



**GNSS ZAMAN SERİLERİNİN
TEKİL SPEKTRUM ANALİZİ
İLE FİLTRELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mehmet Ali UĞUR

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ağustos 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

GNSS ZAMAN SERİLERİNİN
TEKİL SPEKTRUM ANALİZİ
İLE FİLTRELENMESİ

Mehmet Ali UĞUR

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ağustos 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Mehmet Ali UĞUR tarafından hazırlanan “GNSS Zaman Serilerinin Tekil Spektrum Analizi ile Filtrelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 26 / 08 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Başkan : Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN
Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Tamer BAYBURA
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İbrahim YILMAZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Mehmet Ali DERELİ
Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26 / 08 / 2024

Mehmet Ali UĞUR

ÖZET

Doktora Tezi

GNSS ZAMAN SERİLERİNİN TEKİL SPEKTRUM ANALİZİ İLE FİLTRELENMESİ

Mehmet Ali UĞUR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite System – GNSS) gibi modern uzay jeodezik sistemleri, dünyanın herhangi bir yerinde konumlandırma ve zaman aktarımını sağlayan radyo navigasyon teknolojisine dayanmaktadır. GNSS dünya yüzeyi ve çevresel dinamiklerini yüksek çözünürlük ve hassasiyetle izlemek ve modellemek için benzersiz bir fırsat sağlamaktadır.

Sürekli Çalışan Referans İstasyonları (CORS) belirli bir noktada sürekli GNSS ölçümleri gerçekleştiren alıcılardır. Küresel ve bölgesel GNSS ağlarında tesis edilen bu alıcılar, GNSS koordinat zaman serilerinin sürekli ve düzenli olarak elde edilmesine ve konumla ilgili değişikliklerin tespit edilip izlenmesine olanak tanımaktadır. Bu zaman serilerinden istenilen sinyallerin ve bilgilerin alınabilmesi için çeşitli analizler gerekmektedir. Analiz esnasında gelişmiş matematiksel ve istatistiksel teknikler kullanılmaktadır.

Türkiye’deki TUSAGA-Aktif ağında yer alan istasyonların kurulumlarına 2006 yılında başlanmış ve 2009 yılında tamamlanmıştır. İstasyonların birçoğunda yaklaşık 15 yıllık zaman serileri bulunmaktadır. Zaman serileri görsel olarak incelediğinde deprem etkisi, lineer olmayan trendler, zamanla değişken genliklere sahip periyodik hareketler ve geçici sinyaller gibi birçok karmaşık yapılar gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada, TUSAGA-Aktif ağındaki istasyonlara ait uzun zaman serileri analiz edilmiştir. Zaman serilerini filtrelemek, anlamlı trendleri ve mevsimsel sinyalleri çıkarmak için Robust Kestirimi (RK) ile Tekil Spektrum Analizi (TSA) yöntemleri

kullanılmıştır. Gelişmiş yöntemlerin kullanımıyla GNSS zaman serilerinin analizinden elde edilen bilgilerin doğruluğunun ve güvenilirliğinin artırılması hedeflenmektedir. Çalışmanın amacı, zaman serileri analizi ile istasyonların hareketleri hakkında elde edilecek bilgiler yardımıyla mevsimsel etkileri ve yer hareketlerini anlamak ve tespit etmektir.

Tez kapsamında Marmara bölgesinde yer alan TUSAGA-Aktif istasyonları zaman serileri iki farklı yöntem ile analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, RK yönteminde zaman serisine uygun bir lineer trend elde edilirken TSA yönteminde trend eğrisel olarak elde edilmektedir. Yer bilimleri ve özellikle tektonik çalışmalarda lineer trendin kullanılması tercih sebebi olabilir. TSA yönteminin özellikle mevsimsel periyodik salınımların çıkarımında, RK yöntemine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bunun temel sebebi; RK yöntemi her bir mevsimsel periyod için sabit bir genlik ve frekans değeri kullanırken TSA yönteminde böyle bir kısıtlama yoktur. Son olarak zaman serilerinde geçici (transiyent) sinyallerin olduğu durumlarda, TSA yöntemi daha başarılı sonuçlar vermektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında TUSAGA-Aktif istasyon zaman serilerine RK ve TSA yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmış ve farklı durumlardaki performansları hakkında bulgular ve tartışmalar yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarının jeodezik, jeolojik ve jeofizik alanındaki çalışmalara yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

2024, xi + 153 sayfa

Anahtar Kelimeler: GNSS, Zaman Serileri, Robust Kestirimi, Tekil Spektrum Analizi

ABSTRACT
Ph.D. Thesis

FILTERING GNSS TIME SERIES USING SINGULAR SPECTRUM ANALYSIS
Mehmet Ali UĞUR

Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering
Supervisor: Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU, PhD

Modern space geodetic systems, such as Global Navigation Satellite Systems (GNSS), are based on radio navigation technology that provides positioning and time transmission anywhere in the world. GNSS provides a unique opportunity to monitor and model the Earth's surface and environmental dynamics with high resolution and precision.

Continuously Operating Reference Stations (CORS) are the receivers that perform continuous GNSS measurements at a specific point. These receivers, installed in global and regional GNSS networks, allow continuous and regular acquisition of GNSS coordinate time series and detection and monitoring of changes related to location. Advanced mathematical and statistical techniques are used during time series analysis to obtain the desired signals and information from these time series.

The installation of the stations in the CORS-TR network in Türkiye began in 2006 and was completed in 2009. Most of the stations have approximately 15 years of time series. When the time series are visually examined, many complex structures such as earthquake effects, non-linear trends, periodic movements with variable amplitudes over time, and transient signals are observed.

In this study, the time series of stations in CORS-TR network were analyzed. Robust Estimation (RE) and Singular Spectrum Analysis (SSA) methods were used to filter time series. These advanced methods are used to increase the accuracy and reliability of the information obtained from the analysis of GNSS time series. The aim of the study is to understand and detect seasonal effects and ground movements with the help of the information to be obtained from the time series analysis of the stations.

Within the scope of the thesis, the time series of CORS-TR stations located in the Marmara region were analyzed with two different methods and the results were compared. As a result of these comparisons, the trend is obtained as a suitable linear line for the time series in RE method, while the trend is obtained as a non-linear curve in SSA method. The use of linear trend may be preferred in earth sciences and especially tectonic studies. It is seen that the SSA method is more successful than the RK method, especially in the extraction of seasonal periodic oscillations. The main reason for this is that the RE method uses a fixed amplitude and frequency value for each seasonal period, while the SSA method does not have such a restriction. Finally, in cases where there are transient signals in the time series, the SSA method gives more successful results.

In this thesis study, RE and SSA methods were applied to CORS-TR station time series. The results of these methods were compared and findings were obtained and discussions were performed based on their performances in different situations. It can be stated that the results of the study can assist the studies in the fields of geodetic, geological and geophysical.

2024, xi + 153 pages

Keywords: GNSS, Time Series, Robust Estimation, Singular Spectrum Analysis

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımda yapmış olduğu katkılarından dolayı, değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli tez danışmanım, Sayın Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, değerli bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım tez izleme komitesi üyelerim; Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN'a ve Prof. Dr. Mustafa YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez savunmamda yer alan, katkı öneri ve destekleri için Prof. Dr. Tamer BAYBURA, Prof. Dr. İbrahim YILMAZ ve Doç. Dr. Mehmet Ali DERELİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazım sürecinde yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Eren Can SEYREK, matematiksel ifadeleri kavramada ve yazımda yardımcı olan Arş. Gör. İbrahim ÇELİK, manevi desteğini her zaman hissettiğim Tekn. Hasan EMRECİK'e sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca tezimin araştırma süresince beni destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü akademik personeline ayrı ayrı teşekkür ederim.

Tez çalışmamda yararlandığım GNSS zaman serilerini, Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası Web Uygulaması üzerinden sunan Harita Genel Müdürlüğü tüzel kişiliğine ve Tekil Spektrum Analizi (TSA) algoritmasının MATLAB'de uygulanması sırasında sorularıma sabırla cevap veren ve deneyimlerini paylaşan Dr. Qiang Chen'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bu uzun ve zorlu süreçte her zaman yanımda olan, sabır, sevgi ve desteklerini esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Ali UĞUR
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	4
2.1 Ulusal Literatürdeki Çalışmalar.....	4
2.2 Uluslararası Literatürdeki Çalışmalar	6
3. SÜREKLİ GNSS İSTASYONLARI VE AĞLARI.....	9
3.1 Uluslararası GNSS Servisi.....	9
3.2 Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı - Aktif (TUSAGA-Aktif)	11
3.3 Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası Web Uygulaması	13
4. GNSS ZAMAN SERİLERİ ANALİZİ.....	15
4.1 Zaman Serileri: Tanım	15
4.2 GNSS Zaman Serilerinin Matematiksel Modeli	16
4.3 Aykırı Değerlerin Tespiti.....	20
4.4 Robust Kestirimi (RK).....	23
4.5 Tekil Spektrum Analizi (TSA)	25
5. UYGULAMA	32
5.1 Uygulama Akışı	32
5.2 Çalışma Alanı	33
5.2 Verilerin Düzenlenmesi	34
5.3 Aykırı Değerlerin Tespiti.....	36
5.4 Robust Kestirim (RK) Uygulaması.....	39
5.5 Tekil Spektrum Analizi (TSA) Uygulaması	44
5.6 RK ve TSA Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	50
5.6.1 Grafikselsel Karşılaştırma	51
5.6.2 Histogram Karşılaştırma	54

5.6.3 İstatiksel Karşılaştırma.....	56
5.6.4 Tüm İstasyonlara Ait Sonuçların Karşılaştırılması	57
6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	63
7. KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ.....	74
EK-1 HAM ZAMAN SERİLERİ	79
EK-2 AYKIRI DEĞERLERİN TESPİTİ	85
EK-3 ROBUST KESTİRİMİ SONUÇLARI.....	91
EK-4 TEKİL SPEKTRUM ANALİZİ SONUÇLARI	107
EK-5: SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	138



KISALTMALAR DİZİNİ

ARMA	Autoregressive Moving Average
BAN1	Bandırma TUSAGA-Aktif İstasyonu
CORS	Continuously Operating Reference Stations
CORS-TR	Continuously Operating Reference Stations – Türkiye
ÇK-TSA	Çok Kanallı Tekil Spektrum Analizi
EBOK	En Büyük Olabilirlik Kestirimi
EKK	En Küçük Kareler
EUREF	European Reference Frame
EVs	Eigenvectors
GGOS	Global Geodetic Observing System
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GRACE	Gravity Recovery and Climate Experiment
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
IAG	International Association of Geodesy
IGS	International GNSS Service
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
IQR	Inter Quartile Range
ISTN	İstanbul TUSAGA-Aktif İstasyonu
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
LS-VCE	Least-Squares Variance Component Estimation
MAD	Median Absolute Deviation
NaN	Not-a-Number
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RCs	Reconstruction Components
RK	Robust Kestirimi
SARY	Saray TUSAGA-Aktif İstasyonu
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SLR	Satellite Laser Ranging
SLEE	Şile TUSAGA-Aktif İstasyonu
SSA	Singular Spectrum Analysis
TEKR	Tekirdağ TUSAGA-Aktif İstasyonu
TKGM	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
TSA	Tekil Spektrum Analizi
TUDES	Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi
TUSAGA-Aktif	Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı-Aktif
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
WDS	World Data System
WS	Window Size

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Dünya üzerindeki IGS istasyonlarının dağılımı.	11
Şekil 3.2 TUSAGA-Aktif istasyonları.	12
Şekil 3.3 ISTN istasyonu konum, anten ve alıcı resimleri.	12
Şekil 3.4 Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası web uygulaması ara yüzü.	13
Şekil 3.5 Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası web uygulamasında ISTN bilgi penceresi. .	14
Şekil 3.6 Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası web uygulamasında ISTN zaman serisi grafiği.	14
Şekil 5.1 Uygulama iş akış şeması.	32
Şekil 5.2 Çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonlarının konumları.	33
Şekil 5.3 ISTN istasyonu koordinat dosyasının bir kısmı.	34
Şekil 5.4 ISTN istasyonu Kuzey bileşeni ham zaman serisi grafiği.	36
Şekil 5.5 ISTN Kuzey bileşeni orijinal zaman serisi ve hareketli ortalama.	37
Şekil 5.6 ISTN Kuzey bileşeni artık değerler ve aykırı değerler.	37
Şekil 5.7 ISTN Kuzey bileşeni orijinal zaman serisi ve aykırı değerler.	38
Şekil 5.8 ISTN Kuzey orijinal zaman serisi ve RK sonucu.	40
Şekil 5.9 ISTN Kuzey RK ile elde edilen Bi-kare ağırlıkları.	41
Şekil 5.10 ISTN Kuzey RK ile elde edilen lineer trend.	41
Şekil 5.11 ISTN Kuzey RK ile elde edilen mevsimsel periyodik etkiler.	42
Şekil 5.12 ISTN Kuzey orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.	42
Şekil 5.13 ISTN Kuzey trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.	43
Şekil 5.14 ISTN Kuzey artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).	43
Şekil 5.15 ISTN Kuzey bileşeni zaman serisi, RK trend ve trend çıkarılmış zaman serisi.	46
Şekil 5.16 ISTN Kuzey için TSA uygulamasında elde edilen ilk 15 RC.	47
Şekil 5.17 ISTN Kuzey için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).	47
Şekil 5.18 ISTN Kuzey için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.	48
Şekil 5.19 ISTN Kuzey için TSA sonucu seçilen RC'ler.	48
Şekil 5.20 ISTN Kuzey trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.	49
Şekil 5.21 ISTN Kuzey orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.	49
Şekil 5.22 ISTN Kuzey artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).	50
Şekil 5.23 ISTN Kuzey için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.	51

Şekil 5.24 ISTN Kuzey için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması....	51
Şekil 5.25 ISTN Doğu için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.	52
Şekil 5.26 ISTN Doğu için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.	52
Şekil 5.27 ISTN Yükseklik için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.	53
Şekil 5.28 ISTN Yükseklik için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.	53
Şekil 5.29 ISTN Kuzey için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.	54
Şekil 5.30 ISTN Doğu için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.	55
Şekil 5.31 ISTN Yükseklik için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.	55



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 Çalışmada kullanılan CORS-TR istasyonlarının bilgileri.....	34
Çizelge 5.2 Çalışmada kullanılan istasyonlara ait veri ve aykırı değer bilgileri.....	38
Çizelge 5.3 ISTN İstasyonu RK ve TSA sonuçları artık değer hata parametreleri.....	56
Çizelge 5.4 Uygulama sonuçları ve EK bölümü şekil numaraları tablosu.....	57



1. GİRİŞ

Modern jeodezik uzay teknikleri, yeryüzünü ve yeryüzündeki değişimlerin zaman içindeki değişimlerini yüksek doğruluk ve çözünürlükle izlenmesine olanak tanımıştır. Bu olanak, jeodezi alanında büyük katkılar sağlamış ve araştırmacılar için önemli bir veri kaynağı haline gelmiştir. Bu tekniklere Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems – GNSS), Çok Uzun Bazlı İnterferometri (Very Long Baseline Interferometry – VLBI), Uydu Lazer Uzaklık Ölçmeleri (Satellite Laser Ranging – SLR) ve İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (Interferometric Synthetic Aperture Radar – InSAR) örnek olarak verilebilir. Bu uzay teknikleri küresel ve sürekli bir şekilde navigasyon hizmetleri, jeodezik ölçümler, Dünya'nın dönüşünün ve jeodezik referans sistemleri hassas tanımlanması, yüzey deformasyonları ve tektonik hareketlerin tespiti ve zaman içerisindeki değişikliklerin izlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Jin vd. 2013).

GNSS Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System – GPS), Küresel Uydu Konumlandırma Sistemi (GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema – GLONASS), Beidou ve Galileo gibi çeşitli uydu navigasyon sistemlerini tanımlamak üzere kullanılan yeni bir terimdir. GPS, çok yüksek hassasiyetiyle 1994 yılında tam olarak faaliyete geçtiğinden beri navigasyon, zamanlama ve Dünya yüzeyinde hassas konumlandırma ile ilgili bilimsel problemlerin çözümüne büyük katkılar sağlamıştır (Jin vd. 2013, He vd. 2022).

Sürekli Çalışan Referans İstasyonları (Continuously Operating Reference Station – CORS) belirli bir noktada 7/24 esasına göre GNSS ölçümleri gerçekleştiren alıcılardır. Bu alıcılar, sürekli olarak yüksek hassasiyetli jeodezik ölçümleri gerçekleştirmesi bakımından birçok bilim dalı ve pratik mühendislik uygulamaları için kritik bir araç haline gelmiştir. GNSS alıcılarından oluşan küresel ve bölgesel bazda geliştirilmiş jeodezik ağlar, GNSS ağları olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda, sürekli çalışan GNSS istasyonları tarafından oluşturulan GNSS ağları yardımı ile toplanan verilerin işlenmesinden elde edilen jeodezik zaman serileri, yer bilimleri araştırmaları ve farklı bilim dallarında gerçekleştirilen araştırmalar için değerli bir veri kaynağı haline gelmiştir (Teunissen ve Montenbruck 2017, Bevis vd. 2020).

GNSS ağılarında tesis edilen bu sürekli alıcılar, GNSS koordinat zaman serilerinin elde edilmesine ve konumla ilgili değişikliklerin tespit edilip izlenmesine olanak tanımıştır. Sürekli ve düzenli olarak elde edilen bu zaman serileri, dünya yüzeyinin hareketleri, tektonik plaka hareketleri ve deniz seviyesi değişiklikleri gibi çevresel dinamik süreçlerin anlaşılması ve analizi için kritik bir veri kaynağıdır. Bu zaman serilerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi ve istenilen sinyallerin gürültüden ve diğer hatalardan ayrılması için gelişmiş matematiksel ve istatistiksel teknikler kullanılmalıdır (Bos vd. 2010, He vd. 2017, He vd. 2022).

Jeodezik zaman serilerinin analizi, verileri doğru bir şekilde modellemek ve yorumlamak için çeşitli teknikler içerir (He vd. 2017). En Küçük Kareler (EKK) yöntemi, zaman serisi analizinde hızlar ve periyodik sinyaller gibi parametreleri tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan temel bir yöntemdir. EKK yöntemi, artık değerlerin karelerinin toplamını en aza indirerek normal dağılmış hatalar varsayımı altında en uygun çözümü sağlar. Ayrıca, GNSS zaman serileri genellikle aykırı değerler ve normal dağılımda olmayan gürültüler içerdiği için bu yöntemin doğruluğunu önemli ölçüde olumsuz etkilemektedir. Robust Kestirimi (RK) tekniği aykırı değerlere karşı daha az duyarlı olacak şekilde tasarlanmıştır ve veri anormalliklerinde daha güvenilirdir. Bu teknik, GNSS zaman serisi analizinin doğruluğunu arttırarak, tahmin edilen parametrelerin aykırı değerlerden ve gürültülerden daha az etkilenmesini sağlar (Erdoğan 2010, Gülal vd. 2013, Bevis vd. 2020).

Tekil Spektrum Analizi (TSA), Singular Spectrum Analysis (SSA), GNSS zaman serilerini analiz etmek ve yorumlamak için veri güdümlü bir tekniktir. Bu analiz yönteminin temeli; orijinal zaman serisini, yavaşça değişen trend, salınımlı bileşenler ve yapısal olmayan gürültü gibi bağımsız ve yorumlanabilir bileşenlerin toplamıyla ifade etmesine dayanmaktadır. TSA, zaman serilerini trendler, mevsimsel salınımlar ve gürültü gibi bileşenlerine ayırır. Bu ayrıştırma, verilerdeki farklı değişkenlik gösteren hareketlerin anlaşılmasına ve bu hareketlerin altında yatan jeofizik süreçlere ilişkin bilgiler sağlamaktadır. TSA özellikle mevsimsel etkileri, uzun dönem eğilimleri ve zaman serisindeki ani değişiklikleri tespit etmeye verdiği katkı ile GNSS zaman serilerinin anlaşılmasını ve yorumlanmasını kolaylaştırmaktadır (Hassani 2007, Chen vd. 2013).

Tezin Amacı

Bu çalışmada Türkiye’deki TUSAGA-Aktif ağında yer alan istasyonlara ait uzun dönem GNSS zaman serileri analiz edilecektir. GNSS zaman serilerini filtrelemek ve anlamlı trendleri ve mevsimsel sinyalleri çıkarmak için RK ve TSA olmak üzere gelişmiş zaman serisi analiz teknikleri kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, zaman serileri analizi ile istasyonların hareketleri hakkında elde edilecek bilgiler ile mevsimsel etkileri ve yer hareketlerini anlamak ve tespit etmek, ayrıca bölgedeki tektonik faaliyetler ve diğer jeofiziksel süreçler hakkında yer bilimleri alanına katkıda bulunmaktır. Bu gelişmiş yöntemlerin kullanımıyla GNSS zaman serilerinin analizinden elde edilen bilgilerin doğruluğunun ve güvenilirliğinin artırılması hedeflenmektedir. Tez çalışmasının hipotezi aşağıdaki maddeler şeklinde kurulmuştur:

- Jeodezik zaman serilerinin doğasına ilişkin bir inceleme yaparak filtreleme ve tahmin için en uygun zaman serisi analiz yöntemlerini belirlemek.
- Jeodezik zaman serilerini filtrelemek için RK ve TSA yöntemlerinin kullanılabilirliğini göstermek.
- Jeodezik zaman serilerine uygulanan RK ve TSA zaman serisi analiz yöntemleri ve algoritmalarının sonuçlarını karşılaştırmak.
- Elde edilen filtrelenmiş zaman serileri yardımıyla GNSS istasyonlarının hareketlerini ve bölgedeki tektonik ile mevsimsel davranışların analizini gerçekleştirmek.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Jeodezik gözlemlerin zaman serileri, yeryüzünün nasıl değiştiğini anlamak için onlarca yıldır kapsamlı bir şekilde araştırılmaktadır. Bu alandaki geniş çalışma yelpazesi göz önüne alındığında, aşağıda sunulan çalışmaların bir kısmı öne çıkmaktadır. Bu tezde, zaman serilerinin filtrelenmesi ve analizi için kullanılan teknikler üzerinde durulmuş ve bu konudaki çalışmalar detaylandırılmıştır.

2.1 Ulusal Literatürdeki Çalışmalar

Simav vd. (2006) çalışmasında yaklaşık 5 yıllık GPS koordinat zaman serilerini analiz etmiştir. Koordinat zaman serilerinde EKK Kestirimi ve En Büyük Olabilirlik Kestirimi (EBOK) yöntemleri ile birlikte hız ve anlamlılık içeren tüm mevsimsel harmonikler ile tanımlanan üç farklı matematiksel model ve dört farklı gürültü modelleri kullanılarak zaman serileri analiz edilmiştir. Güvenirliğin yanında hesaplamada harcanan sürelerde dikkate alındığında beyaz gürültü + kırpışma gürültüsü (BG+KG) varsayımı ve hız + yıllık ve yarı yıllık mevsimsel etkilerin hesaba katıldığı matematiksel modeli başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kurt (2009), sürekli çalışan GPS istasyonlarının koordinat zaman serisi analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu analizler sonucunda zaman serilerine etki eden mevsimsel etkiler ve periyodik etkiler hesaplanmıştır. Bu periyodik hareketlere dayalı olarak yardımcı ölçüler ile kampanya tipi ölçülerden elde edilen hızlara düzeltmeler hesaplanmıştır.

Ozdemir (2014) TUSAGA-Aktif sisteminde yer alan istasyonların zaman serilerine Ampirik Mod Ayırıştırma (Empirical Mode Decomposition) ve Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis) uygulamıştır. Çalışmada uygulanan bu yöntemin avantaj ve dezavantajları detaylı olarak ele almış olup, özellikle deprem anında meydana gelen sıçrama ve sonrasındaki hareketleri incelemiştir.

Türen (2019), belirli dönemlerde yapılmış GPS kampanya ölçümlerinden oluşturulan koordinat zaman serilerinin spektral özelliklerini analiz etmiştir. Bu çalışmada

Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service – IGS) istasyonlarının 24 saatlik ölçümleri kullanılmıştır ve tektonik plakalarının hızlarının daha doğru bir şekilde tespit edilmesi amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda kampanya ölçülerinin ayda bir tekrarlanması durumunda %100 doğruluğun elde edildiğini tespit etmiştir. Kampanya tipi örneklemenin yılda 3 defa tekrarlanması durumunda ise deformasyon hızlarının sürekli zaman serilerinden elde edilen hızlarla karşılaştırıldığında %85-%94 aralığında başarı elde edildiğini tespit etmiştir.

Serdar (2023) çalışmasında GNSS zaman serilerinin analizi için grafik ara yüzüne sahip bir MATLAB ortamında bir yazılım tasarlamıştır. Yapılan bu yazılım, kaba hatalı ölçüleri robust yöntemlerle tespit etmektedir. Literatürde yer alan çeşitli gürültü kombinasyonları için genliklerini En Küçük Kareler Varyans Bileşenleri Kestirimi (Least-Squares Variance Component Estimation – LS-VCE) ile elde edilerek hız kestirimlerin en doğru şekilde ulaşmak için en uygun ağırlıklandırmaları gerçekleştirmektedir. Üretilen bu yazılım ile 40 adet GNSS koordinat zaman serileri analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda geleneksel olarak kullanılan birim ağırlıklı çözüme göre, hız standart hatalarının yatay koordinat bileşeninde yaklaşık 4.4 kat, düşey bileşende ise yaklaşık 2.7 kat yüksek olduğu gözlenmiştir. Sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, geleneksel birim ağırlıklı çözümlerin hız hatalarını olduğundan 4 kattan daha düşük çıkardığı ve ayrıca bu sonuçların anlamlı gibi görünmesine sebep olduğu tespit edilmiştir.

Özdemir (2023) çalışmasında Kuzey Anadolu Fayının İsmetpaşa segmentinde 18 sürekli GNSS istasyonundan elde edilen hız verileri, elastik yer değiştirme modelleri Çok Kanallı Tekil Spektrum Analizi (ÇK-TSA) kullanılarak değerlendirilmiştir. ÇK-TSA kullanarak sürekli GNSS istasyonlarına ait zaman serilerinden krip hareketinden kaynaklı geçici sinyalleri belirlemeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada bazı istasyonlara ait zaman serilerinin ÇK-TSA yönteminin kullanılmasıyla birkaç milimetre boyutundaki ani krip hareketi belirlenmiştir. Fakat veri boşluklarının çok olduğu istasyonlarda krip hareketleri belirlenememiştir. İsmetpaşa segmentin belirli bir bölgesinde yapılan gözlemlerin tek başına yeterli olamayacağı, segmentin bütün karakteristiğini ortaya koymak için segment boyunca farklı ölçme yöntemleri (jeodezik, jeolojik ve jeofizik) ile sürekli gözlemler yapılmaya devam edilmesi gerektiğini önermektedir.

2.2 Uluslararası Literatürdeki Çalışmalar

Mao vd. (1999), küresel olarak dağıtılmış 23 GPS istasyonu için spektral analiz ve maksimum olasılık tahminini kullanarak 3 yıllık verilerle günlük konum tahminlerinin zaman serilerindeki gürültü özelliklerini değerlendirmiştir. Beyaz gürültü ve kırpışma gürültüsünün bir kombinasyonunun, her üç konum bileşeni serisinin gürültü özellikleri için en iyi model gibi görüldüğünü bulmuşlardır. Saf beyaz gürültü modeli varsayılırsa, koordinat zaman serisindeki hız hatasının, daha düşük tahmin edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Li vd. (2000), Japonya'nın merkezinde zaman ortalamalı hız ve gerinim alanlarını elde etmek için yalnızca beyaz gürültünün dikkate alındığı GPS zaman serisi verilerinin gürültüsünün giderilmesine, veri süreksizliklerinin ve aykırı değerlerin tespitine odaklanmıştır. GPS zaman serisi verilerini analiz etmek için Otoregresif Hareketli Ortalamalar Modeli (Autoregressive Moving Average – ARMA) yöntemini uygulamışlardır. Aykırı değerler, mevsimsel değişiklikler ve veri süreksizlikleri giderildiğinde zaman serisi verilerinin büyük ölçüde iyileştiği tespit edilmiştir. Böyle bir analizin özellikle gözlem süresinin kısa olduğu durumlarda gerekli olduğu, gürültü ve veri süreksizliklerinin gerinim alanının aşırı tahmin edilmesine yol açabileceği sonucuna varmışlardır.

Blewitt ve Lavallée (2002), yıllık sinyallerin dikkate alınmadığı sürece levha tektoniği ve referans çerçeveleri gibi yüksek doğruluk gerektiren amaçlara yönelik saha hızlarının tahmininde önemli ölçüde yanlışlık oluşturabileceğini belirtmektedir. Bu tür uygulamalar için yıllık ve altı aylık sinüzoidal sinyaller, hız ve başlangıç konumu ile eş zamanlı olarak tahmin edilmelidir.

Blewitt ve Lavallée (2002), yıllık sinyalleri hesaba katmayan yayınlanmış hızlardaki yanlışlık düzeyini hesaplamak için bir model geliştirmiştir. Hız yanlışlığını neredeyse ortadan kaldırmak için yalnızca 4.5 yıldan daha büyük veri aralıklarını kullandıklarını bulmuştur. Aksi takdirde, sapmanın minimum olduğu 3.5 yıllık veya 2.5 yıllık veri aralıklarını seçilmesi gerektiğini savunmuştur. 2.5 yılın altında hız yanlışlığı kabul

edilemeyecek kadar büyük olabilir. Tektonik yorumlama veya referans çerçeve üretimine yönelik hız çözümleri için standart minimum veri aralığının 2,5 yıl olarak benimsenmesini tavsiye etmişlerdir.

Davis J. L. vd. (2004), değişken bir mevsimsel sinyalin varlığını göstermek için bir örnek olarak bir GNSS zaman serisini ve stokastik olmayan bir mevsimsel modelin kullanımının zaman değişkeninin değeri ve belirsizliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini göstermek için bir Yerçekimi Geri Kazanımı ve İklim Deneyi Uydusu (Gravity Recovery and Climate Experiment – GRACE) zaman serisi örneğini kullanmıştır. Jeodezik zaman serisi modellerinde stokastik mevsimsel sürecin standart bir bileşen olması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Erdoğan (2010) Oymapınar Barajı gövdesinin (Antalya, Türkiye) rezervuar su seviyesi değişimlerinden kaynaklanan zamana göre değişimlerini zaman serileri ile araştırmıştır. Bu çalışmada zaman serileri standart EKK yöntemi ve RK yöntemini uygulamıştır. Zaman serilerinin başında, ortasında ve sonunda aykırı değerler bulunduğu, trend bileşenlerinin parametresi etkilendiği gözlenmiş ve mevsimsel hareketin genliğindeki değişiklikler de fark edilebilir hale gelmiştir. RK'nin aykırı değerlere duyarlı olduğu ve ayrıca trend bileşenlerinin parametreleri, aykırı değerler içermeyen serilerin trend bileşenlerinin parametreleri ile uyumlu olduğunu tespit etmiştir. Bu sebeple, aykırı değerlerin ortadan kaldırılmasından sonra yerlerine konulacak doğru verilerin belirlenmesi için pratik bir yöntem önermektedir. Bu yöntemde, aykırı değer öncesi ve sonrasındaki iki verinin ortalaması alınarak doğru veri olarak kabul edilebileceğini önermektedir.

Davis James L. vd. (2012), jeodezik zaman serilerinin stokastik mevsimsel davranışını yakalamak için Kalman filtresi tabanlı bir yaklaşım önermiştir. Mevsimsel sinyallerin genellikle yıllık periyotlara (ve bunların harmoniklerine) sahip, her biri sabit genlik ve faza sahip sinüzoidler olarak modellendiğini belirtmişlerdir. Stokastik mevsimsel bileşene sahip bir zaman serisinin güç spektral yoğunluğuna (Power Spectral Density – PSD) formunu araştırmış ve bunun nominal mevsimsel frekanstan daha büyük frekanslar içerdiğini bulmuşlardır.

Chen vd. (2013), TSA'nın zaman serisini etkileyen dinamikler hakkında önceden bilgi sahibi olmadan kısa ve gürültülü zaman serilerinden bilgi çıkarmak için zaman alanı verilerini kullanan parametrik olmayan bir yöntem olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, GPS zaman serilerinden zaman değişkenli mevsimsel sinyallerin çıkarılması için TSA'nın değerlendirilmiş ve TSA tabanlı sonuçlar en küçük kareler analizi ve Kalman filtreleme kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. TSA'nın simülasyon ve gerçek veri analizinden GPS koordinat zaman serisinden genlik ve faz değişen periyodik değişkenliği çıkarma yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. Veriye dayalı bir yöntem olarak TSA, zaman serisini etkileyen gürültü süreçlerini varsaymanın karmaşıklığını önleyebildiği görülmüştür. Simülasyonlarda, zamanla değişen yıllık ve altı aylık döngülerin çıkarılması için iki yıllık veya üç yıllık bir gecikme penceresinin uygun olması gerektiğini göstermiştir.

Bevis ve Brown (2014) çalışmasında modern trajektori modelleri, sabit hız modeline ek olarak yıllık periyodik bileşenler, ani sıçramalar (örneğin, depremler sonrası meydana gelen anlık yer değiştirmeler) ve logaritmik geçici (transient) deformasyonlar gibi daha karmaşık bileşenleri içerecek şekilde geniş bir model sunmuşlardır. Bu bileşenlerden biri olan logaritmik geçici deformasyonlar, özellikle depremlerden sonra gözlemlenen post-sismik hareketlerin modellenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Mevcutta kullanılan modele, depremin hemen ardından meydana gelen ve zamanla azalan yer değiştirmeleri temsil eden bir logaritmik fonksiyon ekleyerek, GNSS istasyonlarının konumlarını daha doğru ve hassas bir şekilde hesaplama imkânı sunmaktadır.

Tiryakioglu vd. (2017) çalışmasında, 2011 yılında Van'da meydana gelen iki büyük depremin (Mw 7.2 ve Mw 5.6) ardışık jeodezik etkilerini incelemiştir. Van depremlerinin jeodezik etkilerini incelemek için sürekli GNSS verileri kullanılmış ve bu verilerle inter-sismik (deprem öncesi), co-sismik (deprem sırasında) ve post-sismik (deprem sonrası) hareketler değerlendirilmiştir. Bu çalışma, Van depremlerinin jeodezik etkilerini kapsamlı bir şekilde inceleyerek, bölgedeki tektonik rejimin deprem davranışlarını anlamak için GNSS zaman serilerinin kullanılabileceğini göstermiştir.

3. SÜREKLİ GNSS İSTASYONLARI VE AĞLARI

GPS gibi modern uzay jeodezik sistemleri, dünyanın herhangi bir yerinde konumlandırma ve zaman aktarımını sağlayan radyo navigasyon teknolojisine dayanmaktadır. 1980'lerden itibaren GPS'in sivil kullanımda yaygınlaşması ile birlikte geliştirilen GPS alıcılarının maliyetlerinde düşüşler yaşanmış ve GPS sistemine herkesin erişimi daha kolay hale gelmiştir. GPS teknolojisinin kullanımının artması ile birlikte kullanım alanlarında çeşitlilik artmıştır. Araştırmacılar küresel anlamda elde edilen bu verinin, belirli bir plan çerçevesinde uluslararası veri standartları geliştirmeye yoğunlaşmışlardır (Ugur 2013, Tekiç 2019).

GNSS uygulamalarının çeşitliliği ve gelişimi karşısında bilim adamları GPS verilerinin elde edilmesi ve analizi için uluslararası standartları geliştirmeye, kapsamlı bir global sistem ortak olarak işletmeye ve belli bir plana göre yerleştirmeye çalışmışlardır (İnt.Kyn.1).

3.1 Uluslararası GNSS Servisi

GPS teknolojisinde gelişmeler ve kullanım alanlarının genişlemesi karşısında, Uluslararası Jeodezi Birliği (International Association of Geodesy – IAG) 1989 yılında çalışmalarına başlamış ve 1993 yılında IGS kurulmuştur (İnt.Kyn.1). IGS Ocak 1994'ten itibaren jeodezik ve jeofizik araştırmaları başta olmak üzere birçok alanda destek vermektedir. Zaman içerisinde gelişen diğer uygu konumlandırma sistemlerinin (GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS ve SBAS gibi) katılımı ile IGS olarak çalışmalarına devam etmektedir (Teunissen ve Montenbruck 2017, Çelik 2018).

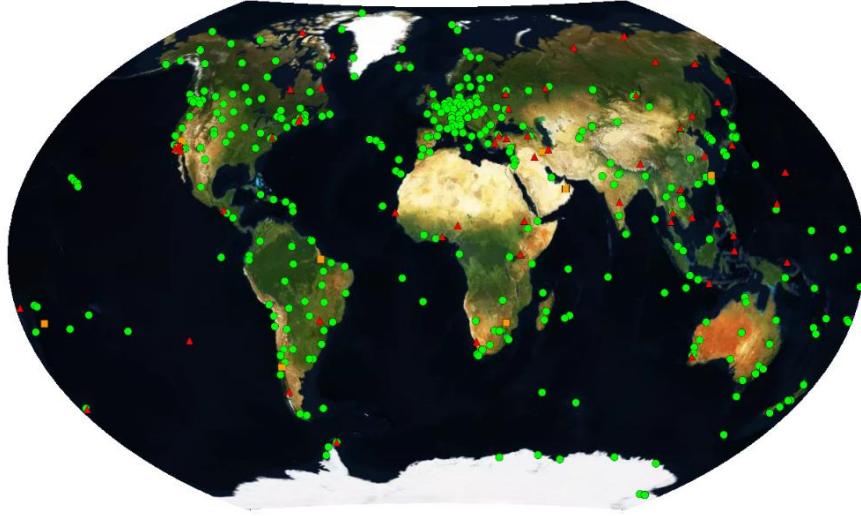
IGS, yüksek kaliteli GNSS veri ve bu verilerden üretilen bilgileri 1994'ten bu yana açık erişimli olarak sağlamaktadır. Bu ürünler, araştırmacılar, eğitimciler, kamu ve ticari uygulamalar için önemli bir destek sağlamaktadır (Teunissen ve Montenbruck 2017). IGS misyonu, “Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi (International Terrestrial Reference Frame – ITRF), Dünya gözlemi ve araştırması; konumlandırma, navigasyon, zamanlama ile bilim ve topluma fayda sağlayan diğer uygulamaları desteklemek amacıyla en yüksek

kalitede GNSS veri, ürün ve hizmetlerini açıkça erişilebilir bir şekilde sağlamaktadır.”. IGS ile ilgili başlıca aşağıdaki bilgiler verilebilir (İnt.Kyn.1);

- 100’den fazla ülkede ve 200’den fazla ajans, üniversite ve araştırma kuruluşunun gönüllü bir şekilde katılım sağladığı bir organizasyondur. Bu kuruluşlar dünyanın en yüksek hassasiyetteki GNSS uydularına ait yörünge bilgilerini sağlamak için birlikte çalışmaktadır.
- Küresel ekonominin her alanına ve milyonlarca kullanıcıya bilimsel ilerleme ve kamu yararı için teknolojinin sunduğu en yüksek hassasiyetteki GNSS ürünlerine ücretsiz ve açık erişim sağlamaktadır.
- Küresel olarak kullanılan ITRF gerçekleştirilmesini destekleyen ürünler üretirken, dünya çapında 400’den fazla referans istasyonundan izleme verilerine erişim sağlamaktadır.
- Çalışma Grupları ve pilot projeler aracılığıyla sürekli yeni uygulamalar ve ürünler geliştirmeye çalışmaktadır.
- Jeodezik araştırmaları ve bilimsel yayınları desteklemektedir.
- Küresel Jeodezik Gözlem Sistemi (Global Geodetic Observing System – GGOS) ve Dünya Veri Sistemi (World Data System – WDS) üyesi olarak işlev görmektedir.

IGS GGOS’un bir bileşeni olarak GNSS yer istasyonları, veri merkezleri ve veri analiz merkezlerinden oluşan küresel bir ağ işletmektedir. Dünya bilim araştırmaları; çok disiplinli konumlandırma, navigasyon ve zamanlama (Positioning, Navigation and Timing – PNT) uygulamaları için temel veri ve türetilmiş veri ürünleri sağlamaktadır İnt.Kyn.1. Bazı IGS ürünleri şunlardır: GNSS uydu efemerisleri, dünya dönüş parametreleri, küresel izleme istasyonu koordinatları ve hızları, zenit troposferik yol gecikme tahminleri ve küresel iyonosfer haritalarıdır (İnt.Kyn.1).

Bu yüksek kaliteli ürünler, ITRF'nin gerçekleştirilmesi, okyanus gelgitleri ve hidroloji nedeniyle Dünya'nın deformasyonunun izlenmesi ve deniz seviyesindeki değişimin izlenmesi gibi bilimsel uygulamaları desteklemek için kullanılmaktadır. IGS ürünler giderek artan bir şekilde atmosferi ölçmek, iyonosferik ve troposferik haritalar üretmek ve son olarak endüstri ve toplum için hassas konumlandırma uygulamalarını desteklemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Teunissen ve Montenbruck 2017).



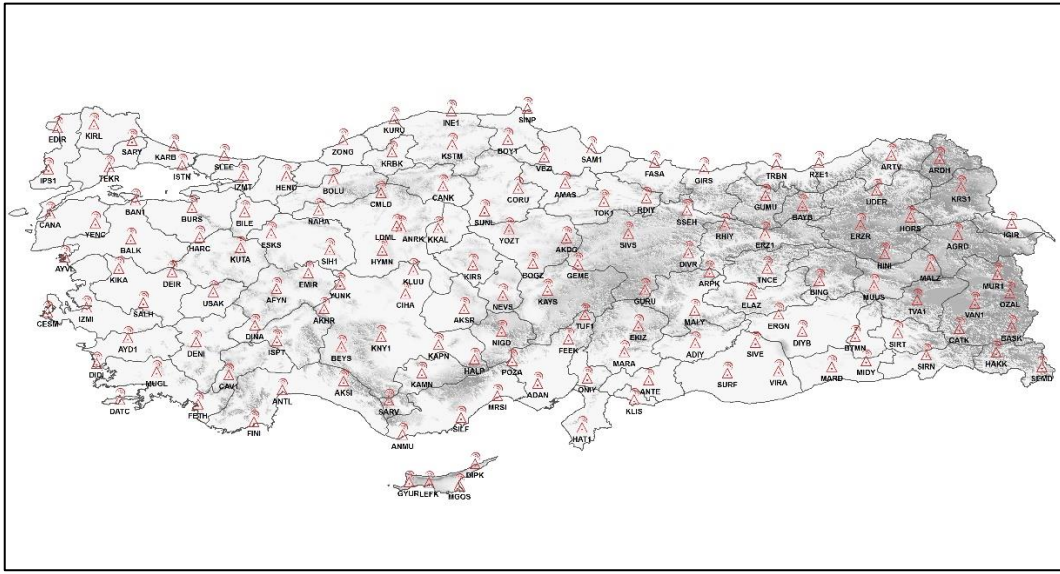
Şekil 3.1 Dünya üzerindeki IGS istasyonlarının dağılımı.

Temmuz 2024 itibari ile Dünya üzerinde 500’ün üzerinde IGS istasyonu vardır, istasyonların dağılımı Şekil 3.1’de verilmiştir (İnt.Kyn.2). Bu IGS istasyonlarından da ANK2, ISTA, IZMI, KRS1, MERS ve TUBI Türkiye’de bulunmaktadır. Türkiye’deki IGS istasyonlarının tamamı Avrupa Bölgesel Referans Çerçevesi (European Reference Frame – EUREF) ağına da dahildir. IGS istasyonları ve verileri ülkemizde Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) istasyonlarının verilerin değerlendirilmesinde ve Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) tanımlanmasında kullanılmaktadır.

3.2 Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı - Aktif (TUSAGA-Aktif)

TUSAGA-Aktif (Diğer adıyla CORS-TR), İstanbul Kültür Üniversitesi tarafından yürütülen Harita Genel Müdürlüğü (HGM) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) müşterek müşteri olduğu Türkiye’de kurulan bir ülke çapında GNSS ağıdır. 2006-2009 yılları arasında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) finansal desteği ile gerçekleştirilmiştir. Bu projenin amacı; konumsal bilgiye dayalı her türlü arazi ve araziye ilişkin verilerin hızlı, doğru ve güvenilir biçimde toplanması, kadastro faaliyetlerinin hızlandırılması, düzenli kentleşmenin sağlanması, devletin ilgili çalışmaları için mekansal altyapının oluşturulması ve levha tektoniğinin izlenmesidir (Eren vd. 2009, Oktar ve Erdogan 2018).

TUSAGA-Aktif Projesi istasyonları izlenmesi, verilerin işlenmesi ve kullanıcılara düzeltmeleri gönderilmesinin otomatik olarak yapıldığı, ana kontrol merkezi TKGM ve yedek kontrol merkezi HGM’de olacak şekilde 2 adet kontrol merkezi kurulmuştur. TUSAGA-Aktif sistemi Türkiye’de 142 ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti’nde 4 tane olmak üzere toplam 146 adet sabit GNSS istasyonundan oluşmaktadır (Şekil 3.2). Bu istasyonların yerlerin seçimi ve kurulumu sırasında güvenlik, internet altyapısı ve elektrik temini parametrelerine dikkat edilmiştir (Bakıcı 2015).



Şekil 3.2 TUSAGA-Aktif istasyonları.

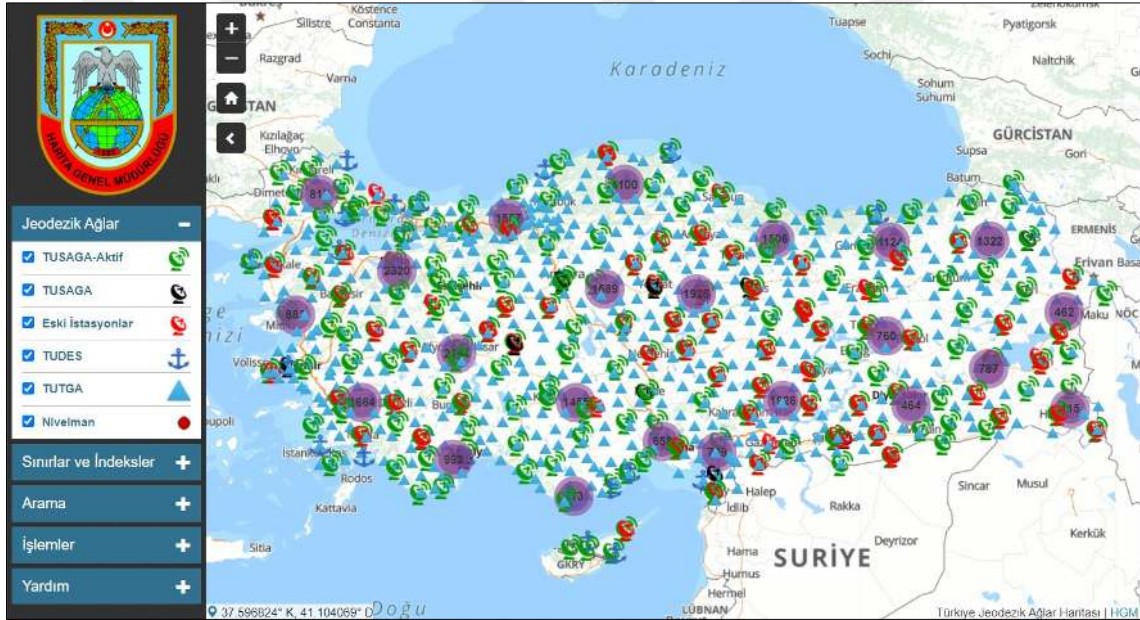
ISTN GNSS istasyonuna ait konum, anten ve alıcı resimleri istasyon saha bilgi paketlerinden temin edilmiş ve aşağıda verilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 ISTN istasyonu konum, anten ve alıcı resimleri.

3.3 Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası Web Uygulaması

Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası web uygulaması harita altlığını HGM Atlas Uygulamasından almaktadır. Bu web uygulaması, Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin ülke sınırları içerisindeki jeodezik ağlardaki noktaları ve bu noktalara ait veriler göstermektedir. Aynı zaman bu jeodezik ağlara ait veriler hakkında detaylı bilgiler sunulmakta ve coğrafi sorgulamalara olanak tanımaktadır. Bu web uygulaması Türkiye sınırları içerisindeki tüm TUSAGA-Aktif, Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES), Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) ve nivelman noktalarına ait bilgileri sunmaktadır (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4).



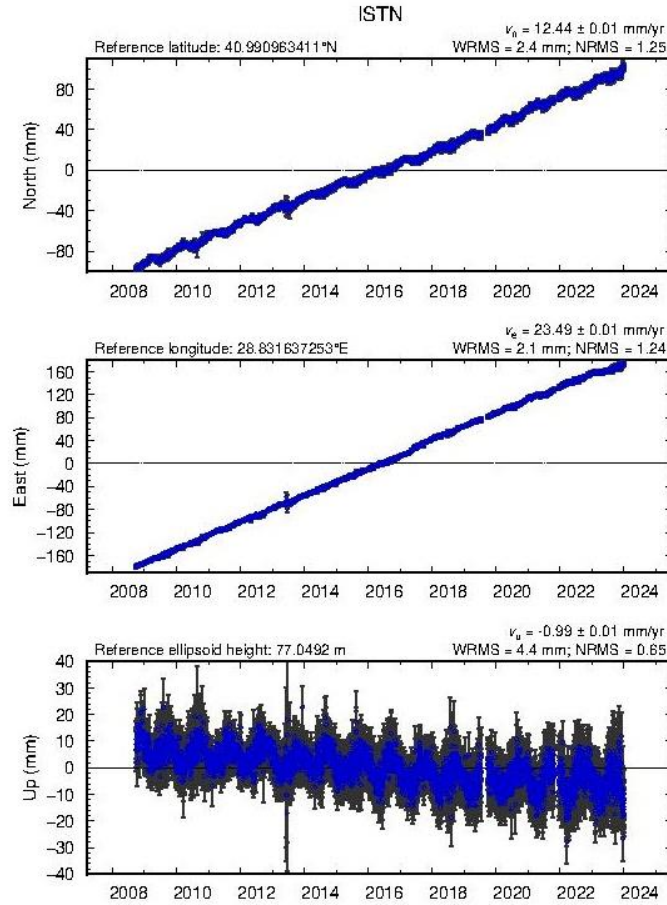
Şekil 3.4 Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası web uygulaması ara yüzü.

Bu interaktif web uygulamasında (İnt.Kyn.3), herhangi bir TUSAGA-Aktif istasyonu seçildiğinde, bu istasyona ait İstasyon Bilgi Dosyası, Zaman Serisi Grafiği, İstasyon Etki Dosyası ve Günlük Konum Dosyası (“pos” dosya formatında) dosyalarına erişim ve indirme olanağı vermektedir (Şekil 3.5).

Bu web uygulamasından alınan ISTN istasyonuna ait zaman serisi grafiği örnek olması bakımından Şekil 3.6’da verilmiştir (İnt.Kyn.3). İstasyonlara ait günlük konum dosyaları hakkında detaylı bilgiler ise Bölüm 5’de ele alınacaktır.



Şekil 3.5 Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası web uygulamasında ISTN bilgi penceresi.



Şekil 3.6 Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası web uygulamasında ISTN zaman serisi grafiği.

Bu tez çalışmasında kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait zaman serileri verileri, günlük konum dosyaları, istasyon etki ve bilgi dosyaları ve istasyon bilgi verileri Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası web uygulaması uygulamasından temin edilmiştir.

4. GNSS ZAMAN SERİLERİ ANALİZİ

En genel anlamda bir zaman serisi, zaman içinde eşit aralıklarla ardışık noktalarda alınan bir dizidir. Zaman serisi analizi ise anlamlı istatistiklerin ve verilerin diğer özelliklerini çıkarmak için zaman serisi verilerini analiz etme yöntemlerini içermektedir.

Bu bölümde zaman serileri, GNSS zaman serileri ve analizinde kullanılan matematiksel modeller, aykırı değerlerin tespiti, RK ve TSA yöntemlerinden söz edilmiştir.

4.1 Zaman Serileri: Tanım

Zaman serisi, belirli bir olayın veya değişkenin zaman içindeki gelişimini izlemek için düzenli aralıklarla gözlemler yapılarak elde edilen veri setine denir. Zaman serisi, bir değişkenin zamana göre nasıl davrandığını izlemek ve bu davranışları anlamak için kullanılan bir araçtır.

Zaman serisi analizleri, gözlemlenen verilerin zamana bağlı değişikliklerini incelemek, modellemek, öne çıkan yapısını ortaya çıkarmak ve gelecekteki değerler için tahminlerde bulunmak amacıyla yapılabilir. Zaman serisi analizlerinde, gözlemler her zaman düzenli aralıklarla ortaya çıkmayabilir, ancak düzenli zaman aralıklarıyla takip edilmesi ve gözlemlerin toplanma zamanına göre sıralanması, doğru analiz sonuçlarına ulaşmak için önemlidir. Zaman serisi analizlerinde gözlemler arasındaki ilişkiler, iki farklı yaklaşımla incelenebilir; zaman alanı ve frekans alanı (Duman 2022).

Zaman alanı analizleri, gözlemlerin zaman içindeki ilişkilerini, bir diğer deyişle zamana bağlı değişimlerini gözlemler. Zaman alanında yapılan analizler, verinin zaman içindeki genel eğilimlerini, dönemsel değişimlerini veya sapmalarını anlamaya çalışır. Bu yaklaşım, verinin belirli bir periyodik yapı göstermediği veya bu periyodik yapının ana eğilimi değiştirmedeği durumlarda kullanılmaktadır (Özbiz 2019, Duman 2022).

Frekans alanı analizleri ise, periyodik veya döngüsel hareketleri inceleyerek verinin belirli frekanslardaki dalgalanmalarını analiz eder. Bu yaklaşım, verideki yinelenen

dalgalanmaları veya periyodik etkileri analiz eder. Örneğin, mevsimsel değişiklikler ya da sinüzoidal sinyallerin varlığı frekans alanında daha net bir şekilde ortaya koyulabilir (Oktar 2015, Duman 2022).

Her iki analiz yöntemi de zaman serisinin farklı yönlerini ortaya çıkarır ve serinin genel dinamikleri hakkında daha geniş bir perspektif sunar. Bu analizler, yer bilimler, meteoroloji ve mühendislik gibi birçok bilim dalında kullanılmaktadır. Zaman serisi analizi yapılırken genellikle dört temel bileşen göz önünde bulundurulur (Serdar 2023).

- Trend (Eğilim): Uzun dönemli, genel eğilimi gösterir. Verinin genel olarak bir artış veya azalış eğiliminde olup olmadığını anlamaya çalışır.
- Mevsimsel veya Dönemsel Etkiler: Belirli periyotlarda tekrar eden düzenli dalgalanmalar.
- Konjonktürel Dalgalanmalar: Daha düzensiz ve uzun dönemli dalgalanmaları içerir. Deprem etkileri ve ekonomik durgunluk gibi uzun vadeli süreçler buna örnektir.
- Düzensiz Hareketler (Gürültü): Tahmin edilemeyen, rastgele veya dışsal olaylar sonucu meydana gelen düzensiz değişimlerdir ve gözlem hataları.

4.2 GNSS Zaman Serilerinin Matematiksel Modeli

GNSS zaman serileri, yeryüzündeki GNSS istasyonlarından belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen verilerin zamana göre sıralanmış bir biçimde sunulmasıyla oluşturulur. Bu ölçümler, genellikle GNSS istasyonlarının konumlarına (koordinatlarına) veya konum değişikliklerine (koordinat değişimlerine) ilişkin verileri içermektedir (Williams 2008, Goudarzi vd. 2013).

GNSS zaman serileri, özellikle yer kabuğu hareketlerini ve deformasyonlarını tespit etmek, deprem öncesi ve sonrası hareketleri anlamak, kıtasal kaymalar ve tektonik aktiviteler, tespit etmek ve diğer jeofizik olayları analiz etmek amacıyla kullanılır. Koordinat verilerinin uzun süreli ve yüksek hassasiyetli gözlemleri, bu tür seriler aracılığıyla yerkürenin dinamik yapısı hakkında daha ayrıntılı bilgi edinilmesini

sağlamaktadır. GNSS zaman serileri analizi zaman ve frekans alanlarında gerçekleştirilebilir. Bir araştırmacının amacı bu sinyalleri ayırmak ve analiz etmektir (Li vd. 2000, Bevis ve Brown 2014, Özbiz 2019).

GNSS zaman serileri araştırmacılar tarafından onlarca yıldır kapsamlı bir şekilde araştırılmaktadır. Bu zaman serisi analizi yapılırken en genel anlamda beş temel bileşen göz önünde bulundurulur. Bu bileşenler ile bir GNSS zaman serisi; doğrusal (lineer) veya doğrusal olmayan trend, mevsimsel periyodik salınımlar, anten değişimi gibi yapay veya deprem anında meydana gelen yer değişimleri ve sıçramalar (ofsetler), deprem sonrası yer kabuğunda meydana gelen rahatlamalar (transient signal - geçici sinyal veya transiyentler) ve rastgele hatalardan kaynaklanan düzensiz değişimlerden oluşur (Bevis ve Brown 2014, Bevis vd. 2020, Bos vd. 2020, Duman 2022).

GNSS zaman serilerinin modellenmesi, fonksiyonel ve stokastik modellerle gerçekleştirilir. Fonksiyonel model, GNSS istasyonlarındaki ölçümlerden elde edilen verilerin zaman içindeki değişimini matematiksel olarak ifade eder (Serdar 2023). Bu modeller, tüm bileşenleri içerecek şekilde genişletilebilir. GNSS zaman serilerinde aykırı değerler ihmal edilirse, t_i ($i = 1, 2, 3 \dots n$) zamanındaki koordinat değeri veya değişimi olan $Y(t_i)$ için en kapsamlı model aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir (Bevis ve Brown 2014, Bevis vd. 2020, Bos vd. 2020, Duman 2022).

$$Y(t_i) = T(t_i)_{Trend} + P(t_i)_{Periyodik} + S(t_i)_{Sıçrama} + G(t_i)_{Geçici} + E(t_i)_{Hata} \quad (4.1)$$

Burada $Y(t_i)$; zaman serisinin i 'inci gözlemini, $T(t_i)_{Trend}$; trend bileşenini, $P(t_i)_{Periyodik}$; mevsimsel periyodik bileşeni, $S(t_i)_{Sıçrama}$; sıçrama bileşenini, $G(t_i)_{Geçici}$; geçici sinyalleri ve $E(t_i)_{Hata}$; rastgele hatalardan kaynaklanan gürültü bileşenini ifade eder (Bos vd. 2020, Duman 2022).

Trend Bileşeni

Zaman serilerinde uzun vadede gözlemlenen genel artış veya azalış eğilimidir. Trend bileşeni, genellikle jeodezik hareketlerin veya uzun süreli değişimlerin bir göstergesi

olarak kabul edilir ve doğrusal veya eğrisel bir fonksiyon şeklinde modellenir. Jeodezi alanında en sık olarak koordinatların ölçüm veya referans epöğü gibi farklı epoklarda hesaplanmasında kullanılır (Oktar ve Erdogan 2018, Özbiz 2019).

Mevsimsel Periyodik Bileşen

Bu bileşen, belirli periyotlarda tekrar eden düzenli salınımları ifade eder. GNSS zaman serilerinde periyodik bileşenler, atmosferik etkiler, gelgit kuvvetleri ve güneş aktiviteleri gibi faktörlerden kaynaklanır. Bu bileşenler belirli frekanslarda gözlemlenir ve genellikle sinüzoidal fonksiyonlarla modellenir (Özbiz 2019, Serdar 2023).

Sıçrama Bileşeni

GNSS zaman serilerinde, anten değışiklikleri veya deprem gibi olaylar sonucu meydana gelen ani pozisyon değışikliklerini ifade eder. Bu sıçramalar, seride ani bir kesinti veya ofset olarak görülür ve genellikle adım (heaviside step) fonksiyonlarıyla modellenir (Bevis ve Brown 2014, Duman 2022, Serdar 2023, Uysal 2023).

Geçici (Transiyent) Sinyal Bileşeni

Deprem sonrası etkiler, yer kabuğundaki stres rahatlamalarını temsil eder ve bu etkiler genellikle logaritmik veya üstel fonksiyonlarla modellenir. Bu tür transiyentler, depremden sonra zamanla azalan fakat belirli bir süre devam eden yer değışimlerini açıklamakta kullanılmaktadır. Bu bileşen, jeofiziksel analizlerde kritik öneme sahiptir çünkü deprem sonrası süreçlerin zaman içinde nasıl geliştiğini modellenmesinde kullanılır (Bevis ve Brown 2014, Tiryakioglu vd. 2017, Ozdemir 2019, Bevis vd. 2020, Özdemir 2023).

Rastgele Hatalar (Gürültü) Bileşeni

Zaman serilerindeki rastgele ve düzensiz hareketleri temsil eder. Gürültü, ölçüm hataları, çevresel faktörler ve cihazlardan kaynaklanan rastgele değışimlerdir. GNSS zaman

serilerinde gürültü, beyaz gürültü ve renkli gürültü olarak sınıflandırılır (Bos vd. 2008, Özbiz 2019, Serdar 2023).

Eşitlik 4.1’de verilen GNSS zaman serisinin fonksiyonel modeli, tüm bileşenlere ait literatürde kullanılan fonksiyonları ve parametreleri içerecek şekilde daha detaylı olarak ifade edilebilir. Zaman serisindeki aykırı değerlerin etkisi düşünülmemektedir, t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) zamanındaki koordinat değeri veya değişimi olan $y(t_i)$ için detaylandırılmış fonksiyonel model aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir (Bevis ve Brown 2014, Bevis vd. 2020, Duman 2022, Serdar 2023).

$$\begin{aligned}
 \underbrace{y_i}_{\text{Zaman Serisi}} - \underbrace{e_i}_{\text{Rastgele Hatalar}} &= \underbrace{y_0 + vt_i}_{\text{Trend Bileşeni}} \\
 &+ \underbrace{\sum_{k=1}^q \left[AS_k \sin\left(\frac{2\pi t_i}{T_k}\right) + AC_k \cos\left(\frac{2\pi t_i}{T_k}\right) \right]}_{\text{Mevsimsel Periyodik Bileşen}} \\
 &+ \underbrace{\sum_{m=1}^p [g_m H(t_i - E_m)]}_{\text{Sıçrama Bileşeni}} + \underbrace{\sum_{j=1}^{n_T} a_j \log\left(1 + \frac{\Delta t_j}{T_j}\right)}_{\text{Geçici (Transiyent) Sinyal Bileşeni}} \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

Burada e_i ; i ’inci ölçünün rastgele hata terimini, y_0 ; başlangıç ölçü değerini, v ; istasyonun hızını, q ; periyodik etki sayısını, AS_k ve AC_k ; doğrusallaştırılmış mevsimsel salınım genliklerini, T_k ; mevsimsel periyodik bileşenlerin periyodları, p ; sıçrama sayısını, $H(\cdot)$; sıçrama miktarını (ofset) modelleyen adım fonksiyonunu, g_m ; sıçramanın yönü ve büyüklüğünü, E_m ; sıçrama zamanını, n_T ; logaritmik geçici sinyal sayısını, a_j ; logaritmik transiyentlerin genlik katsayılarını, Δt_j ; depremden geçen zamanı ve T_j ; karakteristik zaman ölçeğini ifade etmektedir (Bevis ve Brown 2014, Bevis vd. 2020, Duman 2022).

Bu model, GNSS zaman serilerinde gözlemlenen karmaşık dinamikleri yakalamak için literatürde kullanılan en kapsamlı modeldir. Bu model lineer trendleri, mevsimsel periyodik etkileri, yapay ve fiziksel sıçramaları ve deprem sonrası veya farklı sebepler ile oluşan geçici değişimleri ve etkileri içermektedir.

GNSS zaman serilerinin analizinde, öncelikle zaman serisinin grafiği çizilir ve aykırı değerler zaman serisine uygun yöntemler ile elenir. Daha sonra model bazlı veya veri güdümlü kestirim algoritmaları ile zaman serileri filtrelenir ve tüm bileşenler elde edilir. Kullanılan yöntem ve amaca göre elde edilen filtrelenmiş zaman serisi, elde edilen bileşenler ve artık hata değerleri üzerinden yorumlar ve ileri analizler gerçekleştirilir.

4.3 Aykırı Değerlerin Tespiti

Aykırı değer (kaba hata), zaman serilerinde diğer gözlemlerden önemli ölçüde sapan bir gözlemdir. GNSS zaman serilerindeki aykırı değerler, sistematik hataları, çevresel etkileri ya da ölçüm hatalarını yansıtabilir. Bu aykırı değerlerin tespit edilmesi GNSS verilerinin doğruluğunu artırmak, güvenilir analizler ve sonuçlar elde etmek için gereklidir. Literatürde GNSS zaman serilerinde aykırı değerlerin tespiti için birçok yöntem kullanılmaktadır; K-Sigma yöntemi (İnal ve Yetkin 2006, Klos vd. 2015), Z-Skoru yöntemi (Ozdemir 2014), Mutlak Medyan Sapması (Median Absolute Deviation – MAD) yöntemi (Klos vd. 2015, Duman 2022), Çeyrekler Açıklığı yöntemi (Inter Quartile Range – IQR) (Julaiti 2016, Ozdemir 2019, Duman 2022), iteratif RK yöntemi (Erdoğan 2010) gibi yöntemler yaygın olarak tercih edilmektedir.

K-Sigma yöntemi zaman serilerinde aykırı gözlemlerin tespit etmek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. K-Sigma yöntemi gözlemlerin ortalamasını ve standart sapmasını kullanarak aykırı değerlerin tespit edilmesini sağlar. Bu yöntemde standart sapmanın belirli bir katı (genellikle 3σ) bir tolerans aralığı oluşturur ve bu aralık dışına çıkan değerler aykırı olarak kabul edilir (İnal ve Yetkin 2006, Klos vd. 2015).

GNSS zaman serileri, özellikle yatay koordinat bileşenlerine ait zaman serileri, güçlü bir lineer trend hareket içerir. Eğer K-Sigma yöntemi bu serilere doğrudan uygulanırsa tolerans aralığı oldukça geniş olacaktır ve bu durum aykırı değerlerin tespit edilmesini zorlaştıracaktır. Bu sebeple, literatürde sıklıkla lineer trendin çıkarılması ile artık değerlerin (residuals) elde edilmektedir. Bu işlemin ardından bu artık değerler yeni bir zaman serisi değerlendirilir ve bu seri üzerinden K-Sigma yönteminin uygulanması tercih edilmektedir (Ozdemir 2014, 2019).

Deprem sonrası rahatlama evresi veya yer altı suyu değişimleri gibi lineer olmayan hareketlerin baskın olduğu zaman serilerinde, sadece lineer trendi çıkarmak bazen yeterli olmamaktadır. GNSS zaman serilerindeki lineer olmayan hareketler, çıkarılan artık değerlerde bu değişimlerin aykırı değer olarak algılanmasına neden olabilir. Bu durum yanlış tespitlere yol açabileceğinden, orijinal zaman serisinden çıkarılacak trend veya modelin lineer olmayan bileşenleri de içermesi, RK yöntemi gibi (Erdoğan 2010) veya belirlenen bir kayan pencere aralığındaki gözlemlerin medyan ve ortalamalarından elde edilen orijinal zaman serisinin yumuşatılmış bir versiyonu olması gerekmektedir (Özdemir 2023).

Bu çalışmada lineer trend çıkarmak yerine hareketli ortalama yöntemi kullanılarak yumuşatılmış bir model elde edilmiş ve bu model orijinal zaman serilerinden çıkartılmıştır. K-Sigma yöntemine dayalı aykırı değer tespiti artık değerler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Hareketli Ortalama (Moving Average) yöntemi, belirli bir pencere boyutu içinde verilerin ortalamasını alarak zaman serisinin daha düzgün bir hal almasını sağlamaktadır. Merkezlenmiş hareketli ortalama, belirli bir pencerede ortadaki değer etrafındaki verilerin ortalamasını alır ve eşitlik 4.3’de verildiği şekilde hesaplanır.

$$MA_t = \frac{1}{n} \sum_{i=t-\frac{n-1}{2}}^{t+\frac{n-1}{2}} x_i \quad (4.3)$$

Burada MA_t ; t zamanındaki hareketli ortalama, n ; Pencere boyutu (hareketli ortalama için kullanılan gözlem sayısı), x_i ; i -inci zamanındaki gözlem değerini ifade eder. Bu formül, pencere boyutuna bağlı olarak veri serisinin daha yumuşak bir versiyonunu elde etmeyi sağlar.

Hareketli ortalama hesaplandıktan sonra orijinal zaman serisinden bu ortalama çıkarılır ve artık değerler (residuals) elde edilir. Artık değerler zaman serisindeki kısa vadeli sapmaları temsil eder. e_t ; Artık değerler, aşağıdaki verilen eşitlik ile hesaplanır.

$$e_t = x_t - MA_t \quad (4.4)$$

Burada e_t ; t zamanındaki artık değeri ve x_t ; t zamanındaki gözlemi ifade eder. Elde edilen artık değerler, yeni bir zaman serisi olarak kabul edilerek ve bu zaman serisinin ortalaması (μ_t) ve standart sapması (σ_t) eşitlik 4.5 ve 4.6'ya göre hesaplanır.

$$\mu_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_t \quad (4.5)$$

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (e_t - \mu_t)^2} \quad (4.6)$$

Burada N ; zaman serisinde gözlem sayısını ifade eder. Tolerans aralığı, hareketli ortalama etrafında belirlenen bir standart sapma miktarıdır. Bu aralığın dışındaki gözlemler aykırı değer olarak kabul edilir. Tolerans aralığını hesaplanması alt ve üst limitler ile eşitlik 4.7 ve 4.8'e göre hesaplanır.

$$\text{Üst Limit}_t = \mu_t + k * \sigma_t \quad (4.7)$$

$$\text{Alt Limit}_t = \mu_t - k * \sigma_t \quad (4.8)$$

Burada, Üst Limit_t ; t zamanındaki üst limiti, Alt Limit_t ; t zamanındaki alt limiti ve k ; tolerans çarpanını (genellikle 3) ifade eder. Eğer bir artık değer, e_t $t(1,2, \dots, N)$, alt limitin altında veya üst limitin üzerinde olması durumunda aykırı değer olarak kabul edilir ve ilgili t zamanında gözlem verisi zaman serisinde aykırı değer olarak kabul edilir.

Bu tez çalışmasında hareketli ortalama sapmalara göre yukarıda belirtilen tolerans çarpanını üç (3σ) alınmıştır. Tespit edilen aykırı değerlere ait ilgili zamandaki gözlem verileri zaman serilerinden çıkartılmış ve yerlerine MATLAB yazılımında boşluk anlamına gelen 'NaN' (Not-a-Number) ifadesi koyulmuştur. Tüm istasyonlara ait aykırı değer tespiti uygulaması ve sonuçların özet tablosu Bölüm 5'de, ayrıca aykırı değer tespiti sonuçlarına ilişkin grafikler ise EK-2'de verilmiştir.

4.4 Robust Kestirimi (RK)

“Robust” ya da “Robustluk” kavramı, ölçü kümesindeki aykırı ölçülere ya da genel olarak varsayımlardaki sapmalara duyarsız olan bir dağılımdan elde edilen kestirimler için kullanılır ve bu kestirimlere Robust’tur denir. RK, kaba hatalı ölçülerden ve bir kısım bozulmuş ölçü kümesinden etkilenmeden güvenilir kestirimler elde etmeyi amaçlamaktadır (Yaşayan 1992, Şişman vd. 2009).

RK yönteminde iteratif olarak yapılan kestirimler, serinin her bileşeninin parametrelerini yeniden ağırlıklandırılmış EKK yöntemi ile tahmin edilebilir. Bu yöntem ile aykırı değerlerin bilinmeyenler üzerine etkisi minimize edilir ve hatta yok edilebilir. Bu sebeple klasik EKK yöntemine göre aykırı değerlerin var olduğu durumlarda daha güvenilir sonuçlar verir. RK yönteminde, hata karelerinin toplamını minimize etmek yerine, hataların bir fonksiyonu minimize edilir (Yetkin vd. 2009, Erdoğan 2010, Gulal vd. 2015).

RK yönteminde, aykırı değerlerin etkisini azaltmak için çeşitli istatistiksel yöntemler kullanır. RK’nin kullandığı en yaygın M-kestirim yöntemleri olmakla birlikte R-kestirim, L-kestirim ve S-kestirim yöntemleri gibi farklı yöntemler de geliştirilmiştir. M-kestirim (Maksimum Olasılık Kestiricileri) yöntemi, bütün gözlemleri dikkate alır ancak gözlemlere getirilecek düzeltmelerin büyüklüklerine yeniden ağırlıklandırma işlemi uygular. Buradaki temel amaç, düzeltme miktarı büyük olan bir gözlemin ağırlığının küçültülmesidir (İnal ve Yetkin 2006, Yetkin vd. 2009).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok M-kestirim yöntemi bulunmaktadır. En yaygın olarak kullanılan M-kestirim yöntemleri olarak Huber, Bi-kare, Hampel, Andrews ve Ramsay sıralanabilir. Bu yöntemler EKK yönteminin iteratif olarak uygulanması ile gerçekleştirilebilir. Gerçekleştirilen iteratif kestirimler sırasında ölçü kümesinde sapmaları içeren gözlemler dışlanır ve yeniden düzenlenir (Yetkin vd. 2009).

Robust M-Kestiricileri ile İteratif ağırlıklandırılmalı EKK algoritması aşağıdaki gibi özetlenebilir (Yetkin vd. 2009, Erdoğan 2010):

- 1. Adım:** EKK yöntemi ile bilinmeyenler kestirilir.
- 2. Adım:** Düzeltmeler hesaplanır.
- 3. Adım:** Hesaplanan düzeltmeler ve seçilen ağırlık fonksiyonuna göre indirgeme faktörleri hesaplanır. Eşdeğer ağırlık matrisi oluşturulur.
- 4. Adım:** 3. adımda elde edilen eşdeğer ağırlık matrisi ile EKK uygulanır ve tekrar 2. adıma dönülür.

Bilinmeyen parametrelerin kestirimine istenilen yakınsama sağlayıncaya kadar iteratif olarak devam edilir (Yetkin vd. 2009, Erdoğan 2010).

▪ Robust Kestirimi Fonksiyonel Modeli

Bu tez çalışmasında GNSS zaman serilerinin analizinde kullanılan yöntemlerden bir tanesi de RK yöntemidir. Eşitlik 4.2’de verilen model lineer trendleri, mevsimsel döngüleri, sıçramaları ve deprem sonrası etkileri içermekte idi. Bu çalışma kullanılan GNSS istasyonlarına istasyon etki ve bilgi dosyaları incelediğin de bu istasyonları etkileyen anten değişimi veya deprem gibi etkilerin yer almadığı görülmüştür. Bu sebeple, GNSS zaman serileri yapay, jeofiziksel, eş-sismik veya sismik sonrası deformasyonlar hariç olmak üzere üç bileşenle ifade edilebilir; lineer trend, mevsimler periyodik bileşenler ve rastgele hatalar. Bu üç bileşeni kapsayan basitleştirilmiş fonksiyonel model Eşitlik 4.9’da verilmiştir (Pytharouli vd. 2004, Gulal vd. 2015, Duman 2022).

$$y_i - e_i = y_0 + vt_i + \sum_{k=1}^q \left[AS_k \sin\left(\frac{2\pi t_i}{T_k}\right) + AC_k \cos\left(\frac{2\pi t_i}{T_k}\right) \right] \quad (4.9)$$

Burada q parametresi mevsimler bileşendeki periyodik etki sayısını ifade etmektedir. GNSS zaman serilerinin analizlerinde genellikle yıllık ve yarı-yıllık etkiler kullanılmaktadır. Bu sebeple bu değer, $q = 2$ alınmıştır. RK yönteminin, Eşitlik 4.9’daki verilen modele uygulanması için ölçü vektörü, bilinmeyenler vektörü, katsayılar matrisi cinsinden ifadesi aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir (Gulal vd. 2015, Duman 2022, Uysal 2023).

$$y_{nx1} - e_{nx1} = A_{nxu} * x_{ux1} \quad (4.10)$$

$$y_{nx1} = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ \cdots \ \cdots \ y_n]^T \quad (4.11)$$

$$x_{ux1} = [y_0 \ v \ AS_1 \ AC_1 \ AS_2 \ AC_2]^T \quad (4.12)$$

$$A_{nxu} = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & \sin\left(\frac{2\pi t_1}{T_1}\right) & \cos\left(\frac{2\pi t_1}{T_1}\right) & \sin\left(\frac{2\pi t_1}{T_2}\right) & \cos\left(\frac{2\pi t_1}{T_2}\right) \\ 1 & t_2 & \sin\left(\frac{2\pi t_2}{T_1}\right) & \cos\left(\frac{2\pi t_2}{T_1}\right) & \sin\left(\frac{2\pi t_2}{T_2}\right) & \cos\left(\frac{2\pi t_2}{T_2}\right) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_n & \sin\left(\frac{2\pi t_n}{T_1}\right) & \cos\left(\frac{2\pi t_n}{T_1}\right) & \sin\left(\frac{2\pi t_n}{T_2}\right) & \cos\left(\frac{2\pi t_n}{T_2}\right) \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

Burada n , zaman serisindeki gözlem (ölçü) sayısını; u , bilinmeyen sayısını; y , $n \times 1$ boyutlu zaman serisini; e , $n \times 1$ boyutlu rastgele hata vektörünü; x , $n \times u$ boyutlu bilinmeyenler vektörünü ve A , $n \times u$ boyutlu katsayılar matrisini ifade etmektedir (Gulal vd. 2015, Duman 2022, Serdar 2023, Uysal 2023).

