

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**IGS KOORDİNAT ZAMAN SERİLERİNDE TREND VE MEVSİMSELLİK**  
**ANALİZİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE İRDELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Müh. Seldanur ÇELİK**

**MAYIS 2018**  
**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**IGS KOORDİNAT ZAMAN SERİLERİNDE TREND VE MEVSİMSELLİK ANALİZİNİN**  
**FARKLI YÖNTEMLERLE İRDELENMESİ**

**Harita Müh. Seldanur ÇELİK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**“HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ”**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 / 05 / 2018**

**Tezin Savunma Tarihi : 21 / 05 / 2018**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI**

**Trabzon 2018**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

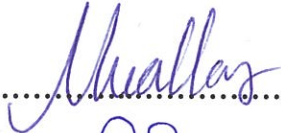
**Harita Mühendisliği Anabilim Dalında  
Seldanur ÇELİK Tarafından Hazırlanan**

**IGS KOORDİNAT ZAMAN SERİLERİNDE  
TREND VE MEVSİMSELLİK ANALİZİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE  
İRDELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 02 / 05 / 2018 gün ve 1751 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA**



**Üye : Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI**



**Üye : Doç. Dr. Yasemin ŞİŞMAN**



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında yapmış olduğum bu tez çalışmasında danışmanlığımı üstlenen, tezin hazırlanması sürecinde bilgileriyle, deneyimleriyle, ilgisiyle, anlayışıyla daima bana destek olan, yol gösteren, mesleğimle ilgili kendimi geliştirebilmem adına bana fırsatlar sunan çok kıymetli ve saygıdeğer hocam Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI'ya çok teşekkür ederim. Tez çalışmamla ilgili görüş aldığım değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Esra TUNÇ GÖRMÜŞ'e bana ayırdığı zaman için teşekkür ederim.

Eğitimim ve mesleğim adına aldığım kararlarda, attığım adımlarda her zaman desteklerini ve sevgilerini yanımda hissettiğim canım aileme şükranlarımı sunarım. Lisans döneminden itibaren devamlı iletişim içinde olduğum, her türlü üzüntümü ve mutluluğumu paylaşabildiğim canım arkadaşlarım Bilge ÇINKIR ve Ezgi ÖKSÜZ'e; lisansüstü dönemde güzel vakit geçirdiğim değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Zehra Merve CİNAN, Pınar KAZAZ, Seher KAZAZ ve Mustafa GÜNDÜZ'e tez çalışmam sürecinde bana verdikleri destekten dolayı çok teşekkür ederim. Bölümümüzde, çalışma odalarında beni misafir eden, Arş. Gör. Selma ZENGİN KAZANCI, Arş. Gör. Özge KARAASLAN ve Arş. Gör. Cansu BEŞEL'e ayrıca teşekkür ederim.

Seldanur ÇELİK  
Trabzon, 2018

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “IGS Koordinat Zaman Serilerinde Trend ve Mevsimsellik Analizinin Farklı Yöntemlerle İrdelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

21/05/2018

Seldanur ÇELİK

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Literatür Çalışması.....	2
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	5
1.4. Sabit GNSS Ağları.....	6
1.5. IGS; Uluslararası GNSS Servisi .....	7
1.6. IGS İstasyonları Koordinat Bileşenlerini Etkileyen Faktörler.....	12
1.7. IGS İstasyonları Koordinat Zaman Serileri .....	15
1.7.1. Zaman Serileri Bileşenleri .....	15
1.7.2. Zaman Serilerinin Sınıflandırılması .....	18
1.7.3. Zaman Serilerinde Korelasyon .....	19
1.7.3.1. Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF) .....	19
1.7.3.2. Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu (PACF) .....	21
1.7.3.3. Korelogram ve Korelogramın Yorumlanması .....	22
1.8. Zaman Serilerinde Trend ve Mevsimsellik Analizleri.....	22
1.8.1. Doğrusal Regresyon Analizi.....	23
1.8.2. Hareketli Ortalama Yöntemi.....	27
1.8.3. Hilbert Huang Dönüşümü (HHD) .....	30
1.8.3.1. Deneysel Mod Ayırıştırma (EMD).....	31
1.8.3.2. Hilbert Dönüşümü (HD).....	35
1.9. Zaman Serilerinde Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi .....	36
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	38
2.1. Türkiye IGS İstasyonları Koordinat Zaman Serileri Analizleri .....	39

2.1.1.	Zaman Serilerinde Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması .....	40
2.1.2.	Zaman Serilerinde Veri Kesikliklerinin İncelenmesi .....	44
2.1.3.	Zaman Serilerinde Otokorelasyon Analizi ile Trend İnceleme .....	48
2.1.4.	Zaman Serilerinde Doğrusal Regresyon Analizi .....	49
2.1.5.	Zaman Serilerinde Çeyrek ve Yarım Yıllık Trend Analizi .....	53
2.1.6.	Zaman Serilerinde Hareketli Ortalama .....	58
2.1.7.	Zaman Serilerinde Otokorelasyon Analizi ile Mevsimsellik İnceleme .....	62
2.1.8.	Zaman Serilerinde Deneysel Mod Ayırıştırma .....	64
2.1.9.	Zaman Serilerinde Hilbert Dönüşümü .....	90
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER .....	104
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	109
5.	KAYNAKLAR .....	111

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

IGS KOORDİNAT ZAMAN SERİLERİNDE TREND VE MEVSİMSELLİK  
ANALİZİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE İRDELENMESİ

Seldanur ÇELİK

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI  
2018, 113 Sayfa

Zaman serisi analizleri, günümüzde birçok veri grubunda meydana gelen değişimlerin incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada dünyanın çeşitli noktalarına sabit olarak tesis edilmiş, ancak kabuksal hareketler, atmosferik yüklemeler gibi etkilerden dolayı zamanla trend ve mevsimsellik özellik gösteren IGS (International GNSS Service) istasyonlarında koordinat zaman serileri analiz edilmiştir. GNSS (Global Navigation Satellite System) sistemlerine dayalı elde edilen IGS koordinat serilerinde trend ve mevsimsel salınımların analizleri için Türkiye’de bulunan ANKR, ISTA ve TUBI istasyonlarının verileri kullanılmıştır.

Koordinat serilerinde öncelikle uyuşumsuz ölçüler k-sigma yöntemiyle tespit edilmiştir. Serilerde meydana gelen veri kesiklikleri de incelendikten sonra tespit edilen uyuşumsuz ölçüler veriden ayıklanmıştır. Serilerde trend ve mevsimselliğin varlığını incelemek için otokorelasyon analizi yapılmıştır. Trend analizleri için Doğrusal Regresyon Modeli, Basit Hareketli Ortalama ve Hilbert Huang Dönüşümüne (HHD) dayalı Deneysel Mod Ayırıştırma (Empirical Mode Decomposition-EMD) yöntemi uygulanmıştır. EMD yönteminden elde edilen İçsel Mod Fonksiyonlarına (Intrinsic Mode Functions-IMF), HHD’ye dayalı Hilbert Dönüşümü (HD) uygulanarak seri içindeki anlık frekanslarda meydana gelen değişimler irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** IGS İstasyonları, Koordinat Zaman Serileri, Trend, Mevsimsellik, Otokorelasyon, Doğrusal Regresyon, Hareketli Ortalama, Hilbert Huang Dönüşümü, Deneysel Mod Ayırıştırma, Hilbert Dönüşümü.



Master Thesis

SUMMARY

EXAMINATION OF TREND AND SEASONALITY ANALYSIS BY DIFFERENT  
METHODS IN IGS COORDINATE TIME SERIES

Seldanur ÇELİK

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Geomatic Engineer Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Emine TANIR KAYIKÇI  
2018, 113 Pages

Nowadays, time series analysis make possible to examine the changes occurring in many data groups. In this study, coordinate time series were analyzed at IGS (International GNSS Service) stations, which are stationary to various parts of the world but are trend and seasonal in time due to effects such as crustal movements and atmospheric loads. In the IGS coordinate series based on GNSS (Global Navigation Satellite Systems) systems, ANKR, ISTA and TUBI stations in Turkey, were used for the analysis of trend and seasonal oscillations.

In the coordinate series, firstly outliers measurements were determined by k-sigma method. After examining the data cuttings in the series, outliers measurements were extracted from the data. In order to examine the existence of trends and seasonality in the series, autocorrelation analysis was applied. For trend analysis, Linear Regression Model, Simple Moving Average and EMD (Empirical Mode Decomposition) method based on the HHT (Hilbert Huang Transformation) was applied. The HT (Hilbert Transformation) based on HHT was applied for the IMF (Intrinsic Mode Functions) obtained from the EMD method and instantaneous frequency changes in the series have been examined.

**Key Words:** IGS Stations, Coordinate Time Series, Trend, Seasonality, Autocorrelation, Linear Regression, Moving Average, Hilbert Huang Transform, Empirical Mode Decomposition, Hilbert Transformation.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. IGS Ağı .....	8
Şekil 2. Türkiye'de bulunan IGS istasyonları .....	8
Şekil 3. Deterministik trend (I ve II) ve stokastik trend (III). .....	16
Şekil 4. Mevsimsel bileşen .....	17
Şekil 5. Dönemsel bileşen .....	17
Şekil 6. Durağan olmayan ve durağan olan seri grafikleri .....	19
Şekil 7. Basit hareketli ortalama.....	30
Şekil 8. $k$ -sigma yöntemi ile uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi.....	37
Şekil 9. Çalışmada kullanılan IGS istasyonları .....	38
Şekil 10. SOPAC veri ulaşımı .....	39
Şekil 11. Koordinat serilerinde $k$ -sigma metotunun uygulanması.....	40
Şekil 12. ANKR istasyonu uyuşumsuz ölçülerin tespiti .....	41
Şekil 13. ISTA istasyonu uyuşumsuz ölçülerin tespiti.....	42
Şekil 14. TUBI istasyonu uyuşumsuz ölçülerin tespiti .....	43
Şekil 15. ANKR istasyonu veri kesiklikleri .....	45
Şekil 16. ISTA istasyonu veri kesiklikleri.....	46
Şekil 17. TUBI istasyonu .....	47
Şekil 18. Otokorelasyon analizi ile trend inceleme .....	48
Şekil 19. ANKR istasyonu doğrusal regresyon analizi .....	50
Şekil 20. ISTA istasyonu doğrusal regresyon analizi.....	52
Şekil 21. TUBI istasyonu doğrusal regresyon analizi .....	53
Şekil 22. TUBI istasyonu yarım yıllık doğrusal regresyon analizi .....	55
Şekil 23. ANKR istasyonu hareketli ortalama .....	59
Şekil 24. ISTA istasyonu hareketli ortalama .....	60
Şekil 25. TUBI istasyonu hareketli ortalama .....	61
Şekil 26. IGS istasyonlarında doğrusal trend giderilmiş koordinat serileri.....	62
Şekil 27. Otokorelasyon analizi ile mevsimsellik inceleme .....	63
Şekil 28. TUBI istasyonu veri (üst), zarflar ve zarfların ortalaması (orta), veri ve zarf ortalaması arasındaki fark (alt).....	65
Şekil 29. TUBI istasyonu yerel ortalama göre simetrik zarflar .....	66
Şekil 30. ANKR istasyonu kuzey koordinatlarında IMF bileşenleri.....	67

Şekil 31.	ANKR istasyonu doğu koordinatlarında IMF bileşenleri .....	70
Şekil 32.	ANKR istasyonu yukarı koordinatlarında IMF bileşenleri .....	72
Şekil 33.	ISTA istasyonu kuzey koordinatlarında IMF bileşenleri .....	75
Şekil 34.	ISTA istasyonu doğu koordinatlarında IMF bileşenleri.....	78
Şekil 35.	ISTA istasyonu yukarı koordinatlarında IMF bileşenleri .....	80
Şekil 36.	TUBI istasyonu kuzey koordinatlarında IMF bileşenleri.....	83
Şekil 37.	TUBI istasyonu doğu koordinatlarında IMF bileşenleri .....	85
Şekil 38.	TUBI istasyonu yukarı koordinatlarında IMF bileşenleri .....	88
Şekil 39.	ANKR istasyonu kuzey koordinatlarda anlık frekanslar.....	90
Şekil 40.	ANKR istasyonu doğu koordinatlarda anlık frekanslar .....	92
Şekil 41.	ANKR istasyonu yukarı koordinatlarda anlık frekanslar .....	93
Şekil 42.	ISTA istasyonu kuzey koordinatlarda anlık frekanslar .....	95
Şekil 43.	ISTA istasyonu doğu koordinatlarda anlık frekanslar.....	96
Şekil 44.	ISTA istasyonu yukarı koordinatlarda anlık frekanslar .....	98
Şekil 45.	TUBI istasyonu kuzey koordinatlarda anlık frekanslar.....	99
Şekil 46.	TUBI istasyonu doğu koordinatlarda anlık frekanslar .....	101
Şekil 47.	TUBI istasyonu yukarı koordinatlarda anlık frekanslar .....	102
Şekil 48.	Koordinat serilerinde aşırı üst vuruş ve alt vuruşlar .....	107

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. IGS global veri merkezleri .....	8
Tablo 2. IGS bölgesel veri merkezleri .....	9
Tablo 3. IGS işletim merkezleri .....	9
Tablo 4. UNIX sistemler için IGS ürünlerine ait veri formatı.....	10
Tablo 5. Hareketli ortalama ile öngörü tahmini için sıcaklıklar.....	27
Tablo 6. Sıcaklık verilerinde 7 aylık hareketli ortalama ile trend belirleme .....	28
Tablo 7. Hareketli ortalama da dalga uzunluğu belirleme.....	29
Tablo 8. Çalışmada kullanılan IGS istasyonları .....	38
Tablo 9. IGS istasyonlarında tespit edilen uyumsuz ölçü bilgisi .....	44
Tablo 10. ANKR istasyonu veri kesiklikleri .....	44
Tablo 11. ISTA istasyonu veri kesiklikleri.....	46
Tablo 12. Otokorelasyon analizi ile trend incelemede hipotez test sonuçları .....	49
Tablo 13. ANKR istasyonu regresyon katsayıları ve hipotez test sonuçları .....	50
Tablo 14. ISTA istasyonu regresyon katsayıları ve hipotez test sonuçları.....	51
Tablo 15. TUBI istasyonu regresyon katsayıları ve hipotez test sonuçları .....	52
Tablo 16. TUBI istasyonu yarım yıllık regresyon katsayıları ve hipotez test sonuçları .....	54
Tablo 17. Otokorelasyon analizi ile mevsimsellik incelemede hipotez testleri .....	63
Tablo 18. ANKR kuzey koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma.....	69
Tablo 19. ANKR doğu koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma .....	71
Tablo 20. ANKR yukarı koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma .....	74
Tablo 21. ISTA kuzey koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma .....	76
Tablo 22. ISTA doğu koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma.....	80
Tablo 23. ISTA yukarı koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma.....	82
Tablo 24. TUBI kuzey koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma.....	84
Tablo 25. TUBI doğu koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma .....	87
Tablo 26. TUBI yukarı koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma .....	89
Tablo 27. ANKR kuzey bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları .....	90
Tablo 28. ANKR doğu bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları .....	92

Tablo 29.	ANKR yukarı bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları .....	93
Tablo 30.	İSTA kuzey bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları .....	95
Tablo 31.	İSTA doğu bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları .....	96
Tablo 32.	İSTA yukarı bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları .....	98
Tablo 33.	TUBİ kuzey bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları .....	99
Tablo 34.	TUBİ doğu bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları .....	101
Tablo 35.	TUBİ yukarı bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları .....	102
Tablo 36.	İstasyon bileşenlerinde doğrusal trend ve ortalama hatalar .....	105

## SEMBOLLER DİZİNİ

ACF	Autocorrelation Function
AR	Autoregressive
ARMA	Autoregressive Moving Average
ARIMA	Autoregressive İntegrated Moving Average
CBIS	Central Bureau Information System
EKK	En Küçük Kareler Yöntemi
EMD	Empirical Mode Decomposition
EUREF	European Reference Frame
FAGS	Federation Of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Position System
HD	Hilbert Dönüşüm
HHD	Hilbert Huang Dönüşümü
IAG	International Association Of Geodesy
IERS	International Earth Rotation and Reference Systems Service
IGS	International GNSS Service
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
IMF	Intrinsic Mode Function
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
MA	Moving Average
PACF	Partial Autocorrelation Function
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Zaman serileri; saatlik, günlük, haftalık, aylık, yıllık gibi belirli zaman aralıklarındaki ölçü dizileridir. Zaman serilerinin analizi, belirli bir dönemde herhangi bir şekilde elde edilmiş zamansal veriler ya da belli aralıklarla yapılmış ölçüler yardımıyla geçmişe yönelik yorumda bulunma ve ileriye yönelik tahmin yapma amacıyla gerçekleştirilir. Gözlenen verilerin düzenli zaman aralıklarındaki gelişimini takip etmek doğru analiz açısından önem taşımaktadır. Bilimin her dalında uygulama alanı bulabilen zaman serisi analizlerinin, gelişen GNSS (Global Navigation Satellite System) sistemleri ile IGS (International GNSS Service) istasyonlarındaki çeşitli verilerin (koordinat bileşenleri, meteorolojik veriler, troposferik/iyonosferik gecikme verileri) değerlendirilmesi bakımından da jeodezik çalışmalarda önemli bir yeri vardır. IGS istasyonlarındaki veri kayıtlarının artmasıyla koordinat gözlem değerlerinde uzun dönemli artma veya azalma olarak meydana gelen trend etkilerinin, periyodik salınım olarak ortaya çıkan mevsimlik etkilerin, gürültü özelliklerinin ve hataların anlaşılmasını kolaylaştıran zaman serileri analizleri mümkün olmuştur.

