ	40,977824	27,5130495
IZMT	İzmit	40,7659292	29,9409341
BURS	Bursa	40,198356	29,0658176
BILE	Bilecik	40,146321	29,9835744



Şekil 23. Çalışmada Kullanılan TUSAGA-Aktif İstasyonları

2.3. GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi

GAMIT/GLOBK yazılımı ile GNSS verilerinin değerlendirme aşamasında öncelikle çalışılacak diskin içine klasör oluşturulur. Daha sonra oluşturulan klasörün içine ölçümlerin yapıldığı yıllara göre sırasıyla yıl klasörleri yaratılır. Oluşturduğumuz her bir klasörün içine “rinex” klasörü açılır ve buraya analiz edilecek tüm gözlem dosyaları atılır. Daha sonraki değerlendirme aşamasına geçmek için, “tables” klasörü programın kurulu olduğu dizinden buraya kopyalanır ve içindeki gerekli dosyalar düzenlenir (Şekil 24).


```

wxrwxrwx 1 root root      70 Mar 12 14:45 atl.grid -> /home/beyza/gg/tables/atl.grid
wxrwxrwx 1 root root      70 Mar 12 14:45 atl.list -> /home/beyza/gg/tables/atl.list
wxrwxrwx 1 root root      82 Mar 12 14:45 atml.list -> /home/beyza/gg/tables/atml.list.2020
wxrwxrwx 1 root root    4236 Mar 12 14:45 autcln.cmd
wxrwxrwx 1 root root      62 Mar 12 14:45 core -> /home/beyza/gg/tables/core
wxrwxrwx 1 root root      68 Mar 12 14:45 dcb.dat -> /home/beyza/gg/tables/dcb.dat
wxrwxrwx 1 root root      72 Mar 12 14:45 eq_rename -> /home/beyza/gg/tables/eq_rename
wxrwxrwx 1 root root      74 Mar 12 14:45 gdetic.dat -> /home/beyza/gg/tables/gdetic.dat
wxrwxrwx 1 root root      70 Mar 12 14:45 gpt.grid -> /home/beyza/gg/tables/gpt.grid
wxrwxrwx 1 root root      86 Mar 12 14:45 guess_rcvant.dat -> /home/beyza/gg/tables/guess_rcvant.dat
wxrwxrwx 1 root root      66 Mar 12 14:45 hi.dat -> /home/beyza/gg/tables/hi.dat
wxrwxrwx 1 root root 1381050 Mar 12 14:45 igb14_comb.apr
wxrwxrwx 1 root root      70 Mar 12 14:45 leap.sec -> /home/beyza/gg/tables/leap.sec
wxrwxrwx 1 root root 1381050 Mar 12 14:45 lfile.
wxrwxrwx 1 root root      88 Mar 12 14:45 luntab. -> /home/beyza/gg/tables/luntab.2020.J2000
wxrwxrwx 1 root root      80 Mar 12 14:45 map.list -> /home/beyza/gg/tables/map.list.2020
wxrwxrwx 1 root root      80 Mar 12 14:45 met.list -> /home/beyza/gg/tables/met.list.2020
wxrwxrwx 1 root root      64 Mar 12 14:45 nbody -> /home/beyza/gg/tables/nbody
wxrwxrwx 1 root root      76 Mar 12 14:45 nutabl. -> /home/beyza/gg/tables/nutabl.2020
wxrwxrwx 1 root root      74 Mar 12 14:45 otlcm.dat -> /home/beyza/gg/tables/otlcm.dat
wxrwxrwx 1 root root      70 Mar 12 14:45 otl.grid -> /home/beyza/gg/tables/otl.grid
wxrwxrwx 1 root root      70 Mar 12 14:45 otl.list -> /home/beyza/gg/tables/otl.list
wxrwxrwx 1 root root      30 Mar 12 14:45 pole. -> ./pole.usno
wxrwxrwx 1 root root 189761 Jan 31 14:00 pole.usno
wxrwxrwx 1 root root      3763 Mar 12 14:45 process.defaults
wxrwxrwx 1 root root      74 Mar 12 14:45 rcvant.dat -> /home/beyza/gg/tables/rcvant.dat
wxrwxrwx 1 root root     10743 Mar 12 14:45 sestbl.
wxrwxrwx 1 root root     1277 Mar 12 14:45 sites.defaults
wxrwxrwx 1 root root     45888 Mar 12 14:45 sittbl.
wxrwxrwx 1 root root      88 Mar 12 14:45 soltab. -> /home/beyza/gg/tables/soltab.2020.J2000
wxrwxrwx 1 root root 6158523 Mar 12 14:45 station.info
wxrwxrwx 1 root root      72 Mar 12 14:45 svnav.dat -> /home/beyza/gg/tables/svnav.dat
wxrwxrwx 1 root root      84 Mar 12 14:45 svx_exclude.dat -> /home/beyza/gg/tables/svx_exclude.dat
wxrwxrwx 1 root root      72 Mar 12 14:45 tform.dat -> /home/beyza/gg/tables/tform.dat
wxrwxrwx 1 root root      28 Mar 12 14:45 ut1. -> ./ut1.usno

```

Şekil 24. Tables Klasörü

“tables” klasöründe bulunan bazı dosyalar şunlardır;

autcln.cmd: Veri temizleme kontrol parametrelerini içerir.

igb14_comb.apr: Çözümde kullanılacak IGS istasyonlarına ait koordinat ve hızların hangi referans sisteminde olduğunu belirtir.

leap.sec: TAI-UTC artık saniye değerlerini içerir.

lfile.: Çözüme giren tüm noktaların yaklaşık koordinatlarını içeren dosya.

luntab.: Hesaplanmış ay efemeris bilgilerini içerir.

soltab.: Hesaplanmış güneş efemeris bilgilerini içerir.

nutabl.: Yer sabit sisteme dönüşüm yapmak için nutasyon parametrelerini içerir.

pole.: Kutup hareketi değerlerini tablo halinde verir.

sestbl.: Analiz stratejilerinin ve kullanılacak modellerin tanımlandığı dosya.

sittbl.: Her noktanın öncül koordinat koşulunun (constraint), yani analiz öncesinde nokta koordinatlarının bilinen hassasiyetinin belirtildiği kontrol dosyası.

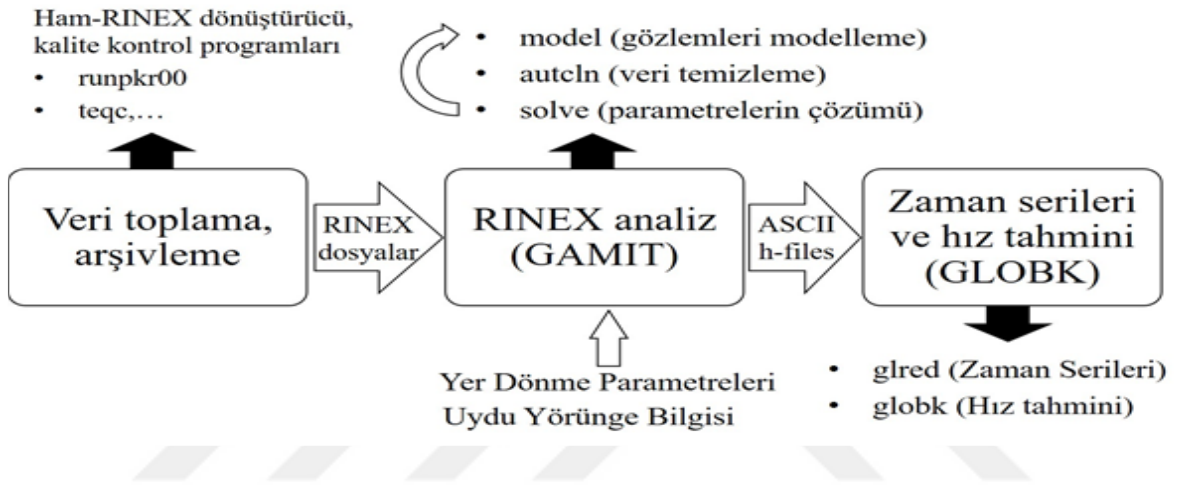
ut1.: Tablo halinde verilen zaman bilgisini içerir.

process.defaults: Analize ait başlama, bitiş, sonuç dosyalarının hangilerinin saklanacağı veya silineceği, disk kullanımı gibi kontrolleri içerir.

sites.defaults: Verilerin hangilerinin analizde kullanılacağı, hangi IGS istasyonlarının internette indirileceği gibi kontrolleri içerir.

station.info: Alıcı, anten marka ve model bilgileri ile anten yüksekliklerinin belirtildiği, en dikkat edilerek düzenleme yapılması gerekli dosyadır.

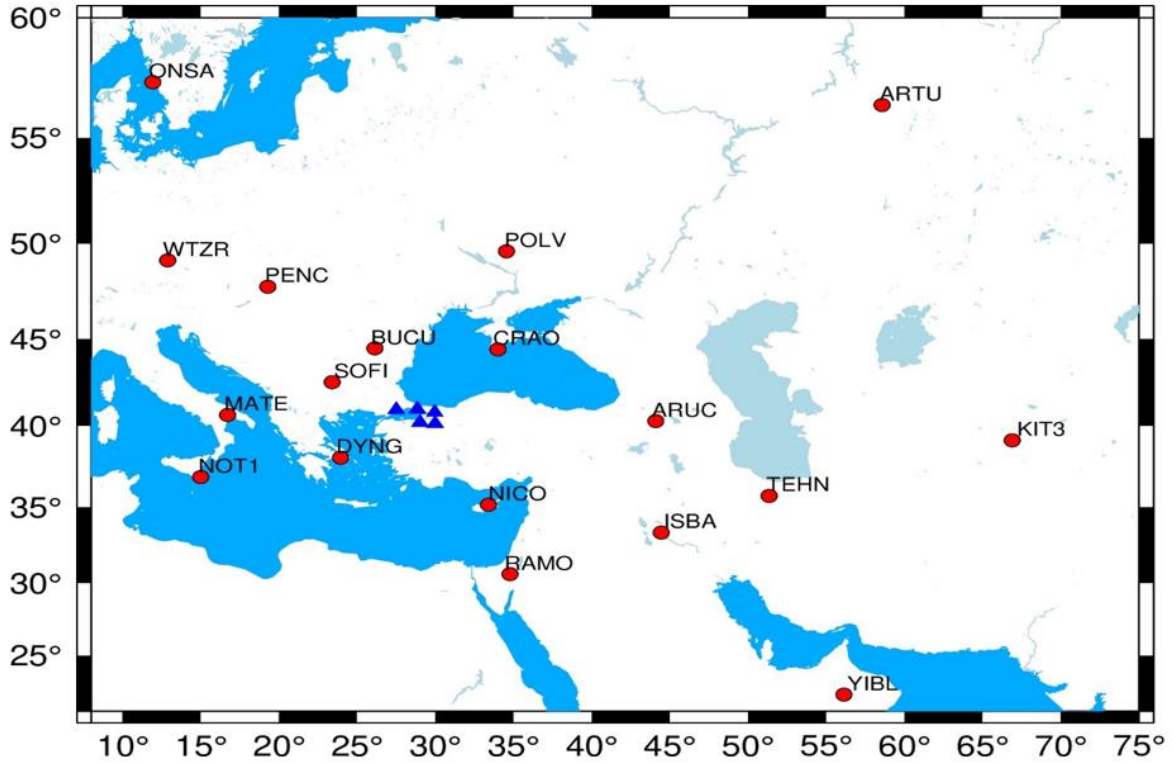
Bu kapsamda, tables klasöründeki sites.defaults ve station.info dosyaları tez için kullanılacak çalışmaya göre düzenlenmiştir. Ayrıca, referans sistemi tanımlamada kullanılacak 18 IGS istasyonu (ITRF2014 referans sisteminde) bölgemize en yakın ve koordinat ve hızı güvenilir istasyonlardan seçilmiştir (Tablo 4) “lfile.” dosyası, programın kurulu olduğu dizinden otomatik olarak bu dizine kopyalanmıştır.



Şekil 25. GAMIT/GLOBK yazılımı işleme algoritması

Tablo 4. Çalışmada kullanılan IGS istasyonları

İstasyon	Ülke-Şehir	İstasyon	Ülke-Şehir
ARTU	Rusya-Arti	SOFI	Bulgaristan-Sofya
ARUC	Ermenistan-Aruch	TEHN	İran-Tehran
BUCU	Romanya-Bucuresti	PENC	Macaristan-Penc
CRAO	Ukrayna-Simeiz	WTZR	Almanya- Bad Koetzting
DYNG	Yunanistan-Dionysos	YIBL	Oman-Yibal
ISBA	Irak-Palestine Cadde		
KIT3	Özbekistan-Kitab		
MATE	İtalya-Matera		
NICO	Güney Kıbrıs-Nicosia		
NOT1	İtalya-Noto		
ONSA	İsveç-Onsola		
POLV	Ukrayna-Poltova		
RAMO	İsrail-Mitzpe Ramon		



Şekil 26. Tezde kullanılan 5 TUSAGA-Aktif istasyonu ve 18 IGS istasyonunun haritadaki konumları

2.4. GAMIT Modülü Sonrası Oluşan Günlük Çözümler

GAMIT modülü sonrasında sabit GPS istasyonlarına ait günlük çözüm dosyaları (h-file) oluşmuştur. Bu dosyalarda çözüme katılan ağın varyans kovaryans matrisi bulunmaktadır. Bu aşamada; faz gözlemlerinin (L_1 ve L_2) çiftli fark alınarak oluşturulmuş, İyonosferden bağımsız lineer kombinasyonlarla ağırlıklandırılmış en küçük kareler çözümleri her gün için oluşturulmuş, 'autcln' ile faz kayıklıkları ve problem taşıyan verilerin tespit ve temizlenmesi sağlanmış, Katı Yer gelgit modelleri ve okyanus yüklemesi modelleri kullanılmıştır. Minimum uydu yükseklik açısı veri değerlendirmesi için 10 derece alınmış ve faz merkezi değişimlerini belirlemek amacıyla alıcı antenlerinde IGS'in azimut ve yükseklik açısına bağlı anten modelleri kullanılmıştır. GAMIT programı günlük çözüm kısmında kullanılan "sestbl." dosyası Şekil 27'de verilmiştir.

```

Processing Agency = DENE
Satellite Constraint = Y ; Y/N
all a e i n w M D Y B 1UDC 1UDS 1UYC 1UYC
1UBC 1UBS ....
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...
Radiation Model for ARC = ECOMC ; BERNE (= ECOM1), ECOM2, ECOMC
Choice of Experiment = BASELINE ; BASELINE/RELAX./ORBIT
Choice of Observable = LC_AUTCLN ;
Station Error = ELEVATION 10 5 ; 1-way L1, a**2 + (b**2)(L**2) in mm, ppm,
default = 10. 0.
AUTCLN reweight = Y ; Release 10.31 equivalent of Use N-file
Decimation Factor = 4 ; FOR SOLVE, default = 1
Ionospheric Constraints = 0.0 mm + 8.00 ppm
Ambiguity resolution WL = 0.15 0.15 1000. 99. 15000. ; used for LC_HELP only
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 = 1 ; 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)
Elevation Cutoff = 0 ; default 0 to use value in autcln.cmd
Atmospheric gradients = Y ; Yes/Np (default No)
Number gradients = 2 ; number of gradient parameters per day (NS or ES);
default 1
Met obs source = UFL GPT 50 ; hierarchical list: RNX ufile GPT/STP [humid
value];
Output met = Y ; write the a priori met values to a z-file (Y/N)
Use met.list = N
Use met.grid = N
DMap = VMF1 ; GMF(default)/NMFH/VMF1
WMap = VMF1 ; GMF(default)/NMFH/VMF1
Use map.list = N
Use map.grid = Y ; VMF1 grid file with mapping functions and ZHD
Yaw Model = Y ; Y/N default = Y
Reference System for ARC = EGR08 ;
WGS84/WGS72/MERIT/IGS92(default)/EGM96
Inertial frame = J2000
Inertial Reference System = IAU0A; Precession model (IAU76 , IAU0A (default)
Tides applied = 31 ; Binary coded: (31 default ITRF2014, 79 default

```

Şekil 27. Çalışmada kullanılan sestbl dosyası

2.5. GAMIT Günlük Çözüm Sonuçlarının İrdelenmesi

Her bir gün klasöründe oluşan GAMIT çözüm özet dosyası (Şekil 28) incelenerek yapılan analizin doğruluğu hakkında bilgi sahibi olunur. Bu aşama ne kadar doğru olursa,

GLOBK aşamasındaki koordinat belirlenmesi, zaman serileri ve hız kestirimi o ölçüde doğru olacaktır.

```

Input options -s 2020 200 366 -expt dene -orbit IGSF -eops bull_b -yrex -h -ion -
update_1 N
Processing 2020 239 GPS week 2120 3 Using node: jeoserver2 Started at:
21_11_10_01:45:09
Processing directory: /mnt/sdd1/2020/dene/2020_239
Disk Usage: 2.69792e+06 Free 1.11753e+06 Mbyte. Used 71%
Number of stations used 20 Total xfiles 20
Postfit RMS rms, total and by satellite
RMS IT Site All 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 15 16 17
18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
RMS 16 ALL 9.4 92 95 93 89 102 105 80 114 85 96 99 76 82 97 114
100 81 97 93 92 85 0 80 84 113 90 79 78 76 117 112
Best and Worst two sites:
RMS 16 ONSA 5.7 4 6 5 4 8 6 4 8 5 6 5 4 5 7 6 5 6
5 6 6 4 0 4 5 7 4 6 5 4 7 7
RMS 16 TEHN 6.9 7 6 7 7 7 8 5 8 5 6 8 6 8 8 9 5 7
5 6 8 7 0 6 6 7 8 6 6 5 9 7
RMS 16 NICO 12.9 14 14 15 13 12 18 11 13 13 14 13 7 9 10 18
14 7 10 14 10 11 0 8 6 21 10 11 7 11 16 18
RMS 16 BURS 13.1 13 14 13 14 14 12 11 15 13 15 13 8 11 14 13
12 11 15 14 14 12 0 12 12 15 10 13 11 11 17 14

Double difference statistics
Prefit nrms: 0.13191E+01 Postfit nrms: 0.18353E+00
Prefit nrms: 0.13154E+01 Postfit nrms: 0.18838E+00
Prefit nrms: 0.13191E+01 Postfit nrms: 0.18347E+00
Prefit nrms: 0.13154E+01 Postfit nrms: 0.18831E+00
Number of double differences: 92612
Phase ambiguities (Total WL-fixed NL-fixed): 551 536 509 AUTCLN (Total
Expected) 551 551
Phase ambiguities WL fixed 97.3% NL fixed 92.4%
Processing 2020 239 GPS week 2120 3 Using node: jeoserver2 Finished at:
21_11_10_02:02:30

```

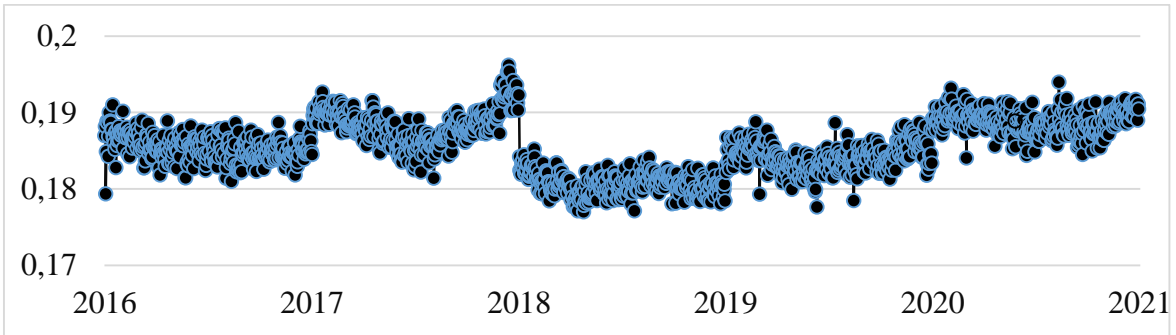
Şekil 28. GAMIT çözüm özet dosyası (sh_gamit_2020_239.summary)

GAMIT çözüm özet dosyalarında dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır (Herring et al., 2018);

- Günlük çözüme dahil edilmiş istasyon sayısı kontrol edilir. Bir istasyon verisi o gün için kötü veya kod/faz gözlemleri yeterli sayıda değil ise çözümden çıkarılmış

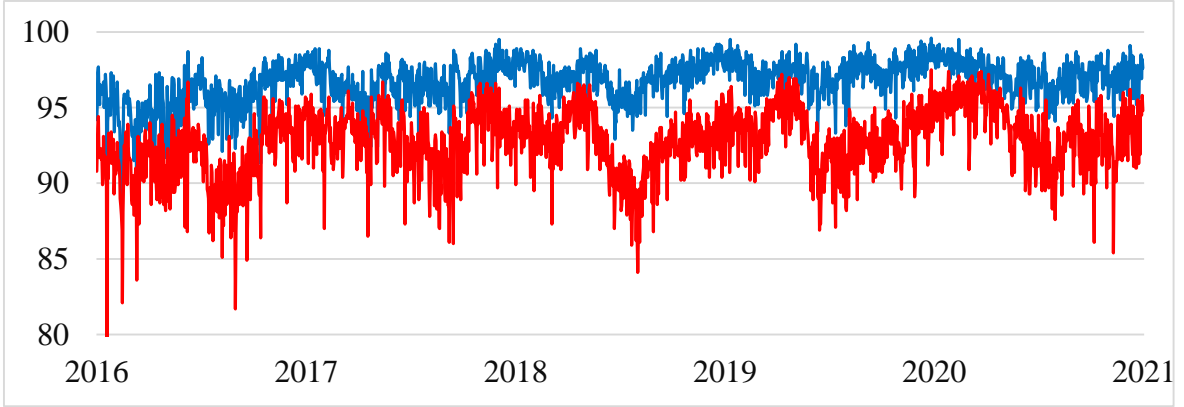
olabilir. Şekil 28’de verilen örnekte, 26.08.2020 (Yılın günü: 239) tarihli günlük çözümde, çözüme giren 20 istasyonun tümünün hesaplamada kullanıldığı, çıkartılan istasyon olmadığı görülmektedir.

- b. Tüm çözüme ait ortalama, en küçük ve en büyük RMS değerlerine sahip 2’şer istasyona ait RMS’ler incelenir. Söz konusu RMS değerlerinin genelde 3-10 mm. civarında olması beklenir. Tüm uydu gözlemleri için “0” değeri mevcutsa o istasyon çözümden çıkartılmış demektir. Bu durum genelde “lfile.” dosyasındaki o istasyona ilişkin yaklaşık konumun yeterli doğrulukta olmadığı ya da mevcut verisinin bozuk olduğu anlamına gelir. Şekil 28’de verilen örnekte, en iyi RMS değerine sahip istasyonlar ONSA ve TEHN iken, en kötü istasyonlar ise NICO ve BURS olduğu görülmektedir.
- c. Çiftli farklar istatistiklerinde (Double difference statistics); çözümün normalize edilmiş Karesel Ortalama Hata (nrms) değerlerini gösteren satırlar yer alır. Burada, “Postfit nrms” değerlerinin 0.2 ve altında olması beklenir. Şekil 28’de verilen örnekte kırmızı çerçeve içindeki bu değer “0.18831”dir. Tez kapsamında yapılan tüm günlere ait değer grafiği ise Şekil 29’da verilmiştir.