Bu tez çalışmasında, RK yönteminin GNSS zaman serilerine uygulanması Eşitlik 4.9-4.13'te verilen modele göre yapılmıştır. Bu modeldeki lineer trend ve mevsimsel periyodik bileşende yıllık ve yarı-yıllık frekanslar tanımlanmış, Eşitlik 4.12'deki verilen bilinmeyen parametreler hesaplanmıştır. Bu parametreler ile filtrelenen zaman serileri elde edilmiştir. RK yönteminin uygulanması sırasında kullanılan işlem adımları ve elde edilen sonuçlar Bölüm 5'te verilmiştir.

4.5 Tekil Spektrum Analizi (TSA)

TSA tekniği, klasik zaman serisi analizinin unsurlarının yanı sıra çok değişkenli istatistik, çok değişkenli geometri, dinamik sistemler ve sinyal işleme gibi karmaşık yapıları bünyesinde barındıran güçlü bir zaman serisi analizi tekniğidir (Golyandina vd. 2001, Elsner ve Tsonis 2013).

TSA, matematik ve fizikten ekonomi ve finansal matematiğe, meteoroloji ve oşinografi biliminden sosyal bilim ve pazar araştırmasına kadar birçok çeşitli alana uygulanabilmektedir. TSA'yı uygulamak için belirli bir yapıya sahip herhangi bir karmaşık seri yeterli olmaktadır (Golyandina vd. 2001, Golyandina ve Zhigljavsky 2013).

Bu analiz yönteminin temeli, orijinal serisini, yavaşça değişen trend, salınımlı bileşenler ve yapısal olmayan gürültü gibi az sayıda bağımsız ve yorumlanabilir bileşenlerin toplamıyla ifade etmesine dayanmaktadır (Chen vd. 2013). İlgili metodun kullanılması farklı çözünürlükteki eğilimlerinin bulunması, düzeltilmesi, mevsimsellik bileşenlerinin çıkarılması, küçük ve büyük frekans değerlerine sahip döngülerin eş zamanlı olarak belirlenmesi, değişen genliklere sahip periyodik sinyallerin belirlenmesi, kısa zaman serilerindeki yapıyı tespit etme ve değişim noktalarının bulunması gibi birçok probleme çözüm oluşturmaktadır (Hassani 2007).

TSA yönteminin doğuşu genellikle Broomhead tarafından yayınlanan makale olarak kabul edilmektedir (Broomhead ve King 1986). Günümüzde literatürde TSA'nın metodolojik yönleri ve uygulamalarıyla ilgili özellikle yer bilimleri alanında makalelerin sayısı oldukça artmıştır (Schoellhamer 2001, Chen vd. 2013, Xu ve Yue 2015, Chen 2015a, 2015b, Wang vd. 2016, He vd. 2017, Özdemir 2023).

Schoellhamer (2001) eksik gözlemler içeren GNSS zaman serileri için modifiye edilmiş TSA kullanmıştır. Sentetik ve gerçek eksik zaman serileri ile başarılı bir şekilde TSA yöntemini test etmiş ve eksik zaman serilerini düşük geçişli filtrelemek için de kullanılabileceğini göstermiştir. Burada düşük geçişli filtrelemek özellikle zaman serilerindeki gürültüleri azaltmak kullanılmıştır.

Chen vd. (2013) TSA'nın simülasyon ve gerçek veri analizinden GPS koordinat zaman serilerinden genlik ve faz değişkenli periyodik değişkenliği çıkarma yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. Veri güdümlü bir yöntem olan TSA, zaman serisini etkileyen gürültü süreçlerini varsaymanın karmaşıklığından kaçınmak için daha basite indirgenmiş bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. TSA yönteminden elde edilen sonuçlar EKK kestirimi ve Kalman filtreleme ile karşılaştırılmıştır. TSA ve Kalman filtrelemenin,

modüle edilmiş genlik ve fazlara sahip sinyalleri yakalama yetenekleri bakımından en küçük karelerden üstün olduğunu göstermiştir.

Chen (2015a) tarafından uygulanan TSA algoritmasında, tek değişken parametre, zaman serisinin uzunluğuna ve ilgi duyulan periyodik döngülere bağlı olan gecikme penceresi boyutu L olarak alınmış ve farklı pencere boyutları ile 79 adet küresel olarak dağıtılmış GNSS zaman serisine uygulamıştır. Yaptıkların uygulamalar sonucunda, zamanla değişen yıllık ve altı aylık döngüleri çıkarmak için iki yıllık veya üç yıllık bir gecikme penceresi kullanılmasını önermiştir. Bununla birlikte, farklı frekanslara sahip diğer sinyaller ile ilgileniliyorsa, farklı bir gecikme penceresi boyutunun atanması gerektiğini belirtmiştir.

Chen (2015b) tarafından yapılan çalışmada zaman değişkenli mevsimsel sinyalleri ayırmanın yanı sıra, TSA'nın uzun vadeli trend sinyallerini de çıkarabildiği kanıtlanmıştır. Çalışmalarında w -korelasyon analizi kullanılarak optimum pencere boyutu belirlenmiştir. Daha büyük pencere boyutları, özellikle uzun dönemli trendlerin ayrıştırılmasında gerektiğini ve pencere boyutunun seçiminde örnekleme oranı da dikkate alınmasını gerektiğini önermiştir.

TSA yöntemi zaman serisindeki değişim noktalarının tespit edilmesi ve zaman serilerinin analizi ile gelecek değerleri tahmin edilmesinde kullanılabilmektedir (Hassani 2007). Zaman serisinde değişim noktası tespiti, serinin yapısının herhangi bir zaman noktasında herhangi bir nedenden dolayı değişip değişmediğini tespit edilmesidir. Moskvina ve Zhigljavsky (2003) tarafından geliştirilen değişim noktası tespiti yöntemi, TSA'nın orijinal serinin alt serilerine ardışık olarak uygulanmasına dayanmaktadır.

Orijinal zaman serisinin doğrusal tekrarlayan bir formülü karşılaması gerektiği gerçeği, TSA ayrıştırmasının önemli bir özelliğidir. Genel olarak, TSA yöntemi yeni veri noktalarını tahmin etmek için zaman alanında doğrusal tekrarlayan zaman serilerine uygulanmalıdır. TSA tekniğine dayalı güven aralıkları oluşturmanın iki yöntemi vardır: DeneySEL Yöntem (Empirical Method) ve Yeniden Örnekleme Yöntemi (Bootstrap Method). DeneySEL güven aralıkları, gelecekte aynı yapıya sahip olduğu varsayılan tüm

seri için oluşturulur. Yeniden örnekleme güven aralıkları, tüm serinin ana bileşenleri olan sinyalin devamı için oluşturulur (Hassani 2007, Wang vd. 2016).

▪ TSA Metodolojisi

Yeterli uzunlukta değerleri kompleks ve sıfır olmayan $Y_t = (y_1, \dots, y_t)$, şeklinde bir zaman serisi düşünelim. TSA'nın temel amacı, orijinal seriyi bir seri toplamına ayırmaktır ve böylece bu toplamdaki her bileşen bir eğilim, periyodik veya yarı periyodik bileşen (belki de genlik modülü) veya gürültü olarak tanımlanabilir (Hassani 2007, Rocco S 2013).

TSA tekniği iki tamamlayıcı aşamadan oluşmakta; bunlar ayrıştırma ve yeniden yapılandırma aşamalarıdır. Her iki aşamada iki ayrı adımı içermektedir. İlk aşamada seriyi ayrıştırma işlemi yapılmakta ve ikinci aşamada orijinal seriyi yeniden yapılandırılmaktadır. Yeniden yapılandırılan gürültüden arındırılmış bu seri, yeni veri noktalarını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Aşağıdaki alt başlıklarda TSA tekniğinin metodolojisi sunulmaktadır (Hassani 2007).

Ayrıştırma aşamasının ilk adımı olan yerleştirme kısmında Y_t , zaman serisi, $X_i = (y_i, \dots, y_{i+L-1})$, vektörü $X_1, \dots, X_K$ olacak şekilde K tane kısmi vektörlere ayrıştırılmaktadır. Ayrıştırma işlemi sonrası X vektörlerinden oluşan matris aşağıda verilmiştir.

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \vdots \\ X_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & y_3 & \cdots & y_L \\ y_2 & y_3 & y_4 & \cdots & \cdots \\ y_3 & y_4 & y_5 & \cdots & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_K & \cdots & \cdots & \cdots & y_{K+L-1} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

Y_t , zaman serisi T kadar elemandan oluştuğundan $K+L-1$ ifadesi T değerine eşit olmalıdır böylelikle $K=T-L+1$ olmalıdır. Yerleştirme işlemi için tek parametre kısmi vektörlerin uzunluğunu ifade eden L değeridir. Yörünge matrisi olarak adlandırılan X matrisine dikkat edilirse bir Hankel matrisi olduğu anlaşılmaktadır. Diğer bir deyişle satır ve sütun indekslerinin toplamı sabit olduğundaki matris elemanları eşittir. Örnek verilecek olursa

$X_{2,3} = y_4$ iken $X_{3,2}$ değeri yine y_4 değerine eşittir. Bu adım, yörünge matrisinin tekil değer ayrıştırmasını yapar ve onu birinci dereceden iki-ortogonal temel matrislerin toplamı olarak gösterilmesini sağlamaktadır.

Kovaryans matrisini oluşturma bu yöntemi ilk olarak BK algoritmasıyla bilinen (Broomhead & King, 1986) tarafından önerilmiştir. Bu önerilen yaklaşım ile kovaryans matrisi aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilebilmektedir. Yerleştirme, zaman serisi analizinde standart bir işlemdir.

$$C_{BK} = \frac{1}{K} X^T X \quad (4.15)$$

Kovaryans matrisi C 'yi hesaplamak için alternatif bir yaklaşım, VG algoritmasıdır (Vautard R. ve Ghil 1989). Bu algoritma, y_t işleminin gecikmeli kovaryans matrisine dayanmaktadır. Maksimum gecikme (veya pencere boyutu) L ile, C_{VG} matrisi bir Toeplitz yapısına sahiptir, yani eşit gecikmelere karşılık gelen sabit diyagonal yapıdadır. Aşağıda C_{VG} kovaryans matrisi verilmiştir.

$$C_{VG} = \begin{bmatrix} c_0 & c_1 & c_2 & \cdots & c_{L-1} \\ c_1 & c_0 & c_1 & \cdots & \cdots \\ c_2 & c_1 & c_0 & \cdots & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & c_1 \\ c_{L-1} & \cdots & \cdots & c_1 & c_0 \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Burada, c_j girişleri y 'in j indeksindeki gecikmesinde elde edilen kovaryansını ifade ederken, j değeri 0 ile $L-1$ aralığında değer almaktadır. Gecikmeli kovaryans bileşenlerinin hesaplanması için aşağıdaki denklem verilmiştir.

$$c_j = \frac{1}{T-j} \sum_{i=1}^{T-j} y_i y_{i+j}, \quad 0 \leq j \leq L-1 \quad (4.17)$$

Kovaryans matrisin özdeğerlerini (λ) ve özvektörlerini (E) elde etmek için C 'ye özdeğer ayrıştırması uygulanmaktadır. Bulunan bu değerler daha sonra λ_m 'nin azalan sırasına göre

sıralanmaktadır, burada indeks m değeri 1'den başlayarak K değerine kadar ulaşmaktadır. m indeksindeki temel bileşen aşağıda verilmiştir.

$$a_i^m = \sum_{j=1}^L y_{i+j} E_j^m, \quad 0 \leq i \leq T - L \quad (4.18)$$

Son olarak, aşağıdaki eşitlikte Vautard Robert vd. (1992) tarafından verilen m indeksindeki yeniden yapılandırma bileşeni (Reconstructed Components), RCs serisini kullanarak TSA tarafından tanımlanan orijinal zaman serisinin her bir bileşenini yeniden yapılandırabilir.

$$RC_i^m = \begin{cases} \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i a_{i-j}^m E_j^m & 1 \leq i \leq L - 1 \\ \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L a_{i-j}^m E_j^m & L \leq i \leq T - L + 1 \\ \frac{1}{T - i + 1} \sum_{j=i-T+L}^L a_{i-j}^m E_j^m & T - L + 2 \leq i \leq T \end{cases} \quad (4.19)$$

TSA teorisinde, ilk birkaç önde gelen yeniden yapılandırma bileşeni trend ve periyodik bileşenleri temsil eder ve kalan yeniden yapılandırma bileşenleri Y_t 'deki gürültüleri ifade etmek için kullanılmaktadır. Bu nedenle yeniden yapılandırma bileşenlerini üst üste koyarak TSA modelini yeniden yapılandırmak için yalnızca ilk birkaç önde gelen yeniden yapılandırma bileşeni kullanılmaktadır.

$$TSA_{model} = \sum_{s=1}^p RC^s \quad (4.20)$$

Burada p önde gelen yapılandırma bileşenlerin sayısını ifade etmektedir. Sinyalin yeniden yapılandırılmasında kullanılan önde gelen RCs sayısını belirleme prosedürü aslında trend ve periyodik bileşenleri temsil eden RCs kümesini tanımlama işlemine dayanmaktadır. İlgili yapılandırma bileşenleri kümesi tanımlamaları, temel bileşenler ve öz değerlere

parametrik olmayan bir test uygulayarak (Vautard Robert vd. 1992) veya RCs ile elde edilen W-korelasyon matrisi kullanılarak yapılabilir (Chen 2015b).

Bu tez çalışmasında, TSA yönteminin GNSS zaman serilerine uygulanması bu bölümde verilen metodolojiye göre yapılmıştır. Kullanılan GNSS zaman serilerinde hem veriden hem de aykırı değerlerin elemine edilmesinden dolayı boşluklar bulunmaktadır. Bu sebeple, Schoellhamer (2001) ve Chen vd. (2013) tarafından boşluklu veriye göre modifiye edilen TSA yöntemi tüm zaman serilerine uygulanmıştır. TSA yönteminin uygulanması, filtrelenmiş zaman serisinin elde edilmesi sırasında kullanılan tüm işlem adımları ve elde edilen sonuçları Bölüm 5’te verilmiştir.

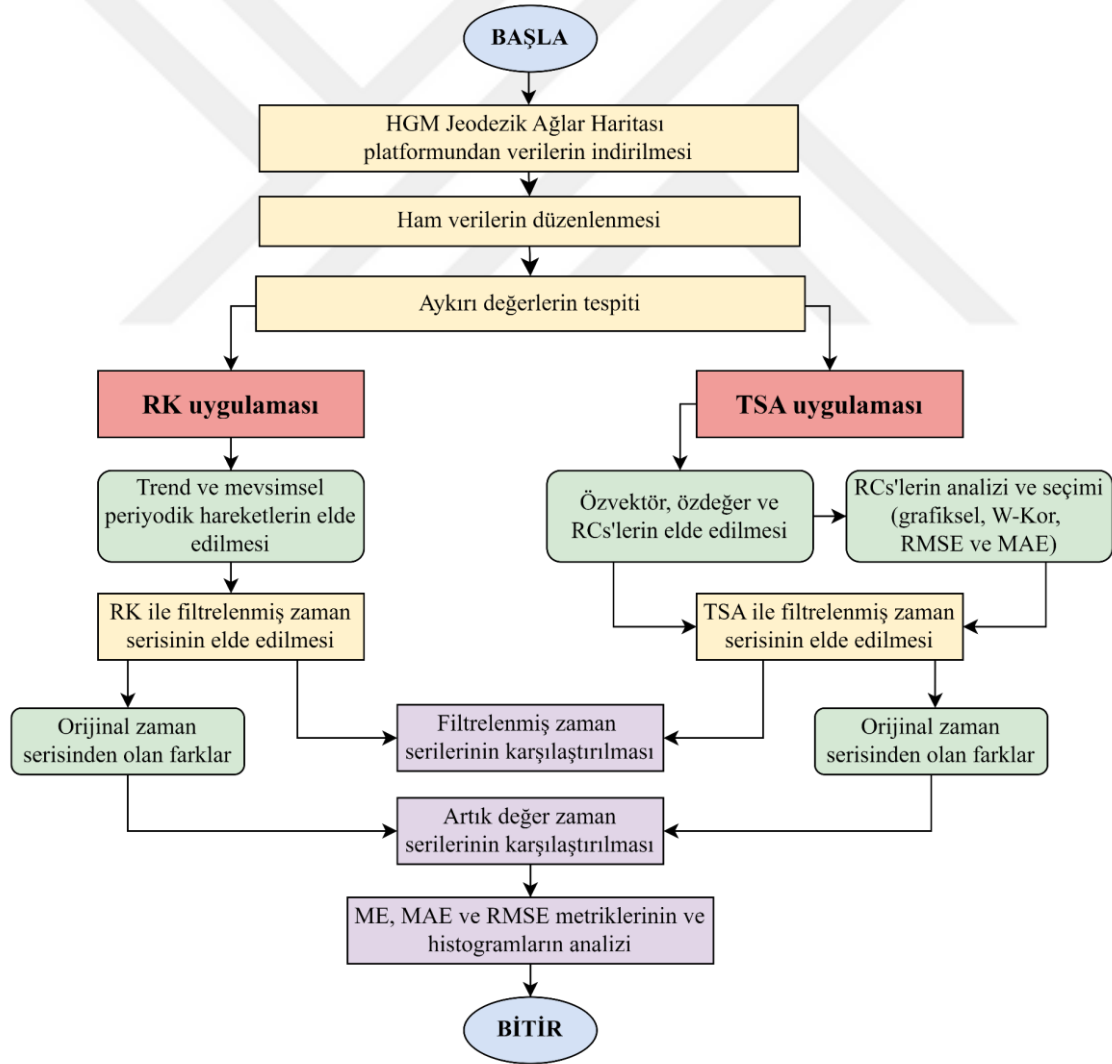


5. UYGULAMA

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında yapılan uygulamalar; zaman serilerinin oluşturulması, aykırı değerlerin tespiti, zaman serilerinin RK ve TSA ile filtrelenmesi ve sonuçların karşılaştırılmasındaki işlem adımları detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

5.1 Uygulama Akışı

Tez çalışmasında gerçekleştirilen uygulamalar ve bütün işlem adımları Şekil 5.1’de gösterilen iş akış şemasında detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

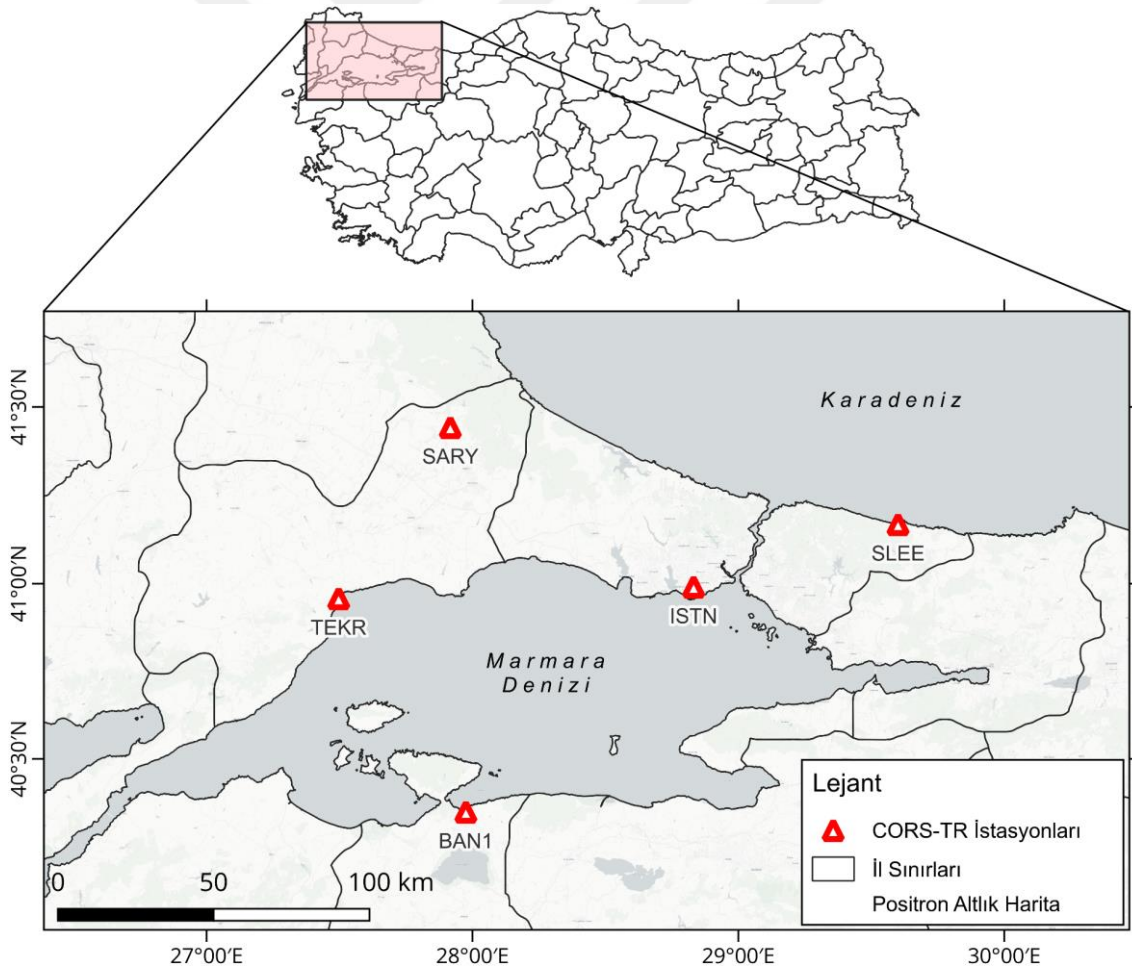


Şekil 5.1 Uygulama iş akış şeması.

5.2 Çalışma Alanı

İstasyonların seçimi aşamasında GNSS zaman serisi analizinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi gözetilerek, deprem ve anten gibi donanım değişiklikleri olamayan, veri uzunluğu en az 3 yıl olan istasyonlar seçilmiştir. Yöntemleri performanslarını karşılaştırabilmek için farklı veri boşluklarına ve zaman serilerinde farklı lineer ve lineer olmayan hareketler içeren istasyonlar seçilmiştir.

Bu kriterlere en uygun istasyonların bazılarının Marmara bölgesinde yer almasından dolayı bu bölgede yer alan BAN1, ISTN, SARY, SLEE ve TEKR TUSAGA-Aktif istasyonları seçilmiştir. Seçilen bu istasyonların konumları Şekil 5.2’de haritada ve istasyonların konum ve koordinat bilgileri ise Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonlarının konumları.

Çizelge 5.1 Çalışmada kullanılan CORS-TR istasyonlarının bilgileri.

Nokta Adı	İlçe	İl	Enlem	Boylam
BAN1	Bandırma	Balıkesir	40° 20' 55.13" N	27° 58' 29.81" E
ISTN	Bakırköy	İstanbul	40° 59' 27.45" N	28° 49' 53.86" E
SARY	Saray	Tekirdağ	41° 26' 34.69" N	27° 54' 59.18" E
SLEE	Şile	İstanbul	41° 10' 07.42" N	29° 36' 02.44" E
TEKR	Süleymanpaşa	Tekirdağ	40° 57' 30.02" N	27° 29' 47.21" E

5.2 Verilerin Düzenlenmesi

Seçilen istasyonlara ait zaman serileri oluşturmak için gerekli koordinatlar Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası web platformundan (.pos formatında) indirilmiştir. Bu dosyadaki koordinatlar IGS14 datumundadır ve bu datum ITRF-14 datumuna karşılık gelmektedir. Tez çalışmasındaki istasyonlara zaman serileri bu verilerdeki koordinatlardan oluşturulmuştur ve ISTN istasyonuna ait verinin bir kısmı Şekil 5.3'te verilmiştir.

PBO Station Position Time Series. Reference Frame : IGB14

Format Version: 1.1.1

4-character ID: ISTN

Station name : ISTN GPS

First Epoch : 20080927 115900

Last Epoch : 20231231 115900

Release Date : 20240326 223757

XYZ Reference position : 4223660.79942 2325015.15318 4161716.30122 (IGB14)

NEU Reference position : 40.9909634111 28.8316372534 77.04918 (IGB14/WGS84)

Start Field Description

YYYYMMDD Year, month, day for the given position epoch

HHMMSS Hour, minute, second for the given position epoch

JJJJJ.JJJJJ Modified Julian day for the given position epoch

X X coordinate, Specified Reference Frame, meters

Y Y coordinate, Specified Reference Frame, meters

Z Z coordinate, Specified Reference Frame, meters

Sx Standard deviation of the X position, meters

Sy Standard deviation of the Y position, meters

Sz Standard deviation of the Z position, meters

Rxy Correlation of the X and Y position

Rxz Correlation of the X and Z position

Ryz Correlation of the Y and Z position

Nlat North latitude, WGS-84 ellipsoid, decimal degrees

Elong East longitude, WGS-84 ellipsoid, decimal degrees

Height (Up) Height relative to WGS-84 ellipsoid, m

dN Difference in North component from NEU reference position, meters

dE Difference in East component from NEU reference position, meters

dU Difference in vertical component from NEU reference position, meters

Sn Standard deviation of dN, meters

Se Standard deviation of dE, meters

Su Standard deviation of dU, meters

Rne Correlation of dN and dE

Rnu Correlation of dN and dU

Reu Correlation of dE and dU

Soln "rapid", "final", "suppl/suppf", "campd", or "repro" corresponding to products generated

End Field Description

*YYYYMMDD	HHMMSS	JJJJJ.JJJJJ	X	Y	Z	Sx	Sy	Sz
20080927	115900	54736.4993	4223660.94649	2325015.02817	4161716.23242	0.00559	0.00381	0.00532
20080928	115900	54737.4993	4223660.94868	2325015.03172	4161716.23428	0.00488	0.00343	0.00455
20080929	115900	54738.4993	4223660.94701	2325015.03070	4161716.23379	0.00457	0.00321	0.00428

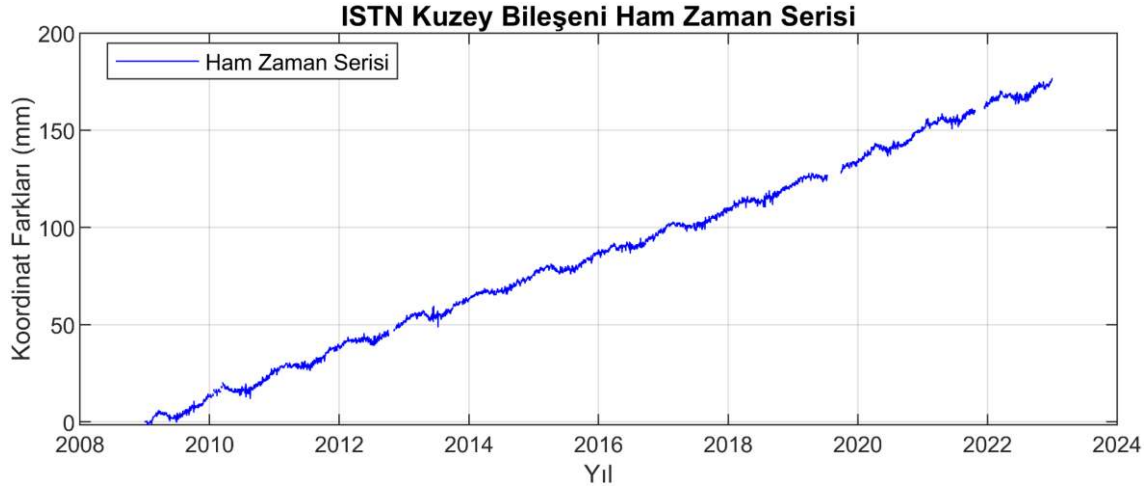
Şekil 5.3 ISTN istasyonu koordinat dosyasının bir kısmı.

Bu veri formatı incelendiğinde ilk satırları (genellikle ilk 37 satır) başlık ve sonraki kısım ise verilerden oluşmaktadır. Buradaki başlık kısmı istasyon bilgileri, veriye ait zaman bilgileri, GNSS prosesinden elde edilen koordinatlar ve standart sapma gibi diğer bilgileri içermektedir. Bu tez çalışması kapsamında bir MATLAB fonksiyonu geliştirilmiştir.

Bu fonksiyon: hgmpo2(filename, start_date, end_date);

1. Dosya adının ilk 4 hanesinden istasyon adını alır.
2. Dosyayı açar ve satır okuyarak “End Field Description” ifadesinin bulunduğu satır numarasını bulur. Buna göre veri başlangıç satırını bulur.
3. Verileri belirtilen formatta okur ve bir hücre dizisine ekler.
4. Hücre dizisini bir matris formuna dönüştürür ve buradan ‘veri_matrisi’ oluşturur.
5. Kullanıcı tarafından başlangıç ve bitiş tarihlerine göre MATLAB’in kullandığı tarih formatı olarak tarih numarasını ‘datenum’ kolonu hesaplar.
6. ‘datenum’ kolonunu veri matrise ekler ve eksik tarihleri NaN ile doldurur. Birinci veriden başlayarak veri numarası (veri_no) atar. Veri matrisini, tarih aralığındaki bütün verileri içerecek şekilde günceller. Tum_Veri matrisinin oluşturur.
Tum_Veri= [yıl ay gün datenum veri_no dn de du] matrisinin oluşturur.
7. İlk gün verisini sıfırlayarak DN, DE ve DU matrislerini oluşturur.
DN = [yıl ay gün datenum veri_no dn]
DE = [yıl ay gün datenum veri_no de]
DU = [yıl ay gün datenum veri_no du]
8. ‘assignin’ fonksiyonunu kullanarak matrisleri dinamik olarak kaydeder.
9. Bir yapı (struct) oluşturarak matrisleri dinamik olarak “. mat” dosyasına kaydeder.
10. Fonksiyon çıktısı olarak bu dört matrisi döner.

Sonuç olarak bu fonksiyon, Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası web uygulamasından (.pos formatında) verileri kullanıcı tarafından verilen başlangıç ve bitiş tarihine göre otomatik şekilde okur ve ‘Tum_Veri’, ‘DN’, ‘DE’ ve ‘DU’ matrislerini oluşturur ve bu matrisler istasyon adına göre bir .mat dosyasına kayıt eder. Dosya okuma işleminde sonra ISTN istasyonu Kuzey bileşenine ait zaman serisi grafiği Şekil 5.4’te ve diğer tüm istasyonlara ait zaman serileri ise bu tezin EK-1 bölümünde verilmiştir.



Şekil 5.4 ISTN istasyonu Kuzey bileşeni ham zaman serisi grafiği.

5.3 Aykırı Değerlerin Tespiti

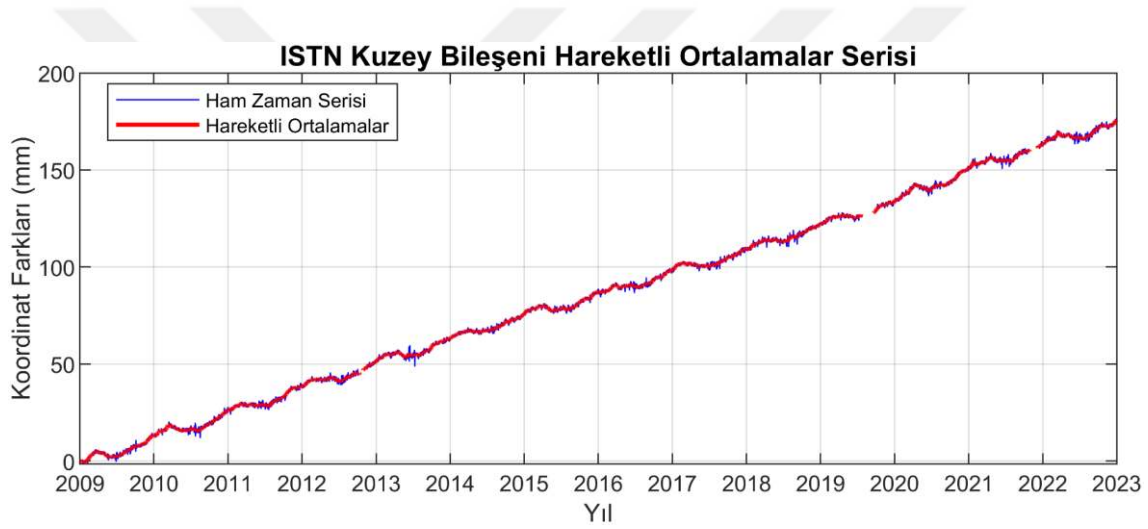
Aykırı değerler, zaman serilerinde diğer gözlemlerden önemli ölçüde sapan gözlemlerdir ve bu aykırı gözlemlerin tespiti ve kaldırılması GNSS verilerinin yorumlanmasında önemli bir rol oynar, bu sebeple analizlere başlamadan önce zaman serisinden çıkarılmalıdır (Klos vd. 2015).

Bu çalışmada aykırı değerlerin tespiti, Bölüm 4’te anlatılan metodoloji göre yapılmıştır. Hareketli ortalama yöntemi kullanılarak yumuşatılmış bir model elde edilmiştir. Hareketli ortalama hesabında pencere boyutu 15 gün olarak alınmıştır. Bu model orijinal zaman serilerinden çıkartılarak artık zaman serileri elde edilmiştir. K-Sigma yöntemine dayalı aykırı değer tespiti ise elde edilen artık değerler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde kullanılan tolerans aralığı, artık değerlerin standart sapmasının 3 katı kuralına göre yapılmıştır. Tespit edilen aykırı değerler zaman serilerinden çıkartılmış ve yerlerine MATLAB yazılımında boşluk anlamına gelen ‘NaN’ ifadesi koyulmuştur.

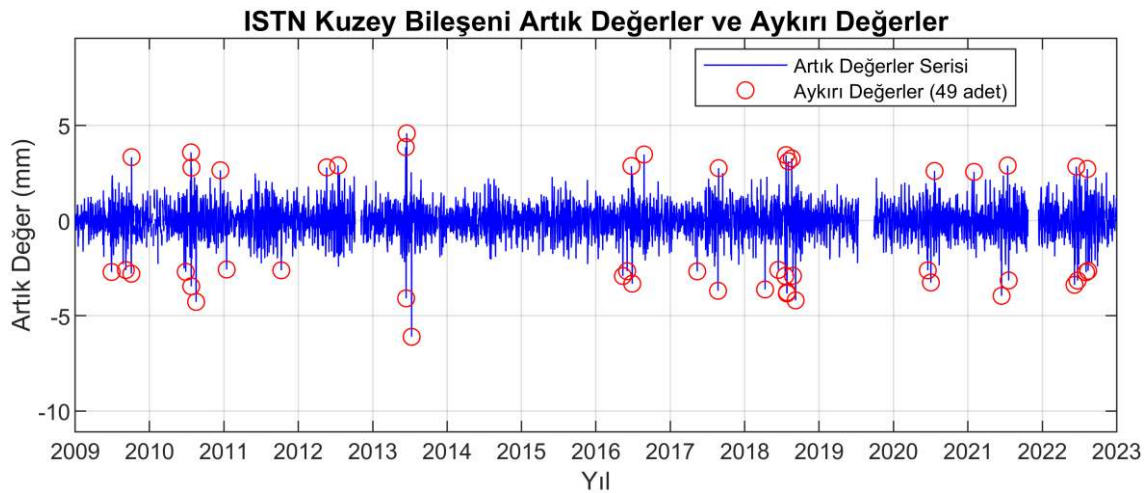
Aykırı değer tespiti yukarıda anlatıldığı işlem adımları ile tez çalışmasında kullanılan tüm istasyonlara uygulanmıştır. Bu uygulama aynı işlemlerin tekrarlı bir şekilde yapılması ve grafiklerin yoğunluğu sebebi ile tüm istasyon ve bileşenlerine ait sonuçlar EK-2’de verilmiştir. Yapılan işlemlere örnek anlatım olması açısından ISTN istasyonun Kuzey bileşenine ait koordinat zaman serisindeki aykırı değer tespiti bu bölümde anlatılmıştır.

ISTN istasyonu Kuzey bileşenine ait ham zaman serisi ile 15 gün pencere boyutu ile elde edilen hareketli ortalamalar serisi Şekil 5.5’de, artık değerler ve tespit edilen aykırı değerler Şekil 5.6’de ve ham zaman serisi ile aykırı değerler Şekil 5.7’de verilmiştir. Aykırı değer grafiklerinin lejant bölümünde kaç adet aykırı değer tespit edildiği belirtilmiştir.

Şekil 5.6’de verilen ISTN istasyonu Kuzey bileşeni artık değerler grafiği incelendiğinde yaklaşık normal dağılımda olduğu, diğer bir ifadeyle kirlenilmiş bir normal dağılımda olduğu görülmektedir. Bu seriye uygulanan aykırı değer tespitinin görsel yorumlamaya göre başarılı olduğu ve 49 adet aykırı değer tespit edildiği görülmektedir.



Şekil 5.5 ISTN Kuzey bileşeni orijinal zaman serisi ve hareketli ortalama.



Şekil 5.6 ISTN Kuzey bileşeni artık değerler ve aykırı değerler.



Şekil 5.7 ISTN Kuzey bileşeni orijinal zaman serisi ve aykırı değerler.

Tüm istasyonların zaman serilerine aykırı değer tespiti yapıldıktan sonra aykırı değerlerin olduğu günler boşluklu hale getirilmiştir. Çizelge 5.2’de tüm istasyonların verilerindeki boşluklar, aykırı değer sayıları ve bunlar çıkarıldıktan sonraki veri doluluk oranları verilmiştir. Çizelgeye göre en yüksek doluluk oranı yaklaşık %98 ile BAN1 istasyonunda olurken, en düşük doluluk oranı yaklaşık %93 ile SLEE istasyonundadır.

Çizelge 5.2 Çalışmada kullanılan istasyonlara ait veri ve aykırı değer bilgileri.

İstasyon Adı	Koordinat Bileşeni	Başlangıç Bitiş Tarihi	Toplam Gün Sayısı	Olmayan Gün Sayısı	Aykırı Değer Sayısı	Veri Doluluk Oranı
BAN1	Kuzey (DN)	17/02/2014 31/12/2022	3240	21	46	%97,93
	Doğu (DE)				36	%98,24
	Yükseklik (DU)				42	%98,06
ISTN	Kuzey (DN)	01/01/2009 31/12/2022	5113	261	49	%93,94
	Doğu (DE)				43	%94,05
	Yükseklik (DU)				36	%94,19
SARY	Kuzey (DN)	01/01/2009 31/12/2022	5113	183	63	%95,19
	Doğu (DE)				54	%95,36
	Yükseklik (DU)				53	%95,38
SLEE	Kuzey (DN)	01/01/2009 31/12/2022	5113	295	55	%93,15
	Doğu (DE)				53	%93,19
	Yükseklik (DU)				54	%93,17
TEKR	Kuzey (DN)	01/01/2009 31/12/2022	5113	146	63	%95,91
	Doğu (DE)				60	%95,97
	Yükseklik (DU)				53	%96,11

5.4 Robust Kestirim (RK) Uygulaması

Bu tez çalışmasında zaman serilerinin analizinde kullanılan yöntemlerden bir tanesi RK yöntemidir. Bu yöntem, klasik EKK yöntemine göre sapmaların var olduğu durumlarda daha güvenilir sonuçlar verir. RK yönteminde, hata karelerinin toplamını minimize etmek yerine, hataların bir fonksiyonu minimize edilir (Erdoğan 2010, Gulal vd. 2015).

RK ile zaman serilerinin filtrelenmesi Bölüm 4'te anlatılan metodoloji ve denklem 4.9-4.13 ile verilen modele göre yapılmıştır. Bu modeldeki periyodik bileşende yıllık ve yarı-yıllık frekanslar tanımlanmıştır. RK ile denklem 4.12'de verilen bilinmeyen parametreler kestirilmiştir. RK yönteminin uygulanması sırasında yeniden ağırlıklandırma yöntemi olarak Bi-kare ağırlıklı yöntem kullanılmıştır.

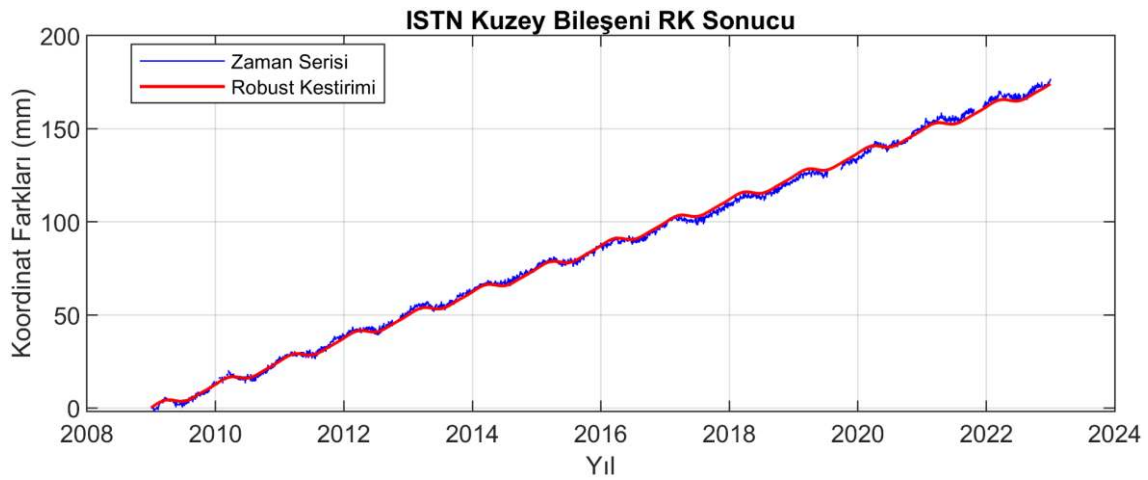
Bu tez çalışmasında tüm istasyonlara RK uygulaması MATLAB yazılımında aşağıda verilen işlem adımları gerçekleştirerek uygulanmıştır.

- 1. Veri Yükleme:** Zaman serisi verilerinin yüklenmesi, bu aşamada veri boşlukları ve aykırı değerlerin yerleri 'NaN' olarak alınmıştır.
- 2. RK Modelinin Tanımlanması:** RK modeli için katsayılar matrisinin ve bilinmeyenler matrisinin lineer trend ve iki mevsimsel (yıllık ve yarı-yıllık etkiler) frekans için tanımlanması.
- 3. RK'nin Uygulanması:** Yüklenen zaman serisi verisine MATLAB programında bulunan "robustfit.m" fonksiyonu ile RK uygulanır ve model parametreleri elde edilir. Bu model parametreleri yardımıyla RK ile filtrelenmiş zaman serisi hesaplanır ve orijinal zaman serisi ile görselleştirilir.
- 4. Ağırlıkların Analizi:** RK yönteminde elde edilen Bi-kare ağırlıklar görselleştirilir ve düşük ağırlıklı ve sıfır ağırlıklı veriler incelenir.
- 5. Bileşenlerin Ayrıştırılması:** RK ile elde edilen lineer trend ve periyodik bileşenler (yıllık ve yarı-yıllık) hesaplanır. Her bir bileşen görselleştirilir ve analiz edilir.
- 6. Bileşenlerin Karşılaştırılması:** Lineer trend ile orijinal zaman serisi görselleştirilir ve karşılaştırma yapılırken, diğer yandan periyodik bileşenler ise trendin orijinal zaman serisinden çıkarılması ile elde edilen zaman serisi ile görselleştirilerek karşılaştırılır.

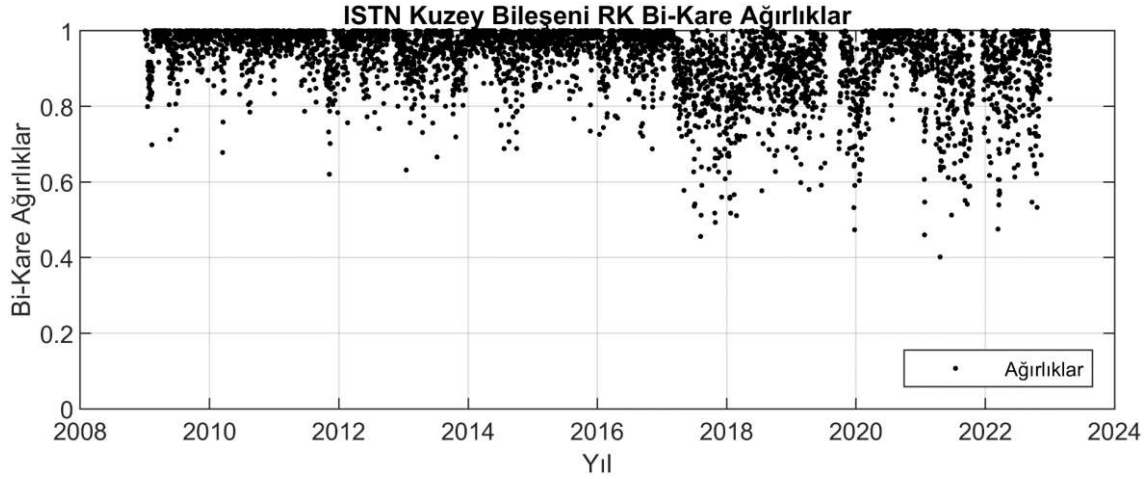
7. **Artık Değerlerin Analizi:** Orijinal zaman serisi ile RK sonucu filtrelenmiş zaman serisi arasındaki farklar (artık değerler) hesaplanır ve grafiği oluşturulur.
8. **İstatistiksel Analiz:** Orijinal zaman serisi ve RK sonucu arasında Korelasyon katsayısı hesaplanır. Ayrıca artık değerler üzerinde istatistiksel analiz yapılır; Ortalama Hata (Mean Error – ME), Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error – MAE), Ortalama Kare Hata (Mean Square Error – MSE) ve Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Squared Error – RMSE) hesaplanır. Bütün istatistiksel sonuçlar tablo halinde düzenlenir ve Excel dosya formatında saklanır.
9. **Sonuçların Kaydedilmesi:** Elde edilen Robust model sonuçları, trend, periyodik bileşenler ve artık değerler MATLAB çalışma alanına ve ‘.mat’ dosyasına daha sonraki bölümlerde yöntemlerin karşılaştırılması sırasında kullanabilmesi için kaydedilir.

RK yukarıda verilen işlem adımları ile tüm istasyonlara uygulanmıştır. Bu uygulama aynı işlemlerin tekrarlı bir şekilde yapılması ve grafiksel sonuçların yoğunluk sebebi ile tüm istasyonlara ve koordinat bileşenlerine ait sonuçlar EK-3’de verilmiştir. Yapılan işlemlere örnek anlatım olması açısından ISTN istasyonunun Kuzey bileşenine ait koordinat zaman serisi RK uygulanması ve sonuçları analizi bu bölümde anlatılacaktır.

ISTN Kuzey bileşeni zaman serisine RK uygulanmıştır. RK sonucu ve Bi-kare ağırlıklar Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’de verilmiştir.



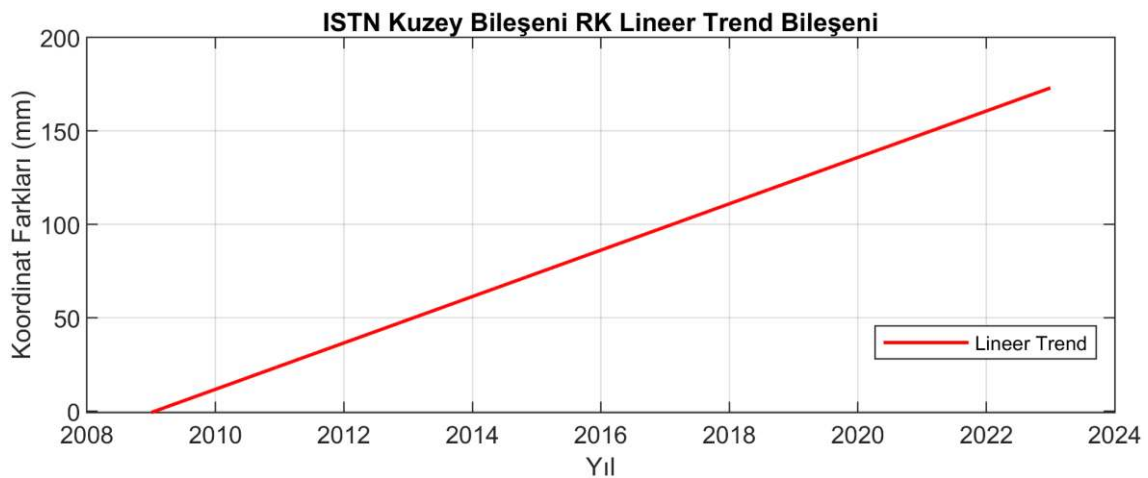
Şekil 5.8 ISTN Kuzey orijinal zaman serisi ve RK sonucu.



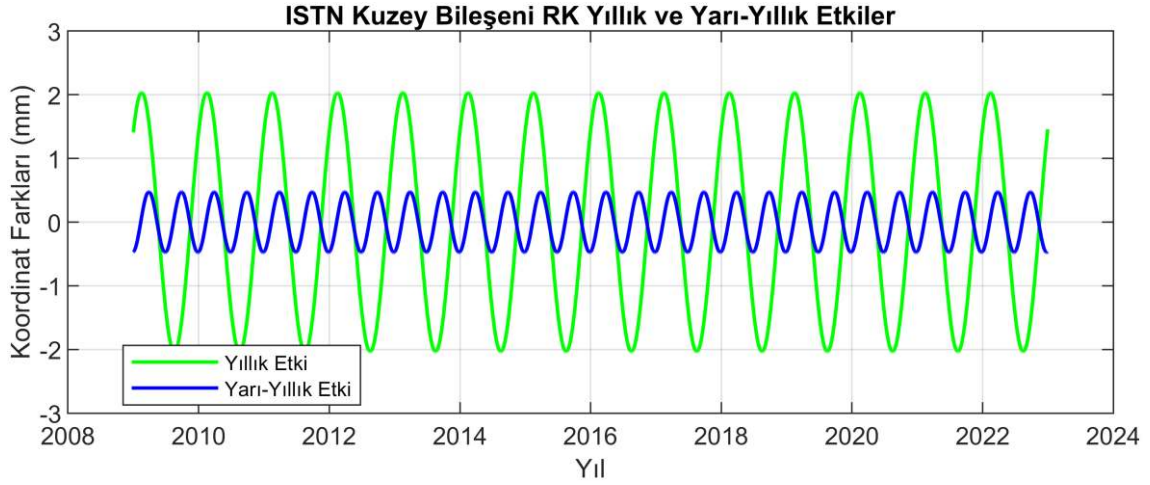
Şekil 5.9 ISTN Kuzey RK ile elde edilen Bi-kare ağırlıkları.

Şekil 5.9 incelendiğinde, sıfır veya düşük ağırlıklı hiçbir veri noktası olmadığı görülmektedir. RK sonuçlarına etkisi en az olan verilerin diğer bir deyişle en düşük ağırlıkların 2017-2023 yılları arasında olduğu görülmektedir. Bu düşük ağırlıklı ölçülere ait zaman aralığı Şekil 5.8’de incelendiğinde, RK ile elde edilen modelin orijinal zaman serisinden ayrıştığı yerlere ait olduğu görülmektedir.

RK uygulanması ile elde edilen trend ve periyodik bileşenler Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de verilmiştir. Şekil 5.10’da verilen trend bileşeni zaman serisinin temel yönelimini gösteren en baskın bileşenidir. 2009-2022 yılları arasında yıllık ortalama 12.4 mm/yıl hızla hareket ettiği görülmektedir. Şekil 5.11’e göre, RK ile elde edilen periyodik bileşenlerde yıllık etkinin baskın ve yarı-yıllık etkiye göre yaklaşık 4 kat daha büyük olduğu görülmektedir.



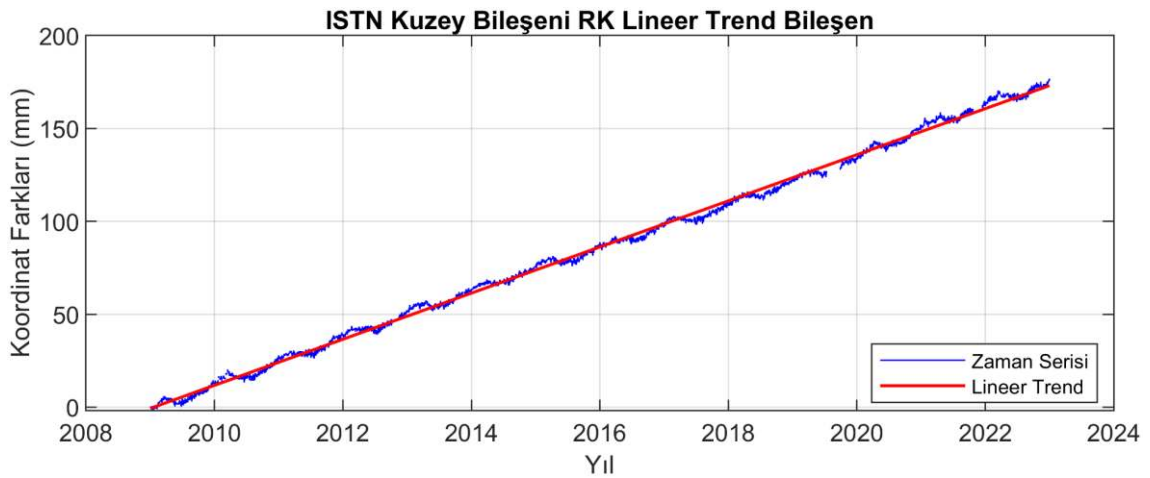
Şekil 5.10 ISTN Kuzey RK ile elde edilen lineer trend.



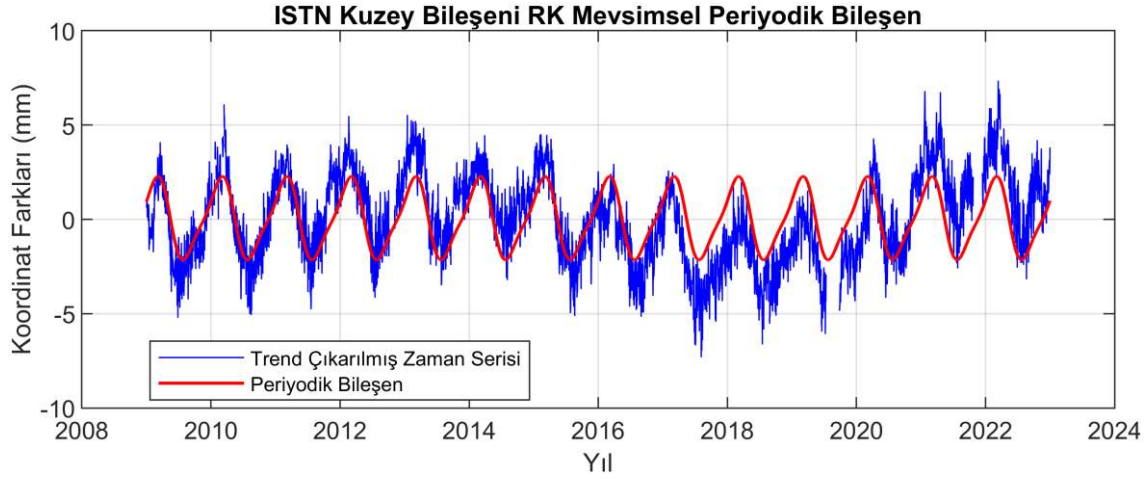
Şekil 5.11 ISTN Kuzey RK ile elde edilen mevsimsel periyodik etkiler.

RK sonuçlarının daha net yorumlanması adına, orijinal zaman serisi ile RK trend bileşeni birlikte çizilmiştir ve Şekil 5.12’de verilmiştir. Bunun yanı sıra RK trend bileşeni orijinal zaman serisinden çıkartılarak trendsiz zaman serisi elde edilmiştir. Bu trendsiz zaman serisi ise RK ile elde edilen periyodik bileşenler ile birlikte çizilmiştir ve sonuçlar Şekil 5.13’de verilmiştir.

Şekil 5.12 incelediğinde, RK linear trendin orijinal zaman serisi ile uyum içinde olduğu ve görsel olarak herhangi bir sorun görülmemektedir. RK, her ne kadar ağırlık kullanıyor olsa da model ile zaman serisi arasındaki farkları minimize etme eğilimindedir. ISTN Kuzey bileşeni gibi zaman serisinin genel eğilimi ile linear trendin benzerlik gösterdiği durumlarda başarılı sonuçlar alınmaktadır.

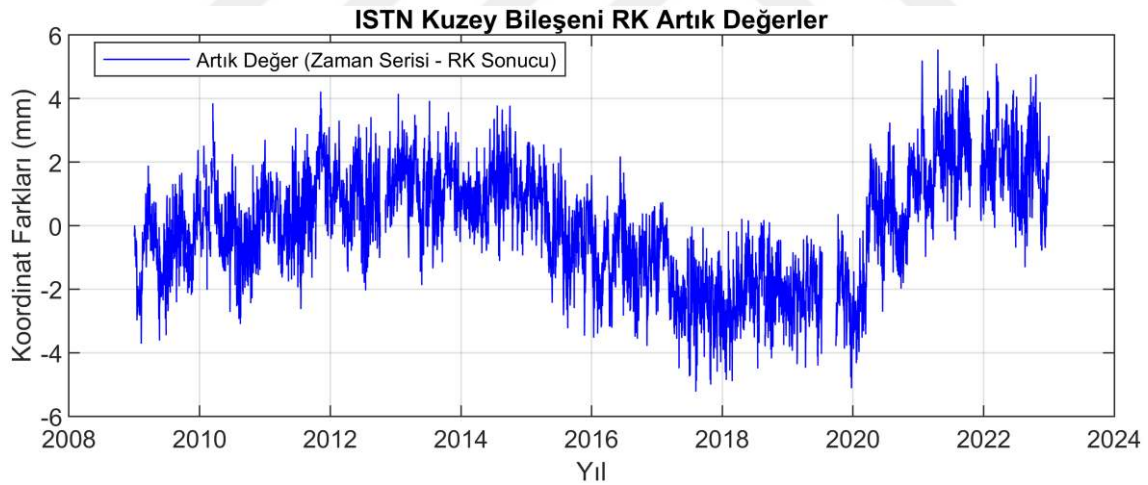


Şekil 5.12 ISTN Kuzey orijinal zaman serisi ve RK linear trend.



Şekil 5.13 ISTN Kuzey trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.

Şekil 5.13’de verilen periyodik bileşenler incelediğinde, lineer trend gibi bir durum söz konusu değildir. 2015-2019 yılları arasında zaman serisinde zayıf bir geçici sinyal görülmektedir. RK modelinde tüm zaman serisi için sabit frekanslar ve genlik kullanılmasından dolayı bunun gibi lineer olmayan değişimleri tespit edememektedir.



Şekil 5.14 ISTN Kuzey artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).

Şekil 5.8’de verilen RK sonucu orijinal zaman serisinde çıkarılarak, artık değerler (residuals) elde edilmiş ve grafiği Şekil 5.14’de verilmiştir. Artık değerlerin sıfır çizgisi etrafında olması beklenmektedir, fakat durum öyle değildir. Burada artık değerlerin bir örüntü içinde olduğu görülmektedir. ISTN istasyonuna ait “İstasyon Etki Dosyası” ve “İstasyon Bilgi Formu” incelendiğinde, istasyon ile ilgili hiçbir etki raporlanmamıştır.

5.5 Tekil Spektrum Analizi (TSA) Uygulaması

TSA, zaman serileri analizinde bilgi çıkarmak için kullanılan parametrik olmayan veri güdümlü bir yöntemdir. TSA bir zaman serisini yavaşça değişen bir trend ve birkaç periyodik bileşen gibi bir dizi yorumlanabilir ve bağımsız bileşene ayırmayı amaçlar. TSA'nın önemli bir özelliği, elde edilen trendlerin lineer olmak zorunda olmamasıdır ve çıkarılan periyodik bileşenlerin sadece belirli bir sabit genlikte ve fazda olmadığıdır. Bu bileşenlerin zamanla değişebilmesinden dolayı dinamik ve değişken olarak elde edilebilir (Hassani 2007, Chen vd. 2013).

Hassani (2007), Golyandina ve Zhigljavsky (2013) tarafında yapılan çalışmalarda tek parametre olarak pencere boyutu kullanılmıştır. Birçok yer bilimi verilerde olduğu gibi GNSS zaman serilerinde de boşluklar bulunmaktadır. Bu sebeple, Schoellhamer (2001) tarafında yapılan çalışmada TSA yöntemine bir fraksiyon parametresi eklenerek boşluklu zaman serilerine uygulanması açıklanmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan GNSS zaman serilerinde hem veriden hem de aykırı değerlerin elimine edilmesinden dolayı boşluklar bulunmaktadır. Bu sebeple, Chen vd. (2013), Chen (2015b), Chen (2015a) ve Schoellhamer (2001) tarafından boşluklu veriye göre modifiye edilen TSA yöntemi tüm zaman serilerine uygulanmıştır. Bu yöntemde kullanılan model ve denklemler Bölüm 4'te verilmiştir.

Bu tez çalışmasında tüm istasyonlara TSA yöntemi MATLAB yazılımında aşağıda verilen işlem adımlar gerçekleştirerek uygulanmıştır.

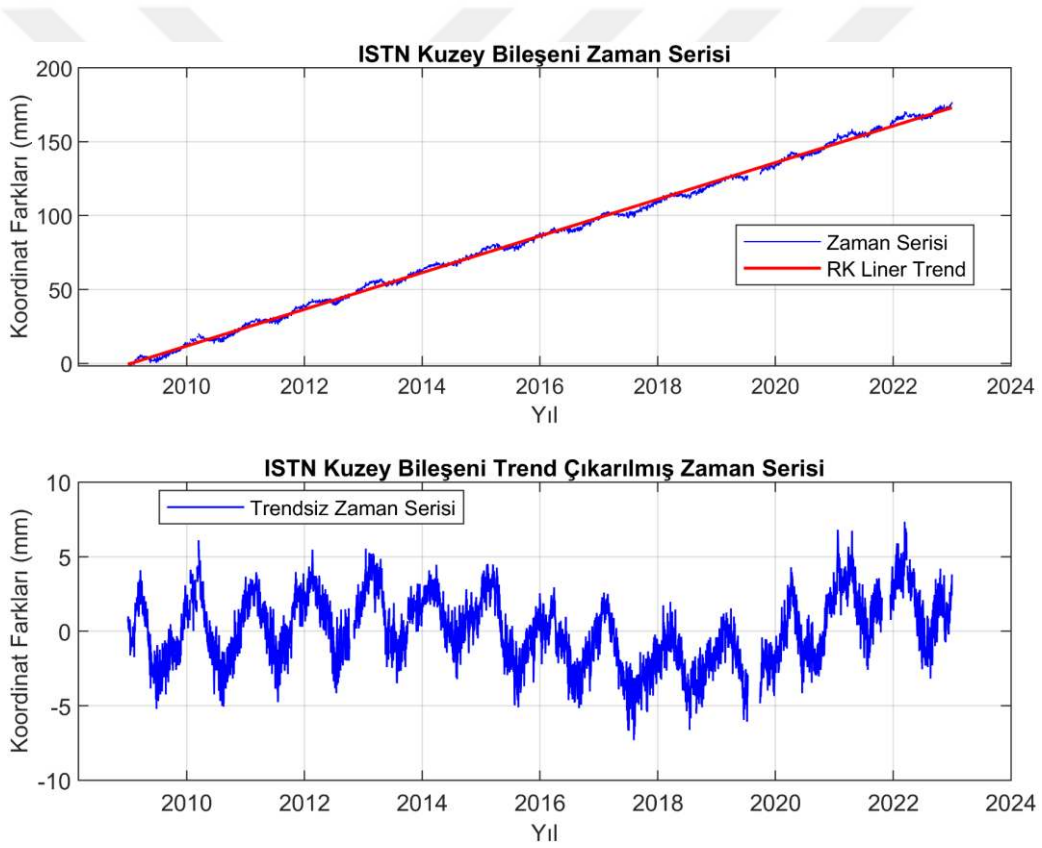
- 1. Veri Yükleme:** Zaman serisi verilerinin yüklenmesi, bu aşamada veri boşlukları ve aykırı değerlerin yerleri 'NaN' olarak alınmıştır.
- 2. Trendden Arındırma:** Chen (2015b) ve Özdemir (2023) çalışmalarında, TSA analizine başlanmadan önce zaman serisinin ortalanması gerektiği veya lineer trend bileşenin çıkarılması gerektiğini önermişlerdir. Bu tez çalışmasının önceki bölümünde lineer trend RK ile tespit edilmişti. Tekrardan bir lineer trend geçirmek yerine, bu aşamada RK'dan elde edilen trend kullanılmıştır. Böylece bu adım yöntemlerin

karşılaştırılması sırasında bize kolaylık sağlamış olur. Robust trend bileşeni orijinal zaman serisinden çıkartılmıştır. Bu aşamada orijinal zaman serisi, Robust trend bileşeni ve trend çıkarılmış zaman serisi çizdirilir.

- 3. Tekil Spektrum Analizi Uygulaması:** Trend çıkarılmış zaman serisine TSA uygulaması yapılmıştır. TSA uygulaması sonucunda zaman serisinin özdeğerleri (λ s), özvektörleri (eigenvectors – EVs), temel bileşenleri (principal components – PCs) ve Yeniden Yapılandırılmış Bileşenleri (reconstruction components – RCs) elde edilir. Görsel analiz ve yorumlama için ilk 15 RCs çizdirilir.
- 4. W-Korelasyon Matrisi ve Bileşenlerin Korelasyonu:** W-korelasyon Matrisi yeniden RCs arasındaki korelasyonu ölçmek için hesaplanır ve görselleştirilir. Daha detaylı görebilmek adına, w-korelasyon matrisinin ilk 15×15 'lik bölümü ayrıca görselleştirilir. Bu adım, TSA bileşenlerinin ne kadar bağımsız olduklarını ve hangi bileşenlerin güçlü bir korelasyon gösterdiğini analiz etmek için kullanılır. Bu kısımda kullanılması planlanan RC sayısına göre orijinal zaman serisi ile RC'lerin toplamı arasındaki farklar (artık değerler) hesaplanır ve MAE, RMSE ve korelasyon katsayısı gibi istatistiksel ölçütler hesaplanır. Bu ölçütler, TSA ile elde edilecek RCs'lerin belirlenmesinde kullanılacaktır.
- 5. TSA Sonuçlarının Yeniden Yapılandırılması:** RCs kullanılarak, trendden arındırılmış zaman serisi yeniden oluşturulur. Trend bileşeni, yeniden yapılandırılmış zaman serisine eklenir ve böylece trendli zaman serisi yeniden oluşturulur. Bu trendden arındırılmış TSA sonuç zaman serisi ve trend ile birleştirilen TSA sonuç zaman serileri orijinal zaman serileri ile birlikte çizdirilir.
- 6. Artık Değerlerin Analizi:** Orijinal zaman serisi ile yeniden yapılandırılmış zaman serisi (TSA) arasındaki farklar (artık değerler) hesaplanır ve grafiği oluşturulur.
- 7. İstatistiksel Analiz:** Orijinal zaman serisi ve TSA sonucu arasında Korelasyon katsayısı hesaplanır. Ayrıca artık değerler üzerinde istatistiksel analiz yapılır; ME, MAE, MSE ve RMSE hesaplanır. Bütün istatistiksel sonuçlar tablo halinde düzenlenir ve Excel dosyası olarak saklanır.
- 8. Sonuçların Kaydedilmesi:** TSA uygulamasından elde edilen tüm sonuçlar (RCs, PCs, EVs, Lambdas, w-korelasyon, TSA sonuç zaman serisi, artık değerler, istatistiksel analiz sonuçları) MATLAB çalışma alanına ve '.mat' dosyasına daha sonraki bölümlerde metotların karşılaştırılması sırasında kullanabilmesi için kaydedilir.

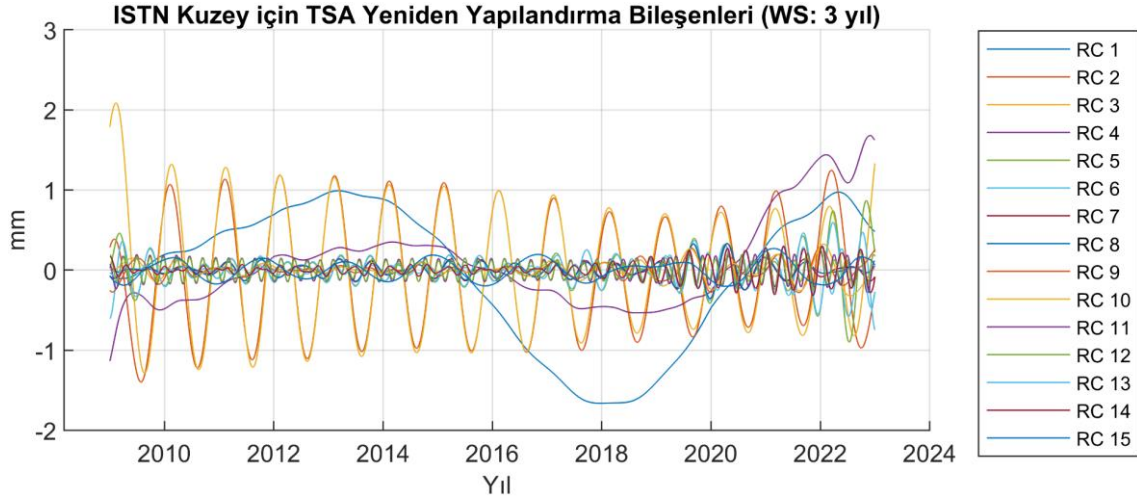
TSA uygulaması yukarıda verilen işlem adımları ile tüm istasyonlara uygulanmıştır. Bu uygulama aynı işlemlerin tekrarlı bir şekilde yapılması ve grafiksel sonuçların yoğunluğu sebebi ile tüm sonuçlar EK-4’de verilmiştir. Yapılan işlemlere örnek anlatım olması açısından ISTN istasyonu Kuzey bileşenine ait koordinat zaman serisi TSA uygulanması bu bölümde anlatılmıştır.

ISTN istasyonu Kuzey bileşenine ait orijinal zaman serisi ve RK yönteminde elde edilen trend, bu trend çıkarılarak elde edilen trendden arındırılmış zaman serisi Şekil 5.15’de verilmiştir. Bu aşamadan sonra TSA ile ilgili tüm işlemler trend çıkarılmış zaman serisine uygulanmıştır.

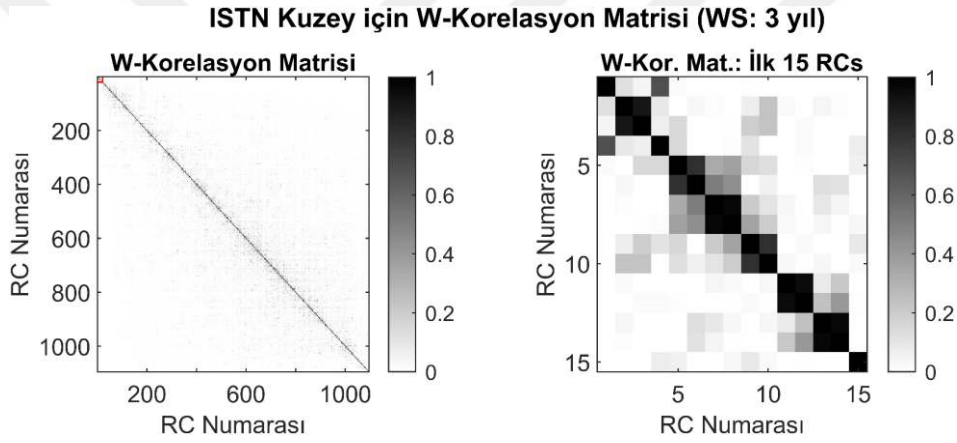


Şekil 5.15 ISTN Kuzey bileşeni zaman serisi, RK trend ve trend çıkarılmış zaman serisi.

Trend çıkarılmış zaman serisine TSA uygulanmıştır. TSA uygulanmasının pencere boyutu (Window Size – WS) 3 yıl ve boşluk doldurma parametresi (f) ise 0.8 alınmıştır. TSA ile elde edilen RCs Şekil 5.16’da verilmiştir. Elde tüm RCs ile W-korelasyon Matrisi hesaplanmıştır ve daha detaylı görebilmek adına, w-korelasyon matrisinin ilk 15x15’lik bölümü ayrıca Şekil 5.17’de verilmiştir.



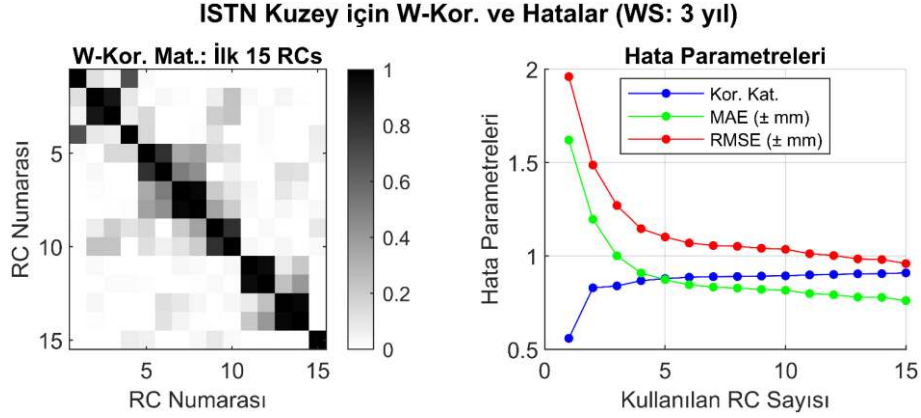
Şekil 5.16 ISTN Kuzey için TSA uygulamasında elde edilen ilk 15 RC.



Şekil 5.17 ISTN Kuzey için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).