IGS istasyonlarının konumları sabit yersel referans sistemlerine göre belirlenir. Ancak yeryuvarının içyapısında meydana gelen değişimlerden koordinat değerleri olumsuz etkilenir. Bu durum sabit GPS (Global Positioning System) istasyon konumlarının sürekli olarak izlenmesi gereksinimi ortaya çıkarır. Uzun dönemli günlük koordinat zaman serileri, istasyon konumlarının mevsimsel değişimlerini tahmin etmek için gereken zamansal çözünürlüğü de sağlar. GPS koordinat zaman serilerinde genellikle Güneş ve Ay'dan kaynaklı yerçekimi alanı değişimi, Dünya'nın kutup hareketlerinden kaynaklı kara gel-gitleri, okyanusal gel-gitler ve atmosferik gel-gitler, troposfer ve iyonosferdeki değişimler, uydu ve yörünge modellemelerinden kaynaklı dönemsel hatalar, faz merkezi değişimi modellemeleri gibi etkiler sebebiyle periyodik değişimler meydana gelir. Bu tür sebepler sonucu oluşan periyodik değişimlerin istasyon hız konumlarını etkilediği bilinmektedir (Mao vd., 1999; Dong vd., 2002; Blewitt ve Lavallee, 2002; Yıldız, 2005). GPS sinyallerindeki gürültü özellikleri de uzun yıllardır araştırma konusu olmuştur. Sabit GPS istasyonlarının zamanla korelasyonlu süreçten kaynaklı sistematik etkiler ve yanlış modellenmiş uydu yörüngeleri, uydu yüksekliği, azimutu, faz merkezi parametreleri gibi

sebeplerden renkli gürültü içerdiği belirtilmiştir (Mao vd., 1999). Ayrıca yaşanan mega depremler sonucu GPS sinyalinde sismik olay öncesi ve sonrası gürültü özelliklerinin analiz edilmesiyle jeofizik alanların gürültü karakteristiklerine dayalı haritalar oluşturulmuştur (Lyubushin ve Yakovlev, 2014).

## 1.2. Literatür Çalışması

IGS istasyonlarının koordinat zaman serileri analizleri için öncelikle literatürde ulusal ve uluslararası alanda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

- Ulusal alanda yapılmış çalışmalar;

(Şanlı, 2002), GPS zaman serilerinde yıllık periyodik etkilerin atmosferik ve hidrolojik yüklemelerden kaynaklanabileceği ve periyodik etkilerin dikkate alınmaması sonucunda hız kestirimlerinin hatalara neden olacağı belirtilmiştir. Bu durumun ise deformasyon yorumlamalarında yanılığa yol açacağı ifade edilmiştir.

(Yıldız, 2005), mareograf-sabit GPS verileri ile uzun dönemli deniz seviyesi değişimleri araştırılmıştır. Mareograf istasyonlarında uzun dönemli deniz seviyesi trendlerinin hesaplanmasında doğrusal regresyon modeli kullanılmıştır. Zaman serilerinde periyodik hareketleri belirlemek için spektral analiz uygulanmış ve anlamlı periyodik değişimler belirlenmiştir.

(Simav, vd., 2006), sabit GPS istasyonlarının yaklaşık 5 yıllık koordinat zaman serileri analiz edilmiştir. Koordinat serilerinde EKK (En Küçük Kareler) yöntemi ile doğrusal regresyon modeli uygulanmıştır. Sabit GPS istasyon hızlarının belirlenmesinde en uygun veri uzunluğunu araştırılması için inceleme yapılmıştır. Analiz edilen veri uzunluğu arttıkça istasyon hızlarındaki değişimlerin azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, zaman serilerinde istasyon hız ve hatalarının daha gerçekçi bir biçimde belirlenmesi için verilerde gürültü karakterlerinin hesaplamalarda dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

(Kurt, 2009), sabit GPS istasyonlarının zaman serisi analizleri yapılmış ve periyodik etkiler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar kampanya tipi GPS hız ölçülerine düzeltme olarak getirilmiştir.

(Kara, 2009), sabit GPS istasyonlarının koordinat zaman serileri analiz edilmiştir. Koordinat serilerinin çizdirilen grafiklerinde seriden bağımsız hareket eden uyuşumsuz ölçülerin varlığı gözlenmiş, veriler analiz edilmeden önce bu uyuşumsuz ölçüler tespit edilerek seriden ayıklanmıştır. Türkiye'nin deprem kuşağında yer alan bir ülke olması



nedeniyle, uyuşumsuz ölçülerin gözleendiği zaman noktaları depremlerin yaşandığı zaman noktalarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, uyuşumsuz ölçülerle depremlerin yaşandığı zaman noktalarının çakıştığı gözlenmiştir. Koordinat serilerinin çizdirilen grafiklerinde ayrıca doğrusal yönde artan ya da azalan trend ve periyodik salınımlar gözlenmiştir. Serilerde gözlenen bu bileşenler doğrusal model yöntemleri ile analiz edilmiştir. Seriyeye uyacak modelleme yöntemi seçilirken otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Çalışmada, ayrıca düşey koordinatlarda gözlenen mevsimsel salınımlar üzerinde hareketli ortalama uygulanmış, mevsimselliğin sıcaklık ve basınçla ilişkisi incelenmiştir.

(Ulukavak, 2010), IGS istasyonlarının sabitliğinin araştırılmasında verilerin trendinin incelenmesi gerektiği, böylece istasyonlarda geçmişte meydana gelen olayların geleceğe öngöründe bulunma açısından katkı sağlayacağı belirtilmiştir.

(Elbi, 2013), doğrusal ve durağan olmayan zaman serilerinde Hilbert Huang Dönüşümü (HHD) uygulanarak gürültü süzme çalışması yapılmıştır.

(Özdemir, 2014), TUSAGA (Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı) Aktif Sisteminden elde edilen GNSS konum zaman serilerinde HHD uygulanmıştır. Uygulanan bu yöntemle ilgili problemler ele alınmış, yöntemin trend belirleme ve gürültü giderme özelliklerine değinilmiştir.

(Oktar ve Erdoğan, 2016), koordinat zaman serilerinde lineer hareketlerin belirlenmesi için analizler yapılmıştır. Çalışmada 7 adet TUSAGA-Aktif istasyonuna ait 788 günlük koordinat verileri kullanılmıştır. Uygulamada ham koordinatların başlangıca göre değişimlerinin görülmesi için tüm koordinatlardan ilk koordinat değerleri çıkartılmış ve bu veriler üzerinde gürültü filtreleme ile yumuşatma işlemi yapılmıştır. Daha sonra koordinat serileri üzerinde trend analizi yapılmış, elde edilen sonuçlarda azalan veya artan yönde trendler tespit edilmiştir.

(Yıldız, vd., 2017), depremlerin sabit GPS istasyonlarına etkilerini araştırmak için koordinat zaman serileri EMD (Empirical Mode Decomposition-Deneyisel Mod Ayrıştırma) yöntemi ile analiz edilmiştir. Deprem merkezine farklı uzaklıkta bulunan istasyonların sahip oldukları fay özelliklerine göre farklı davranışlar sergilediği görülmüştür. Koordinat serileri, ivmeölçer zaman serileri ile karşılaştırıldığında genlik değerleri tutarlı sonuçlar vermiştir.

(Tiryakioğlu, vd., 2017), sabit GNSS istasyonlarının deprem sonrası deformasyonlarının belirlenmesi ve deformasyon haritalarının oluşturulması için koordinat

zaman serileri analiz edilmiştir. Deprem sonrası incelenen zaman serilerinin lineer bir fonksiyon olmadığı, logaritmik gevşetme fonksiyonuyla karakterize olduğu belirtilmiştir.

- Uluslararası Alanda Yapılmış Çalışmalar

(Mao, vd., 1999), GPS koordinat zaman serileri için gürültü analizi yapılmıştır. GPS zaman serilerinde hassas hız tahminlerinin elde edilmesi için genellikle 7 yıllık ve daha uzun süreli veriye gereksinim duyulduğu açıklanmıştır. Bunun nedeni olarak, zaman serilerini etkileyen hata kaynaklarının da zamanla değişebileceği belirtilmiştir.

(Dong, vd., 2002), koordinat zaman serileri analiz edilmiştir. İstasyon konum zaman serilerinde özellikle yıllık periyotlarla önemli mevsimsel değişimler olduğundan bahsedilmiştir. Mevsimsel sinyallerin varlığının önceden yetersiz referans ağı dağılımı ve kısa zamansal çözünürlük nedeniyle güvenilir şekilde tahmin edilemediği, bu duruma bazı önemli jeofiziksel süreçlerin küresel ölçümlerinin yetersiz olmasının da sebep olduğu ifade edilmiştir. Dolayısıyla gözlemlenen ölçüler ile jeofiziksel olarak tahmin edilen mevsimsel değişimler arasında karşılaştırmanın yapılamadığı açıklanmıştır. Son zamanlardaki gelişmelere bağlı olarak bu zayıflıkların ve yetersizliklerin giderildiği, mevsimsel değişimleri incelemek için sürekli GPS istasyonlarından gelen çok yıllık günlük zaman serilerinin sağlandığı açıklanmıştır.

(Blewitt ve Lavellee, 2002), IGS ağında yapılan analizlerde GPS zaman serilerinin belirgin olarak yıllık periyodik sinyal içerdikleri belirtilmiştir. Bu yıllık sinyallerin genel olarak yatayda 2 mm genlikte, düşeyde 4 mm civarında değiştiği açıklanmıştır. Ayrıca, verilerde uygulana spektral analizde GPS zaman serilerinin yıllık harmonik frekanslarda anlamlı sıçramalar yaptığı ifade edilmiştir.

(Wu, vd., 2007), EKK yöntemi ile belirlenen trendin genellikle yaygın ve iyi uygulanan bir yöntem olmasına rağmen veriyle bütünleşik ve içsel olmadığı belirtilmiştir. Veri analizlerinde bu gereksinimleri karşılayan EMD yönteminden bahsedilmiştir ve yıllık küresel sıcaklıklar üzerinde EMD yöntemi uygulanarak verilerin trendi araştırılmıştır.

(Pegram, vd., 2008), yağış zaman serileri üzerinde EMD yöntemi uygulanmıştır. EMD yönteminde doğrusallık ve durağanlığa gereksinim duyulmadığı, bu yöntemin uygulanması sonucu elde edilen artığın trend olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir.

(Huang, vd., 2009), doğrusal ve durağan olmayan veriler için zamana bağlı anlık frekansların HD (Hilbert Dönüşüm) ile hesaplanabileceği belirtilmiştir. HD için verilerin öncelikle EMD yöntemi ile içsel salınımlara ayrıştırılması gerektiği açıklanmıştır.

(Mhamdi, vd., 2010), durağan özellik göstermeyen zaman serileri için EMD yöntemi uygulanarak trend analizi yapılmıştır.

(Hong, 2010), finansal zaman serileri EMD yöntemi ile içsel bileşenlerine ayrıştırılarak analiz edilmiştir ve araştırma sonucunda dalgalanmalara ilişkin bulgular elde edilmiştir. Elde edilen bulgu sonuçlarında artıklar trend olarak değerlendirilmiştir.

(Fisher, 2015), durağan özellik göstermeyen veriler üzerinde EMD yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin, doğrusal olmayan trendleri incelemede kullanılmasının yanı sıra zaman serilerinde periyodik değişimler hakkında bilgi verdiği ifade edilmiştir. Veriler üzerinde EMD yöntemi uygulanmış, artık fonksiyonlar trend benzeri olarak elde edilmiştir.

(Feng, vd., 2016), 10 adet IGS istasyonun yükseklik bileşeninde uzun dönemli verilerin trend ve mevsimsellikleri analiz edilmiştir. Tüm istasyonlarda anlamlı trend tespit edilmiş, mevsimsel değişimler gözlenmiştir.

(Gualandi, vd., 2016), Nepal bölgesinde şiddeti 7.8 olan Gorkha depremine bağlı olarak deprem öncesi ve sonrası sismik dönemi kapsayan GPS istasyonları koordinat zaman serileri analiz edilmiştir. Koordinat zaman serilerinde trend giderilmiş verilerde hidrolojik yüzeye bağlı olarak güçlü mevsimsel değişimler gözlenmiştir.

Ulusal ve uluslararası alanda yapılan literatür çalışması sonucunda koordinat zaman serilerinde uyumsuz ölçü, trend, mevsimsellik ve gürültü etkilerinin var olduğu ve çeşitli yöntemlerle bu etkilerin analiz edildiği görülmüştür.

### **1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı**

Yerel, bölgesel veya global olarak dağılmış istasyonların konumlarının analiz edilmesi; yersel referans ağların tanımlanması, tanımlanan ağların sabitliğinin araştırılması, istasyon alanlarındaki jeodinamik ve jeofiziksel süreçlerin daha iyi anlaşılması ve bu alanlarda yapılacak araştırmalara bilgi kaynağı sunması bakımından önemlidir. Durağan olmayan yeryüzünde birbiriyle ilişkili olarak meydana gelen değişimler sabit yersel referans istasyonlarına göre belirlenen koordinat verilerini etkiler. Zaman serilerinde bu etkiler genellikle trend, mevsimsel ve rassal olarak adlandırılır ve analiz edilir.