Şekil 29. “Postfit nrms” değerleri

- d. Faz belirsizliği ya da faz başlangıcı belirsizliği (Ambiguity) adı verilen ve tam sayı ile ifade edilen değerlerin çözüm oranlarının %90 seviyelerinde olması beklenir. Çıkan sonuç değerleri WL (Wide Lane) için yüzde 97.3, NL (Narrow Line) için yüzde 92.4’dir. Tez kapsamında yapılan tüm günlere ait Faz Belirsizliği çözüm oranları ise Şekil 30’da verilmiştir.



Şekil 30. Faz Belirsizliği çözüm oranları (Mavi renkli: WL (Wide Lane), Kırmızı Renkli: NL (Narrow Line))

2.6. Günlük Zaman Serilerinin Oluşturulması

GAMIT modülü ile oluşan günlük çözüm dosyalarında (h-file) gevşek koşullu çözümler üretilmiştir. Bu aşamada henüz datum tanımlaması hassas olarak yapılmamıştır. Bunun için günlük çözümler oluştuktan sonra, analize dahil edilen IGS noktalarının koordinat ve hızları kullanılarak 6 parametrelilik (3 Öteleme, 3 Dönüklük) Helmert dönüşümü ile istenen bir referans sisteminde (Örneğin ITRF14) datum dönüşümü yapılır ('glorg' modülü). Bu işleme Referans Sistemi Tanımlaması denmektedir. Dönüşümde aynı koordinat sistemlerinde dönüşüm yapıldığı için ölçek faktörü göz ardı edilmiştir. Datum dönüşümü sayesinde kendi istasyon noktalarımızın konumları hesaplanmaktadır. Her bir gün için hesaplanan koordinatları kullanarak da 'glred' modülüyle koordinat zaman serileri oluşturulur. Referans Sistemi Tanımlamasında kullanılan kontrol dosyaları (glorg.cmd ve globk.cmd) Tablo 5 ve 7'de verilmiştir.

Tablo 5. Referans sistemi tanımlamasında kullanılan kontrol dosyası (glorg.cmd)

```
* GLORG command file
* Parameters to be estimated
pos_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot
VEL rate_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot
* Controls for removing sites from the stabilization
stab_it 4 0.8 3.0
* A priori coordinates:
apr_file ./igb14_comb.apr
* List of stabilization sites:
stab_site clear
stab_site artu aruc bucu crao dyng isba kit3 mate nico
stab_site not1 onsa penc polv ramo sofi tehn wtzr yibl
```

Tabloda “apr_file” ile belirtilen satırda, referans sistemi tanımlamasında kullanılacak koordinat ve hız dosyasının ismi belirtilmektedir. En güncel ITRF sürümü olan ITRF2014 datumu tercih edildiği için, yazılımın kurulu olduğu dizinde mevcut olan “igb14_comb.apr” dosyasından yararlanılmıştır. Bu dosya, IGS istasyonlarının ITRF2014 referans sisteminde ve 2010.0 referans epoğundaki kartezyen koordinat ve hızları ile standart sapmalarını içermektedir.

Tablo 6. Referans sistemi tanımlamasında kullanılan “igb14_comb.apr” dosya içeriği

```
# Combined ITRF/IGS/EPN/NGS solutions expressed in updated IGS realization of
ITRF2014
# Site      X (m)      Y (m)      Z (m)      vX (m/yr) vY (m/yr) vZ (m/yr) Epoch
sigX (m) sigY (m) sigZ (m) sigvX sigvY sigvZ Notes
+REFERENCE_FRAME IGB14
ARTU_GPS 1843956.59651 3016203.15669 5291261.75246 -0.02421 0.00884
0.00354 2010.0 0.00002 0.00003 0.00004 0.00000 0.00000 0.00001 12362M001
from IGB14
ARUC_GPS 3500416.88858 3390432.62672 4103027.53099 -0.02698 0.01397
0.01326 2010.0 0.00122 0.00122 0.00129 0.00013 0.00013 0.00014 12312M002
from IGS21P36
```

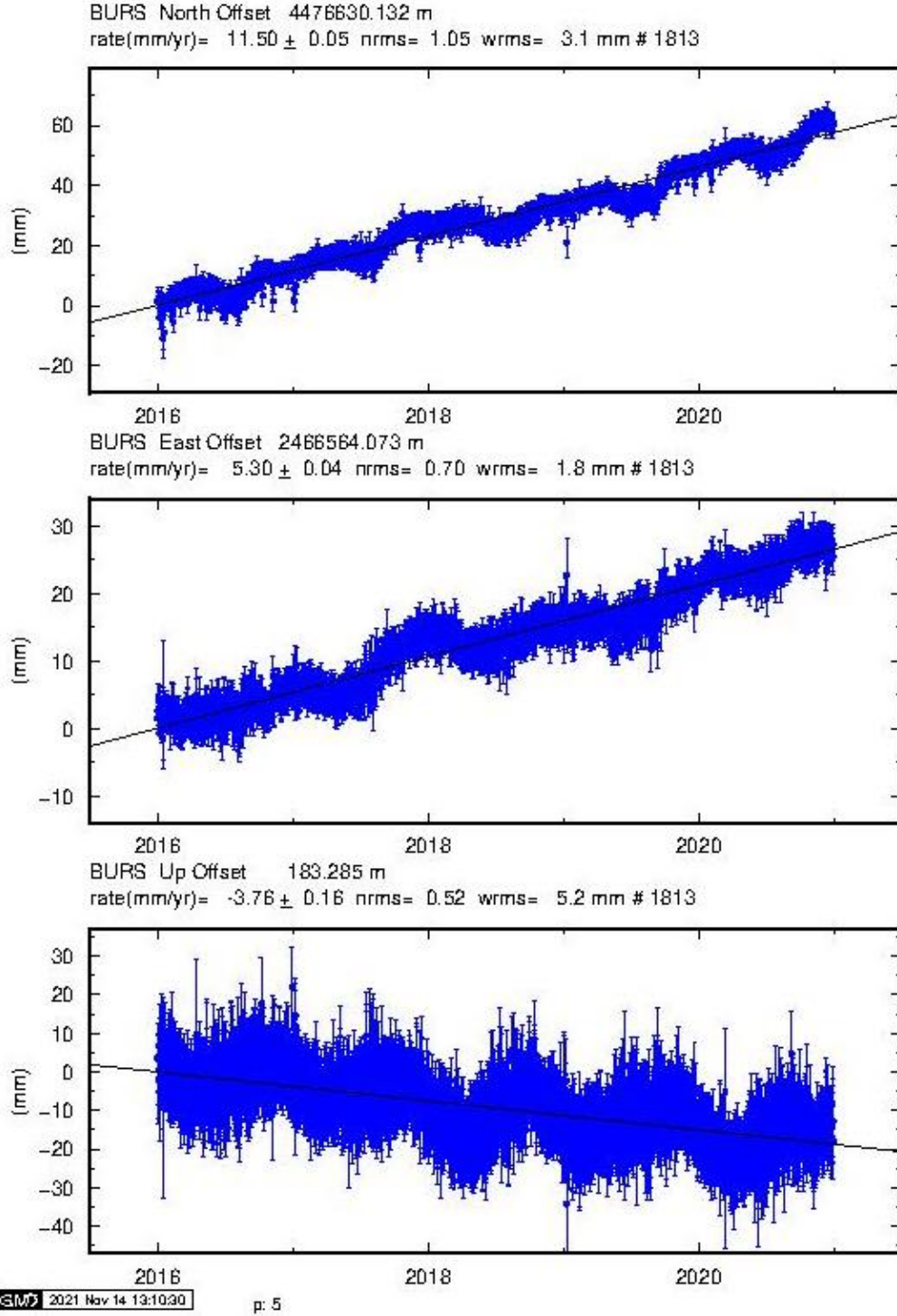

Tablo 7. Referans sistemi tanımlamasında kullanılan kontrol dosyası (globk.cmd)

```

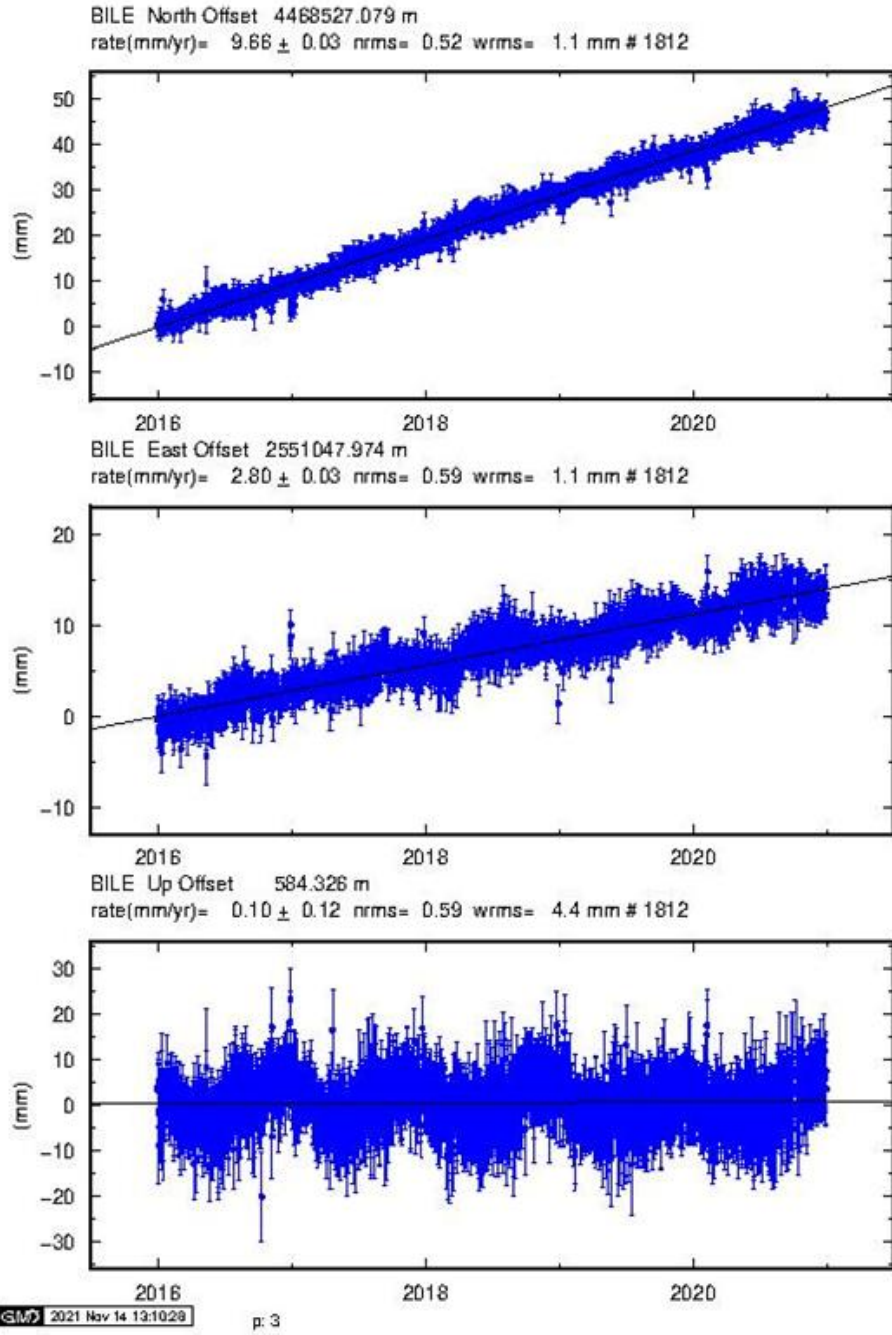
* GLOBK command file
***** Scratch files *****
VEL com_file @.com
srt_file @.srt
srt_dir +1
eq_file ./igb14_comb.eq
eq_file ./kaba_hatalar.eq
VEL sol_file @.sol
***** Filtering input data *****
max_chii 100 3 100
***** Station coordinate file *****
apr_file ./igb14_comb.apr
***** Print commands *****
crt_opt NOPR
prt_opt NOPR GDLF CMDS
org_opt PSUM CMDS GDLF FIXA RNRP
VEL org_opt ERAS PSUM CMDS GDLF VSUM FIXA RNRP
VEL org_out globk_vel.org
***** Selecting and constraining parameters to be estimated*****
# Station coordinates and velocities
apr_site all 10 10 10 0 0 0
VEL apr_site all 10 10 10 1 1 1
# Earth rotation parameters
apr_wob 10 10 1 1
apr_ut1 10 1
VEL apr_wob 10 10 10 10
VEL apr_ut1 10 10
VEL mar_wob 3650 3650 0 0
VEL mar_ut1 365 0
# Translation a priori constraints:
apr_tran 1 1 1 0 0 0
VEL apr_tran 1 1 1 1 1 1
VEL mar_tran 3.65 3.65 3.65 0 0 0
* Correct the pole tide when not compatible with GAMIT
app_ptid all
***** Invoke glorg *****
org_cmd glorg.cmd
***** Write out a combined H-file *****
# Can substitute your analysis name for 'COMB' in the file name below
COMB out_glb H-----_COMB.GLX
# out_glb H-----_COMB.GLX
VEL out_glb @.GLX
***** Remove scratch files for repeatability runs *****
del_scr yes
VEL del_scr no

```

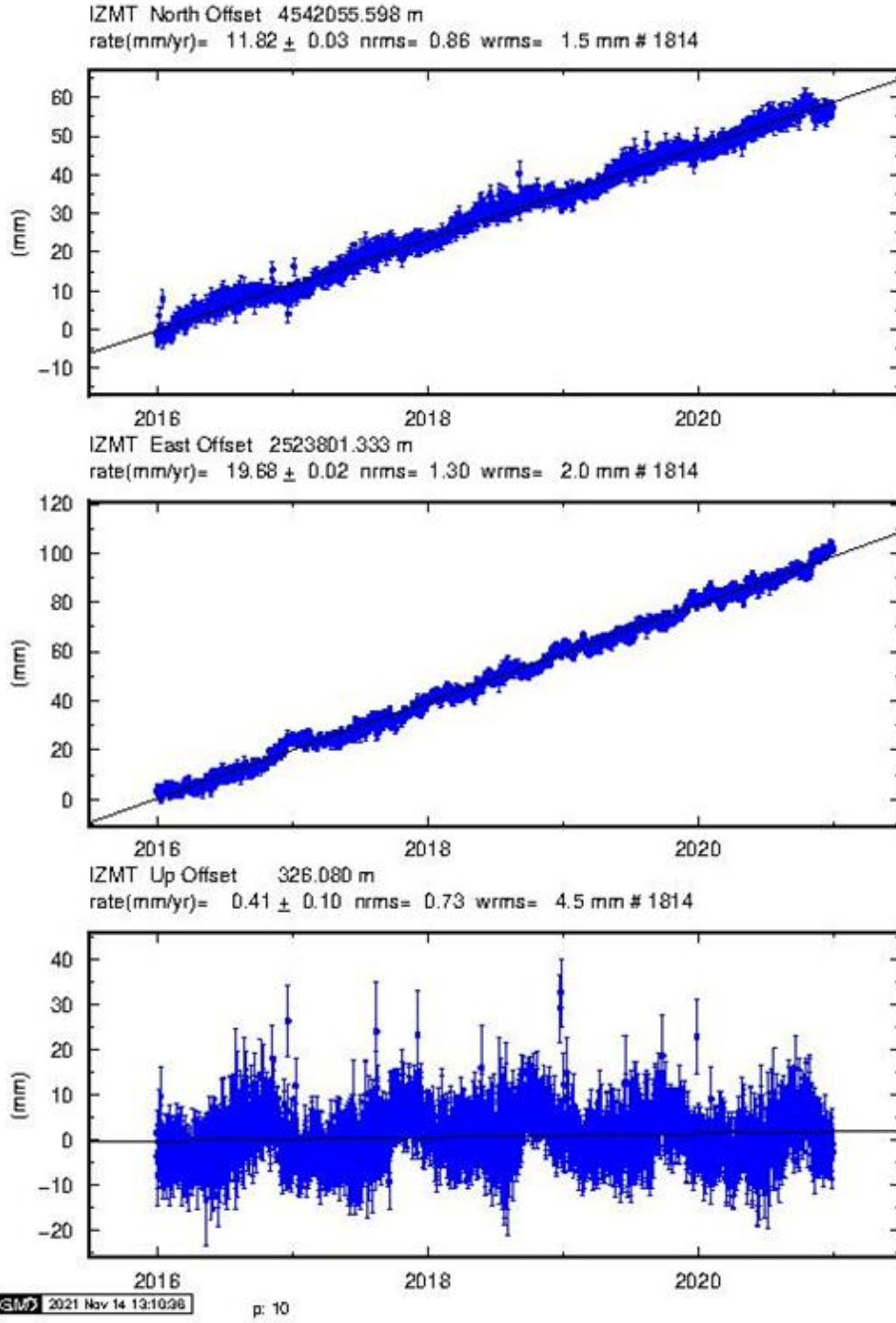
Bu çalışmada, 5 TUSAGA-Aktif istasyonuna ait 2016-2020 yılları arasındaki GPS verileri, Türkiye çevresinde seçilen 18 IGS istasyon verileri kullanılarak günlük analiz edilmiş ve koordinat zaman serileri oluşturulmuştur.



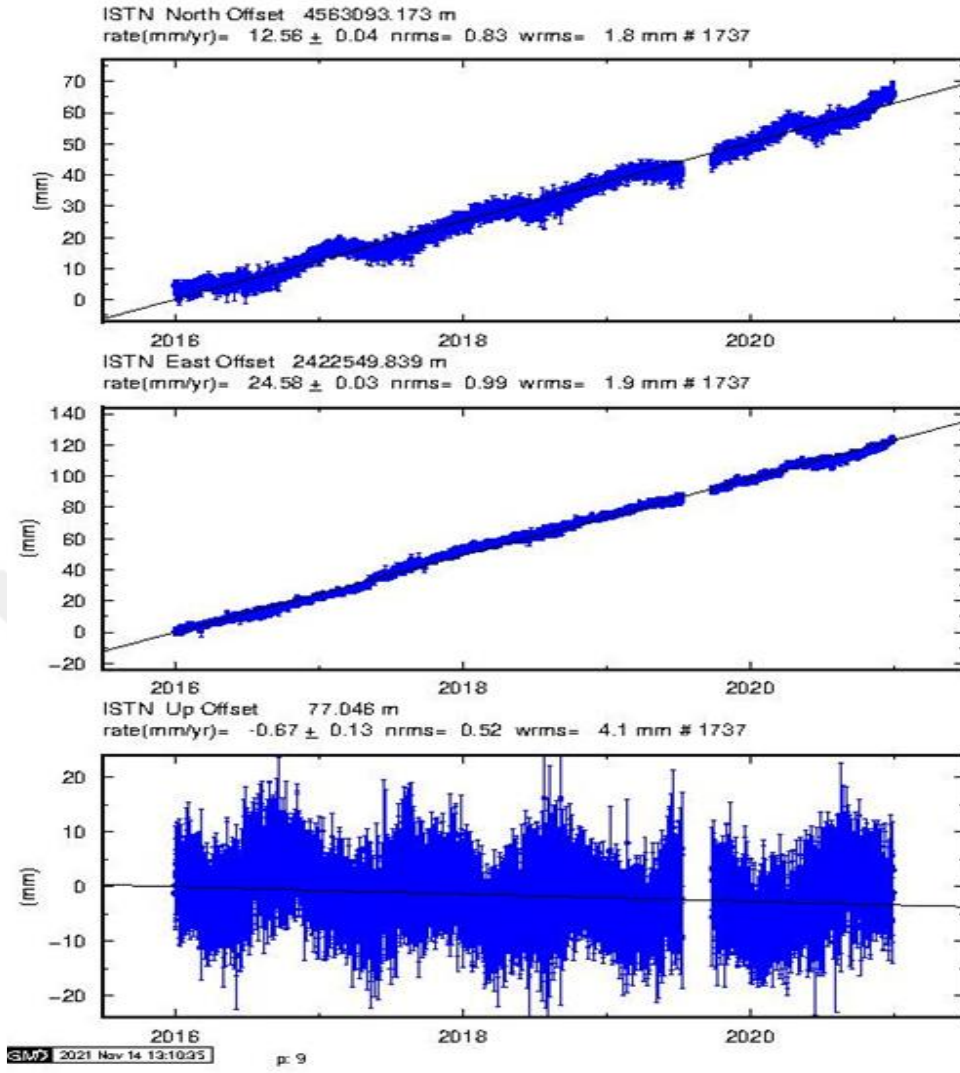
Şekil 31. Bursa (BURS) günlük koordinat zaman serisi



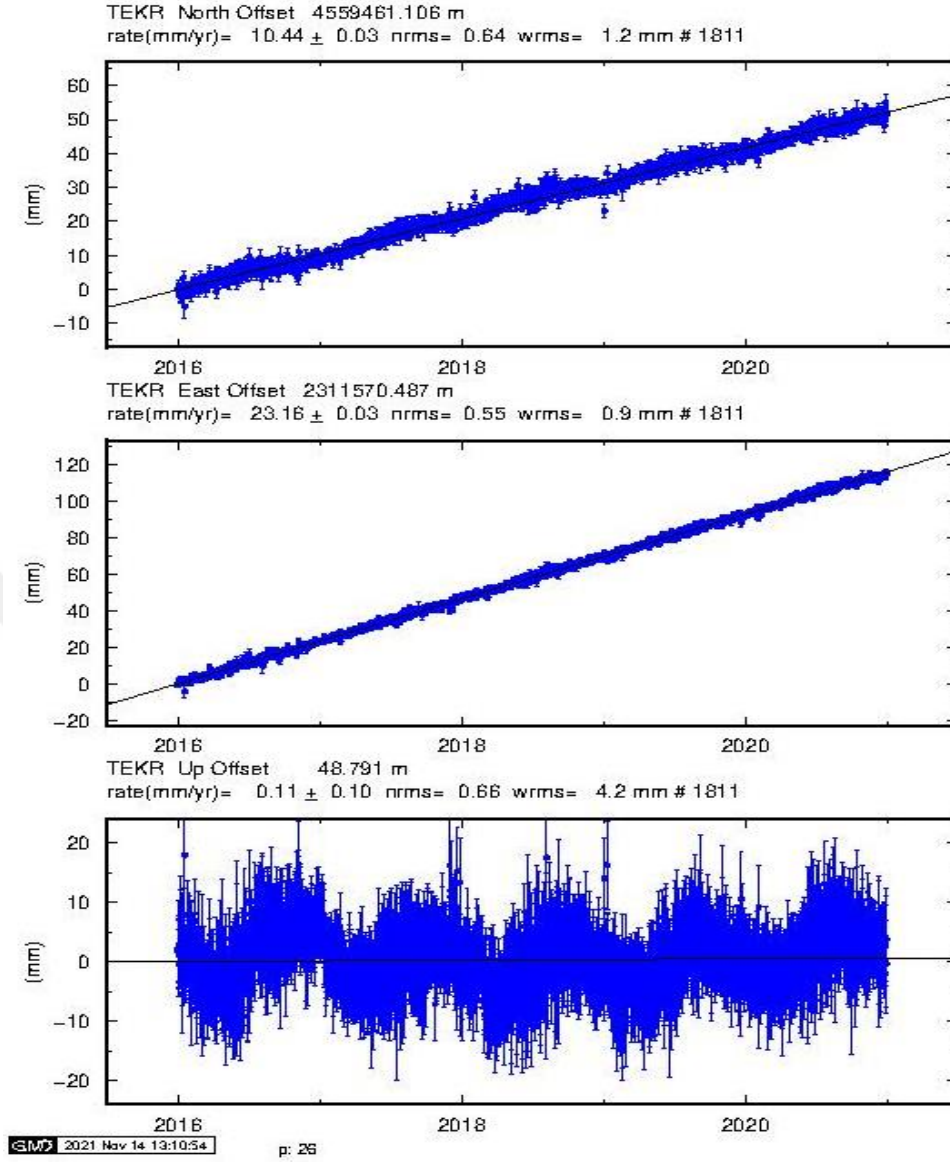
Şekil 32. Bilecik (BILE) günlük koordinat zaman serisi



Şekil 33. İzmit (IZMT) günlük koordinat zaman serisi



Şekil 34. İstanbul (ISTN) günlük koordinat zaman serisi



Şekil 35. Tekirdağ (TEKR) günlük koordinat zaman serisi

2.7. Zaman Serilerindeki Kaba Hataların Bulunup Çıkarılması


İstasyonlara ait olan günlük koordinat zaman serileri oluşturulduktan sonra bu zaman serilerindeki kaba hatalı ölçü olup olmadığına bakılması gerekir. Bir sonraki uygulamanın aşaması budur. Yukarıda detaylı bir şekilde kaba hataların tespit edilmesini sağlayan testlerden bahsedilmiş olup en çok kullanılan test pope testi kullanılarak kaba hatalı ölçüler giderinceye kadar bu işlem yapılır. Eğer bu işlem yapılmazsa ve kaba hatalı ölçülerle işleme devam edilirse doğal olarak yanlış bir şekilde hız kestirilmesi yapılacaktır.