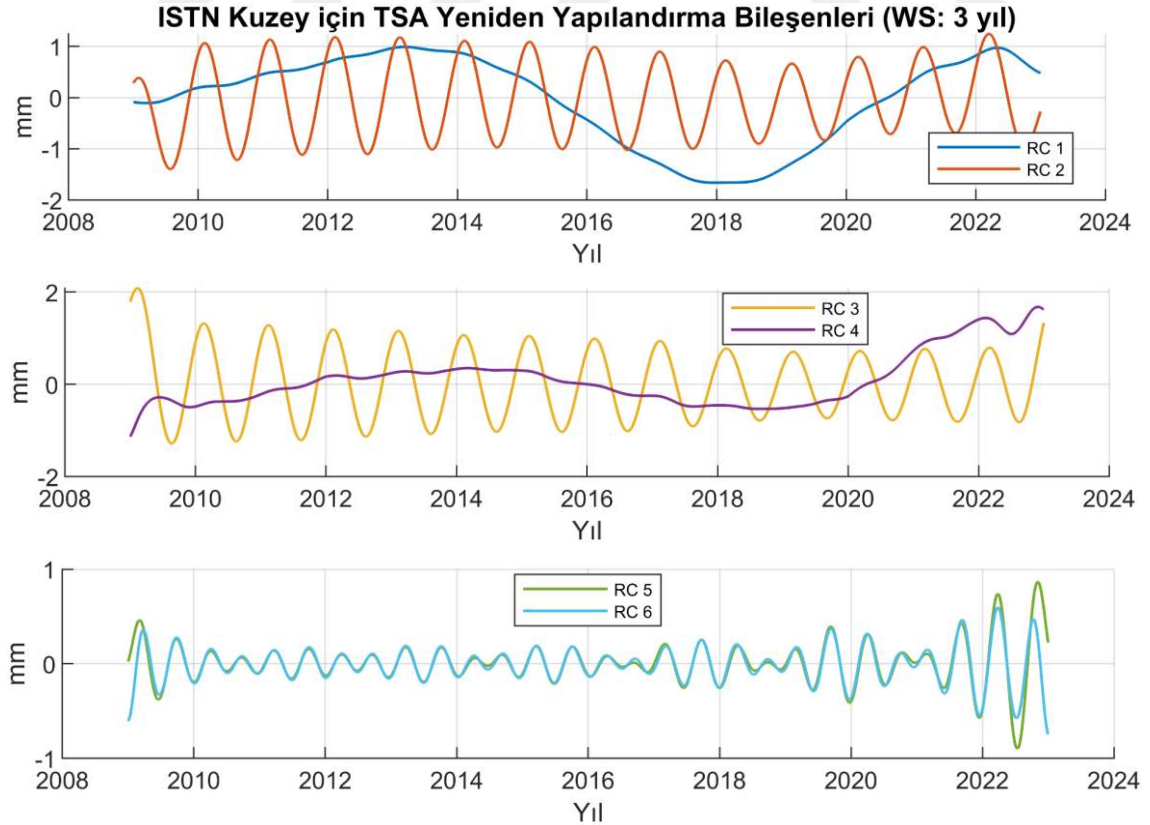
Şekil 5.16 ve Şekil 5.17 birlikte incelendiğinde, en güçlü bileşenler RC1, RC2, RC3 ve RC4'dür. RC5 ve RC6 genliği düşük olsa da tüm seri boyunca periyodik bir hareket içerisindedir. R1-R4, RC2-RC3 ve R5-RC6 bileşenleri kendi aralarında korelasyonu açık bir şekilde görülmektedir.

Şekil 5.17'ya ek olarak kullanılması planlanan RC sayısı göre yeniden yapılandırılmış zaman serileri geçici olarak oluşturulmuş ve trend giderilmiş zaman serisi ile arasında hata parametreleri incelenmiştir. Bu değerler aynı zaman ilk 15 RCs ait w-korelasyon matrisi ile birlikte görselleştirilmiş (Şekil 5.18) ve incelenmiştir. Bu iki grafik beraber yorumlanması bize kaç adet RC kullanacağımız konusunda karar vermemize yardımcı olmasıdır. Bu iki grafiğin yorumlanmasından ilk 6 adet RCs kullanımının uygun olduğu görülmektedir.



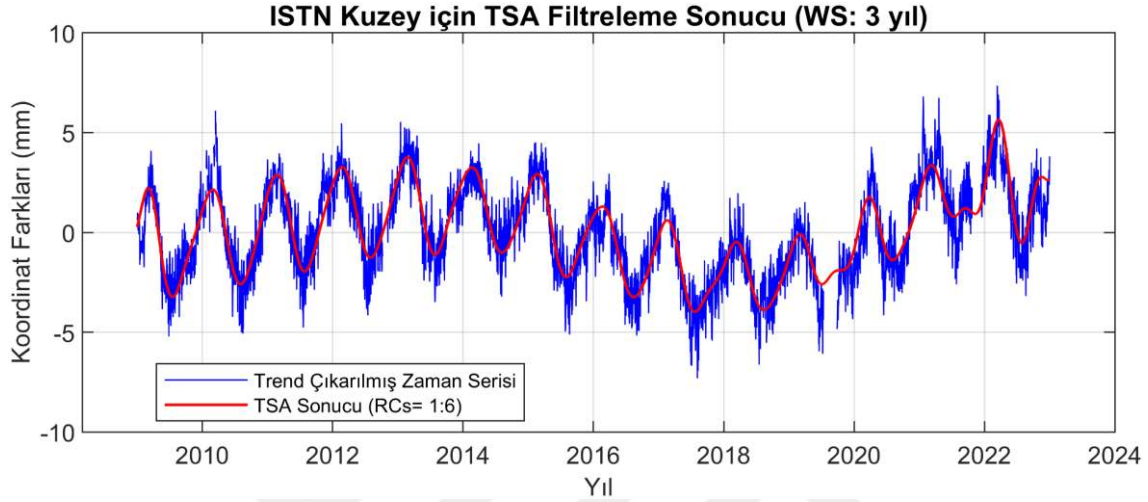
Şekil 5.18 ISTN Kuzey için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.

TSA ile filtrelenmiş zaman serisi oluşturmak belirlenen ilk 6 adet yapılandırma bileşeni (RC) görselleştirilmiş ve Şekil 5.19’da verilmiştir. Bu grafiğe göre RC1 ve RC4 arasında korelasyonun yüksek ve uzun dönem etkiyi gösterdiği görülmektedir. Ayrıca RC2 ve RC3 bileşenleri de aralarında yüksek korelasyon olduğu ve yıllık periyodik etkiyi göstermektedirler. Son olarak RC5 ve RC6 ise yarı yıllık periyodik etkiyi temsil ettiği görülmektedir.

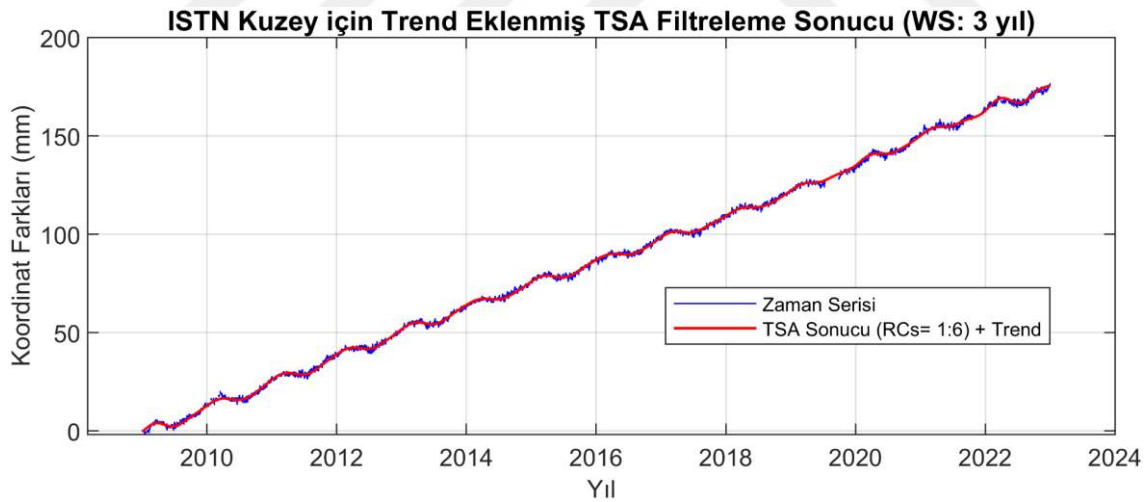


Şekil 5.19 ISTN Kuzey için TSA sonucu seçilen RC’ler.

Bu 6 yeniden yapılandırma bileşeni toplanarak TSA sonucu elde edilmiştir ve trend çıkarılmış zaman serisi ile Şekil 5.20’de verilmiştir. Bu TSA sonucunu orijinal zaman serisi ile karşılaştırmak için bu uygulamanın ilk adımlarında çıkarılan trend bileşeni eklenmiş ve orijinal zaman serisi ile birlikte Şekil 5.21’de verilmiştir.



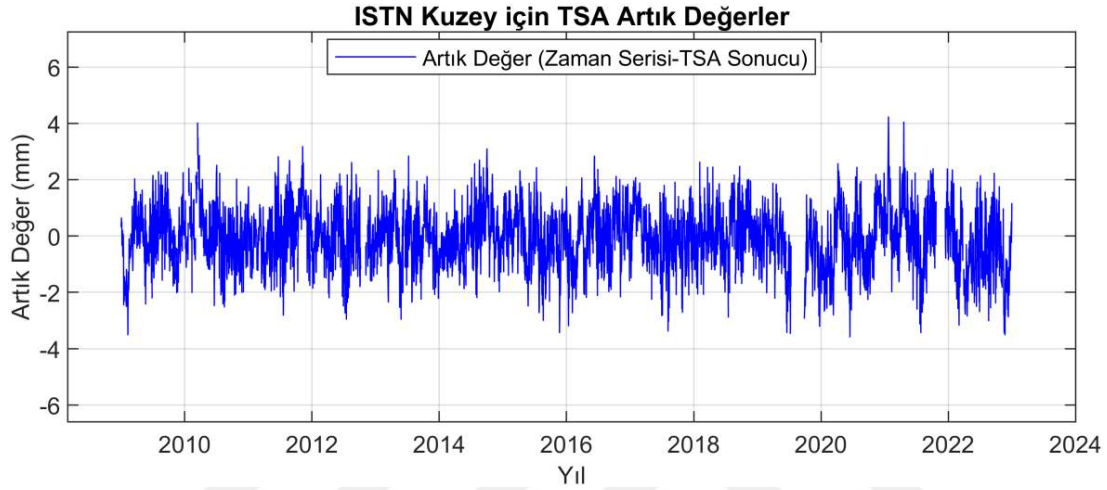
Şekil 5.20 ISTN Kuzey trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



Şekil 5.21 ISTN Kuzey orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.

Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de verilen sonuçlar incelendiğinde çıkarılan RCs ile elde TSA sonucunun orijinal zaman serisi hareketlerine uyum gösterdiği görülmektedir. 2015-2019 arasında yer alan zayıf bir geçici sinyal, orijinal zaman serisinde baskın bir lineer hareket olmasından dolayı (Şekil 5.21) görsel olarak görülmemektedir. Diğer yandan trend çıkarılmış zaman serisinde (Şekil 5.20) bu geçici sinyalin etkisi görülmektedir.

TSA yöntemi bu zayıf sinyali başarılı bir şekilde tespit etmiştir ve filtrelenmiş zaman serisinde bu etkiye görülmektedir. Bu zayıf sinyali RC1 ve RC4 yapılandırma bileşenleri vermektedir (Şekil 5.19). Buradan, TSA yönteminin veri güdümlü bir yöntem olarak geçici sinyali zayıf olsalar bile tespit ettiği ifade edilebilir. Şekil 5.21’de verilen TSA sonucu orijinal zaman serisinde çıkarılarak, artık değerler elde edilmiş ve grafiği Şekil 5.22’de verilmiştir.



Şekil 5.22 ISTN Kuzey artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).

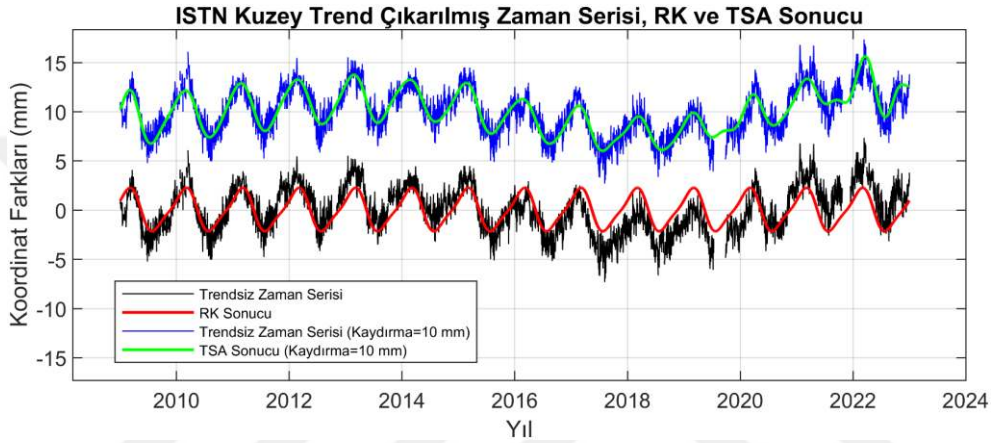
Şekil 5.22’de verilen kalıntı değerler incelediğinde, değerler ortalamasının yaklaşık sıfır olduğu ve rastgele dağılımlı bir örüntü içinde olduğu görülmektedir. Bu artık değer grafiği, TSA sonucunu orijinal zaman serisindeki lineer olmayan davranışı ve periyodik hareketleri başarılı bir şekilde elde ettiği göstermektedir.

5.6 RK ve TSA Sonuçlarının Karşılaştırılması

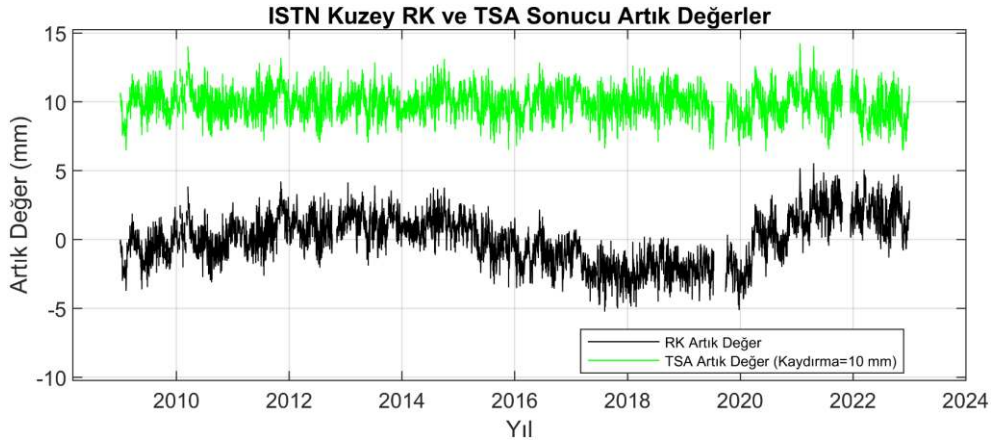
Bu başlık altında RK ve TSA filtreleme sonuçları grafiksel olarak karşılaştırılacak ve yorumlanacaktır. Bu karşılaştırma trend çıkarılmış zaman serileri ve filtre sonuçları üzerinden gerçekleştirilecektir. Ayrıca orijinal zaman serileri ile filtre sonuçları farklarından elde edilen artık değerler ise grafikler, histogramlar ve hesaplanan hata parametreleri (MAE ve RMSE gibi) ile karşılaştırılacak ve yorumlanacaktır. Bu karşılaştırmalar bütün istasyonlar ve koordinat bileşenleri için yapılmıştır ve sonuç görselleri EK-5’de verilmiştir. Örnek olması açısından ISTN istasyonuna ait karşılaştırmalar bu bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

5.6.1 Grafiksel Karşılaştırma

ISTN istasyonu Kuzey koordinat bileşenine ait trend çıkarılmış zaman serisi, RK sonucu ve TSA sonuçları ile birlikte Şekil 5.23’de ve ayrıca bu filtreleme sonuçları ile orijinal zaman serisi arasındaki farklar artık değer grafiği olarak Şekil 5.24’de verilmiştir. Burada verilen grafiklerde sonuçlarının üst üste binmemesi için TSA sonuçları şekillerin lejant bilgilerinde belirttiği miktarda kaydırılmış olarak çizdirilmiştir.



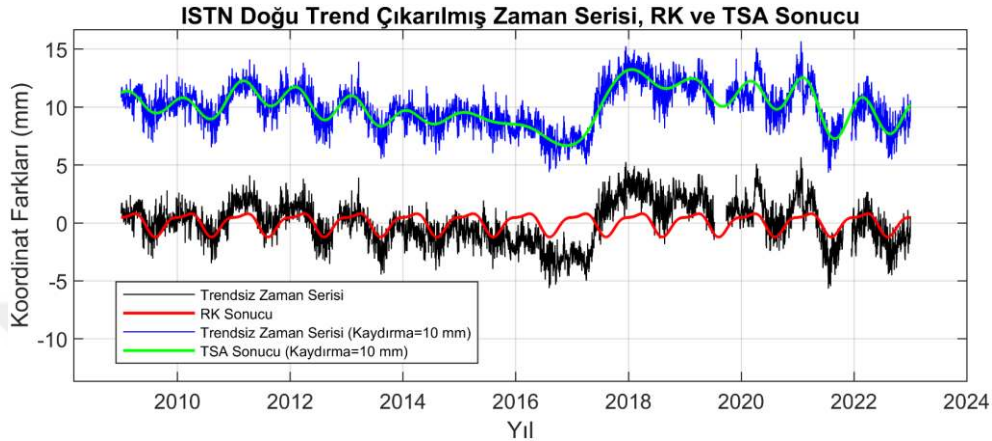
Şekil 5.23 ISTN Kuzey için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



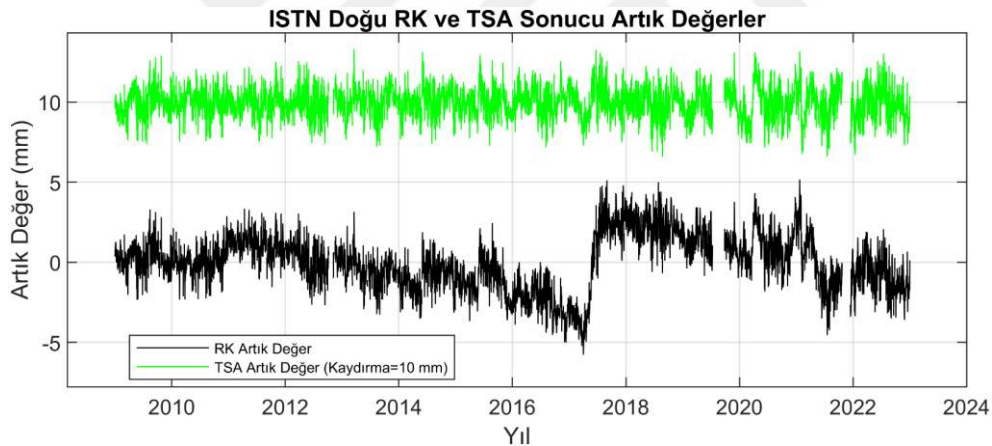
Şekil 5.24 ISTN Kuzey için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’deki sonuçlar incelendiğinde 2 farklı etki görülmektedir. İlk olarak 2014-2015 döneminden başlayan ve 2020 sonralarına kadar devam eden lineer olmayan bir aşağı salınım, ayrıca 2019 yılında ve 2021 sonlarında veride boşluk. Bu aşağı salınım hareketini TSA yöntemi tespit etmiştir fakat RK tespit edememiştir. Bunun temel

sebebi kullanılan RK modelinde trend bileşeni sadece lineer hareketleri verebilmesidir. 2019 yılında yer alan veri boşluğunda ise grafiksel olarak her iki yönteminde başarılı olduğu ifade edilebilir. ISTN istasyonu Doğu bileşeni için trend çıkarılmış zaman serisi, RK sonucu ve TSA sonuçları ve artık değerler Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’de verilmiştir.

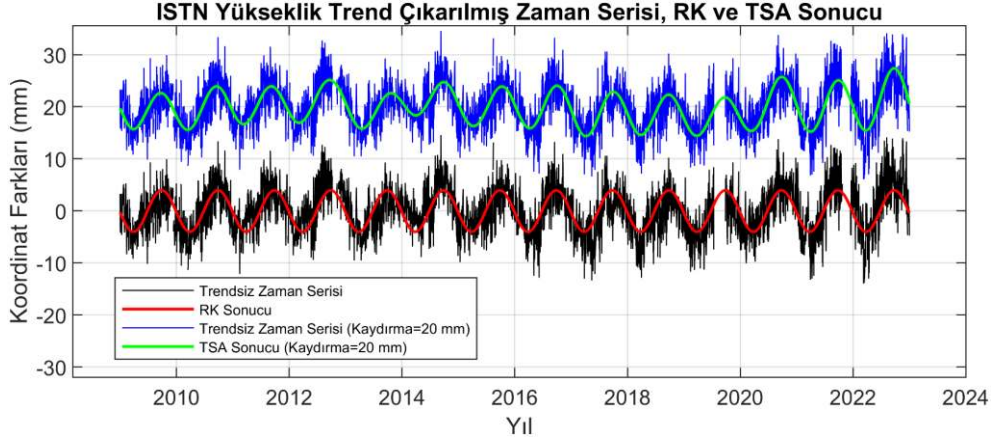


Şekil 5.25 ISTN Doğu için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.

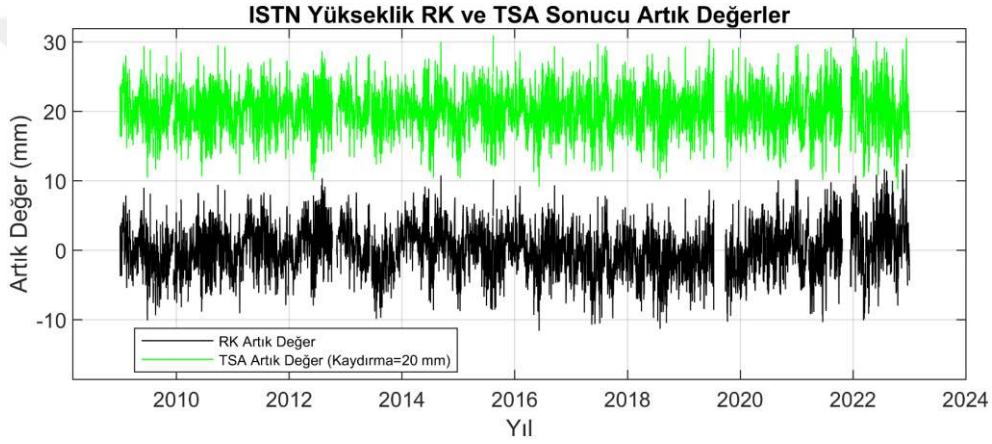


Şekil 5.26 ISTN Doğu için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.

ISTN istasyonu Doğu koordinat bileşenine ait sonuçlar (Şekil 5.25 ve Şekil 5.26) incelendiğinde 2 farklı etki görülmektedir. İlk olarak 2017 yılında sıçrama hareketi ve 2019 ve 2021 yıllarındaki veri boşlukları. TSA yöntemi bu sıçrama zamanında veriyi takip ederken, RK tepki vermemiştir. Bunun temel sebebi RK yöntemi tüm zaman serisi için bir tek lineer trend ve mevsimsel genlik değeri kullanmasıdır. Benzer durum doğal olarak artık değerler grafiğinde de vardır. Buradaki ani değişimlere TSA yönteminin takip etmesi sonucunda artık değerler normal dağılımlı görülmektedir. Şekil 5.27’de ISTN istasyonu Yükseklik koordinat bileşenine ait RK sonucu ve TSA sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.27 ISTN Yükseklik için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.28 ISTN Yükseklik için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.

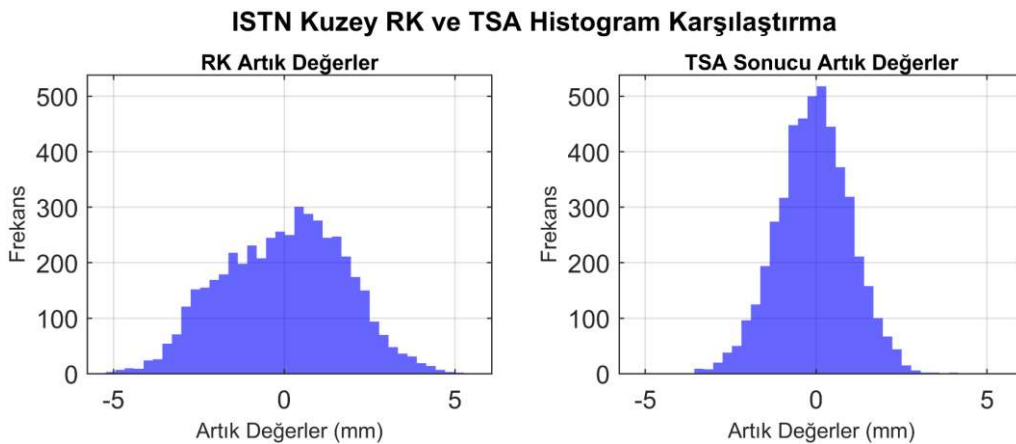
ISTN istasyonu Yükseklik koordinatında her iki yönteminde görsel olarak benzer ve başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Her iki yöntemde veri boşluklarında iyi tahminler yapmış ve özellikle periyodik hareketi doğru vermektedir.

ISTN istasyonu tüm bileşenlerindeki filtreleme sonuçlarına göre yapılan analizlerde, Kuzey ve Doğu bileşenlerinde farklı etkiler gözlemlenmiştir. Kuzey bileşeninde geçici bir sinyal tespit edilirken, Doğu bileşeninde ise bir sıçrama hareketi gözlenmiştir. Her ne kadar istasyonun etki dosyasında ve istasyon bilgi paketinde bu etkilerle ilgili herhangi bir resmi beyan bulunmasa da özellikle lineer trendin çıkarılmasından sonra bu etkiler açıkça ortaya çıkmıştır. Bu test çalışmasında, RK modelinde bu etkiler hesaba katılmadığından, RK bu hareketleri tespit edememiştir. Bu durum, RK yönteminin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için öncül bilgiye ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır.

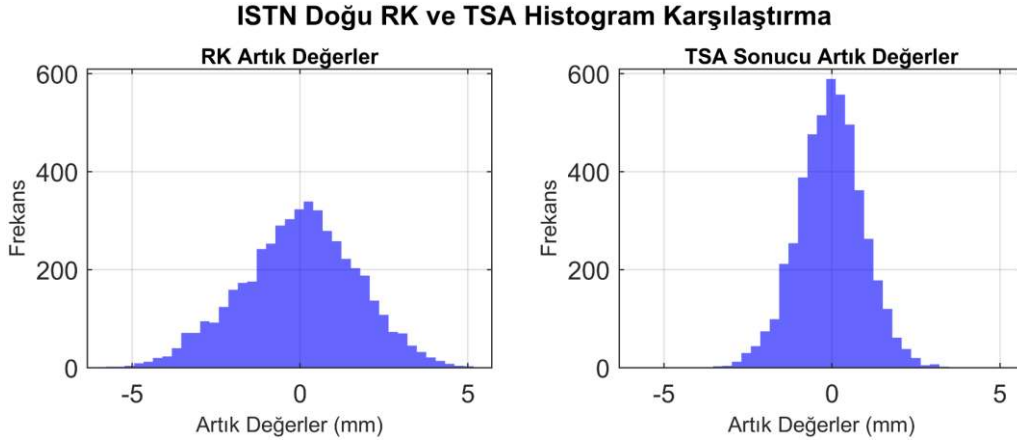
5.6.2 Histogram Karşılaştırma

Histogramlar özellikle veri dağılımının şeklini anlamak için kullanılırlar. Bir histogramda ölçülen veri türü genellikle yatay eksende gösterilirken, dikey eksen her bölmede gözlem sıklığını (frekans), göreceli yüzdesini, göreceli olasılığını veya olasılık yoğunluk fonksiyonu tahmini gösterebilir. Bu çalışmada, histogramlar yatay eksen artık değerleri kullanırken, dikey eksen frekans kullanılmıştır. Frekans histogramı, farklı aralıklara veya bölmelere düşen veri noktalarının sayısını gösteren bir tür çubuk grafikdir. Bu histogram türü, her aralıktaki veri noktalarının mutlak sayısını vurgular. Bu sayede, belirli bir aralıkta gözlenen olayların kaç kez gerçekleştiği doğrudan görülebilir. Histogramların çan şeklinde bir dağılıma sahip olması, filtrelenmiş sonucun uyumlu ve gerçek değerlere yakın tahminlerde bulunduğunu göstermektedir (Williams vd. 2004, Klos vd. 2018, Ünlütürk ve Doğan 2023).

ISTN istasyonu Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşenleri ait RK ve TSA yöntemlerinden elde edilen artık değerlerin histogramları çizdirilmiş ve Şekil 5.29, Şekil 5.30, ve Şekil 5.31’de verilmiştir. Şekil 5.29’da ISTN Kuzey bileşenine ait artık değerlerin histogramları incelendiğinde şu bulgular elde edilmiştir: RK ile elde edilen artık değerlerin histogramı sola çarpık ve basık bir dağılım sergilemektedir. Buna karşın, TSA’nın histogram ise çan şeklinde ve daha simetrik bir yapıya sahiptir. Ayrıca, TSA’nın histogramı daha dar bir dağılım göstermektedir. Bu bulgular, TSA’nın bu bileşende daha başarılı ve gerçek değerlere göre tutarlı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

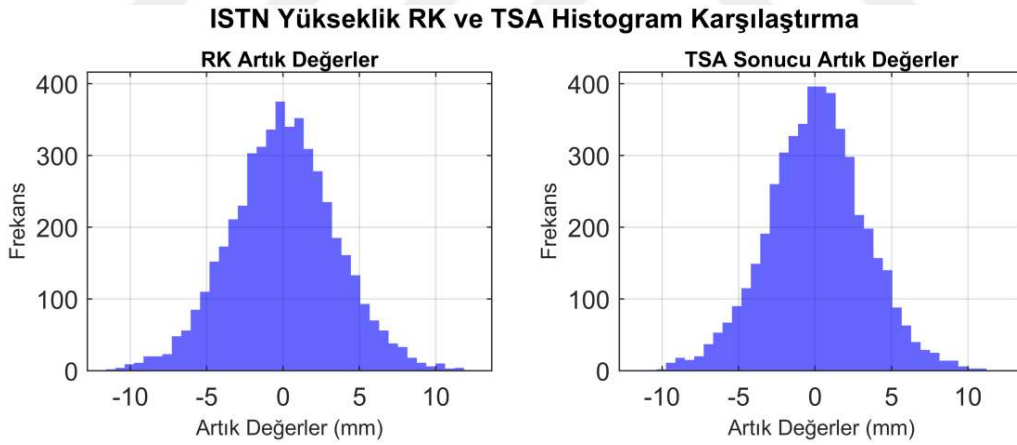


Şekil 5.29 ISTN Kuzey için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



Şekil 5.30 ISTN Doğu için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.

ISTN Doğu bileşenindeki histogramlar incelendiğinde (Şekil 5.30), RK ile elde edilen artık değerlerin histogramında çan şeklinde ve normal dağılım gözlemlenmesine rağmen, daha basık bir yapı sergilediği görülmektedir. Öte yandan, TSA sonucunda elde edilen histogramda çan şeklinde ve daha dar bir dağılım ortaya çıkmıştır. Bu durum, TSA ile elde edilen sonucun gerçek değerlere daha yakın tahminler sağladığını göstermektedir.



Şekil 5.31 ISTN Yükseklik için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.

ISTN istasyonu Yükseklik bileşenindeki histogramlar (Şekil 5.31) incelendiğinde, her iki histogramın da normal dağılıma yakın bir dağılım sergilediği, yani çan şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, her iki dağılımın da benzer frekans veya gözlem sıklığına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, her iki yöntemin de Yükseklik bileşeninde benzer performans gösterdiğini işaret etmektedir. Bu koordinat bileşeninde her iki yöntem de normal ve çan şeklinde bir dağılım sergilemektedir.

5.6.3 İstatiksel Karşılaştırma

ME; gerçek değerler ile model tahminleri arasındaki farkların ortalamasıdır. Modelin sistematik olarak hangi yönde sapma yaptığını gösterir. MAE; gerçek değerler ile model tahminleri arasındaki farkların mutlak değerlerinin ortalamasıdır. Modelin değerlere ne kadar yakın olduğunu gösterir. MAE değeri ne kadar düşükse model o kadar iyi tahmin yapmaktadır. MSE; gerçek değerler ile model arasındaki farkların karelerinin ortalamasıdır. Hataların büyüklüğünü ölçen bir metriktir ve özellikle büyük hatalara daha fazla ağırlık verir çünkü farkların kareleri alınmaktadır. Bu metrik daha büyük hataları cezalandırır, bu da modelin büyük sapmalara karşı hassasiyetini ölçmek için yararlıdır. RMSE; MSE'nin karekökü alınarak elde edilir. Hataların standart sapmasını temsil eder ve tahmin edilen değerlerin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu gösterir. RMSE ve MAE benzerdir. ISTN istasyonu koordinat bileşenlerine ME, MAE, MSE, RMSE korelasyon katsayısı değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 ISTN İstasyonu RK ve TSA sonuçları artık değer hata parametreleri.

Koordinat	Yöntem	ME (mm)	MAE (mm)	MSE (mm)	RMSE (mm)	Korelasyon Katsayısı (mm)
Kuzey	RK	-0.01	1.46	3.16	1.78	1.00
	TSA	-0.07	0.85	1.14	1.07	1.00
Doğu	RK	-0.03	1.37	2.97	1.72	1.00
	TSA	-0.04	0.76	0.93	0.97	1.00
Yükseklik	RK	0.01	2.73	12.00	3.46	0.81
	TSA	0.10	2.52	10.35	3.22	0.84

Çizelge 5.3 incelendiğinde, RK ve TSA yöntemlerinin ME değerlerinin çok küçük olması ve korelasyon katsayısı aynı değerleri vermesinden dolayı bir ayrım yapılamamaktadır. Özellikle korelasyon katsayısının benzer sonuç vermesi, ISTN istasyonun Doğu ve Kuzey zaman serilerindeki baskın trend ve düşük periyodik hareketler olmasıdır. MAE, MSE ve RMSE değerlerinde ise TSA yönteminin ISTN istasyonu her bileşeninde RK yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu parametrelerden yüksek değerleri Yükseklik bileşeninde almıştır. Bu parametrelere göre iki yöntemler arasındaki en büyük farklar ISTN Doğu bileşeninde, en düşük farklar ise ISTN Yükseklik bileşeninde elde edilmiştir.

5.6.4 Tüm İstasyonlara Ait Sonuçların Karşılaştırılması

Daha önceki bölümlerde ISTN istasyonuna ait detaylı karşılaştırmalar grafiklerle beraber açıklanmış olup, bu başlıkta ise BAN1, SARY, SLEE ve TEKR istasyonlarına ait yöntem karşılaştırmalı analiz sonuçları sunulmuştur. Tüm istasyonlara ait ham zaman serileri EK-1’de, aykırı değer tespiti EK-2’de, RK yöntemi sonuçları EK-3’te, TSA yöntemi sonuçları EK-4’te ve yöntemlerin karşılaştırma sonuçlarına ait grafikler ve görseller EK-5’te verilmiştir. İstasyonlara ait çok sayıda grafik bulunması sebebiyle okuyucunun odaklanmasını kolaylaştırmak için sadece karşılaştırma sonuçlarına ilişkin yorumlar verilmiştir. Eklerde verilen grafiklerin numaralarına göre hangi istasyon ve hangi sonucu içerdiği Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Uygulama sonuçları ve EK bölümü şekil numaraları tablosu.

İstasyon	Yöntem	Ham Zaman Serileri	Aykırı Değerler	RK Sonuçları	TSA Sonuçları	Karşılaştırma Sonuçları
BAN1	Kuzey	EK-1.1	EK-2.1	EK-3.1 EK-3.3	EK-4.1 EK-4.6	EK-5.1 EK-5.3
	Doğu	EK-1.2	EK-2.2	EK-3.4 EK-3.6	EK-4.7 EK-4.12	EK-5.4 EK-5.6
	Yükseklik	EK-1.3	EK-2.3	EK-3.7 EK-3.9	EK-4.13 EK-4.18	EK-5.7 EK-5.9
ISTN	Kuzey	EK-1.4	EK-2.4	EK-3.10 EK-3.12	EK-4.19 EK-4.24	EK-5.10 EK-5.12
	Doğu	EK-1.5	EK-2.5	EK-3.13 EK-3.15	EK-4.25 EK-4.30	EK-5.13 EK-5.15
	Yükseklik	EK-1.6	EK-2.6	EK-3.16 EK-3.18	EK-4.31 EK-4.36	EK-5.16 EK-5.18
SARY	Kuzey	EK-1.7	EK-2.7	EK-3.19 EK-3.21	EK-4.37 EK-4.42	EK-5.19 EK-5.21
	Doğu	EK-1.8	EK-2.8	EK-3.22 EK-3.24	EK-4.43 EK-4.48	EK-5.22 EK-5.24
	Yükseklik	EK-1.9	EK-2.9	EK-3.25 EK-3.27	EK-4.49 EK-4.54	EK-5.25 EK-5.27
SLEE	Kuzey	EK-1.10	EK-2.10	EK-3.28 EK-3.30	EK-4.55 EK-4.60	EK-5.28 EK-5.30
	Doğu	EK-1.11	EK-2.11	EK-3.31 EK-3.33	EK-4.61 EK-4.66	EK-5.31 EK-5.33
	Yükseklik	EK-1.12	EK-2.12	EK-3.34 EK-3.36	EK-4.67 EK-4.72	EK-5.34 EK-5.36
TEKR	Kuzey	EK-1.13	EK-2.13	EK-3.37 EK-3.39	EK-4.73 EK-4.78	EK-5.37 EK-5.39
	Doğu	EK-1.14	EK-2.14	EK-3.40 EK-3.42	EK-4.79 EK-4.84	EK-5.40 EK-5.42
	Yükseklik	EK-1.15	EK-2.15	EK-3.43 EK-3.45	EK-4.85 EK-4.90	EK-5.43 EK-5.45

BAN1 istasyonu Kuzey bileşeninde hem RK hem de TSA yöntemlerinin zaman serisine başarılı bir uyum sağladığını görülmektedir. Her iki yöntem de serideki periyodik etkileri doğru bir şekilde yansıtmış ve zaman serisinin genel trendine uygun sonuçlar üretmiştir. Artık değerlerin dağılımlarının histogram analizinde, her iki yöntemin de bir çan eğrisi şeklinde sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. TSA'nın histogramı RK'ye kıyasla biraz daha dar bir yapıya sahiptir. Bu durum TSA'nın daha dar bir varyans aralığında sonuçlar verdiğini ve bu yöntemin biraz daha hassas bir modelleme sağladığını göstermektedir.

BAN1 Doğu bileşeninde her iki yöntem de oldukça benzer sonuçlar vermiştir. Bu bileşenin periyodik etkilerin küçük olduğu görülmektedir. Hem RK hem de TSA yöntemleri genel olarak benzer sonuçlar üretmiştir. Artık değerlerin histogram analizine bakıldığında, her iki yöntemin de yaklaşık olarak çan eğrisi şeklinde sonuçlar verdiği görülmüştür. RK'nin histogramında hafif bir sola yatıklık bulunsa da genel olarak her iki yöntem de normal dağılım göstermiştir. Verilerin çoğunluğu her iki yöntemde de dar bir dağılım sunmuş, başka bir deyişle artık değerler sınırlı bir aralıkta toplanmıştır.

BAN1 Yükseklik bileşeni zaman serisinde +10 ile -10 mm arasında değişen belirgin bir periyodik etkinin varlığı görülmektedir. Bu periyodik etkinin yaklaşık sabit frekans ve sabit genlik ile devam ettiği görülme olup, serinin oldukça düzenli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum hem RK hem de TSA yöntemlerinin modele gayet uygun ve başarılı bir performans sergilediği anlamına gelmektedir. Ayrıca elde edilen histogramlar da bu sonuçları desteklemekte olup, her iki yöntem de sıfırın etrafında simetrik ve dar bir dağılım sunmaktadır.

ISTN Kuzey bileşeninde zayıf bir geçici sinyal tespit edilmiştir. Bu sinyal, TSA tarafından yakalanmış, ancak RK yöntemi tarafından tespit edilememiştir. RK'nin histogramında sola yatık bir dağılım gözlemlenirken, TSA'nın histogramı daha normal dağılımlı ve dar bir yapı sergilemiştir. Bu durum, TSA'nın geçici sinyalleri daha hassas bir şekilde modelleyebildiğini göstermektedir.

ISTN Doğu bileşeninde 2019 yılı içinde civarında küçük bir sıçrama gözlemlenmiştir. İstasyon etki ve bilgi dosyalarında bu sıçramaya dair herhangi bir kayıt olmamasına

rağmen, zaman serisindeki lineer trend çıkarıldıktan sonra bu sıçrama daha belirgin hale gelmiştir. Sıçrama -5 ile +5 mm arasında bir değişim göstermektedir. Histogram karşılaştırmasında RK'nin dağılımı daha basık iken TSA daha dar ve normal dağılıma uygun sonuçlar üretmiştir.

ISTN Yükseklik bileşeninde ise herhangi bir geçici sinyal veya ani sıçrama gözlenmemiştir. Bunun yerine baskın bir periyodik etki tespit edilmiştir. Hem RK hem de TSA bu etkiyi başarılı bir şekilde modellemiş ve zaman serisine uyum sağlamıştır. Her iki yöntemin histogramları sıfır etrafında simetrik ve benzer bir yapı sergilemiş olup sonuçlar birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

SARY Kuzey bileşenindeki filtreleme sonuçları şu şekilde özetlenebilir: Orijinal zaman serisinde periyodik etki oldukça düşük seviyededir. Lineer trend çıkarıldıktan sonra periyodik etkinin yalnızca birkaç milimetrelik bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun dışında, 2015 yılının sonlarına doğru zayıf bir geçici sinyal meydana gelmiş ve bu sinyal yaklaşık 4-5 yıl boyunca zaman serisinde etkili olmuştur. Periyodik etkinin zayıf olması ve geçici sinyalin ortalama değer etrafında yer alması nedeniyle RK ve TSA yöntemleri benzer sonuçlar üretmiştir. Ancak TSA bu geçici sinyali başarılı bir şekilde yakalarken RK bu sinyali tespit edememiştir. Sonuç olarak, elde edilen artık değerler her iki yöntemde de sıfır etrafında simetrik bir dağılım göstermiştir. TSA daha dar bir dağılım sunarken, RK'nin sonuçları daha basık bir dağılım sergilemiştir. Bu durum, periyodik etkinin düşük olduğu ve geçici sinyalin RK tarafından ortalama değer etrafında olduğu durumlarda, her iki yöntemin de genel olarak benzer sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.

SARY Doğu bileşeninde yapılan analizlerde Kuzey bileşenine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu bileşende de periyodik etki oldukça zayıf seviyededir. Hem RK hem de TSA yöntemleri bu düşük periyodik etkiyi başarıyla modellemiş ve benzer sonuçlar üretmiştir. Ancak TSA çok zayıf geçici sinyalleri daha iyi yakaladığından artık değerleri sıfır etrafında daha yoğun bir şekilde birikmiştir. Bu da TSA'nın artık değer histogramında daha dar bir dağılım ortaya çıkarmıştır. RK'nin elde ettiği dağılım ise normal ve çan şeklindedir, ancak TSA'ya kıyasla biraz daha geniş bir dağılım sunmaktadır.

SARY Yükseklik bileşeninde, Kuzey ve Doğu bileşenlerine kıyasla daha belirgin bir periyodik etki gözlemlenmiştir. Bu periyodik etkinin genlik ve frekansı zamanla yaklaşık sabit kalmış, bu da hem RK hem de TSA yöntemlerinin benzer sonuçlar üretmesine yol açmıştır. Elde edilen artık değerlerin dağılımları incelendiğinde, her iki yöntem de çan şeklinde ve normal dağılım göstermektedir. Sonuç olarak, her iki yöntem de Yükseklik bileşeninde periyodik etkiyi başarılı bir şekilde modellemiştir.

SLEE istasyonunu incelendiğinde, farklı bileşenlerde 2013 yılından itibaren belirgin yön değişimleri tespit edilmiştir. Kuzey bileşeninde güneye doğru, Doğu bileşeninde batıya doğru ve Yükseklik bileşeninde aşağıya doğru bir kayma gözlemlenmiştir. Bu hareketler her bileşende geçici sinyallere neden olmuştur. Ancak bu kaymalar belli bir süre sonra durarak zaman serisi bu etkinin başlamasından önceki davranışına geri dönmeye çalışmıştır. Bu durum istasyonda bir zemin güçlendirme ya da benzeri bir müdahale yapılmış olabileceği ihtimalini doğurmaktadır.

SLEE Kuzey bileşeninde, belirgin bir geçici sinyal tespit edilmiştir. Bu sinyal, yaklaşık 20 mm'lik bir salınım şeklinde olup, özellikle 2013-2016 yılları arasında etkili olmuştur. RK bu salınımı tespit edememiş ve veriyi yalnızca serinin sonlarında periyodik etkinin daha belirgin olduğu dönemde yakalayabilmiştir. Buna karşılık TSA, bu geçici sinyali başarıyla takip etmiş ve bu yıllar arasında veriyi daha iyi modellemiştir. Artık değerler ve histogramlar incelendiğinde, RK'nin dağılımının sağa yatık olduğu ve karmaşık bir yapıya sahiptir. TSA'nın histogramı ise daha çan şeklinde ve dar bir yapı sergilemiştir. Bu dar yapının sebebi, karşılaştırmanın kolay olması açısından x-ekseni ölçeklerinin benzer yapılmaya çalışılmasıdır.

SLEE Doğu bileşeninde de bir geçici sinyal tespit edilmiştir. Bu sinyalin varlığında, TSA başarılı bir performans sergilemişken, RK bu sinyali yeterince takip edememiştir. RK'nin geçici sinyali yakalayamamasına rağmen, elde edilen artık değerlerin histogramı basık çan eğrisi şeklinde bir dağılım göstermiştir, değerler geniş bir aralıkta dağılmıştır. TSA ile elde edilen sonuçlarda ise artık değerlerin çoğunluğu sıfır etrafında yoğunlaşmış ve oldukça dar ve simetrik bir normal dağılım gözlemlenmiştir. TSA'nın geçici sinyali daha doğru modellediği ve artık değerlerde daha dar bir yapı sağladığı açıkça görülmektedir.

TEKR Kuzey bileşenine yapılan analizlerde, düşük seviyede bir periyodik etki tespit edilmiştir. Bu düşük periyodik etki hem RK hem de TSA tarafından başarıyla yakalanmıştır. Bu başarının arkasındaki en önemli faktörlerden biri, periyodik etkinin zaman serisi boyunca genlik ve frekansının yaklaşık olarak sabit kalmasıdır. Ancak 2014 ile 2016 yılları arasında istasyonda Kuzey yönlü geçici sinyal gözlemlenmiştir. Bu sinyal, 2016 yılına kadar devam etmiş ve ardından istasyon, orijinal trendine geri dönmüştür. Bu geçici sinyal TSA tarafından tespit edilmiştir, ancak RK bu sinyali yakalayamamıştır. Her iki yöntemin histogramlarına bakıldığında benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. TSA, daha dar bir dağılım sunarken, RK'nin dağılımı küçük bir miktar daha basık ve geniş bir yapı göstermiştir.

TEKR Doğu bileşeninde yapılan analizlerde, periyodik etkinin yok denecek kadar az olduğu gözlemlenmiştir. Zaman serisinde baskın olan unsur doğrusal trend olmuştur. Bu doğrusal trend çıkarıldıktan sonra periyodik etki neredeyse sıfıra inmiş ve çok düşük seviyede kalmıştır. Her iki yöntemle yapılan analizler, birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Elde edilen artık değerlerin normal dağılım gösterdiği, histogramların da bu dağılıma uygun olduğu gözlemlenmiştir.

TEKR yükseklik bileşeninde belirgin bir periyodik etki tespit edilmiştir. Bu periyodik etkinin kısa bir süreliğine genlik değişimi gösterdiği, ancak zaman serisinin büyük bir kısmında genlik ve frekansın sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Hem RK hem de TSA bu periyodik etkiyi doğru bir şekilde yakalamış ve zaman serisiyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Artık değerlerin grafikleri ve histogramları incelendiğinde, değerlerin sıfır etrafında simetrik bir dağılım gösterdiği ve yaklaşık çan eğrisi şeklinde bir histogram elde edildiği görülmektedir. Bu da artık değerlerin normal dağılıma uygun olduğunu göstermektedir.

Bu beş istasyonun karşılaştırmalı analizleri sonucunda elde edilen genel değerlendirmeler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- **Ani Sıçrama ve Deprem Kayıtları:** İncelenen istasyonlara ait ani sıçrama, deprem ya da benzeri büyük olayların kaydedildiği herhangi bir bilgi “İstasyon Bilgi

Dosyası” veya “İstasyon Etki Dosyası” bulunmamaktadır. Buna rağmen, ISTN Doğu bileşeni gibi bazı bileşenlerde küçük sıçramalar gözlemlenmiştir. Bu durum istasyonlarda büyük olaylar kaydedilmese bile, zaman serilerinde beklenmedik küçük sapmaların olabileceğini göstermektedir.

- **Periyodik Etki ve Yöntem Performansı:** İstasyonlarda belirgin bir periyodik etki mevcut olduğunda hem RK hem de TSA benzer sonuçlar vermektedir. Özellikle periyodik etkinin genlik ve frekansının yaklaşık olarak sabit olduğu durumlarda (BAN1 Kuzey, BAN1 Yükseklik, ISTN Yükseklik ve TEKR Yükseklik bileşenleri) iki yöntem arasında önemli bir fark görülmemektedir.
- **Periyodik Etkinin Bozulması:** Periyodik etkinin bozulduğu veya geçici sinyallerin ortaya çıktığı durumlarda TSA’nın performansı ön plana çıkmaktadır. Örneğin, geçici sinyaller, periyodik etkinin genlik ya da frekans değişimi gibi durumlarda RK bu değişiklikleri tespit edemezken, TSA bu geçici etkileri daha doğru bir şekilde izlemektedir. Bu durum, özellikle SLEE istasyonu Kuzey ve Doğu bileşenlerinde ve ISTN Doğu bileşeninde net bir şekilde gözlemlenmiştir.
- **Düşük Periyodik Etkilerde Sonuçlar:** Doğrusal trend çıkarıldıktan sonra periyodik bileşenlerin belirgin olmaması ya da genliklerin çok düşük olması durumunda her iki yöntem de benzer sonuçlar vermiştir (TEKR Doğu bileşeni). Bu gibi durumlarda, artık değerler ve histogramlar sıfır etrafında simetrik bir dağılım göstermekte ve çan eğrisi şeklinde olmaktadır.
- **Geçici Hareketlerde TSA’nın Üstünlüğü:** Geçici hareketler ya da kısa süreli sinyaller söz konusu olduğunda TSA yöntemi RK’ye kıyasla daha başarılı sonuçlar vermektedir. Örneğin, SLEE istasyonunun tüm bileşenlerinde güçlü geçici sinyaller gibi durumlarda TSA zaman serisini daha yakından takip etmekte ve bu değişiklikleri izleyebilmektedir.

Sonuç olarak uzun dönemli genel trend ve periyodik hareketlerin takip edilmesinde her iki yöntem de güvenilir sonuçlar verirken, kısa dönemli geçici hareketlerin varlığında TSA’nın daha üstün performans sergilediği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, periyodik etkinin sabit kaldığı durumlarda her iki yöntemin kullanılabileceğini, ancak karmaşık yapıdaki zaman serilerin analizi ve geçici sinyallerin tespiti için TSA’nın tercih edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

GNSS koordinat zaman serileri belirli bir sıklıkta ve bölgede sürekli olarak elde edilmesi yardımıyla dünya yüzeyinin hareketleri, tektonik plaka hareketleri ve deniz seviyesi değişiklikleri gibi çevresel dinamik süreçleri anlamak ve analiz etmek için kullanılabilir. Bu zaman serilerinin doğru bir şekilde analizi, istenilen sinyalleri gürültüden ve diğer hatalardan ayırmak için gelişmiş matematiksel ve istatistiksel teknikler kullanılmalıdır (He vd. 2017, He vd. 2022).

GNSS zaman serileri sıklıkla aykırı değerler ve normal dağılımda olmayan gürültü içerir. Bu sebeple RK tekniği aykırı değerlere karşı daha az duyarlı olacak şekilde tasarlanmış olup veri anormalliklerinde daha güvenilirdir (Gülal vd. 2013, Bevis vd. 2020). TSA, GNSS zaman serilerini analiz etmek ve yorumlamak için veri güdümlü bir tekniktir. Bu yöntem zaman serilerini trendler, mevsimsel salınımlar ve gürültü gibi bileşenlerine ayırır. Bu ayırıştırma, verilerdeki zaman içerisindeki farklı değişkenlik gösteren hareketlerin anlaşılmasına ve altında yatan jeofizik süreçlere ilişkin bilgiler sağlamaktadır (Chen et al, 2013).

Bu çalışmada Türkiye'deki TUSAGA-Aktif Ağında yer alan istasyonlara ait GNSS zaman serileri analiz edilmiştir. İstasyonların seçimi aşamasında GNSS zaman serisi analizinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi gözetilerek, deprem ve anten gibi donanım değişiklikleri olamayan, veri uzunluğu en az 3 yıl olan istasyonlar seçilmiştir. Yöntemleri performanslarını karşılaştırmak için farklı veri boşluklarına ve zaman serilerinde farklı lineer ve lineer olmayan hareketler içeren istasyonlar seçilmiştir. Bu tür durumları temsil eden GNSS zaman serilerinde RK ve TSA yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Böylece iki yöntemin bu tür karmaşık hareketlere sahip zaman serilerinde hangi derecede etkili olduğu değerlendirilmiştir.

GNSS zaman serileri Türkiye Jeolojik Ağlar Haritası web uygulamasından indirilen günlük konum dosyaları ile oluşturulmuştur. Analizlere başlamadan önce bu günlük konum dosyaları MATLAB programında düzenlenmiştir. Ham zaman serilerine ait grafikler EK-1'de verilmiştir. Daha sonra K-Sigma metodu hareketli ortalamalar ile

birlikte kullanılarak aykırı değerler tespit edilip zaman serisinden ayıklanmıştır ve zaman serileri analize hazır duruma gelmiştir. Aykırı değer tespitine ait sonuçlar EK-2’de verilmiştir.

Ayıklanmış GNSS zaman serilerine RK ve TSA yöntemleri uygulanmıştır. İstasyon kayıtları incelendiğinde, ani sıçramalar, depremler veya anten değişiklikleri gibi olayların olmadığı tespit edilmiş ve RK modelinde yalnızca lineer trend bileşeni (başlangıç değeri, hız bileşeni) ve mevsimsel periyodik bileşenler (yıllık ve yarı yıllık periyodik etkiler) hesaba katılmıştır. Oluşturulan bu modele ait katsayılar matrisi ve bilinmeyenler matrisleri oluşturulmuştur. RK yöntemiyle her bir istasyon ve koordinat bileşenine ait bilinmeyenler hesaplanmış ve filtrelenmiş zaman serileri elde edilmiştir. RK yöntemi uygulamasında elde edilen tüm sonuçlar EK-3’de verilmiştir.

TSA yöntemi tüm GNSS istasyonlarına uygulanmıştır. TSA’nın uygulanmasında pencere boyutları, genellikle 2 ya da 3 yıllık zaman dilimleri olarak belirlenmiştir ve bu değerler ampirik olarak optimize edilmiştir. Veri boşlukları sebebiyle fraksiyon parametresi kullanılmış olup bu değer 0.75 ve 0.80 olarak kullanılmıştır. Analizin hassasiyeti artırmak amacıyla, TSA uygulanmadan önce verilerdeki doğrusal trend RK yöntemi ile çıkarılmıştır. TSA yöntemi uygulamasında elde edilen tüm sonuçlar EK-4’de verilmiştir.

Bu iki yöntemden elde edilen sonuçlar ilk olarak orijinal zaman serisi ile karşılaştırıldıktan sonra orijinal zaman serisinden farklar alınarak artık değerler ile oluşturulan sonuçlar yorumlanmış ve son olarak istatistiksel karşılaştırmalar yapılmıştır ve tüm sonuçlar EK-5’de verilmiştir. Yapılan zaman serileri analizleri ve karşılaştırmalardan çeşitli sonuçlar elde edilmiştir.

RK ve TSA yöntemlerinin uygulama sırasındaki avantaj ve dezavantajları kıyaslandığında, her iki yöntem de farklı güçlü yönleri ve zayıflıklara sahiptir. RK deterministik bir yöntem olup, bir model üzerinden uygulanmaktadır. Modelin tüm etkileri kapsayacak şekilde doğru kurulması ve gerekli öncül bilgilerin olması durumunda, tüm istasyonlara çok hızlı ve kolay bir şekilde uygulanabilir. Bu sebeple RK, küresel ve bölgesel çapta geniş veri setlerinin incelenmesinde oldukça etkili ve hızlı bir yöntem olarak kullanılabilir.

Diğer taraftan TSA, modelden bağımsız veri güdümlü yöntem olduğu için, herhangi bir öncül bilgi gerektirmeden veriye dayalı olarak işlem yapar. Ancak, TSA her istasyonu ve her bir istasyona ait Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşenlerini ayrı ayrı ele almayı gerektirir. Bu durum, TSA'nın işlem yükünü artırır ve her bir bileşen için farklı pencere boyutları ve parametrelerin kullanılmasını gerektirebilir. Bu nedenle, TSA büyük ölçekli analizlerde yüksek işlem ve zaman maliyeti gerektirir. Dolayısıyla RK işlem süresi bakımından avantajlıyken, TSA model bağımsız yapısıyla analizlerde esneklik sağlar.

Trend analizi açısından, RK genellikle lineer trendler üzerine kuruludur ve GNSS zaman serilerinde yaygın olarak kullanılır. Ancak, TSA yavaşça değişen non-lineer trendleri daha iyi yakalayabilir. TSA trend çıkarımında büyük pencere boyutlarına ihtiyaç duyar. Büyük pencere boyutu periyodik bileşenlerin çıkarımını zorlaştırabilir. Tektonik çalışmalar gibi lineer trendin önemli olduğu durumlarda RK daha uygunken, yer altı su değişimi veya lokal deformasyon çalışmaları gibi lineer olmayan süreçlerin analizinde TSA daha etkili sonuçlar verir.

Mevsimsel periyodik bileşenlerin çıkarımında, RK tüm zaman serisi için modelde tanımlanan sayıda sabit frekans ve periyotlar kullanarak periyodik bileşenleri çıkarır. Ancak bu sabit frekans kullanımı zamana bağlı değişen periyodik etkileri tespit etmede başarısız olabilir. TSA ise pencere boyutuna bağlı olarak zamanla değişen genlik ve frekansları tespit edebilir. Dolayısıyla, zamana bağlı olarak değişen periyodik bileşenleri bulunan zaman serilerinde TSA daha başarılı sonuçlar vermektedir.

Ani sıçrama ve geçici sinyalleri yakalamada, her ne kadar literatürde bu durumlarda kendini modifiye eden RK uygulamaları (Bedford ve Bevis 2018) olsa da genellikle RK yöntemi bu etkiler ile ilgili öncül bilgiye ihtiyaç duyar (Bevis ve Brown 2014, Bevis vd. 2020). Deprem veya anten değişimi gibi olaylar için, t anı önceden bilinirse model bu olayları hesaba katabilir. Ancak, bu öncül bilgiye sahip olunmadığı veya öncül bilginin varlığı bilinmeyen durumlarda RK yöntemi yetersiz kalabilir. TSA ise veri güdümlü bir yöntem olduğundan, bu tür geçici sinyalleri otomatik olarak yakalayabilir. Bu nedenle öncül bilgilerin eksik olduğu durumlarda TSA daha başarılı sonuçlar vermektedir.

Doğruluk ölçütleri açısından değerlendirildiğinde, RK her bilinmeyen parametrelerin kestiriminde ve bu parametrelerle filtrelenmiş zaman serisinin elde edilmesinde hata yayılım kuralı ile standart sapma gibi istatistiksel doğruluk ölçütleri verebilir ve sonucun güvenilirliği hakkında bilgi sunar. Ancak, RK yönteminin aksine TSA bu tür doğruluk ölçütlerini sunmaz. TSA yeniden yapılandırma bileşenleri ile çalışır ve bu bileşenlerin doğruluğu hakkında doğrudan bilgi vermez. Dolayısıyla, RK yöntemi sağladığı doğruluk ölçütleri açısından araştırmacılara filtrelenmiş sonuçlar hakkında daha detaylı bilgiler sağlar.

Bu tez çalışmasında RK ve TSA yöntemlerinin GNSS zaman serilerine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar ve bu yöntemlerin karşılaştırması en ince detayına kadar tartışılmıştır. Bu iki yöntem arasındaki avantaj ve dezavantajların detaylıca incelenmesi, zaman serisi analizlerinde kullanılan yöntemlerin seçiminde araştırmacılara önemli bir rehber sağlamaktadır. Araştırmacının ihtiyaçlarına bağlı olarak, veri setinin büyüklüğü, analiz amaçları, analiz edilen sürecin doğası, zaman serisinin yapısı ve elde edilmek istenen sonuçların hassasiyetine bağlı olarak yöntem tercihi yapılmalıdır. Dolayısıyla, bu tez çalışması, GNSS zaman serisi analizlerinde doğru yöntemi seçmede araştırmacılara önemli bilgiler ve sonuçları sunarak jeodezik, jeolojik ve jeofizik alanlarındaki çalışmalara değerli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Bakıcı S, 2015, Geoinformatik Teknolojilerinin Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünde Kullanımı, 1. Konum Belirleme ve Uydu Navigasyonu Zirvesi-2015, 20 Mart 2015, İstanbul, 20.
- Bedford J, Bevis M, 2018, Greedy Automatic Signal Decomposition and Its Application to Daily GPS Time Series, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, 8, 6992-7003.
- Bevis M, Bedford J, Caccamise II D J, 2020. The art and science of trajectory modelling. In J.-P. Montillet ve M. S. Bos (Ed.), *Geodetic time series analysis in earth sciences* (1-27). Cham: Springer International Publishing.
- Bevis M, Brown A, 2014, Trajectory models and reference frames for crustal motion geodesy, *Journal of Geodesy*, 88, 3, 283-311.
- Blewitt G, Lavallée D, 2002, Effect of annual signals on geodetic velocity, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107, B7, ETG 9-1-ETG 9-11.
- Bos M S, Bastos L, Fernandes R M S, 2010, The influence of seasonal signals on the estimation of the tectonic motion in short continuous GPS time-series, *Journal of Geodynamics*, 49, 3, 205-209.
- Bos M S, Fernandes R M S, Williams S D P, Bastos L, 2008, Fast error analysis of continuous GPS observations, *Journal of Geodesy*, 82, 3, 157-166.
- Bos M S, Montillet J-P, Williams S D P, Fernandes R M S, 2020. Introduction to Geodetic Time Series Analysis. In J.-P. Montillet ve M. S. Bos (Ed.), *Geodetic time series analysis in earth sciences* (29-52). Cham: Springer International Publishing.
- Broomhead D S, King G P, 1986, Extracting qualitative dynamics from experimental data, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 20, 2, 217-236.
- Chen Q, 2015a, GPS time-variable seasonal signals modeling, University of Stuttgart, Institute of Geodesy, Master Thesis, 54, Stuttgart, Germany.
- Chen Q, 2015b, Analyzing and modeling environmental loading induced displacements with GPS and GRACE, University of Stuttgart, Institute of Geodesy, PhD Thesis,

133, Stuttgart, Germany.

- Chen Q, van Dam T, Sneeuw N, Collilieux X, Weigelt M, Rebischung P, 2013, Singular spectrum analysis for modeling seasonal signals from GPS time series, *Journal of Geodynamics*, 72, 25-35.
- Çelik S, 2018, IGS koordinat zaman serilerinde trend ve mevsimsellik analizinin farklı yöntemlerle irdelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113, Trabzon.
- Davis J L, Elósegui P, Mitrovica J X, Tamisiea M E, 2004, Climate-driven deformation of the solid Earth from GRACE and GPS, *Geophysical Research Letters*, 31, 24,
- Davis J L, Wernicke B P, Tamisiea M E, 2012, On seasonal signals in geodetic time series, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117, B1,
- Duman H, 2022, Episodik GPS zaman serileri için uygun stokastik modelin belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 102, İstanbul.
- Elsner J B, Tsonis A A, 2013, Singular spectrum analysis: a new tool in time series analysis, Springer Science & Business Media,
- Erdoğan H, 2010, The Effects of Additive Outliers on Time Series Components and Robust Estimation: A Case Study on the Oymapinar Dam, Turkey, *Experimental Techniques*, 36, 3, 39-52.
- Eren K, Uzel T, Gulal E, Yildirim O, Cingoz A, 2009, Results from a Comprehensive Global Navigation Satellite System Test in the CORS-TR Network: Case Study, *Journal of Surveying Engineering*, 135, 1, 10-18.
- Golyandina N, Nekrutkin V, Zhigljavsky A A, 2001, Analysis of Time Series Structure - SSA and Related Techniques, Chapman & Hall / CRC press,
- Golyandina N, Zhigljavsky A, 2013, Singular spectrum analysis for time series, Springer, New York.
- Goudarzi M A, Cocard M, Santerre R, Woldai T, 2013, GPS interactive time series analysis software, *GPS Solutions*, 17, 4, 595-603.
- Gulal E, Dindar A A, Akpınar B, Tiryakioglu I, Aykut N O, Erdogan H, 2015, Analysis and Management of Gns Reference Station Data, *Tehnicki Vjesnik-Technical*

Gazette, 22, 2, 407-414.

Glal E, Erdoğan H, Tiryakioğlu İ, 2013, Research on the stability analysis of GNSS reference stations network by time series analysis, Digital Signal Processing, 23, 6, 1945-1957.

Hassani H, 2007, Singular Spectrum Analysis: Methodology and Comparison, Journal of Data Science, 5, 2, 239-257.

He X, Montillet J-P, Fernandes R, Bos M, Yu K, Hua X vd., 2017, Review of current GPS methodologies for producing accurate time series and their error sources, Journal of Geodynamics, 106, 12-29.

He X, Montillet J-P, Li Z, Kermarrec G, Fernandes R, Zhou F, 2022, Recent Advances in Modelling Geodetic Time Series and Applications for Earth Science and Environmental Monitoring, Remote Sensing, 14, 23, 6164.

İnal C, Yetkin M, 2006, Robust Yntemlerle Uyuşumsuz lçlerin Belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 21, 3, 33-48.

Jin S, van Dam T, Wdowski S, 2013, Observing and understanding the Earth system variations from space geodesy, Journal of Geodynamics, 72, 1-10.

Julaiti W, 2016, Time series analysis of GPS permanent stations around East Anatolia, Boęaziçi University, Graduate Program in Geodesy, 113, İstanbul, Türkiye.

Klos A, Bogusz J, Figurski M, Kosek W, 2015. On the Handling of Outliers in the GNSS Time Series by Means of the Noise and Probability Analysis. In C. Rizos ve P. Willis (Ed.), IAG 150 Years: Proceedings of International Association of Geodesy Symposia, 2013 (Vol. 143, 657-664). Potsdam, Germany: Springer International Publishing.

Klos A, Bos M S, Bogusz J, 2018, Detecting time-varying seasonal signal in GPS position time series with different noise levels, GPS Solutions, 22, 1, 21.

Kurt A İ, 2009, Sabit GPS istasyonları zaman serileri analizinden yararlanarak kampanya tipi GPS lçlerinin hızlarının iyileştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 99, İstanbul.

Li J, Miyashita K, Kato T, Miyazaki S, 2000, GPS time series modeling by autoregressive

- moving average method: Application to the crustal deformation in central Japan, Earth, planets and space, 52, 3, 155-162.
- Mao A, Harrison C G A, Dixon T H, 1999, Noise in GPS coordinate time series, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 104, B2, 2797-2816.
- Moskvina V, Zhigljavsky A, 2003, An Algorithm Based on Singular Spectrum Analysis for Change-Point Detection, Communications in Statistics - Simulation and Computation, 32, 2, 319-352.
- Oktar O, 2015, Sabit GNSS istasyonlarının davranışlarının dalgacık dönüşümü ile tanımlanması, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 264, Aksaray.
- Oktar O, Erdogan H, 2018, Research of behaviours of continuous GNSS stations by signal, Earth Sciences Research Journal, 22, 1, 19-27.
- Ozdemir S, 2014, Analysis of GNSS time series obtained from Turkish National Permanent GNSS Stations Network-Active system using Hilbert-Huang transform, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, MSc Thesis, 126, Ankara, Türkiye.
- Ozdemir S, 2019, Transient signal detection in continuous GPS coordinate time series using empirical mode decomposition and principal component analysis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, PhD Thesis, 171, Ankara, Türkiye.
- Özbiz Z, 2019, GNSS zaman serilerinde stokastik sürecin tanımlanması, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 153, Aksaray.
- Özdemir A, 2023, Sürekli jeodezik verilerdeki kısa-dönem davranışların araştırılması: İsmetpaşa Krip örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 105, İstanbul.
- Pytharouli S, Kontogianni V, Psimoulis P, Stiros S, 2004, Spectral analysis techniques in deformation analysis studies, Proceedings of the INGEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying,
- Rocco S C M, 2013, Singular spectrum analysis and forecasting of failure time series, Reliability Engineering & System Safety, 114, 126-136.

- Schoellhamer D H, 2001, Singular spectrum analysis for time series with missing data, *Geophysical Research Letters*, 28, 16, 3187-3190.
- Serdar O, 2023, GNSS zaman serilerinde gürültü analizi üzerine bir yazılım geliştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67, İstanbul.
- Simav Ö, Demir C, Simav M, Yıldız H, 2006, Sabit GPS İstasyonları Koordinat Zaman Serilerinin Analizi, *Harita Dergisi*, 136, 1-15.
- Şişman Y, Bektaş S, Yıldırım Ö, 2009, Uyuşumsuz Ölçü Analizinde Robust Kestirim ve L1-Norm Yöntemleri, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11--15 Mayıs 2009, Ankara, Türkiye,
- Tekiç S R, 2019, Doğru hız kestirimi için aylık GPS kampanyalarının performansı üzerine bir inceleme, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 116, İstanbul.
- Teunissen P J, Montenbruck O, 2017. The International GNSS Service. In P. J. G. Teunissen ve O. Montenbruck (Ed.), *Springer handbook of global navigation satellite systems* (Vol. 1, 967-982). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Tiryakioglu I, Yavasoglu H, Mehmet Ali Ugur U, Ozkaymak C, Yilmaz M, Kocaoglu H vd., 2017, Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van Earthquakes Using Long-Term GNSS Time Series, *Earth Sciences Research Journal*, 21, 3, 147-156.
- Türen Y, 2019, Küresel konumlama sistemi kampanya tipi ölçülerinden elde edilen hızların doğruluk analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 269, İstanbul.
- Ugur M A, 2013, Modeling the Neutral Atmosphere in Continuously Operating GNSS Networks using OPUS-Projects, The Ohio State University, Graduate Program in Civil Engineering, Master Thesis, OH, USA.
- Uysal E, 2023, Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) kampanya ölçülerinden türetilen hız bileşenlerinin doğruluk analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen

Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 103, İstanbul.

Ünlütürk N T, Doğan U, 2023, Estimation of Height Changes of Continuous GNSS Stations in the Eastern Anatolia Region during the Seasonal Variation, Applied Sciences, 13, 14, 8077.

Vautard R, Ghil M, 1989, Singular spectrum analysis in nonlinear dynamics, with applications to paleoclimatic time series, Physica D: Nonlinear Phenomena, 35, 3, 395-424.

Vautard R, Yiou P, Ghil M, 1992, Singular-spectrum analysis: A toolkit for short, noisy chaotic signals, Physica D: Nonlinear Phenomena, 58, 1, 95-126.

Wang X, Cheng Y, Wu S, Zhang K, 2016, An enhanced singular spectrum analysis method for constructing nonsecular model of GPS site movement, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 121, 3, 2193-2211.

Williams S D P, 2008, CATS: GPS coordinate time series analysis software, GPS Solutions, 12, 2, 147-153.

Williams S D P, Bock Y, Fang P, Jamason P, Nikolaidis R M, Prawirodirdjo L vd., 2004, Error analysis of continuous GPS position time series, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 109, B3,

Xu C, Yue D, 2015, Monte Carlo SSA to detect time-variable seasonal oscillations from GPS-derived site position time series, Tectonophysics, 665, 118-126.

Yaşayan A, 1992, "Robust" Kestirim Kavramı, İlkesi ve Uygulamaları Üzerine İrdelemeler, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 72, 56-66.

Yetkin M, İnal C, Yiğit C Ö, 2009, Ölçülerin Korelasyonlu Olması Durumunda Robust Kestirim, Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 100, 21-26.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://igs.org/>, 01/06/2024.
- 2- <https://network.igs.org/>, 02/06/2024.
- 3- <https://www.harita.gov.tr/sunum/>, 09/05/2024
- 4- <https://www.harita.gov.tr/sunum/yardim.pdf>, 09/05/2024



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Ali UĞUR
Doğum Yeri : Şanlıurfa
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim : maliugur@aku.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Şanlıurfa Lisesi (1999–2002)
Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri
Mühendisliği Bölümü (2002–2008)
Yüksek Lisans : The Ohio State University, Department of Civil,
Environmental and Geodetic Engineering (2010–2013)
Çalıştığı Kurum ve Yıl : Kocaeli Büyükşehir Belediyesi (2008-2009)
The Ohio State University (2010-2013)
Afyon Kocatepe Üniversitesi (2013–Devam Ediyor)

Yayınlar:

Eyübagil E E, Tiryakioğlu İ, Solak H İ, Yavaşoğlu H H, Yiğit C Ö, Aktuğ B, Özkaymak Ç, **Uğur M A**, Çakanşimşek E B, Demirelli E, 2023. Havran-Balıkesir fay zone üzerinde jeodezik çalışmalar: ilk sonuçlar. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 23, 2, 402-416.

Toydemir T, Tiryakioğlu İ, Baybura T, **Uğur M A**, Solak H İ, 2021. Afyon Akşehir grabeninde jeodezik yamulma alanları ile b parametresi arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2021, 6, 1366-1376.

Baybura T, Tiryakioğlu İ, **Uğur M A**, Solak H İ, Şafak Ş, 2019. Examining the accuracy of network RTK and long base RTK methods with repetitive measurements. Journal of Sensors, 2019, 1, 3572605.

Tiryakioğlu İ, Yiğit C Ö, Özkaymak Ç, Baybura T, Yılmaz M, **Uğur M A**, Yalçın M,

Poyraz F, Sözbilir H, Güral V E, 2019. Active surface deformations detected by precise levelling surveys in the Afyon-Akşehir Graben, Western Anatolia, Turkey. *Geofizika*, 36, 1, 33-52.

Tiryakioğlu İ, **Uğur M A**, Özkaymak Ç, 2018. Determination of surface deformations with global navigation satellite system time series. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, 12, 11, 719-722.

Polat N, Dereli M A, **Uğur M A**, Yalçın M, 2018. Termal uydu görüntülerinin jeotermal kaynak araştırmasında kullanılabilirliğinin araştırılması: Afyonkarahisar örneği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3, 3, 1-7.

Tiryakioğlu İ, Yavaşoğlu H, **Uğur M A**, Özkaymak Ç, Yılmaz M, Kocaoğlu H, Turgut B, 2017. Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van earthquakes using long-term GNSS time series. *Earth Sciences Research Journal*, 21, 3, 147-156.

Kitap ve Kitap Bölümü:

Tiryakioğlu İ, Uğur M A, 2016, Netcad 7 Anamodül Arayüzü Tanıtımı, Erdoğan S (Ed.), *Bilgisayar Destekli Harita Yapımı-II* (34-58), Anadolu Üniversitesi, 187, Eskişehir.

Tiryakioğlu İ, Uğur M A, 2016, Raster İşlemleri, Erdoğan S (Ed.), *Bilgisayar Destekli Harita Yapımı-II* (34-58), Anadolu Üniversitesi, 187, Eskişehir.

Tiryakioğlu İ, Uğur M A, 2016, Temel Hesap İşlemleri, Erdoğan S (Ed.), *Bilgisayar Destekli Harita Yapımı- II* (34-58), Anadolu Üniversitesi, 187, Eskişehir.

Tiryakioğlu İ, Uğur M A, 2016, Sayısal Arazi Modelleri ve Eğri İşlemleri, Erdoğan S (Ed.), *Bilgisayar Destekli Harita Yapımı- II* (34-58), Anadolu Üniversitesi, 187, Eskişehir.

Bildiriler:

Yalçın M, Dereli M A, Polat N, **Uğur M A**, Narin Ö G, Çapadıç A, 2019. Modelling of solar energy potential with geographical information system and remote sensing integration: A case study for Bergama, Turkey, *International Symposium on*

Applied Geoinformatics 2019, 07-09 November 2019, Istanbul.