Bu tez çalışmasının amacı

- ✓ Ülkemizde bulunan IGS istasyonlarına ait uzun dönemli günlük koordinat zaman serilerinin davranışlarını irdeleyerek verilerin göstermiş olduğu davranışların altında yatan problemlerin ortaya çıkarılmasına katkı sağlamak

- ✓ IGS koordinat zaman serileri analiz sonuçlarının hassas ve güvenilir olması için verilerde bulunan kaba hata ve uyuşumsuz ölçüleri tespit etmek ve ayıklamak,
- ✓ IGS koordinat zaman serilerinde çeşitli faktörler sonucu meydana gelen trend ve mevsimsellik etkileri modellemek için Doğrusal Regresyon Analizi, Basit Hareketli Ortalamalar ve Deneysel Mod Ayırıştırma yöntemlerini uygulamak,
- ✓ IGS koordinat zaman serileri analizinde kullanılan yöntemleri karşılaştırmak,
- ✓ IGS koordinat zaman serilerinin geçmişteki davranışlarının analiz edilmesiyle, bu davranışlara sebep olan faktörlerin gelecekte de seriyi aynı şekilde etkilemeye devam edeceği varsayımı altında gelecek için öngörülerde bulunmak.

Tez kapsamında yapılan tüm analizler MATLAB ortamında yazılan program kodları ile gerçekleştirilmiştir.

#### **1.4. Sabit GNSS Ağları**

GPS teknolojisi 1990'ların başından itibaren jeodezik çalışmalar için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Bu tarihten itibaren geleneksel jeodezik kontrol ağları, yerini GPS teknolojisi kullanılarak ölçülmüş yer kontrol noktalarından oluşan ağlara bırakmıştır. Bunun devamında ise sürekli çalışan sabit GPS/GNSS referans istasyonları ve bunların oluşturduğu ağların kurulması GNSS teknolojisinin etkin kullanımı için sürece farklı bir katkı sağlamıştır. Yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, tektonik hareketlerin izlenmesiyle deformasyon hız ve miktarının tespiti, yer altı su kaynaklarının hareketlerinin tespiti ve farklı mühendislik çalışmalarında referans olarak kullanılması gibi amaçlarla kurulumu ve işletmesi yapılan sabit GNSS istasyonlarının konum değişim bilgilerinin zamana bağlı olarak elde edilmesi, değerlendirilmesi ve analizinin yapılması gerekmektedir (Oktar ve Erdoğan, 2016). Hassas GPS uydu verisi sağlayan IGS, GPS ölçülerinin toplanması, arşivlenmesi ve dağıtım görevlerini de üstlenerek, toplamış olduğu verilere dayanarak birtakım veriler üretmektedir. İlgili kullanıcılar bu veri ve ürün gruplarını internet aracılığıyla elde etmektedir. Elde edilen verilerin günlük, haftalık, aylık gibi belirli zaman aralıklarındaki değişimleri incelenerek zaman serisi analizleri yapılmaktadır. İstenilen dönemlerdeki verilerin analiz edilmesi sonucu gelecek için tahmin çıkarımlarında bulunmak mümkün olmakla birlikte erken uyarı sistemleri için altlık oluşturulmaktadır.

### 1.5. IGS; Uluslararası GNSS Servisi

GNSS uygulamalarının çeşitliliği ve gelişimi karşısında bilim adamları GPS verilerinin elde edilmesi ve analizi için uluslararası standartları geliştirmeye, kapsamlı bir global sistemi ortak olarak işletmeye ve belli bir plana göre yerleştirmeye çalışmışlardır. Bu çalışmaların bir parçası olarak IAG (International Association Of Geodesy) tarafından 1993'te IGS kurulmuştur. Zamanla GLONASS, GALİLEO gibi diğer uydu sistemlerinin gündeme gelmesiyle IGS, uluslararası GNSS Servisi olarak hizmet vermiştir. IGS, FAGS (Federation Of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services)'nin tanınmış bir üyesi olmakla birlikte, IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) ile de çok yakın çalışma ilişkisi içerisinde. IGS; GPS yörüngeleri, izleme verileri ve ürünleri sağlamak, jeodezik ve jeofizik araştırmalara destek vermek amacıyla 1 Ocak 1994'te işletilmeye başlanmıştır.

IGS pek çok bileşene sahiptir. Bunlar;

- ✓ Uluslararası Yönetim Kurulu
- ✓ CBIS (Merkezi Bilgi Sistem Bürosu)
- ✓ Sürekli İşleyen Çift Frekanslı Alıcılarla Donatılmış GPS İstasyonundan Oluşan Uluslararası Bir Ağ
- ✓ Çeşitli Sayıda Bölgesel ve İşletimsel Veri Merkezi, Global Veri Merkezi, Analiz Merkezi, Yardımcı ve Bölgesel Analiz Merkezleridir.

Dünya üzerinde 400'ün üzerinde IGS istasyonu mevcuttur (Şekil 1.). Bu istasyonlardan ANKR, ISTA ve TUBI ülkemizde bulunmaktadır. ANKR, Ankara'da Harita Genel Komutanlığı idaresinde; ISTA İstanbul'da İTÜ (İstanbul Teknik Üniversitesi) Jeodezi Anabilim Dalı idaresinde; TUBI ise Gebze'de TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) idaresinde yer alan istasyonlardır (Şekil 2.). Ülkemizdeki IGS istasyonlarının tamamı EUREF (European Reference Frame) ağına da dahildir.



Şekil 1. IGS Ağı (URL-1)



Şekil 2. Türkiye'de bulunan IGS istasyonları (URL-1)

- Veri Merkezleri

Veri merkezleri, kullanıcı ismi ve şifreyle korunmuş veya herkese açık ftp erişimiyle kullanıcılara her bir istasyonun izleme verilerini elde edebilme olanağı sağlamaktadır. IGS'de veri merkezleri global, bölgesel ve yerel olarak ayrılmıştır (Tablo 1., Tablo 2.).

Tablo 1. IGS global veri merkezleri (URL-2)

Enstitü	Kısaltması	Ülke	Web Adresi
Institut Geographique National	IGN	Fransa	<a href="ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/data/">ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/data/</a>
Korean Astronomy and Space Science Institute	KASI	Kore	<a href="ftp://nfs.kasi.re.kr/">ftp://nfs.kasi.re.kr/</a>
Crustal Dynamics Data Information System	CDDIS	Amerika	<a href="ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/">ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/</a>
Scripps Institution of Oceanography	SIO	Amerika	<a href="ftp://lox.ucsd.edu/pub/rinex">ftp://lox.ucsd.edu/pub/rinex</a>

Tablo 2. IGS bölgesel veri merkezleri (URL-2)

Enstitü	Kısaltması	Ülke
Geoscience Australia (formerly AUSLIG)	GA	Avustralya
Wuhan University	WHU	Çin
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie	BKG (IfAG)	Almanya
RDAAC-IRIS	RDAAC-IRIS	Rusya
Hartebeesthoek Radio Astronomy Observatory	HRAO	Güney Afrika
NGS/NOAA Operational Data Center	NGS/NOAA	Amerika
Jet Propulsion Laboratory	JPL	Amerika

- İşletim Merkezleri

İşletim merkezleri istasyonlara idari ve teknik destek konusunda güvence vererek genellikle ham veriyi yeniden dönüştürmek suretiyle izleme istasyonlarının bulunduğu yerel ağın işletiminden sorumlu kurumlardır (Tablo 3.).

Tablo 3. IGS işletim merkezleri (URL-2)

Enstitü	Kısaltması	Ülke
Geoscience Australia ( formerly AUSLIG )	GA	Avustralya
Geological Survey of Canada	PGC	Kanada
Geodetic Survey of Canada	NRCAN	Kanada
Kort & Matrikelstyrelsen/National Survey & Cadastre	KMS	Danimarka
Centre National d'Etudes Spatiales	CNES	Fransa
European Space Operations Center	ESA	Almanya
GeoForschungsZentrum	GFZ	Almanya
Hartebeesthoek Radio Astronomy Observatory	HRAO	İtalya
Italian Space Agency	ASI	İtalya
Geographical Survey Institute	GSI	Japonya
Delft University of Technology	DUT	Hollanda
Norwegian Mapping Authority	SK	Norveç
RDAAC-IRIS	RDAAC-IRIS	Rusya
Jet Propulsion Laboratory	JPL	Amerika
NGS/NOAA Operational Data Center	NGS/NOAA	Amerika
Scripps Orbit and Permanent Array Center	SOPAC	Amerika

- Analiz ve Yardımcı Analiz Merkezleri

IGS analiz merkezleri, global istasyonların rutin analizlerini sergilemekte ve hassas yörünge bilgisi, Dünya dönme parametreleri, istasyon koordinatları ve hızları gibi arzu edilen bilgileri üretmektedir. Ürünlerin bireysel çözümleri resmi IGS ürünleri içinde

birleştirilip IGS analiz merkezleri ve bilgi sistemi vasıtasıyla kullanıcılara sunulmaktadır. Yardımcı analiz merkezleri, ürünlerin kombinasyonlarını veya bölgesel referans sisteminin tanımlanmasını ve spesifik analizleri gerçekleştirmektedir (Şanlıoğlu ve İnal, 2004).

- IGS’de Veri İletişimi

IGS istasyonlarının yüksek doğruluklu alıcılar ile sürekli olarak kaydettiği GPS gözlemleri internet, radyomodem, telefon, inmarsat gibi iletişim yollarıyla işleme merkezleri tarafından toplanır. Elde edilen gözlemler çeşitli formatlara dönüştürülerek veri merkezleri tarafından kullanıcıya sunulur. Veri merkezlerinden indirilen IGS verilerini kullanabilmek için kullanılan işletim sistemine göre veri yapısının formatı bilinmelidir (Tablo 4.).

Tablo 4. UNIX sistemler için IGS ürünlerine ait veri formatı (Şanlıoğlu ve İnal, 2004)

Veri İsmi	Formatı
RINEX Gözlem Dosyası	ssssdddf.yyD.Z
Navigasyon Mesaj Dosyası	ssssdddf.yyN.Z
Meteorolojik Dosya	ssssdddf.yyM.Z
Özet Dosya	ssssdddf.yyS.Z
Son Uydu ve Alıcı Saat Bilgileri Dosyası	IGSwwwd.CLK.Z
Son Dünya Dönme Parametre Dosyası	IGSwwwd.ERP.Z
Son Hassas Efemeris Dosyası	IGSwwwd.SP3.Z
Haftalık Analiz Çözüm Özet Dosyası	IGSyypww.SUM.Z
Haftalık Analiz Çözüm Dosyası (Kovaryans Matrisi Dahil)	IGSyypwww.SNX.Z
Haftalık Analiz Çözüm Dosyası (Kovaryans Matrisi Hariç)	IGSyypwww.SSC.Z

Tablo 4’de format sütunundaki bilgiler;

- ✓ ssss: 4 Karakterli istasyon kodu (DOMES sayısı)
- ✓ ddd: Yılın günü
- ✓ f: Dosya sıra numarası (24 saatlik dosya için ‘0’)
- ✓ yy: Yılın son iki basamağı
- ✓ ww: Yılbaşından itibaren hafta sayısı
- ✓ wwww: GPS haftası
- ✓ d: Haftanın günü (Pazar ‘0’)

şeklindeki kısaltmalardır.



- IGS İstasyonları

IGS görevlerini yerine getirmek için IGS ağına dahil sabit GPS istasyonlarından gözlem verilerini toplar. Bu veriler GPS ve GLONASS uydu efemerisleri, Dünya dönme parametreleri, IGS izleme istasyonu koordinatları ve hızları, GPS uydu ve IGS izleme istasyonları saat bilgisi, başucu (zenit) doğrultusu gecikme tahminleri, küresel iyonosferik haritalar gibi ürünleri oluşturmak için kullanılır (Şanlıoğlu ve İnal, 2004).

Elde edilen IGS ürünleri

- ✓ ITRF (International Terrestrial Reference Frame), ITRF-YY (YY=Yıl=t 'epoch'u)'nin geliştirilmesi, sıklaştırılması ve global olarak erişimin sağlanması
- ✓ ITRF sisteminde tüm IGS istasyonlarının koordinatları ve hızlarının tespit edilmesi
- ✓ Global ve bölgesel yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi
- ✓ Hidrosferdeki değişimlerinin izlenmesi
- ✓ Bilimsel uydu yörüngelerinin hesaplanması
- ✓ İyonosferin izlenmesi, araştırılması ve belirlenmesi
- ✓ İklimsel araştırmalar ve devamındaki hava tahminlerinin yapılması
- ✓ Yeryuvarının dönme hareketlerinin incelenmesi gibi bilimsel aktivitelere destek sağlar.

IGS, veri analizine dayalı olarak istasyon konum ve hızlarının yeni global çözümlerini üretir. Bunlara, ITRF-YY (YY=çözüm yılı) çözümleri denir. IGS ağının dayanak aldığı ITRF-YY referans sistemi günümüzdeki mevcut referans sistemlerinden doğruluğu en yüksek olandır. Farklı epoklarda oluşturulan ITRF-YY sistemleri arasındaki geçişi sağlayacak üç boyutlu  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  hız vektörlerinin dünyanın her bölgesi için tanımlı olması IGS istasyonlarının koordinatlarının ve hızlarının tutarlı bir referans sisteminde elde edilmesini sağlamaktadır. IGS istasyonlarının konum ve zamana bağlı değişimleri belli olduğundan bunların sürekli olarak izlenmesi ve değişimlerinin saptanmasıyla deprem çalışmalarına altlıklar oluşturulabilir. Ayrıca deprem sonrasında ulusal ağlardaki nokta konum değişimleri ve buna bağlı olarak yer kabuğu hareketlerini belirlemede IGS istasyonları güvenilir bilgiler vermektedir.

## 1.6. IGS İstasyonları Koordinat Bileşenlerini Etkileyen Faktörler

IGS istasyonları birçok hata kaynağı tarafından etkilenmektedir. Zamansal olarak değişen okyanussal, atmosferik ve kıtasal su kütlesi yüzey yükleri, katı yeryüzünün kütle merkezinin, topografyanın, bölgesel gerilim alanlarının, Dünya'nın yerçekimi alanının değişimine sebep olur. Bu durum hem gözlenen istasyonları hem de uydu yörüngelerini etkiler. GPS zaman serileri yanlış modellenmiş troposferik gecikme, anten faz merkezi değişimleri veya farklı yükleme süreçleri nedeniyle oluşan sistematik etkilerden büyük oranda etkilenmektedir. Ayrıca referans ağı, uydu yörüngesi veya GPS işleme stratejilerine ilişkin etkilerdeki uyumsuzluklar; koordinat bileşenlerinde gürültü, gerçek olmayan bir eğilim ve sistematik varyasyonlara sebep olur. Bu varyasyonlar genellikle periyodik bir nitelik taşır (Teferle vd., 2008).

GPS koordinat zaman serisi analizleri, hata kaynaklarından etkilenen istasyon konumlarındaki hız değişimlerinin hassas olarak belirlenmesini amaçlar. Bu analizler, istasyon hareket modelinin en doğru parametre tahminlerini elde etmek, tüm parametre tahminlerinin daha gerçekçi hata sınırlarını hesaplamak amacıyla zaman serilerinin stokastik özelliklerini ortaya çıkarmak, jeofiziksel veya teknik kaynaklı olduğu düşünülen GPS koordinat zaman serilerindeki görünür yaygın sistematik değişimleri belirlemek amacıyla yapılır (Teferle vd., 2008).

IGS koordinat zaman serilerini etkileyen hata kaynakları genel olarak uydu etkileri, iyonosfer etkisi, troposfer etkisi, okyanus yüklenmesi, sinyal yansıma etkisi, GNSS alıcıları ve GNSS antenleri başlıkları altında sıralanabilir.