2.7.1. Koordinat Zaman Serisindeki Hataların Kaynakları

Kaba hatalar yani uyumsuz ölçülerin nedenleri:

- ✓ GPS/GNSS verisinin kalitesizliği,
- ✓ Çok yolluluk (Multipath), anten çevresinde sinyal karıştırmasının varlığı,
- ✓ Alıcı veya antendeki donanım ve yazılım hataları,
- ✓ Atmosferik koşullar (troposfer veya iyonosfer),
- ✓ Referans sisteminin tanımlanamamasıdır.

Günlük çözümlerin birleştirilmesiyle elde edilen zaman serilerinde kaba hatalı ölçümler olduğu görülmüştür. Söz konusu kaba hatalı ölçüler Şekil 36'da görsel olarak görülmektedir.



rename BILE	BILE_XCL	2017	12	23	00	00	2017	12	23	24
00 ! tsview edit										
rename BILE	BILE_XCL	2018	12	25	00	00	2018	12	25	24
00 ! tsview edit										
rename BILE	BILE_XCL	2020	1	6	00	00	2020	1	6	24
00 ! tsview edit										
rename BURS	BURS_XCL	2016	1	20	00	00	2016	1	20	24
00 ! tsview edit										
rename BURS	BURS_XCL	2016	12	29	00	00	2016	12	29	24
00 ! tsview edit										
rename BURS	BURS_XCL	2016	12	30	00	00	2016	12	30	24
00 ! tsview edit										
rename IZMT	IZMT_XCL	2016	12	16	00	00	2016	12	16	24
00 ! tsview edit										
rename IZMT	IZMT_XCL	2018	12	26	00	00	2018	12	26	24
00 ! tsview edit										
rename IZMT	IZMT_XCL	2020	1	2	00	00	2020	1	2	24
00 ! tsview edit										
rename IZMT	IZMT_XCL	2020	11	9	00	00	2020	11	9	24
00 ! tsview edit										
rename BUCU	BUCU_XCL	2020	06	28	00	00	2020	06	28	24
00 ! tsview edit										
rename BUCU	BUCU_XCL	2020	10	6	00	00	2020	10	6	24
00 ! tsview edit										
rename KIT3	KIT3_XCL	2019	1	20	00	00	2019	1	20	24
00 ! tsview edit										
rename KIT3	KIT3_XCL	2020	1	6	00	00	2020	1	6	24
00 ! tsview edit										
rename KIT3	KIT3_XCL	2020	2	12	00	00	2020	2	12	24

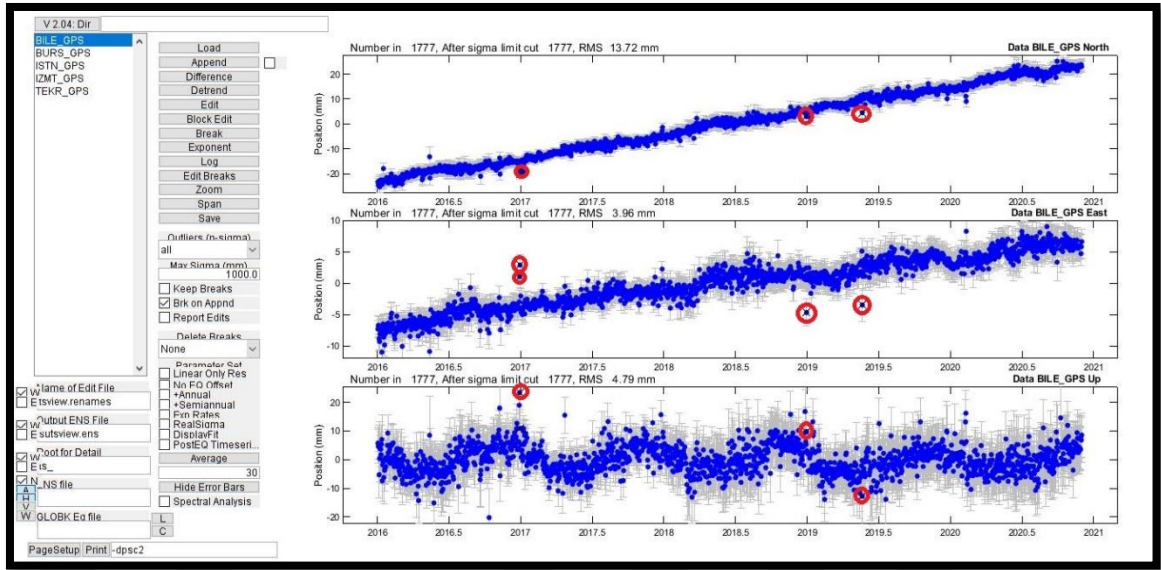
Şekil 36. SGPS zaman serilerindeki kaba hatalı ölçüler

Şekil 36'nın devamı

```

00 ! tsview edit
  rename KIT3      KIT3_XCL    2020  5  5 00 00 2020  5  5
24 00 ! tsview edit
  rename TEHN      TEHN_XCL    2016  5 24 00 00 2016  5 24
24 00 ! tsview edit
  rename TEHN      TEHN_XCL    2020  1 19 00 00 2020  1 19
24 00 ! tsview edit
  rename TEHN      TEHN_XCL    2020  1 23 00 00 2020  1 23
24 00 ! tsview edit
  rename TEHN      TEHN_XCL    2018  1 28 00 00 2018  1 30
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2018 10  2 00 00 2018 10  9
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2018 10 12 00 00 2018 10 24
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2018  8 20 00 00 2018  8 26
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2018  3 22 00 00 2018  3 30
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2018  5  3 00 00 2018  5  6
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2018  8 14 00 00 2018  8 15
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2018  6 15 00 00 2018  6 16
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2018  6 20 00 00 2018  6 26
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2018  9 11 00 00 2018  9 13
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2018  9 20 00 00 2018  9 24
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2018 10 28 00 00 2018 10 28
24 00 ! tsview edit
  rename NOT1      NOT1_XCL    2017 10 11 00 00 2017 10 11
24 00 ! tsview edit

```

Şekil 37. Bilecik (BILE) istasyonu günlük zaman serilerindeki kaba hatalar (Kırmızı daireyle alınan noktalar)

Kaba hataları temizlemek için kullanılacak yöntemler;

1. Baarda
2. Pope
3. t testleridir.

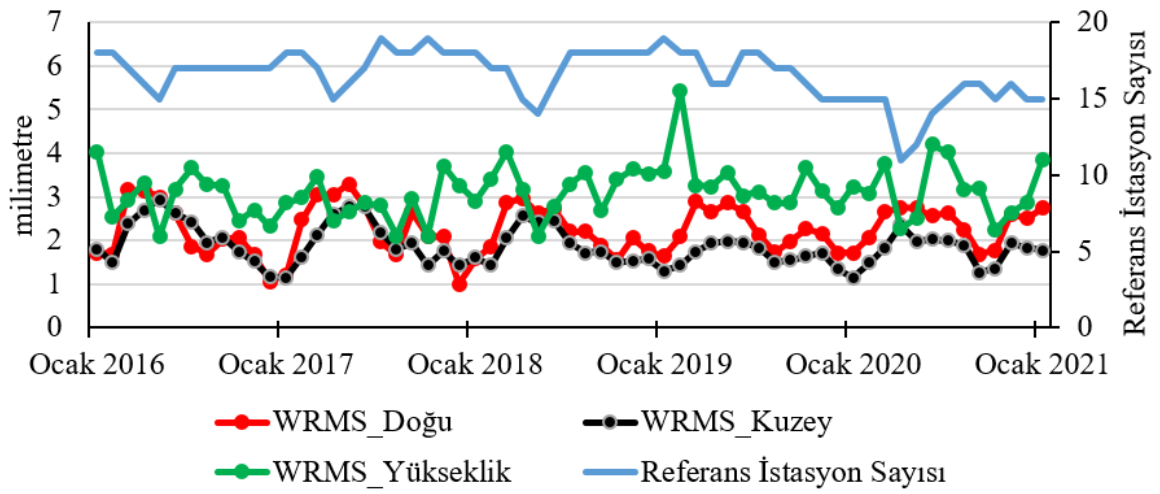
Baarda testinde öncül hatalar biliniyordu. Jeodezik koordinat hataları tam kestirilemediğinden pope testini kullanmak daha uygun olacaktır. Oluşturulan koordinat zaman serileri matlab programında yazılan bir dengeleme programıyla doğrusal regresyon ve dolaylı ölçü tekniği kullanılarak analiz edilip kaba hatalar tespit edilmiştir. Bu şekilde Pope testiyle kaba hatalı ölçüler temizlenip analiz aşamasına uygun hale getirilir.

Bu işlemdeki önemli husus, ölçülerin hepsini teker teker bu teste tabi tutmaktır. Kaba hatalı ölçü bulunup atıldıktan sonra tekrar dengelemeye sokulur. Bu şekilde, kaba hatalar tamamen temizleninceye kadar işlem tekrarlanır.’’sh_gfred’’ komutuyla kaba hatalı günler için tekrar çalıştırılır ve sonrasında yapılan işlemler tekrar edilir.

2.8. Aylık Zaman Serilerinin Oluşturulması

Kaba hatalardan arındırılan günlük çözümler koordinat ve hız belirlemek amacıyla haftalık veya aylık olacak şekilde birleştirilir ve oluşan bu yeni birleşik zaman serileri yeniden kontrol edilir. Referans sistemi tanımlaması yapılmış günlük koordinat çözüm

dosyalarında olduğu gibi burada da oluşan “.org” uzantılı sonuç dosyalarında karesel ortalama hata değerleri kontrol edilir. Bu çalışmada, 2016-2020 yılları arasındaki 1827 adet günlük çözüm, aylık olarak birleştirilerek nihai konum ve hız tanımlamasında kullanılacak 61 çözüme indirgenmiştir. Şekil 38’de aylık birleştirme kapsamında yapılan çözümlerin kalitesini gösteren ağırlıklı karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Ayrıca ikinci eksen, birleştirmelerde kullanılan referans istasyonu sayıları da belirtilmiştir. İstasyon bazında koordinat zaman serilerine ait karesel ortalama hata değerleri ise Tablo 8’de görülmektedir.

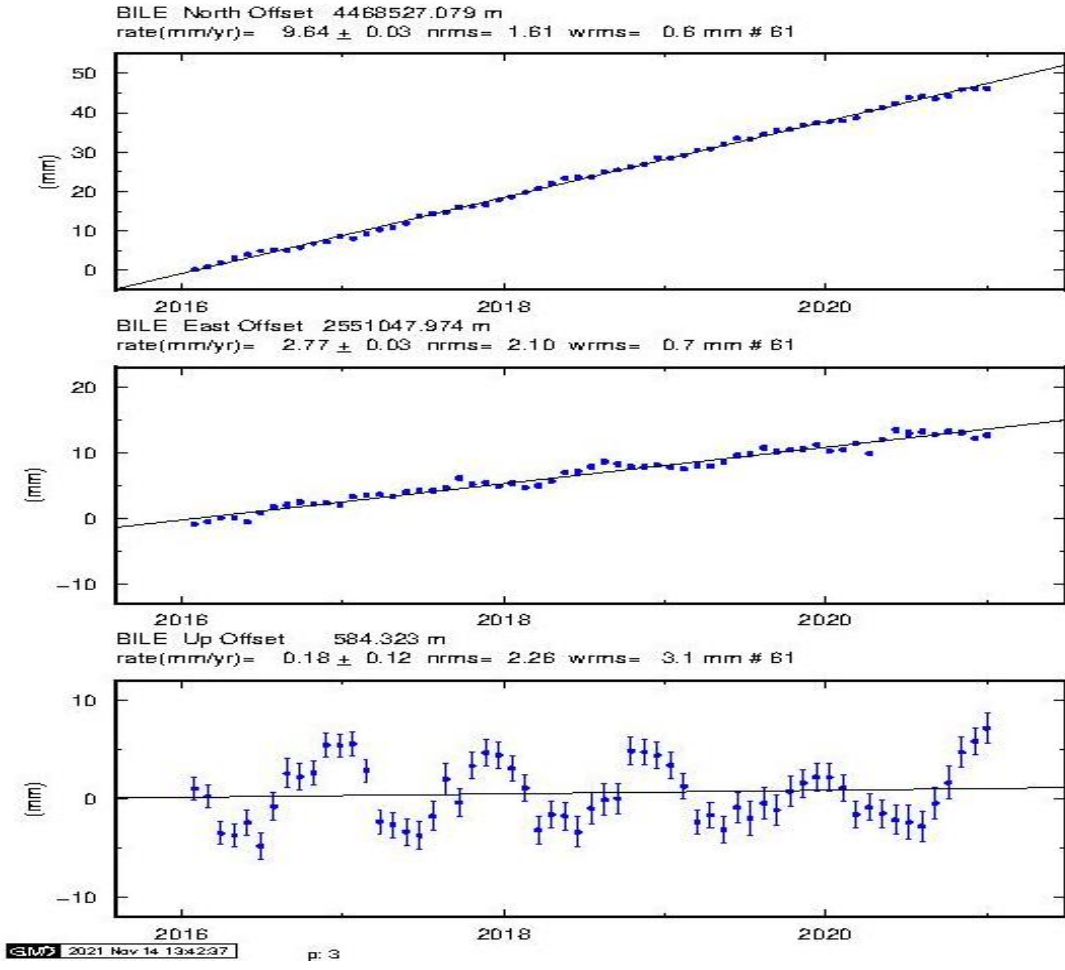


Şekil 38. Aylık birleştirme çözümlerinin ağırlıklı karesel ortalama hata (WRMS) değerleri.

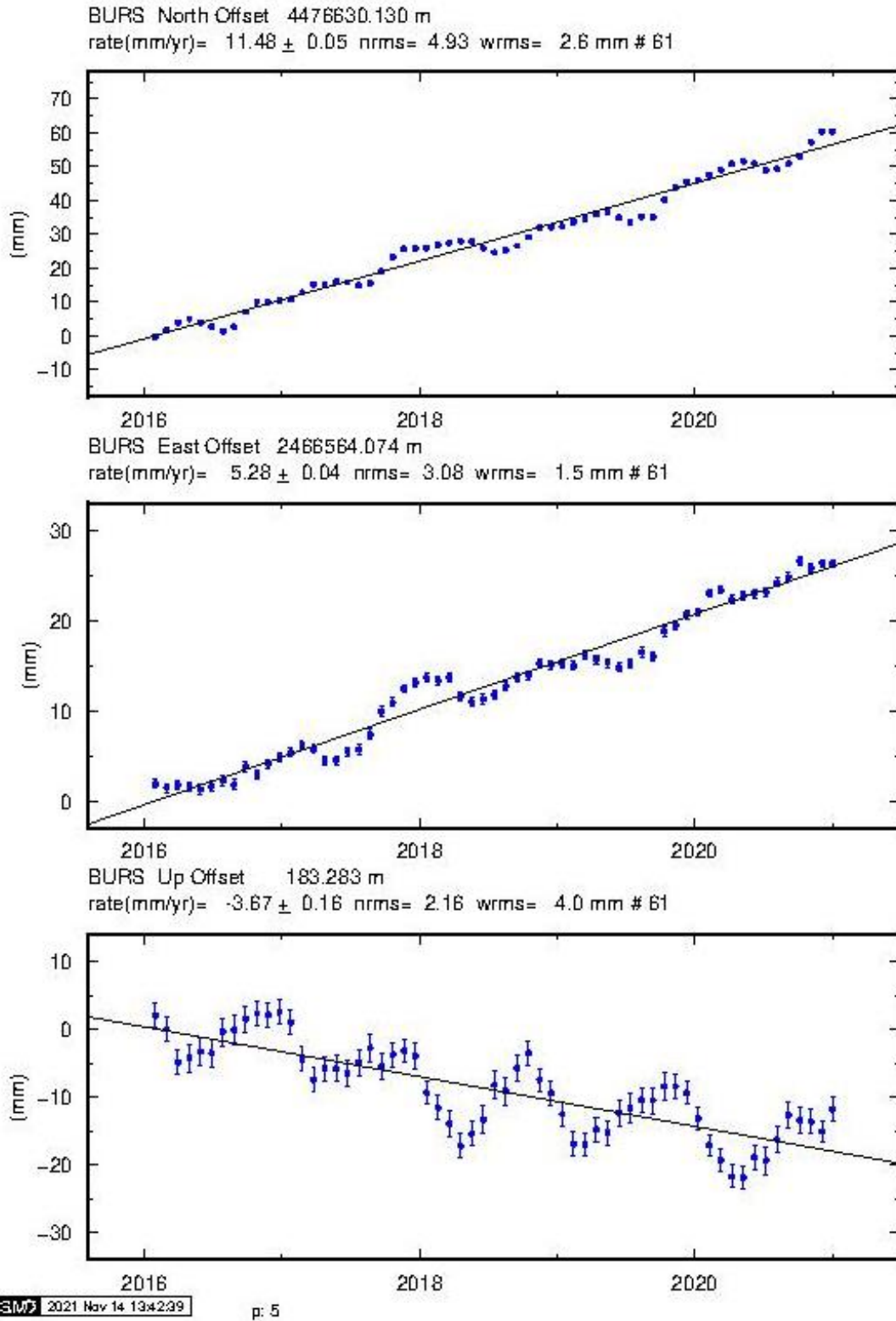
Tablo 8. İstasyon bazında zaman serilerine ait karesel ortalama hata değerleri

	WRMS_Kuzey (mm)	WRMS_Doğu (mm)	WRMS_Up (mm)
BILE	0.6	0.7	3.1
BURS	2.6	1.5	4.0
ISTN	1.6	1.7	3.0
IZMT	1.2	1.6	3.4
TEKR	0.8	0.5	3.3

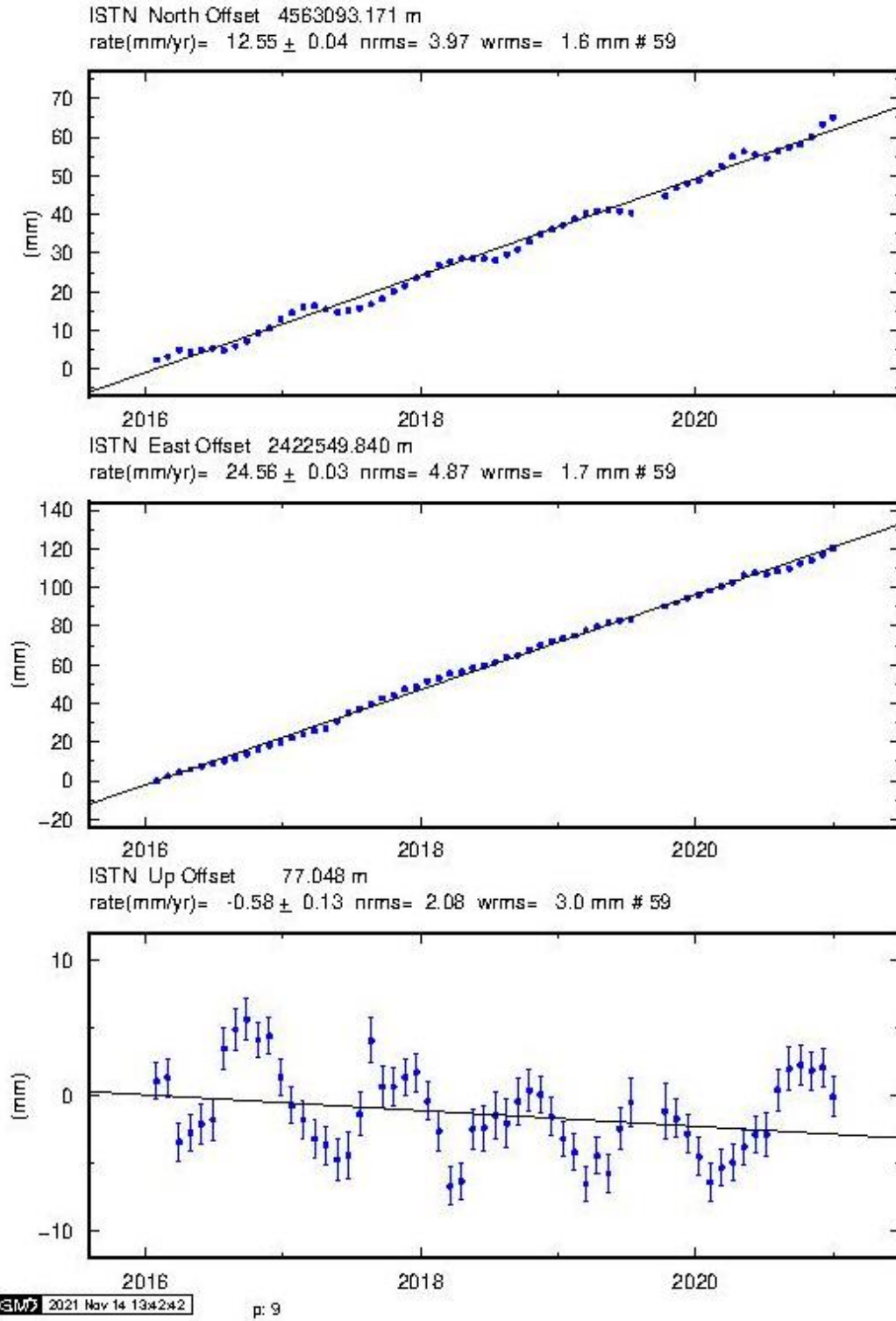
Sırasıyla aylık koordinat zaman serileri, yıllık trendli ve yıllık trend çıkarılmış olarak görülmektedir.