Polat N, Yalçın M, **Uğur M A**, Dereli M A, Narin Ö G, 2019. 3D City modelling with airborne LiDAR data, 1st International Conference on Virtual Reality, 04-05 April 2019, Sanliurfa.

Tiryakioğlu İ, Yiğit C Ö, Yalçın M, Bozkuş H B, Özkaymak Ç, Yılmaz M, **Uğur M A**, Baybura T, Dindar A A, Poyraz F, Sözbilir H, Gülal V E, 2018. Jeodezik yöntemlerle güncel yüzey deformasyonlarının belirlenmesi: Afyon-Akşehir Grabeni'nden örnekler, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2018 Bilimsel Toplantısı, 01-02 Kasım 2018, İzmir.

Polat N, Dereli M A, **Uğur M A**, Yalçın M, 2018. Termal uydu görüntülerinin jeotermal kaynak araştırmasında kullanılabilirliğinin araştırılması: Afyonkarahisar örneği, 6th International GAP Engineering Conference, 23-25 Ekim 2018, Şanlıurfa.

Yalçın M, Polat N, **Uğur M A**, Dereli M A, Çapadış A, 2018. Yer yüzey sıcaklığı anomalisi üretiminde yükseklik etkisinin azaltılması, VII. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 18-21 Eylül 2018, Eskişehir.

Dereli M A, Polat N, **Uğur M A**, Yalçın M, 2018. Long term monitoring of Giresun province and perimeters by using remote sensing, 1. International Technological Sciences and Design Symposium, 27-29 Haziran 2018, Giresun.

Yalçın M, Polat N, **Uğur M A**, Dereli M A, Çapadış A, 2018. Jeotermal araştırmalar için Landsat ile üretilen yer yüzey sıcaklığı anomalilerine etkiyen yükseklik etkisinin azaltılması, IV. Uluslararası Katılımlı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Sempozyumu ve Sergisi, 21-24 Şubat 2018, Afyonkarahisar.

Tiryakioğlu İ, Baybura T, Özkaymak Ç, Yılmaz M, **Uğur M A**, Yiğit C Ö, Dindar A A, Poyraz F, Gülal V E, Sözbilir H, Uysal M, Akpınar B, 2017. Monitoring of the current tectonic movements in Akşehir-Sultandagi fault zone after the February 2002 (Mw: 6.2) earthquake, 1st Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration, 22-25 November 2017, Sousse.

Tiryakioğlu İ, **Uğur M A**, Baybura T, Yılmaz M, Özkaymak Ç, Yiğit C Ö, Uysal M, Dindar A A, Sözbilir H, Gülal V E, 2017. Akşehir Simav fay sistemindeki güncel tektonik hareketlerinin izlenmesi: nivelman çalışmaları, 4. Uluslararası Deprem

Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim 2017, Eskişehir.

Tiryakioğlu İ, **Uğur M A**, Yılmaz M, Özkaymak Ç, Yavaşoğlu H, 2017. 2011 Van depremleri sonrası bölgenin GNSS hızları. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim 2017, Eskişehir.

Uğur M A, Dereli M A, Polat N, 2017. The use of volunteered geographic information (VGI) to determine the social hotspots at the university campus, 7th International Conference on Innovations in Engineering and Technology, 10-12 January 2017, Tokyo.

Dereli M A, **Uğur M A**, Polat N, Yalçın M, 2017. Spatio temporal analysis of urban expansion using remote sensing data, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 29 June-5 July 2017, Albena.

Yalçın M, **Uğur M A**, Polat N, Dereli M A, 2017. GIS-Based temporal analysis of glacier changes on Agri mountain using Landsat data, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 29 June-5 July 2017, Albena.

Tiryakioğlu İ, Özkaymak Ç, **Uğur M A**, Baybura T, Yılmaz M, Yiğit C Ö, Dindar A A, Poyraz F, Sözbilir H, Gülal V E, 2016. Akşehir Simav fay sistemindeki güncel tektonik hareketlerinin izlenmesi: Bolvadin’de meydana gelen güncel yüzey deformasyonların haritalanması, 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 19-21 Ekim 2016, İstanbul.

Tiryakioğlu İ, Baybura T, Özkaymak Ç, Yılmaz M, **Uğur M A**, Yiğit C Ö, Dindar A A, Poyraz F, Gülal V E, Sözbilir H, Uysal M, Yılmaz İ, Akpınar B, 2016. Monitoring the current tectonic movements in Akşehir Simav fault system GNSS results, The Selçuk International Scientific Conference on Applied Sciences, 27-30 September 2016, Antalya.

Uğur M A, Dereli M A, Polat N, 2016. An evaluation of crowdsourced geospatial data to improve student social life at Afyon Kocatepe University Turkey, The Selçuk International Scientific Conference on Applied Sciences, 27-30 September 2016, Antalya.

Uğur M A, Polat N, 2016. an investigation of the relationship between land surface temperature LST and land use cover in Sanliurfa province Turkey, The Selçuk

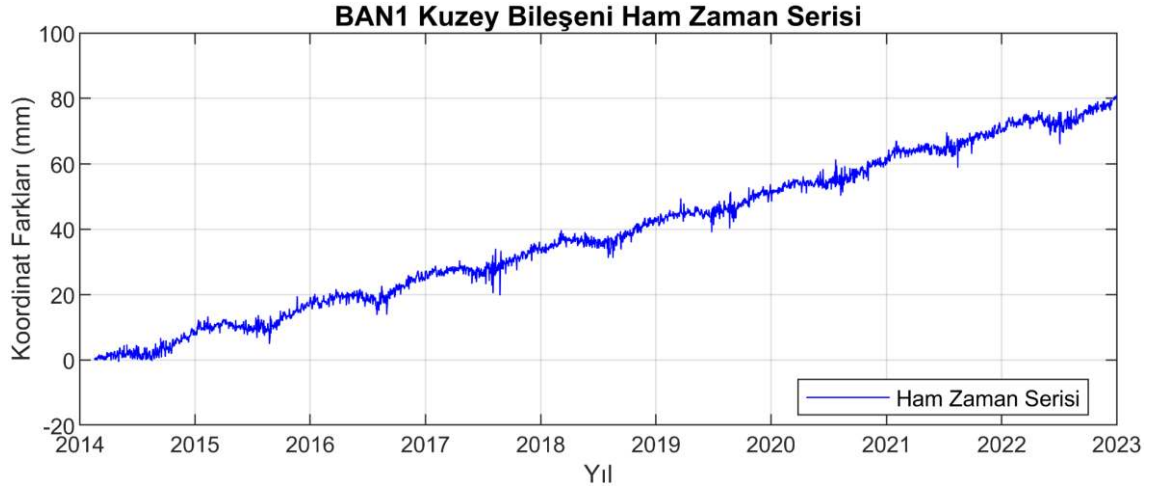
International Scientific Conference on Applied Sciences, 27-30 September 2016, Antalya.

Polat N, **Uğur M A**, 2016. Determination of the Long-term Trend in Satellite retrieved Land Surface Temperature LST for Şanlıurfa Turkey, 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences, 21-22 April 2016, Afyonkarahisar.

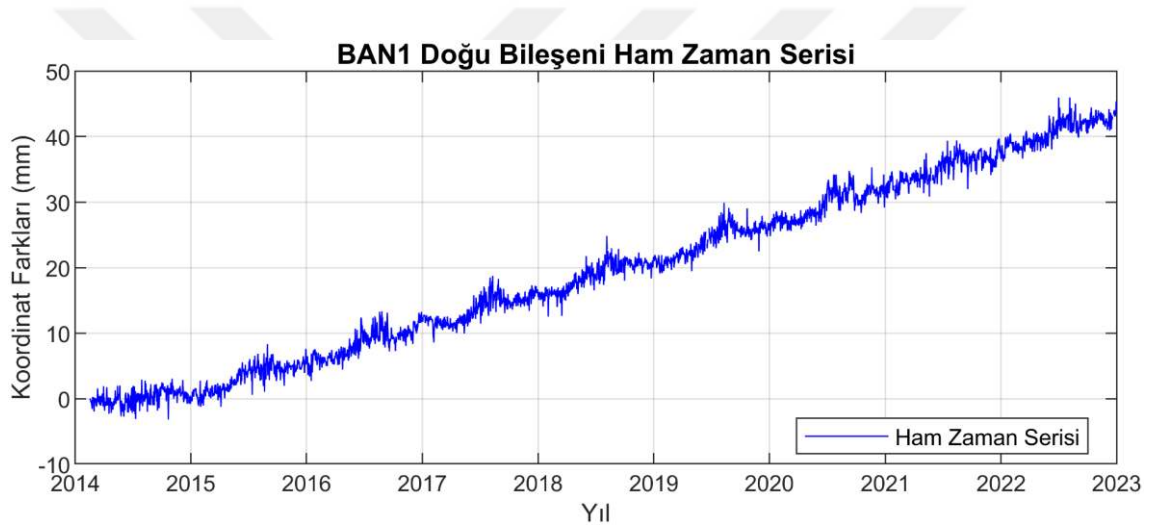
Tiryakioğlu İ, Baybura T, Özkaymak Ç, Sandıkcıoğlu A, Erdoğan S, Yılmaz İ, Uysal M, Yılmaz M, Yıldız A, Sözbilir H, Dereli M A, Yalçın M, **Uğur M A**, Yalın H A, Ertuğrul O, 2014. Multidisipliner çalışmalarla fay aktivitelerinin belirlenmesinde Sultandağı fayı örneği: ilk sonuçlar, 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 15-17 Ekim 2014, Çorum.

Uğur M A, Richardson T, Grejner B D, Toth C, Mader G, 2013. The effect of tropospheric delay modeling on the determination of GPS derived ellipsoidal height in permanent GNSS networks using OPUS projects. 2013 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, 27-29 January 2013, San Diego.

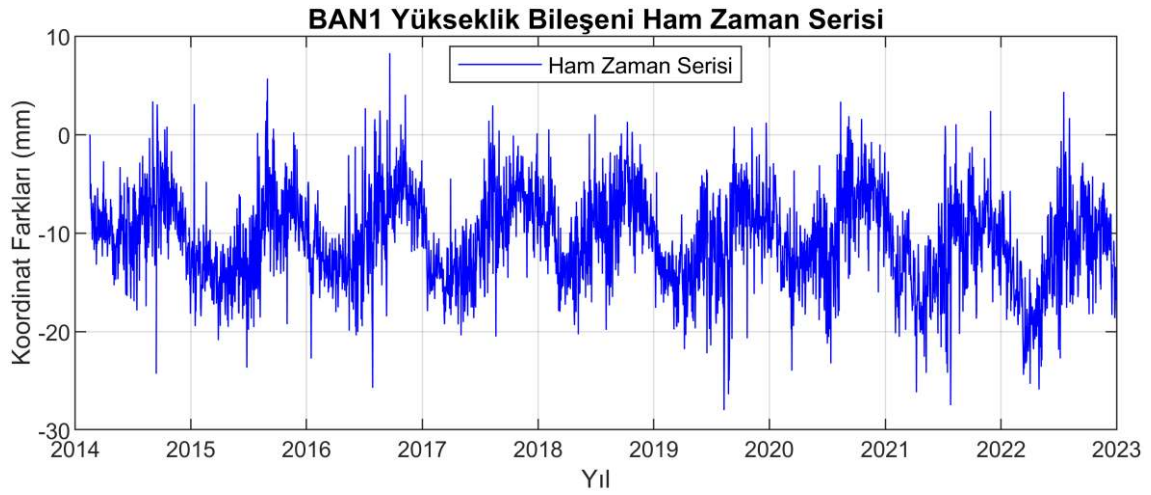
EK-1
HAM ZAMAN SERİLERİ



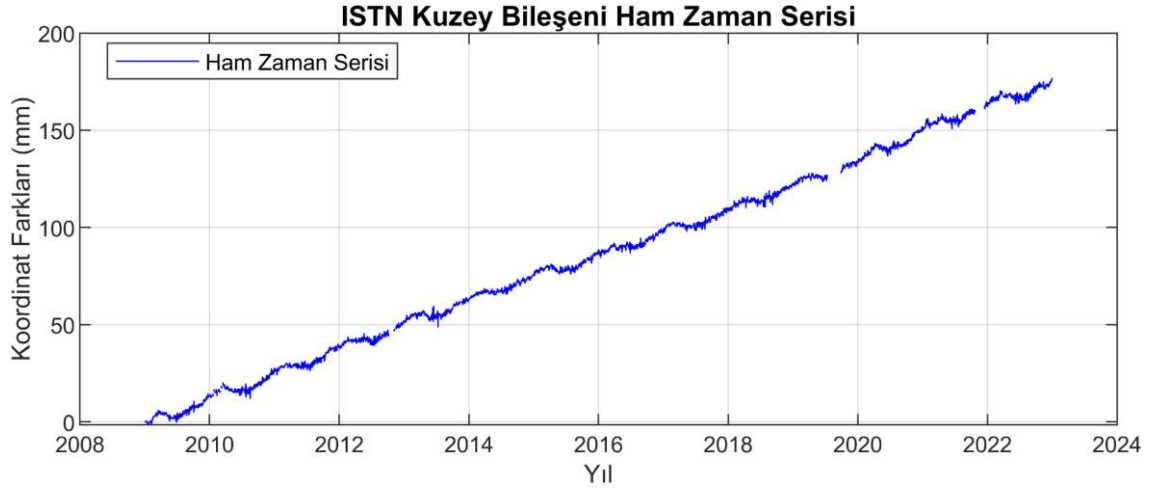
EK-1.1 BAN1 istasyonu Kuzey bileşeni ham zaman serisi grafiği.



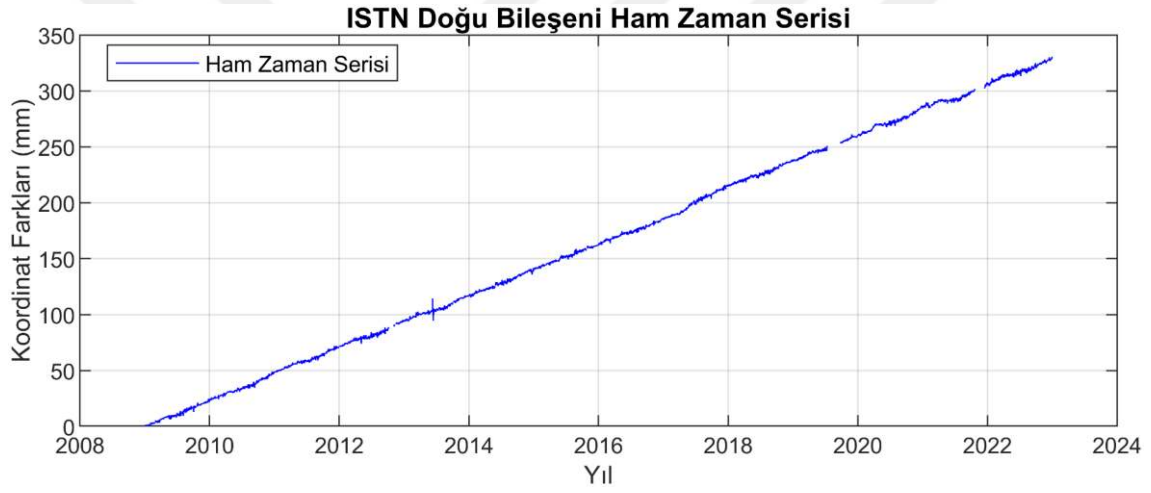
EK-1.2 BAN1 istasyonu Doğu bileşeni ham zaman serisi grafiği.



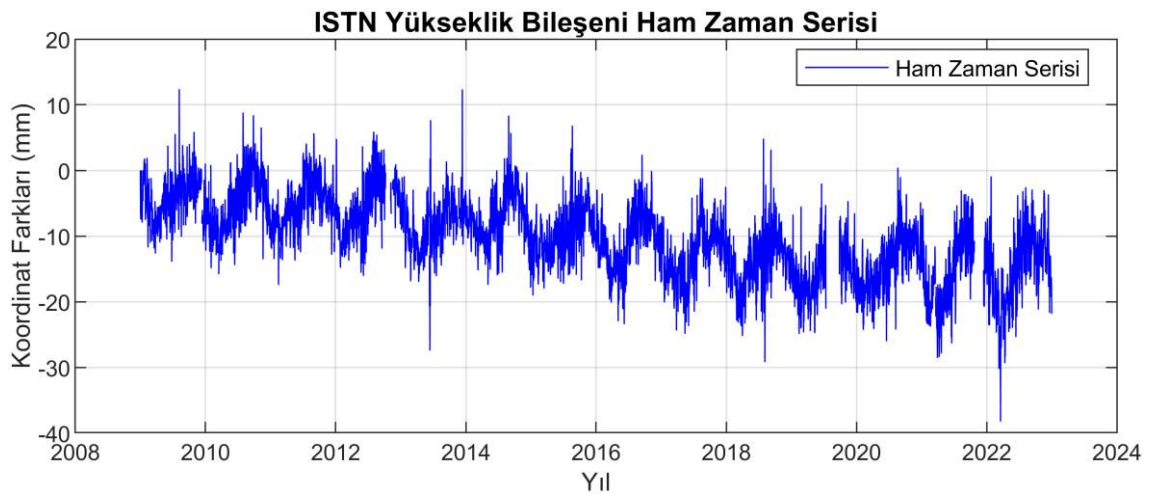
EK-1.3 BAN1 istasyonu Yükseklik bileşeni ham zaman serisi grafiği.



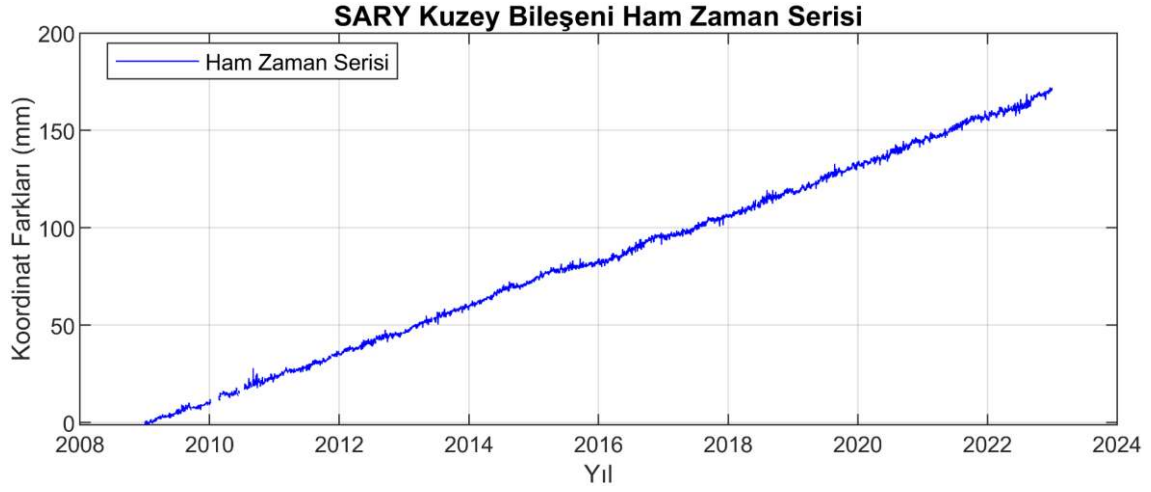
EK-1.4 ISTN istasyonu Kuzey bileşeni ham zaman serisi grafiği.



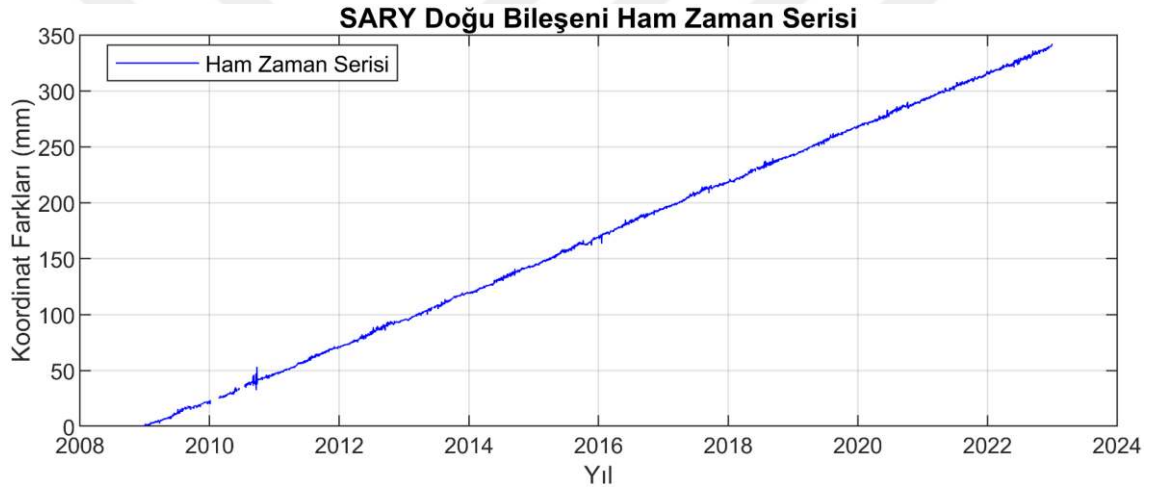
EK-1.5 ISTN istasyonu Doğu bileşeni ham zaman serisi grafiği.



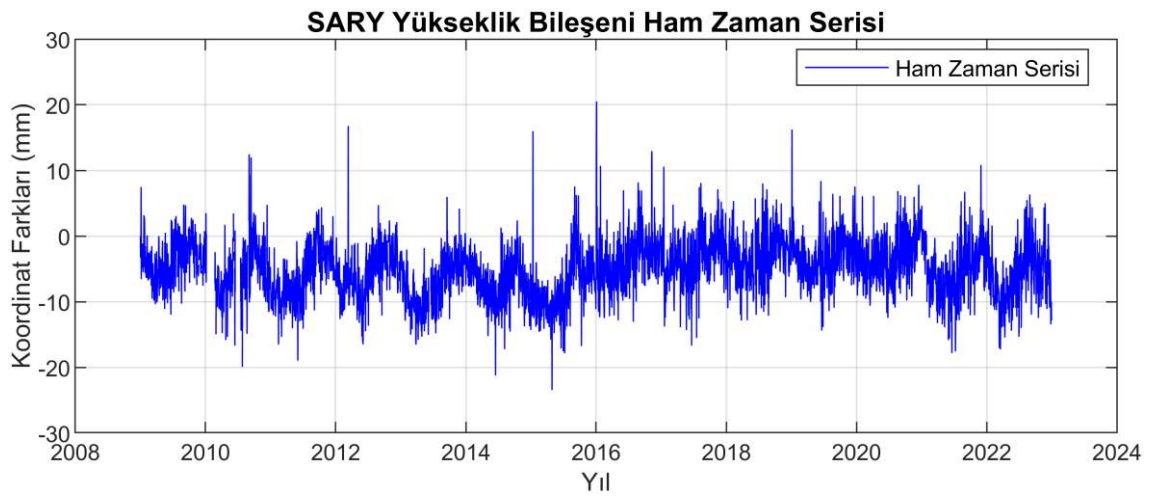
EK-1.6 ISTN istasyonu Yükseklik bileşeni ham zaman serisi grafiği.



EK-1.7 SARY istasyonu Kuzey bileşeni ham zaman serisi grafiği.



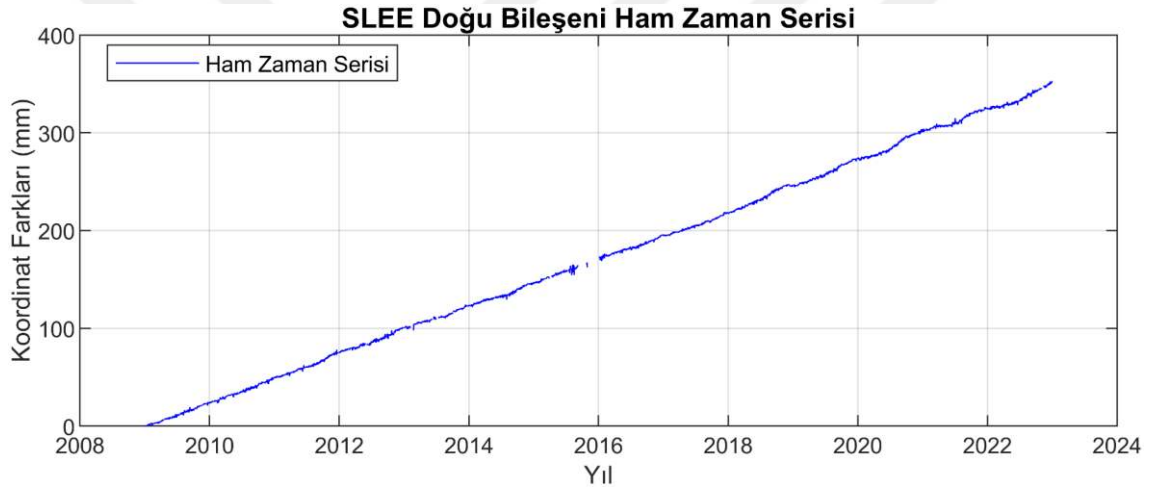
EK-1.8 SARY istasyonu Doğu bileşeni ham zaman serisi grafiği.



EK-1.9 SARY istasyonu Yükseklik bileşeni ham zaman serisi grafiği.



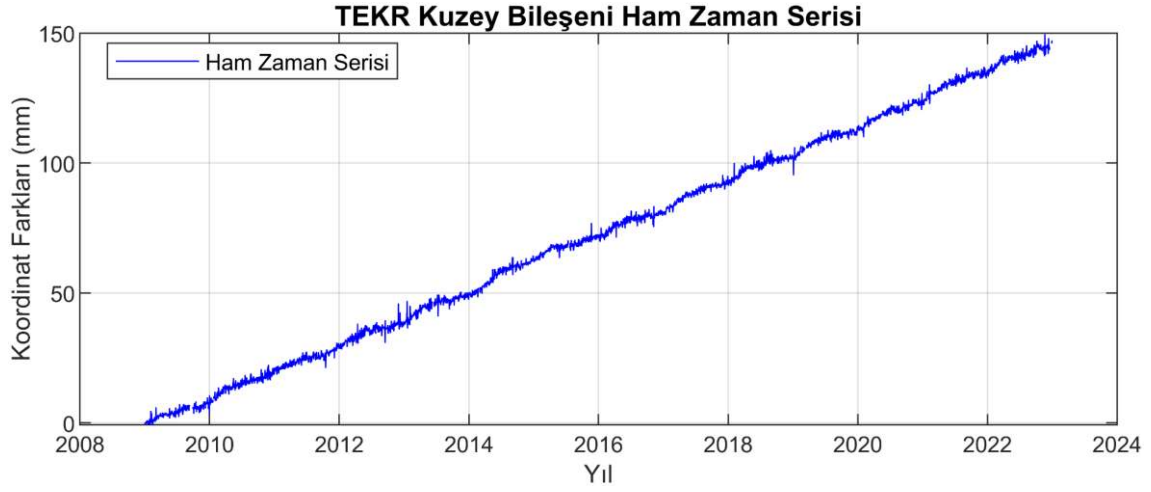
EK-1.10 SLEE istasyonu Kuzey bileşeni ham zaman serisi grafiği.



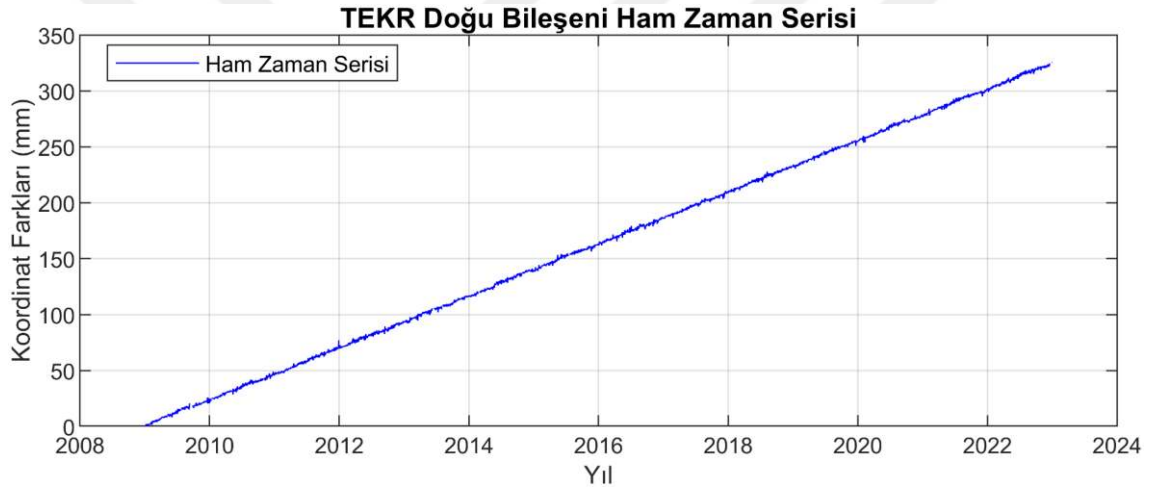
EK-1.11 SLEE istasyonu Doğu bileşeni ham zaman serisi grafiği.



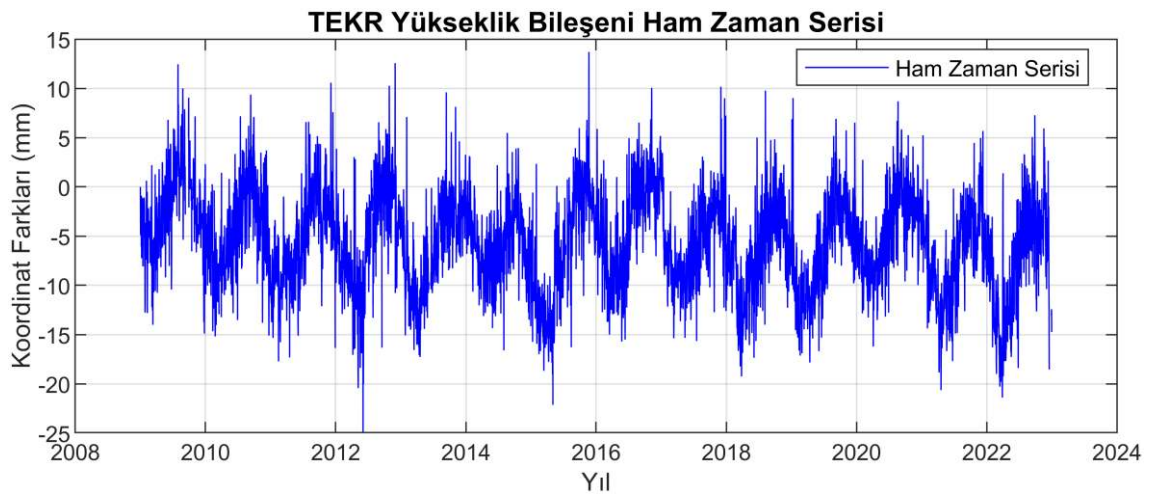
EK-1.12 SLEE istasyonu Yükseklik bileşeni ham zaman serisi grafiği.



EK-1.13 TEKR istasyonu Kuzey bileşeni ham zaman serisi grafiği.

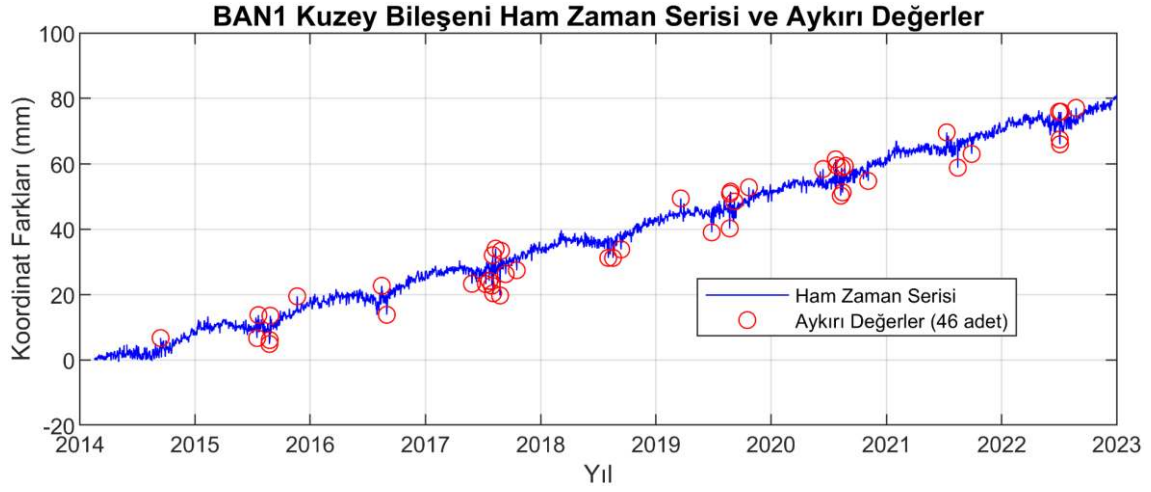


EK-1.14 TEKR istasyonu Doğu bileşeni ham zaman serisi grafiği.



EK-1.15 TEKR istasyonu Yükseklik bileşeni ham zaman serisi grafiği.

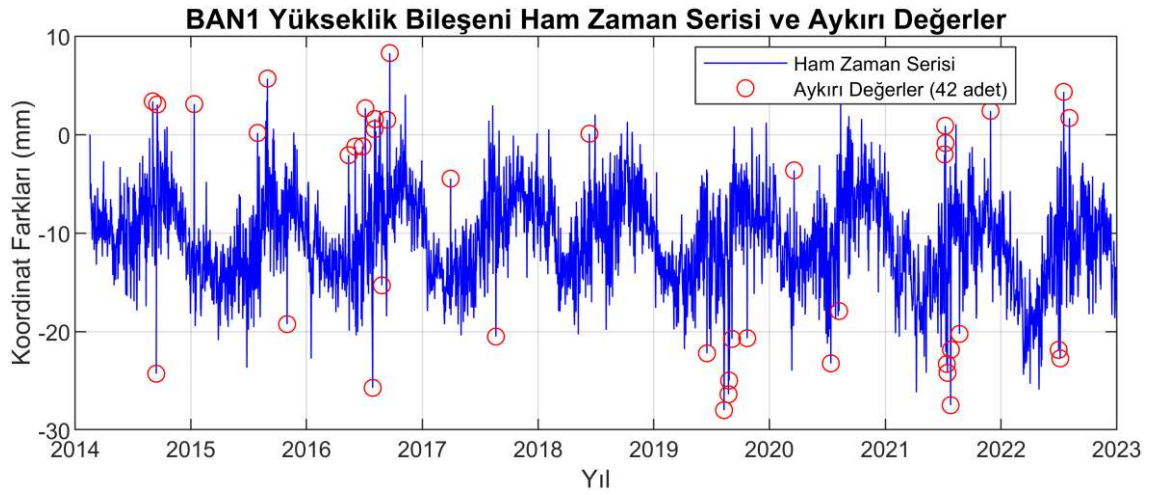
EK-2
AYKIRI DEĞERLERİN TESPİTİ



EK-2.1 BAN1 istasyonu Kuzey bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



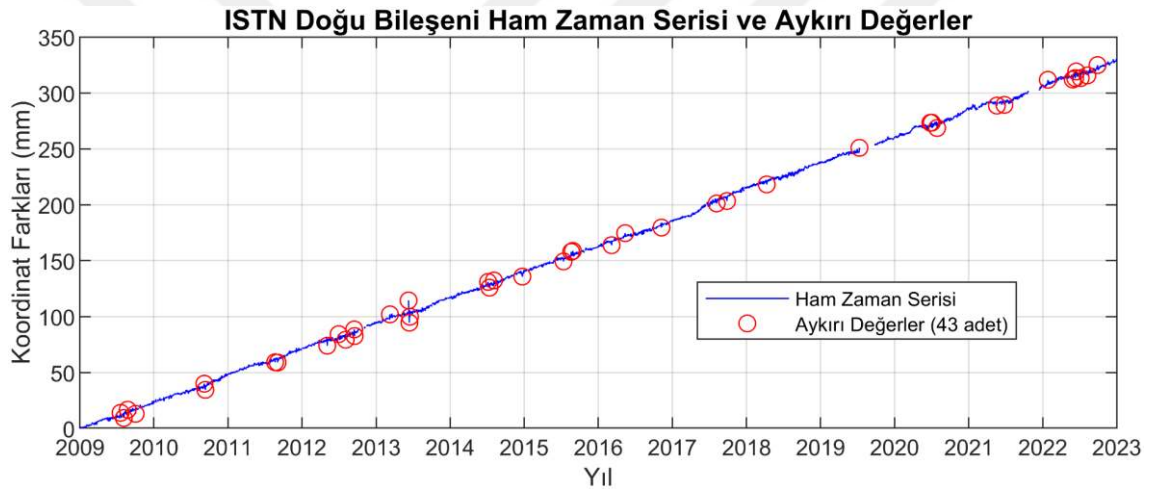
EK-2.2 BAN1 istasyonu Doğu bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



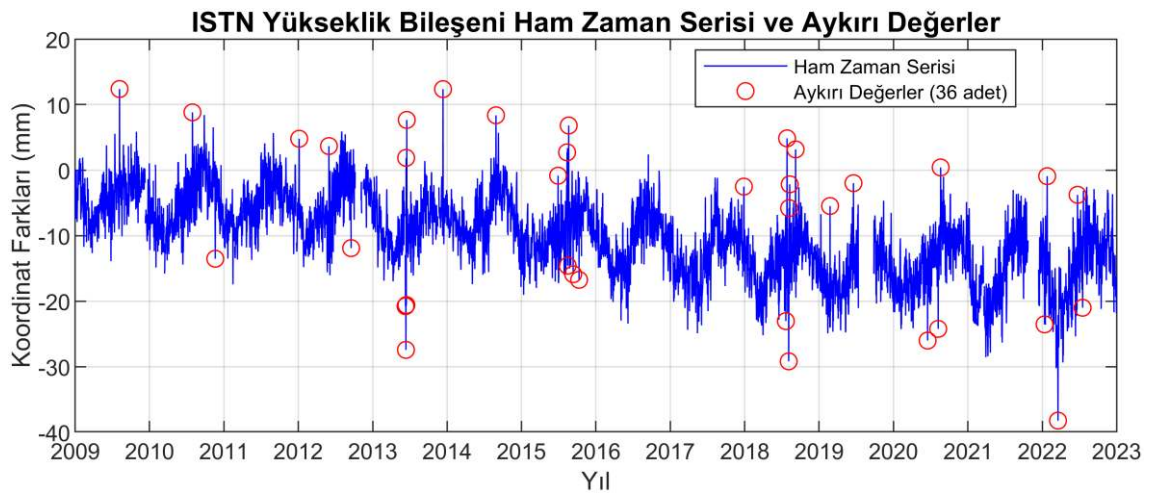
EK-2.3 BAN1 istasyonu Yükseklik bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



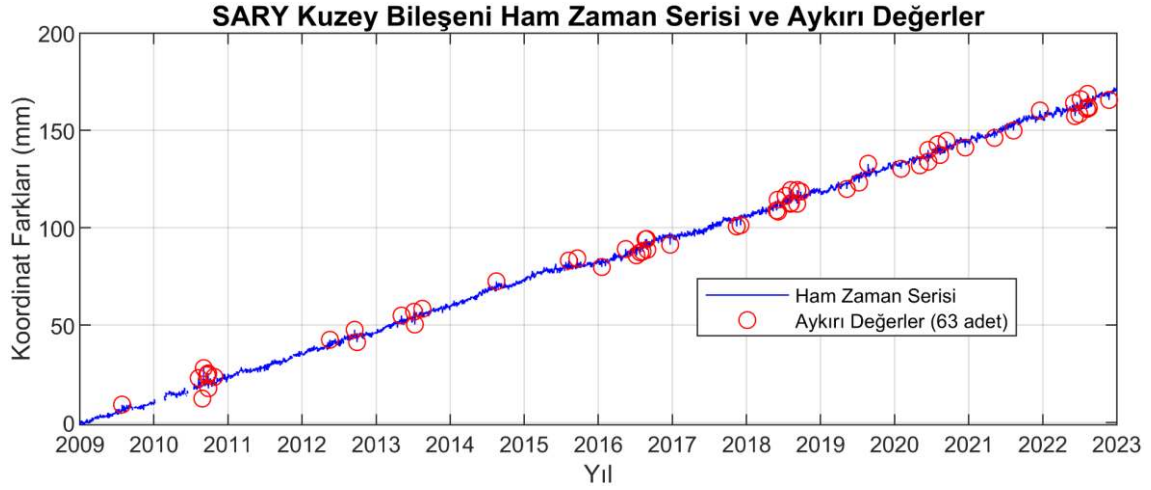
EK-2.4 ISTN istasyonu Kuzey bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



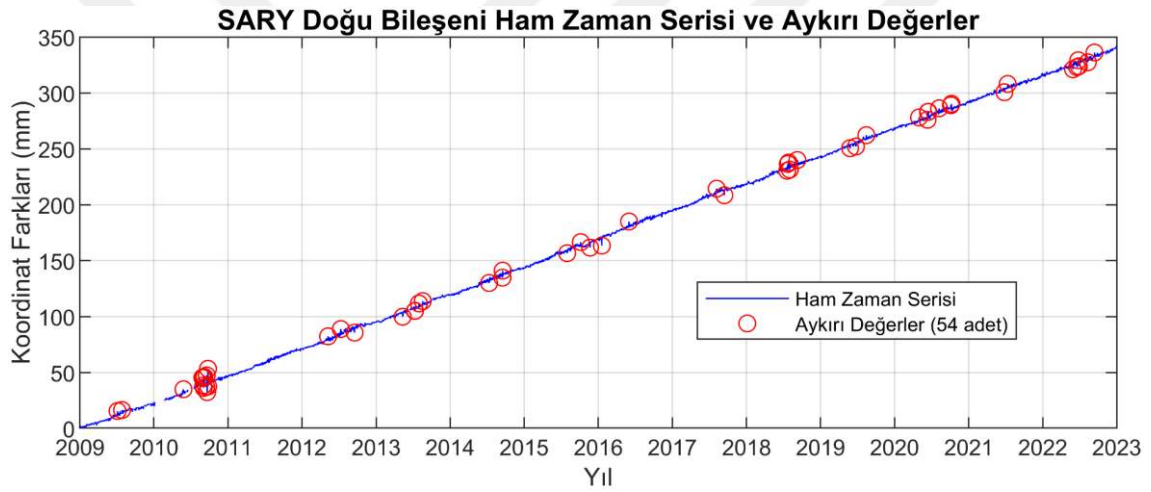
EK-2.5 ISTN istasyonu Doğu bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



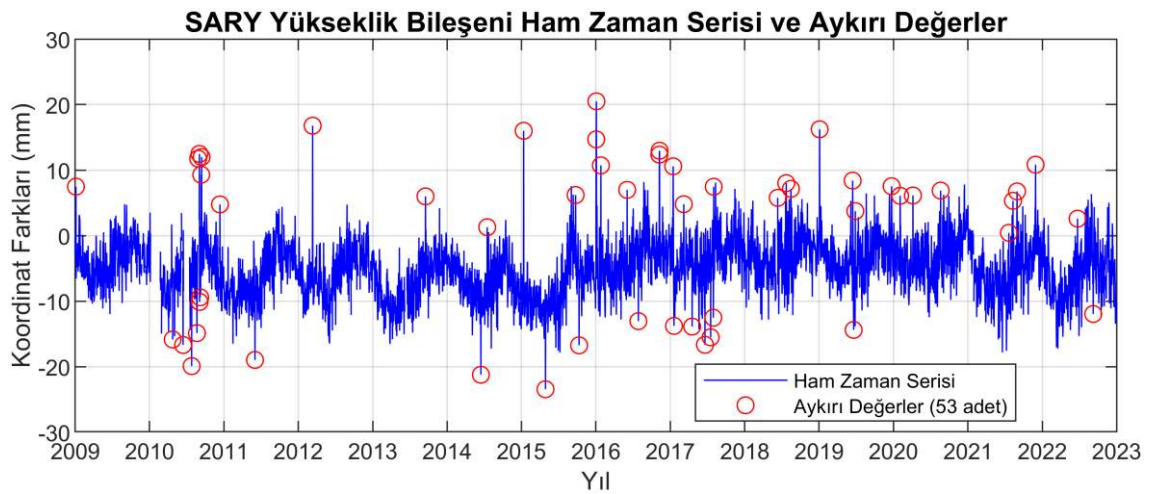
EK-2.6 ISTN istasyonu Yükseklik bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



EK-2.7 SARY istasyonu Kuzey bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



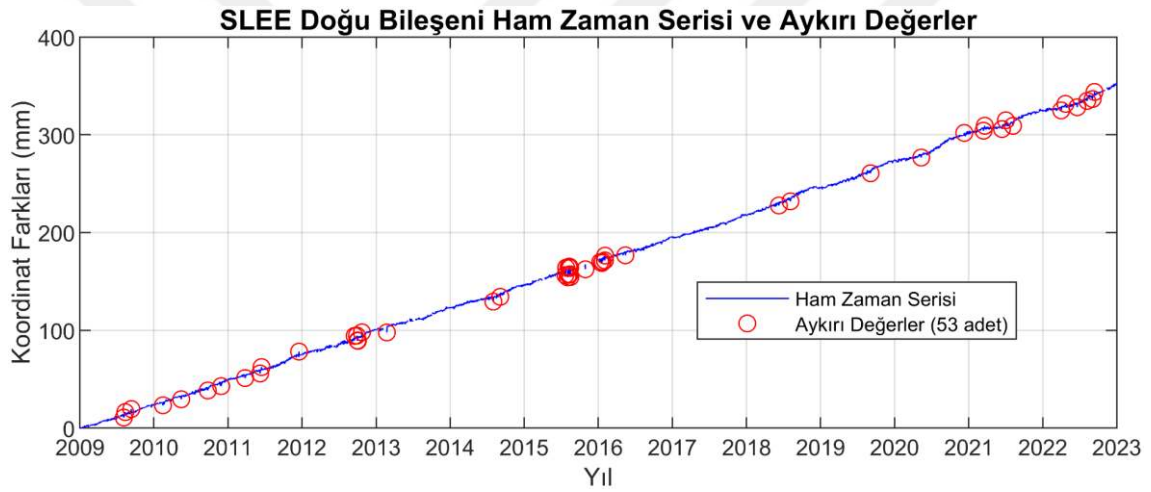
EK-2.8 SARY istasyonu Doğu bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



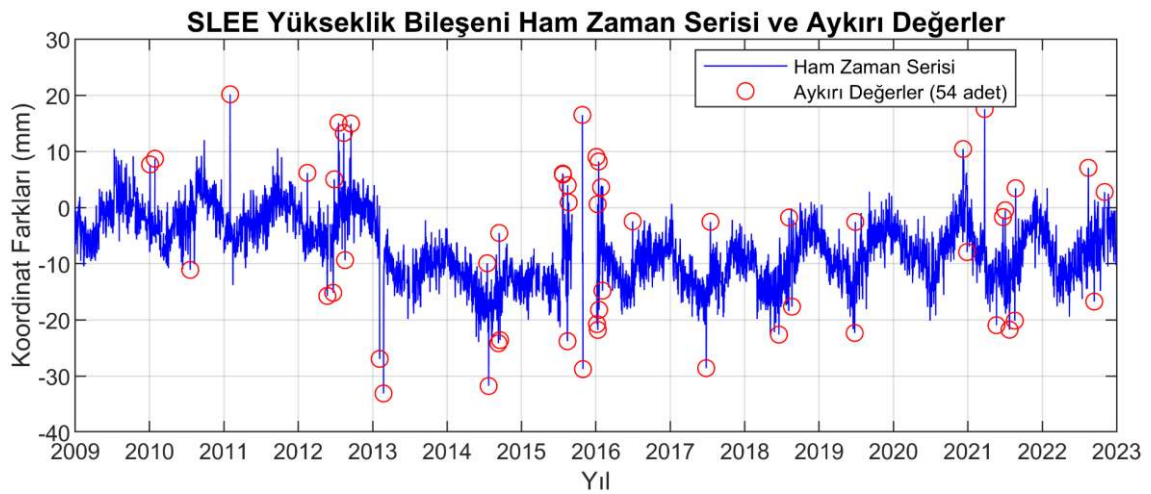
EK-2.9 SARY istasyonu Yükseklik bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



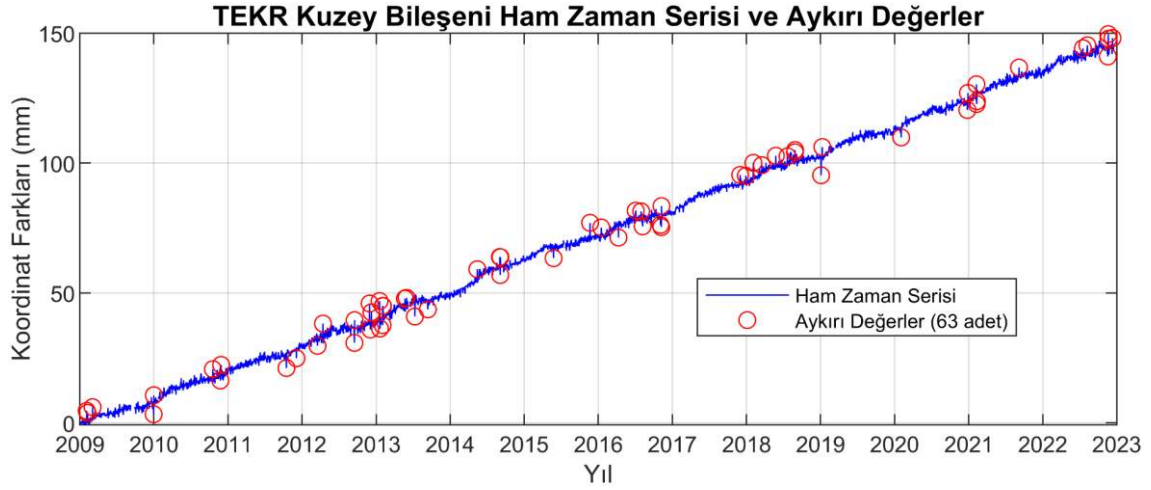
EK-2.10 SLEE istasyonu Kuzey bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



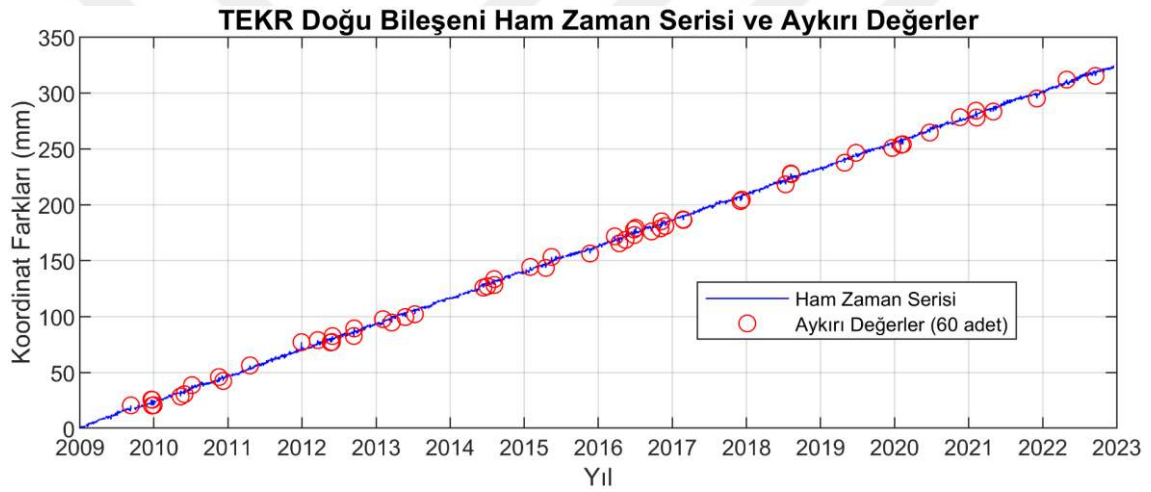
EK-2.11 SLEE istasyonu Doğu bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



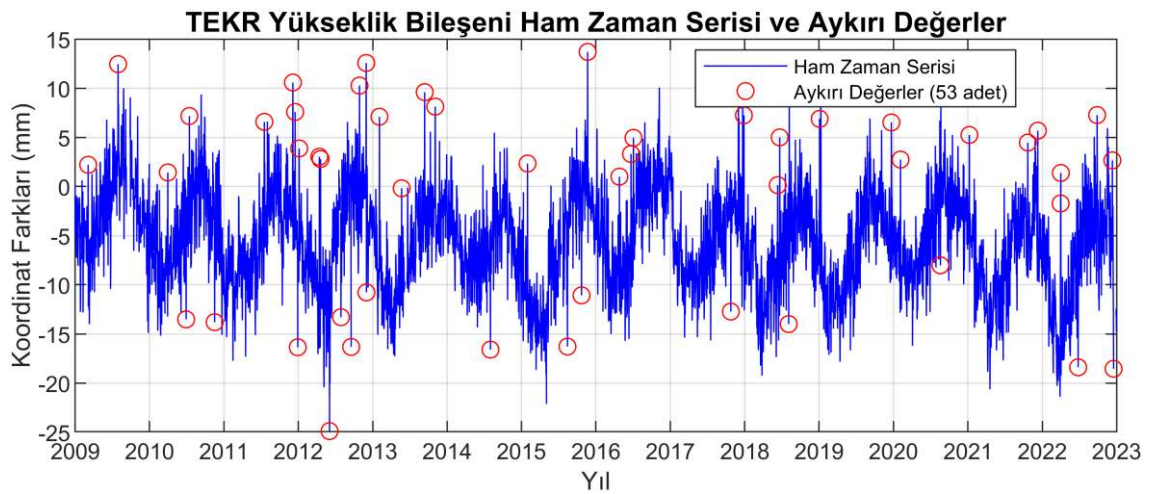
EK-2.12 SLEE istasyonu Yükseklik bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.



EK-2.13 TEKR istasyonu Kuzey bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.

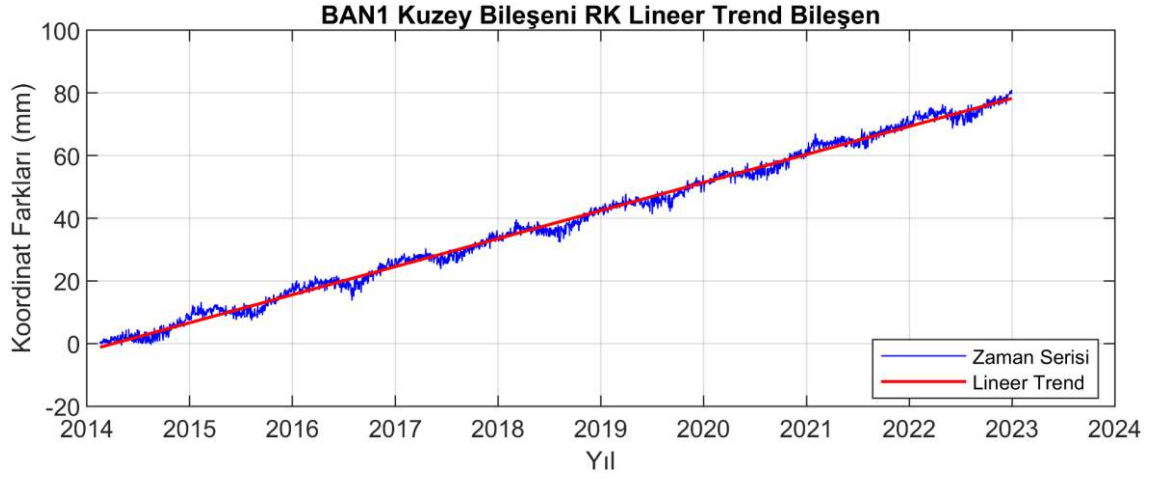


EK-2.14 TEKR istasyonu Doğu bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.

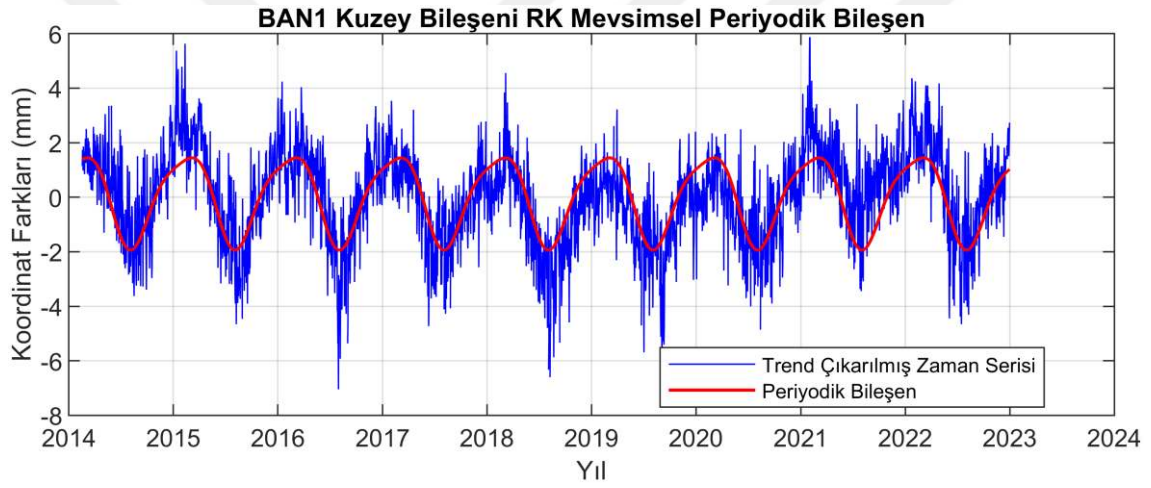


EK-2.15 TEKR istasyonu Yükseklik bileşeni zaman serisi aykırı değer tespiti.

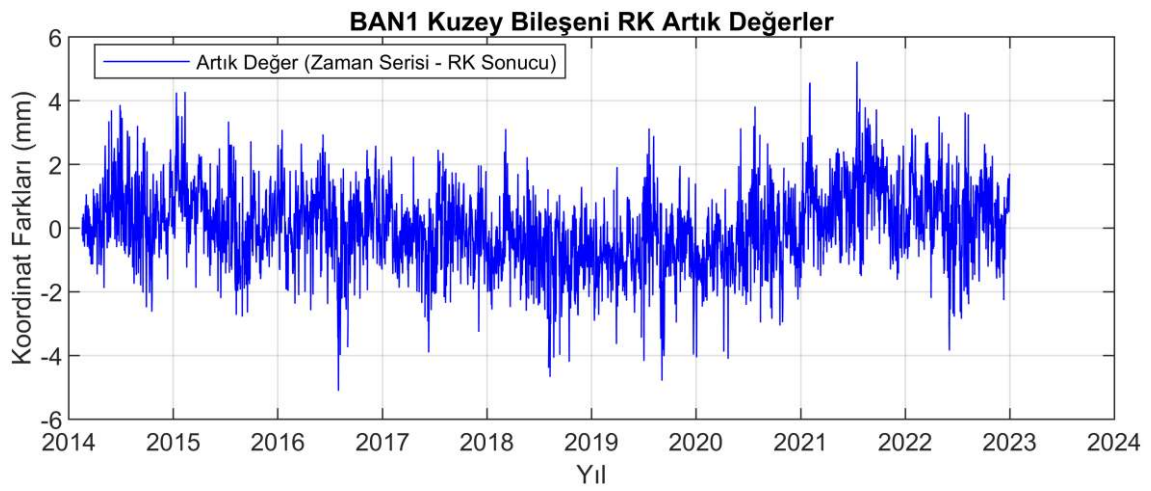
EK-3
ROBUST KESTİRİMİ SONUÇLARI



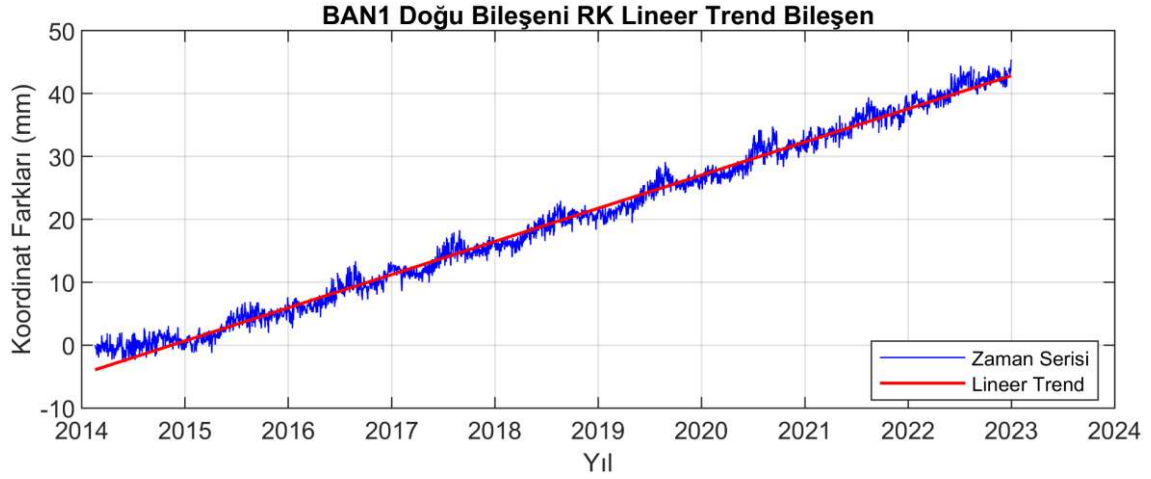
EK-3.1 BAN1 Kuzey bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



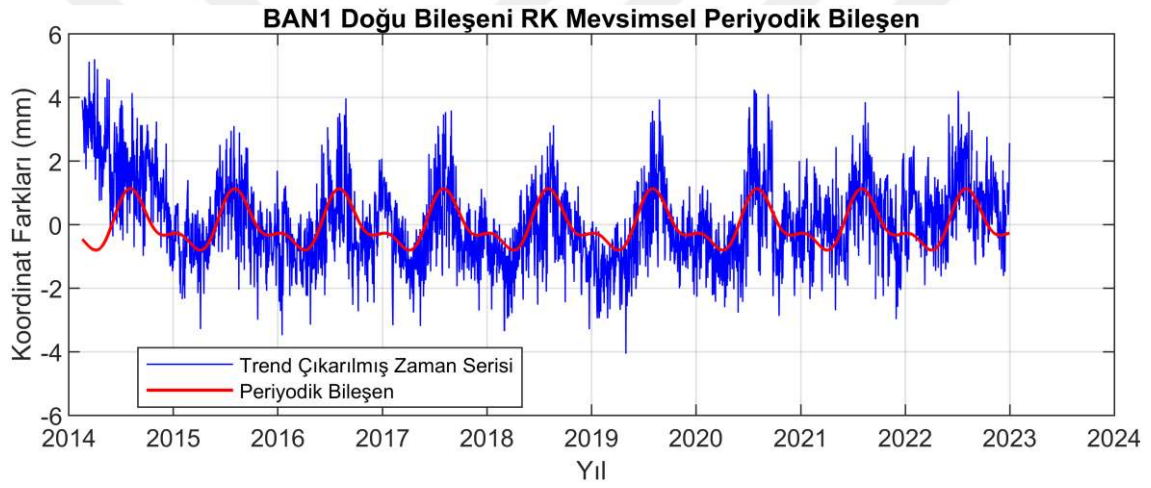
EK-3.2 BAN1 Kuzey bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



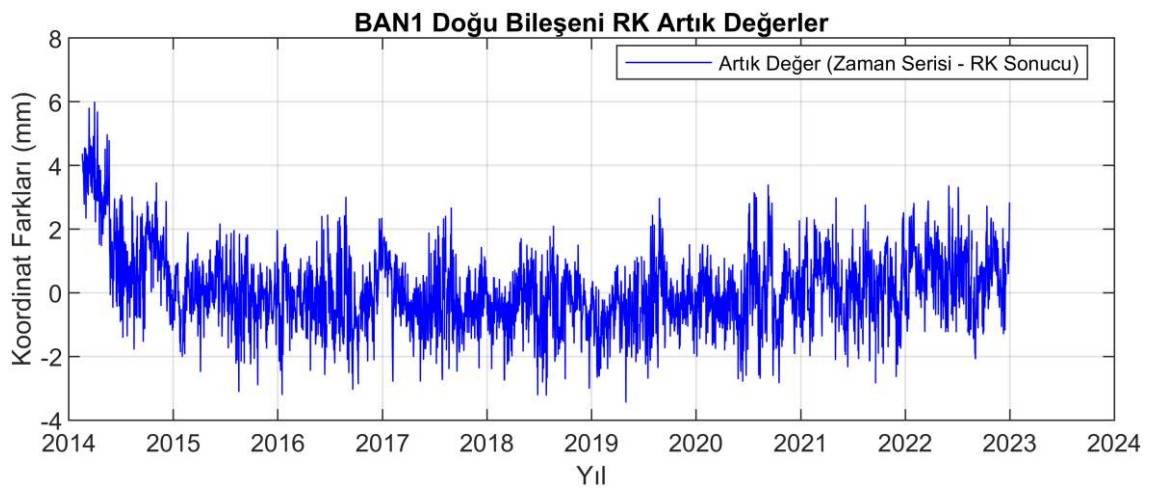
EK-3.3 BAN1 Kuzey bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



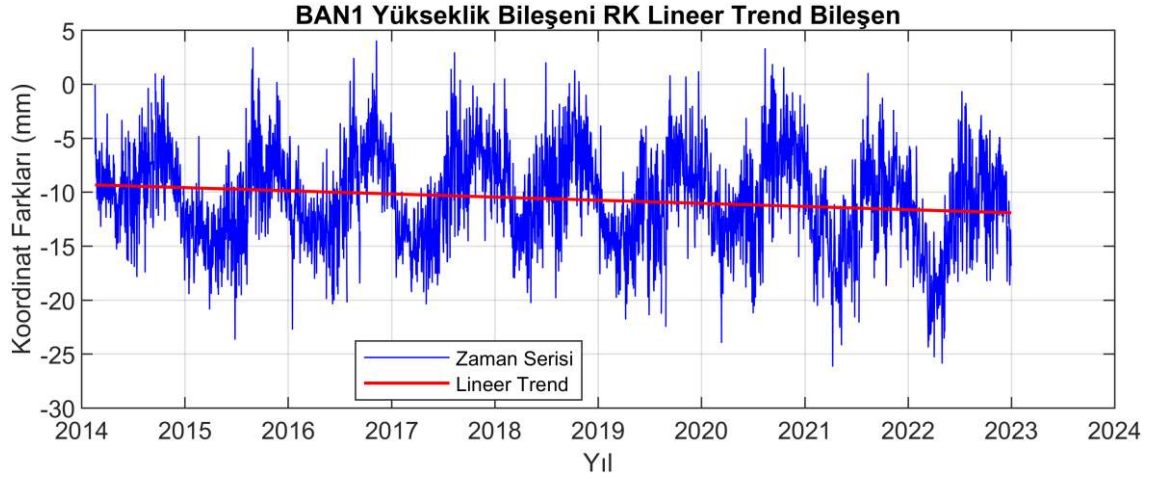
EK-3.4 BAN1 Doğu bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



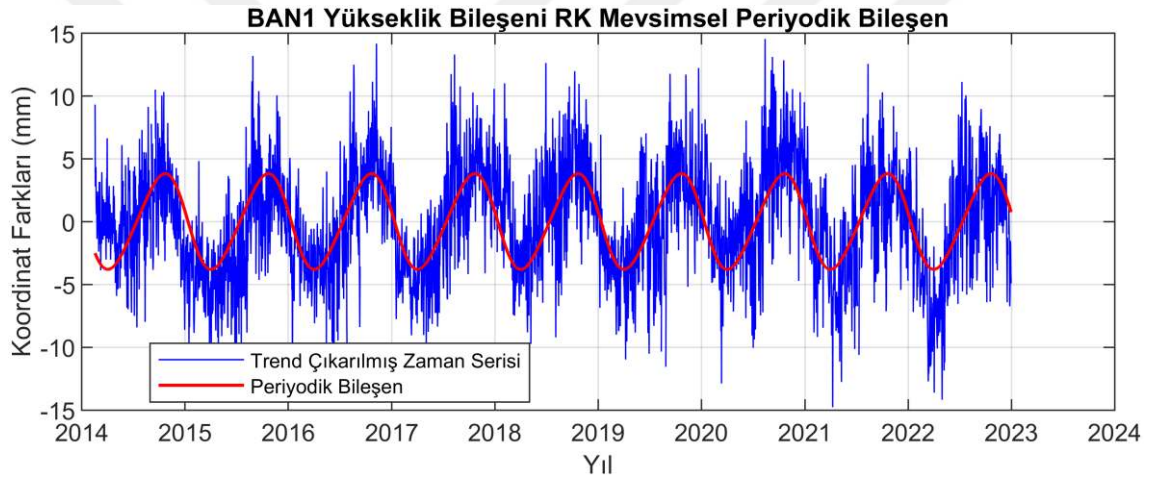
EK-3.5 BAN1 Doğu bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



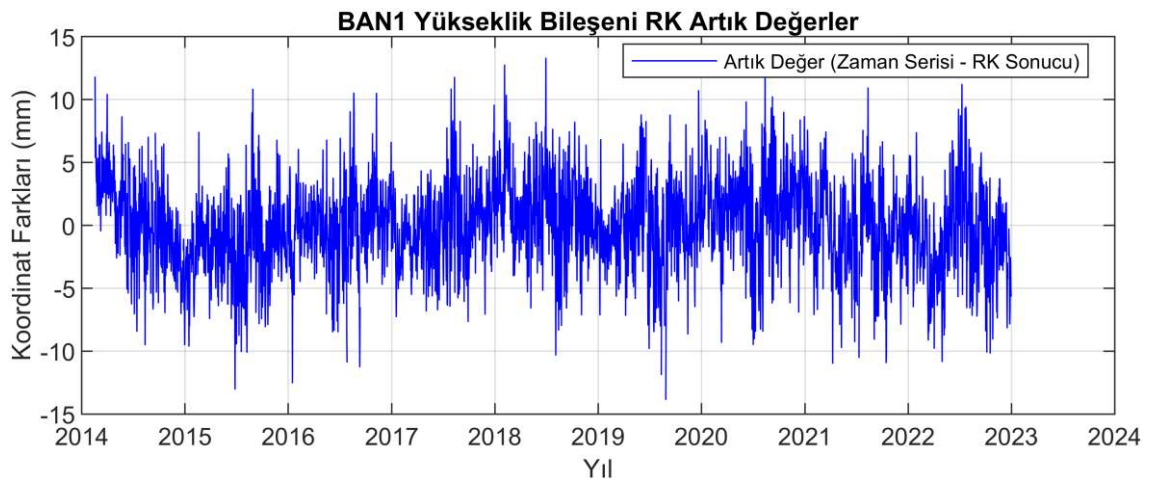
EK-3.6 BAN1 Doğu bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



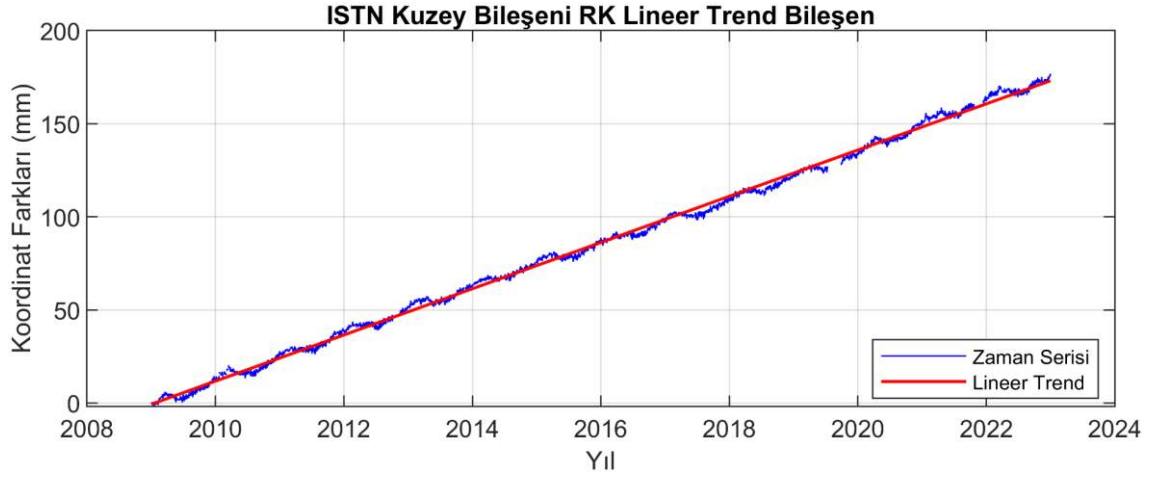
EK-3.7 BAN1 Yükseklik bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



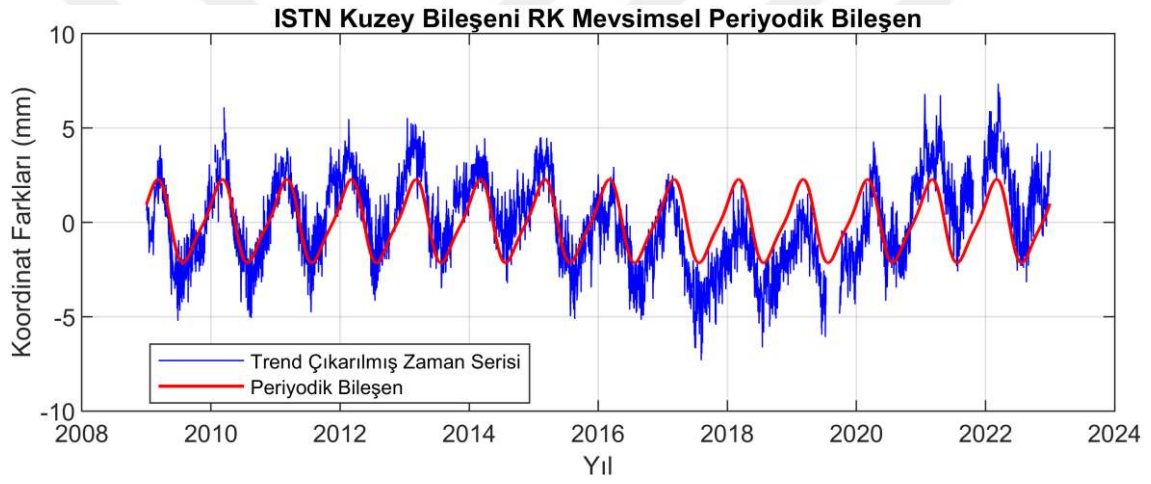
EK-3.8 BAN1 Yükseklik bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



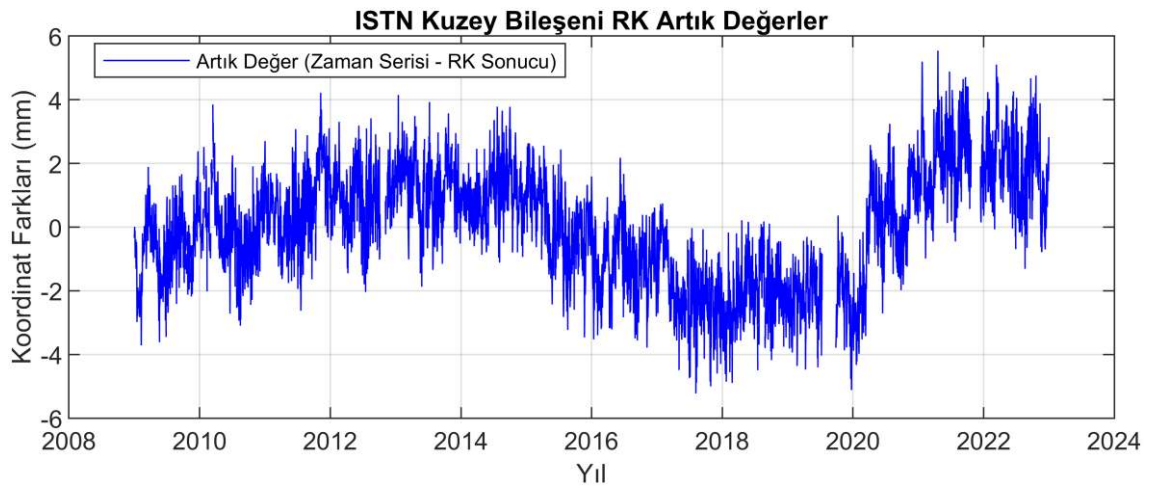
EK-3.9 BAN1 Yükseklik bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