- Uydu Etkileri

GPS ile konum belirlemenin temelini zaman ölçüsü oluşturmaktadır. Bu nedene GPS uydularında atomik saatler kullanılmaktadır. Her uydu saati davranışının izlenmesinde en iyi çaba gösterilse bile Dünya'nın manyetik etkisi, Yer'in ve Ay'ın çekim etkisi, radyasyon vb. nedenlerden dolayı saatlerin davranışı duyarlı bir şekilde belirlenemez. Uyduların uzaydaki konumları da önemlidir. Çünkü bu konum hesapların başlangıç noktasını oluşturur. Uydular yerleştirildikleri çok yüksek yörüngelerde hafifçe sürüklenir. Böylece aktüel uydu konumu ile sinyaller vasıtasıyla alıcıya ulaşan uydu konumu arasında farklar oluşur. Uyduların belirlenen konumlardan daha farklı bir yerde olması veya GPS zamanı ile uydu saatlerinin tam olarak eş zamanlı çalışmamasından kaynaklanan hatalar her türlü GPS ölçüsünü etkiler.

- İyonosfer Etkisi

GPS uydularından yayınlanan sinyaller atmosfere girmeden önce uzaydaki boşlukta ilerlerler. Bu sinyaller atmosfere girdiğinde içinden geçtikleri ilk tabaka iyonosferdir. İyonosferdeki zaman gecikmesine sebep olan en önemli parametre sinyalin geçtiği yoldaki toplam elektron sayısıdır. Toplam elektron sayısı zamana, enleme, güneş hareketlerine ve manyetik alana bağlı olarak hızlı bir değişim göstermekte ve uydudan gelen sinyal bu durumdan etkilenmektedir. İyonosferik gecikme etkisi sonucunda GPS kod ölçümleri gecikmekte faz ölçüleri ise yeryüzüne erken ulaşmaktadır. Bu nedenle kod psoydo uzunluklar gerçeğinden uzun faz ölçüleri ise gerçeğinden kısa ölçülmektedir (Gökalp, 1994; URL-3, 2017). İyonosferin değişik frekanslara gösterdiği tepki farklıdır. GPS uyduları ise sinyallerini iki frekans üzerinden iletmektedir. Bu durumda GPS ölçülerinde çift frekans kullanımıyla kod veya faz ölçümlerindeki iyonosferik etkinin büyük bir kısmı giderilebilir.

- Troposferik Etki

Troposfer havanın yeryüzü ile temas halinde olan en alt tabakasıdır. Meteorolojik olaylar genellikle troposferin alt kısımlarında görülür. İyonosfer tabakasının aksine troposfer tabakası elektrik yüklü olmadığından yaklaşık 30 GHz'in altındaki radyo frekansları için dağıtıcı özelliğe sahip değildir. Dolayısıyla troposfer tabakasında GPS sinyallerinin yayılması frekans bağımlı olmayıp troposferin faz ve kod ölçülerine olan etkisi aynı büyüklüktedir. Bu nedenle, GPS alıcılarının çift frekans özelliğinden yararlanarak troposferik etkiyi gidermek mümkün değildir.

Troposferik gecikme, GPS sinyalinin troposfer katmanında kat ettiği yola bağlı olduğundan aynı zamanda uyduya olan zenit açısının bir fonksiyonudur. Zenit yönünde troposferik gecikme yaklaşık 2 metredir. Uydu görüş hattının zenit açısı arttıkça bu gecikme artmaktadır. Uydu yükseklik açısının düşük olması durumunda GPS sinyalinin troposferik gecikmesi birkaç metreden daha fazlaya ulaşabilmekte aynı zamanda sinyal yansıması meydana gelebilmektedir. Bu durum hassas GPS ölçülerinde önemli bir hata kaynağıdır. Bu nedenle GPS ile gözlemlerde ve değerlendirmelerde uydu sinyali yükseklik açısı  $15^\circ$  ve yukarısı seçilmelidir (Xu, 2007; Demir, 2006).

- Okyanus Yüklenmesi

Ay ve Güneş kütleleri nedeniyle denizler üzerinde bir çekim etkisi uygulanmaktadır. Bu etkiler kısa veya uzun periyotlu olabilmektedir. Okyanus gel-gitleri ve bu gel-gitlerin alttaki yerkabuğuna baskısı okyanus yüklenmesi olarak açıklanmaktadır. Yeryuvarının elastik yapısı, atmosfer ve okyanusların katı yeryuvarı etkileri, yeryuvarı merkezkaç

potansiyelinde değişimlere neden olmaktadır. Böylece dönme ekseninin katı yeryüzüne göre yer değiştirmesiyle kutup gezinmesi oluşmakta ve istasyonlarda deformasyonlar meydana gelmektedir (Yıldız, 2005; Kahveci, 2010).

- Sinyal Yansıması (Multipath) Etkisi

GPS alıcılarıyla kullanılan antenlerin hemen tamamı tüm yönlerden gelen uydu sinyallerini eş zamanlı alabilme özelliğine sahiptir. Antenin kurulduğu arazi yapısına ve sinyal yükseklik açısına bağlı olarak kaydedilen uydu sinyallerine arzu edilmeyen sinyal yansımalarının da karışması söz konusudur. Uydulardan yayılan sinyallerin yeryüzünde herhangi bir noktada kurulu olan antene birden fazla yol izleyerek ulaşmasına sinyal yansıması denir. Sinyal yansıma etkisi esas olarak antenin kurulu olduğu noktanın çevresindeki yüzeylere bağlıdır. Alıcı anteni çevresinin neden olduğu yansımaların olası kaynakları ise yapılar, araçlar, su yüzeyleri ve diğer yansıtıcı yüzeylerdir. Yansıtıcı yüzey sebebi ile GNSS alıcısının yanlış hesaplara neden olmasından dolayı zaman serileri sonuçlarında beklenmedik etkiler meydana gelebilmektedir.

- GNSS Alıcıları

İstasyonlar uyduda üretilen ve atmosferden geçerek alıcıya gelen sinyalleri almak ve kaydetmek üzere anten ve alıcılarla donatılmıştır. Alınan GPS sinyalinin alıcı alet tarafından fazının veya kodunun ölçülmesi duyarlılığı doğrudan konumlama duyarlılığını etkilemektedir. Bu nedenle GPS anteninin saat stabilitesi veya kullandığı osilatördeki düzensizlik bir hata kaynağıdır (Gökalp, 1994).

- GNSS Antenleri

GNSS alıcılarının sinyalleri kullanabilmesi için öncelikle bu sinyallerin alıcı antenleri tarafından yakalanması gerekmektedir. GNSS antenlerinin görevi uydulardan alınan elektromanyetik dalgaları alıcıda işlenecek elektrik akımına dönüştürmektir. GNSS antenleri, sinyalleri en etkili biçimde yakalamak ve izlemek, aynı zamanda da mümkün mertebede gürültü etkilerini engelleyecek şekilde tasarlanmıştır. Antenler zemin çok yakın konuma monte edilmemeli ve çevrede yansıtıcı yüzeylerin olmamasına dikkat edilmelidir. Bu iki durum sinyal çok yolluluğunun önlenmesi açısından oldukça büyük önem göstermektedir. Antenin şekli GNSS sinyallerinin alınması ve alıcıya iletilmesi konusunda antenin performansını etkilemektedir. GNSS anteninin performansını etkileyen ve uygulamanın ihtiyaçlarına göre göz önünde bulundurulması gereken sıcaklık, nem, tuz, salınım ve mekanik gibi birçok faktör vardır (Uygur, 2012).

GNSS antenlerinin faz merkezleri sabit bir nokta değildir ve gelen uydu sinyallerinin doğrultusuna göre değişir. Bu değişimleri hesaplamak amacıyla gerekli olan düzeltmeleri sağlamak için GNSS antenlerinin kalibrasyonu gereklidir. Atmosferde ilerleyen sinyali karşılayan antenlerin kalibrasyonları yükseklik bileşenlerindeki doğruluğu sağlamak açısından oldukça önemlidir (Kara, 2009; Uygur, 2012).

## 1.7. IGS İstasyonları Koordinat Zaman Serileri

Bir zaman serisi, zaman içinde saatlik, günlük, aylık, yıllık vb. olarak periyodik olarak yapılan gözlemlerin bir dizisidir. İşletme, mühendislik, sağlık, tıp ve diğer birçok bilimsel araştırmalarda zaman serisi verileri kullanılarak analizler yapılmaktadır. Örneğin, bir nehrin günlük ortalama debisi, bir barajdaki saatlik su seviyesi, belli bir bölgedeki günlük sıcaklık değerleri ve yağış miktarları, yıllık işsizlik oranları, günlük döviz kuru verileri gibi birçok veri türü ile karşılaşılmaktadır. Bu tür zamana bağlı verilerin analizi ile ilgili istatistiksel metodoloji, zaman serileri analizleri olarak adlandırılır.

### 1.7.1. Zaman Serileri Bileşenleri

Bir zaman serisi; trend, mevsimsellik, dönemsellik ve rassallık bileşenlerinin bir fonksiyonudur. Zaman serisi analizlerinde ilk yapılan işlem serinin zaman yolu grafiğinin çizilmesidir. Burada serinin bir trende sahip olup olmadığı araştırılır. Daha sonra seride varsa mevsimsel hareketler tanımlanmaya ve ayrıştırılmaya çalışılır. Son olarak da düzensiz hareketler giderilerek serinin gürültü etkilerinden arındırılması sağlanır. Buna göre  $Y_t$  gibi bir zaman serisinde bütün bileşenler

$$Y_t = T_t + C_t + S_t + I_t \quad (1)$$

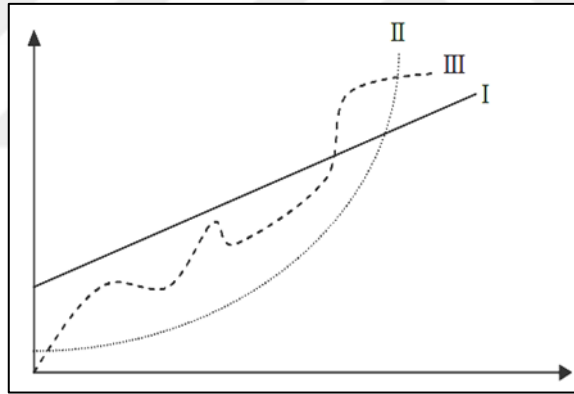
biçiminde toplam modeli ile ifade edilebilir. Diğer bir yaklaşım ise

$$Y_t = T_t \cdot C_t \cdot S_t \cdot I_t \quad (2)$$

biçimindeki gibi  $Y_t$  serisinin bütün bileşenlerin çarpımsal modelde ele alınmasıdır. Burada  $Y_t$ , t dönemindeki serinin gözlemlerini;  $T_t$ , trendi;  $C_t$ , dönemsel etkileri;  $S_t$ , mevsimsel etkileri;  $I_t$ , düzensiz hareketleri göstermektedir. Zaman serilerinin analizi seriyi oluşturan bu bileşenlerin ayrışımını gerektirmektedir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2005).

- Trend

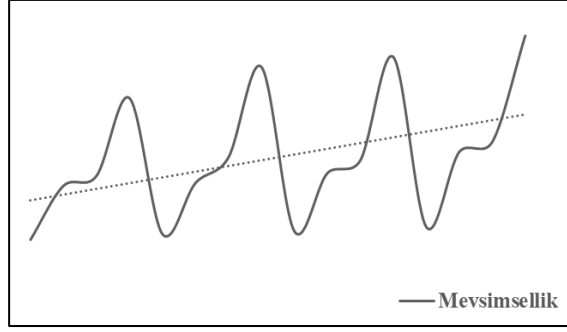
Trend, değişkenin uzun dönem hareketini ortaya koyan bileşendir. Trend etkisini üzerinde barındıran bir seri zaman ilerledikçe artan veya azalan eğilim sergiler. Başka bir deyişle trend zamanın artan veya azalan fonksiyonudur. Bu fonksiyon zamana göre doğrusal olabildiği gibi doğrusal olmayan bir yapıda da karşımıza çıkabilir. Sürekli artış veya sürekli azalış gösteren zaman serileri deterministik trend olarak adlandırılırken zaman içinde genel eğilimi artış fakat bazen azalma gösteren seri stokastik trend olarak adlandırılır (Şekil 3.). Zaman içinde artış veya azalış göstermeyen hemen hemen aynı düzeyde kararlılık gösteren serilerin ise trendi yoktur.



Şekil 3. Deterministik trend (I ve II) ve stokastik trend (III), (Özek, 2010)

- Mevsimsellik

Mevsimsellik, zaman serilerinde periyodik olarak tekrarlanan değişimi ifade eder. Mevsimin etkisinde olan değişkenler yılın bazı dönemlerinde diğerlerine oranla daha yüksek veya daha düşük değerlere ulaşırlar (Şekil 4.).

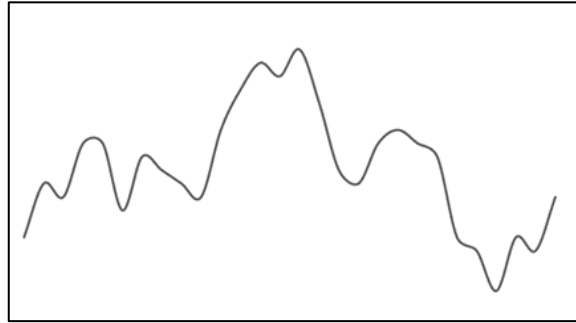


Şekil 4. Mevsimsel bileşen

Genellikle mevsimsel etkiler aylık dönemler itibariyle ortaya çıkmaktadır. Mevsimselliğin ortaya çıkışında iklimler, indirimli satışlar, resmi veya dini bayramlar, bazı sosyal olaylar gibi birçok faktör etkili olmaktadır. Örneğin bir yılın belirli dönemlerinde soğuk içecek tüketiminin artması veya azalması, yılın en sıcak aylarında klima gibi soğutucu cihazların satışlarındaki artışlar zaman serilerinde mevsimsel olma özelliğine sahiptir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2005).

- Dönemsel Etki

Dönemsel etki, bağımlı değişkende uzun bir zaman periyodunda oluşan ve ekonomide genel bir kriz olduğunda gerilemeyi, daha sonra büyümeyi karakterize eden dalgalanmalardır (Şekil 5.).



Şekil 5. Dönemsel bileşen

Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde mevsimsel ve dönemsel dalgalanmalar arasında kısmen bir benzerlik olmasına rağmen önemli farklılıklar da görülmektedir. Mevsimsel hareketlerde dönemler nispeten periyodik ve düzenli bir salınım gösterirken, dönemsel hareketlerde dönemler düzensiz ve periyodik olmayan bir yapıdadır. Ayrıca dönemsel

hareketlerin ortalama uzunlukları mevsimsel dalgalanmalardan daha uzundur ve dönemin genişliği mevsimselliğe nispeten daha fazla bir değişkenliğe sahiptir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2005 ).

- **Rassal Etki**

Zaman serilerinde rassal etki, düzensiz bileşenlerdir. Rassal serileri oluşturan verilerin belirli bir sistematik yapıya sahip kalıpları yoktur. Ayrıca rassal hareketlerin ne zaman ve nasıl meydana geleceği belirsizlik taşıdığı için tahmini mümkün olamaz (URL-4).

### **1.7.2. Zaman Serilerinin Sınıflandırılması**

Zaman serilerinin çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılması mümkündür. Bu çeşitlilik serilerin süreklilik veya kesikliklerine göre, durağan ve durağan olmayan özelliklerine göre ya da doğrusal olup olmadıklarına göre değerlendirilebilir.