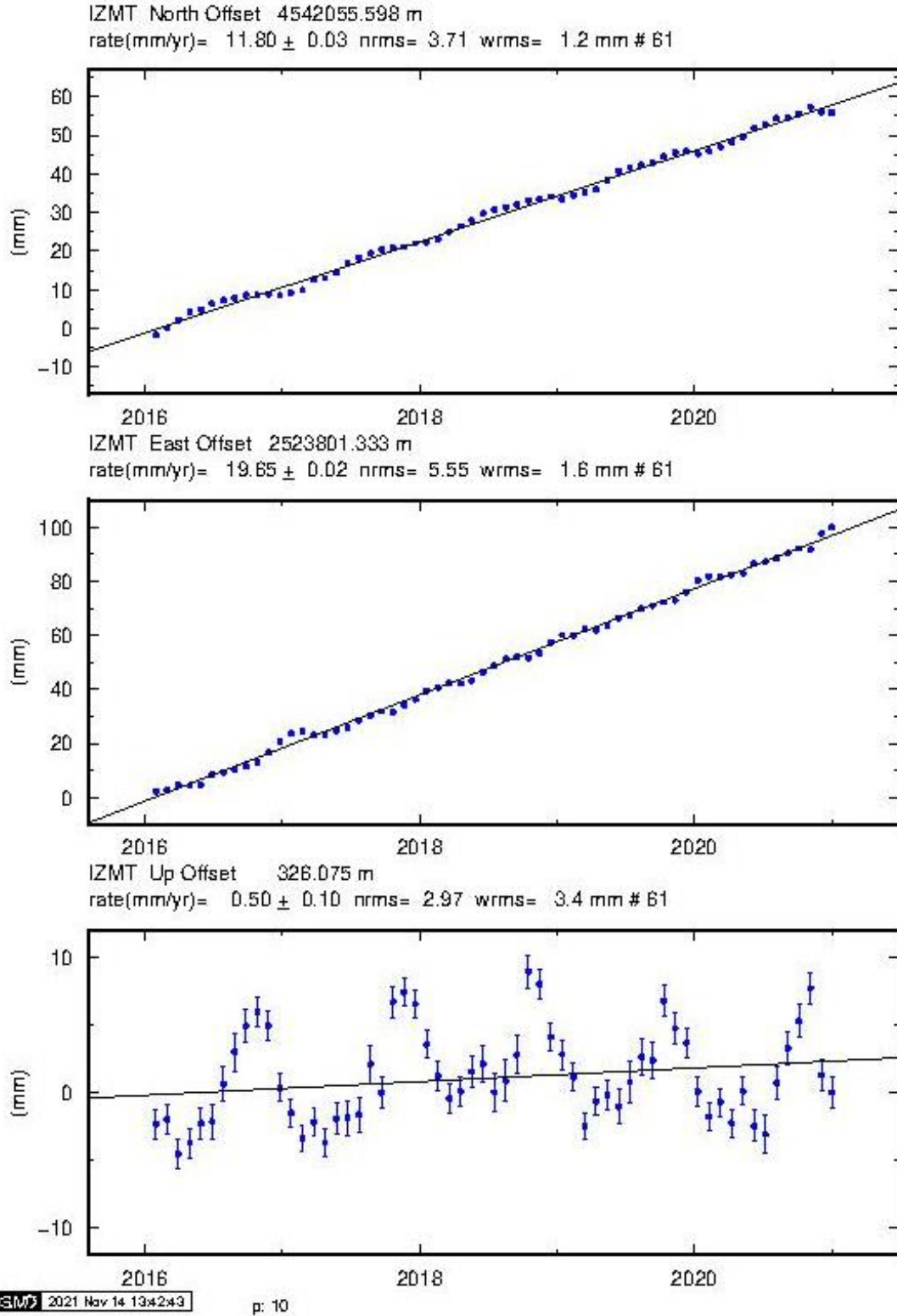
Şekil 39. Bilecik (BILE) aylık koordinat zaman serisi



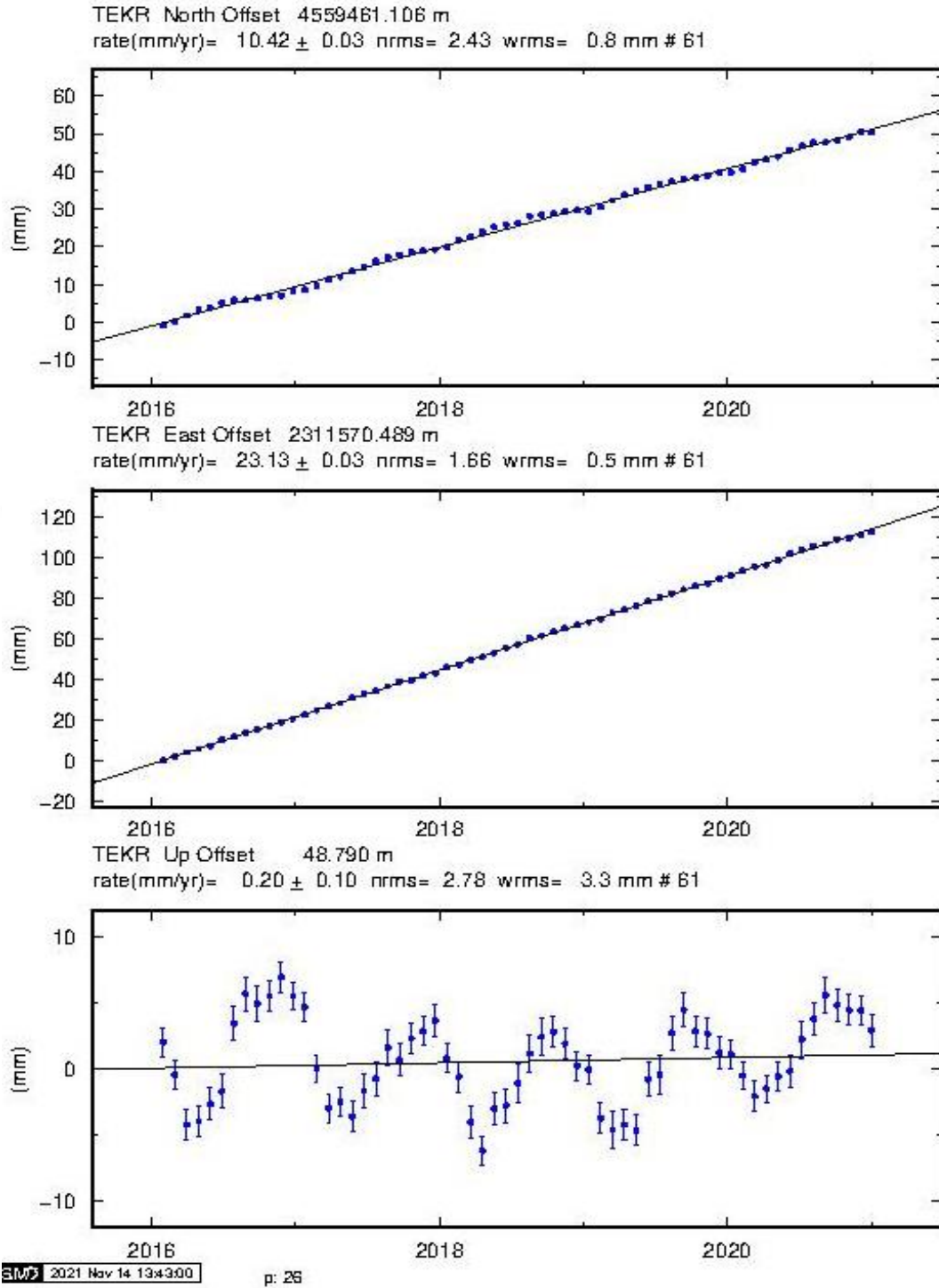
Şekil 40. Bursa (BURS) aylık koordinat zaman serisi



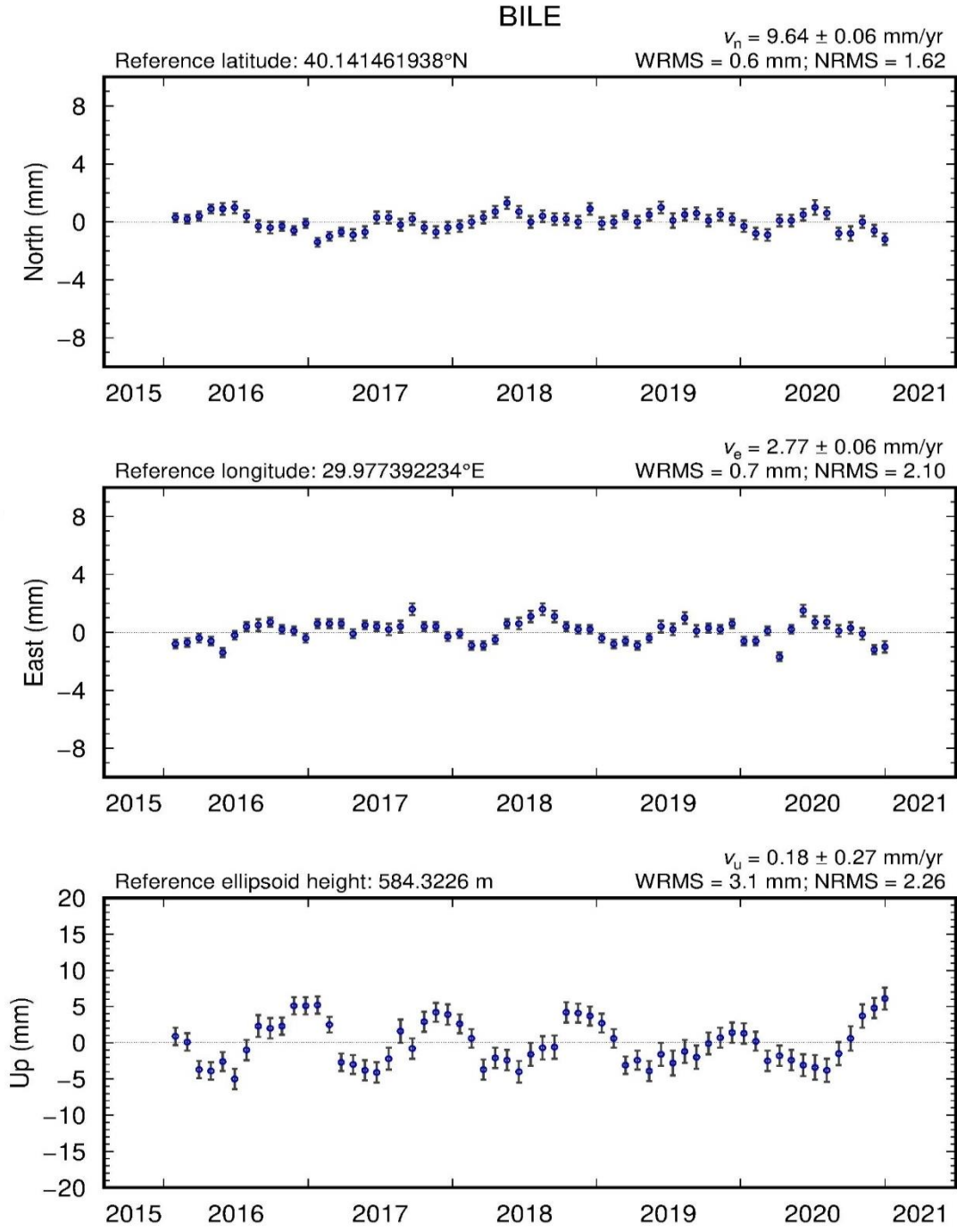
Şekil 41. İstanbul (ISTN) aylık koordinat zaman serisi



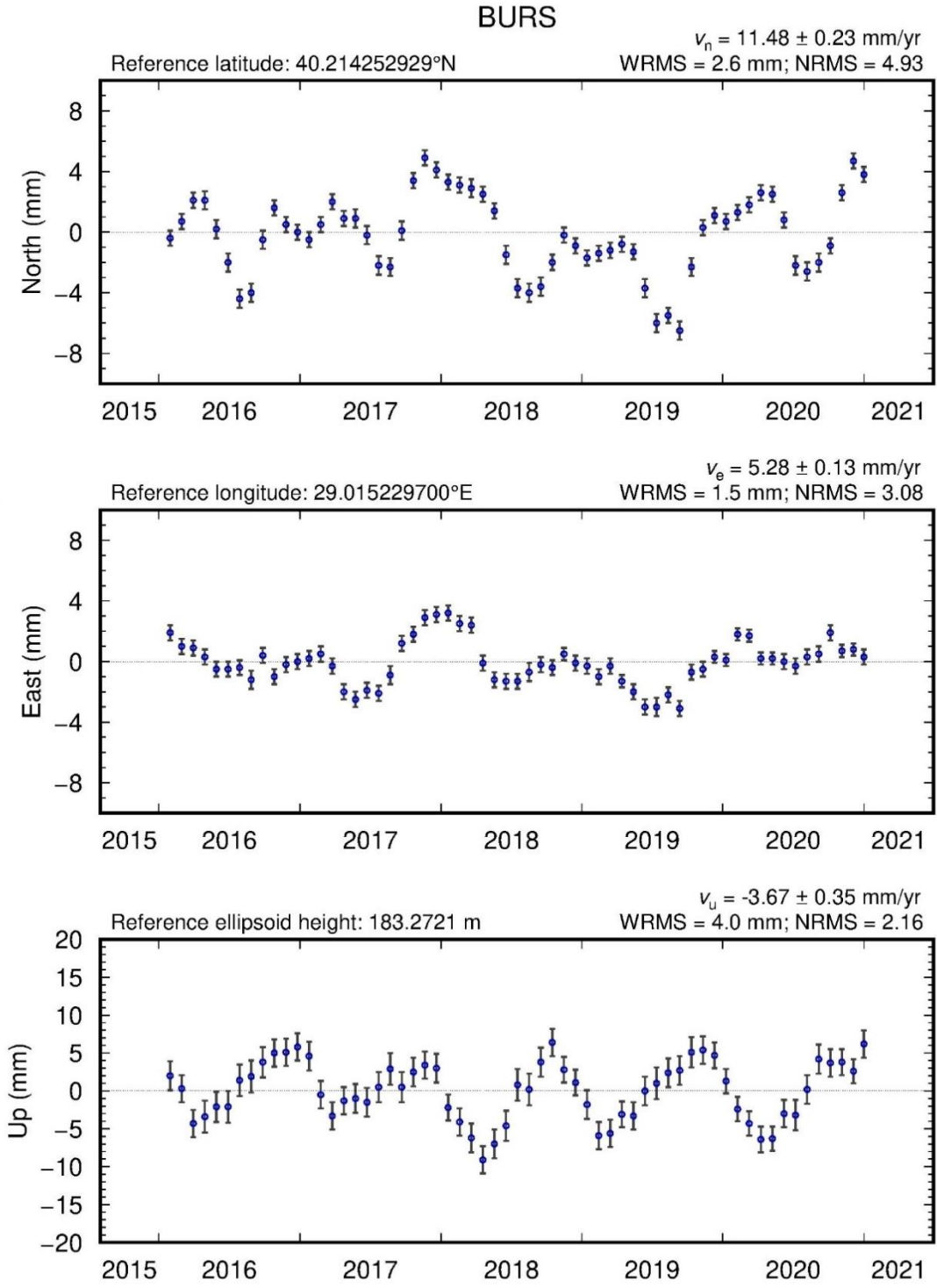
Şekil 42. İzmit (IZMT) aylık koordinat zaman serisi



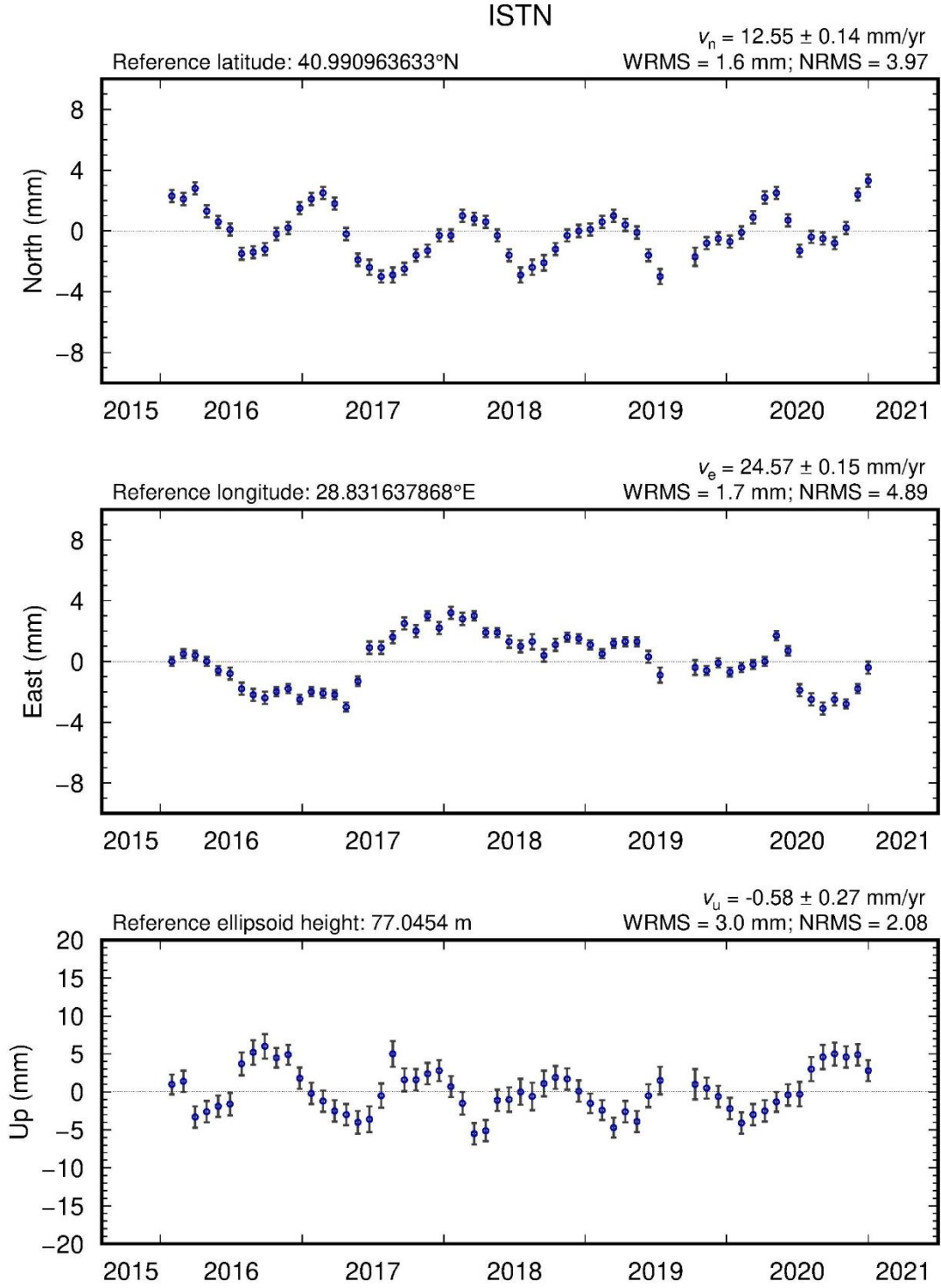
Şekil 43. Tekirdağ (TEKR) aylık koordinat zaman serisi



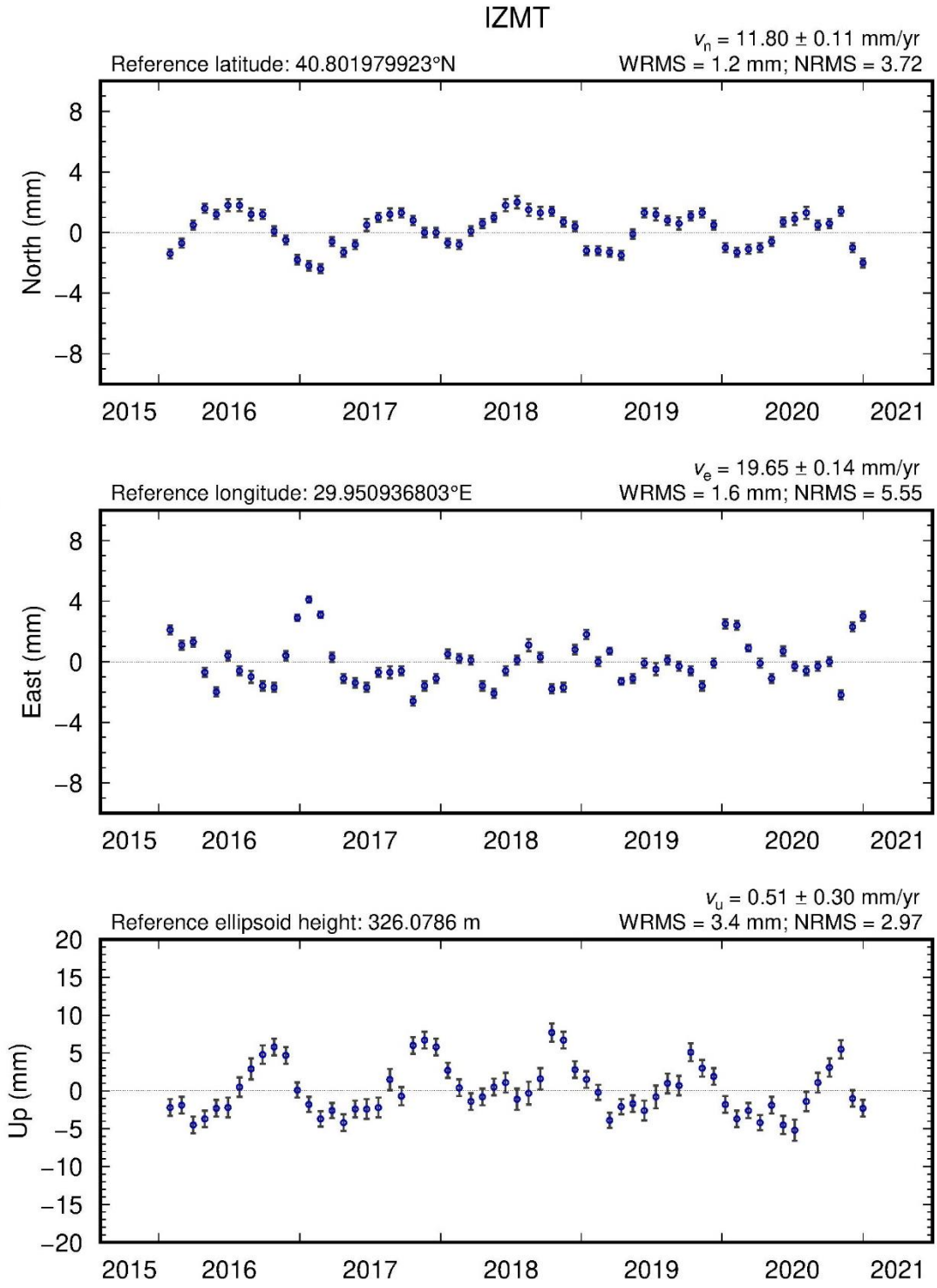
Şekil 44. Bilecik (BILE) aylık koordinat zaman serisi (yıllık trend çıkarılmış)