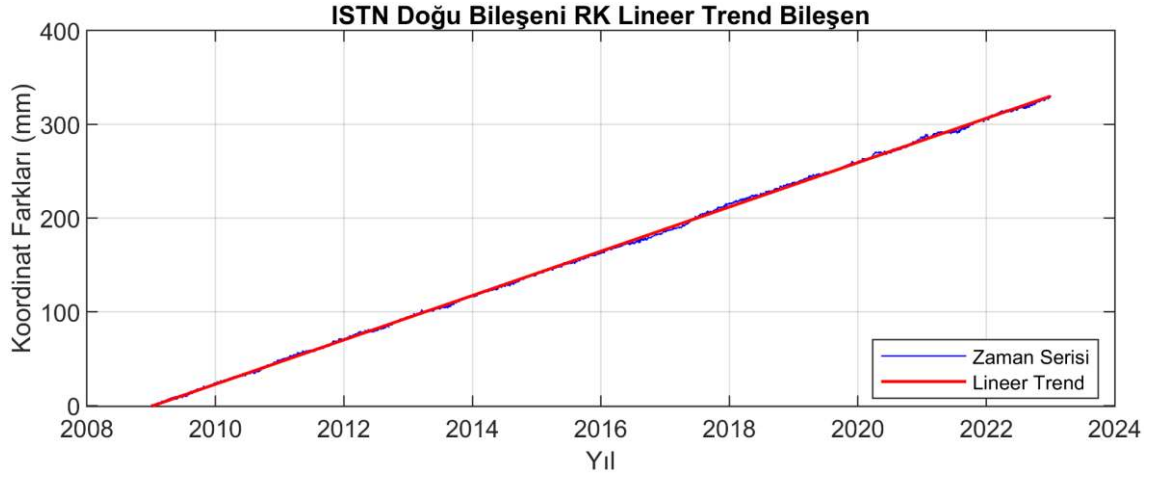
EK-3.10 ISTN Kuzey bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



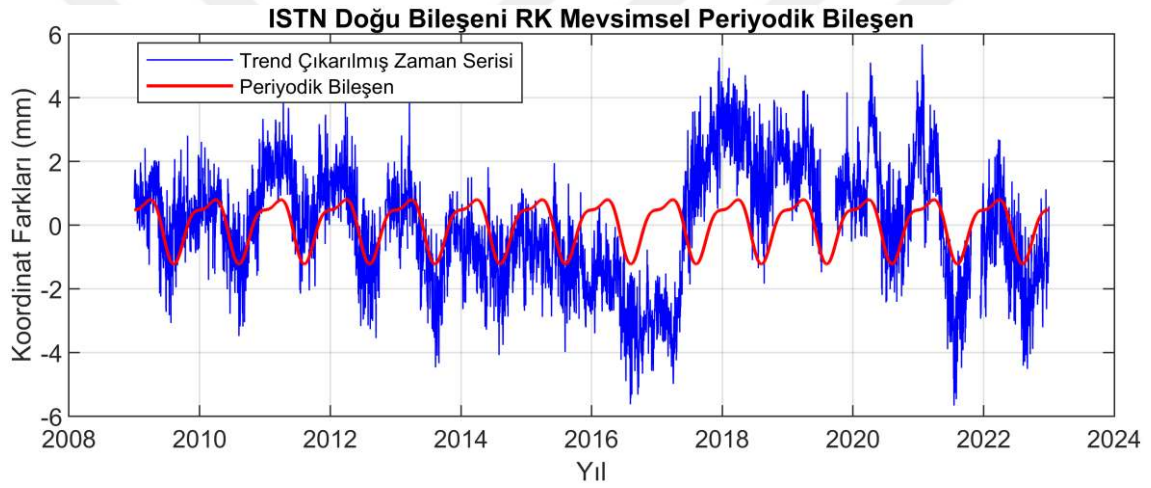
EK-3.11 ISTN Kuzey bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



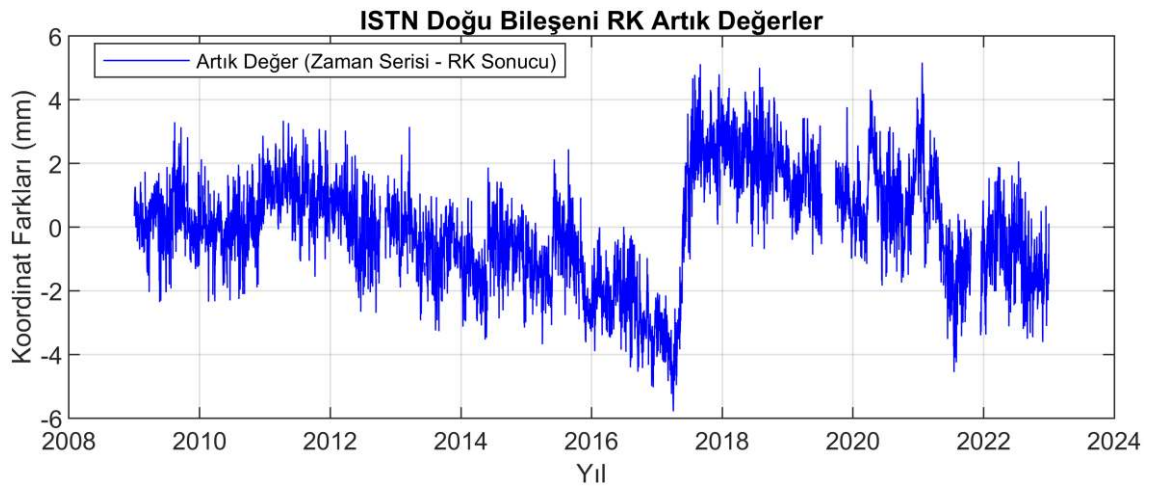
EK-3.12 ISTN Kuzey bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



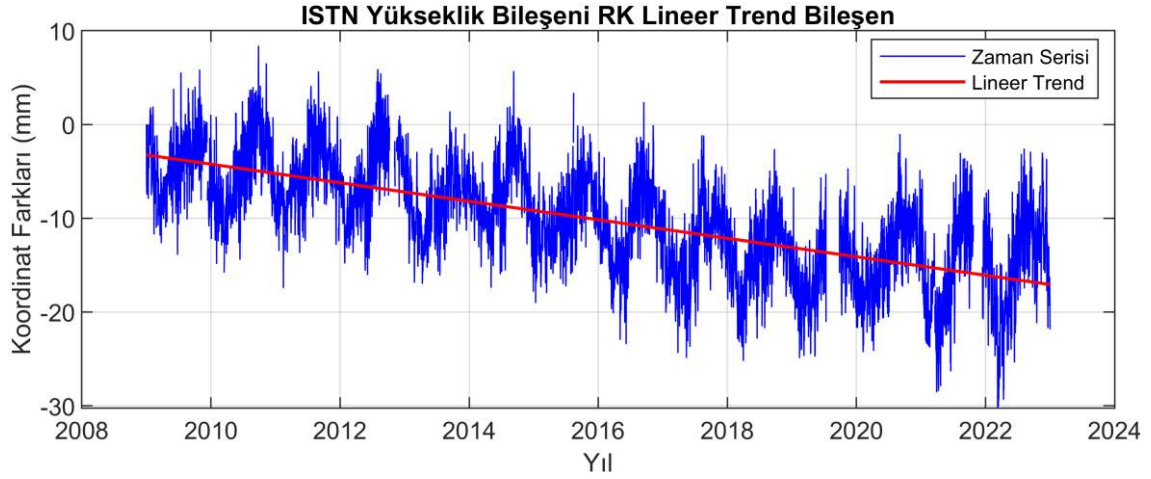
EK-3.13 ISTN Doğu bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



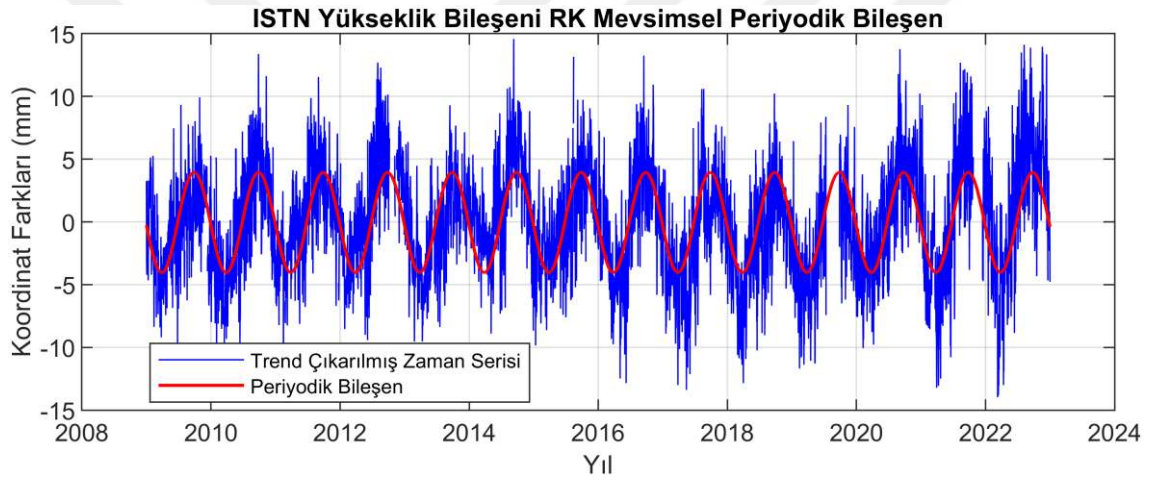
EK-3.14 ISTN Doğu bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



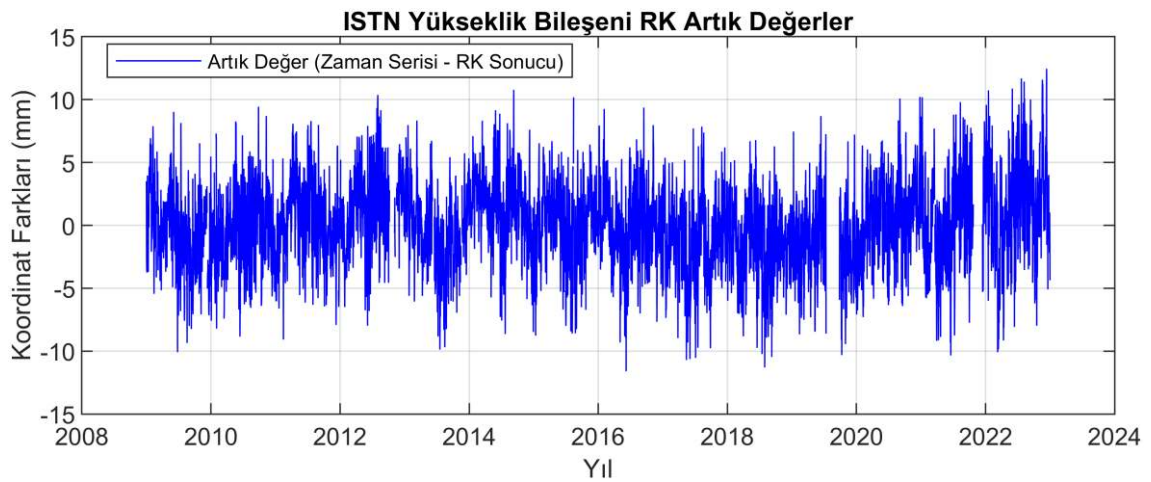
EK-3.15 ISTN Doğu bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



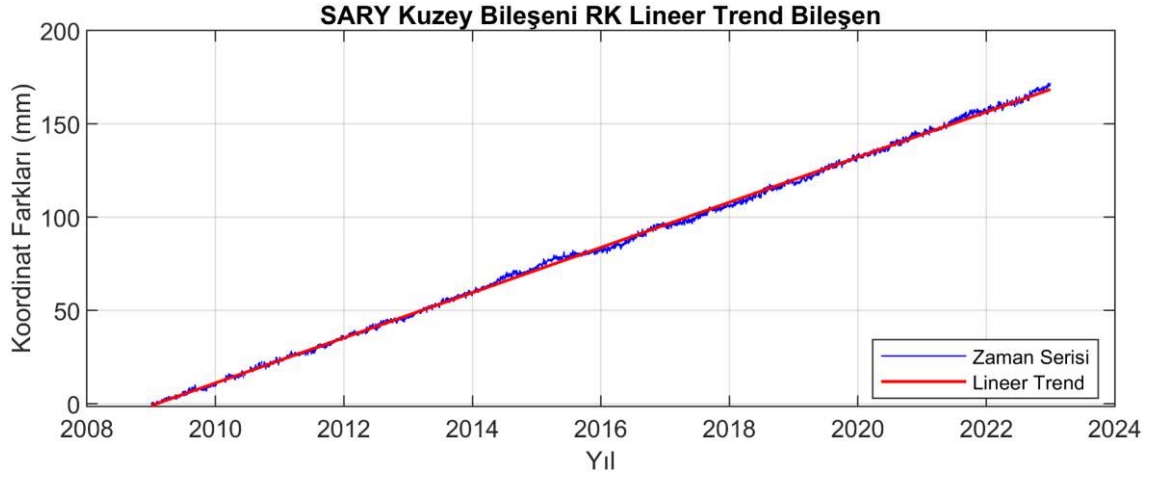
EK-3.16 ISTN Yükseklik bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



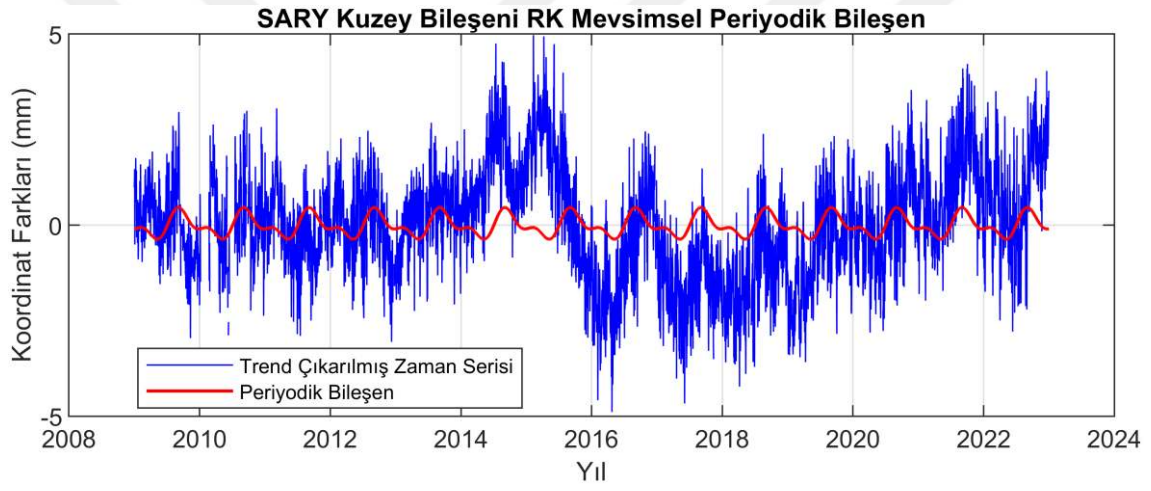
EK-3.17 ISTN Yükseklik bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



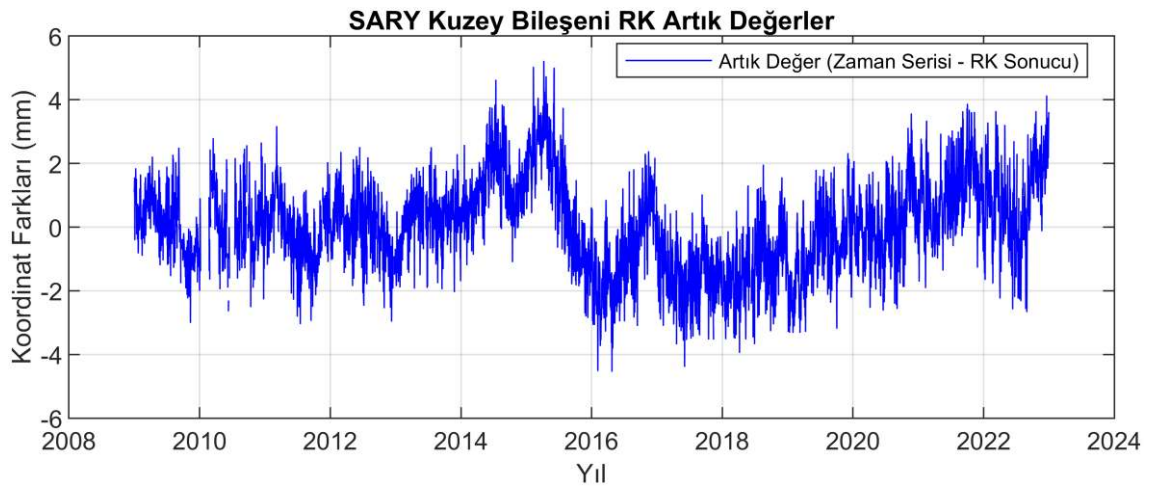
EK-3.18 ISTN Yükseklik bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



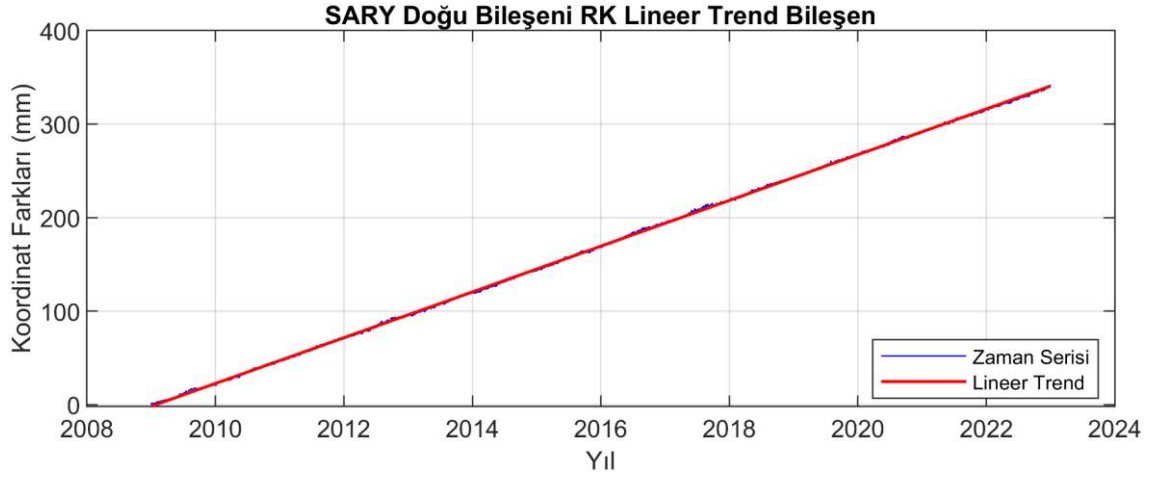
EK-3.19 SARY Kuzey bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



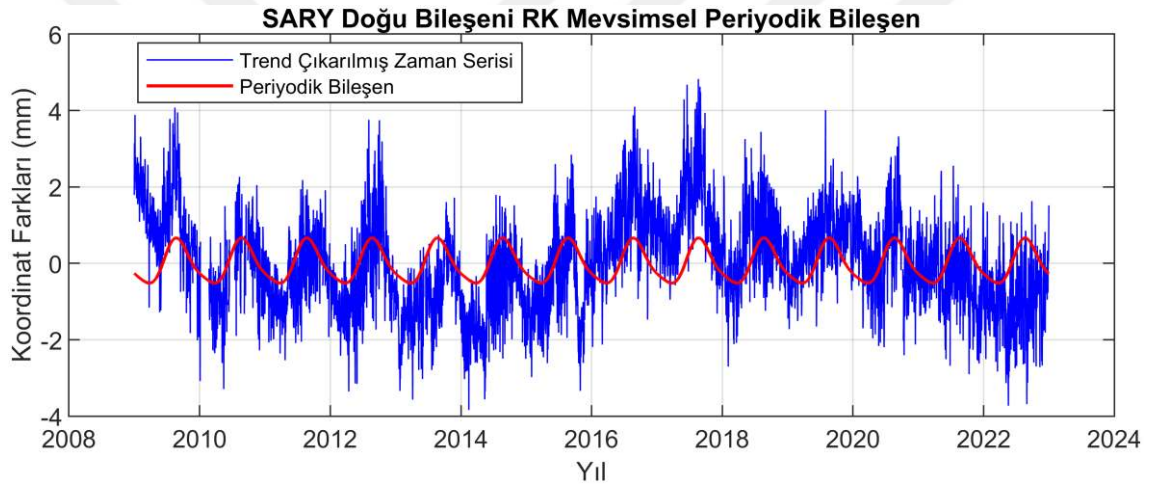
EK-3.20 SARY Kuzey bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



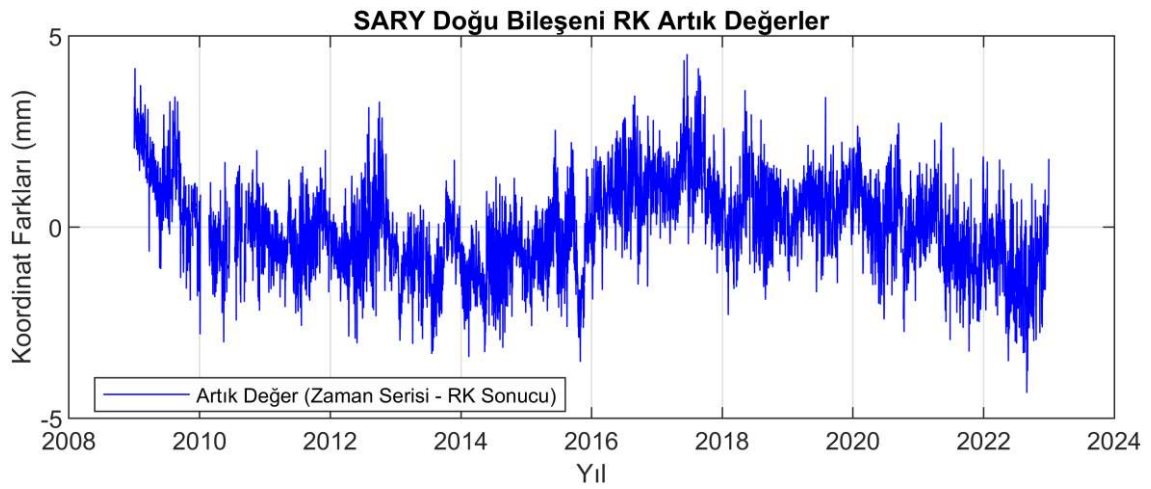
EK-3.21 SARY Kuzey bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



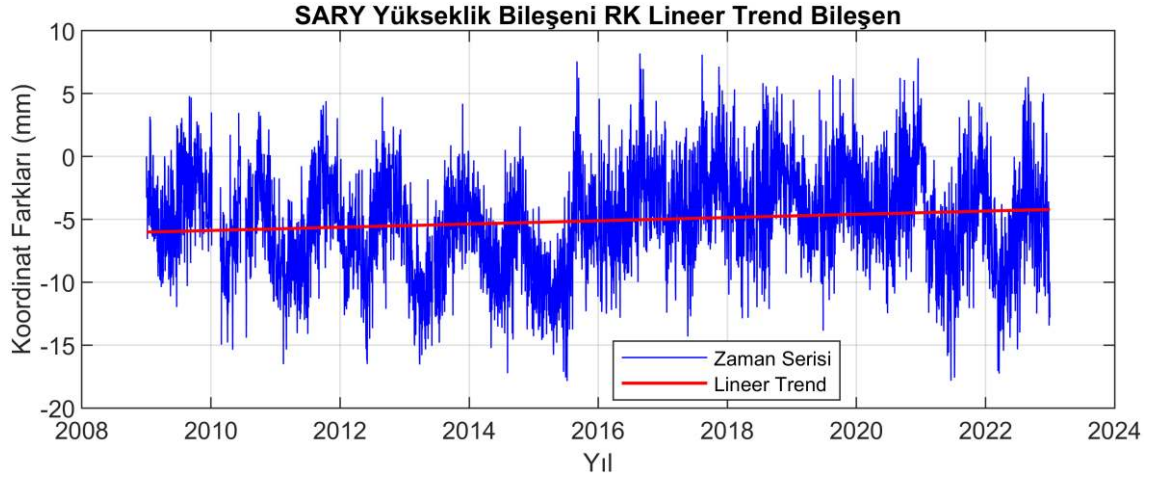
EK-3.22 SARY Doğu bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



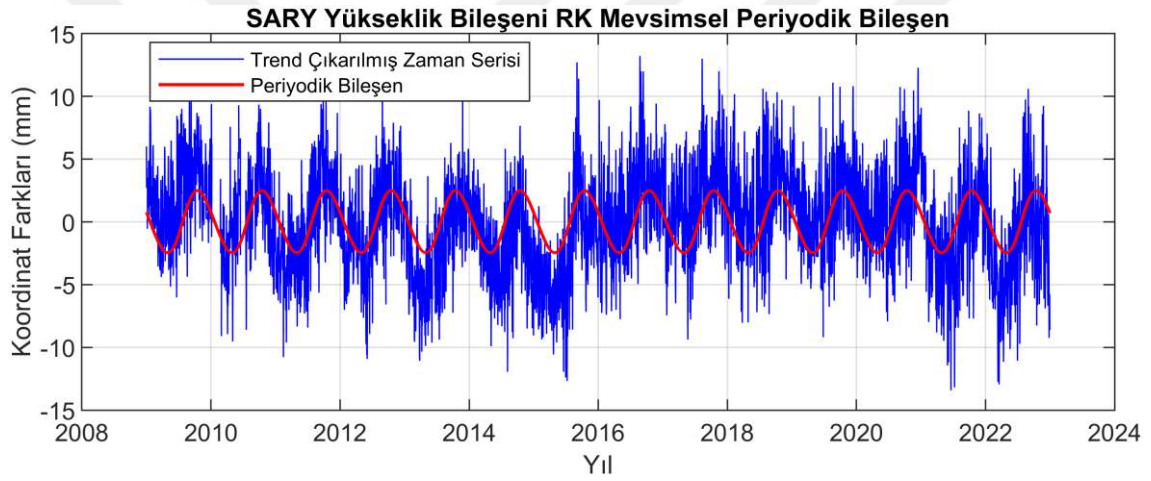
EK-3.23 SARY Doğu bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



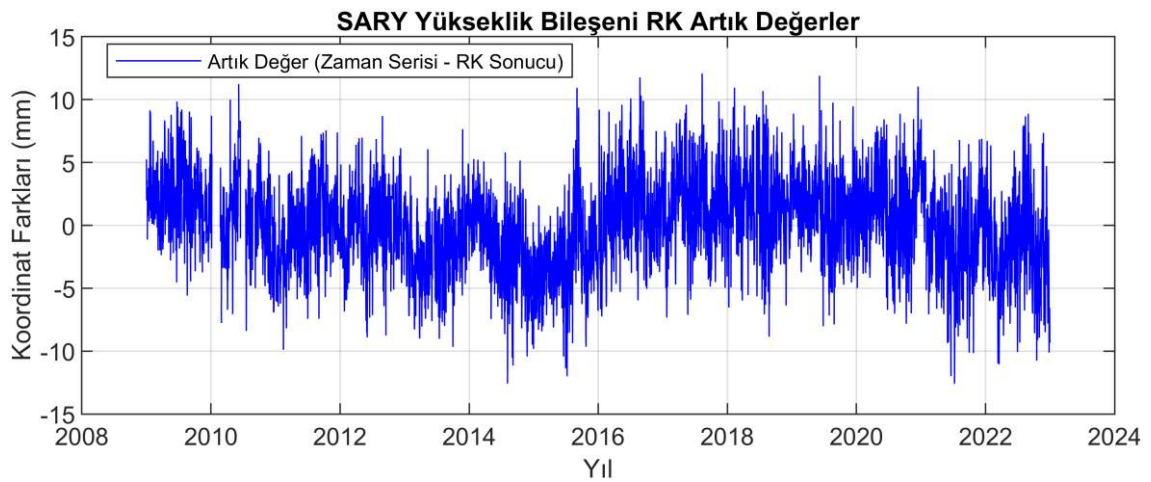
EK-3.24 SARY Doğu bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



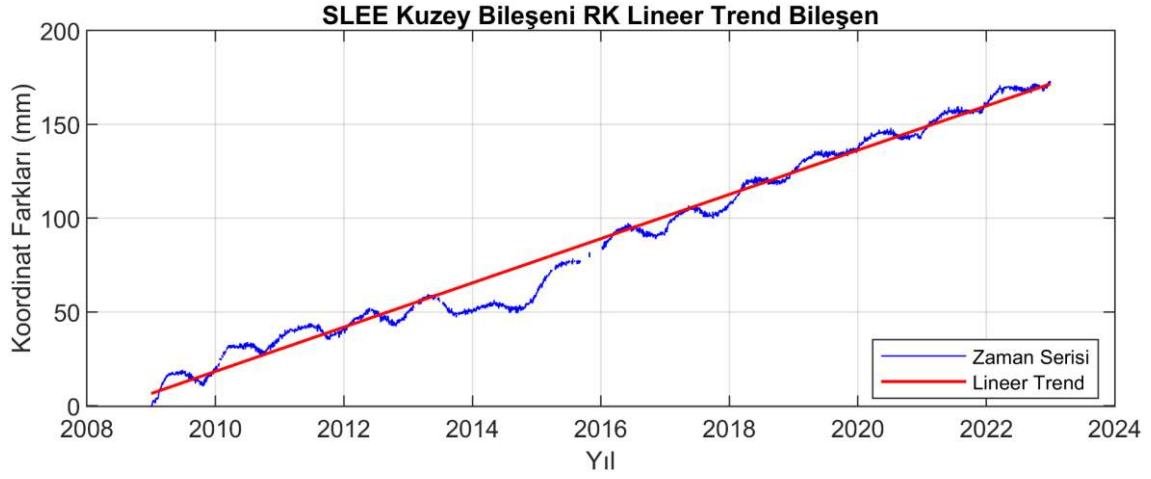
EK-3.25 SARY Yükseklik bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



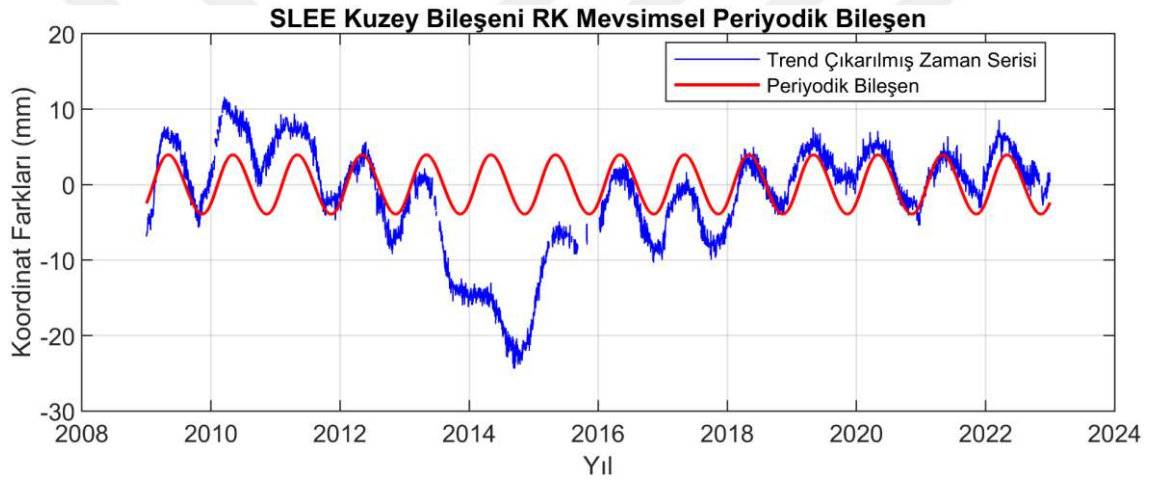
EK-3.26 SARY Yükseklik bileşen trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



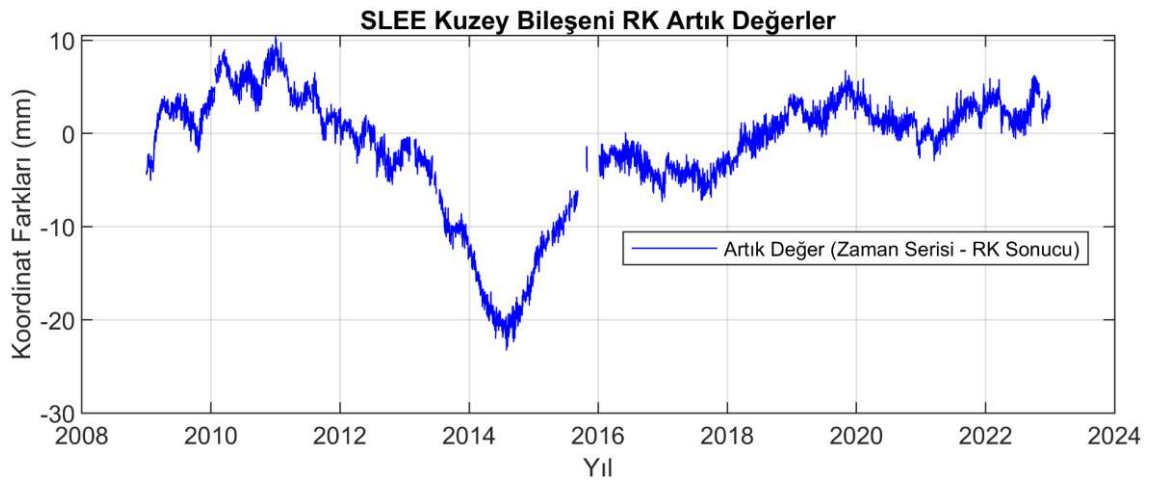
EK-3.27 SARY Yükseklik bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



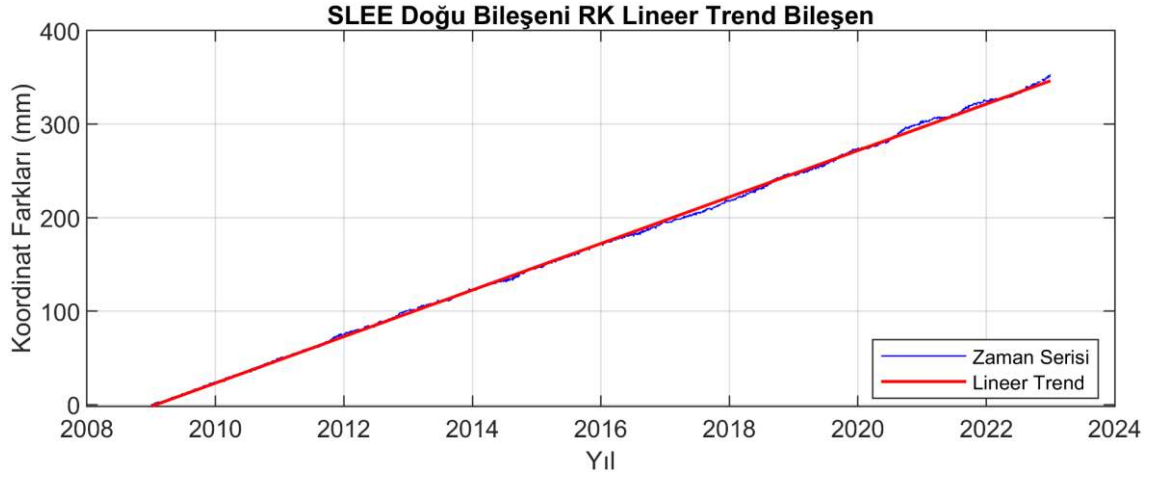
EK-3.28 SLEE Kuzey bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



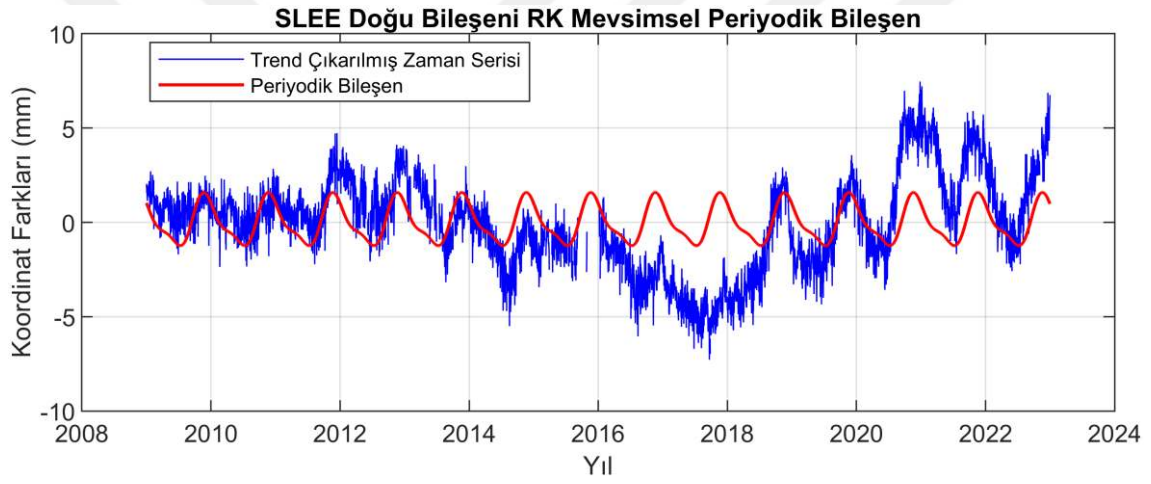
EK-3.29 SLEE Kuzey bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



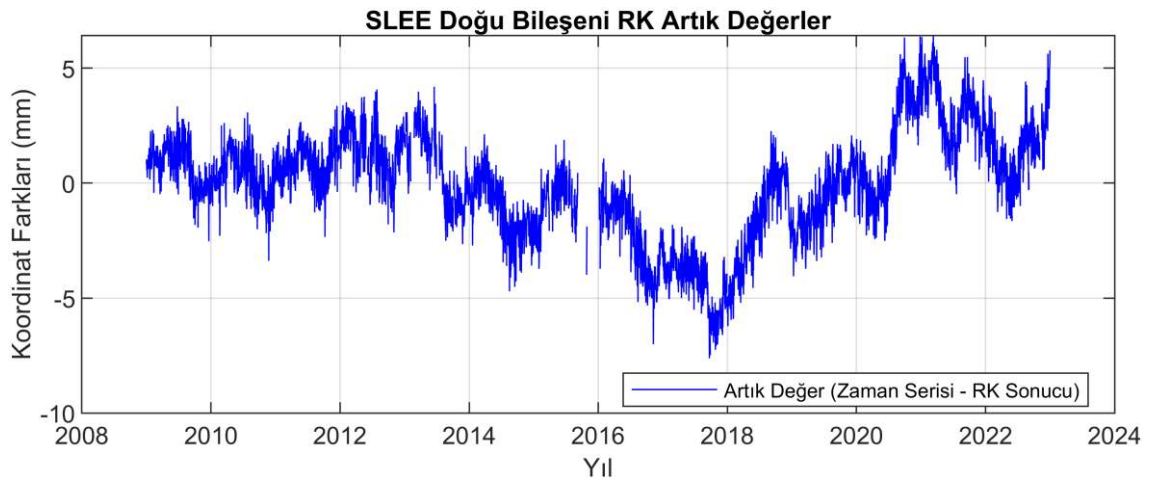
EK-3.30 SLEE Kuzey bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



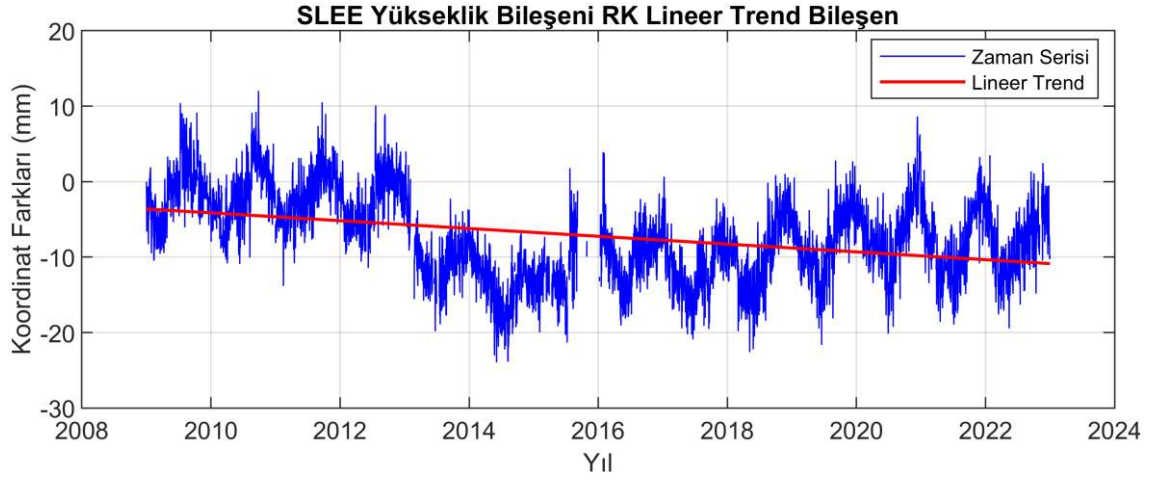
EK-3.31 SLEE Doğu bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



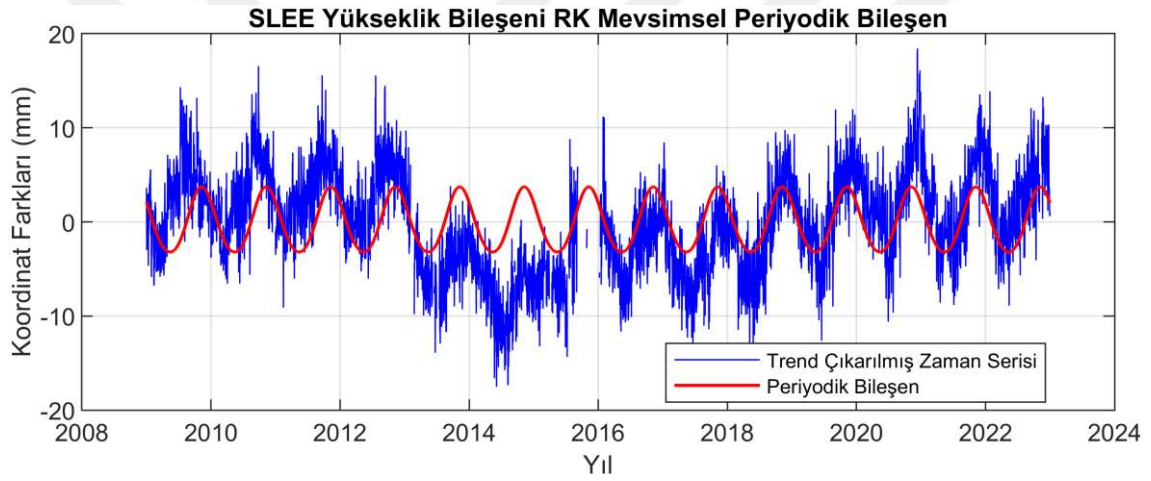
EK-3.32 SLEE Doğu bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



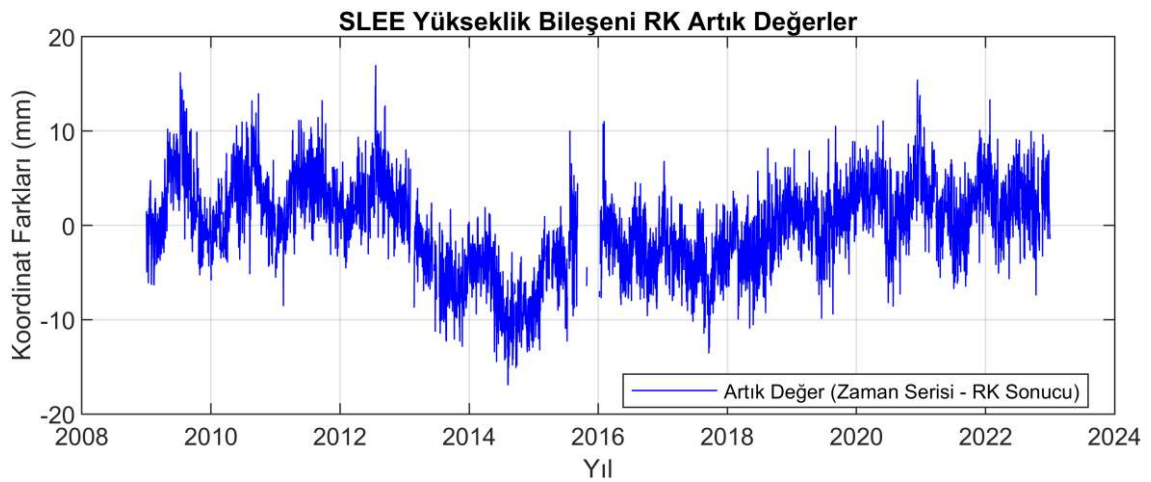
EK-3.33 SLEE Doğu bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



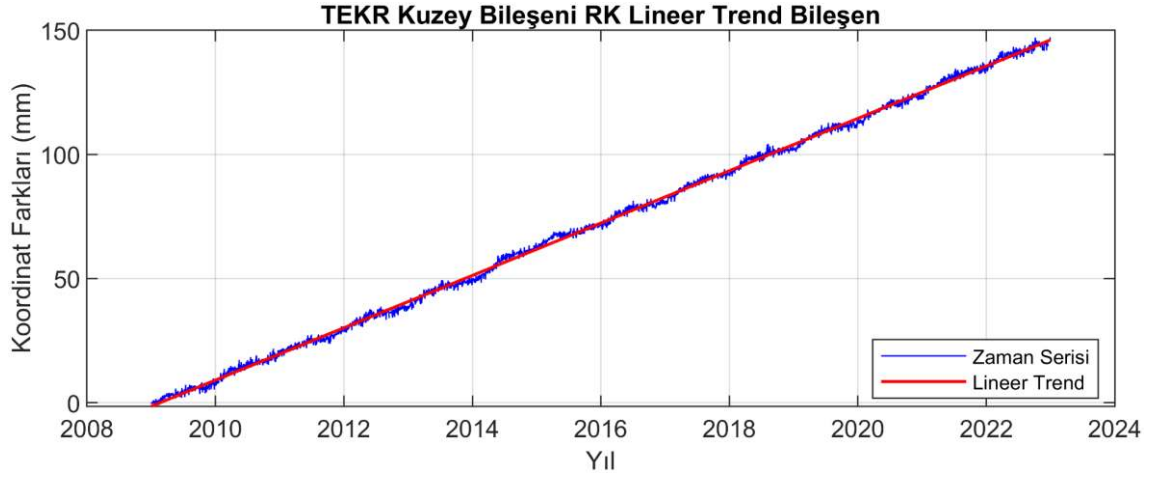
EK-3.34 SLEE Yükseklik bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



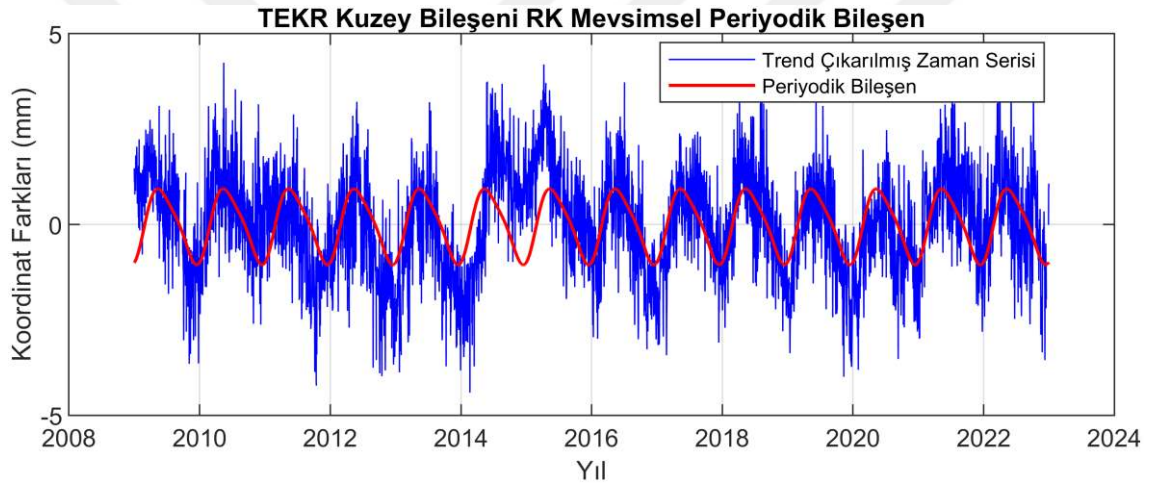
EK-3.35 SLEE Yükseklik bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



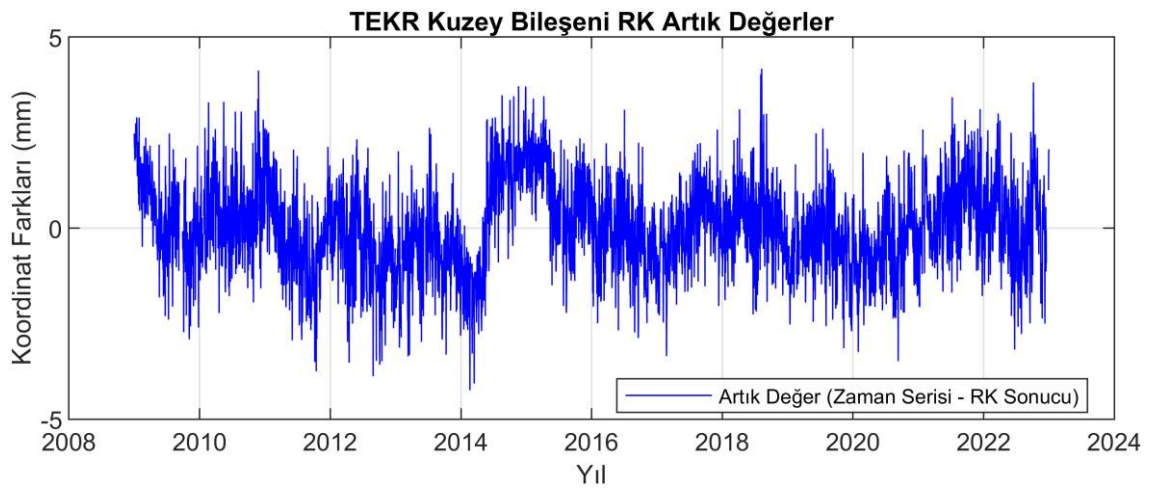
EK-3.36 SLEE Yükseklik bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



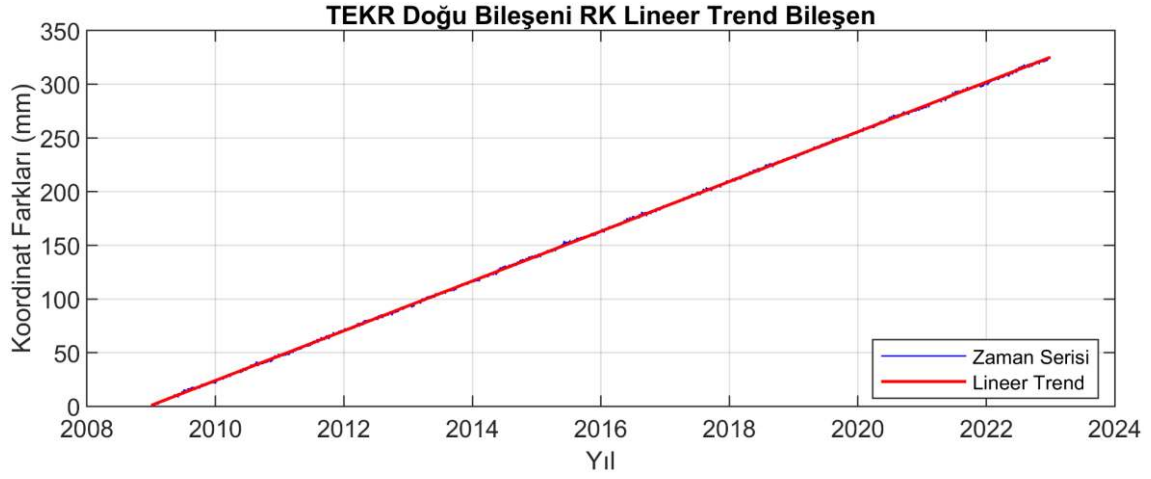
EK-3.37 TEKR Kuzey bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



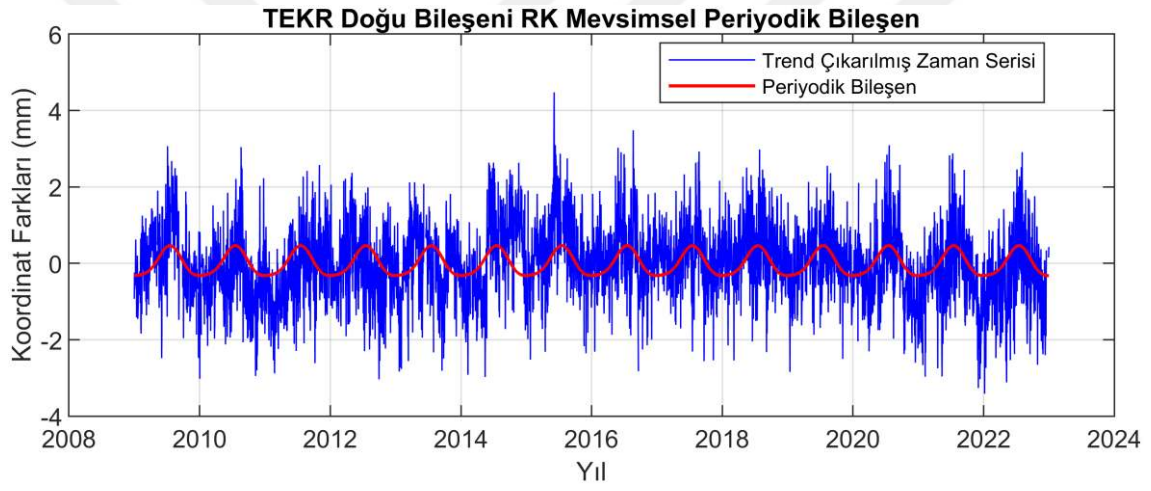
EK-3.38 TEKR Kuzey bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



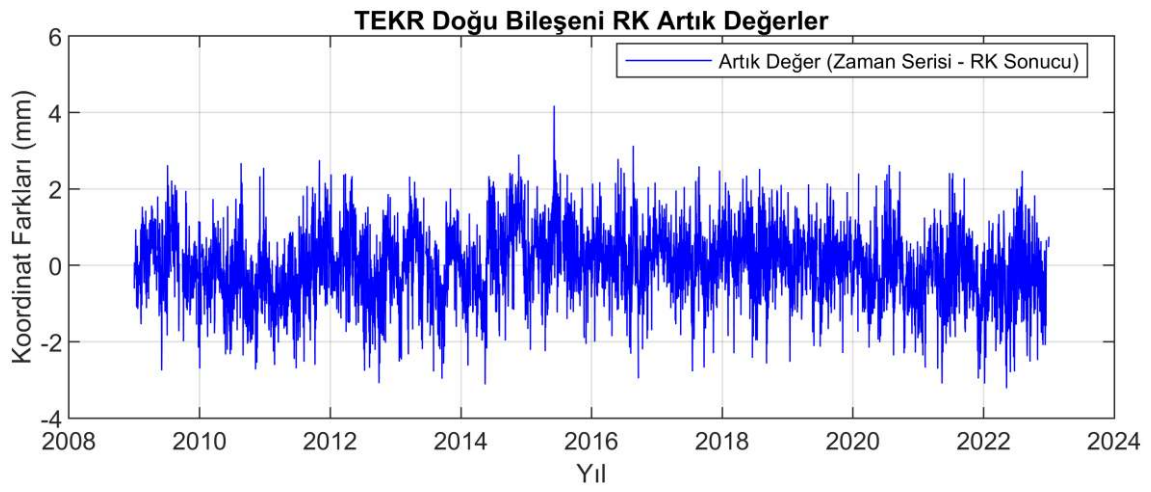
EK-3.39 TEKR Kuzey bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



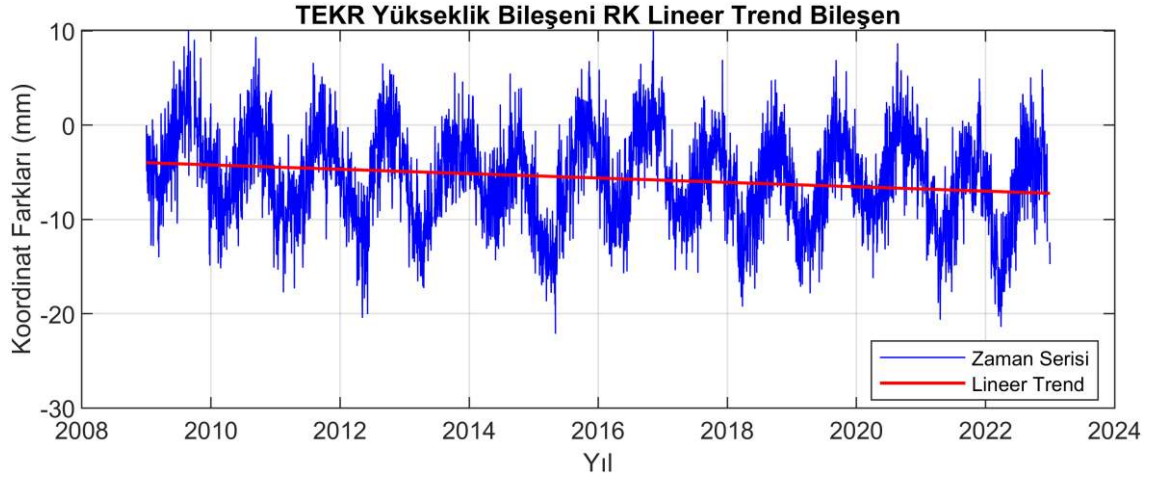
EK-3.40 TEKR Doğu bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.



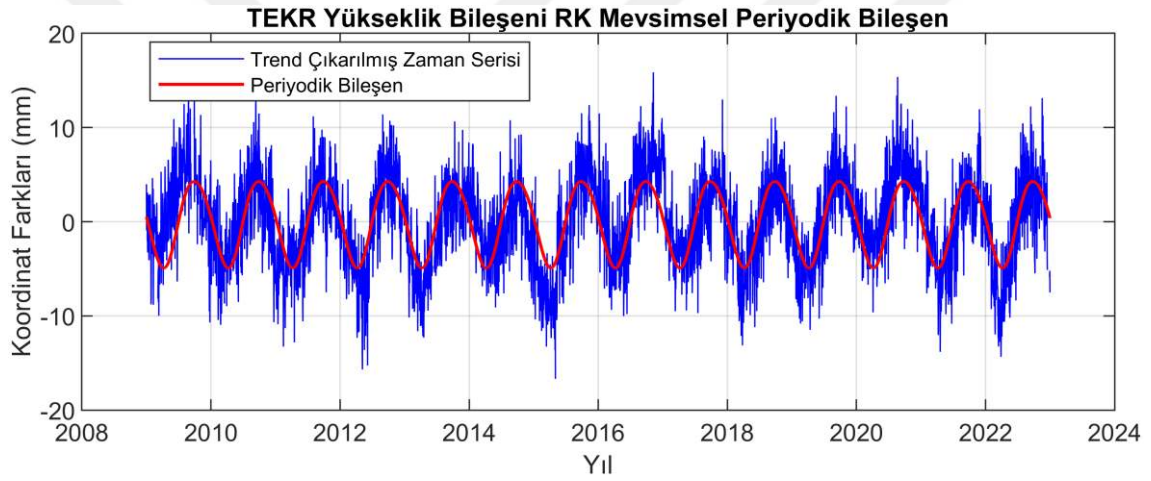
EK-3.41 TEKR Doğu bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.



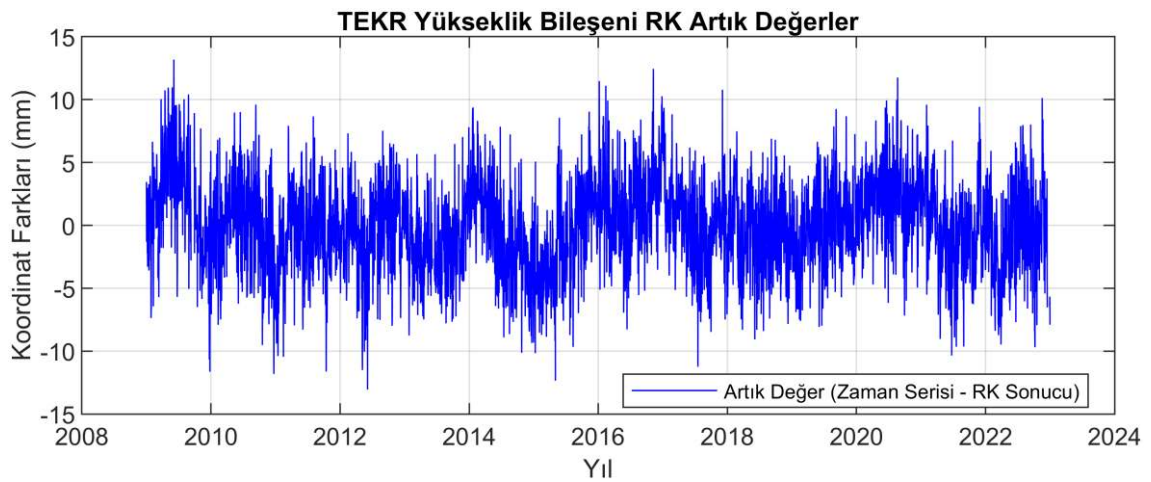
EK-3.42 TEKR Doğu bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).



EK-3.43 TEKR Yükseklik bileşeni orijinal zaman serisi ve RK lineer trend.

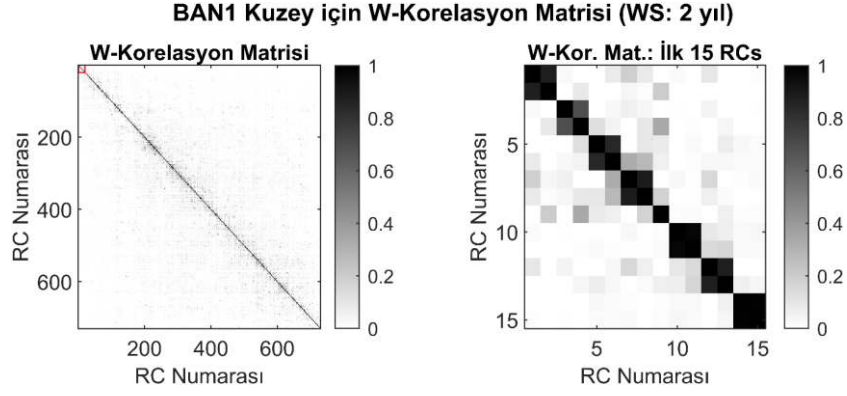


EK-3.44 TEKR Yükseklik bileşeni trend çıkarılmış zaman serisi ve RK mevsimsel periyodik etki.

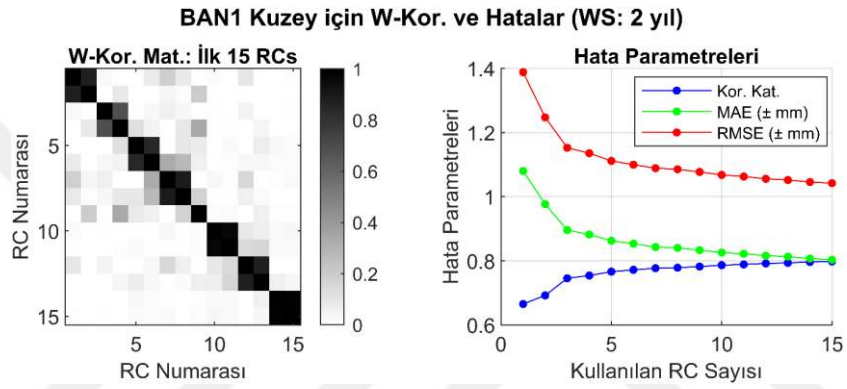


EK-3.45 TEKR Yükseklik bileşeni artık değerler (orijinal zaman serisi-RK Sonucu).

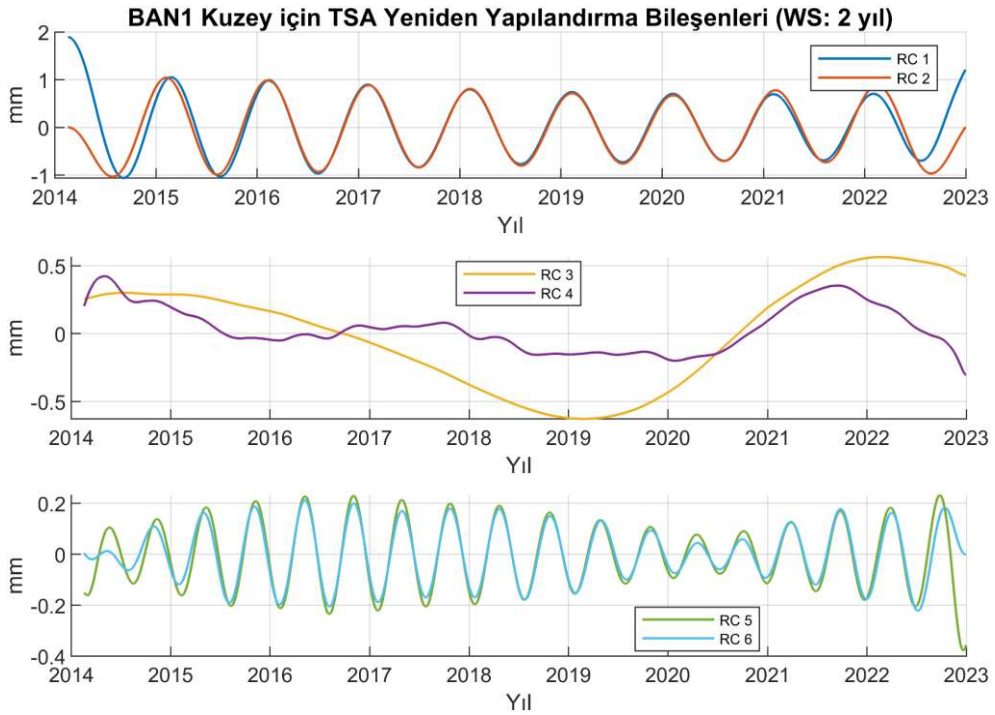
EK-4
TEKİL SPEKTRUM ANALİZİ SONUÇLARI



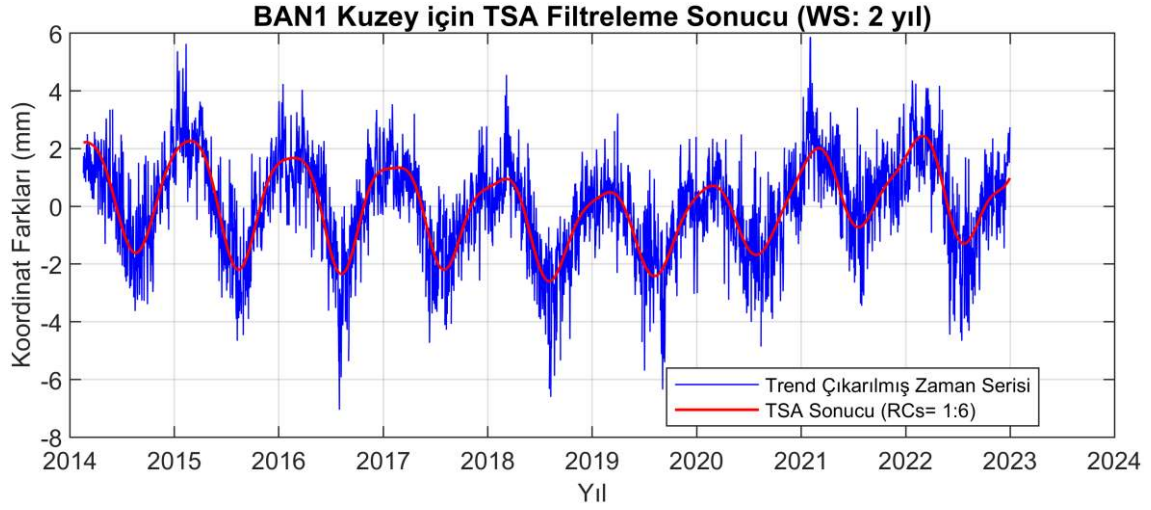
EK-4.1 BAN1 Kuzey için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



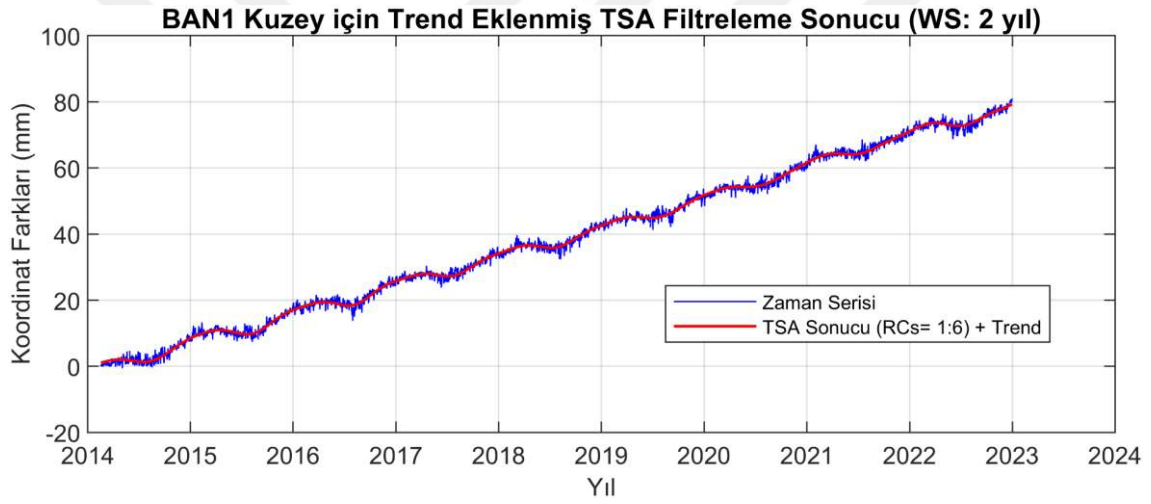
EK-4.2 BAN1 Kuzey için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



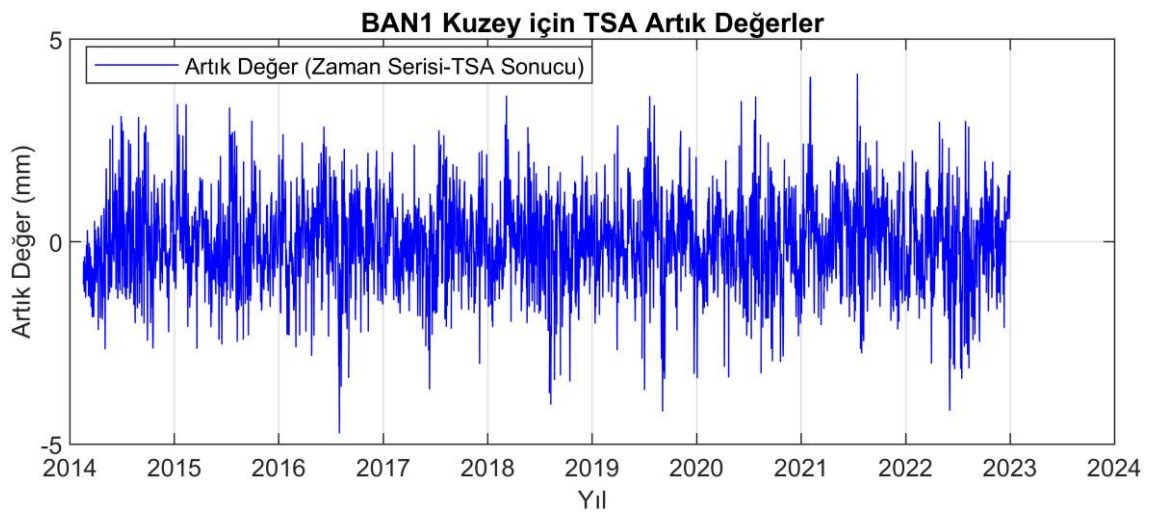
EK-4.3 BAN1 Kuzey için TSA sonucu seçilen RC'ler.