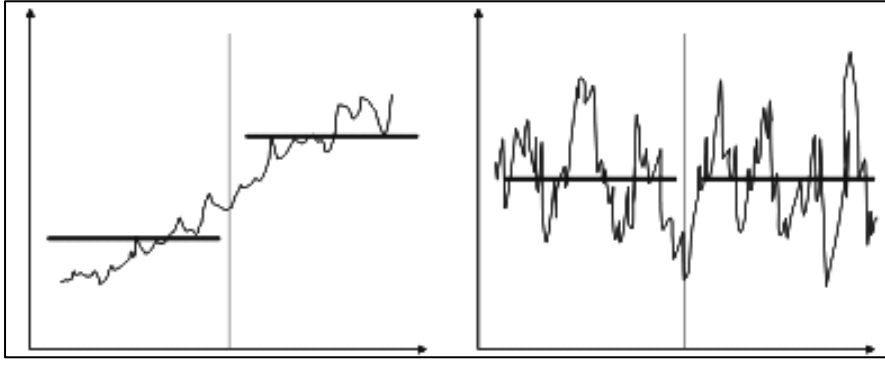
- **Sürekli ve Kesikli Zaman Serileri**

Zaman içinde sürekli olarak gözlenen seriler sürekli zaman serileri olarak adlandırılır. Belli aralıklarla elde edilen verilere sahip serilere ise kesikli zaman serileri adı verilir. Elektrik sinyalleri, voltaj, ses titreşimleri gibi mühendislik alanına ait seriler sürekli zaman serileri iken; faiz oranı, satış hacmi, üretim miktarı gibi iktisadi seriler kesikli zaman serileridir (URL-5) .

- **Durağan ve Durağan Olmayan Zaman Serileri**

Durağan olmayan seriler ise deterministik bir trend, mevsimsellik veya konjonktürel etkiler içerebilir. Bütün bu etkiler serinin ortalamasının değişmesine sebep olur. Durağanlık, herhangi bir trend etkisi taşımayan, varyansı ve ortalaması zaman içinde değişmeyip sabit olan, kovaryansı hesaplandığı döneme değil dönem arasındaki farka bağlı olan süreçtir (Şekil 6.). Durağan sürece en iyi örnek beyaz gürültü (white noise ) hata terimidir. Beyaz gürültü; ortalaması sıfır, varyansı sabit, ardışık bağımlı olmayan olasılıklı süreçtir. Literatürde temiz dizi, beyaz gürültü ile aynı anlama gelmektedir.





Şekil 6. Durağan olmayan ve durağan olan seri grafikleri (Uğurlu, 2009)

- Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Zaman Serileri

Otoregresif (Autoregressive-AR), Hareketli Ortalama (Moving Average-MA), Otoregresif Hareketli Ortalama (Autoregressive Moving Average-ARMA) ve Farkı Alınmış Otoregresif Hareketli Ortalama (Autoregressive İntegrated Moving Average-ARIMA) süreçleri doğrusal modellerdir. Bu modellerden AR, MA ve ARMA doğrusal durağan modeller, ARIMA ise doğrusal ancak durağan olmayan modellerdir. Zaman serileri genellikle durağan olmayan özellik gösterir. Zaman serilerinin uygun bir modelle ifade edilmesi ve güvenilir analiz sonuçları için bu serilerin durağan hale getirilmesi gerekir (Bölük, 2012).

### 1.7.3. Zaman Serilerinde Korelasyon

#### 1.7.3.1. Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF)

Otokorelasyon, bir değişkenin bir ya da daha fazla gecikmeli dönemine ait değerleri arasında ilişkinin ölçütüdür. Trend, mevsimsellik, düzensiz hareket gibi bileşenleri içeren veri kalıplarına otokorelasyon analizi yaklaşımı kullanarak inceleme yapılabilir. Otokorelasyon fonksiyonu hem zaman serisi modellerinin belirlenmesinde hem de durağanlığın araştırılmasında kullanılabilir. Bir  $Y_t$  zaman serisi için  $T$  veri sayısı,  $\bar{Y}$  veri ortalaması olmak üzere  $k$  gecikmeli otokorelasyon fonksiyonu,

$$r_k = \frac{\sum_{t=1+k}^T (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

eşitliğinden yararlanarak hesaplanır. Bir zaman serisi temiz seri süreci ile üretildiğinde örneklem otokorelasyon katsayıları  $k > 0$  için yaklaşık olarak ortalaması sıfır ve standart sapması  $1/\sqrt{T}$  ile normal bir dağılıma sahiptir. Dolayısıyla 100 gözlemden oluşan bir zaman serisi için her otokorelasyon katsayısına,

$$\frac{1}{\sqrt{T}} = \frac{1}{\sqrt{100}} = \frac{1}{10} \quad (4)$$

şeklinde 0.1'lik standart hata atanacaktır. Bu nedenle eğer belirli bir katsayı 0.1'den anlamlı bir şekilde büyükse  $s = 1 - \alpha$  istatistik güvenle otokorelasyon katsayısının sıfır olmadığını emin olunur. Başka bir deyişle herhangi bir otokorelasyon katsayısı  $\alpha = 0.05$  yanılma olasılığı ile,

$$\pm 1.96(0.1) = (-0.196, +0.196) \quad (5)$$

güven aralığındadır. Otokorelasyon katsayıları için istatistiksel anlamlılık test süreci için ilk olarak,

$$\begin{aligned} H_0 &= E\{r_k\} = 0 && \text{Otokorelasyon katsayısı anlamsızdır.} \\ H_s &= E\{r_k\} \neq 0 && \text{Otokorelasyon katsayısı anlamlıdır.} \end{aligned} \quad (6)$$

hipotezleri kurulur. T serideki gözlem sayısı olmak üzere otokorelasyon katsayısı için ortalama hata,

$$m_{r_k} \approx \frac{1}{\sqrt{T}} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanır. Otokorelasyon katsayıları için test değeri,

$$t_{r_k} = \frac{|r_k|}{m_{r_k}} \quad (8)$$

olarak hesaplanır. Hesaplanan  $t_{r_k}$  test değeri, t-tablolarından alınan değerle karşılaştırılır;

Eğer  $t_{r_k} < t - Tablo$  ise  $H_0$  hipotezi geçersiz sayılmaz.

Eğer  $t_{r_k} > t - Tablo$  ise  $H_0$  hipotezi geçersizdir.

### 1.7.3.2. Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu (PACF)

Kısmi otokorelasyonlar diğer zaman gecikmelerinin etkisi yok edildiğinde  $Y_t$  ile  $Y_{t-k}$  arasındaki birlikteliğin derecesini ölçmede kullanılır.  $k$ 'nci dereceden kısmi otokorelasyon katsayısı  $r_{kk}$  ile gösterilirse ve  $Y_{t-1}, \dots, Y_{t-k}$ 'ya fonksiyonu olarak  $Y_t$ 'nin elde edilmesi ile  $r_{kk}$  hesaplanabilir. Kısmi otokorelasyon fonksiyonu  $Y_t^* = Y_t - \bar{Y}$  dönüşümü kullanarak birinci derecen otoregresyon denklemiyle,

$$Y_t^* + v_t = r_{11}Y_{t-1}^* \quad (9)$$

şeklinde elde edilir. Ara değerler olmadığından  $r_{11}$ ,  $Y_t$  ile  $Y_{t-1}$  arasında hem otokorelasyonu hem de kısmi otokorelasyonu gösterir. Burada kullanılan  $v_t$  ise düzetme terimidir. İkinci dereceden otoregresyon denklemi,

$$Y_t^* + v_t = r_{21}Y_{t-1}^* + r_{22}Y_{t-2}^* \quad (10)$$

biçiminde yazılabilir.  $r_{22}$ ,  $Y_t$  ile  $Y_{t-2}$  arasındaki kısmi otokorelasyondur. Diğer bir ifadeyle  $r_{22}$ ,  $Y_{t-1}$  etkisinin dışlanması halinde  $Y_t$  ile  $Y_{t-2}$  arasındaki korelasyondur.  $r_{11}$  ve  $r_{22}$ ,

$$r_{11} = r_1 \quad (11)$$

$$r_{22} = \frac{r_2 - r_1^2}{1 - r_1^2} \quad (12)$$

eşitliklerindeki gibi ifade edilebilir. Burada  $j$ 'inci gecikmeli serinin etkisi yok edildiğinde  $k$  gecikmeli kısmi otokorelasyon sayısı  $k=3,4,5\dots$  ve  $j=1,2,3\dots, k-1$  olmak üzere  $r_{kj}$ ,

$$r_{kj} = r_{k-1,j} - r_{kk}r_{k-1,k-j} \quad (13)$$

şeklinde ifade edilirse kısmi otokorelasyon katsayıları,

$$r_{kk} = \frac{r_k - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j} r_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j} r_j} \quad (14)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Tahmin edilen  $r_{kk}$  değerlerinden yararlanarak yapılacak anlamlılık testleri, otokorelasyon katsayıları için yapılan anlamlılık testleri ile aynıdır. Eğer bir zaman serisi temiz dizi ise tahmin edilen otokorelasyonlar sıfır ortalama ve  $1/\sqrt{T}$  standart hata ile yaklaşık olarak normal dağılmaktadır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2005).

### 1.7.3.3. Korelogram ve Korelogramın Yorumlanması

Korelogram, bir serinin otokorelasyon ve kısmi korelasyon değerlerinin  $k$  sayıda gecikmeye göre grafiğinin çizilmesidir. Seçilen gecikme sürecinde hesaplanan otokorelasyon sıfıra ne kadar yakınsa seri için temiz dizi veya durağanlık o kadar fazladır. İstatiksel olarak anlamlı otokorelasyon veya kısmi otokorelasyonların varlığı serinin durağan dışı olduğunu ima eder. Korelogramların incelenmesi, serilerin modellenmesinde hangi tür modeli yarattığı hususunda da bilgi sağlar (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2005).

### 1.8. Zaman Serilerinde Trend ve Mevsimsellik Analizleri

Trend analizi, değişkenin uzun dönem hareketini ortaya koyan bir bileşendir. Trend, stokastik veya deterministik olmasına göre farklı şekillerde elde edilebilir ve istenirse bu etki ortadan kaldırılabılır. Serilerde zaman içinde belli bir yönde azalış veya artış olduğunda uygulanacak en basit yöntemler hareketli ortalama veya doğrusal regresyon modelidir. Serilerdeki değerler zaman içinde doğrusal olarak artıp azalabileceği gibi, bu artış ve azalışlar eğrisel olarak da değişebilir. Bu tür değişimlerde trend bileşenlerini ortaya koymak için HHD yönteminin bir parçası olan EMD uygulanabilir.

Zaman serisinde trend etkisinin yanı sıra mevsimsel etkiler de gözlenmektedir. Özellikle bir zaman serisi gün, hafta, ay, üç ay gibi periyotlarla ölçülmüşse mevsimsel etkilerin daha fazla gözlemlendiği söylenebilir. Mevsimsel etkilerin varlığı Kruskal-Wallis, Kukla değişkenler gibi çeşitli yöntemlerle test edilebilir. Ancak mevsimselliği test etmenin en basit yolu serinin grafiğinin incelenmesidir. Mevsimselliğin şekil yardımıyla açıkça gözlenemediği durumlarda, otokorelasyon veya kısmi otokorelasyon grafiklerinden

yararlanılabilir (Bozkurt, 2007). Mevsimselliği oluşturan periyodik salınımlar ise Holt-Winter, Fourier analizi, Dalgacık dönüşümü, Hilbert-Huang gibi yöntemlerle analiz edilebilir.

### 1.8.1. Doğrusal Regresyon Analizi

Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metodudur. Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkiyi fonksiyonel olarak açıklamayı ve bu ilişkiyi bir modelle tanımlayabilmeyi amaçlar. Bağımlı (Y) ve bağımsız (X) bileşenin tek olduğu ve doğrusal bir fonksiyonla ifade edildiği regresyon modeli basit doğrusal regresyon analizi olarak tanımlanır. Tanımlanan modelde gerçek gözlem değerleri ile tahmin değerleri arasında fark olmaması ya da farkın minimum olmasını amaçlayan EKK yöntemi uygulanır. Basit doğrusal regresyon modelinde bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişki,

$$Y_i + v_i = a_0 + a_1 X_i \quad (15)$$

denklemini yardımıyla ifade edilebilir. Denklemdaki  $a_0$  ve  $a_1$  regresyon parametreleri aynı zamanda regresyon katsayılarıdır. Burada  $a_0$  doğrunun y eksenini kestiği noktayı,  $a_1$  ise doğrunun eğimini verir.  $a_1$ 'in pozitif olması artan bir eğilim, negatif olması azalan bir eğilim olduğunu gösterir.  $a_1$ 'in sıfırdan çok farklı olmaması gözlem değerlerinde değişimin olmadığını gösterir.  $v$  ise düzeltme terimi olup doğru denklemden elde edilen parametrelerin duyarlık hesapları için önemlidir.

Zaman serilerinde  $Y_i$  bağımlı değişken,  $X_i$  bağımsız değişken,  $v_i$  ise regresyon modelinden elde edilen tahmini değer ile gerçek değer arasındaki farktan hesaplanan düzeltme olmak üzere,  $n$  sayıda veri çiftinde doğrusal regresyon modeli uygulamak için,

$$\begin{aligned} Y_1 + v_1 &= a_0 + a_1 X_1 \\ Y_2 + v_2 &= a_0 + a_1 X_2 \\ Y_3 + v_3 &= a_0 + a_1 X_3 \\ &\vdots \\ Y_n + v_n &= a_0 + a_1 X_n \end{aligned} \quad (16)$$

eşitliğindeki simetrik katsayılı denklem sisteminden yararlanılır. Bu denklem sisteminin matris gösterimi,

$$Y + V = Ax \quad (17)$$

biçiminde ifade edilebilir. Bağımlı değişken değerlerinin oluşturduğu sabitler vektörü,

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad (18)$$

regresyon parametre katsayılarının oluşturduğu katsayılar matrisi,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & X_1 \\ 1 & X_2 \\ 1 & X_3 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & X_n \end{bmatrix} \quad (19)$$

regresyon parametrelerinin oluşturduğu bilinmeyenler vektörü,

$$x = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

regresyon modelinden elde edilen tahmin değerler ile ölçülen koordinat değerleri arasındaki farkların oluşturduğu hatalar vektörü,

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \quad (21)$$

eşitliklerindeki gibi ifade edilir. A katsayılar matrisinde meydana gelebilecek kondüsyon bozukluğunu önlemek için denklem sisteminin çözümüne geçmeden önce katsayılar matrisi ve sabitler vektöründe öteleme ve normlandırma işlemleri yapılır.