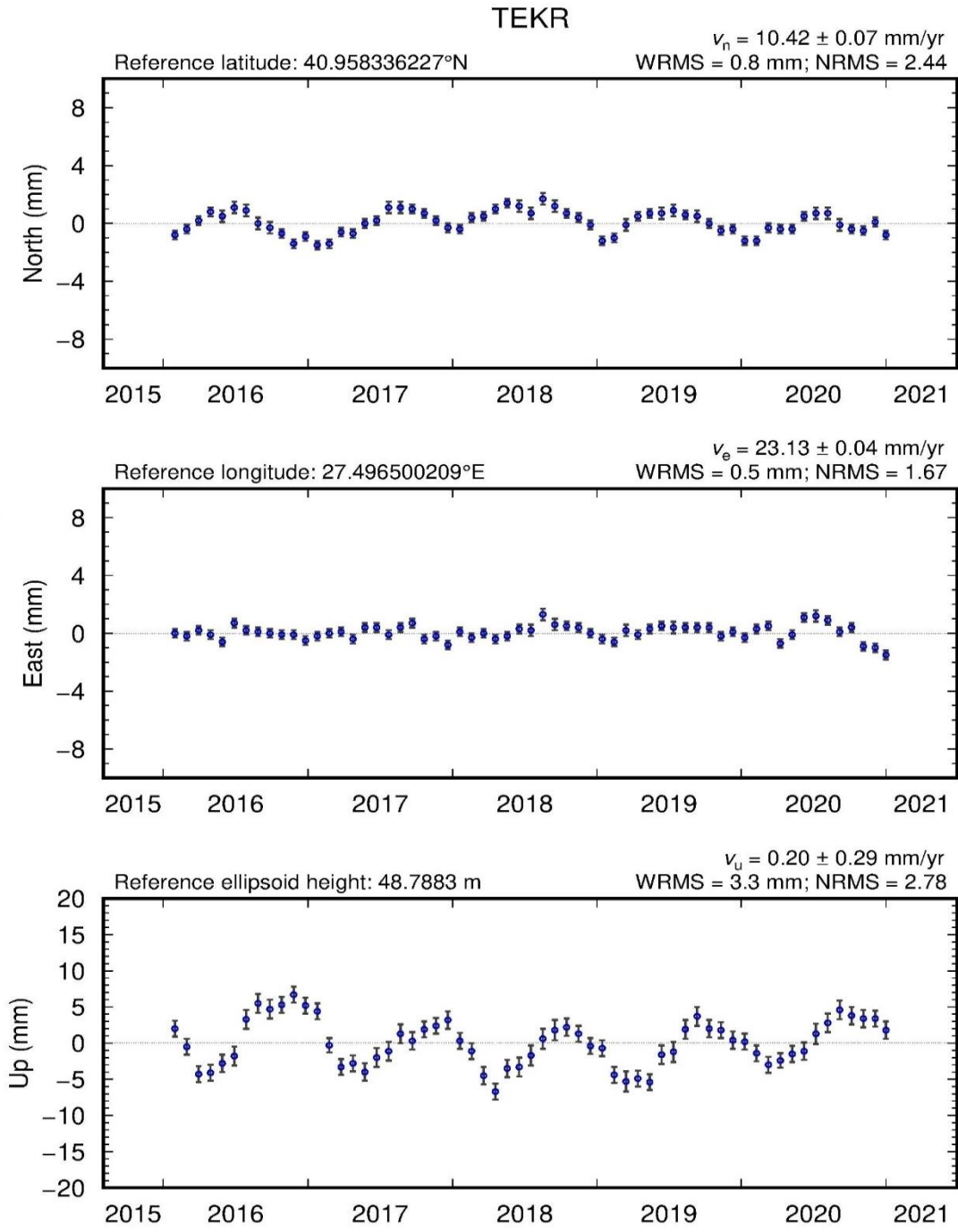
Şekil 45. Bursa (BURS) aylık koordinat zaman serisi (yıllık trend çıkarılmış)



Şekil 46. İstanbul (ISTN) aylık koordinat zaman serisi (yıllık trend çıkarılmış)



Şekil 47. İzmit (IZMT) aylık koordinat zaman serisi (yıllık trend çıkarılmış)



Şekil 48. Tekirdağ (TEKR) aylık koordinat zaman serisi (yıllık trend çıkarılmış)

Tablo 9. 5 istasyona ait aylık zaman serilerinin değerleri

İstasyonlar	Bileşenler	Koordinatlar(m)	nrms	wrms(mm)	V(mm/yr)
BILE	Kuzey	4468527.079	1.61	0.6	9.64±0.03
	Doğu	2551047.974	2.10	0.7	2.77±0.03
	Yükseklik	584.323	2.26	3.1	0.18±0.12
BURS	Kuzey	4476630.130	4.93	2.6	11.48±0.05
	Doğu	2466564.074	3.08	1.5	5.28±0.04
	Yükseklik	183.283	2.16	4.0	-3.67±0.16
ISTN	Kuzey	4563093.171	3.97	1.6	12.55±0.04
	Doğu	2422549.840	4.87	1.7	24.56±0.03
	Yükseklik	77.048	2.08	3.0	-0.58±0.13
IZMT	Kuzey	4542055.598	3.71	1.2	11.80±0.03
	Doğu	2553801.333	5.55	1.6	19.65±0.02
	Yükseklik	328.075	2.97	3.4	0.50±0.10
TEKR	Kuzey	4559461.106	2.43	0.8	10.42±0.03
	Doğu	2311570.489	1.66	0.5	23.13±0.03
	Yükseklik	48.790	2.78	3.3	0.20±0.10

2.9. GLOBK ile Hız Bileşenlerinin Bulunması

Aylık birleştirilerek oluşturulan 61 çözüm dosyası kullanılarak GLOBK modülü ile konum ve hızlar belirlenir. Bu amaçla, günlük ve aylık birleştirmelerde olduğu gibi aynı komut dosyaları kullanılır (globk.cmd ve glorg.cmd). Ancak bu kez, komut dosyalarındaki “VEL” ile başlayan satırlar yazılım tarafından otomatik olarak dikkate alınır. Çalıştırılan GLOBK komutu şu şekildedir:

- globk 6 dene.prt dene.log aylk.gdl globk.cmd VEL

Buradaki “6” sayısı, yapılan hesap özetlerinin kısa bilgiler halinde ekrana gelmesini sağlayan standart bir rakamdır. “aylk.gdl” dosyası ise aylık birleştirmeleri içeren çözüm dosyaları listesidir;

```
H160101_COMB.GLX
H160131_COMB.GLX
H160301_COMB.GLX
H160331_COMB.GLX
H160430_COMB.GLX
...
H201105_COMB.GLX
H201205_COMB.GLX
```

Şekil 49. "aylk.gdl"çözüm dosyaları

GLOBK komutu çalıştırılması sonucu tek bir dosya üretilir (globk_vel.org). Bu dosyada, yapılan referans sistemi tanımlaması sonuçları, analize dahil edilen tüm istasyonların nihai konum ve hızları bulunur. Sonuçların yorumlanması için kullanılan en önemli iki bölüm Konum ve Hız hesaplarına ilişkin sigma değerlerinin bulunduğu bölümlerdir.



Tablo 10. Konum hesapları tablosu

SUMMARY POSITION ESTIMATES FROM GLOBK Ver 5.34X										
Long. (deg)	Lat. (deg)	dE adj. (mm)	dN adj. (mm)	dE +- (mm)	dN +- (mm)	RHO	dH adj. (mm)	dH +- (mm)	SITE	
66.88545	39.13477	-5.41	1.02	0.18	0.11	-0.414	-6.67	0.47	KIT3_2PS*	
58.56046	56.42982	-6.16	-1.76	0.17	0.12	0.381	-10.53	0.44	ARTU_GPS	
56.11234	22.18646	0.51	1.75	0.49	0.43	-0.299	-6.11	1.62	YIBL_3PS*	
51.33410	35.69728	10.84	-13.17	5.56	6.01	0.006	-125.86	22.25	TEHN_GPS	
51.33410	35.69729	-23.45	23.46	0.52	0.55	-0.022	-24.88	1.99	TEHN_2PS	
51.33410	35.69728	-20.61	-34.70	2.08	2.25	-0.017	-54.72	8.20	TEHN_3PS	
51.33410	35.69728	-6.94	-0.69	0.18	0.16	-0.209	-12.08	0.64	TEHN_4PS	
44.43841	33.34142	-3.45	3.18	0.13	0.13	-0.354	-7.46	0.44	ISBA_3PS*	
44.08559	40.28572	-3.77	-0.09	0.10	0.08	-0.244	-5.45	0.30	ARUC_GPS*	
34.76314	30.59761	0.42	1.39	0.08	0.11	-0.284	-1.59	0.31	RAMO_3PS*	
34.54294	49.60262	-1.83	-2.45	0.09	0.12	0.127	-6.14	0.34	POLV_2PS*	
33.99099	44.41326	1.98	-0.09	0.12	0.15	0.005	-2.03	0.52	CRAO_2PS*	
33.39645	35.14099	-1.11	2.06	0.07	0.09	-0.180	-4.17	0.30	NICO_4PS*	
29.97739	40.14146	-56.44	129.75	0.09	0.10	0.021	-266.17	0.37	BILE_GPS	
29.95094	40.80198	21.31	145.25	0.07	0.08	-0.015	-263.75	0.30	IZMT_GPS	
29.01523	40.21425	-45.16	136.20	0.12	0.13	-0.002	-282.26	0.46	BURS_GPS	
28.83164	40.99096	39.40	145.64	0.09	0.10	-0.003	-269.13	0.38	ISTN_GPS	
27.49650	40.95834	27.17	135.30	0.08	0.08	0.015	-264.42	0.30	TEKR_GPS	
26.12575	44.46395	1.01	0.66	0.06	0.07	-0.078	-4.65	0.25	BUCU_3PS*	
23.93244	38.07855	0.62	1.79	0.07	0.07	0.196	-5.23	0.26	DYNG_2PS*	
23.39474	42.55610	0.70	-0.19	0.10	0.11	0.002	-2.44	0.40	SOFI_3PS*	
19.28153	47.78961	0.02	-1.89	0.09	0.10	-0.261	2.46	0.34	PENC_3PS*	
16.70446	40.64913	6.01	2.65	0.69	0.72	-0.089	-6.66	2.71	MATE_5PS*	
16.70446	40.64913	2.39	0.97	0.10	0.08	0.122	-3.29	0.32	MATE_6PS*	
14.98979	36.87585	2.14	4.82	0.61	0.60	0.010	-10.77	2.30	NOT1_2PS*	
14.98979	36.87585	3.33	0.84	0.15	0.15	0.188	-1.11	0.53	NOT1_3PS*	
12.87891	49.14420	2.88	-0.35	0.11	0.10	-0.319	-2.29	0.30	WTZR_3PS*	
11.92552	57.39530	1.73	-2.99	0.11	0.12	-0.578	-6.45	0.29	ONSA_2PS*	
POS STATISTICS: For		18 RefSites	WRMS ENU	1.92	1.48	2.40 mm	NRMS ENU	18.54	13.88	6.64 aylk.gdl
POS MEANS: For		18 RefSites: East	0.16 +-	0.45 North	0.41 +-	0.35 Up	-3.95 +-	0.57 mm	aylk.gdl	

Tablo 10’da belirtilen sütünların tanımları aşağıdadır;

- Long. : Noktanın boylamı (derece),
Lat. : Noktanın enlemi (derece),
dE adj. : Yatay yöndeki (Doğu bileşeni) koordinata getirilmiş olan düzeltme (mm),
dN adj. : Yatay yöndeki (Kuzey bileşeni) koordinata getirilmiş olan düzeltme (mm),
dE +- : Yatay yöndeki (Doğu bileşeni) koordinatın standart sapma (sigma) değeri,
dN +- : Yatay yöndeki (Kuzey bileşeni) koordinatın standart sapma (sigma) değeri,
RHO : Doğu ve Kuzey koordinat bileşenleri arasındaki korelasyon,
dH adj. : Elipsoit yüksekliğine getirilmiş olan düzeltme,
dH +- : Elipsoit yüksekliğinin standart sapma (sigma) değeri,
SITE : Analize giren tüm istasyonlar. İsmi yanında “*”yıldız işareti olanlar, referans sistemi tanımlanmasında kullanılan noktaları belirtir.

Tablo 11. Hız hesapları tablosu:

SUMMARY VELOCITY ESTIMATES FROM GLOBK Ver 5.34X												
Long. (deg)	Lat. (deg)	E & N Rate (mm/yr)		E & N Adj. (mm/yr)		E & N +- (mm/yr)		RHO	H Rate (mm/yr)	H adj.	+-	SITE
66.88545	39.13477	28.10	5.09	0.12	-0.48	0.06	0.04	-0.369	-0.64	1.21	0.17	KIT3_2PS*
58.56046	56.42982	25.23	6.32	-0.03	0.12	0.05	0.04	0.476	-0.26	-0.38	0.12	ARTU_GPS*
56.11234	22.18646	34.08	30.83	1.04	-0.98	0.16	0.15	-0.263	-2.54	-0.60	0.54	YIBL_3PS*
51.33410	35.69728	30.57	16.21	3.73	-3.58	1.16	1.26	0.006	-24.35	-25.27	4.65	TEHN_GPS
51.33410	35.69729	21.52	25.90	-5.32	6.10	0.14	0.15	-0.045	-4.10	-5.03	0.53	TEHN_2PS*
51.33410	35.69728	18.75	5.20	-8.09	-14.59	0.92	0.99	-0.018	-17.37	-18.30	3.62	TEHN_3PS
51.33410	35.69728	25.47	17.60	-1.37	-2.19	0.12	0.13	-0.068	-2.20	-3.13	0.51	TEHN_4PS*
44.43841	33.34142	25.07	28.37	0.10	0.33	0.04	0.04	-0.331	-1.24	-0.54	0.14	ISBA_3PS*
44.08559	40.28572	28.71	16.11	-0.10	-0.26	0.03	0.03	-0.245	0.89	-0.26	0.10	ARUC_GPS*
34.76314	30.59761	23.98	19.29	0.47	-0.32	0.03	0.04	-0.173	1.21	0.57	0.11	RAMO_3PS*
34.54294	49.60262	22.28	12.21	-0.19	-0.14	0.03	0.04	0.061	1.04	1.20	0.12	POLV_2PS*
33.99099	44.41326	24.69	12.30	0.39	0.02	0.04	0.04	0.002	-0.29	0.16	0.16	CRAO_2PS*
33.39645	35.14099	19.50	15.56	0.14	0.05	0.02	0.03	-0.089	-0.60	-0.54	0.10	NICO_4PS*
29.97739	40.14146	2.76	9.57	2.76	9.57	0.03	0.03	0.045	0.03	0.03	0.12	BILE_GPS
29.95094	40.80198	19.67	11.72	19.67	11.72	0.03	0.03	0.022	0.36	0.36	0.10	IZMT_GPS
29.01523	40.21425	5.27	11.39	5.27	11.39	0.04	0.05	0.005	-3.83	-3.83	0.16	BURS_GPS
28.83164	40.99096	24.59	12.46	24.59	12.46	0.03	0.04	-0.001	-0.82	-0.82	0.13	ISTN_GPS
27.49650	40.95834	23.15	10.33	23.15	10.33	0.03	0.03	0.056	0.06	0.06	0.11	TEKR_GPS
26.12575	44.46395	23.27	12.67	0.18	0.35	0.02	0.03	-0.074	1.06	-0.12	0.09	BUCU_3PS*
23.93244	38.07855	8.36	-11.53	-0.09	-0.06	0.03	0.03	0.269	0.01	-0.87	0.09	DYNG_2PS*
23.39474	42.55610	23.86	11.83	-0.05	-0.07	0.04	0.04	0.011	0.15	0.56	0.13	SOFI_3PS*
19.28153	47.78961	22.37	14.52	-0.00	-0.20	0.03	0.03	-0.227	0.50	1.25	0.12	PENC_3PS*
16.70446	40.64913	24.28	19.62	0.79	0.32	0.16	0.17	-0.076	-0.66	-0.81	0.64	MATE_5PS*
16.70446	40.64913	23.60	19.33	0.11	0.03	0.05	0.04	0.079	-0.19	-0.33	0.16	MATE_6PS*
14.98979	36.87585	21.18	20.65	-0.13	0.71	0.15	0.14	0.029	-3.23	-1.96	0.55	NOT1_2PS*
14.98979	36.87585	21.60	19.29	0.29	-0.65	0.07	0.07	0.122	0.03	1.30	0.26	NOT1_3PS*
12.87891	49.14420	20.37	15.84	0.05	0.19	0.04	0.03	-0.260	-0.05	0.12	0.11	WTZR_3PS*
11.92552	57.39530	17.01	15.08	-0.19	0.27	0.04	0.04	-0.560	1.65	-0.97	0.10	ONSA_2PS*
VEL STATISTICS: For 21 RefSites WRMS ENU 0.40 0.47 0.78 mm/yr NRMS ENU 10.37 11.69 5.84 aylk.gdl												
VEL MEANS: For 21 RefSites: East 0.06 +- 0.09 North -0.00 +- 0.10 Up -0.05 +- 0.17 mm/yr aylk.gdl												

Hız Kestirim sonuçlarına ait özet bilgi rapor halinde Tablo 11’de görülmektedir. Burada belirtilen sütunların tanımları aşağıdadır;

Long.	: Noktanın boylamı (derece),
Lat.	: Noktanın enlemi (derece),
E & N Rate	: ITRF2014 referans sisteminde yatay yöndeki (Doğu ve Kuzey bileşenler) hesaplanan hızlar (mm/yıl),
E & N Adj.	: Yatay hızlara getirilmiş olan düzeltmeler (mm/yıl),
E & N +- RHO	: Doğu ve Kuzey hız bileşenlerinin standart sapma (sigma) değerleri, Doğu ve Kuzey hız bileşenleri arasındaki korelasyon,
H Rate	: Elipsoit yüksekliğinin hızı (mm/yıl)
H adj.	: Elipsoit yüksekliğinin hızına getirilmiş olan düzeltme,
+-	: Elipsoit yüksekliği hız bileşeninin standart sapma (sigma) değeri,
SITE	: Analize giren tüm istasyonlar. İsmi yanında “*” yıldız işareti olanlar, referans sistemi tanımlanmasında kullanılan noktaları belirtir.

Nihai koordinat ve hızlar da Tablo 11’de görüldüğü gibi bütün istasyonlar için sırasıyla listelenir. Tablo 12’de örnek olarak Bilecik (BILE) istasyonuna ait koordinat ve hız bilgileri verilmiştir. Analiz dahil edilen istasyonların ITRF2014 datumunda koordinat ve hız bilgileri ise Tablo 13’de sunulmuştur.

Tablo 12. Bilecik (BILE) istasyonuna ait koordinat ve hız bilgileri

Int.	BILE_GPS	4229802.48809	2439852.85719	4090382.42566	0.00000	0.00000	0.00000	2016.081						
79.	BILE_GPS X coordinate	(m)		4229802.26737	-0.22072	0.00026								
80.	BILE_GPS Y coordinate	(m)		2439852.66472	-0.19247	0.00017								
81.	BILE_GPS Z coordinate	(m)		4090382.35421	-0.07145	0.00024								
82.	BILE_GPS X rate	(m/yr)		-0.00668	-0.00668	0.00009								
83.	BILE_GPS Y rate	(m/yr)		-0.00067	-0.00067	0.00006								
84.	BILE_GPS Z rate	(m/yr)		0.00736	0.00736	0.00008								
	Position of BILE_GPS referred to 2020.9986		XYZ offsets	0.0000	0.0000	0.0000	years							
Loc.	BILE_GPS X uncorr pos.	(m)		4229802.26737	-0.22072	0.00026								
Loc.	BILE_GPS Y uncorr pos.	(m)		2439852.66472	-0.19247	0.00017								
Loc.	BILE_GPS Z uncorr pos.	(m)		4090382.35421	-0.07145	0.00024								
Unc.	BILE_GPS	4229802.26737	2439852.66472	4090382.35421	-0.00668	-0.00067	0.00736	2020.999	0.0003	0.0002	0.0	0.0		
002														
Apr.	BILE_GPS	4229802.26737	2439852.66472	4090382.35421	-0.00668	-0.00067	0.00736	2020.999	0.0003	0.0002	0.0	0.0		
002	0.0001	0.0001	0.0001											
Loc.	BILE_GPS N coordinate	(m)		4468527.12620	0.12975	0.00010								
Loc.	BILE_GPS E coordinate	(m)		2551047.98812	-0.05644	0.00009								
Loc.	BILE_GPS U coordinate	(m)		584.32282	-0.26617	0.00037								
	NE,NU,EU position correlations			0.0212	-0.0755	0.1015								
Loc.	BILE_GPS N rate	(m/yr)		0.00957	0.00957	0.00003								
Loc.	BILE_GPS E rate	(m/yr)		0.00276	0.00276	0.00003								
Loc.	BILE_GPS U rate	(m/yr)		0.00003	0.00003	0.00012								
	NE,NU,EU rate correlations			0.0446	-0.1106	0.0752								
pbo.	BILE_GPS BILE_GPS		2020 12 31 11 59	59214.4998	4229802.26737	2439852.66472	4090382.35421	0.00026	0.00017					
	0.00024	0.804	0.832	0.773		40.1414621497	29.9773923074	584.32282	0.9	1.0	0.00037		4468527.12620	
		2551047.98812	584.32282	0.00010	0.00009	0.00037	0.021	-0.075	0.101					
pbr.	BILE_GPS BILE_GPS		20201231115900	59214.4998	4229802.26737	2439852.66472	4090382.35421	40.1414621497						
	29.9773923074	584.32282	-0.00668	-0.00067	0.00736	0.00009	0.00006	0.00008	0.803	0.828	0.773	0.00957	0.00276	0

Tablo 13. Analiz dahil edilen istasyonların ITRF2014 datumunda koordinat ve hız bilgileri

İstasyon	X (metre)	Y (metre)	Z (metre)	V _x	V _y	V _z	Epok
BILE_GPS	4229802.2674	2439852.6647	4090382.3542	-0.0067	-0.0007	0.0074	2020.999
IZMT_GPS	4189506.0677	2414031.4951	4146014.9408	-0.0162	0.0134	0.0091	2020.999
BURS_GPS	4265347.8370	2365803.2614	4096299.4217	-0.0115	-0.0004	0.0063	2019.431
ISTN_GPS	4223660.7092	2325015.2320	4161716.3396	-0.0195	0.0173	0.0089	2020.999
TEKR_GPS	4278776.5540	2227057.9789	4158962.1259	-0.0166	0.0174	0.0079	2020.999

2.10. TUREF Sistemine Dönüşüm

26 Haziran 2018 tarihli ve 30460 sayılı Resmi Gazete`de yayımlanarak yürürlüğe giren Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) gereğince Türkiye`de kullanılan referans sistemi Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF)`dir. Yönetmelikte, TUREF; koordinatları ITRF96 ile 2005.0 referans epogunda çakışık ve koordinatlarının zamana göre doğrusal değişimi (hızları) ITRF96`nın Sıfır-Net-Dönüklüğüne (No-Net-Rotation) göre tanımlı dört boyutlu ulusal datumdur.

Bu nedenle, ITRF14 referans sistemi ve ölçü epogunda hesaplanan konum ve hızlar TUREF datumuna çevrilecektir. 6`ncı bölümde, üç boyutlu iki datum arasındaki ilişkinin genel olarak Helmert Dönüşümü olarak bilinen üç dönüklük, üç öteleme ve bir ölçek faktöründen oluşan yedi parametrelili benzerlik dönüşümü ile sağlandığı, mevcut yedi parametreye doğrusal hızların da eklenmesiyle 14`e ulaşan ITRF2014 ile geçmiş ITRF çözümleri arasındaki bağlantıyı sağlamak için ise, kullanıcılara çözümler arasındaki 14 dönüşüm parametresinin sağlanması esas olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, ITRF2014`den ITRF96`ya Datum Dönüşüm Parametreleri için, Fransa Ulusal Coğrafya Enstitüsü (Institut Geographique National-IGN) tarafından yayınlanan değerler kullanılmıştır (Tablo 2).