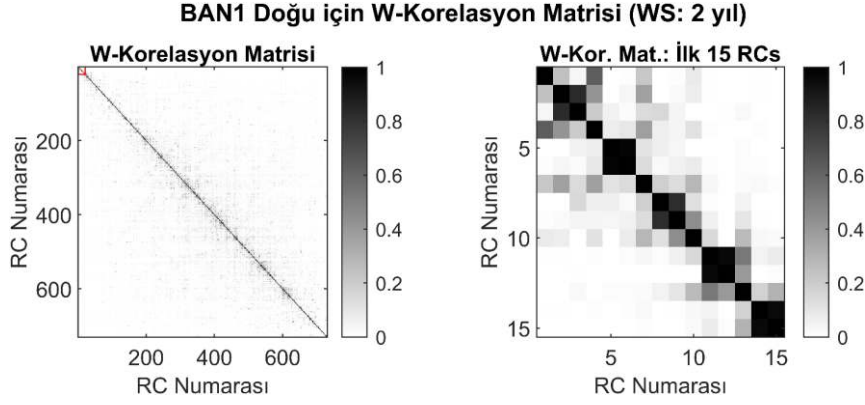
EK-4.4 BAN1 Kuzey trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



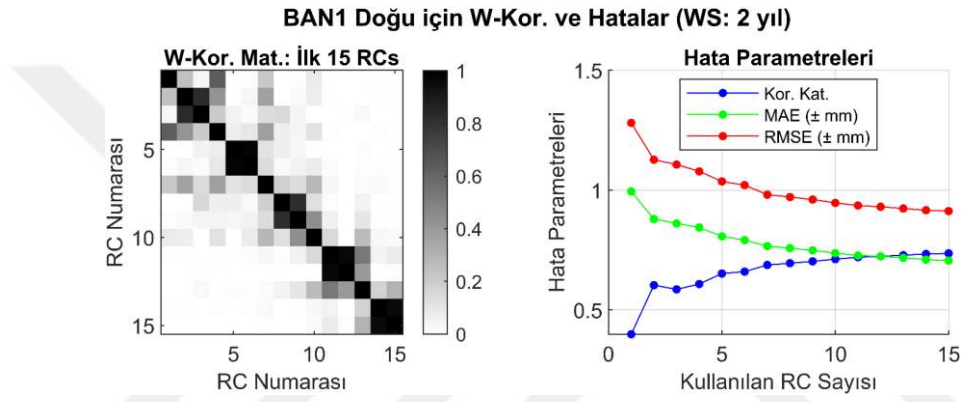
EK-4.5 BAN1 Kuzey orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



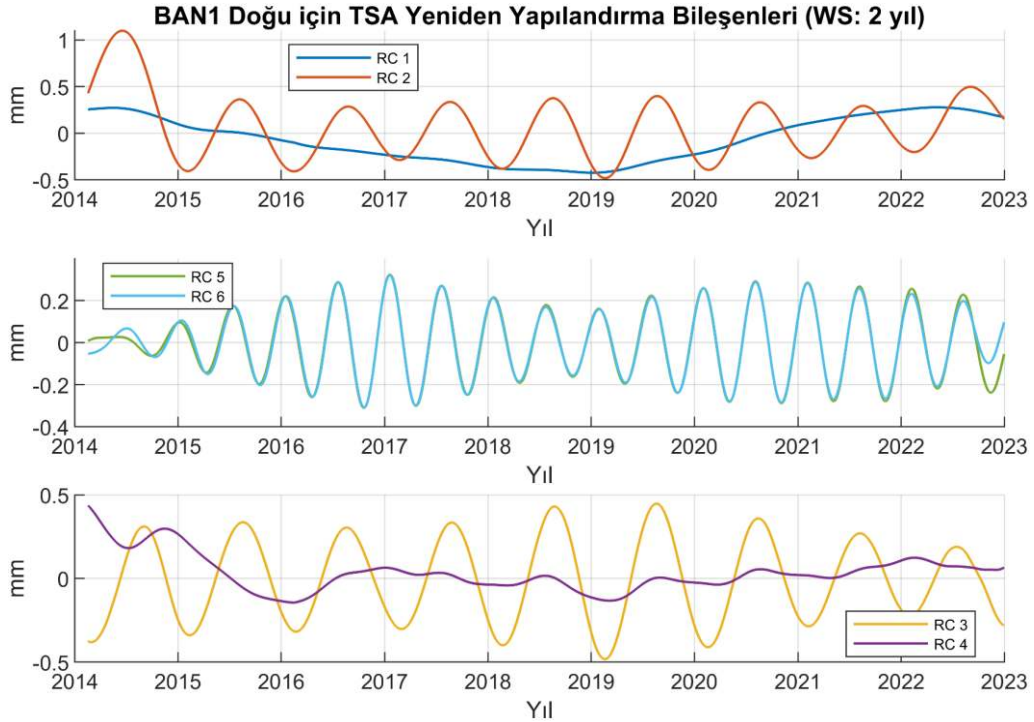
EK-4.6 BAN1 için Kuzey artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



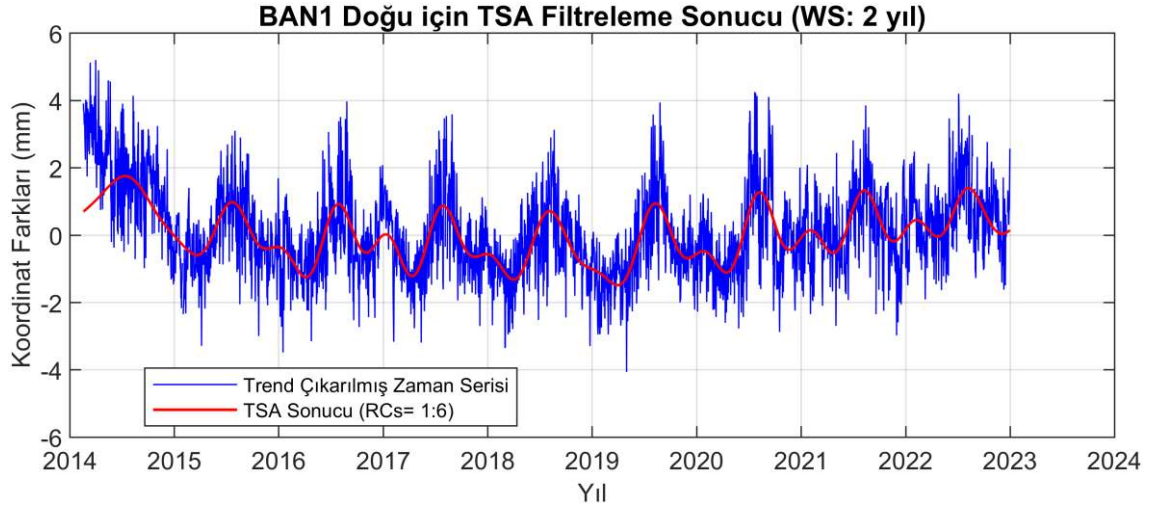
EK-4.7 BAN1 Doğu için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



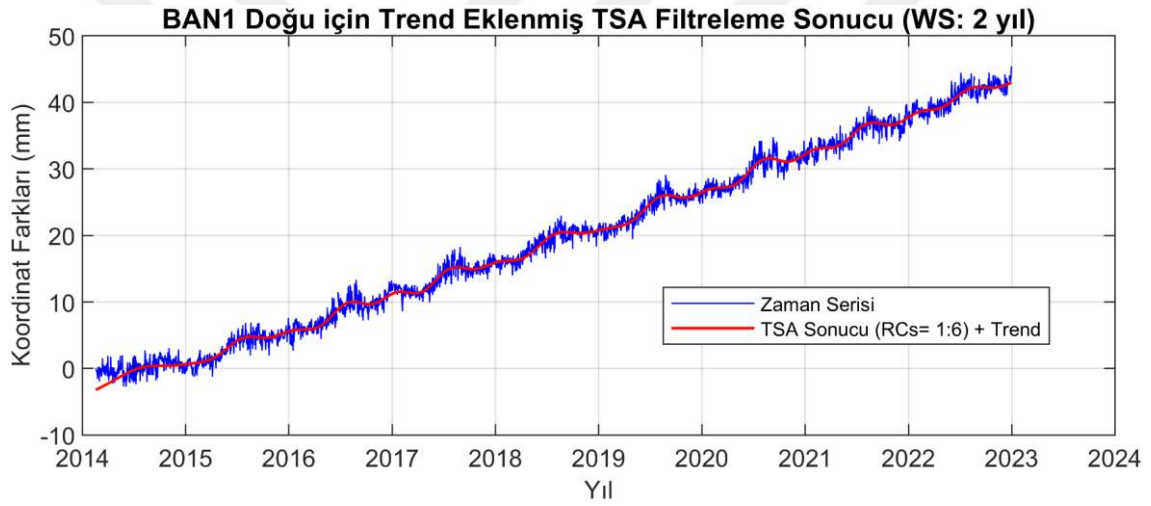
EK-4.8 BAN1 Doğu için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



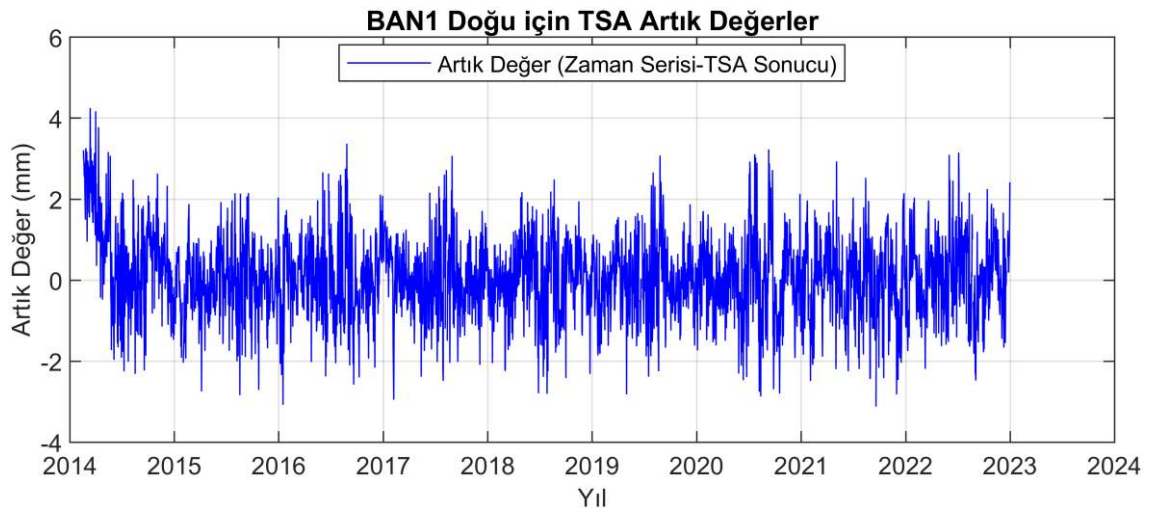
EK-4.9 BAN1 Doğu için TSA sonucu seçilen RC'ler.



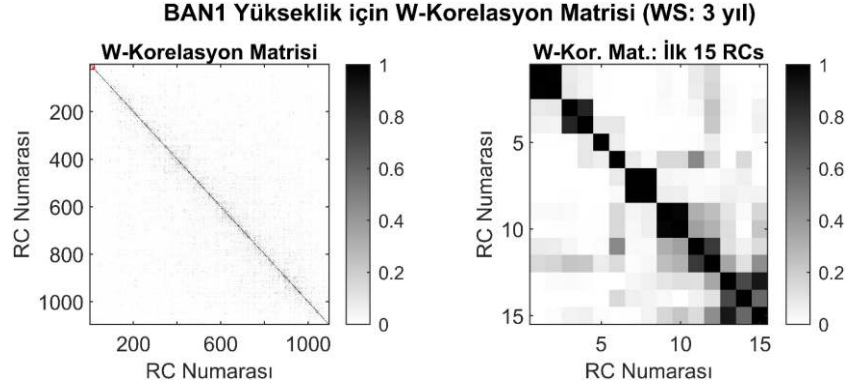
EK-4.10 BAN1 Doğu trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



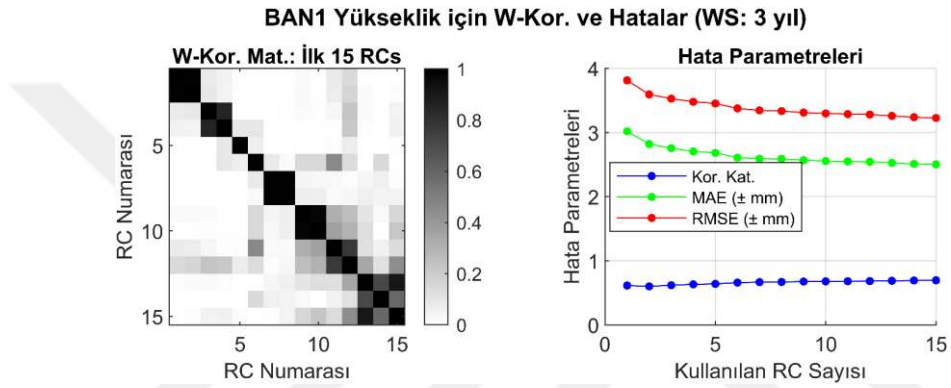
EK-4.11 BAN1 Doğu orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



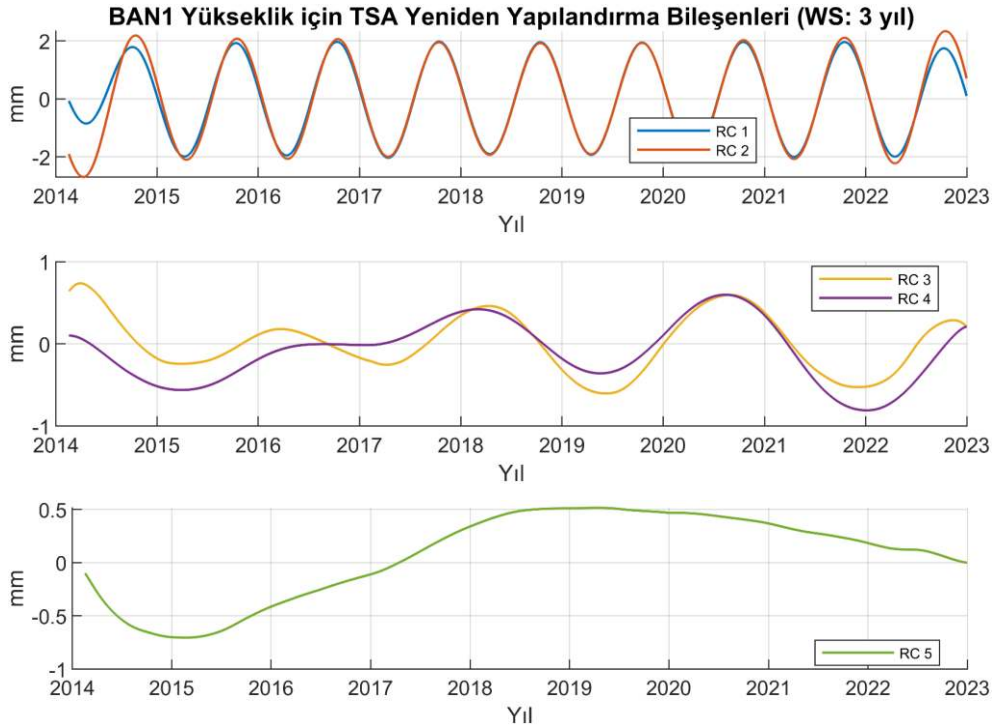
EK-4.12 BAN1 için Doğu artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



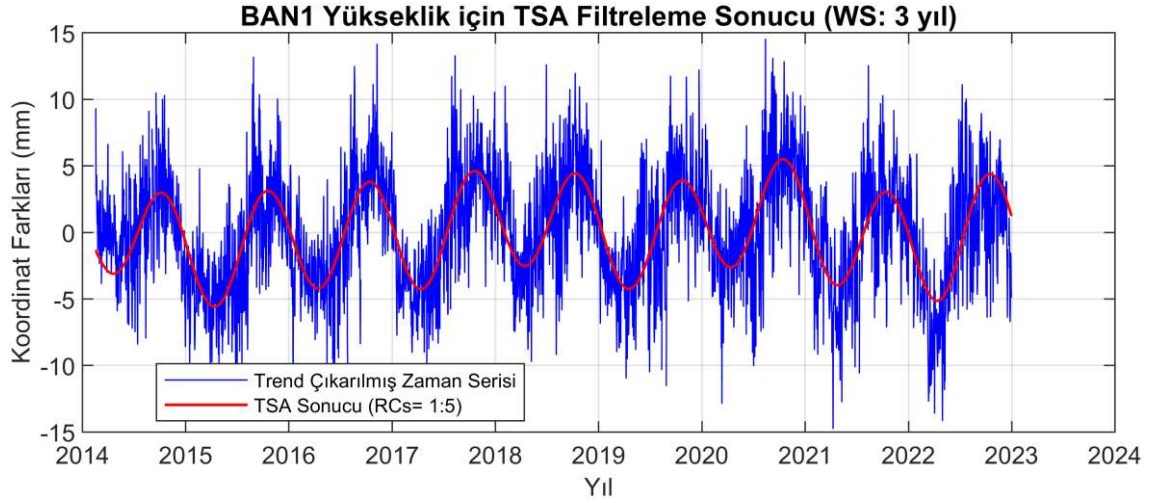
EK-4.13 BAN1 Yükseklik için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



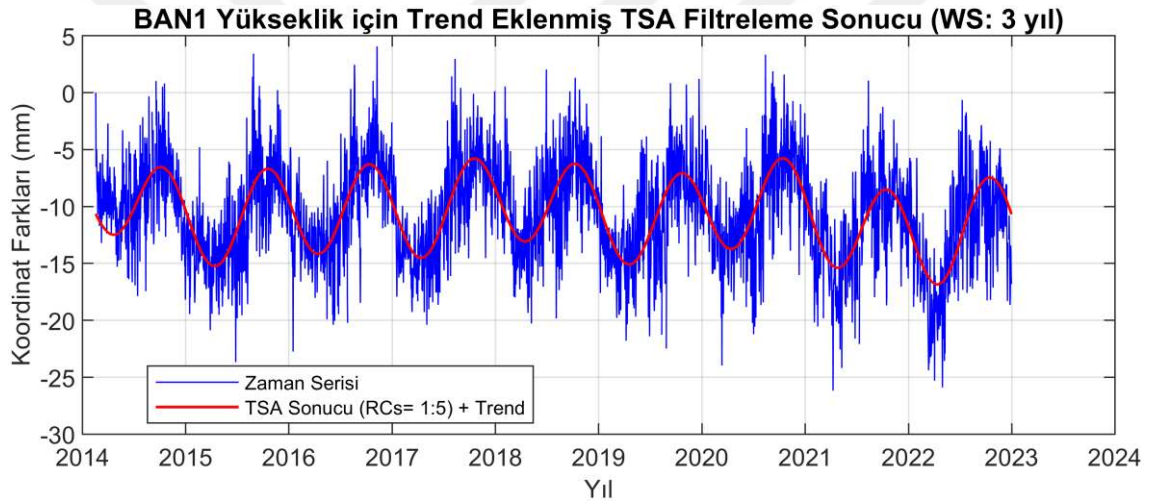
EK-4.14 BAN1 Yükseklik için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



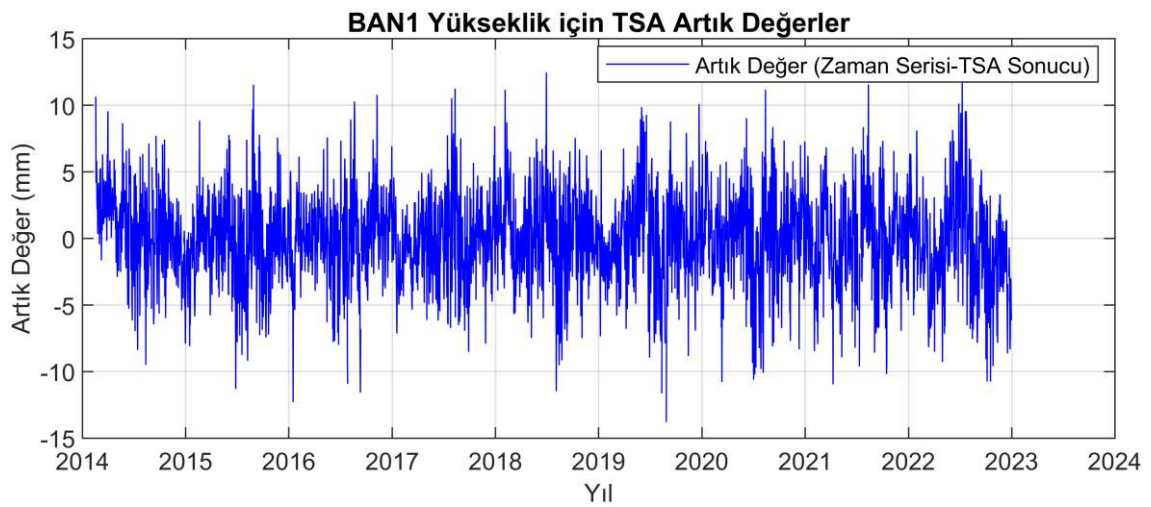
EK-4.15 BAN1 Yükseklik için TSA sonucu seçilen RC'ler.



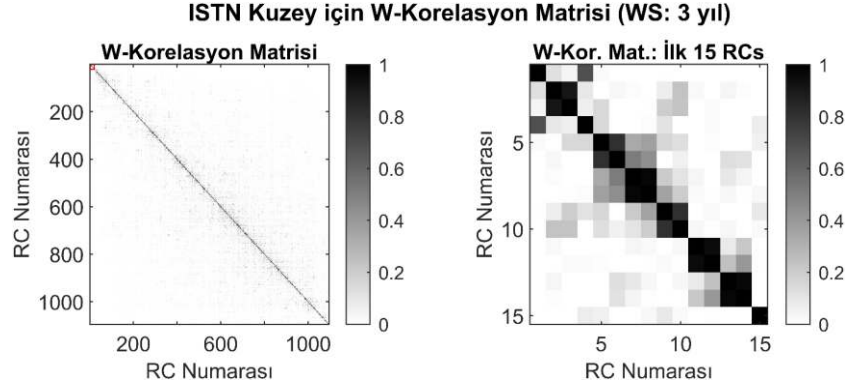
EK-4.16 BAN1 Yükseklik trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



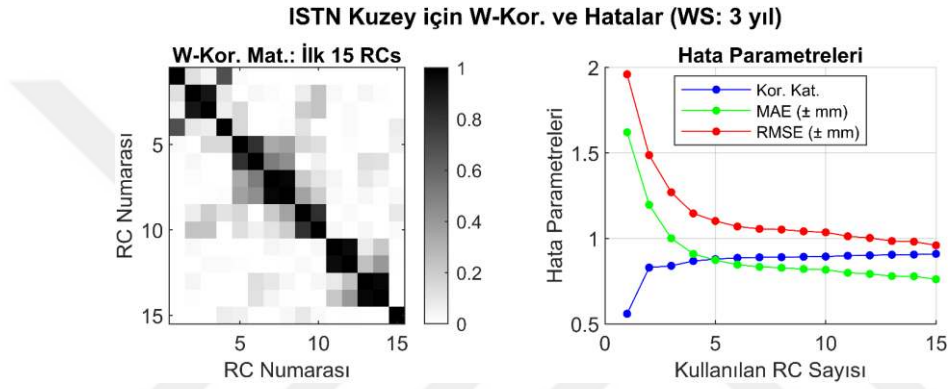
EK-4.17 BAN1 Yükseklik orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



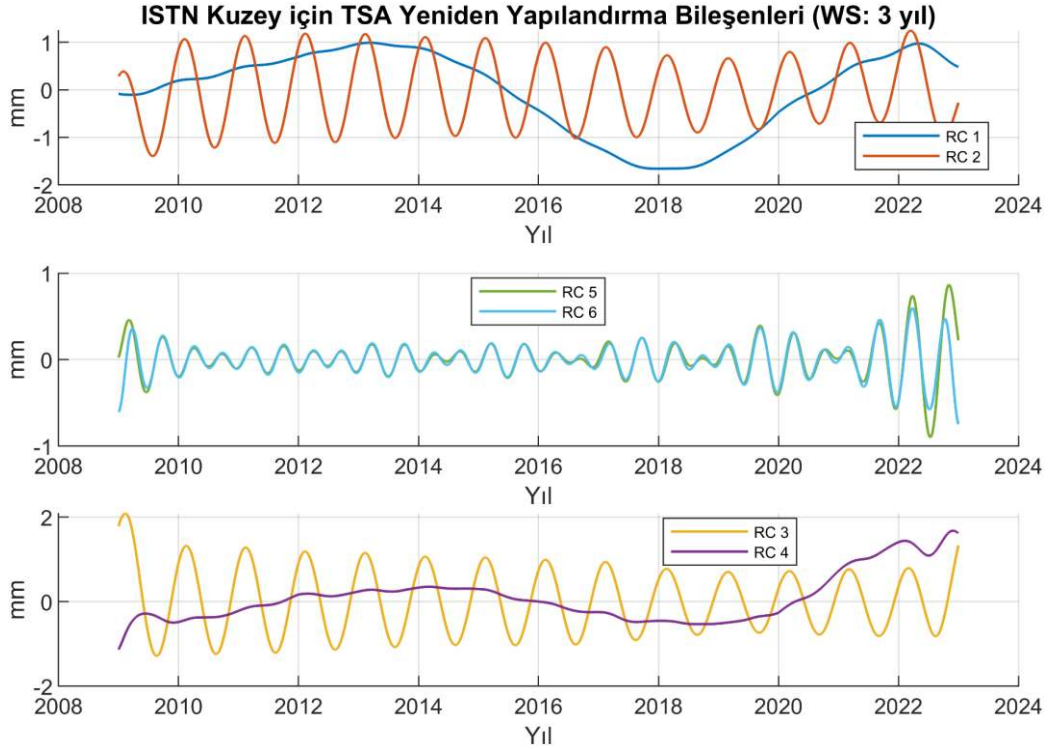
EK-4.18 BAN1 için Yükseklik artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



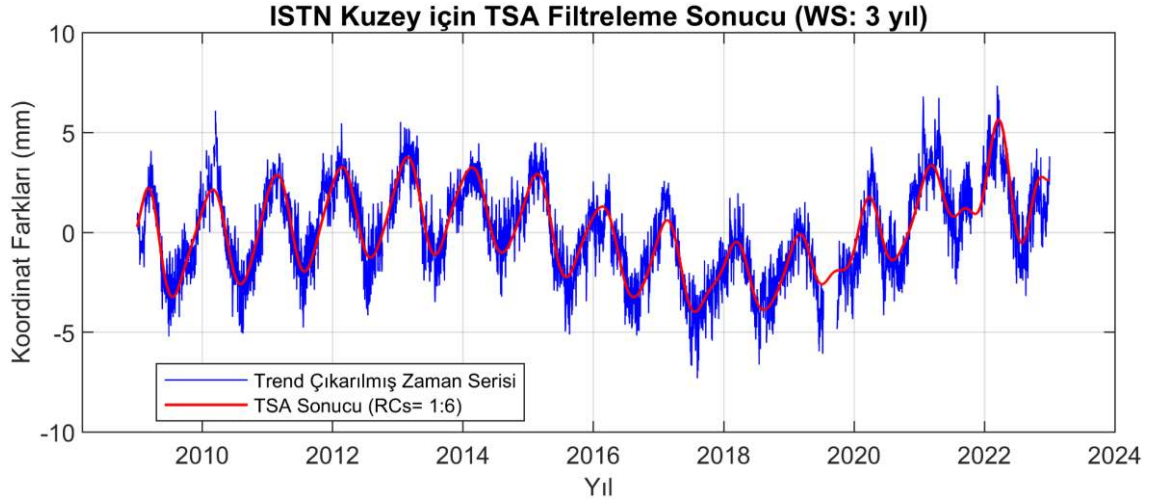
EK-4.19 ISTN Kuzey için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



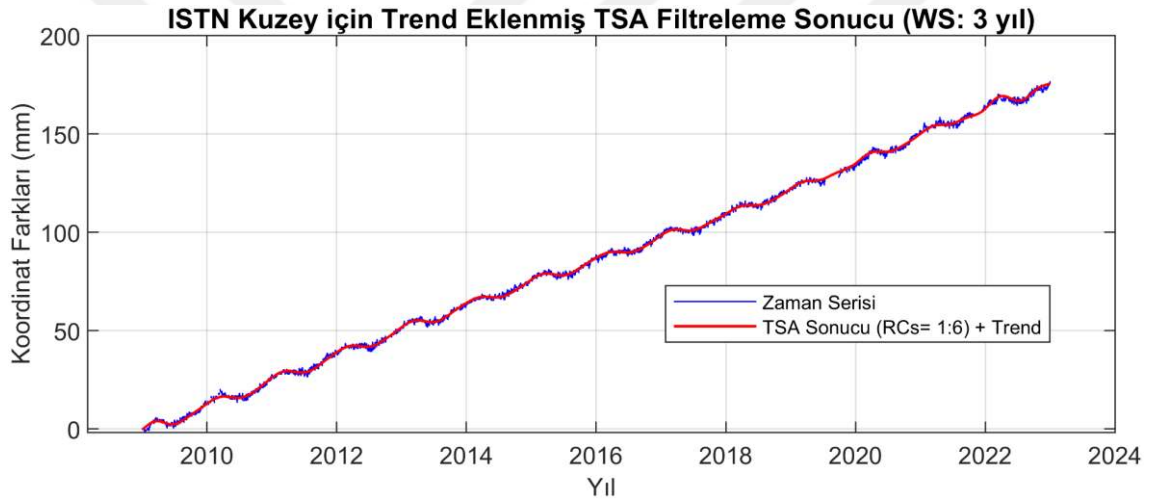
EK-4.20 ISTN Kuzey için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



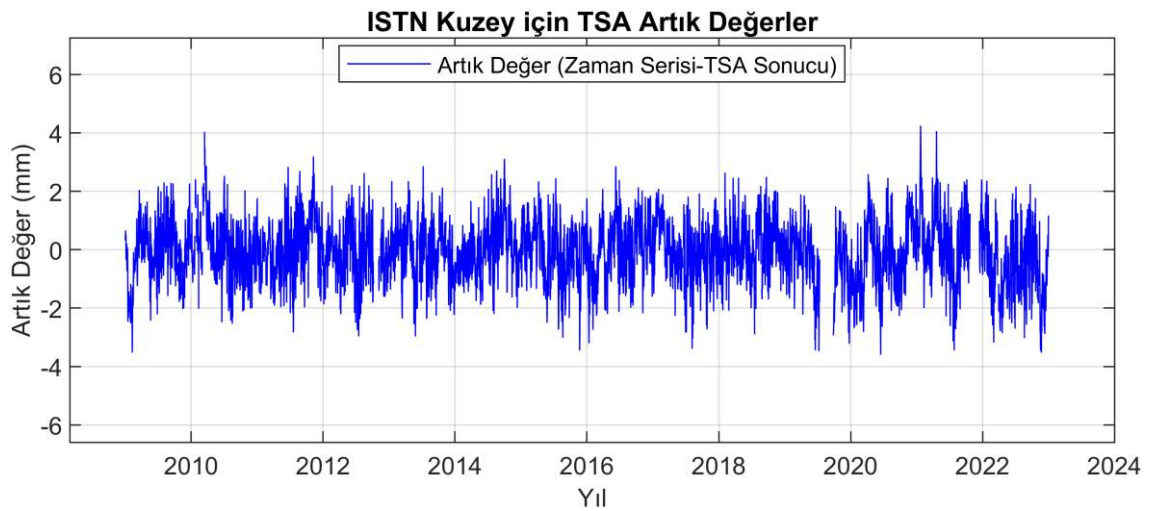
EK-4.21 ISTN Kuzey için TSA sonucu seçilen RC'ler.



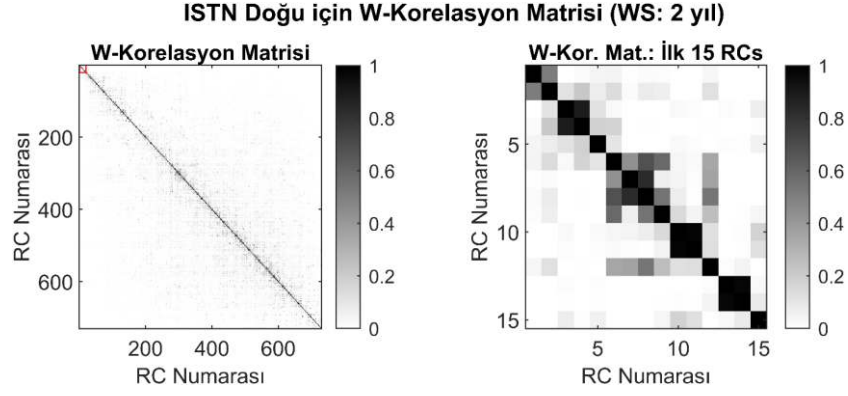
EK-4.22 ISTN Kuzey trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



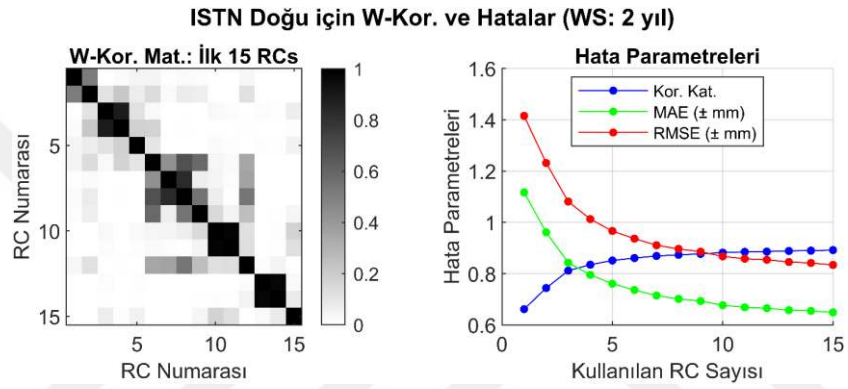
EK-4.23 ISTN Kuzey orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



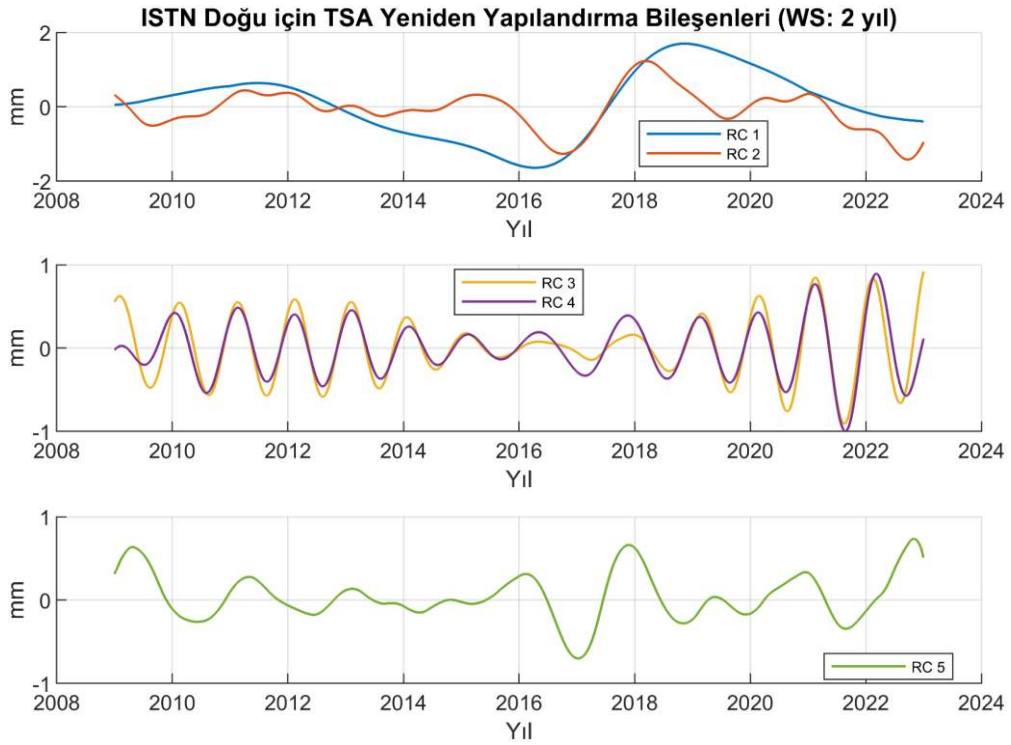
EK-4.24 ISTN Kuzey için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



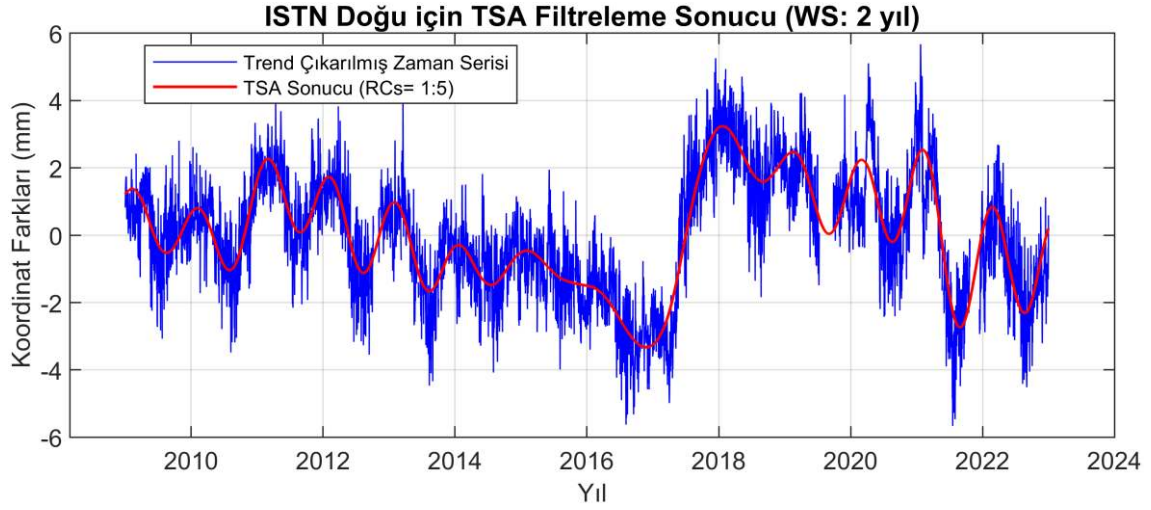
EK-4.25 ISTN Doğu için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



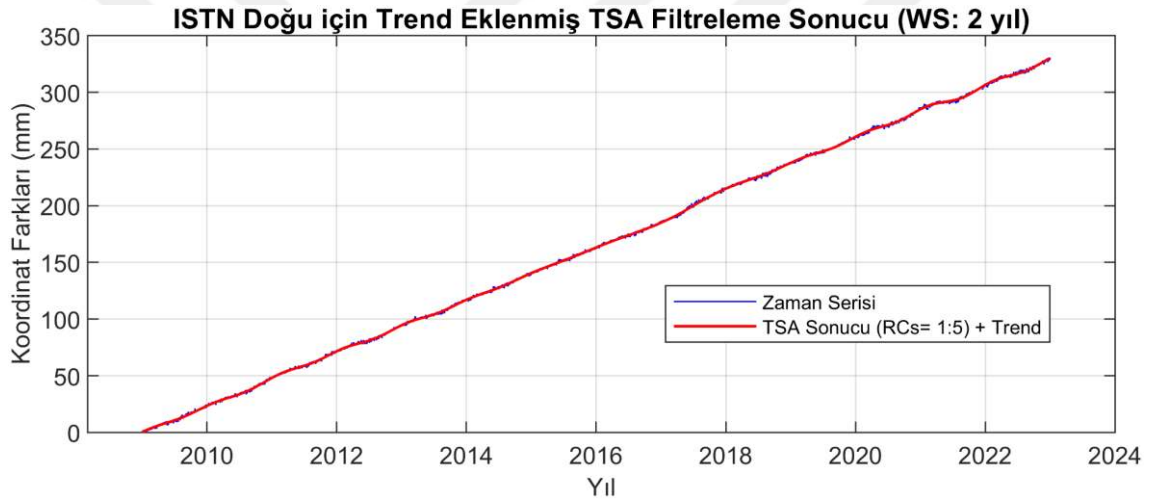
EK-4.26 ISTN Doğu için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



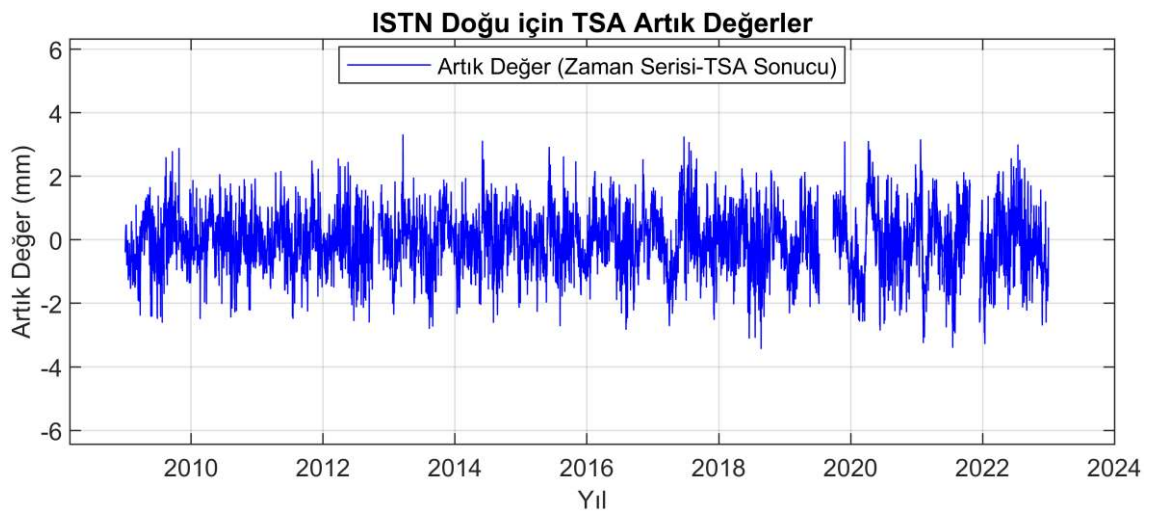
EK-4.27 ISTN Doğu için TSA sonucu seçilen RC'ler.



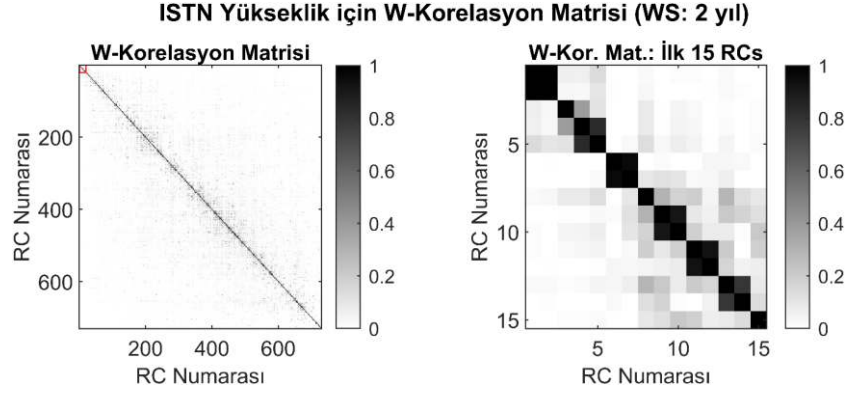
EK-4.28 ISTN Doğu trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



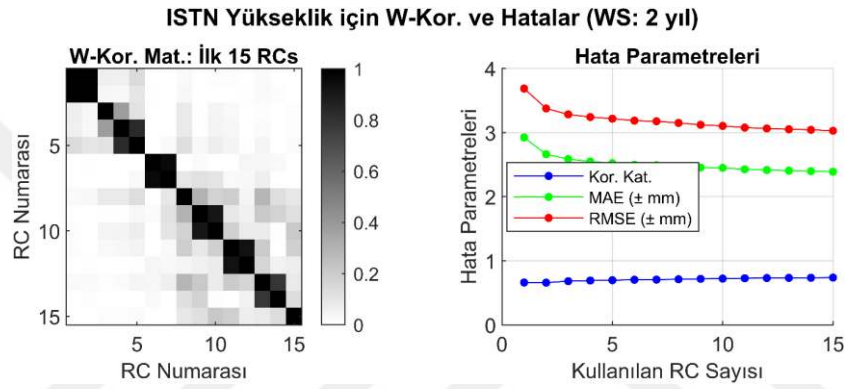
EK-4.29 ISTN Doğu orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



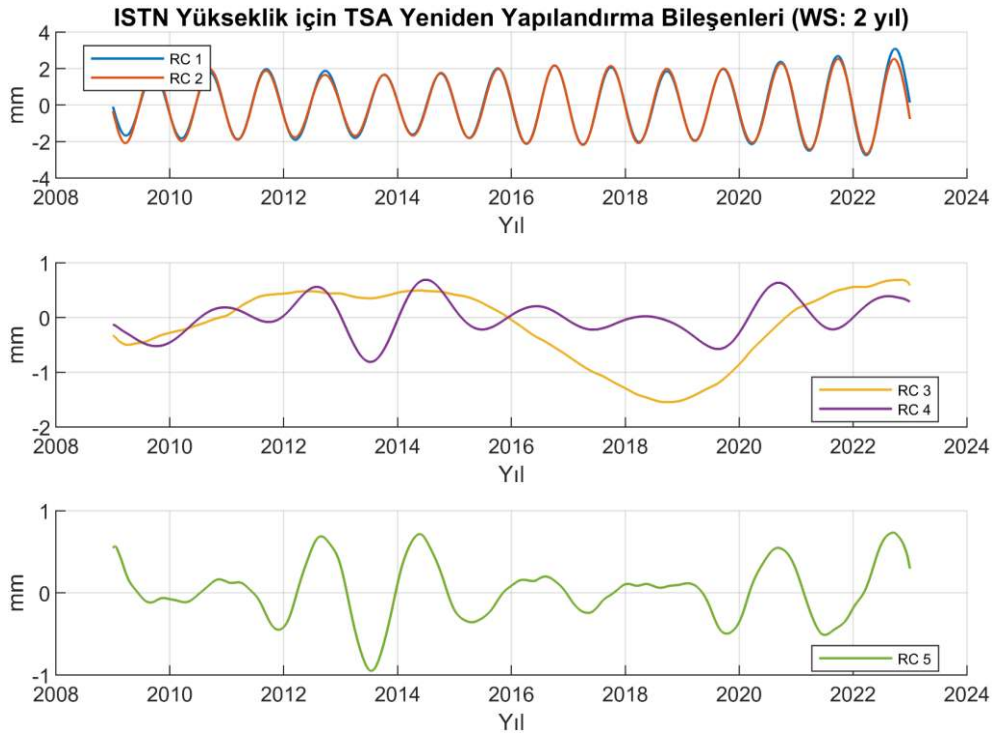
EK-4.30 ISTN Doğu için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



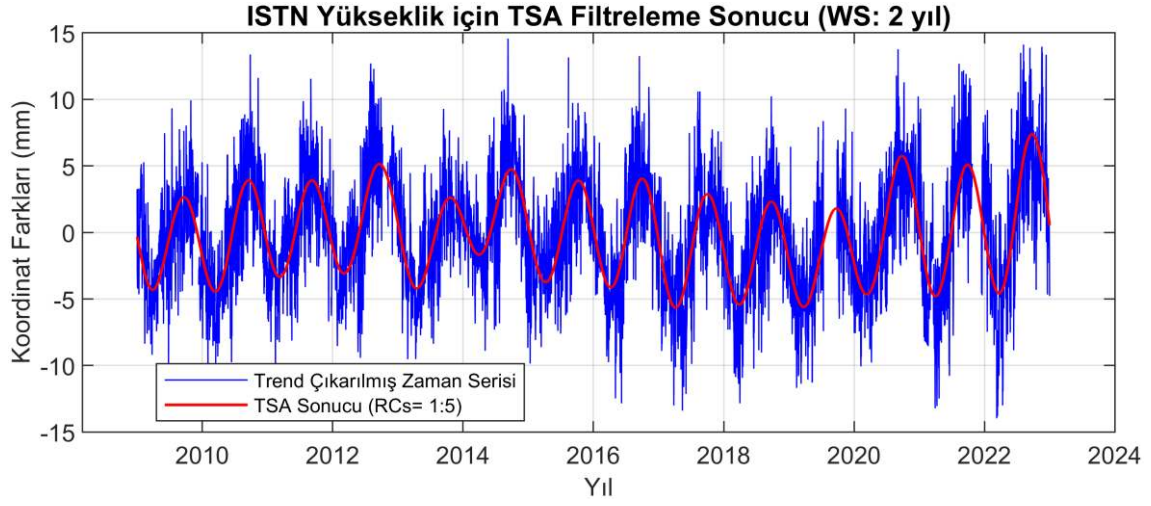
EK-4.31 ISTN Yükseklik için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



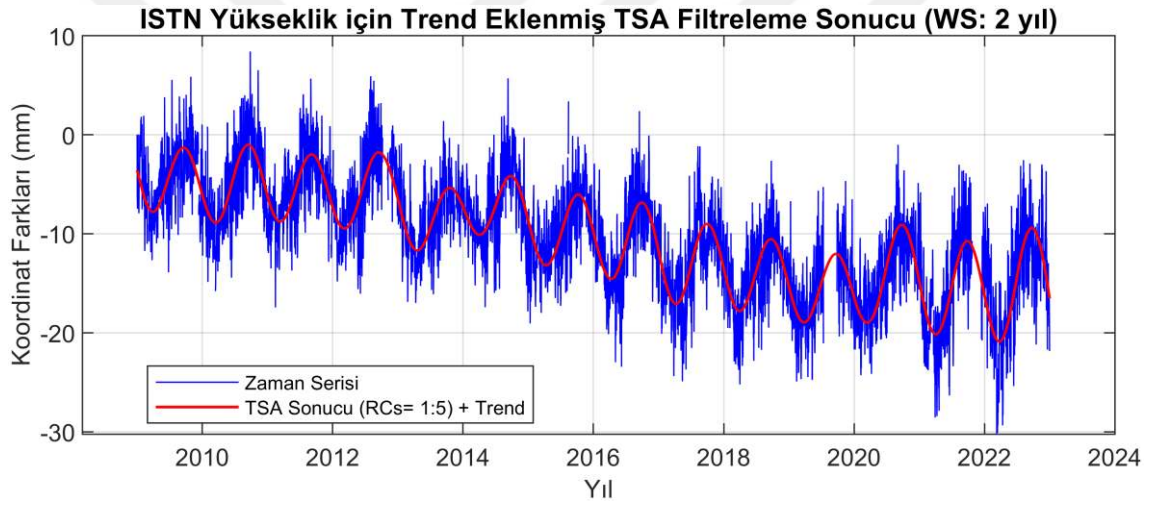
EK-4.32 ISTN Yükseklik için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



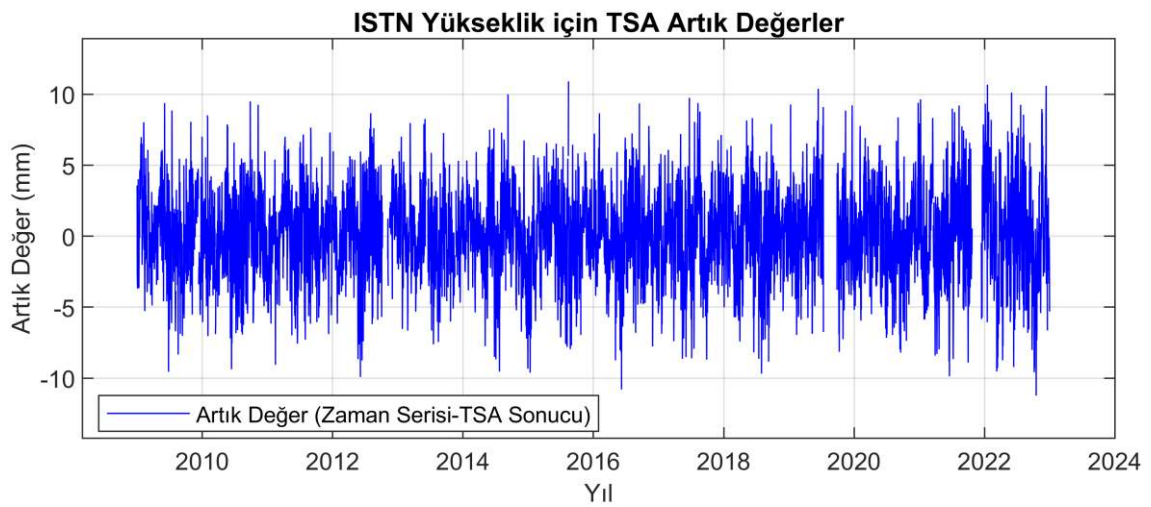
EK-4.33 ISTN Yükseklik için TSA sonucu seçilen RC'ler.



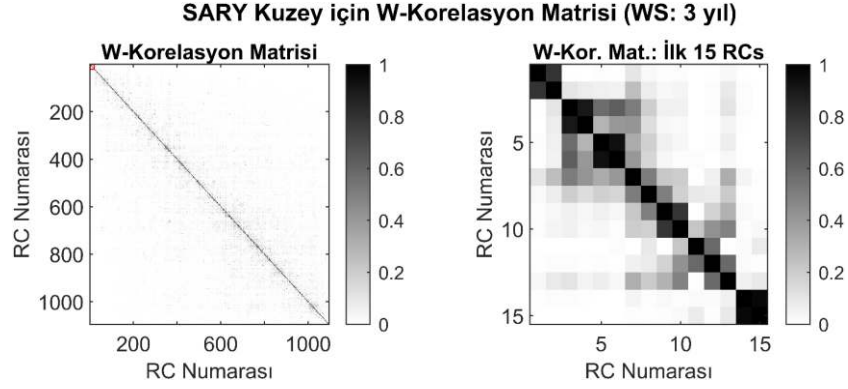
EK-4.34 ISTN Yükseklik trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



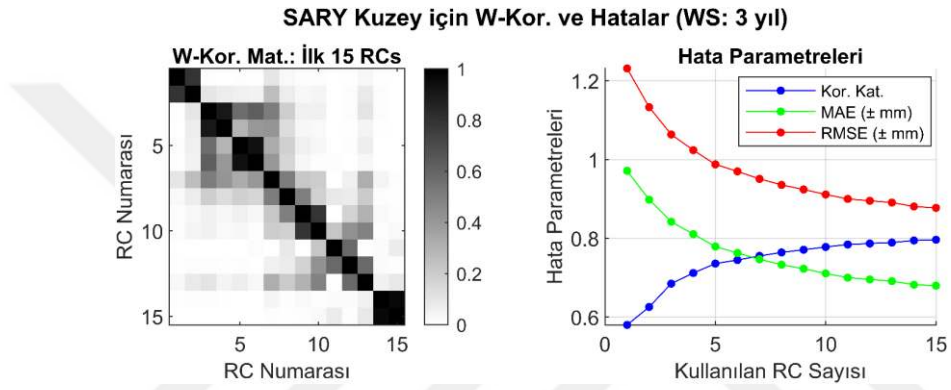
EK-4.35 ISTN Yükseklik orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



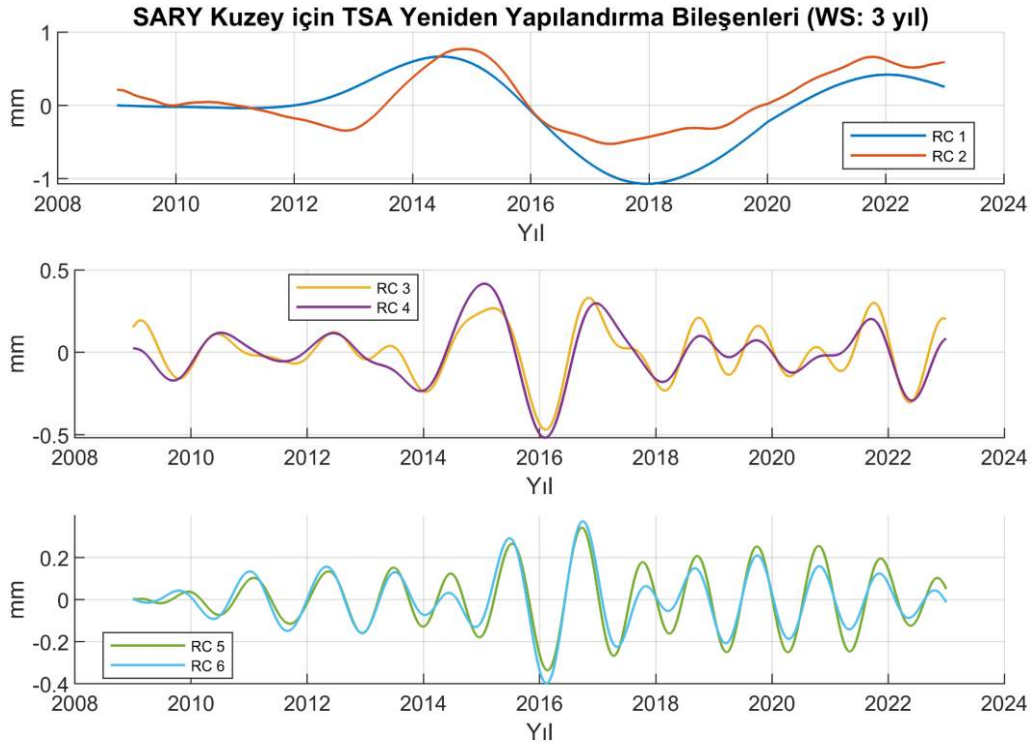
EK-4.36 ISTN Yükseklik için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



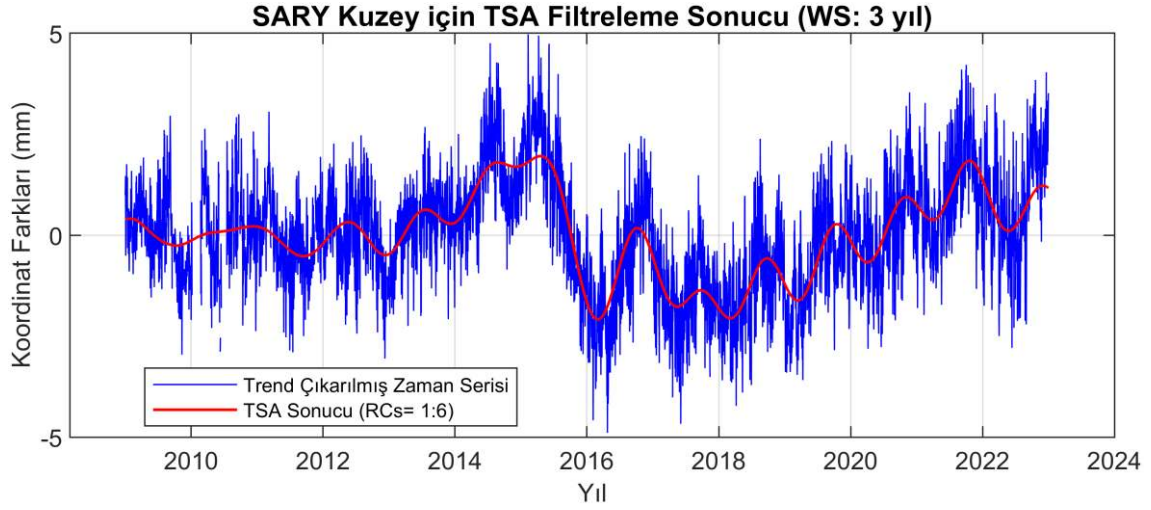
EK-4.37 SARY Kuzey için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



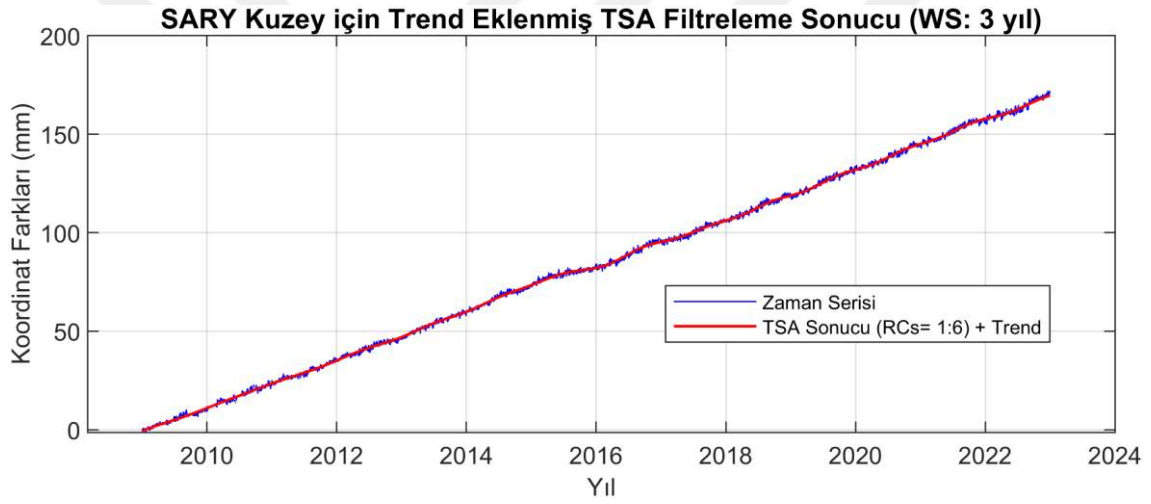
EK-4.38 SARY Kuzey için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



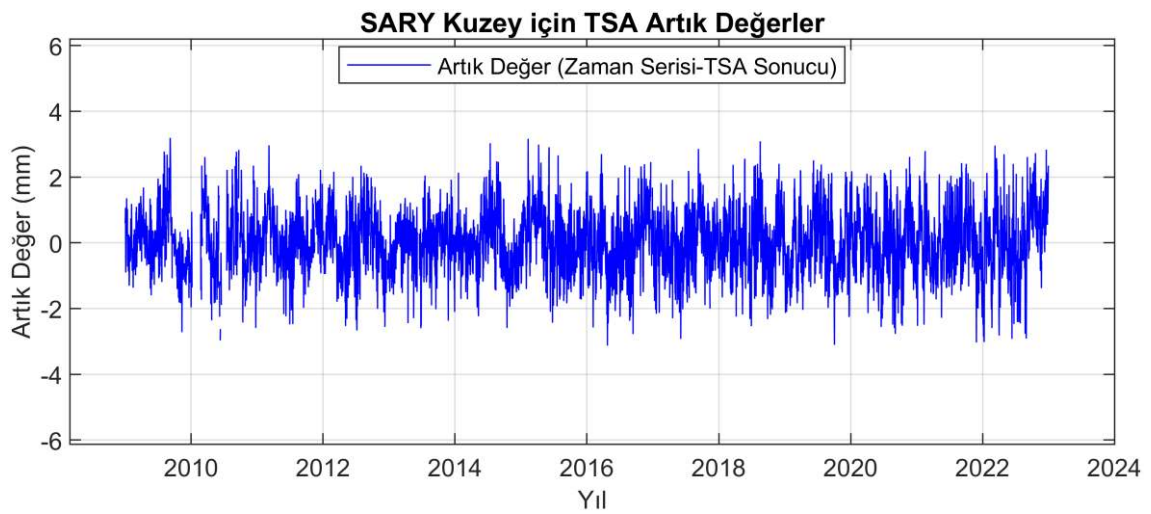
EK-4.39 SARY Kuzey için TSA sonucu seçilen RC'ler.



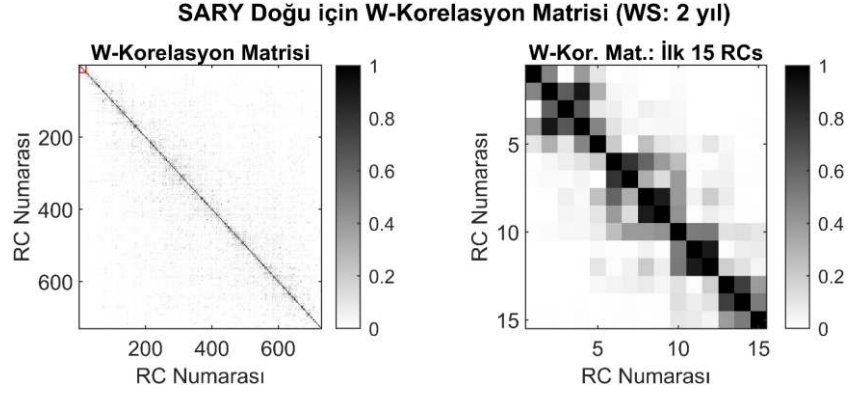
EK-4.40 SARY Kuzey trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



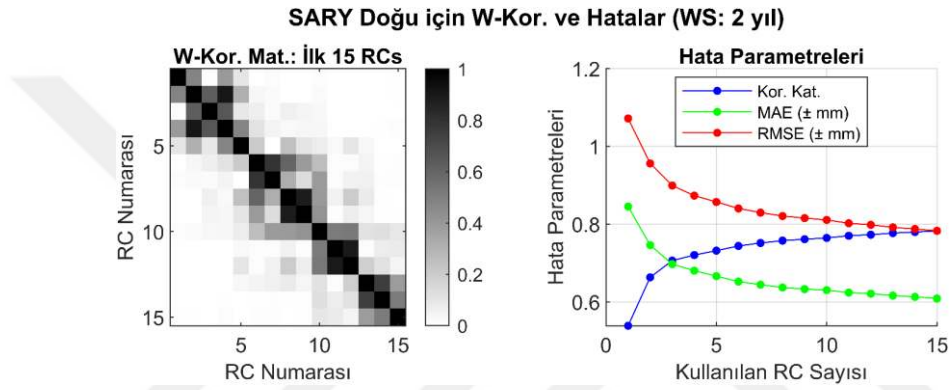
EK-4.41 SARY Kuzey orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



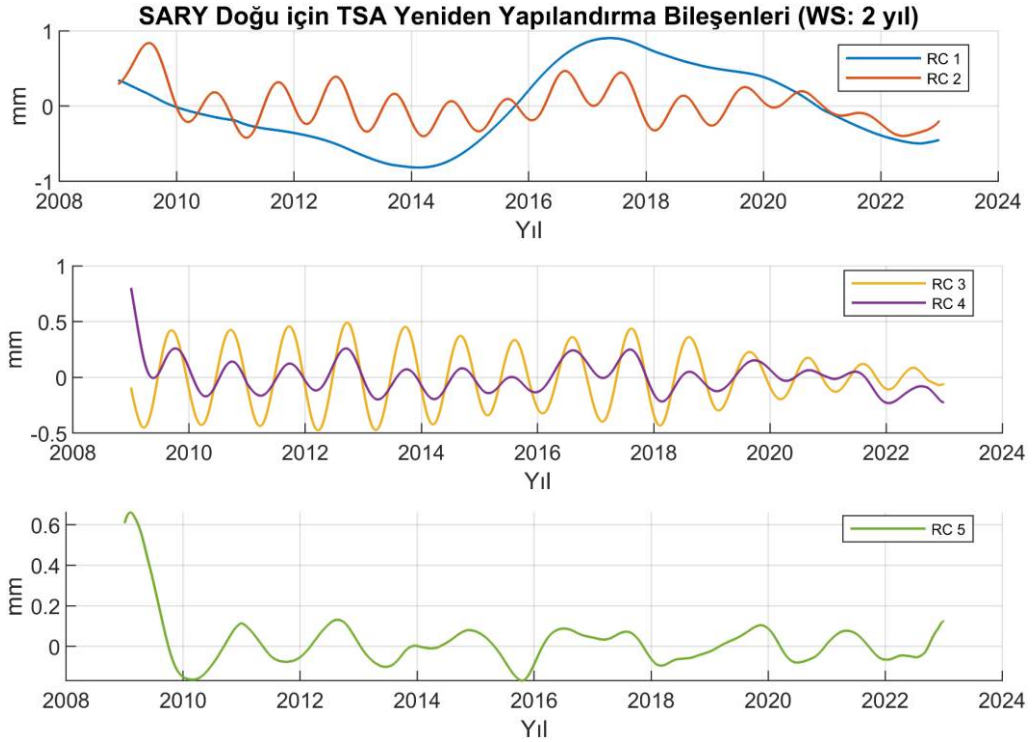
EK-4.42 SARY Kuzey için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



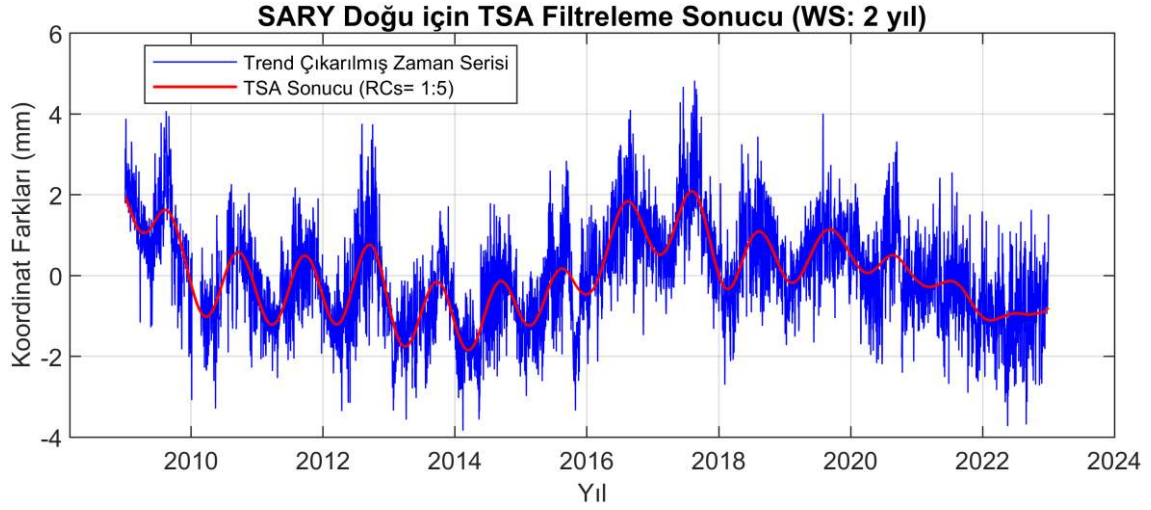
EK-4.43 SARY Doğu için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



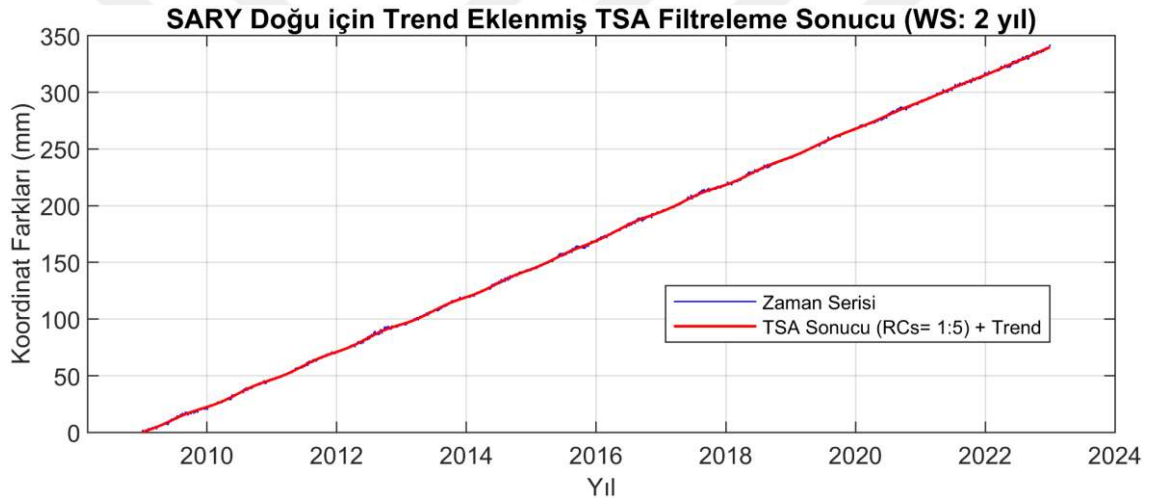
EK-4.44 SARY Doğu için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



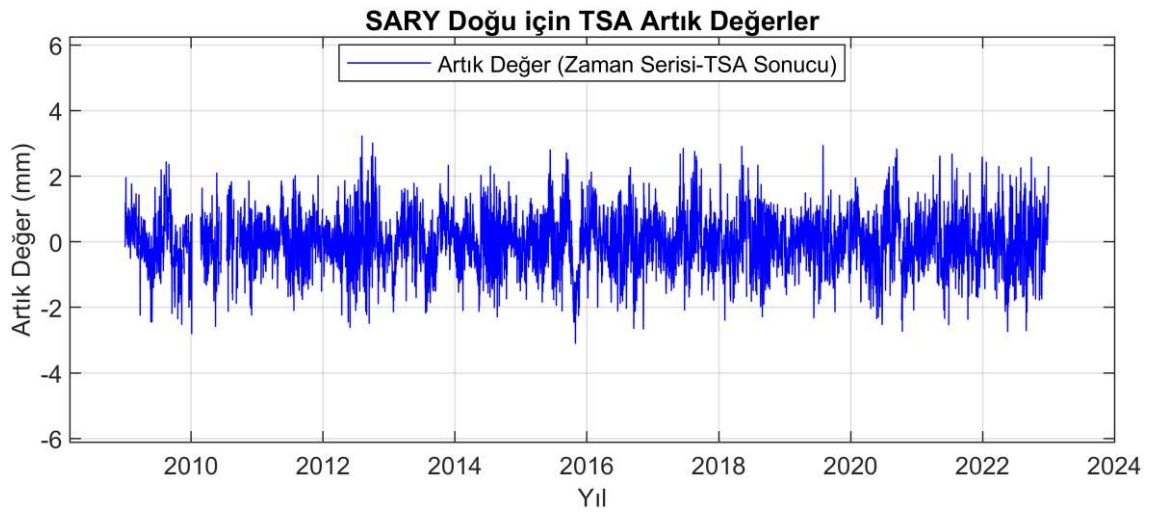
EK-4.45 SARY Doğu için TSA sonucu seçilen RC'ler.



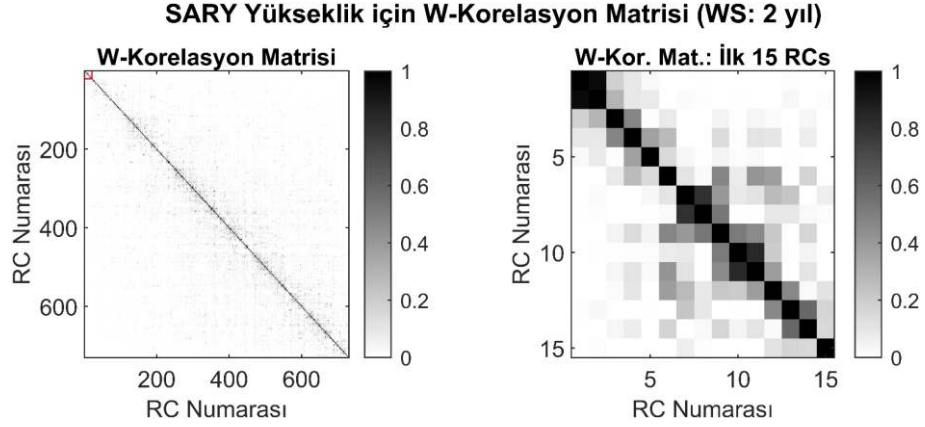
EK-4.46 SARY Doğu trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



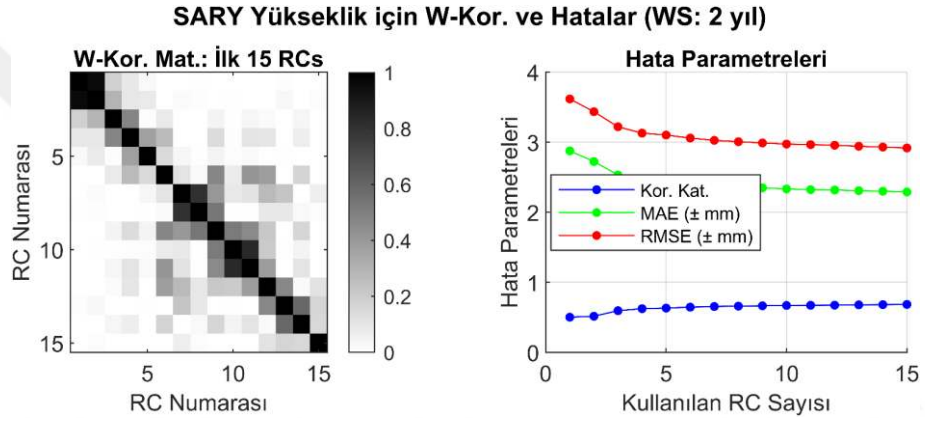
EK-4.47 SARY Doğu orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



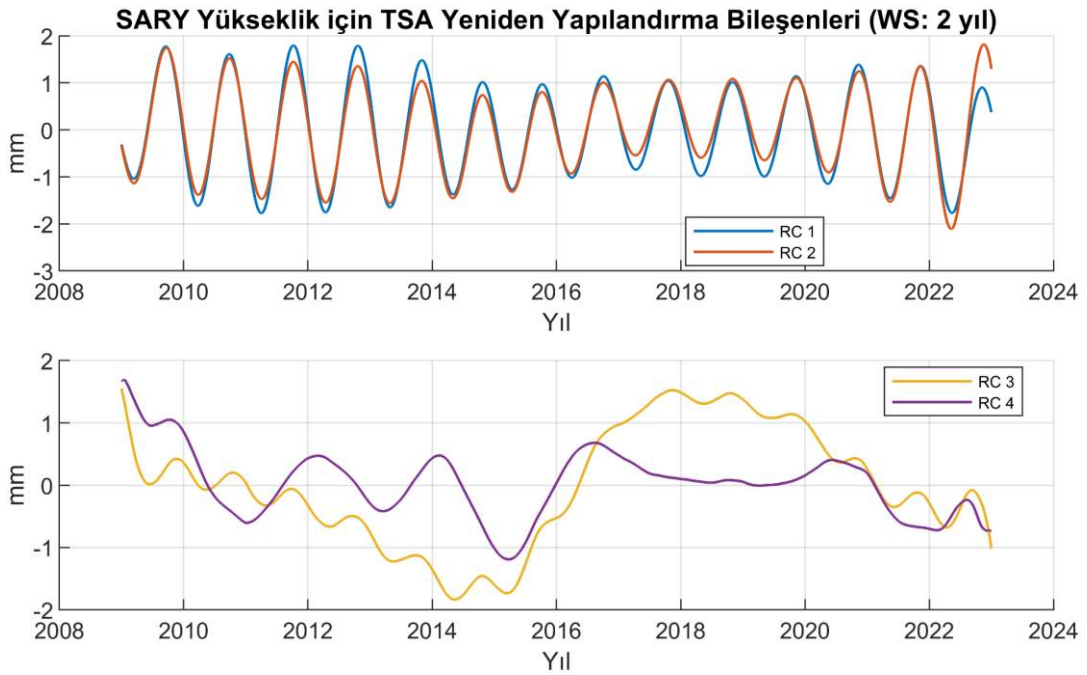
EK-4.48 SARY Doğu için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



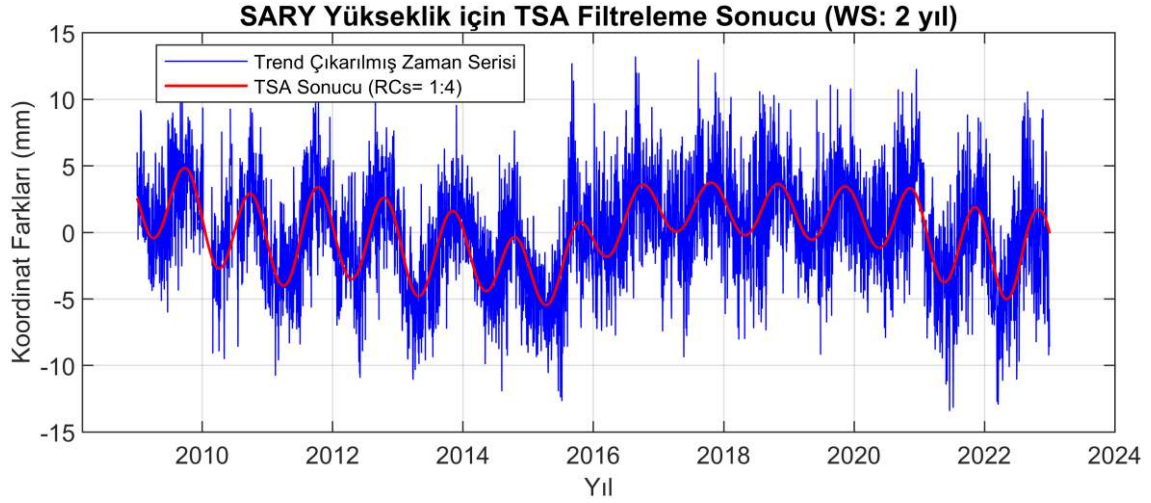
EK-4.49 SARY Yükseklik için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



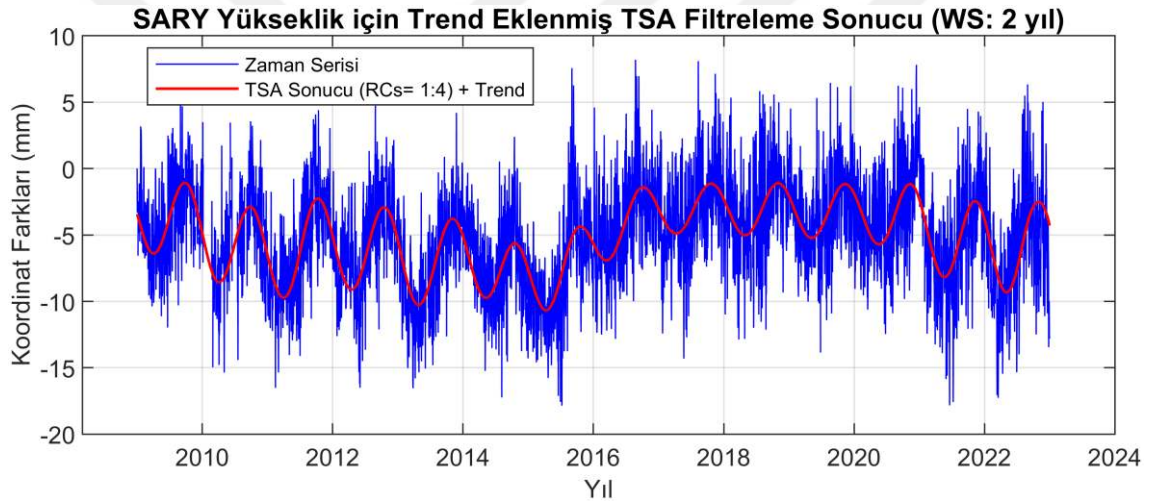
EK-4.50 SARY Yükseklik için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



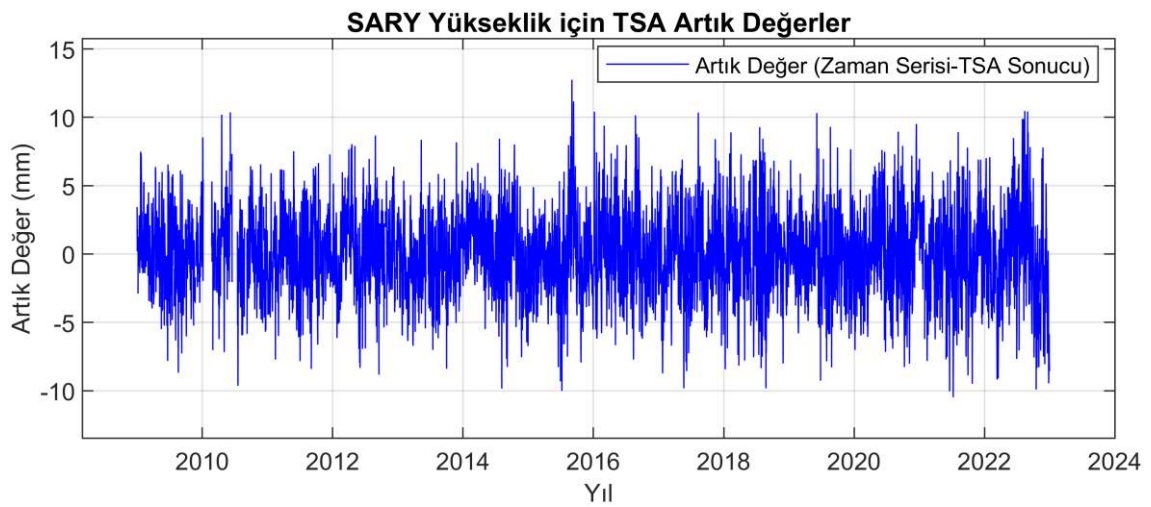
EK-4.51 SARY Yükseklik için TSA sonucu seçilen RC'ler.