Ötelenmiş değerler,

$$Y_{\text{ort}} = \frac{[Y]}{n} \quad (22)$$

$$X_{\text{ort}} = \frac{[X]}{n}$$

$$X' = X - X_{\text{ort}} \quad (23)$$

$$Y' = Y - Y_{\text{ort}}$$

eşitliklerinden hesaplanır. Normlandırılmış değerler ise,

$$c_X = \sqrt{X'^2} \quad (24)$$

$$c_Y = \sqrt{Y'^2}$$

$$X'' = \frac{X'}{c_X} \quad (25)$$

$$Y'' = \frac{Y'}{c_Y}$$

eşitliklerinden elde edilir. x bilinmeyen vektörünün elemanı olan  $a_0$  ve  $a_1$  katsayıları normlandırılmış değerler ile,

$$A^T A x = A^T Y \quad (26)$$

eşitliğinden EKK ilkesine göre hesaplanır. EKK ilkesine göre hesaplanan x bilinmeyenler vektörünün elemanları,

$$a_0 = x(1) \quad (27)$$

$$a_1 = x(2)$$

biçiminde ifade edilebilir. Modelden elde edilen değerler gözlenen gerçek değerlerden,

$$v_i = Y_{\text{model}} - Y_{\text{ölçü}} \quad (28)$$

eşitliğindeki gibi çıkarılarak  $v_i$  düzeltmeler bulunur. Düzeltmeler, regresyon katsayılarının güvenilirlik tahmininde kullanılarak parametrelerin ortalama karesel hataları hesaplanır.  $n$  ölçü sayısı,  $u$  bilinmeyen sayısı olmak üzere birim ölçünün ortalama hatası olan  $m_0$  ve bilinmeyen katsayıların ters ağırlık matrisi  $Q_{xx}$ ,

$$m_0 = \sqrt{\frac{v^T v}{n-u}} \quad (29)$$

$$Q_{xx} = (A^T A)^{-1} \quad (30)$$

olarak hesaplanır. Buradan EKK ilkesine göre elde edilen regresyon katsayılarının ortalama hataları,

$$\begin{aligned} m_{a_0} &= m_0 \sqrt{Q_{1,1}} \\ m_{a_1} &= m_0 \sqrt{Q_{2,2}} \end{aligned} \quad (31)$$

eşitliklerine göre elde edilir. Regresyon modelinden elde edilen parametrelerin anlamlı olup olmadıkları test edilmesi gerekir. Bu nedenle

$$\begin{aligned} H_0: E\{a_0\} &= 0 && \text{'}a_0 \text{ regresyon parametresinin anlamlı olduğu söylenemez.}' \\ H_s: E\{a_1\} &\neq 0 && \text{'}a_1 \text{ regresyon parametresi anlamlıdır.}' \\ H_0: E\{a_0\} &= 0 && \text{'}a_0 \text{ regresyon parametresi anlamlı olduğu söylenemez.}' \\ H_s: E\{a_1\} &\neq 0 && \text{'}a_1 \text{ regresyon parametresi anlamlıdır.}' \end{aligned}$$

şeklinde sıfır hipotezi ve seçenek hipotezleri kurulur.  $H_0$  ve  $H_s$  hipotezleri için test büyüklüğü,

$$\begin{aligned} T_i &= \frac{|a_0|}{m_{a_0}} \\ T_i &= \frac{|a_1|}{m_{a_1}} \end{aligned} \quad (32)$$



olarak hesaplanır. t-dağılımına uyan test büyüklüğü için t-tablolarından  $\alpha$  yanılma olasılığı ve  $f = n - u$  serbestlik derecesine göre

$$q = t_{n-u,1-\alpha} \quad (33)$$

$$q = t_{n-u,1-\frac{\alpha}{2}}$$

eşitliğindeki gibi q değerleri alınır. q değerleri, T test büyüklüğü ile karşılaştırılır.

$T < q$  ise  $H_0$  hipotezi kabul edilir.

$T > q$  ise  $H_s$  hipotezi kabul edilir.

### 1.8.2. Hareketli Ortalama Yöntemi

Hareketli ortalama, belirlenen k sayıda ardışık verinin ortalaması alınarak hesaplanan bir yöntemdir. k dönemlik basit hareketli ortalama

$$\widehat{Y}_{t+1} = \frac{(Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + \dots + Y_{t+k-1})}{k} \quad (34)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu model, k dönemlik ortalamaya yeni elde edilen gözlem değerini ilave ederken bir önceki ortalamaya dahil edilen en eski gözlem değerini hesaptan düşürür. Hareketli ortalama ile gelecek için öngörü tahmini yapılabilir. Bunun küçük bir örneğini sıcaklık değerleri üzerinde incelemek mümkündür (Tablo 5.).

Tablo 5. Hareketli ortalama ile öngörü tahmini için sıcaklıklar

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)
Ocak	7.3
Şubat	7.0
Mart	8.5

Tablo 5’de verilen üç aylık ortalama sıcaklık değerlerinden yararlanarak

$$(7.3 + 7.0 + 8.5)/3 = 7.6 \text{ °C} \quad (35)$$

ortalama hesaplanır. Böylece Nisan dönemi için tahmini sıcaklık değeri elde edilir. Mayıs dönemi tahmini değer için hesaplanacak ortalama Nisan dönemi değeri ilave edilirken Ocak dönemi değeri dahil edilmez. Bu şekilde gelecek için öngöründe bulunma yöntemi olan hareketli ortalama, zaman serilerinde mevsimsel ve rastgele oluşumların etkilerini azaltmak için de kullanılan bir yumuşatma yöntemidir. Her veri noktası için kullanılan k dönem sayısı ne kadar büyük olursa serideki yumuşama etkisi o kadar yüksek olur. Dolayısıyla serideki önemli dalgalanmalar göz ardı edilmeyecek ve fazla veri kaybı olmayacak şekilde k dönem uzunluğu seçilir. Basit hareketli ortalama, mevsimsel ve rastgele oluşumların etkilerini azaltarak seri içerisinde belirgin olarak gözlenemeyen trend etkisini ortaya çıkarmayı da mümkün kılar (Tablo 6.).

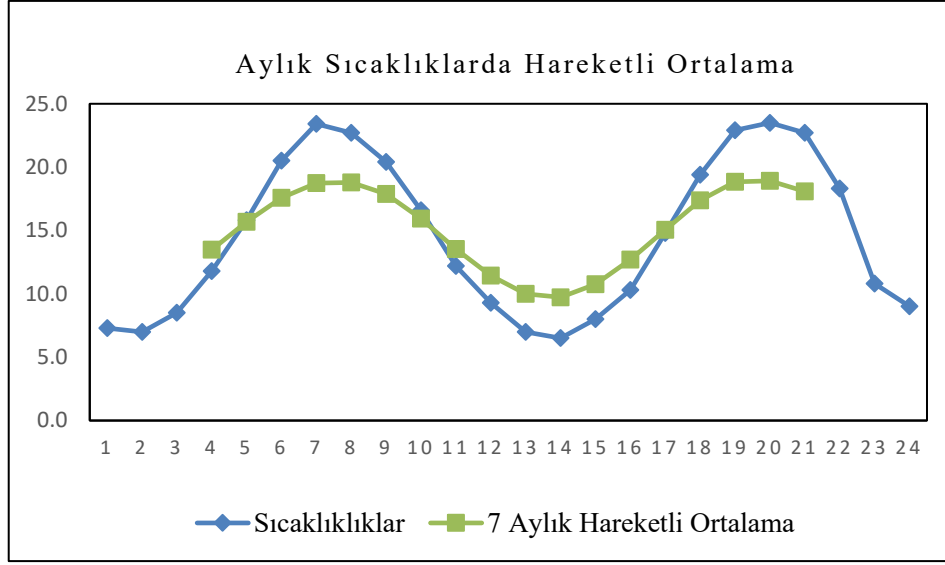
Tablo 6. Sıcaklık verilerinde 7 aylık hareketli ortalama ile trend belirleme

	Aylar	Sıcaklıklar (°C)	7 Aylık Hareketli Ort.
BİRİNCİ YIL VERİLERİ	Ocak	7.3	
	Şubat	7.0	
	Mart	8.5	
	Nisan	11.8	13.47
	Mayıs	15.8	15.67
	Haziran	20.5	17.59
	Temmuz	23.4	18.74
	Ağustos	22.7	18.80
	Eylül	20.4	17.87
	Ekim	16.6	15.94
	Kasım	12.2	13.53
	Aralık	9.3	11.43
İKİNCİ YIL VERİLERİ	Ocak	7.0	9.99
	Şubat	6.5	9.73
	Mart	8.0	10.76
	Nisan	10.3	12.70
	Mayıs	14.8	15.06
	Haziran	19.4	17.37
	Temmuz	22.9	18.84
	Ağustos	23.5	18.91
	Eylül	22.7	18.09
	Ekim	18.3	
	Kasım	10.8	
	Aralık	9.0	

Tablo 6’da verilen aylık sıcaklık değerleri üzerinde basit hareketli ortalama yöntemini uygulamak için seride minimumdan minimuma ayırma yöntemi uygulanarak dalga uzunlukları belirlenebilir (Tablo 7.). Minimumdan minimuma göre ayrılan verilerin dalga uzunluklarının ortalaması alınarak kaçlı hareketli ortalama yapılacağı bulunur. Bulunan sayıya göre hareketli ortalama yöntemi veriler üzerinde uygulanır. Uygulanan yöntem sonucunda sıcaklık verileri üzerindeki mevsimsel etkide azalma meydana gelir (Şekil 7.).

Tablo 7. Hareketli ortalama dalga uzunluğu belirleme

Ocak	7.3	1. Dalga Uzunluğu: 7 Ay	
Şubat	7.0		
Mart	8.5		
Nisan	11.8		
Mayıs	15.8		
Haziran	20.5		
Temmuz	23.4		
Ağustos	22.7	2. Dalga Uzunluğu: 7 Ay	HO=(7+7+6)/3=6.66
Eylül	20.4		
Ekim	16.6		
Kasım	12.2		
Aralık	9.3		
Ocak	7.0		
Şubat	6.5		
Mart	8.0	3. Dalga Uzunluğu: 6 Ay	
Nisan	10.3		
Mayıs	14.8		
Haziran	19.4		
Temmuz	22.9		
Ağustos	23.5		
Eylül	22.7	:	
Ekim	18.3		
Kasım	10.8		
Aralık	9.0		



Şekil 7. Basit hareketli ortalama

### 1.8.3. Hilbert Huang Dönüşümü (HHD)

Geleneksel veri analizi yöntemleri, verilerin doğrusal ve durağan oldukları varsayımlarına dayanmaktadır. Fakat doğadaki neredeyse hiçbir işaret doğrusal veya durağan değildir.

Zaman serilerinin frekans uzayında analizi için sıkça uygulanan Fourier dönüşümü, durağan ve deterministik zaman serilerine uygulanabilmektedir. Huang dönüşümü, durağanlık ve doğrusallık şartı aramaksızın tüm fiziksel işaretlerde anlık frekans bilgisinin kestirimi konusunda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Son yıllarda HHD; atmosfer, iklimsel araştırmalar ve deprem mühendisliği gibi çeşitli alanlarda uygulamalarına rastlanmaktadır. Fourier dönüşümü, dalgacık dönüşümü gibi yaygın kullanılan veri ayrıştırma yöntemleri trigonometrik fonksiyonlar gibi matematiksel açıdan sağlam öncül bir temele sahiptir. Ancak, veri analizinin en temel amacı, verilerin matematiksel özelliklerini bulmaktan ziyade verilerde gizlenen fiziksel içerikler ve sonuçların ortaya çıkarılmasıdır. Bu amaçlara uyan HHD ortaya konulmuştur (Chen vd., 2003; Lu vd., 2016; Huang vd., 1998).

Fiziksel olarak, durağan olmayan ve doğrusal olmayan süreçlerin daha iyi anlaşılması için zamanın bir fonksiyonu olan anlık frekanslara ihtiyaç duyulur. Anlık frekans, analitik sinyalin faz fonksiyonunun türevi olarak tanımlanabilir. Fiziksel olarak anlamlı anlık frekansların elde edilmesi için fonksiyonun tek bileşenli, yerel olarak sıfır ortalamalı ve

dalganın sıfır ortalamasına göre simetrik olması gerekir. Tüm bu koşullar, EMD yöntemi ile karşılanır. Ancak bunlar yalnızca gerekli şartlardır. EMD yöntemi ile elde edilen tek bileşenli fonksiyonlara HD uygulanması sonucu hesaplanan anlık frekans değerleri hem pozitif hem de negatif değerlerle geniş bir aralıkta dağılıbilir. Sonuç olarak, bu değerler her an fiziksel olarak anlamlı olmayabilir (Huang vd., 2009).

HHD yöntemi, EMD ve HD analizinden oluşur. EMD yöntemi, zaman serilerinde salınım gösteren sinyali IMF (Intrinsic Mode Function-İçsel Mod/Salınım Fonksiyonu) olarak adlandırılan farklı frekanstaki bileşenlerine ayrıştırarak veri içerisindeki fiziksel süreç özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Farklı zaman ölçeklerindeki sinyallerin değişkenliğinin analiz edilmesinde bir filtreleme görevi yaparak seri yapısındaki doğrusal olmayan trend bileşenini ortaya çıkarır. EMD yöntemi ile elde edilen farklı frekanstaki bileşenlerin HD'ye tabi tutulmasıyla anlık frekanslar hesaplanır (Gürsoy, 2017).

### **1.8.3.1. Deneysel Mod Ayrıştırma (EMD)**

Deneysel Mod Ayrıştırma; veri odaklı, uyarlanabilir, yerel ve deneysel bir analiz yaklaşımıdır. EMD yöntemi, zaman serilerinde salınım gösteren sinyali IMF olarak adlandırılan farklı frekanstaki bileşenlerine ayrıştırma esasına dayanır. Ayrıştırma metodunun basit bir varsayımı vardır; herhangi bir anda veri çok frekanslarda ve farklı dalga modlarındaki bilgiyi aynı anda iç içe geçmiş şekilde içerebilir. Bunun sonucunda karmaşık veri yapısı meydana gelir. Bu salınım modlarının her biri bir IMF ile temsil edilir.

EMD yöntemi üç temel varsayıma dayanır;

- ✓ Veri seti veya sinyal bir minimum ve bir maksimum olmak üzere en az iki uç noktadan oluşur.
- ✓ Verideki salınımların özellikleri uç noktalar arasındaki karakteristik zaman skalası tarafından belirlenir.
- ✓ Veri seti uç nokta içermemesine karşın bükülme noktalarına sahipse veride bir ya da daha fazla ayrıştırma işlemi yapılarak uç noktalar ortaya çıkarılır. Yöntemin temelini içsel salınım fonksiyonların karakteristik zaman skalaları yardımıyla veri setinin IMF bileşenlerine ayrıştırması oluşturur.

Bir zaman serisinde verilerin ulaştığı en yüksek noktaya global (mutlak) maksimum, en düşük noktaya global (mutlak) minimum denir. Bunun yanı sıra zaman serisi içindeki veriler lokal (yerel) uç değerlere sahip olabilir. Seride en yüksek ve en düşük olmamak kaydıyla minimum ve maksimum değerlere ulaşılan noktalar yerel maksimum ve yerel minimum olarak adlandırılır. Zaman skalası ise belirli noktalar arasındaki zaman aralığıdır. Doğrusal veya durağan olmayan verilerde yerel zaman skalaları tanımlanmalıdır. Çünkü seriye yön veren dinamikler bir uç noktadan diğerine seriyi yönlendirir. Bu nedenle ardışık uç noktalar arasındaki zaman aralığına yerel ve kendine özgü dinamiklerin veri üzerindeki etkisini içermesi nedeniyle karakteristik zaman skalası adı verilir (Torun, 2012).

EMD yönteminin uygulanabilmesi için veri setinin herhangi bir ortalama değerine ya da sıfır referans noktasına gerek yoktur. Yerel uç noktaların varlığı yeterli koşuldur. Her IMF için sıfır referans değeri eleme süreci ile doğrudan oluşur. EMD yöntemi ile elde edilen IMF'lerin iki önemli özelliği vardır. Bunlar;

- ✓ Tüm veri setinde extremum ve sıfır geçiş noktalarının sayısı eşit ya da aralarındaki fark en fazla bir olmadır.
- ✓ Herhangi bir veri noktasında yerel maximum ve yerel minimum noktaları tarafından tanımlanan zarfların ortalaması sıfır olmalıdır.