Analize dahil edilen istasyonların TUREF datumunda koordinat ve hız bilgileri, yine 6`ncı bölümde belirtilen dönüşüm matrisleri yardımıyla hesaplanarak Tablo 14`te sunulmuştur.

Tablo 14. TUREF datumunda hesaplanan koordinat ve hız bilgileri

İstasyon	X_TUREF (metre)	Y_TUREF (metre)	Z_TUREF (metre)	Vx (mm/yıl)	Vy (mm/yıl)	Vz (mm/yıl)	Epok
BILE_GPS	4229802.3927	2439852.6885	4090382.2033	-0.0063	-0.0005	0.0046	2005.00
IZMT_GPS	4189506.3450	2414031.2943	4146014.7617	-0.0158	0.0136	0.0063	2005.00
BURS_GPS	4265348.0221	2365803.2796	4096299.2981	-0.0112	-0.0002	0.0035	2005.00
ISTN_GPS	4223661.0401	2325014.9679	4161716.1643	-0.0192	0.0175	0.0061	2005.00
TEKR_GPS	4278776.8387	2227057.7125	4158961.9671	-0.0162	0.0176	0.0051	2005.00

TUSAGA-Aktif sistemi Harita Genel Müdürlüğü (HGM) ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne ortaklaşa işletilmektedir. Sabit istasyonlara ait TUREF datumundaki konum ve hızlar Harita Genel Müdürlüğüne hesaplanmakta ve sisteme ait web adresinden yayınlanmaktadır(<https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Web/IstasyonKonumBilgileri.pdf>). TUREF datumunda HGM tarafından yayınlanan koordinat ve hız bilgileri Tablo 15’te sunulmuştur.

Tablo 15. TUREF datumunda HGM tarafından yayınlanan koordinat ve hız bilgileri

İstasyon	X_TUREF (metre)	Y_TUREF (metre)	Z_TUREF (metre)	Vx (mm/yıl)	Vy (mm/yıl)	Vz (mm/yıl)	Epok
BILE_GPS	4229802.3948	2439852.6962	4090382.2097	-0.0061	-0.0011	0.0045	2005.00
IZMT_GPS	4189506.3486	2414031.2925	4146014.7677	-0.0159	0.0139	0.0062	2005.00
BURS_GPS	4265347.9737	2365803.2833	4096299.2928	-0.0063	-0.0004	0.0044	2005.00
ISTN_GPS	4223661.0362	2325014.9789	4161716.1639	-0.0185	0.0166	0.0069	2005.00
TEKR_GPS	4278776.8454	2227057.7112	4158961.9689	-0.0167	0.0178	0.0052	2005.00



Şekil 50. İstasyon hızlarının vektörel gösterimi

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Bu tez çalışmasında, Marmara Bölgesinden seçilen 5 sabit GPS istasyonunun GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak koordinat ve hız kestirimi yapılmış, HGM'nin elde ettiği hız değerleri ile karşılaştırılarak konum doğruluğu saptanmıştır.

Sabit GPS istasyonlarının (BURS, TEKR, ISTN, IZMT ve BILE) 2016-2020 yılları için yapılan analiz aşamasının sonucunda;

- Günlük çözümlerde, çözüme giren 18 IGS istasyonu dahil olmak üzere tümünün hesaplamada kullanıldığı, çıkartılan istasyon olmadığı görülmüştür. RMS değeri 0 olan bir istasyon olmadığı için tüm istasyonlar çözüme dahil edilmiştir.
- Tüm çözüme ait ortalama, en küçük ve en büyük RMS değerlerine sahip 2'şer istasyona ait RMS'ler incelenmiştir. Söz konusu RMS değerlerinin genelde 3-10 mm. civarında olması beklenir. Tüm uydu gözlemleri için "0" değeri mevcutsa o istasyon çözümden çıkartılmış demektir.

Tablo 16. GAMIT çözüm dosyası

Best and Worst two sites:																	
RMS 16 ONSA	5.7	4	6	5	4	8	6	4	8	5	6	5	4	5	7	6	5
6	5	6	6	4	0	4	5	7	4	6	5	4	7	7			
RMS 16 TEHN	6.9	7	6	7	7	7	8	5	8	5	6	8	6	8	8	9	5
7	5	6	8	7	0	6	6	7	8	6	6	5	9	7			
RMS 16 NICO	12.9	14	14	15	13	12	18	11	13	13	14	13	7	9	10		
18	14	7	10	14	10	11	0	8	6	21	10	11	7	11	16	18	
RMS 16 BURS	13.1	13	14	13	14	14	12	11	15	13	15	13	8	11	14		
13	12	11	15	14	14	12	0	12	12	15	10	13	11	11	17	14	

Tablo 16'da örnek olarak verilen özet çözüm dosyasında;

- En iyi RMS değerine sahip istasyonlar ONSA ve TEHN iken, en kötü istasyonlar ise NICO ve BURS olduğu görülmektedir. Ancak bu durum farklı günlük çözümlerde değişebilmektedir.

- Çiftli farklar istatistiklerinde (Double difference statistics); çözümün normalize edilmiş Karesel Ortalama Hata (nrms) değerlerini gösteren satırlar yer alır. Burada, “Postfit nrms” (normalize edilmiş karesel ortalama hatası) değerlerinin 0.2 (GAMIT/GLOBK yazılımında kullanılan algoritma ve dengeleme modeline özgü bir değerdir) ve altında olması beklenir. Tablo 17’de örnek olarak sunulan çözüm dosyasında bu değerlerin 0.18 olduğu görülmektedir. Tez kapsamında yapılan tüm günlere ait değerler analizde problem olmadığını göstermektedir.

Tablo 17. GAMIT çözüm dosyasında karesel ortalama hata değerleri

Double difference statistics	
Prefit nrms: 0.13191E+01	Postfit nrms: 0.18353E+00
Prefit nrms: 0.13154E+01	Postfit nrms: 0.18838E+00
Prefit nrms: 0.13191E+01	Postfit nrms: 0.18347E+00
Prefit nrms: 0.13154E+01	Postfit nrms: 0.18831E+00

- Faz belirsizliği ya da faz başlangıcı belirsizliği (Ambiguity) adı verilen ve tam sayı ile ifade edilen değerlerin çözüm oranlarının %90 seviyelerinde olması beklenir. Örnek olarak verilen çözüm dosyasında bu değer WL fixed 97.3%, NL fixed 92.4% olduğu görülmektedir. Tez kapsamında yapılan tüm günlere ait Faz

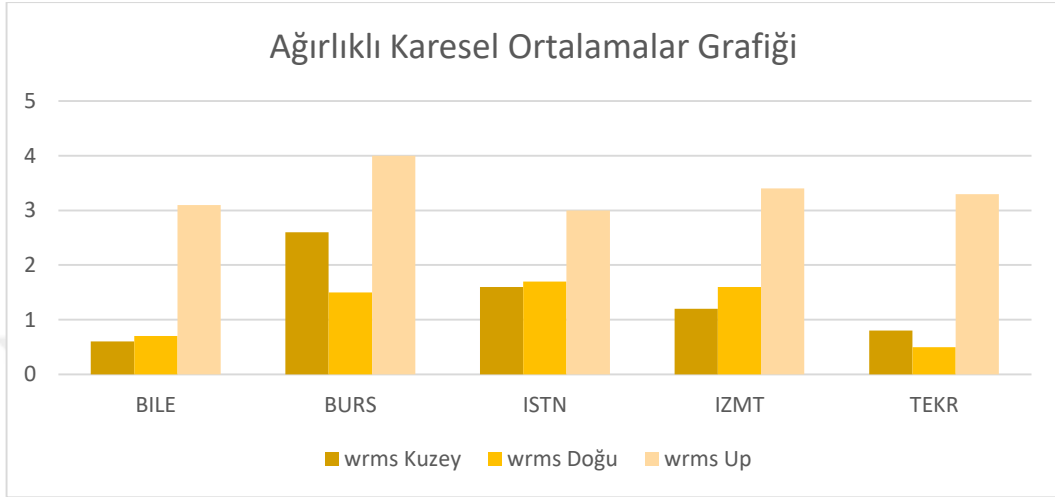
Phase ambiguities (Total WL-fixed NL-fixed): 551 536 509 AUTCLN
(Total Expected) 551 551

Phase ambiguities WL fixed 97.3% NL fixed 92.4%

Belirsizliği çözüm oranları da benzerdir.

- Her bir gün için hesaplanan koordinatları kullanarak da 'glred' modülüyle koordinat zaman serileri oluşturulmuştur.
- Günlük çözümler kaba hatalı ölçüler temizlenip analiz aşamasına uygun hale getirilmiştir. Bu çalışmada, 2016-2020 yılları arasındaki 1827 adet günlük çözüm, aylık olarak birleştirilerek nihai konum ve hız tanımlamasında kullanılacak 61 çözüme indirgenmiştir.
- Aylık birleştirme kapsamında yapılan çözümlerin kalitesini gösteren ağırlıklı karesel ortalama hata değerleri aşağıdaki şekilde görülmektedir. Bu değerlerden BURS istasyonunun yükseklik bileşeninin diğerlerine göre yüksek olduğu

görülmektedir. Koordinat zaman serisi incelendiğinde düşey yönde (çökme) hareket olduğu, nedeninin ise istasyonun tesis edildiği yerin zemin yapısı olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 51).



Şekil 51. Aylık çözümlerin sonucunda ağırlıklı karesel ortalama grafiği

- Günlük çözümlerin 30 günlük (aylık) birleştirilmesiyle elde edilen 5 istasyona ait aylık zaman serileri oluşturulmuştur.
- Aylık birleştirilerek oluşturulan 61 çözüm dosyası kullanılarak GLOBK modülü ile konum ve hızlar belirlenmiştir. ITRF14 referans sistemi ve ölçü epoğunda hesaplanan konum ve hızlar TUREF datumuna çevrilmiştir.

Tablo 18. Tez kapsamında hesaplanan konum ve hızlar ile HGM tarafından yayınlanan koordinat ve hız bilgileri arasındaki fark değerleri:

İstasyon	X_Fark (metre)	Y_Fark (metre)	Z_Fark (metre)	Vx_Fark (mm/yıl)	Vy_Fark (mm/yıl)	Vz_Fark (mm/yıl)
BILE_GPS	-0.0021	-0,0077	-0.0064	-0.0002	0.0006	0.0000
IZMT_GPS	-0.0036	0.0018	-0.0060	0.0000	-0.0003	0.0001
BURS_GPS	0.0484	-0.0037	0.0053	-0.0048	0.0003	-0.0009
ISTN_GPS	0.0039	-0.0110	0.0004	-0.0006	0.0009	-0.0008
TEKR_GPS	-0.0067	0.0013	-0.0018	0.0004	-0.0002	-0.0002

- Tez kapsamında hesaplanan ile HGM tarafından yayınlanan koordinat ve hızlar arasındaki farklar Tablo 18’de verilmiştir. Fark değerleri Bursa (BURS) istasyonu

hariç milimetre düzeyinde iken, BURS istasyonun X-koordinat değerinin 4.8 santimetre farklı olduğu görülmektedir.

- BURS istasyonunun zaman serisinde noktanın yükseklik bileşeninde 2013 yılından sonra aşağı yönlü bir hareket başladığı görülmektedir. HGM tarafından yayınlanan koordinat ve hızlar ise grafikten anlaşılacağı üzere 2008-2020 yani yükseklik bileşenindeki hız değişimi öncesi ve sonrası olmak üzere tüm veriyi kapsamaktadır. Tezdeki veri aralığı ise 2016-2020 dönemi yani aşağı yönlü hareketin olduğu döneme denk gelmektedir. Söz konusu farkın x bileşenindeki hız kestirim farkından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması için Marmara Bölgesindeki TUSAGA-Aktif ağına ait veri kesikliliği olmayan 5 sabit GPS istasyonu (BURS, ISTN, BILE, IZMT ve TEKR) seçilmiş, Türkiye çevresinden seçilen 18 IGS istasyon verileri kullanılarak günlük analiz edilmiştir. TUSAGA-Aktif verileri ağına ait internet sitesinden (<https://www.tusaga-aktif.gov.tr>) 2016-2020 yılları arası için indirilmiştir.

Verilerin analizinde, Linux işletim sisteminde çalışan GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. GAMIT modülü ile değerlendirme işlemi sonrasında, analiz sonucunun kalite kontrolü için; oluşan q-dosyaları içindeki normlandırılmış karesel ortalama hata değerleri (Postfit nrms) incelenmiş, bu değerlerin 0.18 aralığında olduğu görülmüştür. Ayrıca, tüm günlerdeki tam sayı faz belirsizliği (Phase ambiguity) çözümleri; WL (Wide Lane) için %97.3 ve NL (Narrow Line) için %92.4 ve üzerindedir.

GAMIT modülü ile oluşan 1827 günlük çözüm dosyalarında (h-file) gevşek koşullu çözümler üretilmiştir. Bu aşamada henüz datum tanımlaması hassas olarak yapılmamıştır. Bunun için günlük çözümler oluştuktan sonra, analize dahil edilen IGS noktalarının koordinat ve hızları kullanılarak 6 parametrelilik (3 Öteleme, 3 Dönüklük) Helmert dönüşümü ile ITRF14 referans sisteminde datum dönüşümü yapılmıştır. Bu işleme Referans Sistemi Tanımlaması denmektedir. Datum dönüşümü sayesinde kendi istasyon noktalarımızın konumları hesaplanmıştır. Her bir gün için hesaplanan koordinatları kullanarak da 'glred' modülüyle koordinat zaman serileri oluşturulmuştur.

Kaba hatalardan arındırılan günlük çözümler koordinat ve hız belirlemek amacıyla aylık birleştirilmiş ve oluşan bu yeni birleşik koordinat zaman serileri yeniden kontrol edilmiştir. Referans sistemi tanımlaması yapılmış günlük koordinat çözüm dosyalarında olduğu gibi burada da, oluşan ".org" uzantılı sonuç dosyalarında karesel ortalama hata değerleri kontrol edilmiş, bu değerlerin 2-3 mm civarında olduğu görülmüştür. Son olarak, aylık çözüm dosyaları kullanılarak GLOBK modülü ile ITRF14 referans sisteminde hassas koordinat ve hız tahmini yapılmıştır.

Türkiye'de kullanılan referans sistemi Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) ismiyle adlandırılan ITRF96 2005.0 epeğudur. Bu nedenle, çalışma kapsamında ITRF14 referans sistemi ve ölçü epeğunda hesaplanan konum ve hızlar TUREF datumuna çevrilmiştir. Bunun için ITRF14-ITRF96 datumları arasındaki yayınlanmış dönüşüm

parametreleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, söz konusu datum dönüşümü EUREF Permanent GNSS Network sitesindeki uygulama kullanarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan dönüşümle elde edilen koordinat ve hız değerleri karşılaştırıldığında, Bursa (BURS) istasyonu hariç milimetre düzeyinde iken, BURS istasyonunun X-koordinat değerinin 4.8 santimetre farklı olduğu görülmektedir. HGM resmi internet sitesinde bulunan (<https://www.harita.gov.tr/public/sunum/>) jeodezik ağlar haritasından alınan BURS istasyonunun zaman serisinde noktanın yükseklik bileşeninde 2013 yılından sonra aşağı yönlü (çökme) bir hareket başladığı görülmektedir. HGM tarafından yayınlanan koordinat ve hızlar ise grafikten anlaşılacağı üzere 2008-2020 yani yükseklik bileşenindeki hız değişimi öncesi ve sonrası olmak üzere tüm veriyi kapsamaktadır. Tezdeki veri aralığı ise 2016-2020 dönemi yani aşağı yönlü hareketin olduğu döneme denk gelmektedir. Söz konusu farkın x bileşenindeki hız kestirim farkından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, 5 TUSAGA-Aktif ve 18 IGS istasyonu olmak üzere 23 istasyon günlük analiz edilmiştir. Tek çekirdekli bir bilgisayarda toplam 23 istasyonlu bir günlük analiz için ortalama süre 22 dakikadır. 1 yıllık analiz süresi yaklaşık 6 gün, tüm veri (5 yıllık) için ise 30 günlük süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süre iki çekirdek için 15, dört çekirdek için ise 7.5 güne düşmektedir. Analiz yapılan bilgisayarın kapasitesi analiz süresini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, daha fazla istasyon verisinin analiz edildiği durumlarda bilgisayar veya iş istasyonunun çok çekirdekli olması önem arz edecektir.

Gürültü değerleri 2,5 yıldan daha az verilerde hız değişimini etkilediği görülür. Tez çalışmamızda kullanılan 5 istasyona ait 5 yıllık veri olduğu için zaman serilerinde gürültü analizi yapılmamıştır.

Emre vd.,2013 tarafından yayınlanan Türkiye Diri Fay Haritasında 183 alt segmentten oluşan 326 fay/fay zonu listelenmiştir. Söz konusu çalışmada, Türkiye'nin güncel tektonik çatısının ortaya çıkmış olduğu Kuvaterner zamanda (son 2.588.000 yılı), diğer bir deyişle yakın jeolojik geçmişte hareket etmiş, gelecekte de hareket etme potansiyeli olan faylar diri fay olarak tanımlanmıştır. Böylesine aktif bir tektonik yapıya sahip ülkemizde yer kabuğu hareketlerini belirleyebilmek için mümkün olduğunca fazla jeodinamik noktaya ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle, nokta hızlarının en duyarlı olarak belirlenebildiği sabit GNSS istasyonlarının sayısının artırılması faydalı olacaktır. İstasyon sayısı bakımından verilebilecek en iyi örnek, istasyonlar arası mesafesi 20 kilometre olan ve 1300 istasyona sahip Japon GNSS Yer Gözlem Ağ Sistemi (GNSS Earth Observation Network System-GEONET)'dir.

Çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonlarında GPS ve GLONASS verileri bulunmaktadır. GAMIT/GLOBK yazılımı GPS, GLONASS, GALILEO ve COMPASS verilerini ayrı ayrı analiz etmekte, birleşik bir GNSS analizi ise yapmamaktadır. GPS ve GLONASS'ın birlikte kullanımının sadece GPS verisi kullanılması durumuna göre sonuç koordinatlara etkisinin görülebilmesi için İsviçre Bern Üniversitesi Astronomi Enstitüsü tarafından geliştirilen Bernese gibi bir GNSS yazılımı kullanılmalıdır.



5. KAYNAKLAR

- Aktuğ, B., (2008). ITRF-2005 ve Önceki Referans Koordinat Sistemleri ile olan ilişkisi, Harita Dergisi, 140, Ankara
- Altamimi, Z., P. Rebischung, L. Métivier ve X. Collilieux 2016. ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 121, 6109– 6131. doi: 10.1002/2016JB013098
- Blewitt, G., and Lavallee, D., 2002. Effect Of Annual Signals On Geodetic Velocity, Journal Of Geophysical Research, 107, B7, 2145
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. (2013) Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye
- Herring, T. A., King, R.W., Floyd, M.A. ve McClusky, S.C. (2018). Gamit/Globk Release 10.7.
- Herring, T. A., Floyd, M. A. ve Perry, M., (2018) “GPS Data Processing and Analysis with GAMIT/GLOBK and track” course, 2–7 July 2018, Bishkek, Kyrgyzstan
- Herring, T. A., King, R.W., Floyd, M.A. ve McClusky, S.C. (2018). Gamit Reference Manual Gps Analysis at Mit Release 10.7.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Collins, J., 1997. “Global Positioning System: Theory and Practice.” Springer-Verlag, Vienna
- Kara, T., 2009. Sabit GPS İstasyonlarında Zaman Serileri Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Koçak, M.G. ve Ayan, T. (2006). GPS Sabit İstasyonlarında Zaman Serileri Analizi, İTÜ Dergisi, 126-134.
- Kurt, A.İ. (2009). Sabit GPS İstasyonları Zaman Serileri Analizinden Yararlanarak Kampanya Tipi GPS Ölçülerinin Hızlarının İyileştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kurt, A.İ., Cingöz, A., Özdemir, S., Peker, S., Özel, Ö. ve Simav, M. (2020). Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) Güncel Koordinat ve Hızlarının GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirilmesi Kapsamında Hesaplanması. Harita Dergisi, 164, 1-17.
- Mao, A., Harrison C.G.A. ve Dixon, T.H., 1999. Noise In GPS Coordinate Time Series, Journal of Geophysical Research, 104, B2, 2797-2816.