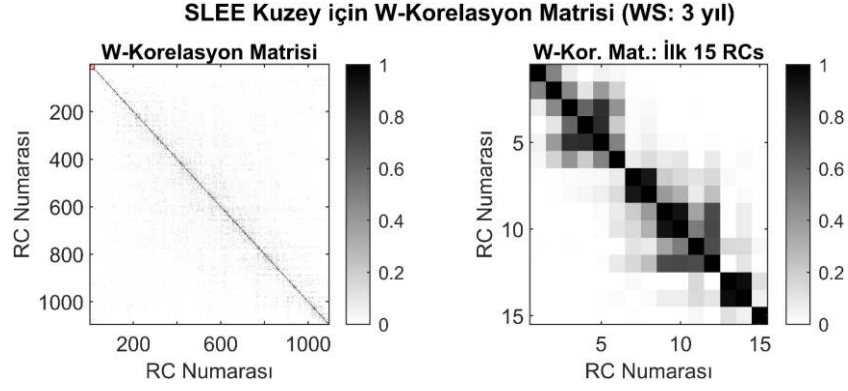
EK-4.52 SARY Yükseklik trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



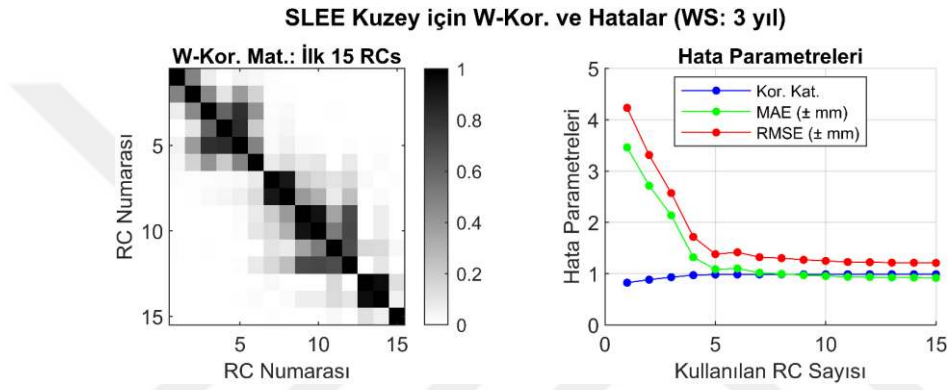
EK-4.53 SARY Yükseklik orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



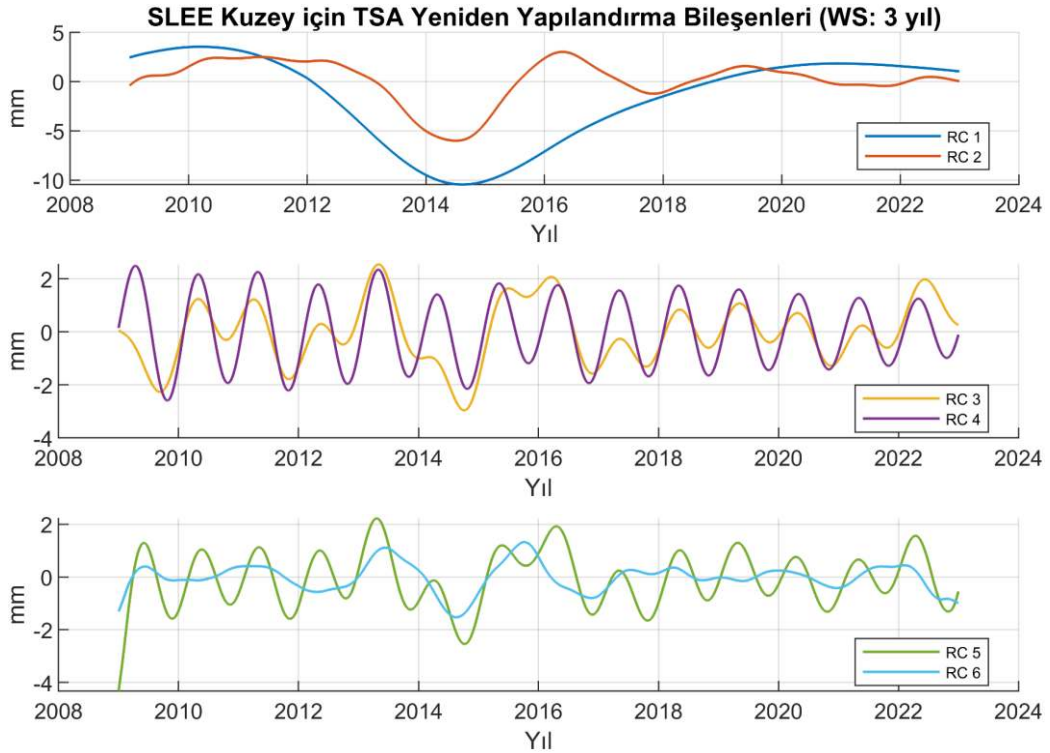
EK-4.54 SARY Yükseklik için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



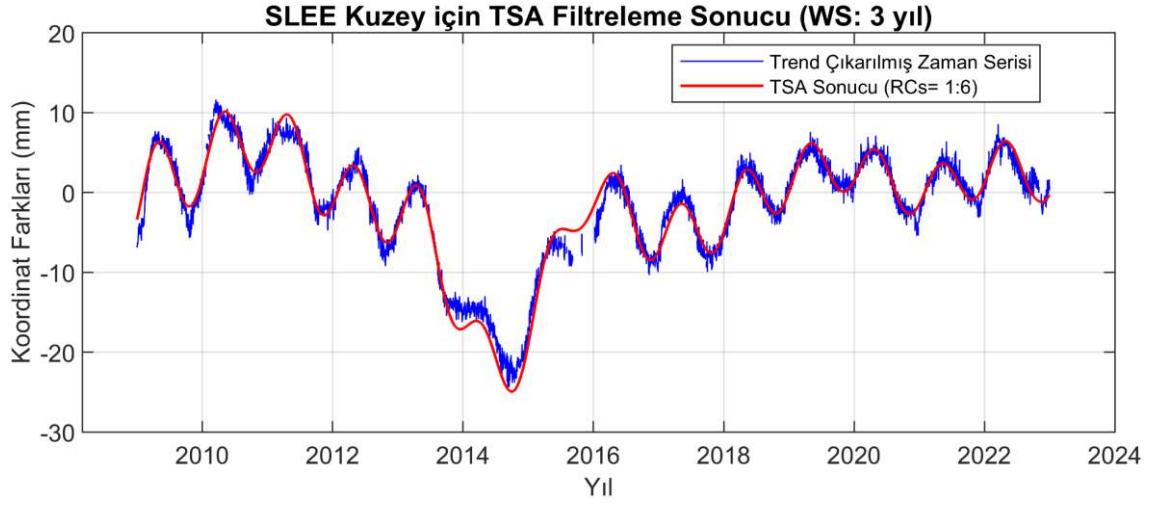
EK-4.55 SLEE Kuzey için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



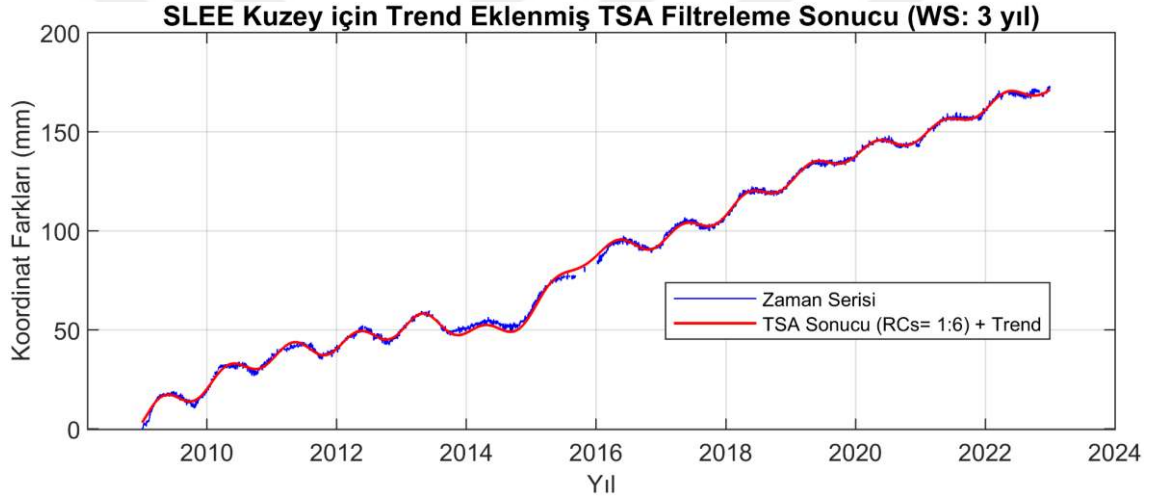
EK-4.56 SLEE Kuzey için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



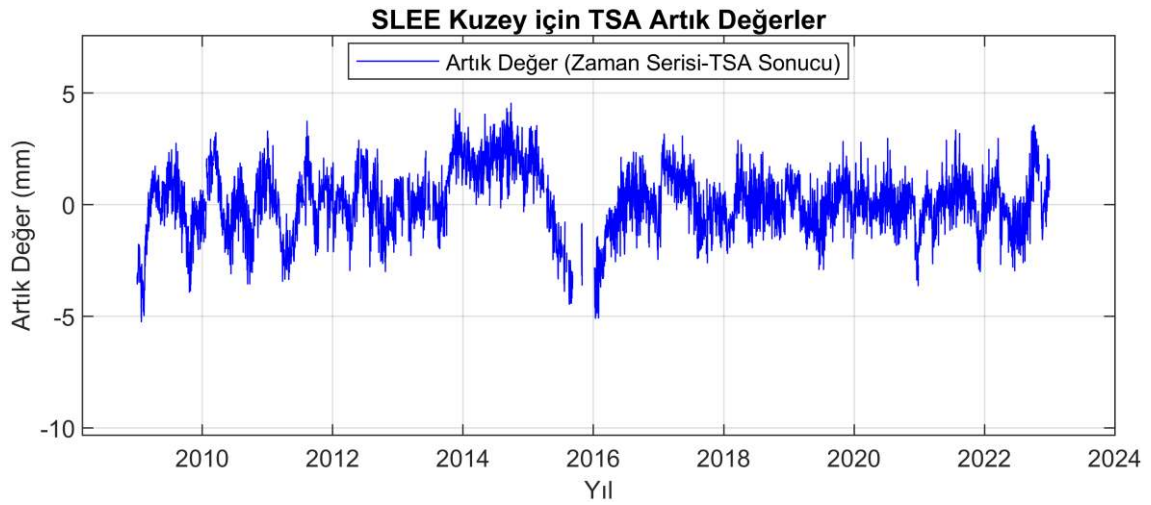
EK-4.57 SLEE Kuzey için TSA sonucu seçilen RC'ler.



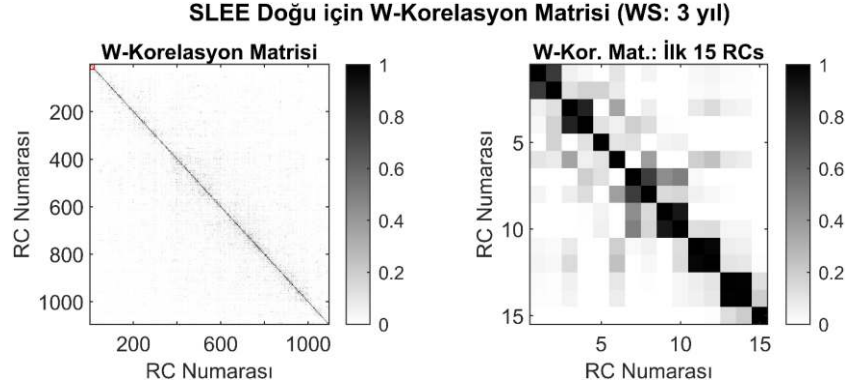
EK-4.58 SLEE Kuzey trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



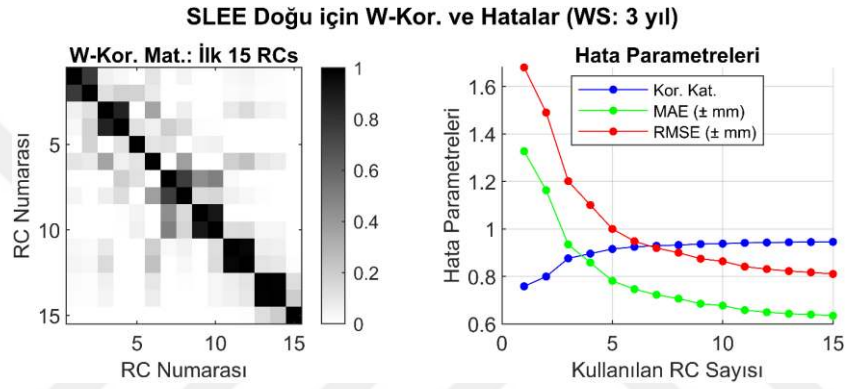
EK-4.59 SLEE Kuzey orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



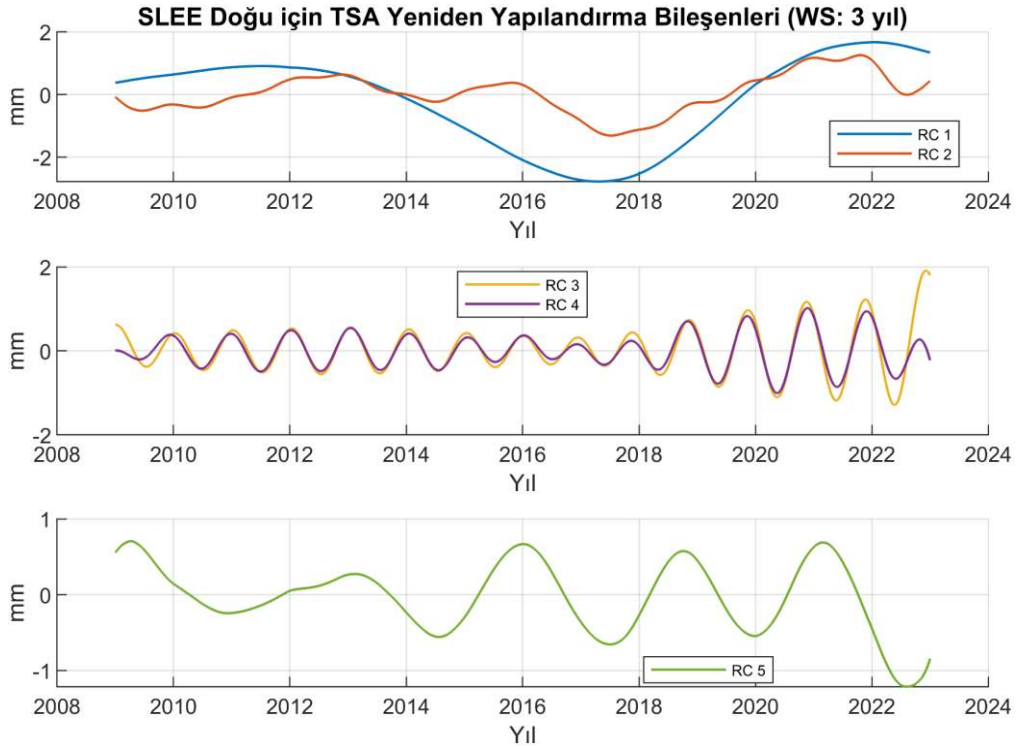
EK-4.60 SLEE Kuzey için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



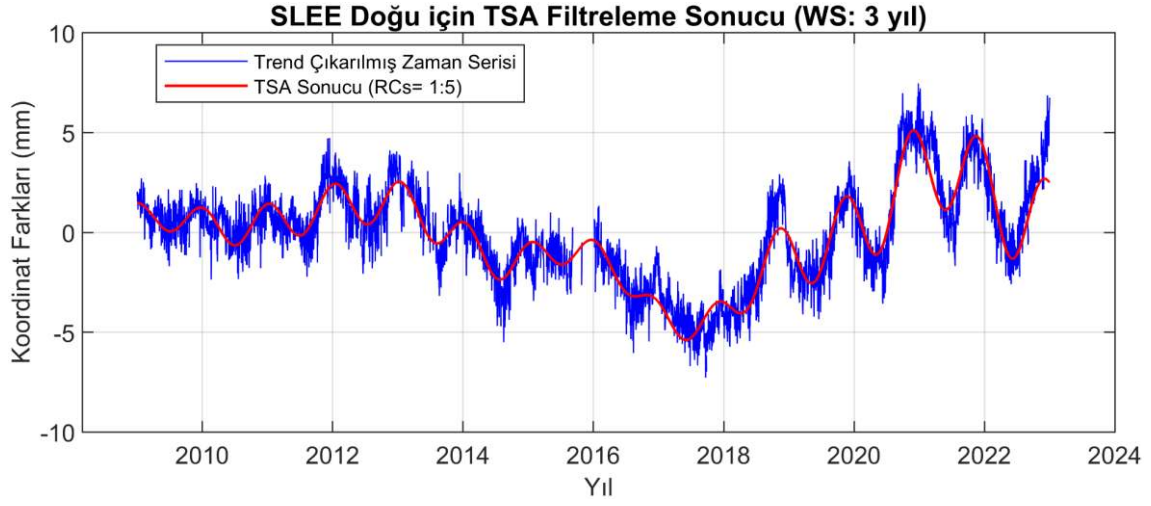
EK-4.61 SLEE Doğu için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



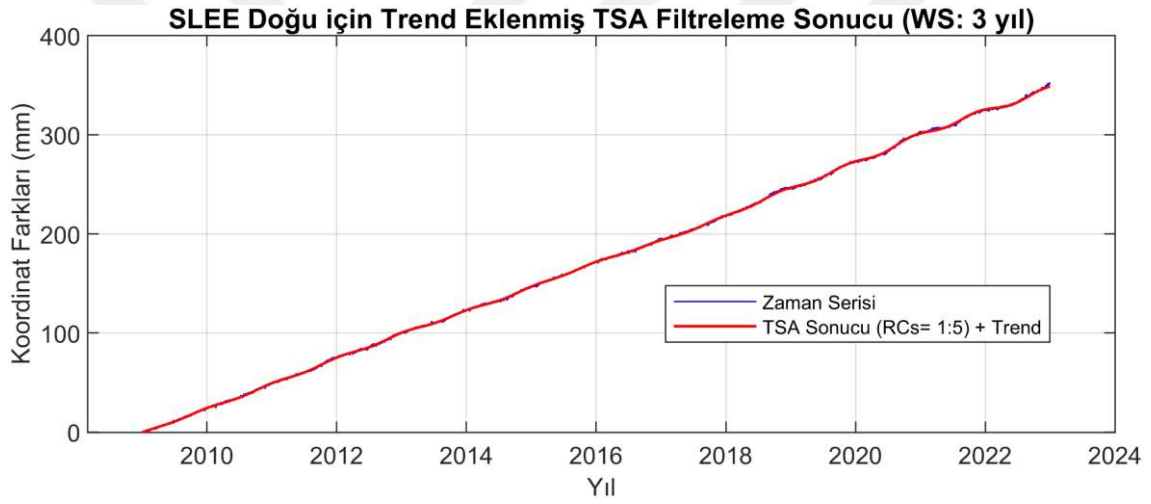
EK-4.62 SLEE Doğu için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



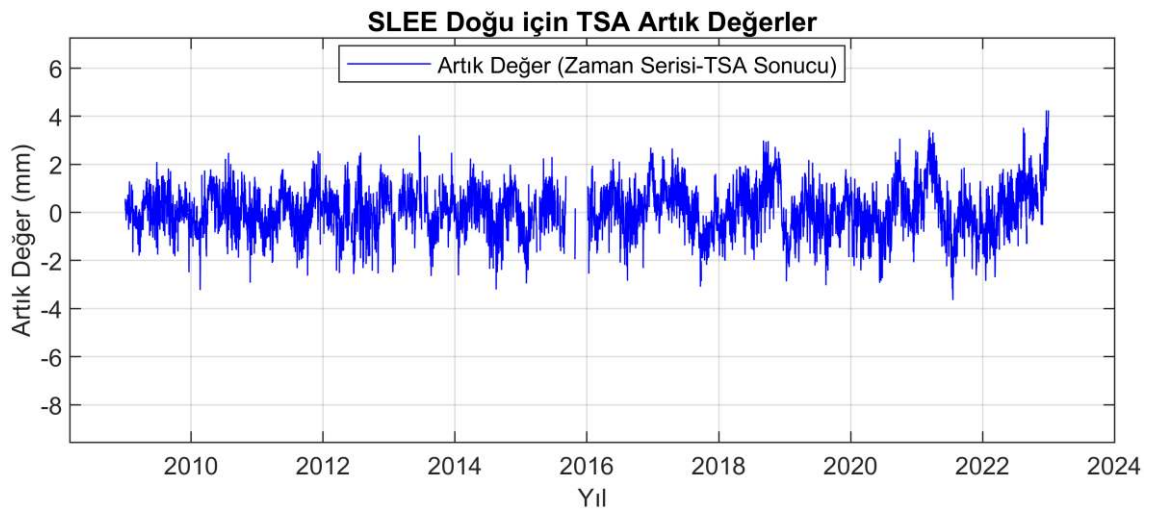
EK-4.63 SLEE Doğu için TSA sonucu seçilen RC'ler.



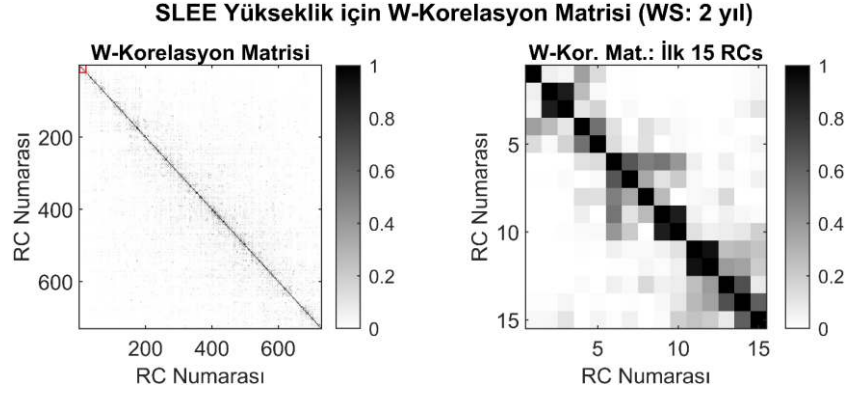
EK-4.64 SLEE Doğu trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



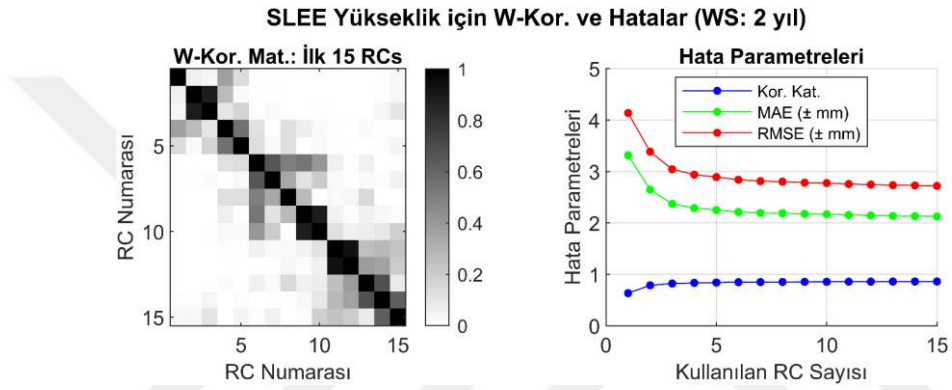
EK-4.65 SLEE Doğu orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



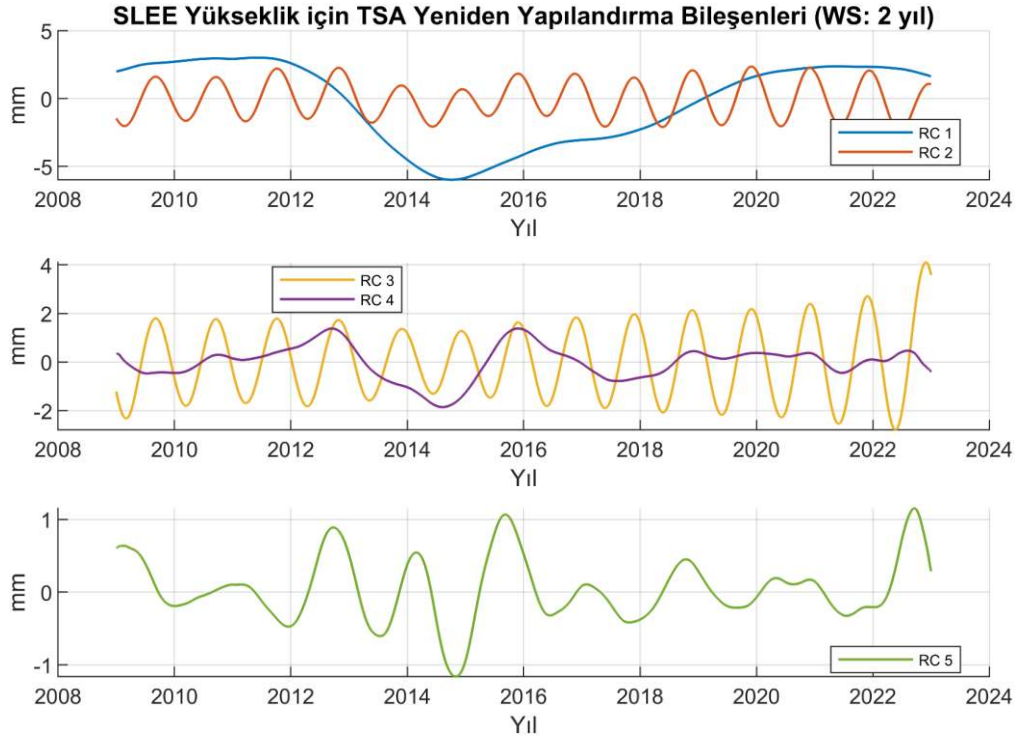
EK-4.66 SLEE Doğu için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



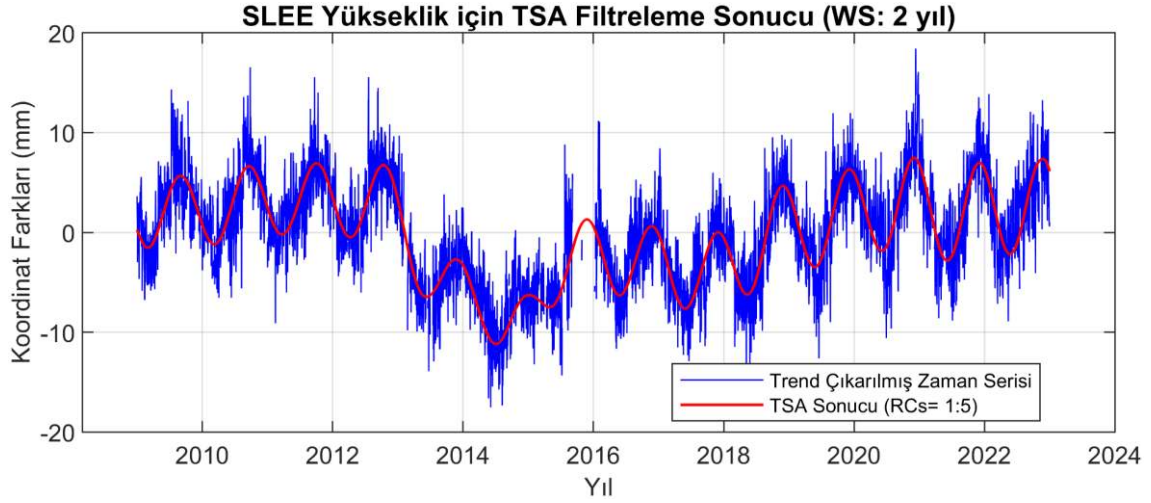
EK-4.67 SLEE Yükseklik için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



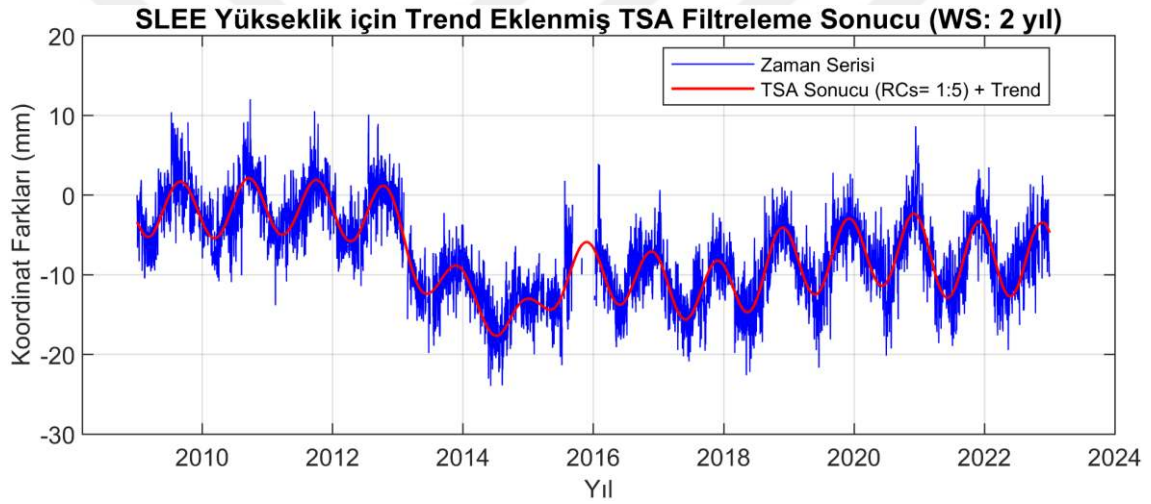
EK-4.68 SLEE Yükseklik için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



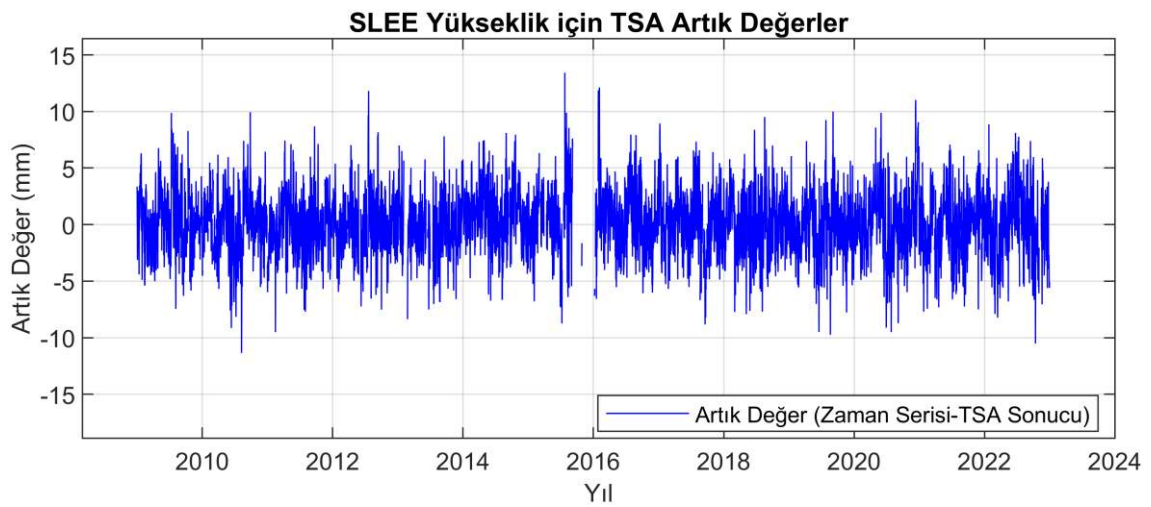
EK-4.69 SLEE Yükseklik için TSA sonucu seçilen RC'ler.



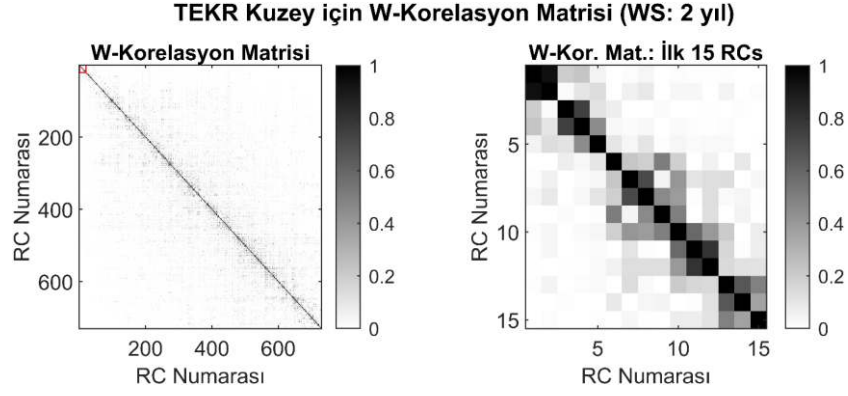
EK-4.70 SLEE Yükseklik trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



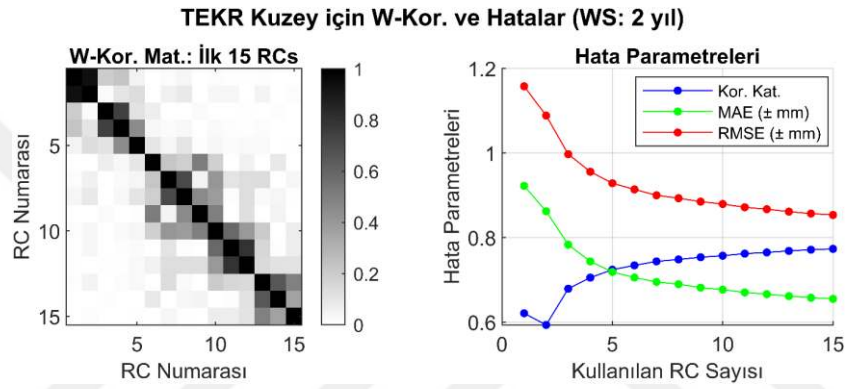
EK-4.71 SLEE Yükseklik orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



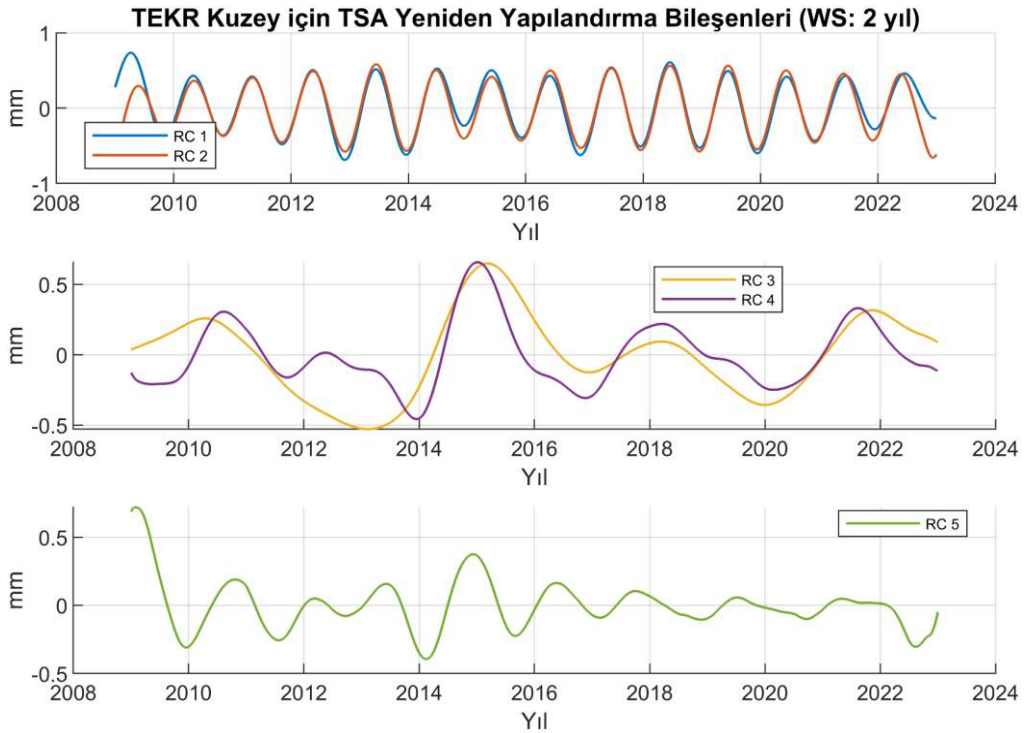
EK-4.72 SLEE Yükseklik için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



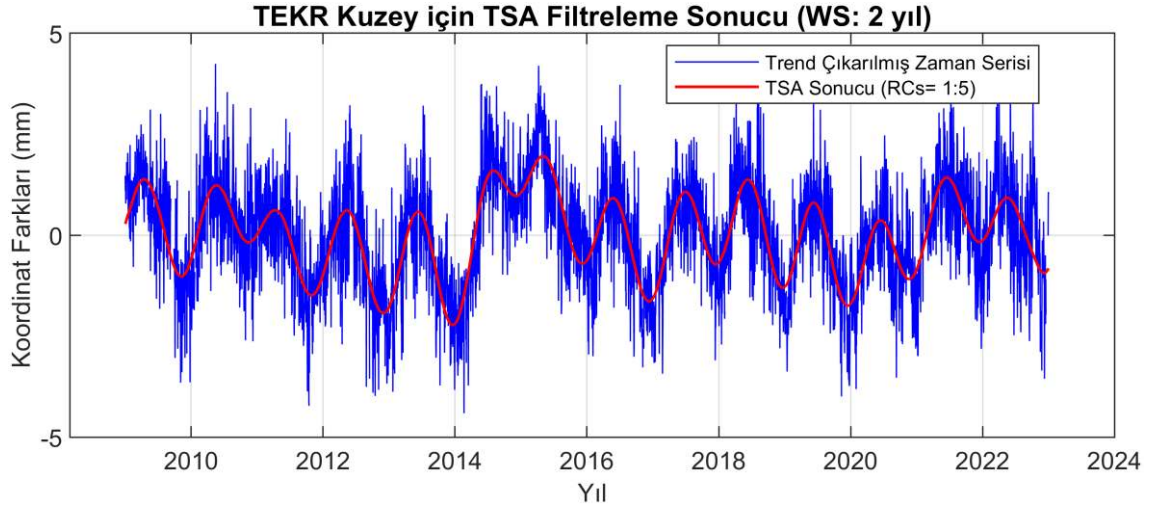
EK-4.73 TEKR Kuzey için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



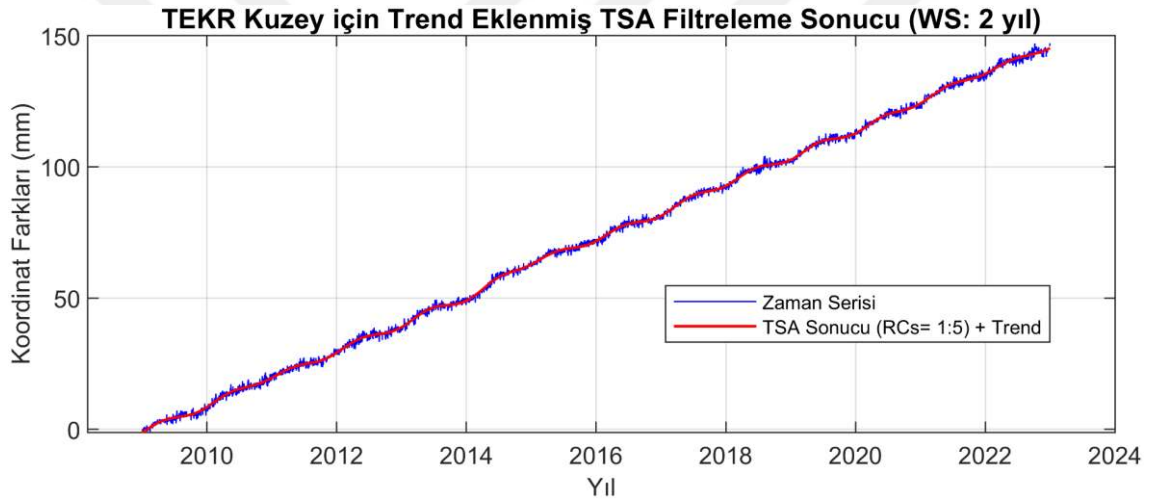
EK-4.74 TEKR Kuzey için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



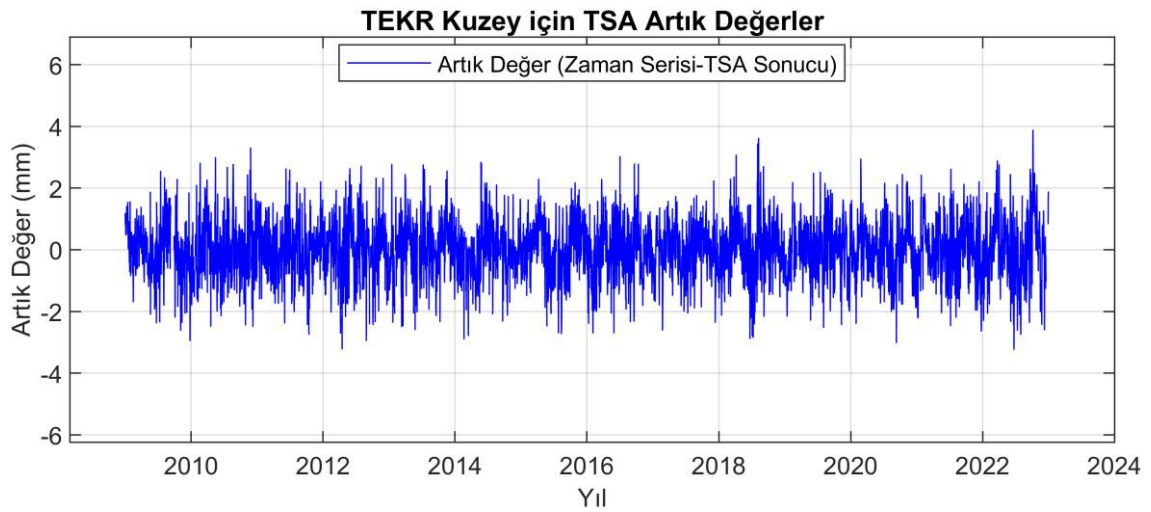
EK-4.75 TEKR Kuzey için TSA sonucu seçilen RC'ler.



EK-4.76 TEK R Kuzey trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.

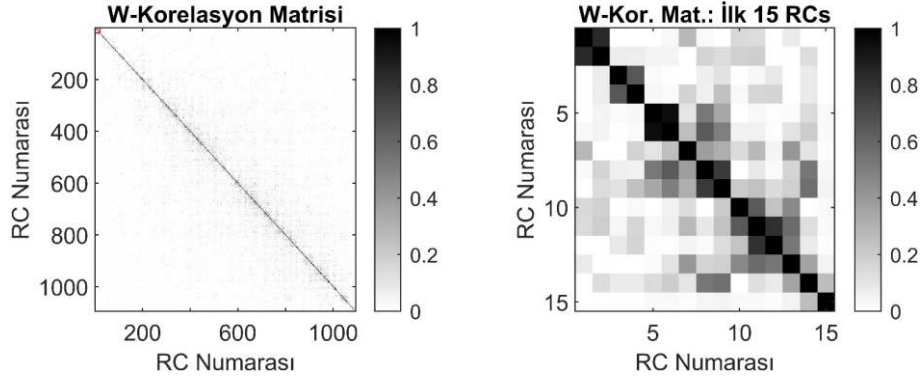


EK-4.77 TEK R Kuzey orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



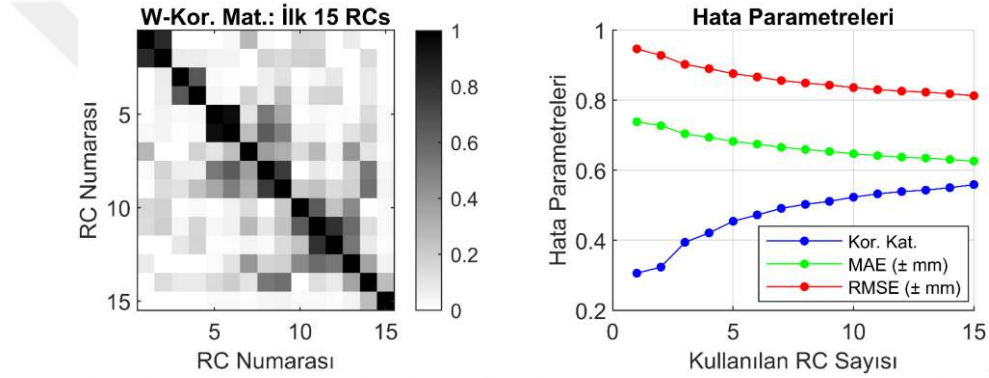
EK-4.78 TEK R Kuzey için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).

TEKR Doğu için W-Korelasyon Matrisi (WS: 3 yıl)



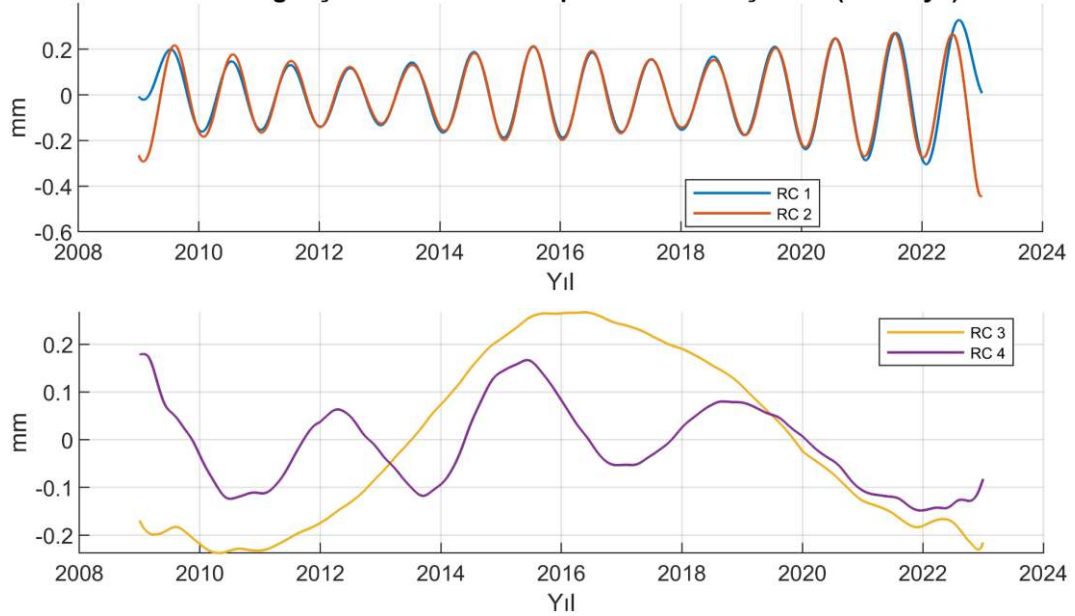
EK-4.79 TEKR Doğu için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).

TEKR Doğu için W-Kor. ve Hatalar (WS: 3 yıl)

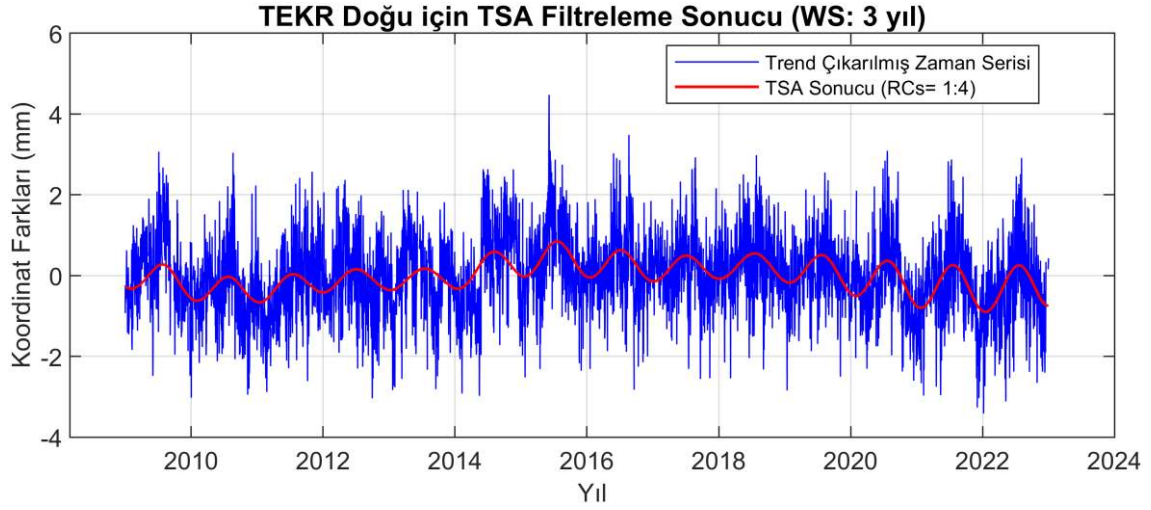


EK-4.80 TEKR Doğu için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.

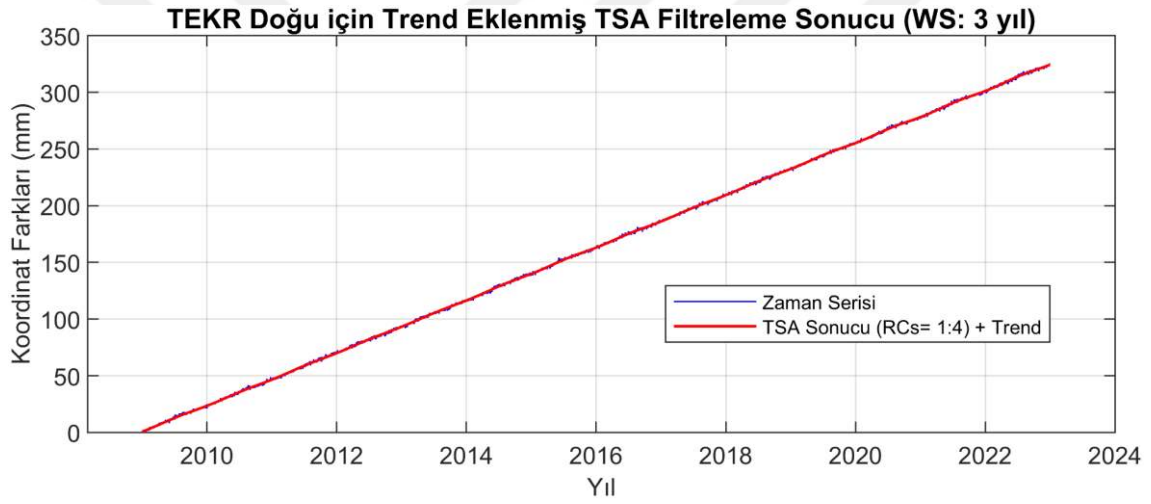
TEKR Doğu için TSA Yeniden Yapılandırma Bileşenleri (WS: 3 yıl)



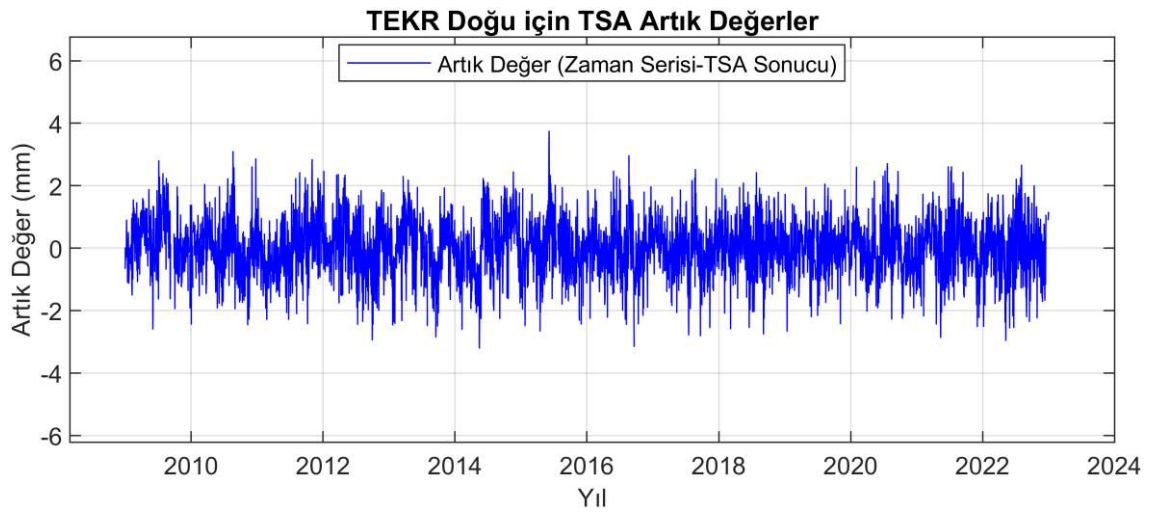
EK-4.81 TEKR Doğu için TSA sonucu seçilen RC'ler.



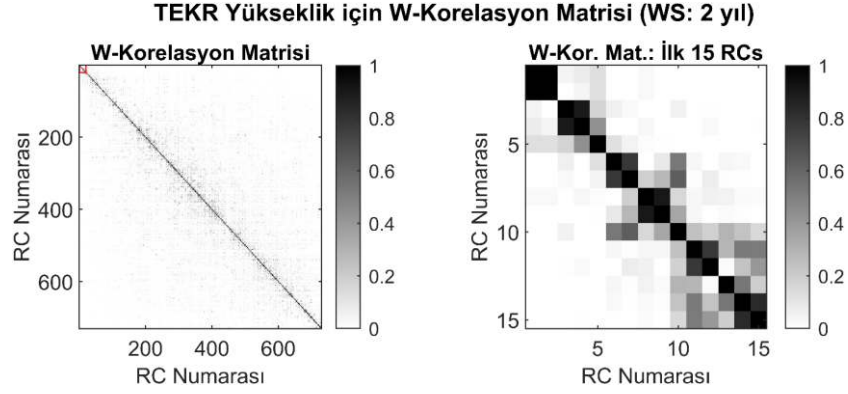
EK-4.82 TEKR Doğu trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.



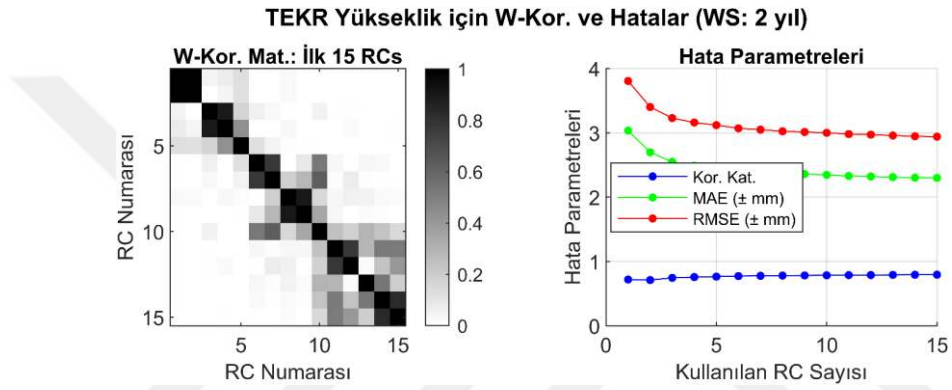
EK-4.83 TEKR Doğu orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.



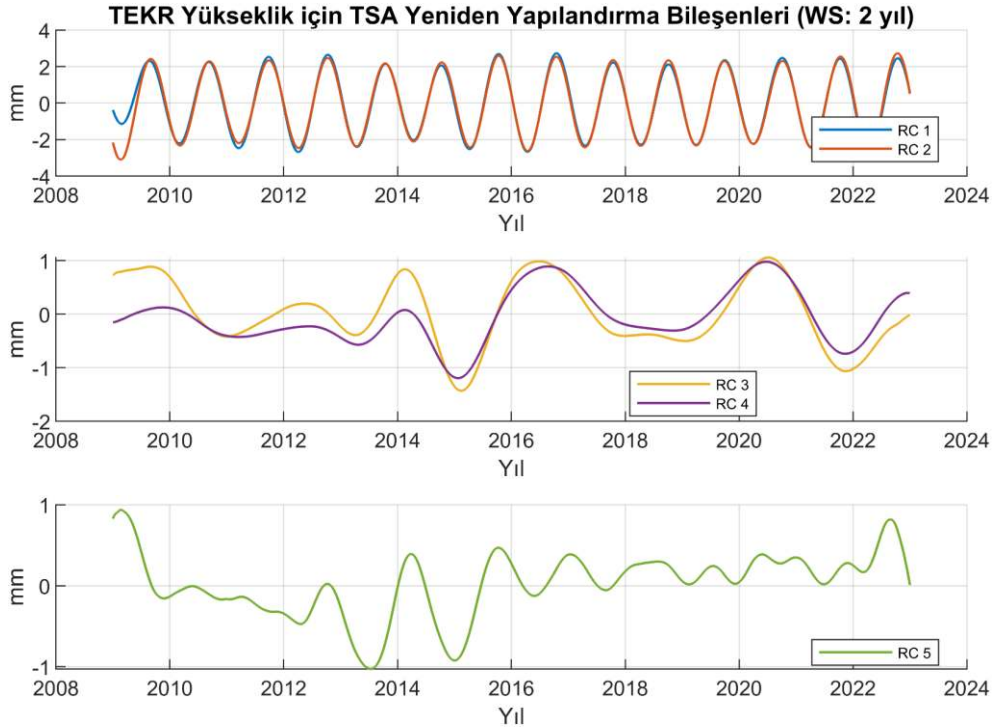
EK-4.84 TEKR Doğu için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).



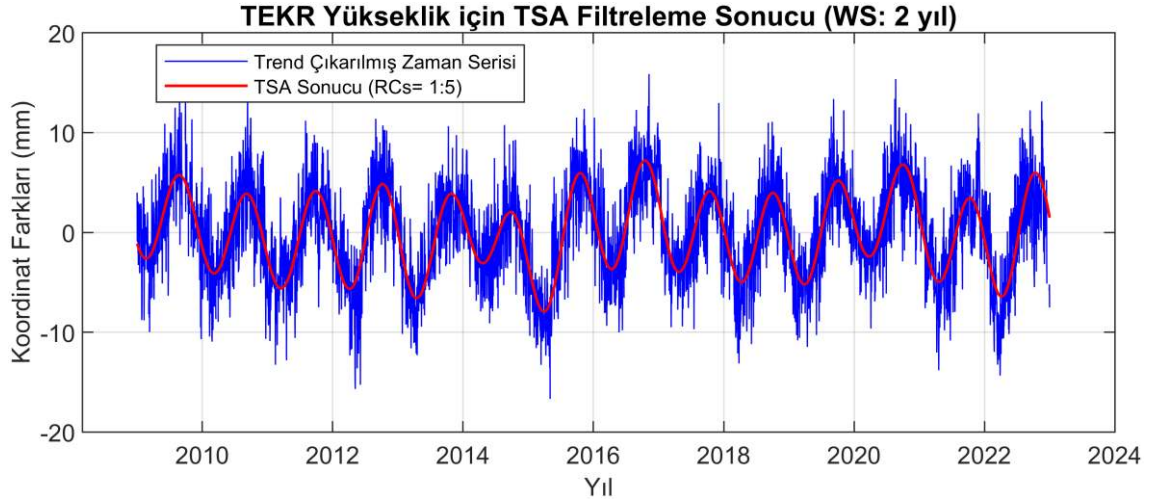
EK-4.85 TEK RYükseklik için W-Korelasyon matrisi (tüm ve ilk 15 RC için).



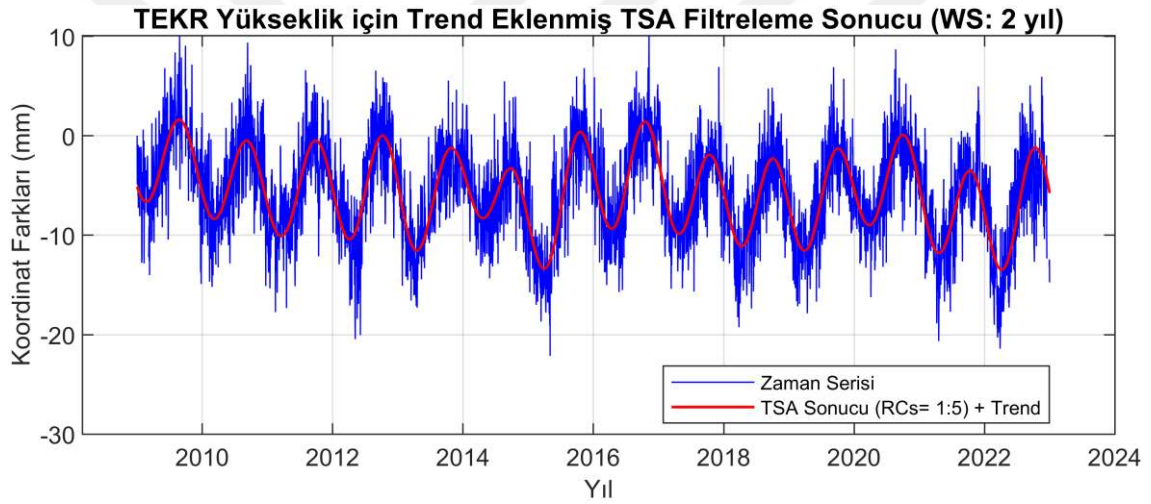
EK-4.86 TEK RYükseklik için W-Korelasyon matrisi bir bölümü ve hata parametreleri.



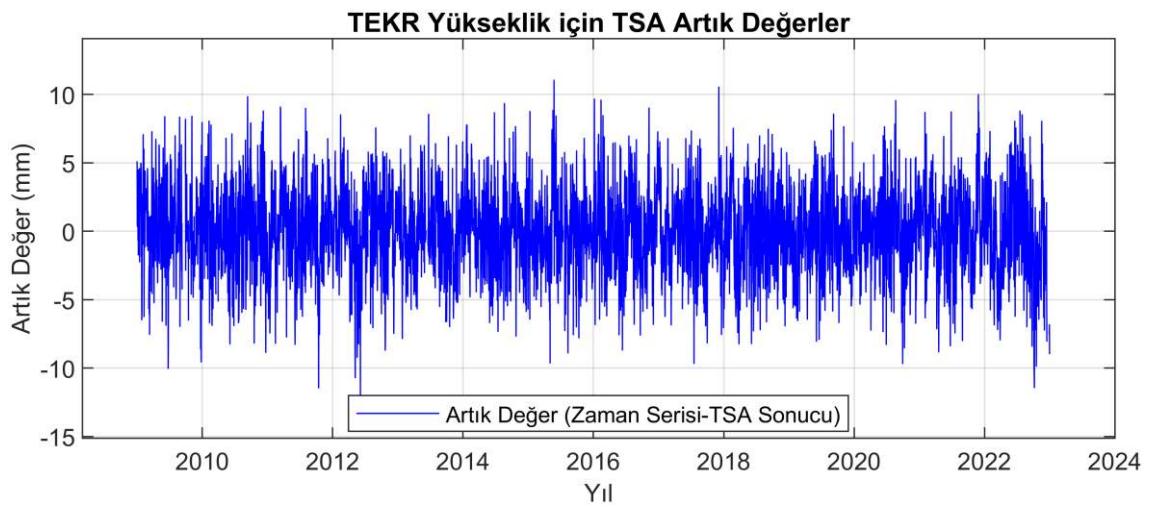
EK-4.87 TEK RYükseklik için TSA sonucu seçilen RC'ler.



EK-4.88 TEKR Yükseklik trend çıkarılmış zaman serisi ve TSA sonucu.

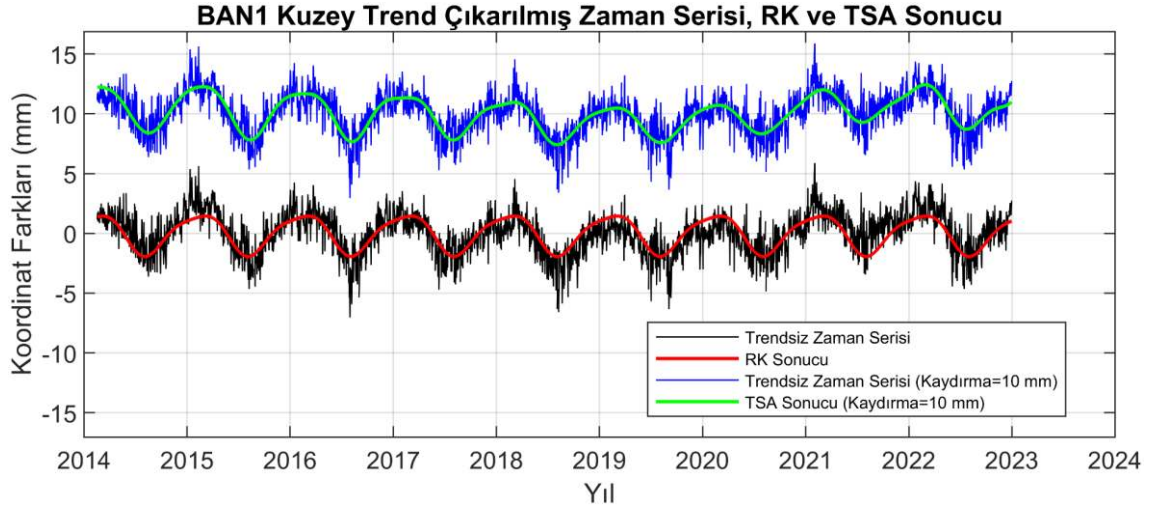


EK-4.89 TEKR Yükseklik orijinal zaman serisi ve trend eklenmiş TSA sonucu.

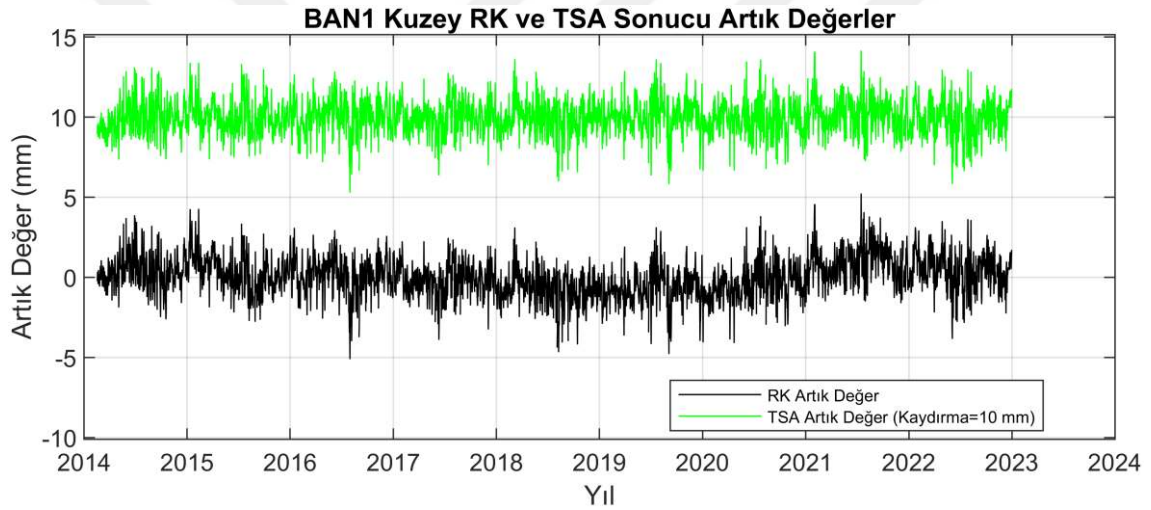


EK-4.90 TEKR Yükseklik için artık değerler (orijinal zaman serisi-TSA sonucu).