EMD yöntemi ile IMF bileşenlerinin bulunması ve çıkarılmasına eleme işlemi denir. Eleme işlemi sonucu elde edilen ilk IMF, orjinal sinyalde en yüksek frekansa diğer bir deyişle en düşük periyoda sahip bileşendir. Verilen bir  $X(t)$  sinyalinde IMF bileşenlerini ortaya çıkarmak için sinyalin yerel maksimum ve yerel minimum olan extremum noktaları hesaplanır. Daha sonra sinyalde bulunan extremum noktalar kübik eğri ile birleştirilerek  $e_{\min}(t)$  alt zarf ve  $e_{\max}(t)$  üst zarflar oluşturulur. Durağan olmayan serilerde yerel ortalama hesaplanabilmesi için yerel zaman skalasının kesin olarak belirlenmesi gereklidir. Fakat bu durum olanaksız olduğundan dolayı IMF bileşenleri elde edilirken yerel ortalama yerine yerel maksimum ve minimum noktalardan geçen zarf fonksiyon değerlerinin ortalaması kullanılır. Her bir zaman noktası için alt zarf ve üst zarf ortalaması,

$$m_1 = (e_{\min}(t) + e_{\max}(t))/2 \quad (36)$$

olarak hesaplanır. Elde edile zarf ortalaması,

$$h_1 = X(t) - m_1 \quad (37)$$

eşitliğindeki gibi orjinal sinyalden çıkarılır. Eleme işlemi sonucunda elde edilen yeni extremum noktalar veri yapısında var olan gizli salınımların ortaya çıkarılmasında kullanılır. Dolayısıyla IMF bileşenlerinin ortaya çıkarılma işlemi birden fazla tekrarlanabilir. Tekrarlanama işlemi,

$$\begin{aligned} h_{11} &= h_1 - m_{11} \\ &\dots \\ &\dots \\ h_{1k} &= h_{1(k-1)} - m_{1k} \end{aligned} \quad (38)$$

eşitliklerindeki gibi ifade edilen ve bütün pozitif yerel maksimum değerleri sıfır değerinin üzerinde, yerel minimum değerleri ise sıfır değerinin altında gerçekleşen simetrik yapılmı IMF bileşenleri elde edilinceye kadar k kere devam ettirilir.  $h_{1k}$ ,

$$c_1 = h_{1k} \quad (39)$$

eşitliğindeki gibi ifade edildiğinde  $c_1$  elde edilen birinci IMF1 olmak üzere veride en yüksek frekansa ve en düşük periyoda sahip bileşendir. Eleme işleminin durdurulmasındaki diğer bir kriter Cauchy yakınsama kriteridir. Bu kritere göre eleme süreci ardışık eleme sonuçları arasındaki farkın önceden belirlenen limit değerinden küçük olduğunda sonlanmasına dayanır. Başka bir ifadeyle; iki ardışık eleme sonucunda,

$$S_k = \frac{\sum_{t=0}^T |h_{(k-1)}(t) - h_k(t)|^2}{\sum_{t=0}^T h_{k-1}^2} \quad (40)$$

eşitliği ile hesaplanan standart sapmanın önceden belirlenmiş bir değerden küçük olma durumunda eleme işlemi sonlandırılabilir. Bu noktada önceden belirlenen standart sapma genellikle 0.2 veya 0.3 değerinde olabilir. Ancak standart sapma kriterinin pratikte uygulanması zordur. Çünkü önceden belirlenecek değer ne kadar küçük olması gerektiği konusunda belirsizlik vardır. Ayrıca bu kriter IMF tanımına bağlı kalmaz. Diğer bir ifadeyle benzer sayıda sıfır geçiş ve extremum nokta sayısını garantilemez (Huang and Shen, 2005).

Eleme süreci fazla tekrar ederse salınım hareketinin barındırdığı genlik değişimi ortadan kalkarak eşit genlikli salınım hareketi meydana gelir. Dolayısıyla elde edilen IMF, veri setinin içerdiği dinamikleri barındırmaz. Bu nedenle tekrarlama sayısı makul sınırlar içerisinde olmalıdır. Bu sınırlar  $S$  adet yineleme süreç için  $3 \leq S \leq 5$  arasında başarılı sonuçlar içermesinin yanı sıra Wu ve Huang tarafından 10 kez yinelemenin yeterli olunacağı savunulmuştur. Böylece eleme süreci sonunda elde edilen IMF sıfır ortalamaya göre simetrik olmaktadır. Eleme işleminin sonlanmasıyla elde edilen ilk bileşen IMF1 veri setinden çıkarıldığında,

$$r_1 = X(t) - c_1 \quad (41)$$

$r_1$  kalıntısı elde edilir.  $r_1, c_1$ 'den daha uzun periyoda sahip kalıntıları içerir. Uzun periyoda sahip salınımları ortaya çıkarmak için  $r_1$  yeni bir veri seti gibi düşünülerek eleme işlemine devam edilir. Süreç sonun  $n$  adet IMF bileşeni elde edilir.

$$\begin{aligned} r_2 &= r_1 - c_2 \\ r_3 &= r_2 - c_3 \\ &\vdots \\ r_n &= r_{n-1} - c_n \end{aligned} \quad (42)$$

Trend veya sabit değerli fonksiyon olabilen  $r_n$ , IMF elde edilmeyecek monoton dizi olana kadar devam ettirilir. Burada ifade edilen monotonluk şartı, artık sinyalde yerel maksimum veya minimum nokta sayılarının biri geçmemesidir (Torun, 2012; Wu ve Huang, 2004; Elbi, 2013).

EMD yönteminde yapılan işlemlerden biri ekstremumlar arasında enterpolasyonlu eğriler olarak alt ve üst zarfların tahmin edilmesidir. Bunun için kübik spline yöntemi uygulanır. Genel olarak, bir spline enterpolasyonunun amacı, belirli bir veri setine mümkün olan en yakın yaklaşımı elde eden bir işlev oluşturmaktır. Burada seçilen enterpolasyonun çeşidi önemli rol oynar. Yapılan deneylere bağlı olarak yüksek dereceli eğri işlevlerinin ek parametrelere ihtiyaç duyması uyarlayıcı özelliğe aykırı bulunmuştur. Ayrıca yüksek dereceli eğri fonksiyonları ilave uzunluk skalaları da getirebilmektedir. Bu durum ise hesaplamalarda daha fazla zaman almaktadır. Ayrıca uygulanacak enterpolasyon yönteminde iterasyon sayısı da önemlidir. Lineer veya polinom enterpolasyon türleri gerekli



eleme iterasyon sayısını arttırmaktadır. Fazla iterasyon ise aşırı bozunmaya sebep olur. Tüm bu nedenlere bağlı olarak kübik spline kullanılır. Ancak kübik spline enterpolasyonunun önemli bir dezavantajı vardır. Kübik splinelar aşırı üst vuruşlar (overshoots) ve aşırı alt vuruşlar (undershoots) oluşturabilir. Bu durum; yeni ekstremumlar üretebilir, mevcut ekstremiteleri değiştirip büyütebilirler. Dolayısıyla IMF tahminleri olumsuz etkilenebilir (Özdemir, 2014; Pegram vd., 2008; Yıldız vd., 2017).

### 1.8.3.2. Hilbert Dönüşümü (HD)

EMD yöntemiyle IMF bileşenleri elde edildikten sonra sinyalin karakteristiğinin en iyi şekilde anlaşılabilmesi için anlık frekanslar ve genlikler hesaplanır. Bunun için HD uygulanır. Anlık frekansların hesaplanmasında gerekli şartlar fonksiyonun yerel sıfır ortalamaya göre simetrik olması, eşit sayıda uç ve sıfır geçişli nokta sayısına sahip olmasıdır.

HD, analizi ile zaman fonksiyonu olan genlik değerleri frekans zaman denkleminde grafiksel olarak incelenebilir. Genlik değerlerinin frekans zaman dağılımına Hilbert spektrumu denir. Genlik yerine enerji kullanılması durumunda Hilbert enerji spektrumu elde edilir. HD, Cauchy temel prensibi tarafından tanımlanır. Bir  $x(t)$  sinyalinin HD uygulanmış halinin karmaşık eşleniği  $y(t)$ ,

$$y(t) = H[x(t)] = \frac{1}{\pi} PV \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau \quad (43)$$

olarak elde edilir. HD yardımıyla  $x(t)$  fonksiyonu analitik olarak ,

$$z(t) = x(t) + iy(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \quad (44)$$

gibi tanımlanır.  $t$  zamanındaki anlık genlik  $\alpha(t)$  ve fazı  $\theta(t)$ ,

$$\alpha(t) = \sqrt{x(t)^2 + y(t)^2} \quad (45)$$

$$\theta(t) = \arctan \left[ \frac{y(t)}{x(t)} \right]$$

olarak ifade edilebilir. Anlık frekans  $f(t)$  ise,

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (46)$$

olarak tanımlanır. Burada  $\omega(t)$  anlık açısal frekans değeri,

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (47)$$

eşitliğinden elde edilir (Gürsoy, 2017; Huang ve Shen, 2005).

### 1.9. Zaman Serilerinde Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi

Zaman serilerinde kaba hatalı değerler, genellikle serideki diğer gözlemlerden belirgin olarak sapan değerlerdir. Bu değerler, kişilerden ya da aletlerden kaynaklı hatalı ölçümler veya depremler gibi çevre koşullarının olumsuz etkileri sonucu oluşabilir. Uyuşumsuz ölçüler ise veri kümesinin dağılımına uygun olmayan rastgele hatalardan oluşur. Kaba ve sistematik hatalardan rastgele ölçü büyüklüğünde olanlar veri bütünlüğünü bozarak uyuşumsuz ölçülerin meydana gelmesine sebep olur. Uyuşumsuz ölçüler, veri kümesinin dağılımına uymayan ölçüler olarak tanımlanabilir. Uyuşumsuz ölçülerin tümü kaba hatalardan kaynaklanan kötü veriler değildir (Şişman vd., 2009).

Normal dağılımda  $\bar{x}$  ortalamaya ve  $s$  standart sapmaya göre tanımlanan aralıkların olasılıkları bulunabilir. Örneğin  $\bar{x} \pm s$  aralığının olasılığı 0.68 dir. Normal dağılımın bu özelliği uyuşumsuz ölçü belirleme testlerinin temelini oluşturur. Uyuşumsuz ölçü testlerinde düzeltmeler standart sapmaya bölünerek 2, 2.5 veya 3.29 gibi seçilen bir  $k$  sınır değeri ile karşılaştırılır. Bu sınır değerini aşan ölçü, uyuşumsuz olarak kabul edilir. Bu yöntem, uygulamada  $k$ -sigma yöntemi olarak da anılmaktadır.  $k$ -sigma yöntemi, seri elemanları,

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n \quad (48)$$

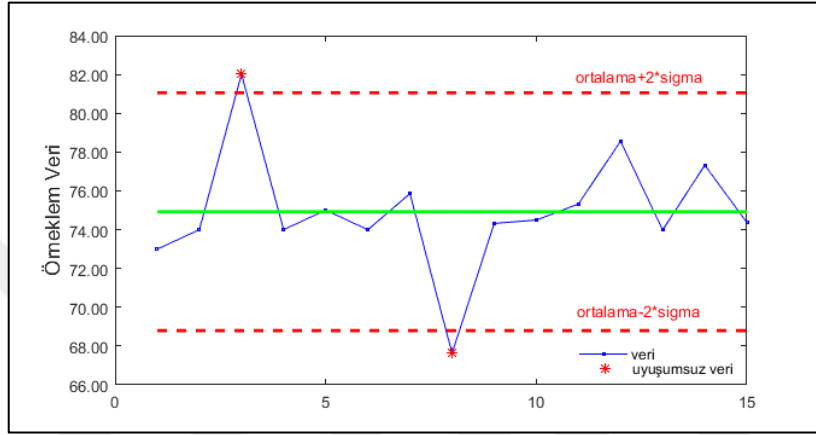
şeklinde olan  $n$  tane  $X$  değişkenine ait veri kümesinde  $\bar{X}$  ortalama,  $s$  standart sapma,  $k$  ise genellikle 2, 3 veya 6 olarak alınan kriter olmak üzere uyuşumsuz değerlerin,

$$|X_i - \bar{X}| > k * s \quad (49)$$

denklemine göre belirlenmesine dayanmaktadır (Tanır vd., 2004). Bu denkleme göre uyumsuz veriler,

$$(\bar{X} - k * s, \bar{X} + k * s) \quad (50)$$

aralığı dışında kalan gözlemler olarak belirlenmektedir (Şekil 8.).



Şekil 8. k-sigma yöntemi ile uyumsuz ölçülerin belirlenmesi

Şekil 8'de, 2 olarak seçilen k kriterinin standart sapmayla çarpılmasından elde edilen sonucunun ortalamaya eklenmesi ve çıkarılmasıyla oluşturulan güven sınırlarının dışında kalan iki gözlem noktası mevcuttur.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışmada Türkiye’de bulunan ANKR, ISTA ve TUBI IGS istasyonlarının North-Kuzey, East-Doğu, Up-Yukarı bileşenlerinin koordinat zaman serileri analiz edildi (Şekil 9.). Analiz için öncelikle IGS istasyon koordinatlarının zaman serisi grafikleri çizdirildi. Analiz sonuçlarının güvenilir olması için verilerde bulunan uyuşumsuz ölçüler tespit edildi. Koordinat serilerinde veri kesiklikleri incelendikten sonra uyuşumsuz ölçüler verilerden ayıklandı. Koordinat serilerinde trend varlığını incelemek için öncelikle otokorelasyon katsayıları hesaplandı. Elde edilen otokorelasyon katsayılarına anlamlılık testleri yapılarak seride deterministik trendin varlığı araştırıldı. Daha sonra doğrusal regresyon ve hareketli ortalama ile trend analizi yapıldı. Doğrusal regresyondan modelleme sonucu hesaplanan trend, koordinat serilerinden çıkarıldı. Doğrusal trendi giderilmiş veriler üzerinde mevsimselliğin varlığını ortaya koymak için de otokorelasyon analizi yapıldı. Ayrıca, mevsimsel salınım özelliği gösteren bu veriler üzerinde HHD yöntemi uygulanarak doğrusal olmayan trend analiz edildi. Bu analizlerin tamamı MATLAB programlama dilinde yazılan kodlar ile yapıldı.

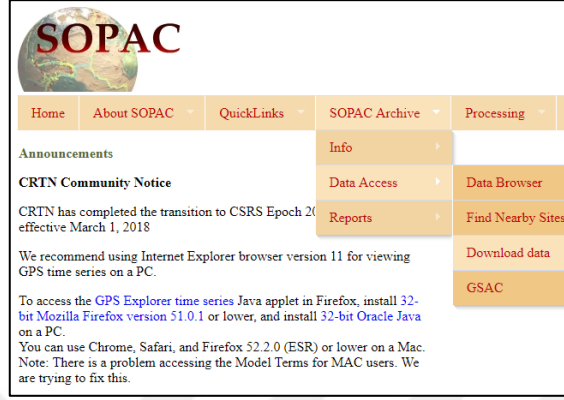


Şekil 9. Çalışmada kullanılan IGS istasyonları

Tablo 8. Çalışmada kullanılan IGS istasyonları

İstasyon No	İstasyon	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
20805M002	ANKR	39.8875	32.7586	974.8	4121934.26	2652189.81	4069034.91
20807M001	ISTA	41.1044	29.0193	147.2	4208830.46	2334850.14	4171267.18
20806M001	TUBI	40.7867	29.4507	221.8	4211318.52	2377865.76	4144664.46

İstasyonlara ait koordinat zaman serisi verileri SOPAC arşivi veri indirme bölümünden <http://garner.ucsd.edu/> web adresine bağlanılarak kullanıcı adı ve şifre ile temin edildi (Şekil 10.).