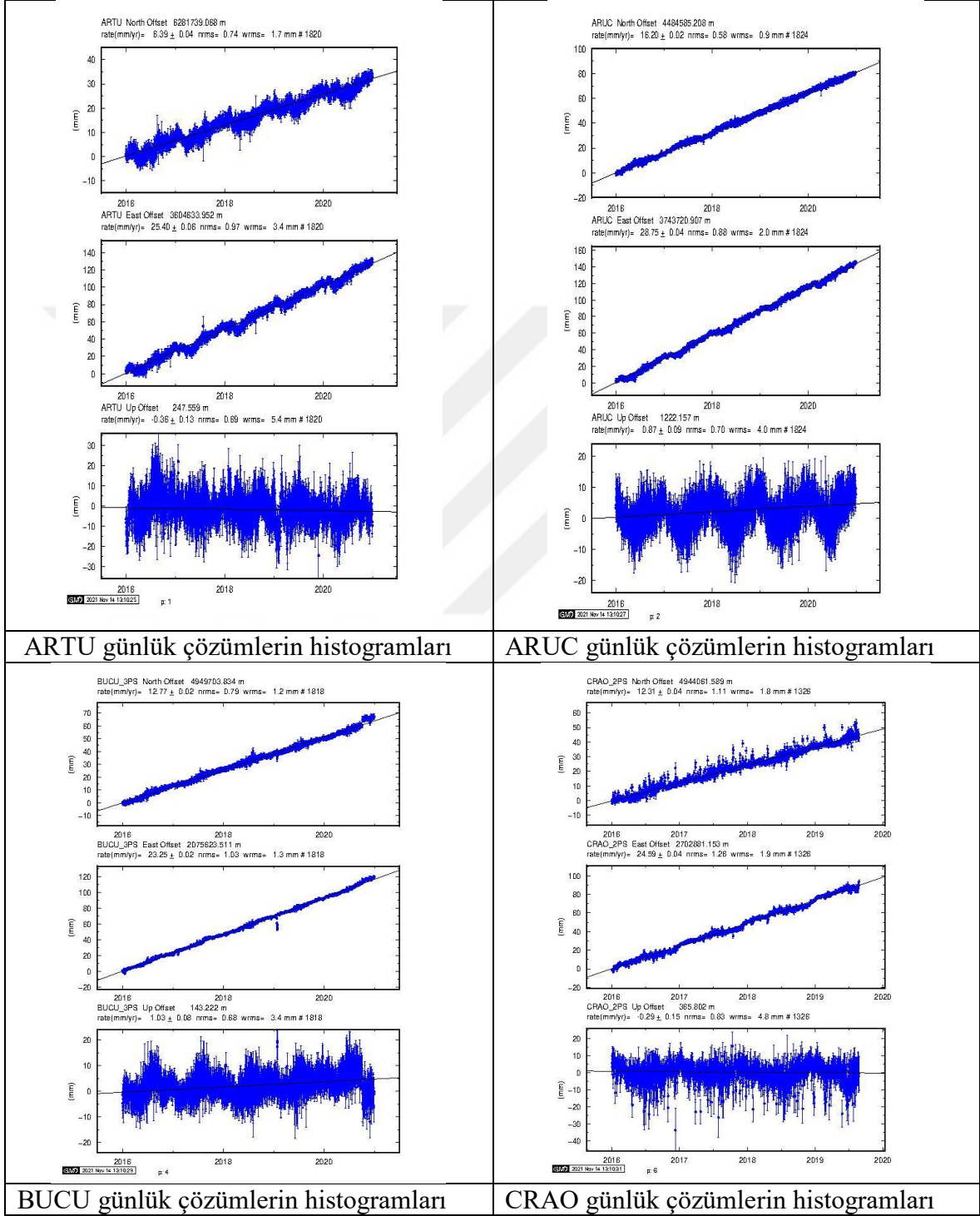
- Pytharouli, S., Kontogianni, Y., Psimoulis, P. ve Stiros, S., 2004. Spectral Analysis Techniques in Deformation Analysis Studies, INGENEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying Bratislava, Slovakia.
- Simav, Ö., Demir, C., Simav, M. ve Yıldız, H. (2006). Sabit Gps İstasyonları Koordinat Zaman Serilerinin Analizi.
- Şanlı, D.U., 2002. GPS Zaman Serilerinin Analiz ve Türkiye İçin Değerlendirmeler, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK), 2002 Bilimsel Toplantısı, Tektonik Ve Jeodezik Ağlar Çalıştay, Ekim, İznik, Bildiriler ve Konuşma Tutanakları Kitabı: 216-225
- Tiryakioğlu, İ., Uğur, M.A., Yılmaz, M., Özkaymak, Ç., Yavaşoğlu, H. (2017). Van Depremleri Sonrası Bölgenin Gns Hızları, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-13 Ekim, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- URL-1, Kaynak: Tusaga-Aktif İstasyonları, <https://www.tkgm.gov.tr/tr/icerik/tusaga-aktif-0>, erişim tarihi: 20.09.2021
- URL-2, Kaynak: IGS İstasyonları, <https://igs.org/network/#station-map-list>, erişim tarihi: 24.09.2021
- URL-3, Kaynak: Tusaga-Aktif İstasyonlarından Veri İndirme, <https://www.tusaga-aktif.gov.tr>, erişim tarihi: 27.09.2021
- URL-4, Kaynak: GPS Çalışma Prensibi, <https://320volt.com/wp-content/uploads/2009/02/gps-kontrol-uzay-kullanici-bolumleri-iliskisi.jpg>, erişim tarihi: 29.09.2021
- URL-5, Kaynak: Mutlak Konum Belirleme, <https://lh3.googleusercontent.com>, erişim tarihi: 01.10.2021
- URL-6, Kaynak: GPS Uydusu, <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons>, erişim tarihi: 03.10.2021
- URL-7, Kaynak: Rölatif Konum Belirleme, <https://docplayer.biz.tr/192766651>, erişim tarihi: 05.10.2021
- URL-8, Kaynak: 5 Tusaga-Aktif İstasyonunu, <https://www.harita.gov.tr/public/sunum/>, erişim tarihi: 08.10.2021
- URL-9, Kaynak: ITRF2014'den ITRF96'ya Datum Dönüşüm Parametreleri, https://itrf.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2014_ITRFs.txt, erişim tarihi: 21.01.2021
- URL-10, Kaynak: Mutlak Konum Belirleme, <https://www.elektronikhaberlesme.org/gps-global-positioning-system>, erişim tarihi: 21.02.2022

Zhang, J., Bock, Y., Johnson, H., Fang, P., Williams, S., Genrich, J., Wdowinski, S., Behr, J., 1997. Southern California Permanent GPS Geodetic Array: Error Analysis of Daily Position Estimates and Site Velocities, *Journal of Geophysical Research*, 102(B8), 18035-18055

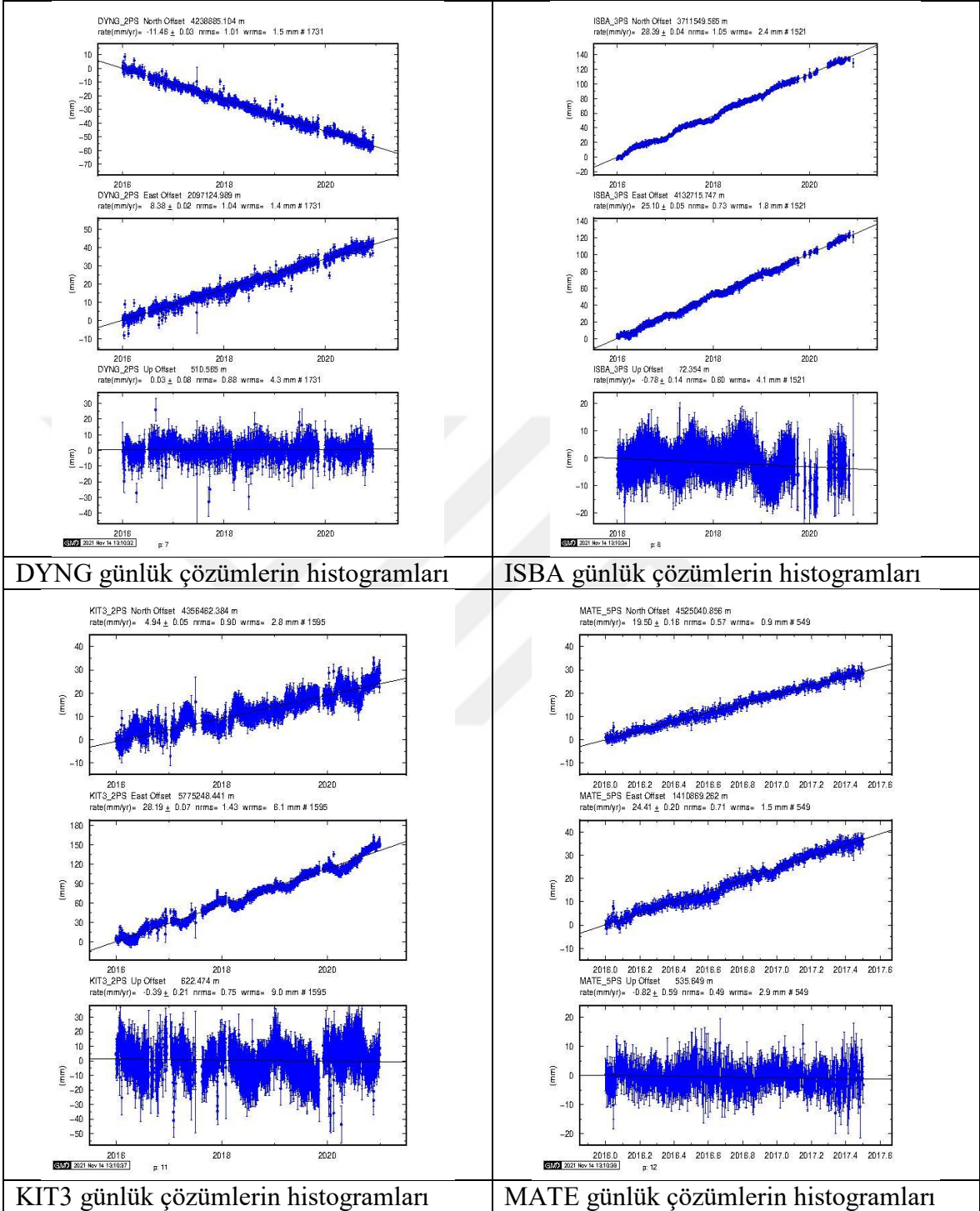


6. EKLER

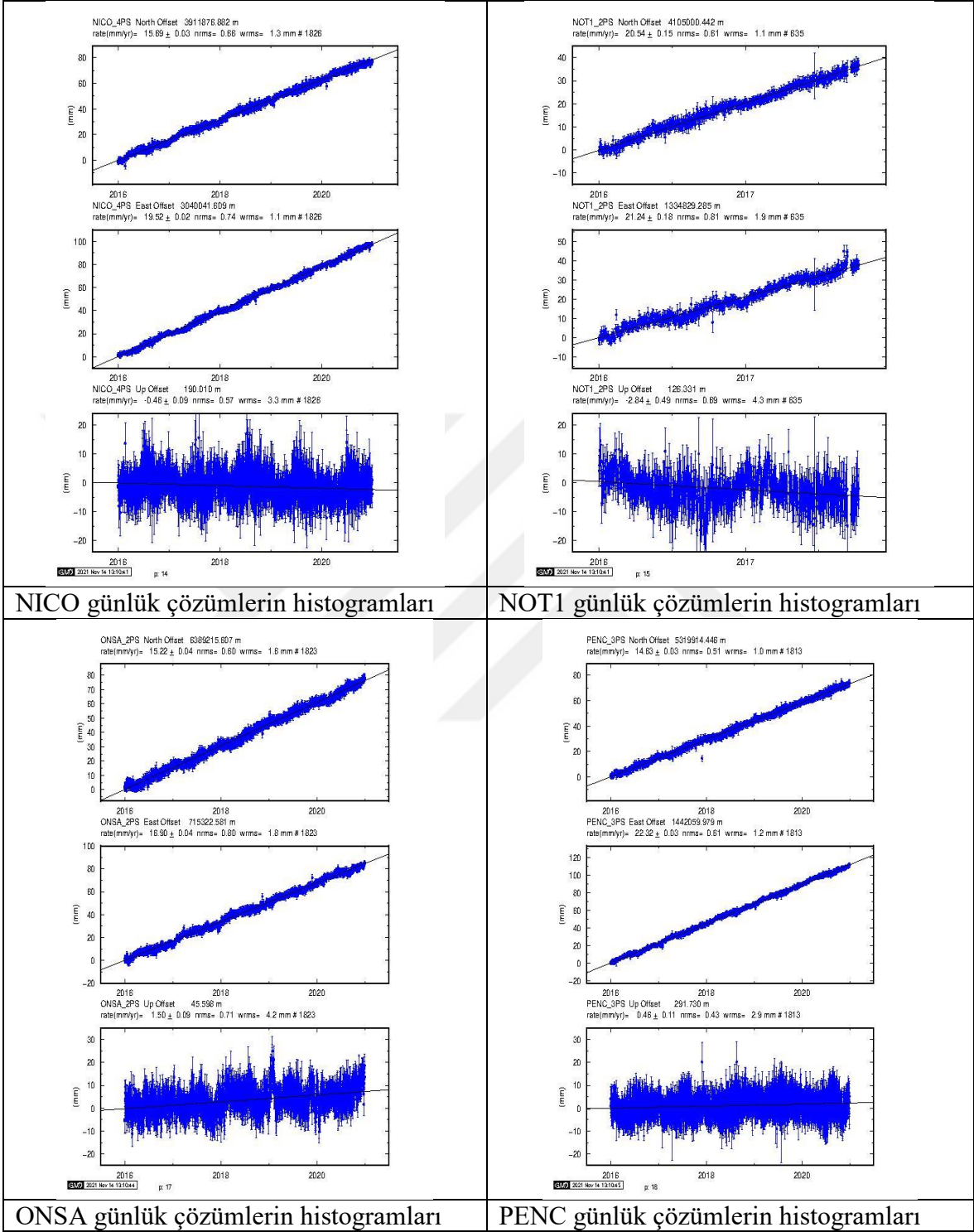
Ek Şekil 1. IGS İstasyonlarındaki Günlük Çözümlerin Histogramları



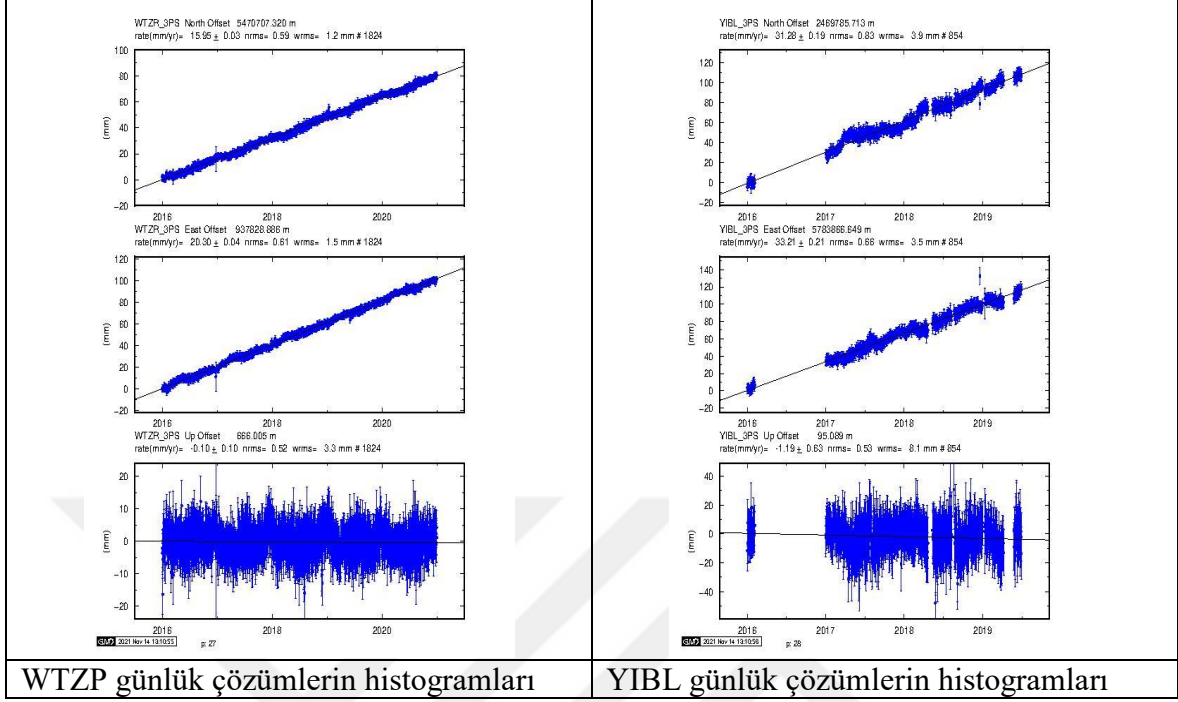
Ek Şekil 1'in devamı



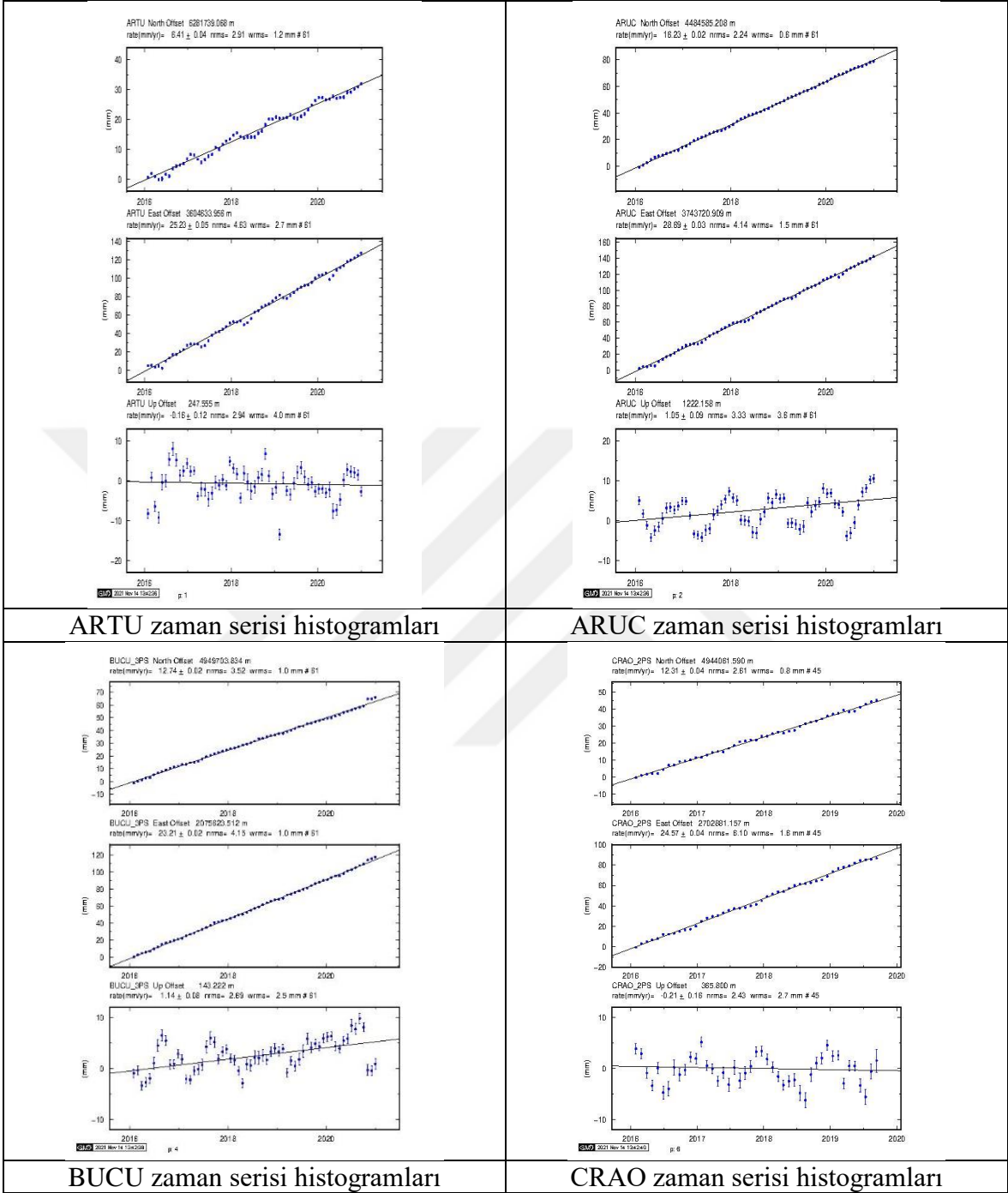
Ek Şekil 1'in devamı



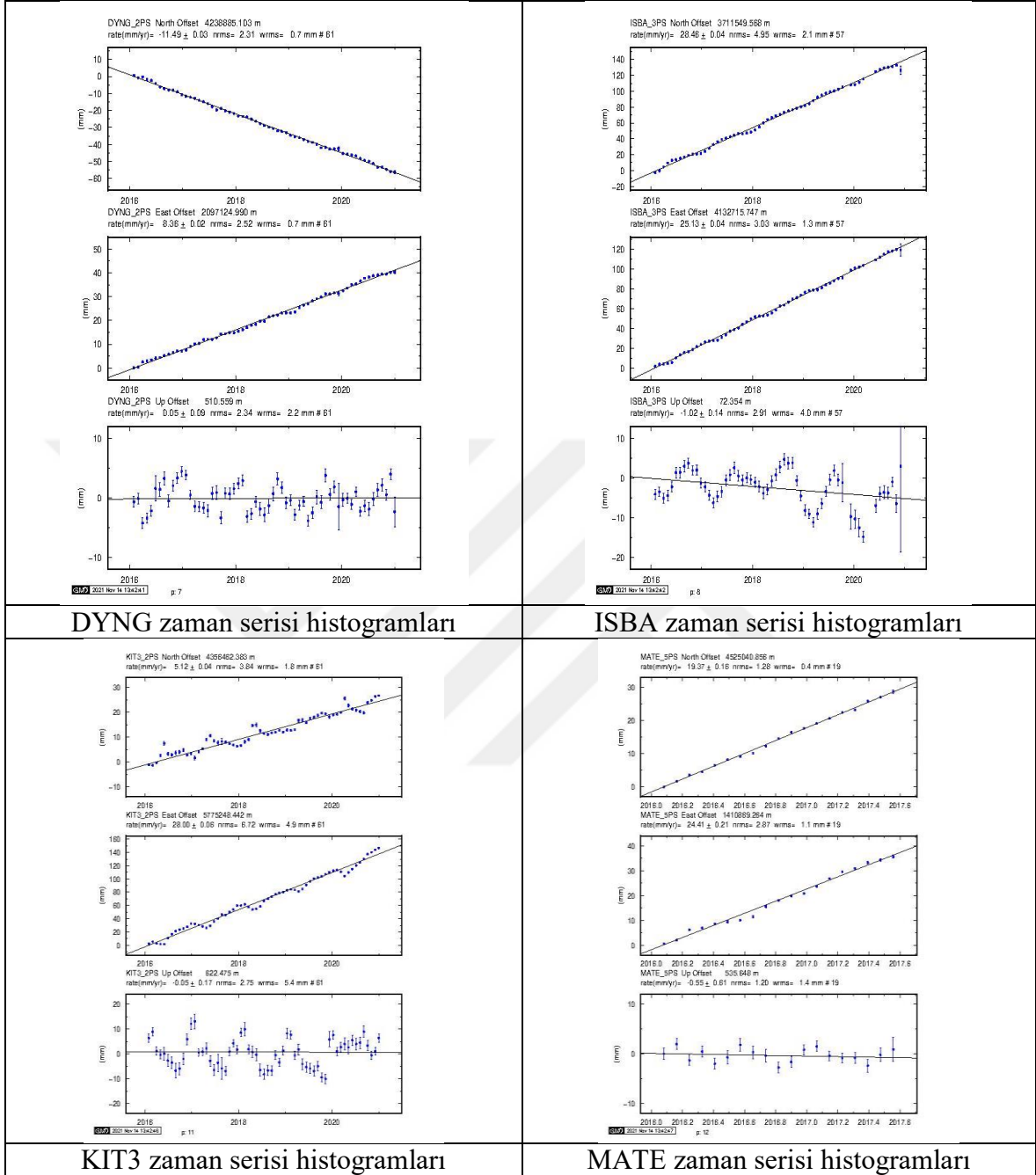
Ek Şekil 1'in devamı



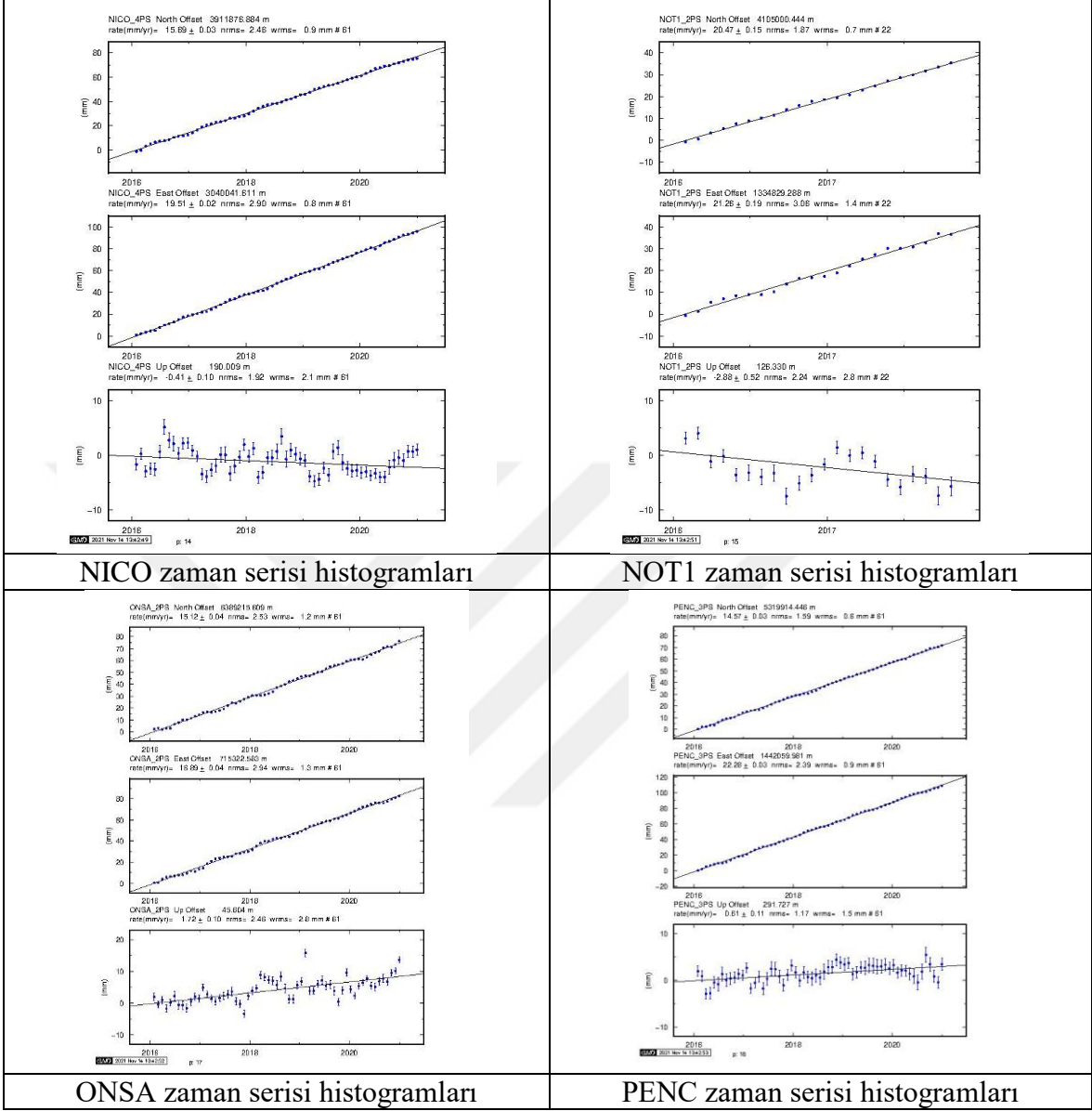
Ek Şekil 2. IGS İstasyonlarındaki Zaman Serileri Histogramları