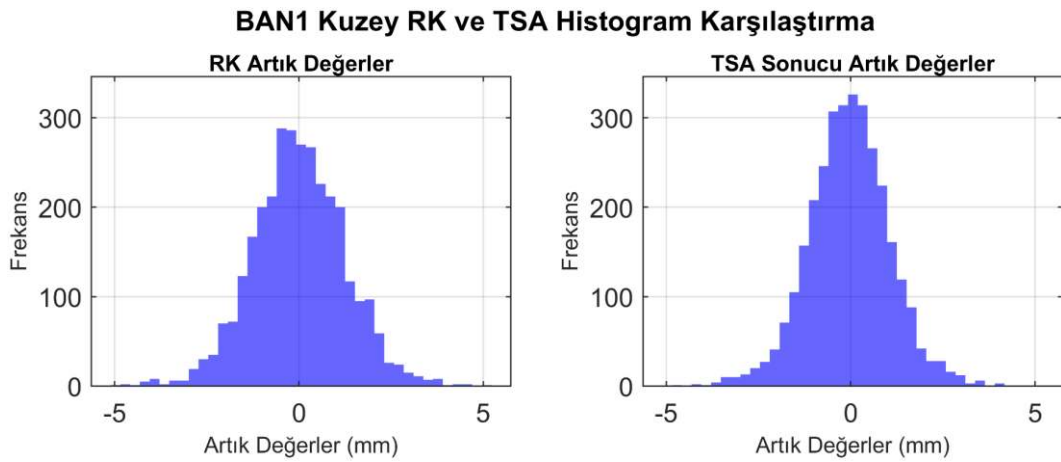
EK-5:
SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI



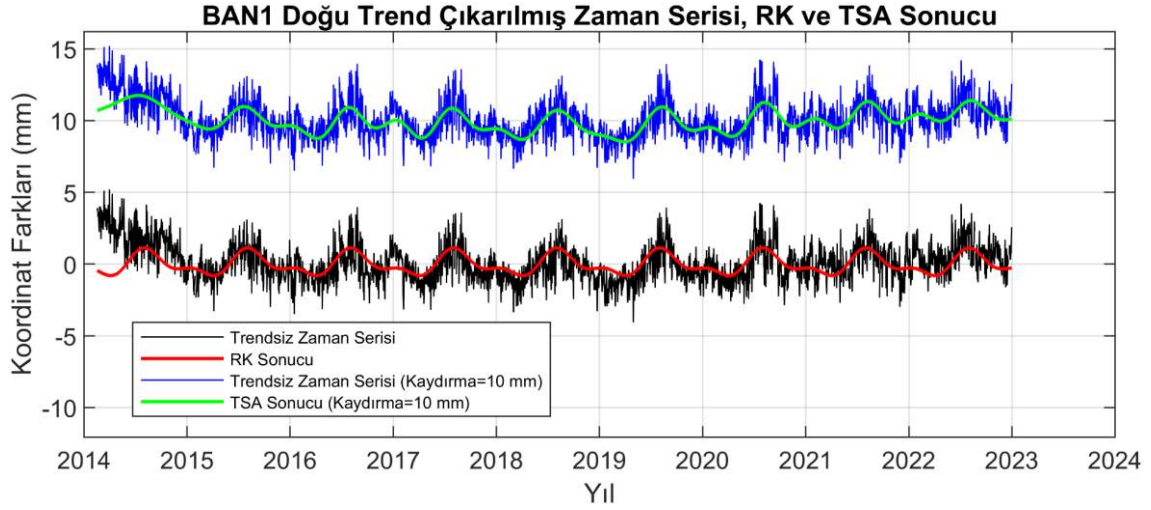
EK-5.1 BAN1 Kuzey için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



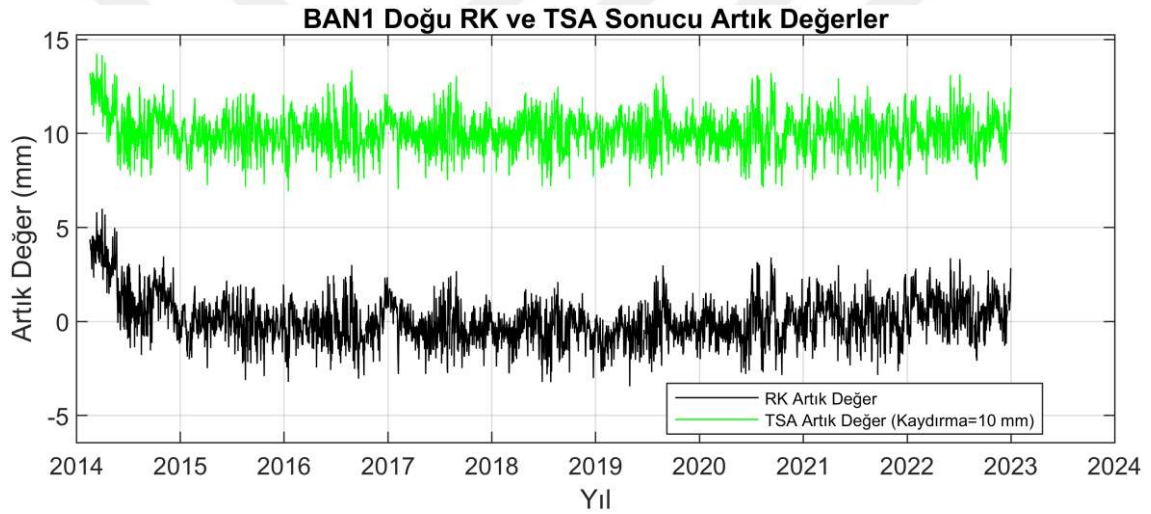
EK-5.2 BAN1 Kuzey için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



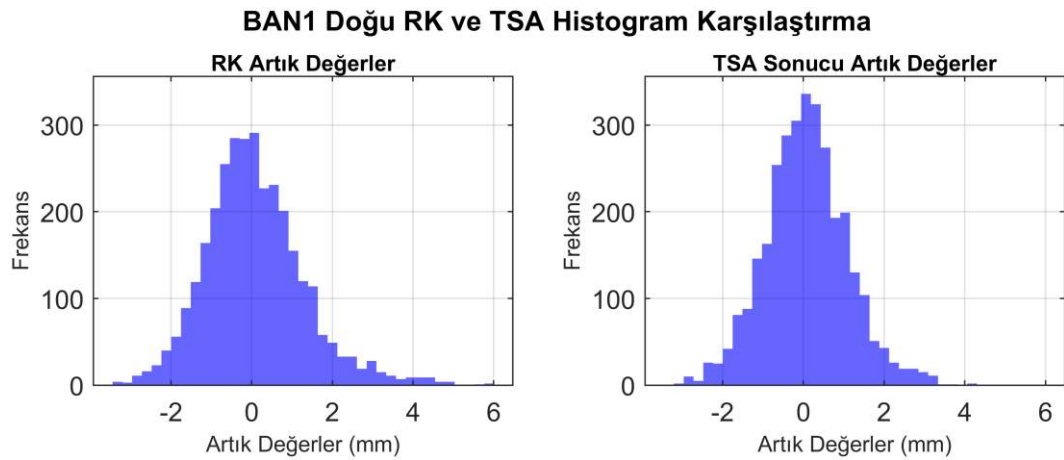
EK-5.3 BAN1 Kuzey için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



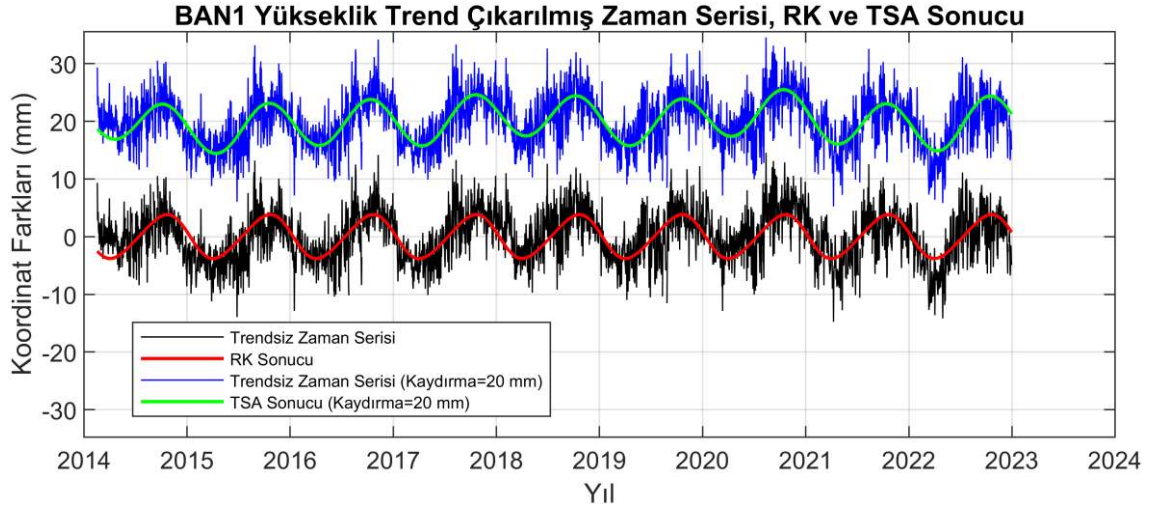
EK-5.4 BAN1 Doğu için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



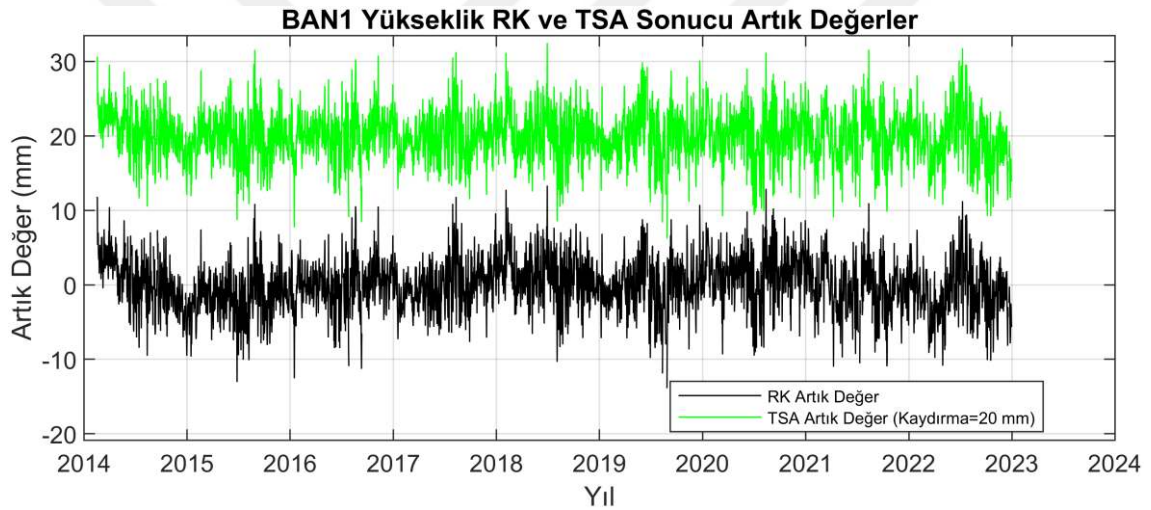
EK-5.5 BAN1 Doğu için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



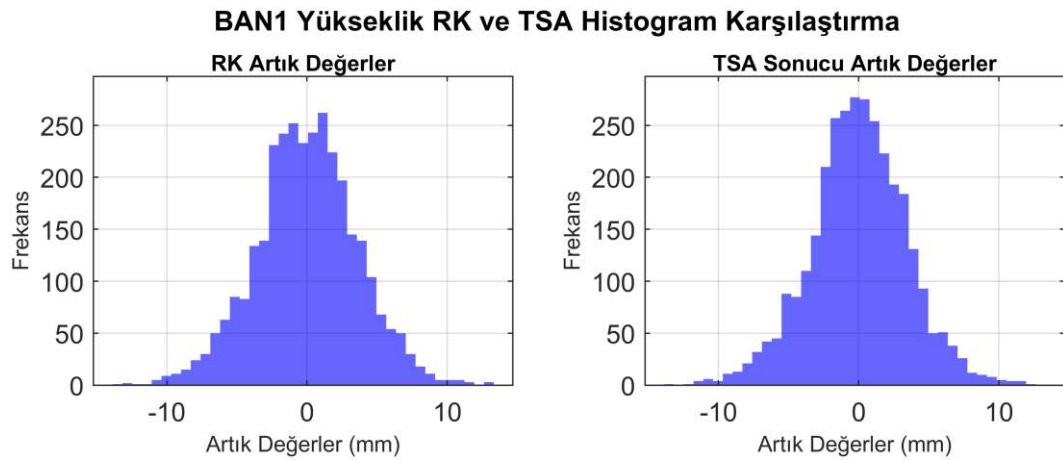
EK-5.6 BAN1 Doğu için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



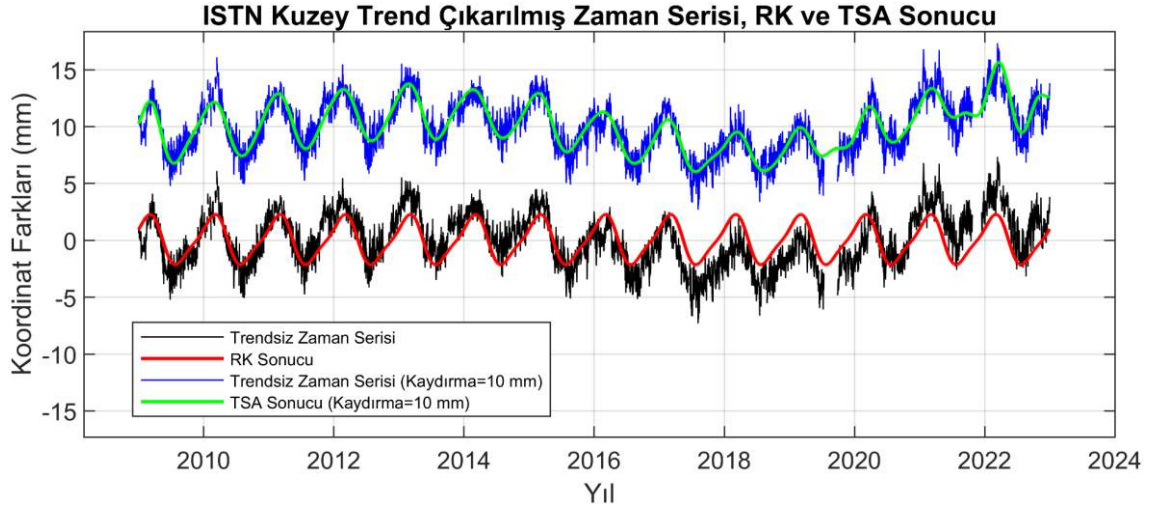
EK-5.7 BAN1 Yükseklik için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



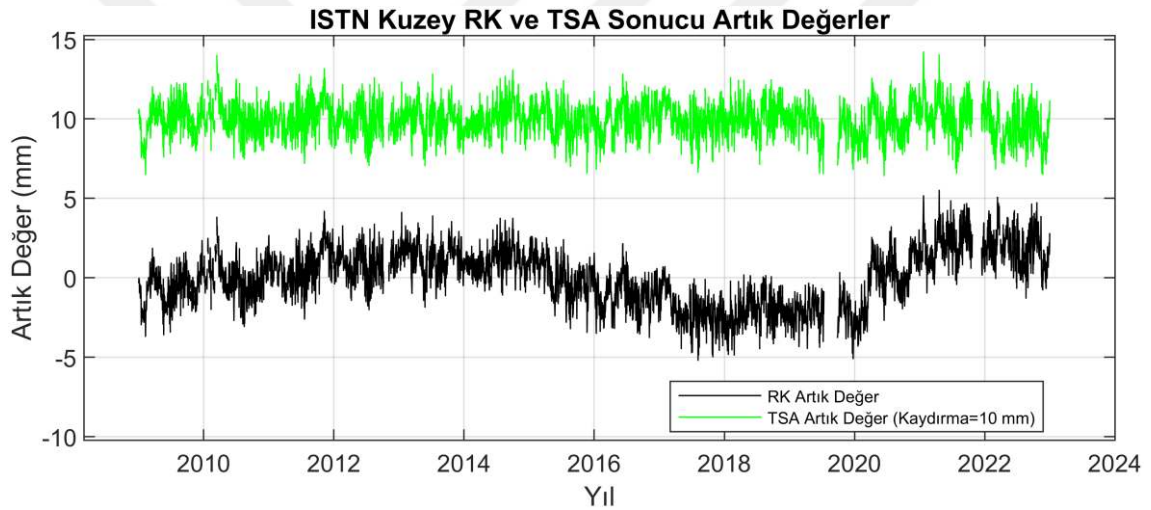
EK-5.8 BAN1 Yükseklik için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



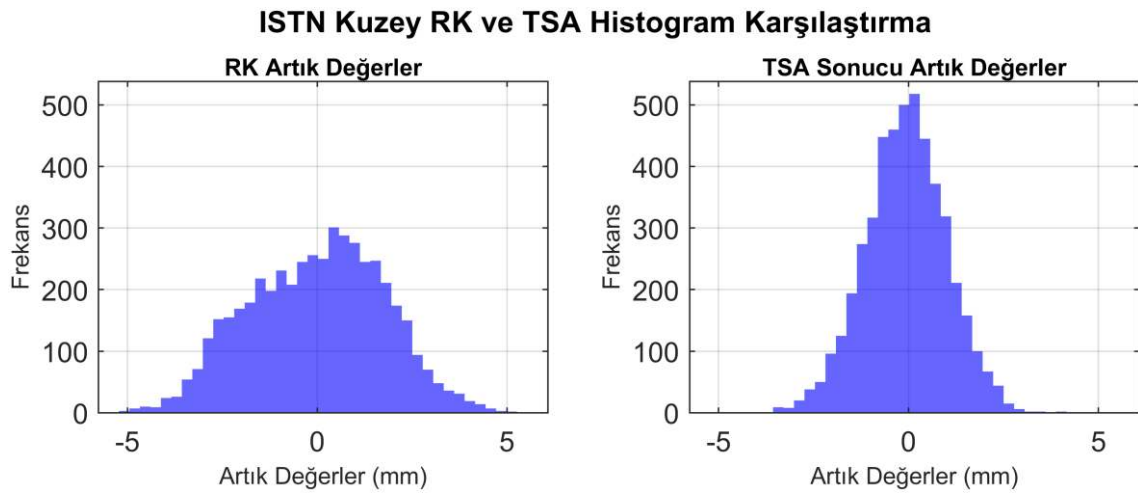
EK-5.9 BAN1 Yükseklik için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



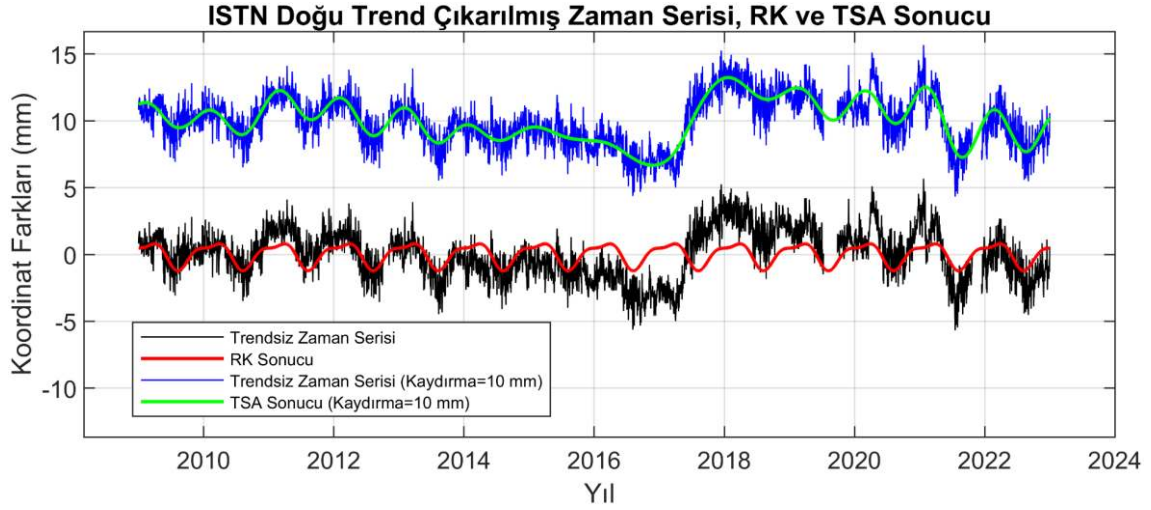
EK-5.10 ISTN Kuzey için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



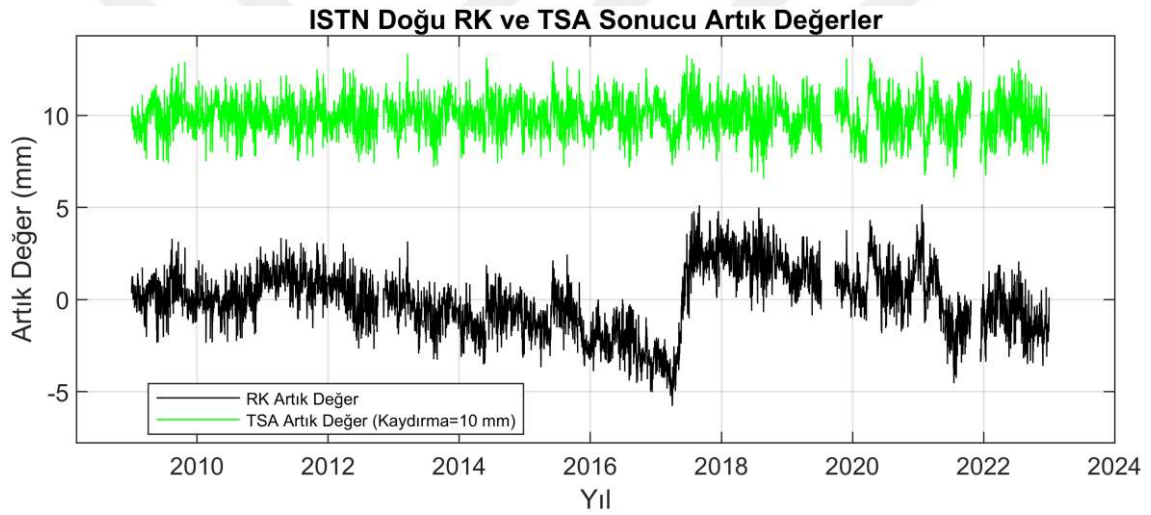
EK-5.11 ISTN Kuzey için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



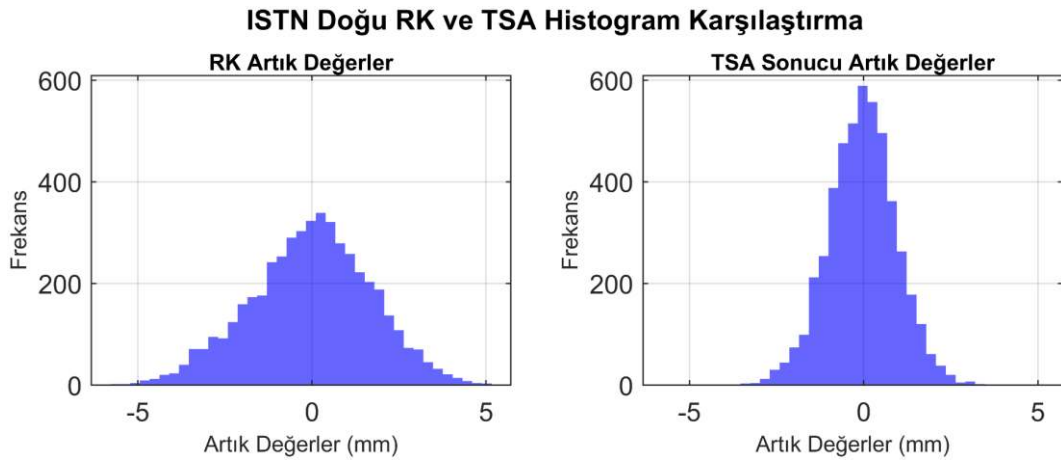
EK-5.12 ISTN Kuzey için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



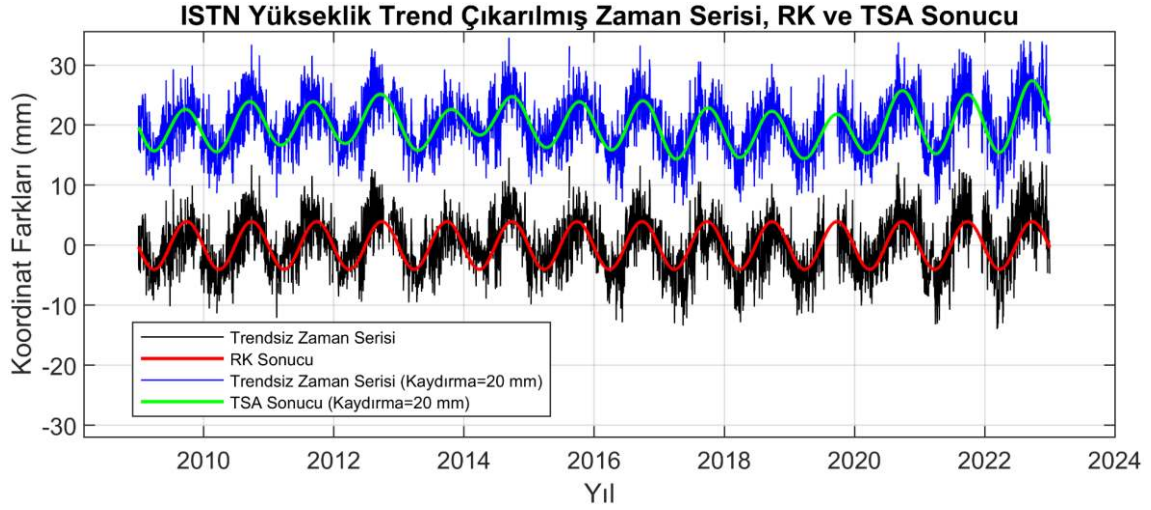
EK-5.13 ISTN Doğu için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



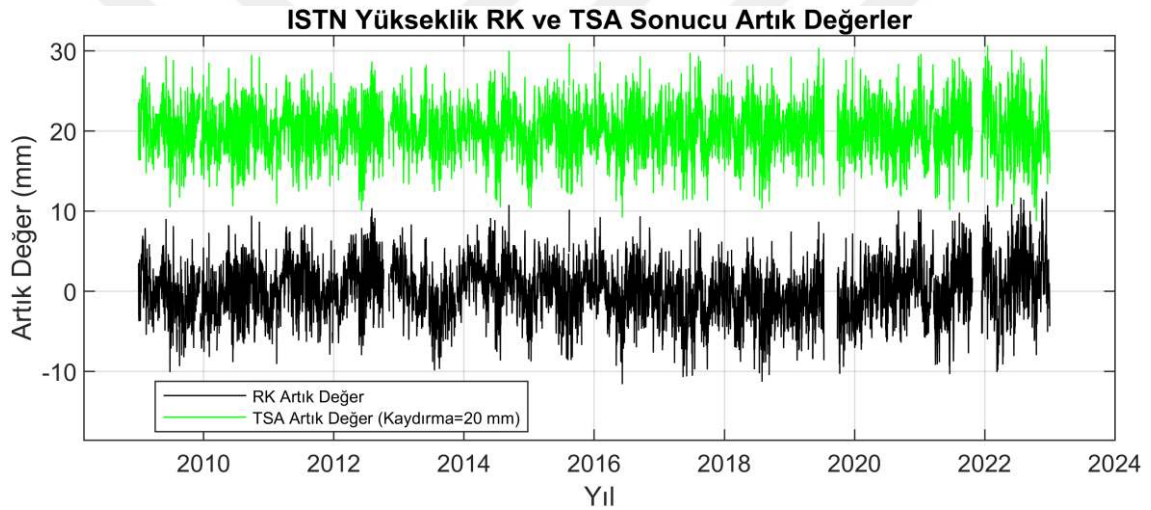
EK-5.14 ISTN Doğu için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



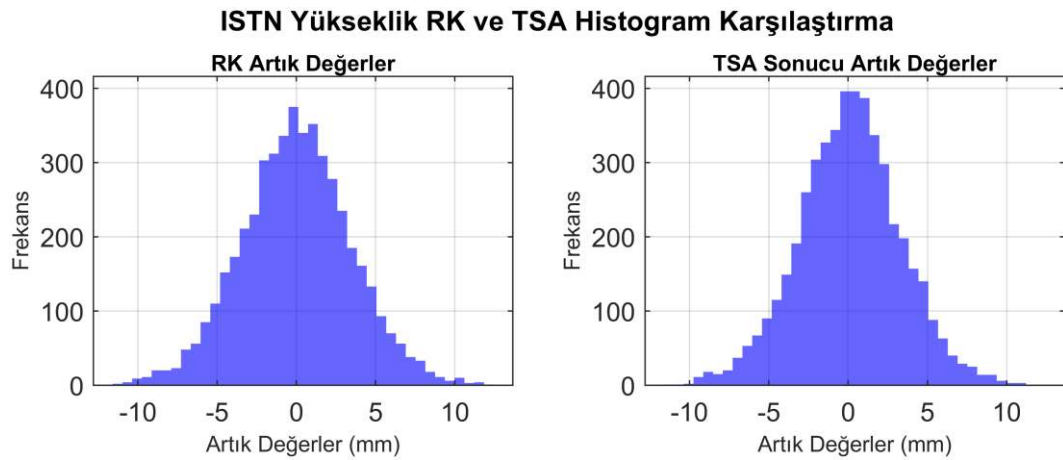
EK-5.15 ISTN Doğu için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



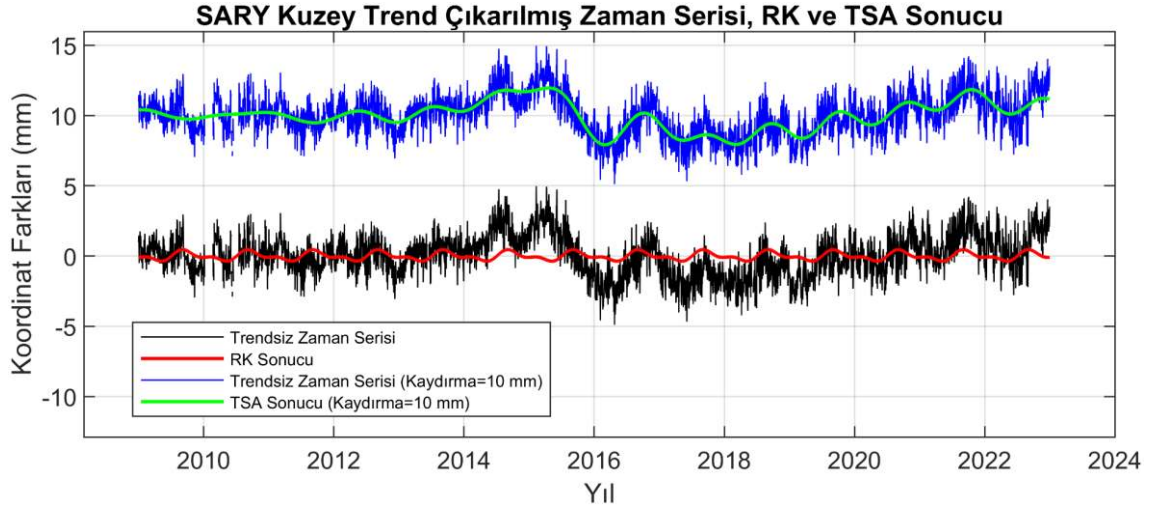
EK-5.16 ISTN Yükseklik için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



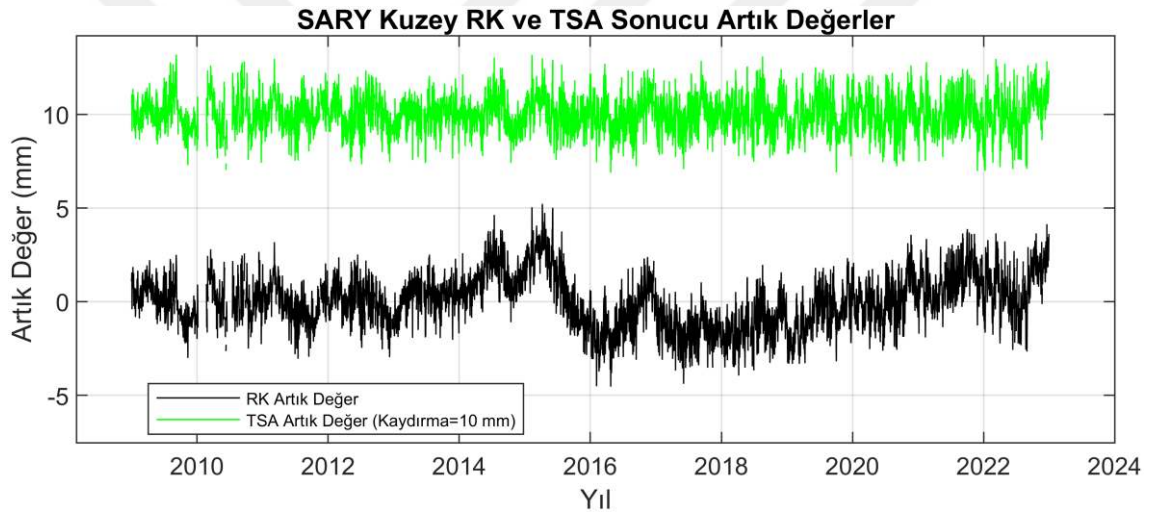
EK-5.17 ISTN Yükseklik için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



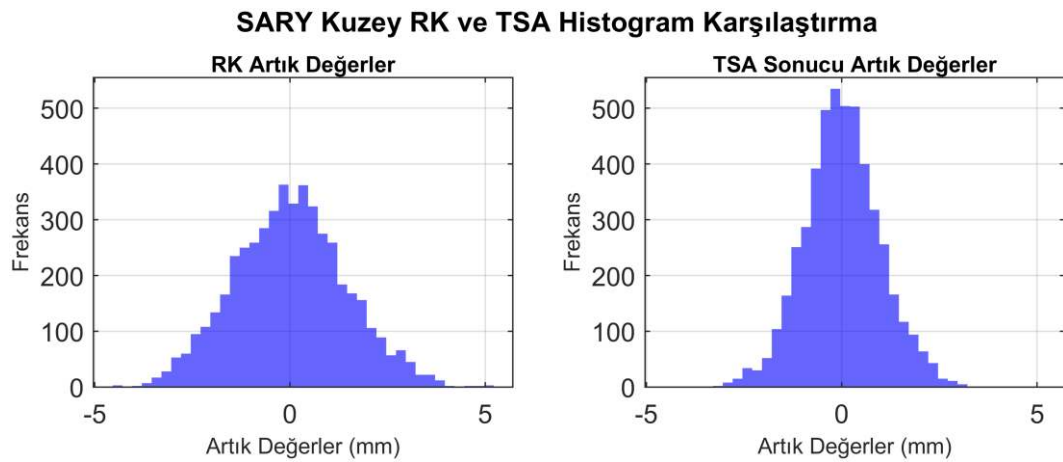
EK-5.18 ISTN Yükseklik için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



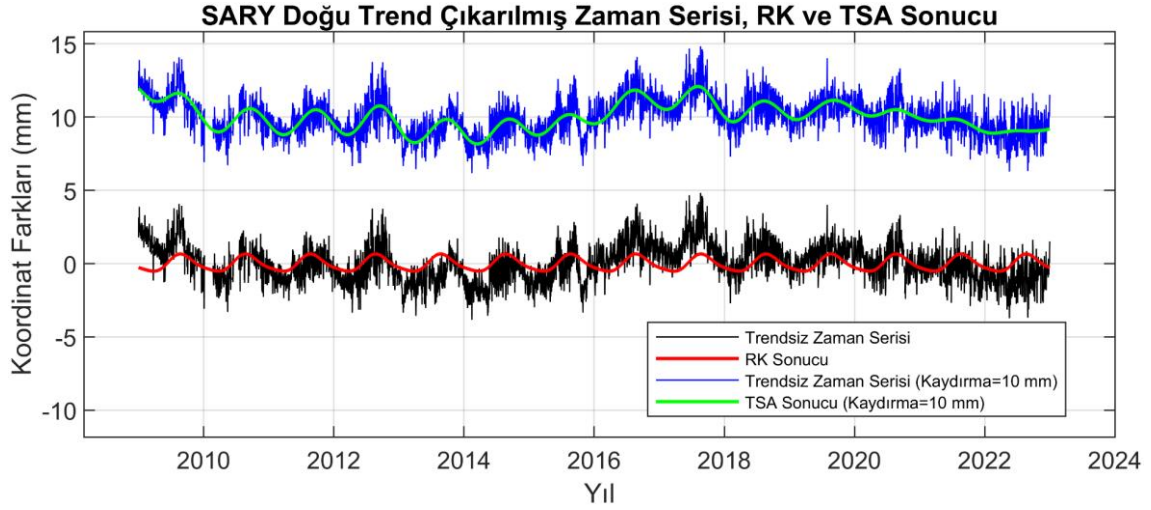
EK-5.19 SARY Kuzey için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



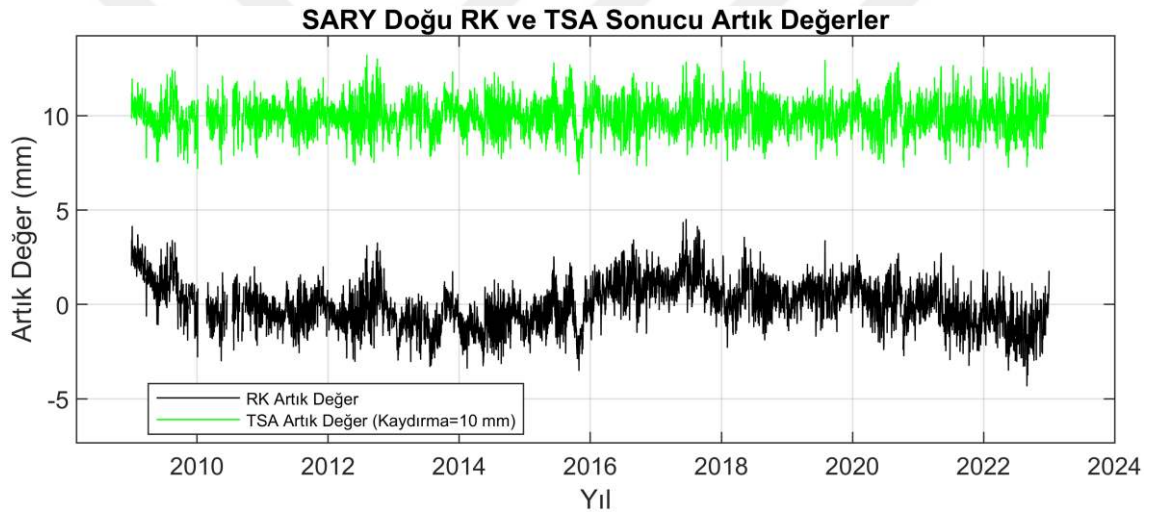
EK-5.20 SARY Kuzey için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



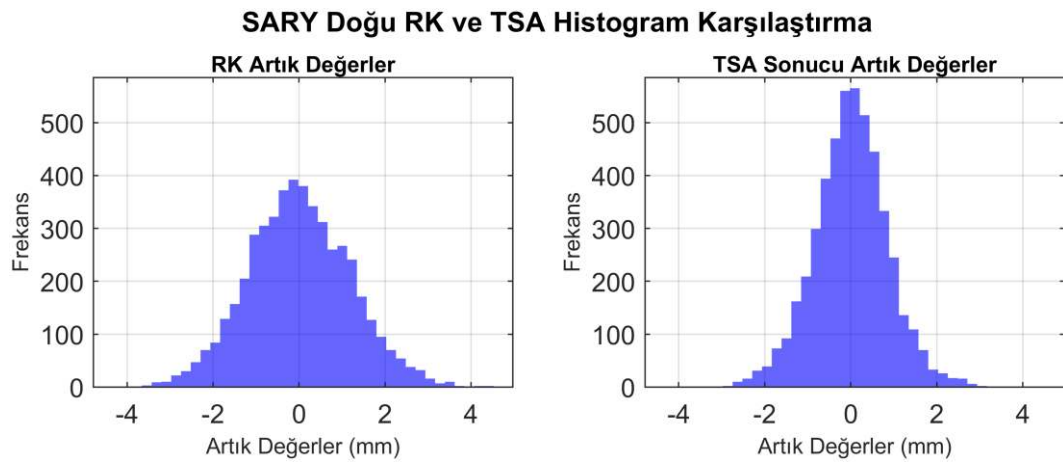
EK-5.21 SARY Kuzey için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



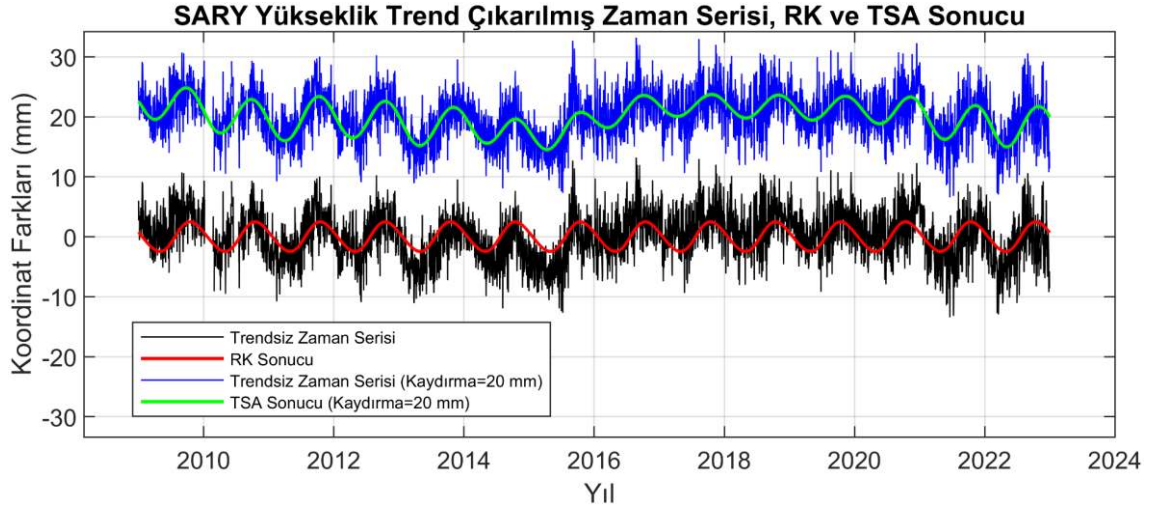
EK-5.22 SARY Doğu için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



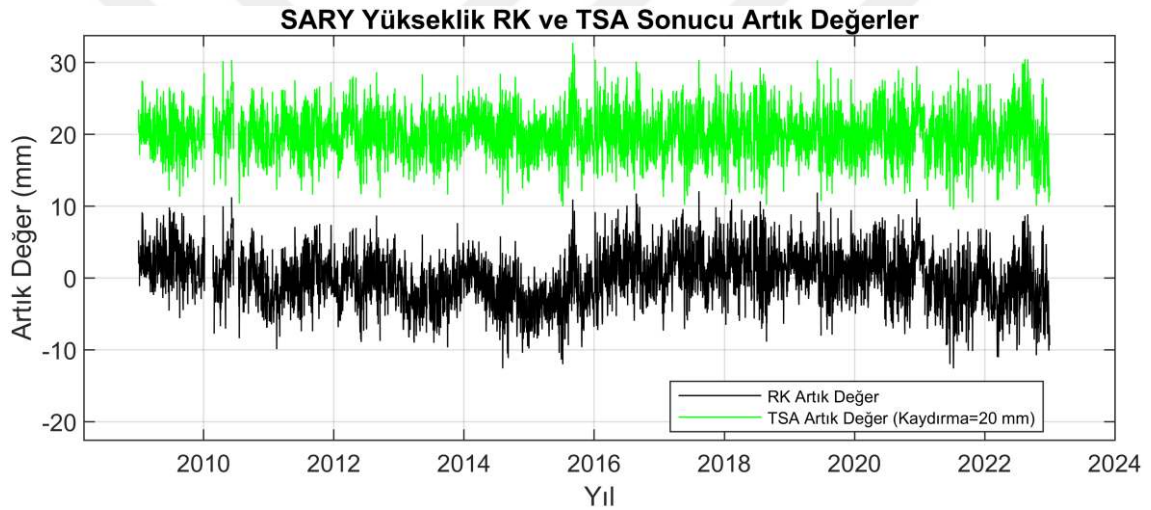
EK-5.23 SARY Doğu için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



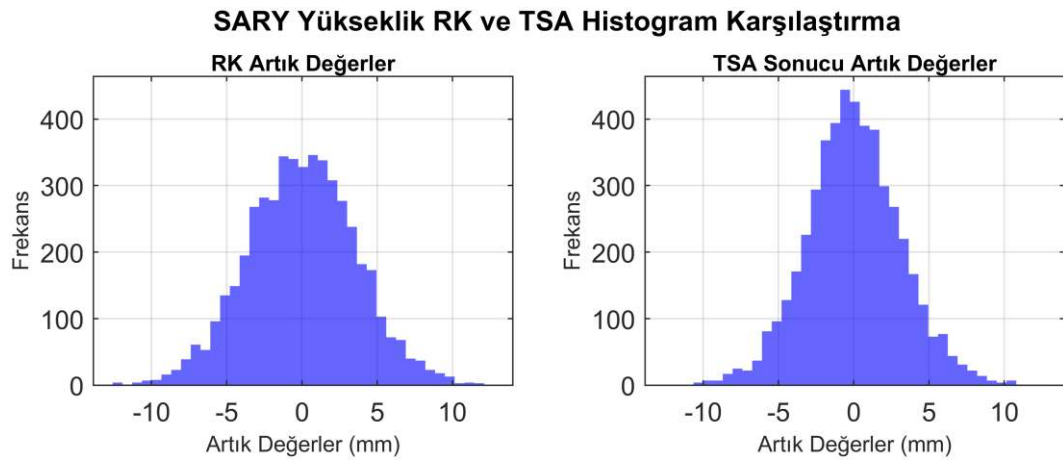
EK-5.24 SARY Doğu için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



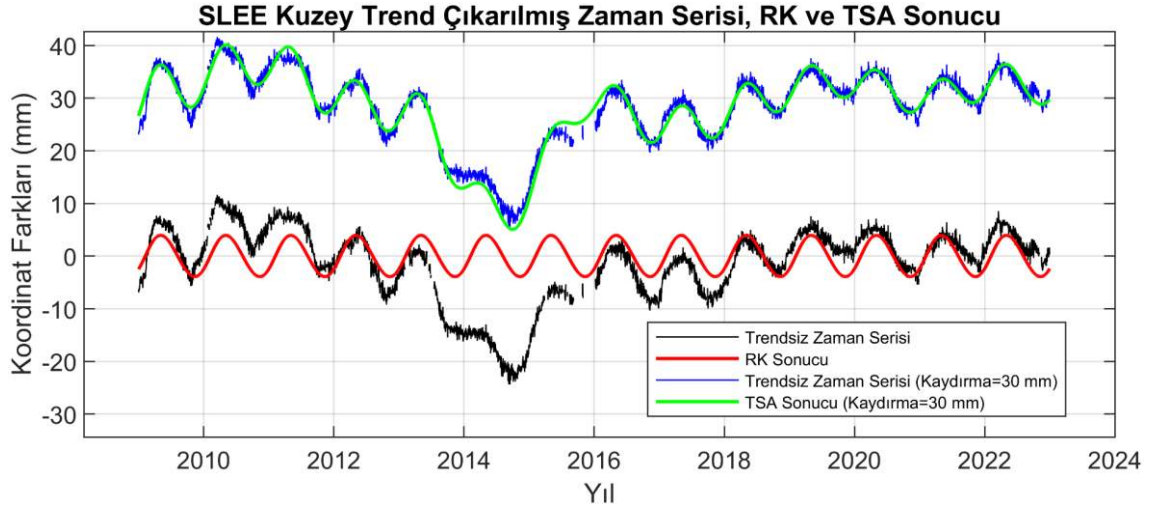
EK-5.25 SARY Yükseklik için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



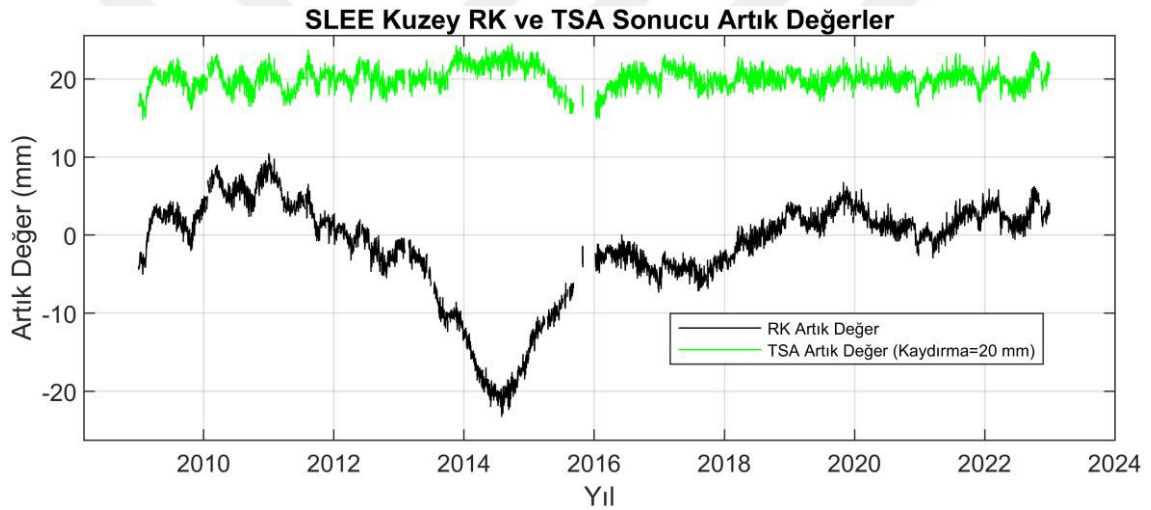
EK-5.26 SARY Yükseklik için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



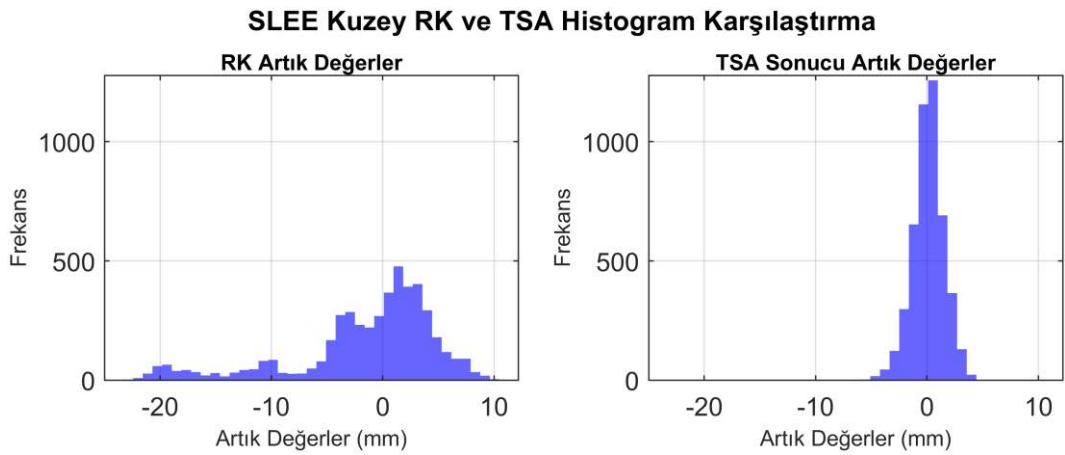
EK-5.27 SARY Yükseklik için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



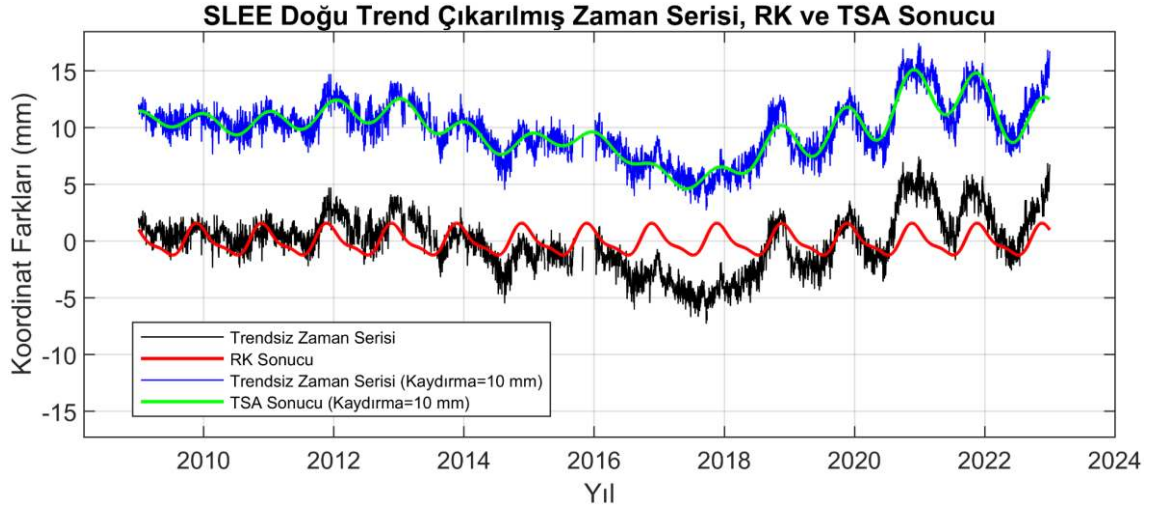
EK-5.28 SLEE Kuzey için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



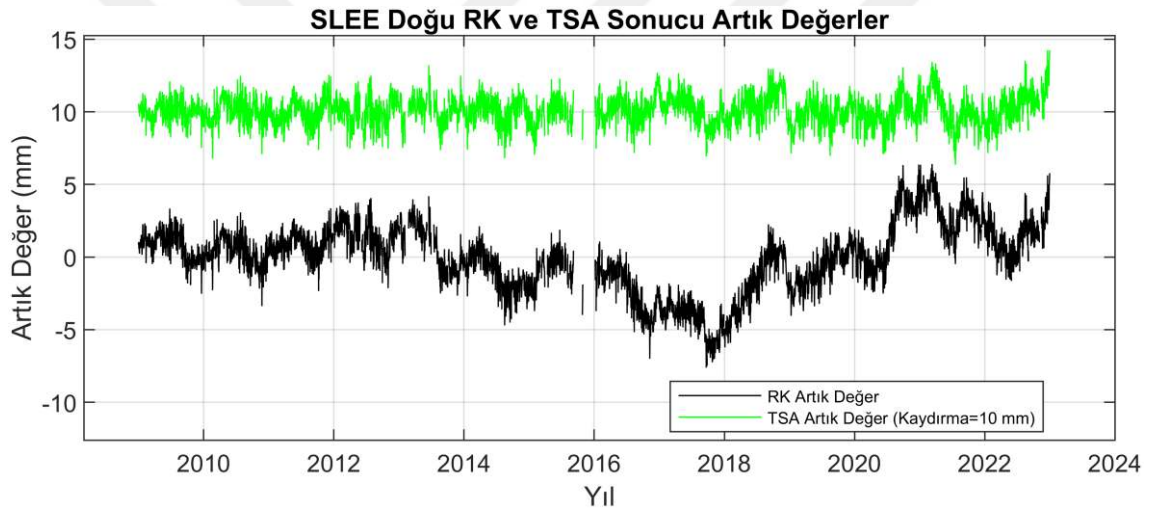
EK-5.29 SLEE Kuzey için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



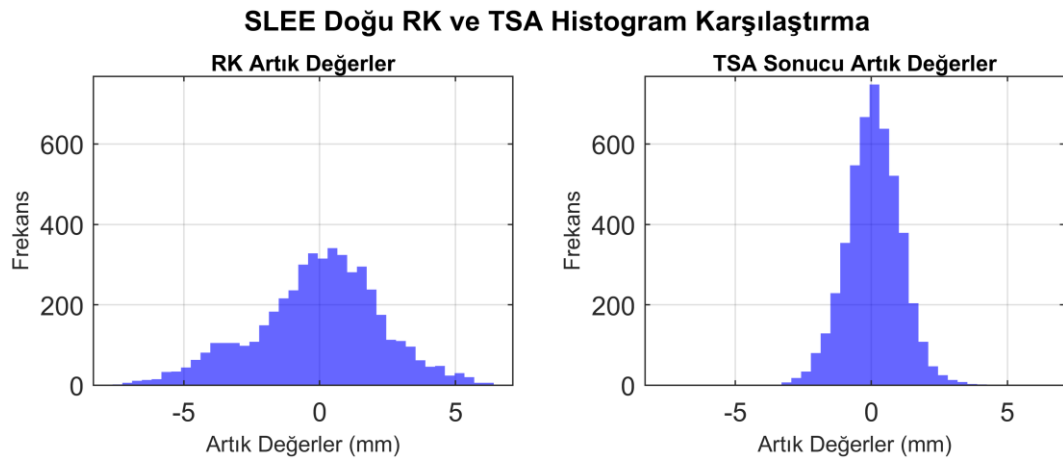
EK-5.30 SLEE Kuzey için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



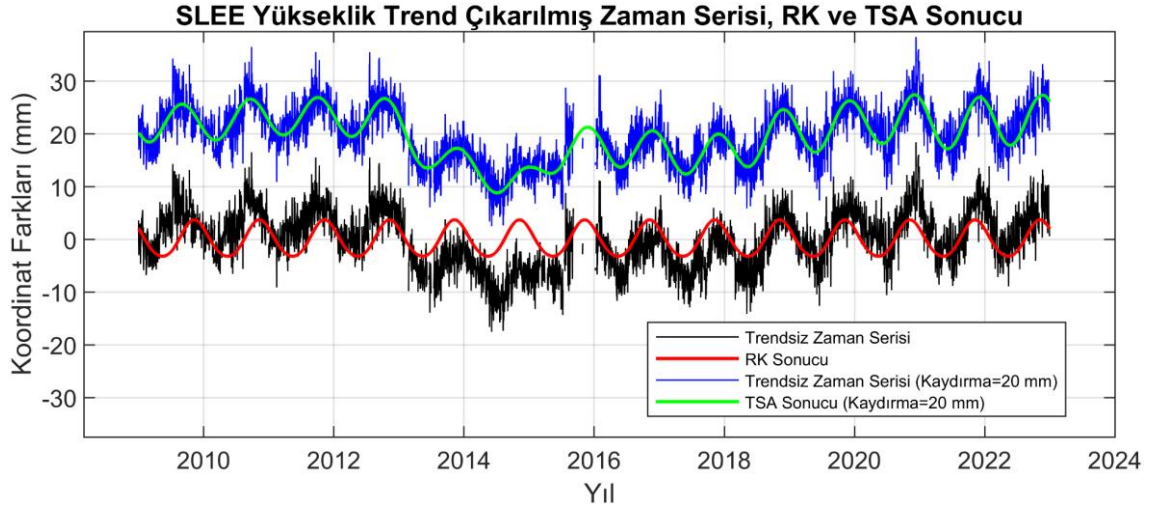
EK-5.31 SLEE Doğu için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



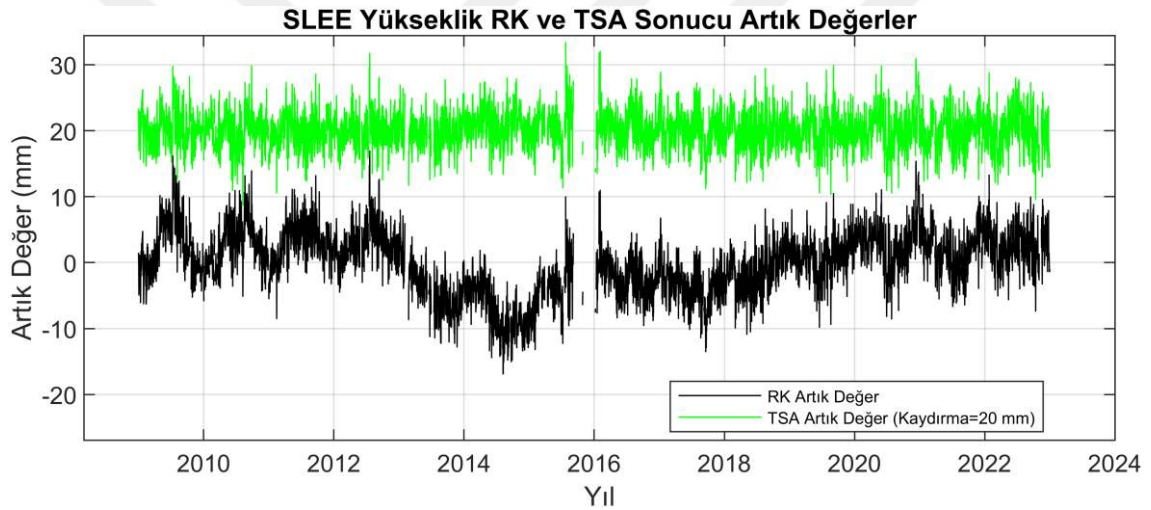
EK-5.32 SLEE Doğu için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



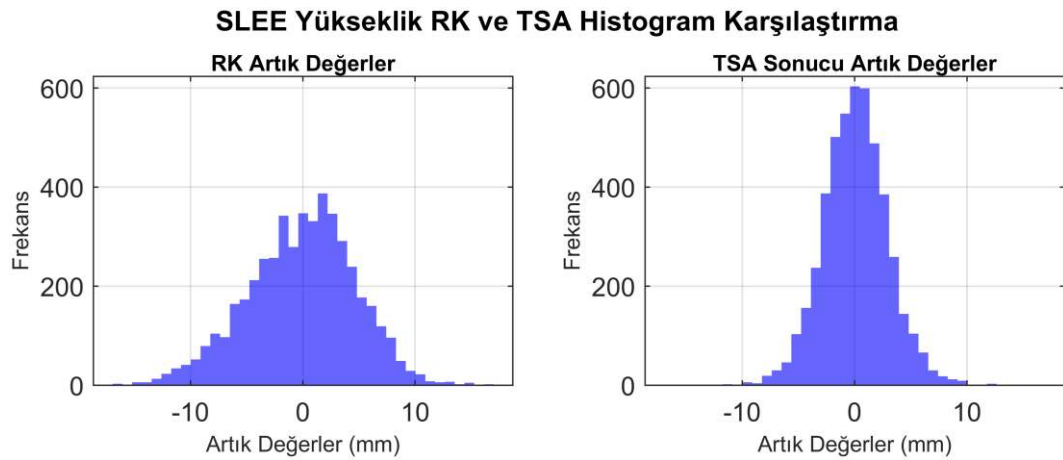
EK-5.33 SLEE Doğu için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



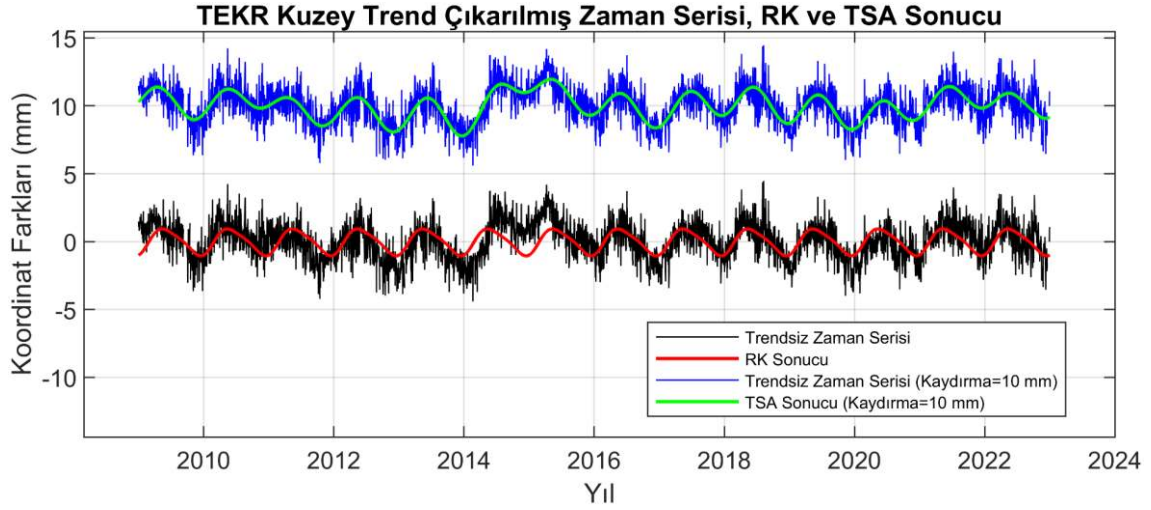
EK-5.34 SLEE Yükseklik için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



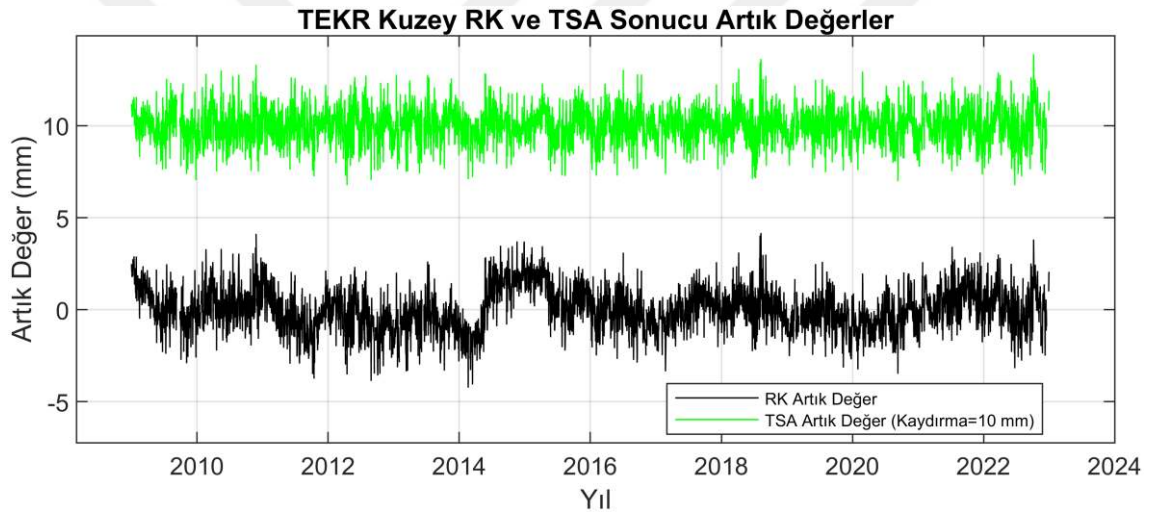
EK-5.35 SLEE Yükseklik için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



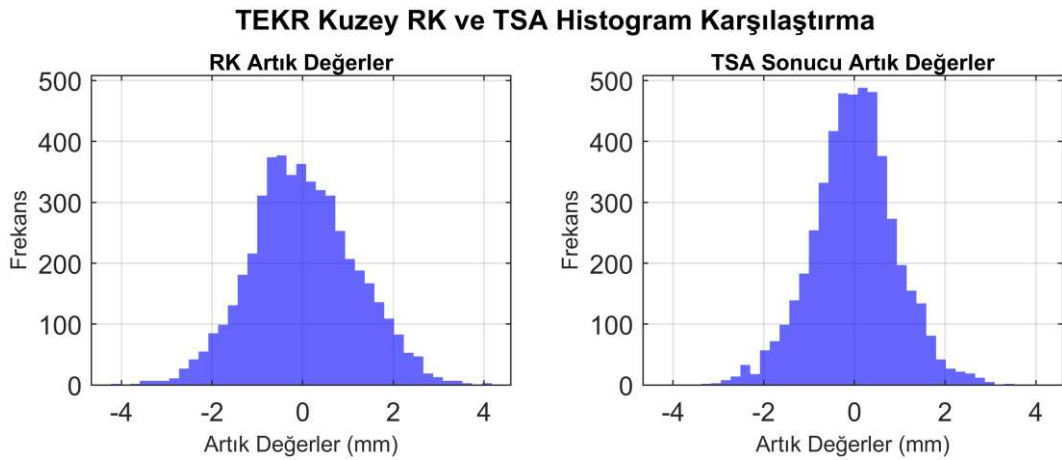
EK-5.36 SLEE Yükseklik için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



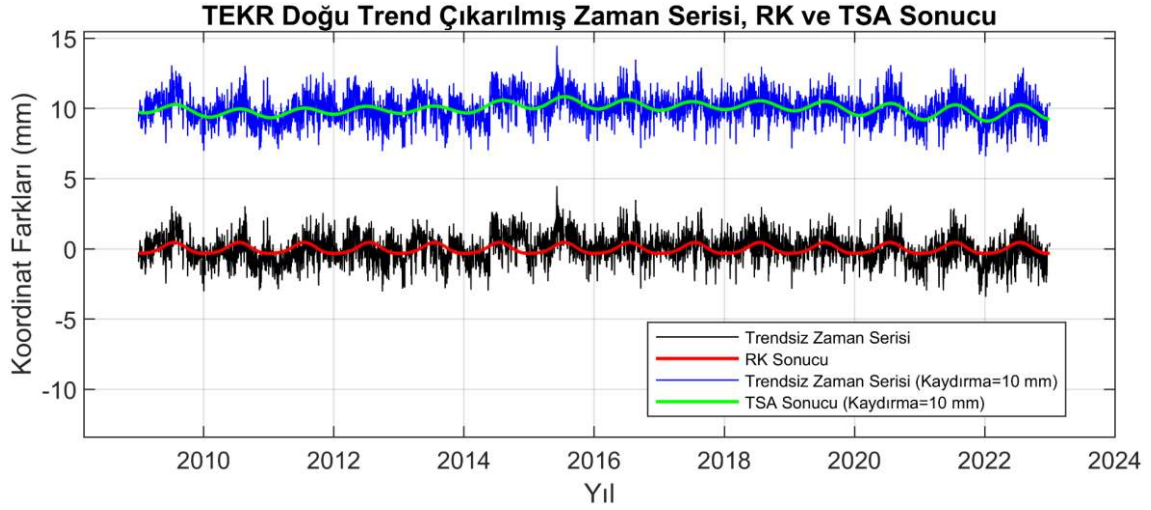
EK-5.37 TEKR Kuzey için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



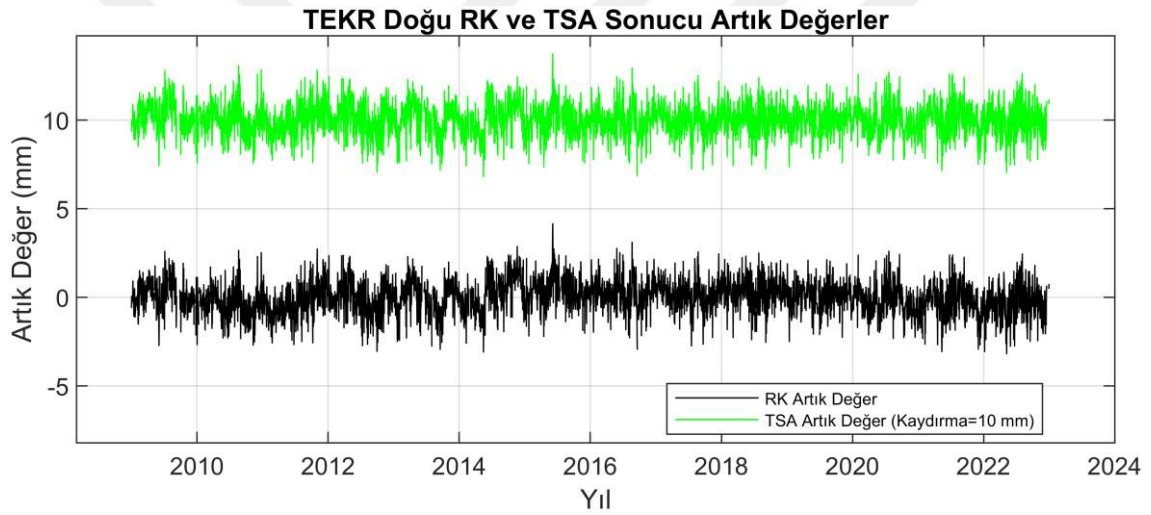
EK-5.38 TEKR Kuzey için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



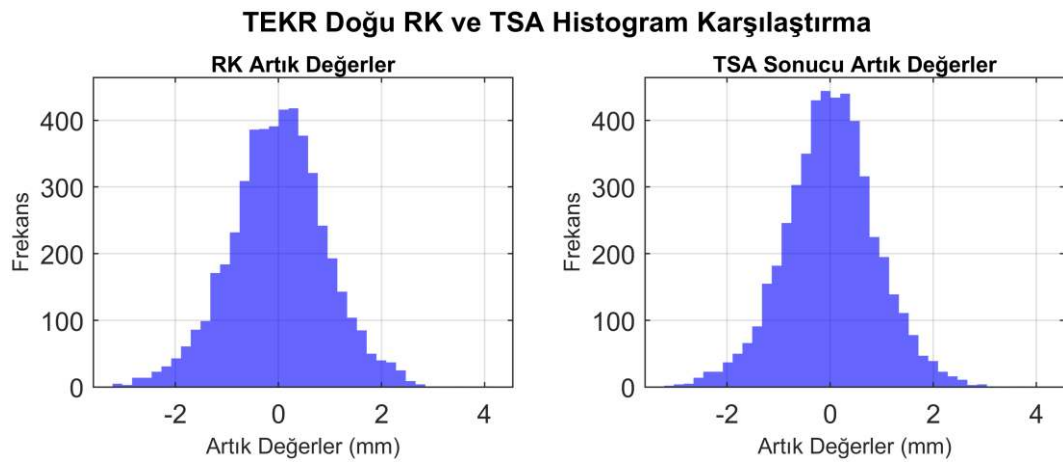
EK-5.39 TEKR Kuzey için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



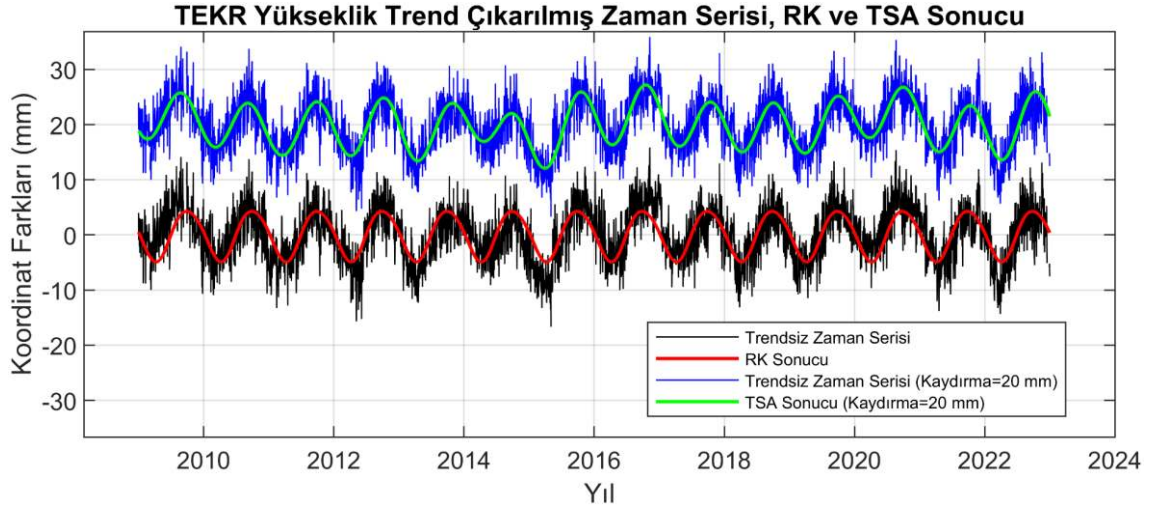
EK-5.40 TEKR Doğu için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



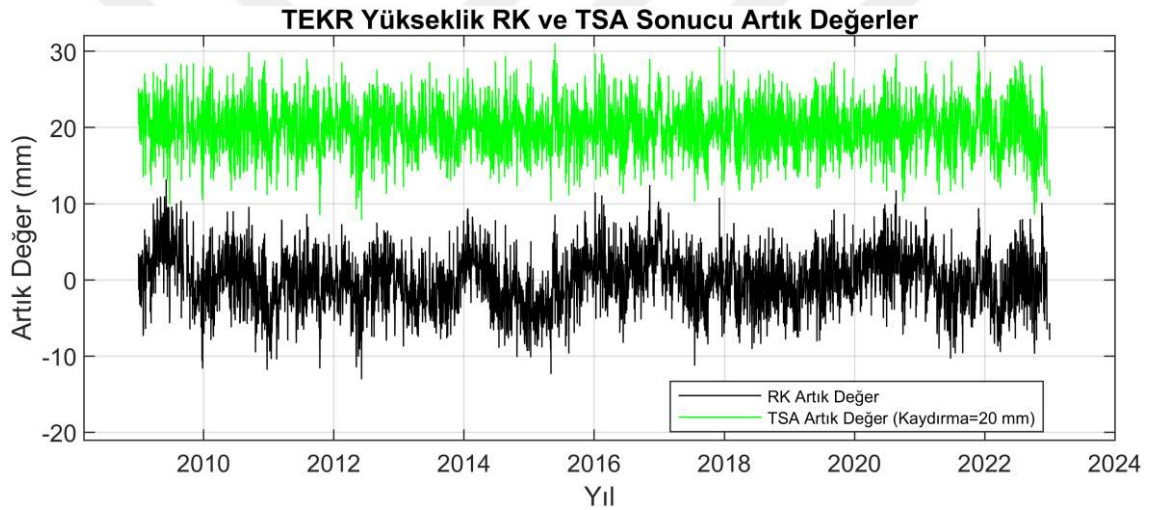
EK-5.41 TEKR Doğu için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



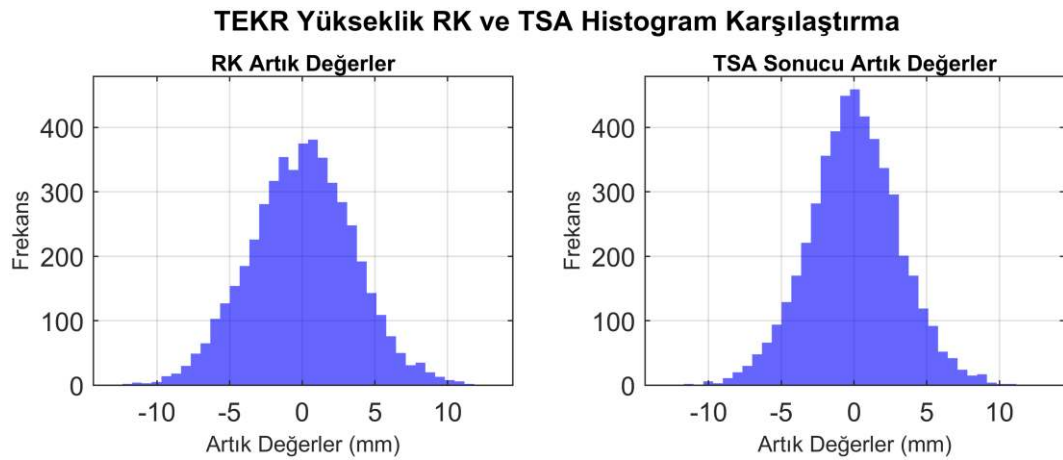
EK-5.42 TEKR Doğu için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.



EK-5.43 TEKR Yükseklik için trend çıkarılmış RK ve TSA sonuçlarının karşılaştırılması.



EK-5.44 TEKR Yükseklik için RK ve TSA sonuçları artık değerlerin karşılaştırılması.



EK-5.45 TEKR Yükseklik için RK ve TSA sonuçları histogramların karşılaştırılması.