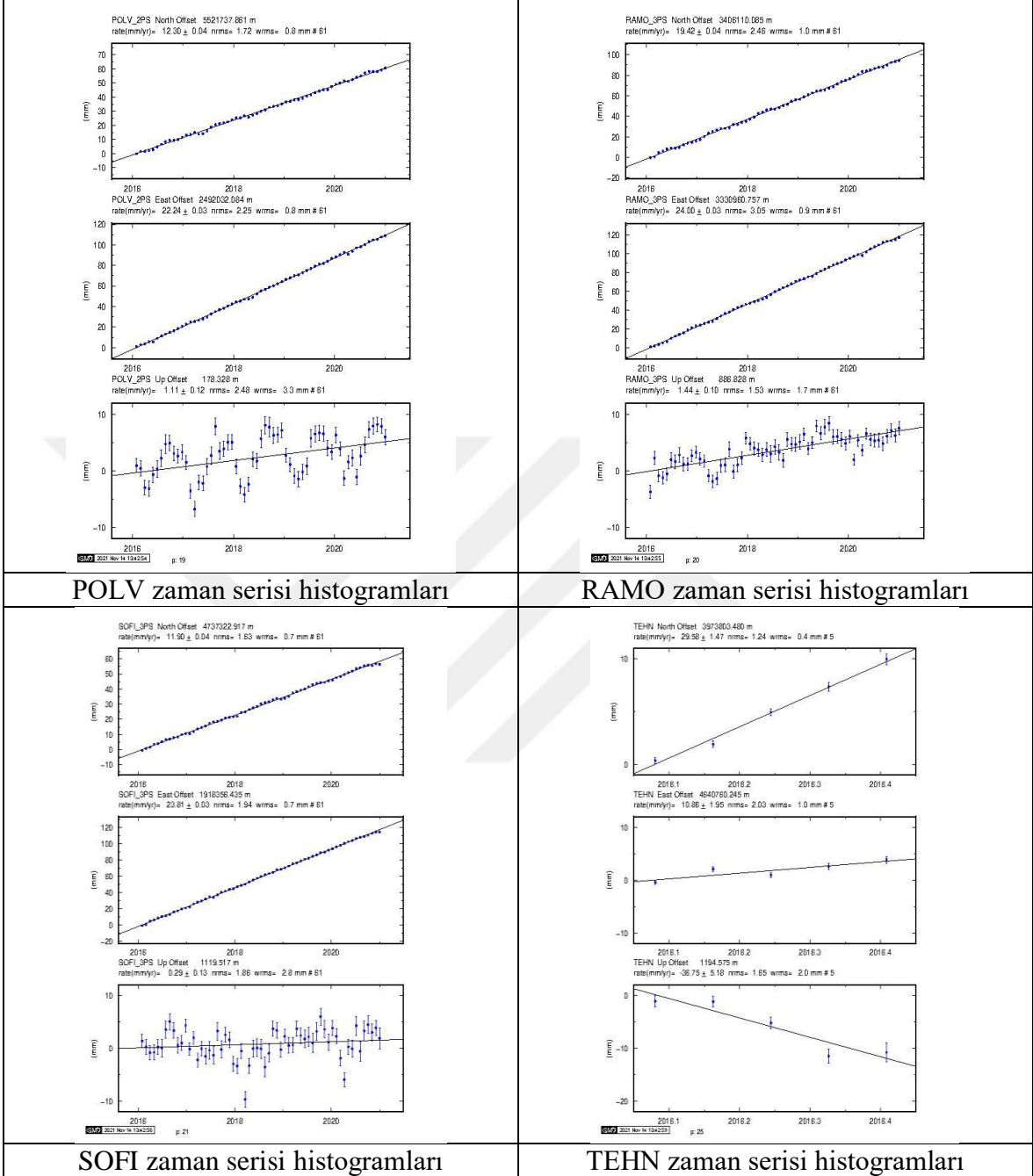
Ek Şekil 2'in devamı



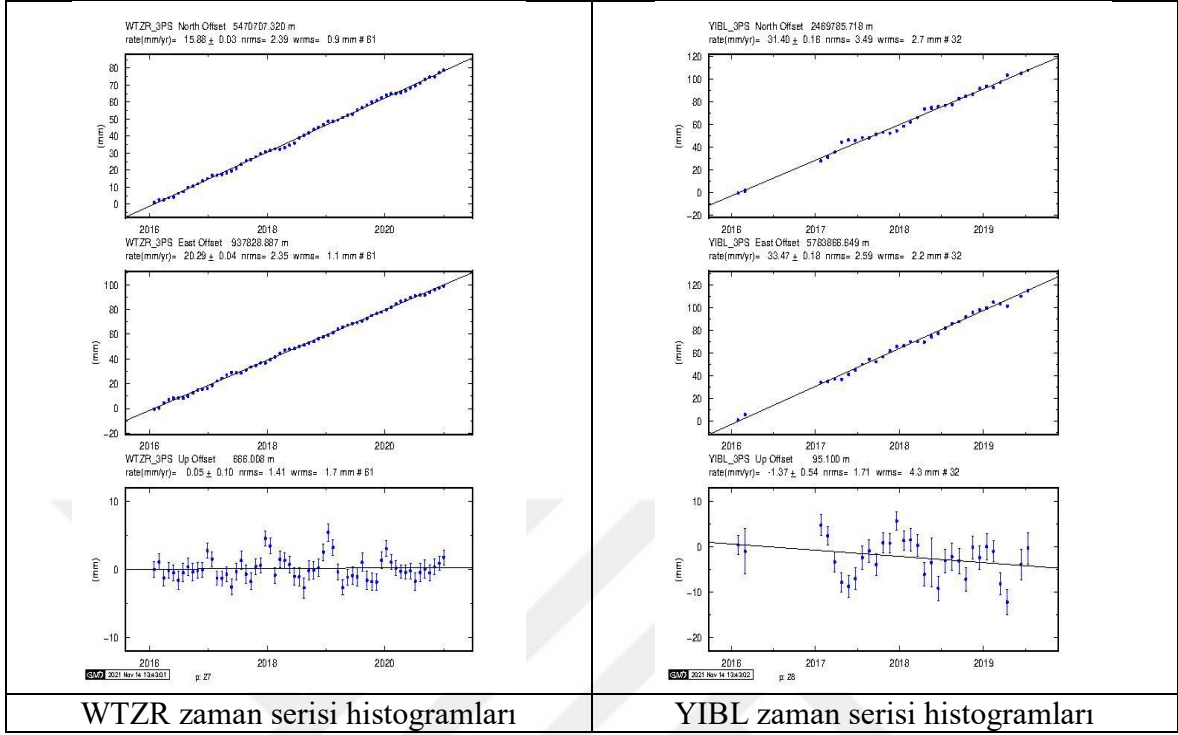
Ek Şekil 2'in devamı



Ek Şekil 2'in devamı



Ek Şekil 2'in devamı



Ek Tablo 1. GAMIT-GLOBK Programıyla Elde Edilen 5 İstasyona Ait Kartezyen Koordinat ve Nihai Hız Değerleri

<p>Int. IZMT_GPS 4189506.33375 2414031.62378 4146015.00217 0.00000 0.00000 0.00000 2016.081 85. IZMT_GPS X coordinate (m) 4189506.06771 -0.26604 0.00021 86. IZMT_GPS Y coordinate (m) 2414031.49508 -0.12870 0.00014 87. IZMT_GPS Z coordinate (m) 4146014.94075 -0.06142 0.00019 88. IZMT_GPS X rate (m/yr) -0.01619 -0.01619 0.00007 89. IZMT_GPS Y rate (m/yr) 0.01337 0.01337 0.00005 90. IZMT_GPS Z rate (m/yr) 0.00913 0.00913 0.00007 Position of IZMT_GPS referred to 2020.9986 XYZ offsets 0.0000 0.0000 0.0000 years Loc. IZMT_GPS X uncorr pos. (m) 4189506.06771 -0.26604 0.00021 Loc. IZMT_GPS Y uncorr pos. (m) 2414031.49508 -0.12870 0.00014 Loc. IZMT_GPS Z uncorr pos. (m) 4146014.94075 -0.06142 0.00019 Unc. IZMT_GPS 4189506.06771 2414031.49508 4146014.94075 -0.01619 0.01337 0.00913 2020.999 0.0002 0.0001 0.0002 Apr. IZMT_GPS 4189506.06771 2414031.49508 4146014.94075 -0.01619 0.01337 0.00913 2020.999 0.0002 0.0001 0.0002 0.0001 0.0000 0.0001 Loc. IZMT_GPS N coordinate (m) 4542055.65709 0.14525 0.00008 Loc. IZMT_GPS E coordinate (m) 2523801.42698</p>	<p>Int. ISTN_GPS 4223660.99001 2325015.34161 4161716.40525 0.00000 0.00000 0.00000 2016.081 97. ISTN_GPS X coordinate (m) 4223660.70917 -0.28084 0.00027 98. ISTN_GPS Y coordinate (m) 2325015.23199 -0.10962 0.00017 99. ISTN_GPS Z coordinate (m) 4161716.33964 -0.06561 0.00024 100. ISTN_GPS X rate (m/yr) -0.01953 -0.01953 0.00009 101. ISTN_GPS Y rate (m/yr) 0.01731 0.01731 0.00006 102. ISTN_GPS Z rate (m/yr) 0.00890 0.00890 0.00008 Position of ISTN_GPS referred to 2020.9986 XYZ offsets 0.0000 0.0000 0.0000 years Loc. ISTN_GPS X uncorr pos. (m) 4223660.70917 -0.28084 0.00027 Loc. ISTN_GPS Y uncorr pos. (m) 2325015.23199 -0.10962 0.00017 Loc. ISTN_GPS Z uncorr pos. (m) 4161716.33964 -0.06561 0.00024 Unc. ISTN_GPS 4223660.70917 2325015.23199 4161716.33964 -0.01953 0.01731 0.00890 2020.999 0.0003 0.0002 0.0002 Apr. ISTN_GPS 4223660.70917 2325015.23199 4161716.33964 -0.01953 0.01731 0.00890 2020.999 0.0003 0.0002 0.0002 0.0001 0.0001 0.0001 Loc. ISTN_GPS N coordinate (m) 4563093.23012 0.14564 0.00010 Loc. ISTN_GPS E coordinate (m) 2422549.96064</p>
IZMT istasyonuna ait koordinat ve hız değerleri	ISTN istasyonuna ait koordinat ve hız değerleri
<p>Int. TEKR_GPS 4278776.82251 2227058.08806 4158962.19613 0.00000 0.00000 0.00000 2016.081 103. TEKR_GPS X coordinate (m) 4278776.55396 -0.26855 0.00022 104. TEKR_GPS Y coordinate (m) 2227057.97891 -0.10915 0.00013 105. TEKR_GPS Z coordinate (m) 4158962.12594 -0.07019 0.00020 106. TEKR_GPS X rate (m/yr) -0.01663 -0.01663 0.00008 107. TEKR_GPS Y rate (m/yr) 0.01744 0.01744 0.00005 108. TEKR_GPS Z rate (m/yr) 0.00787 0.00787 0.00007 Position of TEKR_GPS referred to 2020.9986 XYZ offsets 0.0000 0.0000 0.0000 years Loc. TEKR_GPS X uncorr pos. (m) 4278776.55396 -0.26855 0.00022 Loc. TEKR_GPS Y uncorr pos. (m) 2227057.97891 -0.10915 0.00013 Loc. TEKR_GPS Z uncorr pos. (m) 4158962.12594 -0.07019 0.00020 Unc. TEKR_GPS 4278776.55396 2227057.97891 4158962.12594 -0.01663 0.01744 0.00787 2020.999 0.0002 0.0001 0.0002 Apr. TEKR_GPS 4278776.55396 2227057.97891 4158962.12594 -0.01663 0.01744 0.00787 2020.999 0.0002 0.0001 0.0002 0.0001 0.0000 0.0001 Loc. TEKR_GPS N coordinate (m) 4559461.15788 0.13530 0.00008</p>	<p>Int. BURS_GPS 4265348.06259 2365803.44764 4096299.50871 0.00000 0.00000 0.00000 2016.081 91. BURS_GPS X coordinate (m) 4265347.81887 -0.24372 0.00033 92. BURS_GPS Y coordinate (m) 2365803.26082 -0.18682 0.00021 93. BURS_GPS Z coordinate (m) 4096299.43148 -0.07723 0.00029 94. BURS_GPS X rate (m/yr) -0.01153 -0.01153 0.00012 95. BURS_GPS Y rate (m/yr) -0.00037 -0.00037 0.00008 96. BURS_GPS Z rate (m/yr) 0.00626 0.00626 0.00011 Position of BURS_GPS referred to 2019.4309 XYZ offsets -2.3512 0.0000 -2.3571 years Loc. BURS_GPS X uncorr pos. (m) 4265347.83696 -0.22563 0.00019 Loc. BURS_GPS Y uncorr pos. (m) 2365803.26140 -0.18624 0.00021 Loc. BURS_GPS Z uncorr pos. (m) 4096299.42165 -0.08706 0.00018 Unc. BURS_GPS 4265347.83696 2365803.26140 4096299.42165 -0.01153 -0.00037 0.00626 2019.431 0.0002 0.0002 0.0002 Apr. BURS_GPS 4265347.83696 2365803.26140 4096299.42165 -0.01153 -0.00037 0.00626 2019.431 0.0002 0.0002 0.0002 0.0001 0.0001 0.0001 Loc. BURS_GPS N coordinate (m) 4476630.18698 0.13620 0.00013 Loc. BURS_GPS E coordinate (m) 2466564.09809 -0.04516 0.00012 Loc. BURS_GPS U coordinate (m)</p>
TEKR istasyonuna ait koordinat ve hız değerleri	BURS istasyonuna ait koordinat ve hız değerleri

Ek Tablo 2. Çalışmada Kullanılan 18 IGS İstasyonu ile 5 İstasyon Noktasının Sonuç Raporları

```

-----
GLOBK Ver 5.34X, Global solution
-----

Solution commenced with: 2016/ 1/ 1  0: 0      (2016.0000)
Solution ended with      : 2020/12/31 23:59     (2021.0000)
Solution refers to      : 2020/12/31 11:59     (2020.9986) [Seconds tag
45.000]
Satellite IC epoch      : 2020/12/31 12: 0  0.00
GPS System Information  : Time GPST Frame J2000 Precession IAU0A
Radiation model ECOMC Nutation IAU0A Gravity EGR08 EarthRad TUME1
AntThrust ANTBK
MODELS Used in Analysis: SD-WOB | SD-UT1 | IERS10 | UT1-LIBR|
UNKNOWN | RotCov | E-Tide | K1-Tide | PTide | OC-Load | IERS10 |
LOAD Models Used       : FNCEP CM USED |
ATM Delay Models Used  : VMF1 | INP | VMF1 | VMF1 | 2nd
Order Ion | GMAP | IGRF13 |
Reference Frame        : IGB14
Run time               : 2021/11/14 13:54  0.00

There were      1827 exps from      61 global files in the solution
There were      186598956 data used,      0 data not used and
186598956 data total
There were      180 global parameters estimated
There were      28 Sites,      28 Used Sites,      0 radio sources, and      42
Satellites

The prefit chi**2 for      4593 input parameters is      7.275

LIST file      : aylk.gdl
COMMON file    : aylk.com
GLOBK CMD file : globk.cmd
GLORG CMD file : glorg.cmd
APRIORI file   : ./igb14_comb.apr
APRIORI file   : ./igb14_comb.apr (glorg)
NUTATION file  :
PLANETARY file :
SD ORIENT file :
PMU file       :
BACK SOLN file :
OUTGLOBAL file : Hylk.gd_COMB_00002.GLX
SVS EPHEM file :
SVS MARKOV file:
EARTHQUAKE file: ./igb14_comb.eq
EARTHQUAKE file: ./kaba_hatalar.eq

```

Ek Tablo 3. Çalışmada Kullanılan 18 IGS İstasyonu ile 5 İstasyon Noktasının Sonuç Raporları

SUMMARY VELOCITY ESTIMATES FROM GLOBK Ver 5.34X							
Long.	Lat.	E & N Rate		E & N Adj.		E & N +-	
RHO	H Rate	H adj.	+-	SITE			
(deg)	(deg)		(mm/yr)		(mm/yr)		(mm/yr)
(mm/yr)							
66.88545	39.13477	28.10	5.09	0.12	-0.48	0.06	
0.04 -0.369	-0.64	1.21	0.17	KIT3_2PS*			
58.56046	56.42982	25.23	6.32	-0.03	0.12	0.05	
0.04 0.476	-0.26	-0.38	0.12	ARTU_GPS*			
56.11234	22.18646	34.08	30.83	1.04	-0.98	0.16	
0.15 -0.263	-2.54	-0.60	0.54	YIBL_3PS*			
51.33410	35.69728	30.57	16.21	3.73	-3.58	1.16	
1.26 0.006	-24.35	-25.27	4.65	TEHN_GPS			
51.33410	35.69729	21.52	25.90	-5.32	6.10	0.14	
0.15 -0.045	-4.10	-5.03	0.53	TEHN_2PS*			
51.33410	35.69728	18.75	5.20	-8.09	-14.59	0.92	
0.99 -0.018	-17.37	-18.30	3.62	TEHN_3PS			
51.33410	35.69728	25.47	17.60	-1.37	-2.19	0.12	
0.13 -0.068	-2.20	-3.13	0.51	TEHN_4PS*			
44.43841	33.34142	25.07	28.37	0.10	0.33	0.04	
0.04 -0.331	-1.24	-0.54	0.14	ISBA_3PS*			
44.08559	40.28572	28.71	16.11	-0.10	-0.26	0.03	
0.03 -0.245	0.89	-0.26	0.10	ARUC_GPS*			
34.76314	30.59761	23.98	19.29	0.47	-0.32	0.03	
0.04 -0.173	1.21	0.57	0.11	RAMO_3PS*			
34.54294	49.60262	22.28	12.21	-0.19	-0.14	0.03	
0.04 0.061	1.04	1.20	0.12	POLV_2PS*			
33.99099	44.41326	24.69	12.30	0.39	0.02	0.04	
0.04 0.002	-0.29	0.16	0.16	CRAO_2PS*			
33.39645	35.14099	19.50	15.56	0.14	0.05	0.02	
0.03 -0.089	-0.60	-0.54	0.10	NICO_4PS*			
29.97739	40.14146	2.76	9.57	2.76	9.57	0.03	
0.03 0.045	0.03	0.03	0.12	BILE_GPS			
29.95094	40.80198	19.67	11.72	19.67	11.72	0.03	
0.03 0.022	0.36	0.36	0.10	IZMT_GPS			
29.01523	40.21425	5.27	11.39	5.27	11.39	0.04	
0.05 0.005	-3.83	-3.83	0.16	BURS_GPS			
28.83164	40.99096	24.59	12.46	24.59	12.46	0.03	
0.04 -0.001	-0.82	-0.82	0.13	ISTN_GPS			
27.49650	40.95834	23.15	10.33	23.15	10.33	0.03	
0.03 0.056	0.06	0.06	0.11	TEKR_GPS			
26.12575	44.46395	23.27	12.67	0.18	0.35	0.02	
0.03 -0.074	1.06	-0.12	0.09	BUCU_3PS*			
23.93244	38.07855	8.36	-11.53	-0.09	-0.06	0.03	
0.03 0.269	0.01	-0.87	0.09	DYNG_2PS*			
23.39474	42.55610	23.86	11.83	-0.05	-0.07	0.04	
0.04 0.011	0.15	0.56	0.13	SOFI_3PS*			
19.28153	47.78961	22.37	14.52	-0.00	-0.20	0.03	

Ek Tablo 3'ün devamı

19.28153	47.78961	22.37	14.52	-0.00	-0.20	0.03	0.03
-0.227	0.50	1.25	0.12	PENC_3PS*			
16.70446	40.64913	24.28	19.62	0.79	0.32	0.16	
0.17	-0.076	-0.66	-0.81	0.64	MATE_5PS*		
16.70446	40.64913	23.60	19.33	0.11	0.03	0.05	
0.04	0.079	-0.19	-0.33	0.16	MATE_6PS*		
14.98979	36.87585	21.18	20.65	-0.13	0.71	0.15	
0.14	0.029	-3.23	-1.96	0.55	NOT1_2PS*		
14.98979	36.87585	21.60	19.29	0.29	-0.65	0.07	
0.07	0.122	0.03	1.30	0.26	NOT1_3PS*		
12.87891	49.14420	20.37	15.84	0.05	0.19	0.04	
0.03	-0.260	-0.05	0.12	0.11	WTZR_3PS*		
11.92552	57.39530	17.01	15.08	-0.19	0.27	0.04	
0.04	-0.560	1.65	-0.97	0.10	ONSA_2PS*		
VEL STATISTICS: For 21 RefSites WRMS ENU					0.40	0.47	0.78

ÖZGEÇMİŞ

2012 yılında Fatih Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümüne başladı. 2016 yılında Harita Mühendisliği Bölümü'nden yüksek lisans eğitimine 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde başladı. 2018 yılında Ankara Odtü Teknokent Piri Reis Bilişim A.Ş.'de CBS uzmanı olarak göreve başladı. Kara Kuvvetleri Komutanlığı'nda "Yapay Zeka" projesinde sorumlu mühendis olarak görev aldı. HGM'nin 'Atlas HGM' projesinde görev aldı. Jandarma Genel Komutanlığı'nda 'JEMUS CAS' projesinde görev almaktadır. Bildiği yabancı dil İngilizcedir.