Şekil 10. SOPAC veri ulaşımı

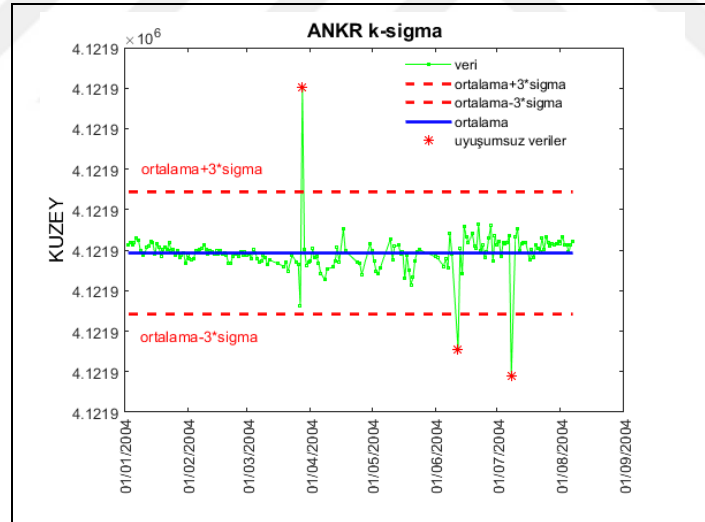
SOPAC arşivinden temin edilen ANKR istasyonu koordinat verileri 24.06.1995 ile 01.08.2014, ISTA istasyonu koordinat verileri 12.12.1999 ile 01.08.2014, TUBI istasyonu koordinat verileri ise 17.08.1999 ile 01.08.2014 zaman aralığını kapsamıştır.

## 2.1. Türkiye IGS İstasyonları Koordinat Zaman Serileri Analizleri

Koordinat zaman serilerinin analiz edilmesi istasyon konumlarının sabitliğinin araştırılması, deformasyon hızlarının belirlenmesi veya gelecekte yapılacak çalışmalar için bilgi kaynağı oluşturması bakımından önemlidir. Blewitt ve Lavallee (2002), sabit GPS istasyonlarında hızların güvenilir bir şekilde belirlenmesi için en az 2.5 yıllık veri kullanılması, kısa süreli verilerin jeodezik yorumlama amacıyla analiz edilmemesini önermektedir. Bunun nedeni olarak, EKK yöntemi kullanarak hız ve periyodik bileşen parametrelerinin birlikte hesaplanmasında, bilinmeyen parametreler arasında yüksek korelasyon oluştuğunu ifade etmektedir. Ayrıca zaman serisinin 4.5 yıldan fazla veri içermesi durumunda hız hatasının ihmal edilebilir olduğu ve periyodik bileşenlerin kestirilmesine gerek olmadığı belirtilmektedir (Blewitt ve Lavallee, 2002). Bu çalışmada yaklaşık 20 yıllık koordinat zaman serileri kullanıldı. Kullanılan verilerin zaman serisi grafikleri çizdirilerek göstermiş olduğu davranışlar analiz edildi.

### 2.1.1. Zaman Serilerinde Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması

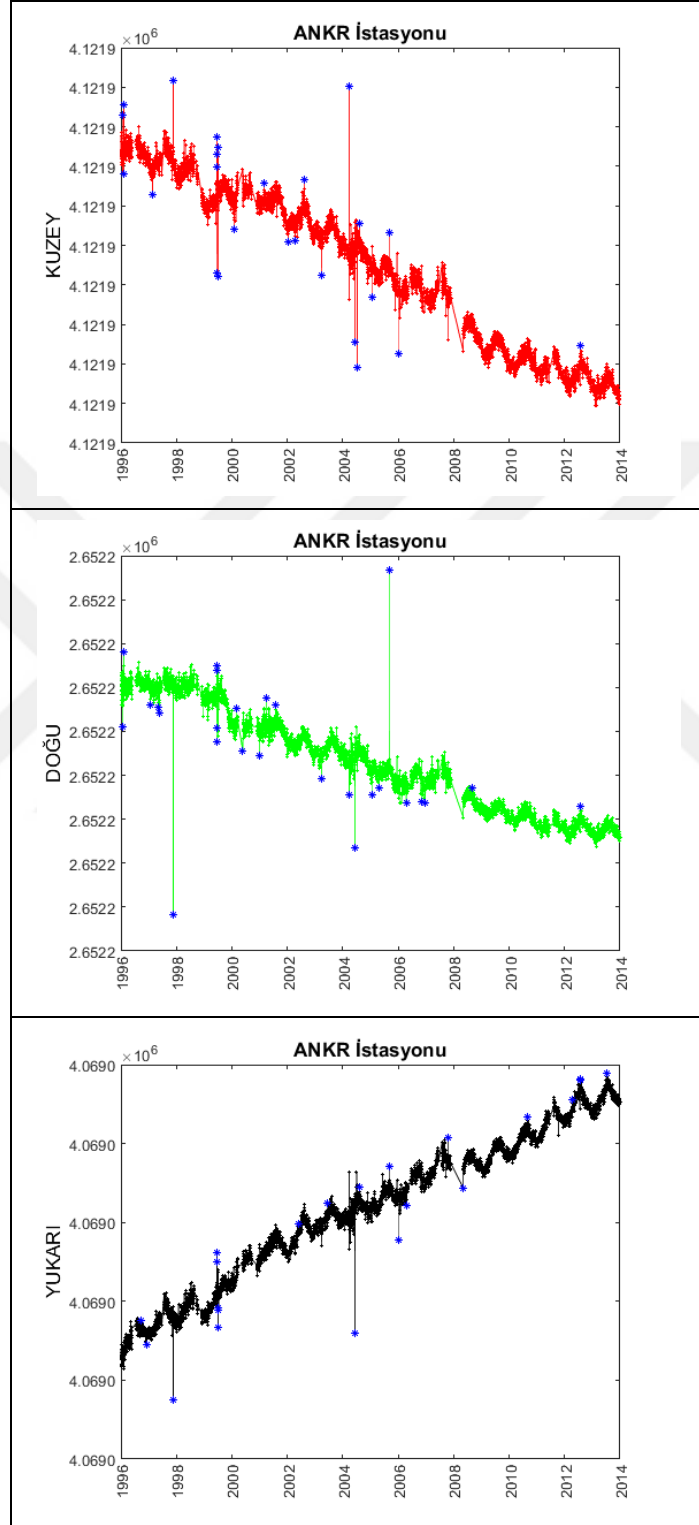
Zaman serilerinde uyuşumsuz ölçülerin test edilmesi genellikle seri trend ve mevsimsel etkilerden arındırıldıktan sonra yapılmaktadır. Çünkü trende sahip bir seride ortalama zamana bağlı olarak devamlı artmakta veya azalmaktadır. Dolayısıyla serinin gözlem değerleri arasında da bir ilişki bulunmaktadır. Başka bir ifadeyle, herhangi bir gözlem değeri kendinden önceki veya sonraki gözlem değerlerinden etkilenmektedir. Ancak bu çalışmada yapılacak analiz sonuçlarının güvenilir olması için öncelikle uyuşumsuz ölçüler belirlenmiştir. Veriler uzun zaman aralığına sahip olduğu için 6 aylık dönemlere ayrılmıştır. Böylece uyuşumsuz olmayan ölçümlerin de seriden çıkması engellenmeye çalışılmıştır. İstasyonların her bileşeni için  $k$  kriteri 3 alınarak  $k$ -sigma metodu uygulanmıştır. Koordinat serilerinde uyuşumsuz ölçülerin  $k$ -sigma metotuna göre belirlenmesine ANKR istasyonunun 2004 yılının birinci ve dokuzuncu ayları zaman aralığı örnek olarak sunulmuştur (Şekil 11.).



Şekil 11. Koordinat serilerinde  $k$ -sigma metotunun uygulanması

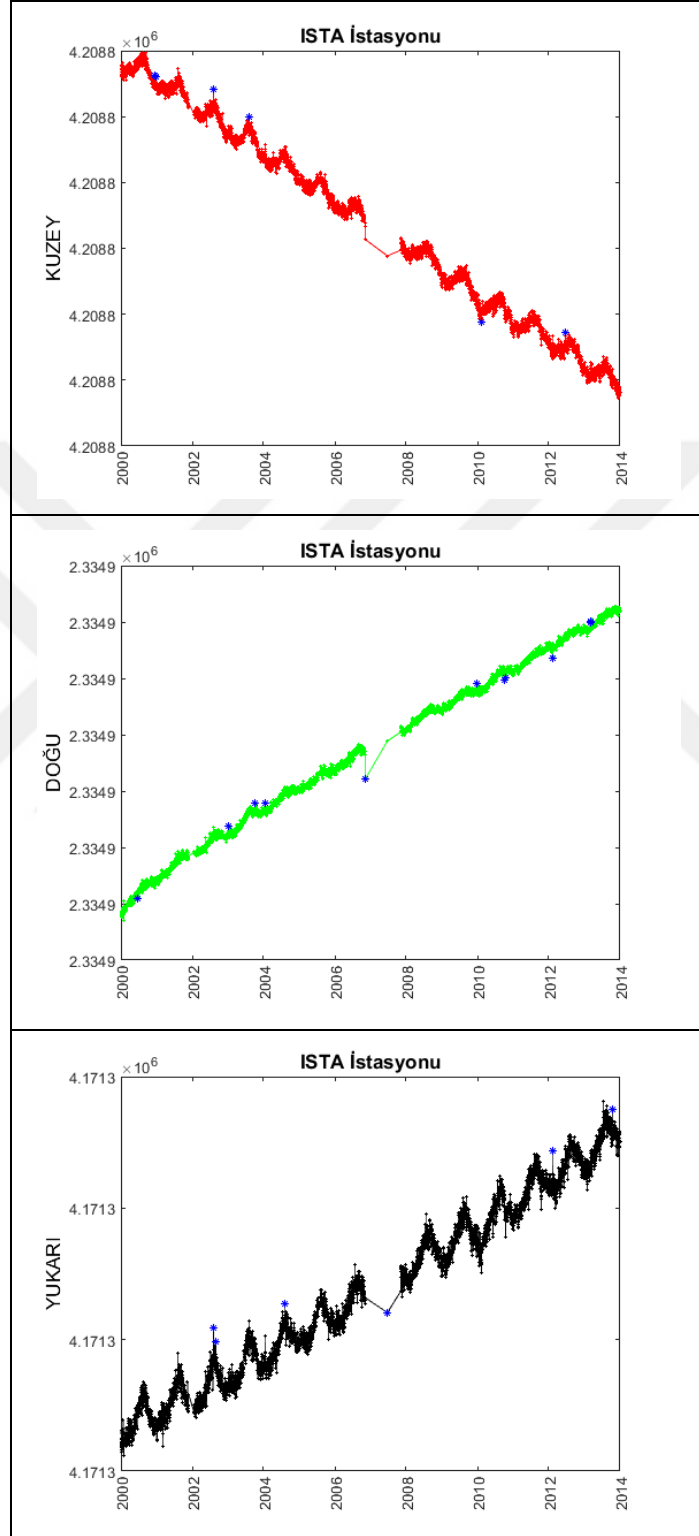
IGS istasyonları koordinat verilerinin MATLAB ortamında zaman serisi grafikleri çizdirilerek uyuşumsuz ölçüleri analiz edildi (Şekil 12., Şekil 13., Şekil 14.). İstasyonların her bileşeninde ayrı ayrı tespit edilen uyuşumsuz ölçü sayısı daha sonra verinin tamamı için bir bütün olarak değerlendirildi (Tablo 9.).

- ANKR IGS İstasyonu



Şekil 12. ANKR istasyonu uyuşumsuz ölçülerin tespiti

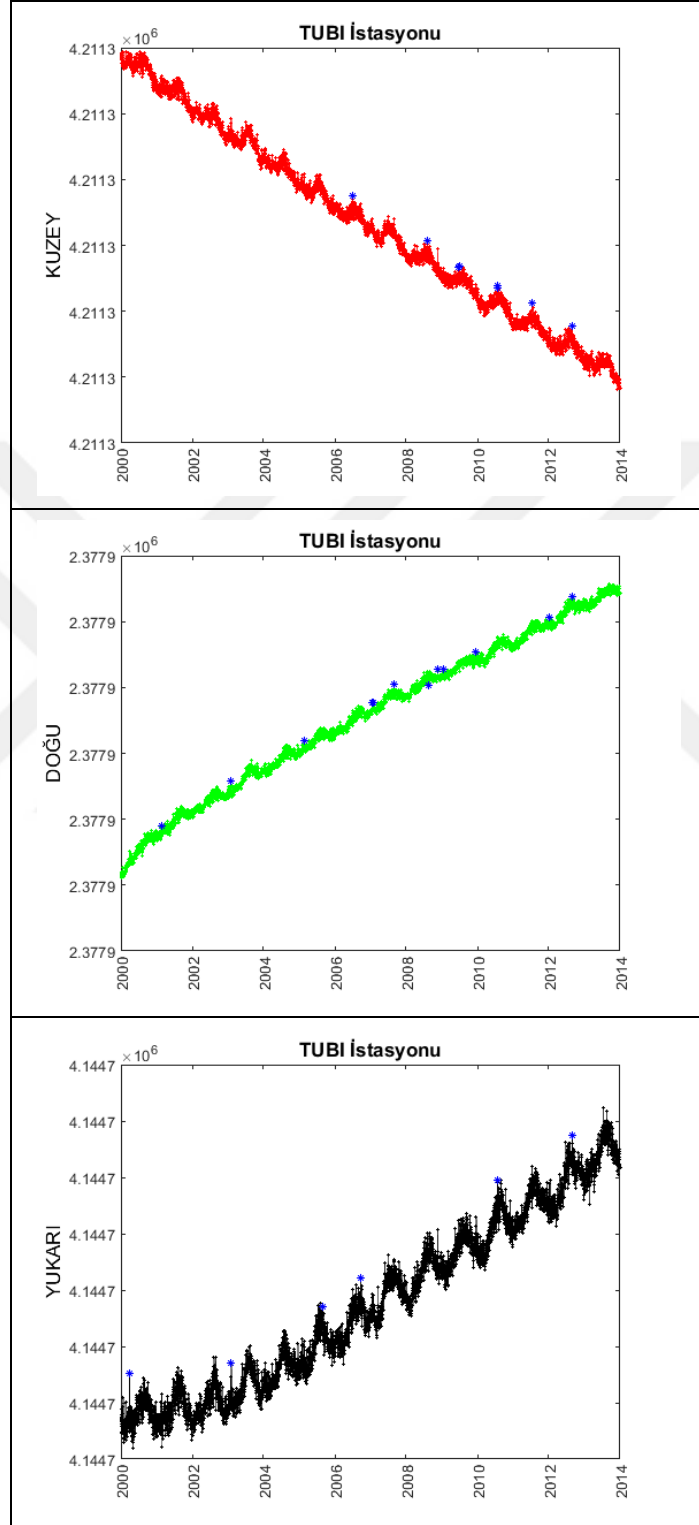
- ISTA IGS İstasyonu



Şekil 13. ISTA istasyonu uyşumsuz ölçülerin tespiti



- TUBI IGS İstasyonu



Şekil 14. TUBI istasyonu uyuşumsuz ölçülerin tespiti

Tablo 9. IGS istasyonlarında tespit edilen uyuşumsuz ölçü bilgisi

İstasyon	Gözlem Sayısı	Uyuşumsuz Gözlem Sayısı ve Yüzdeleri				
		Kuzey	Doğu	Yukarı	Kuzey-Doğu-Yukarı	Yüzdelik
ANKR	6003	27	31	25	57	0.95 %
ISTA	4810	9	12	6	26	0.54 %
TUBI	5352	10	16	6	29	0.54 %

Tablo 9. incelendiğinde Kuzey-Doğu-Yukarı sütunundan elde edilen değerlerin, koordinat bileşenlerinde ayrı ayrı tespit edilen değerlerin toplamından oluşmadığı görülmektedir. Çünkü bu değerler, koordinat bileşenlerinde ayrı ayrı tespit edilen değerlerin bir bütünü olarak yani bileşim kümesinin eleman sayısı olarak değerlendirilmiştir.

### 2.1.2. Zaman Serilerinde Veri Kesikliklerinin İncelenmesi

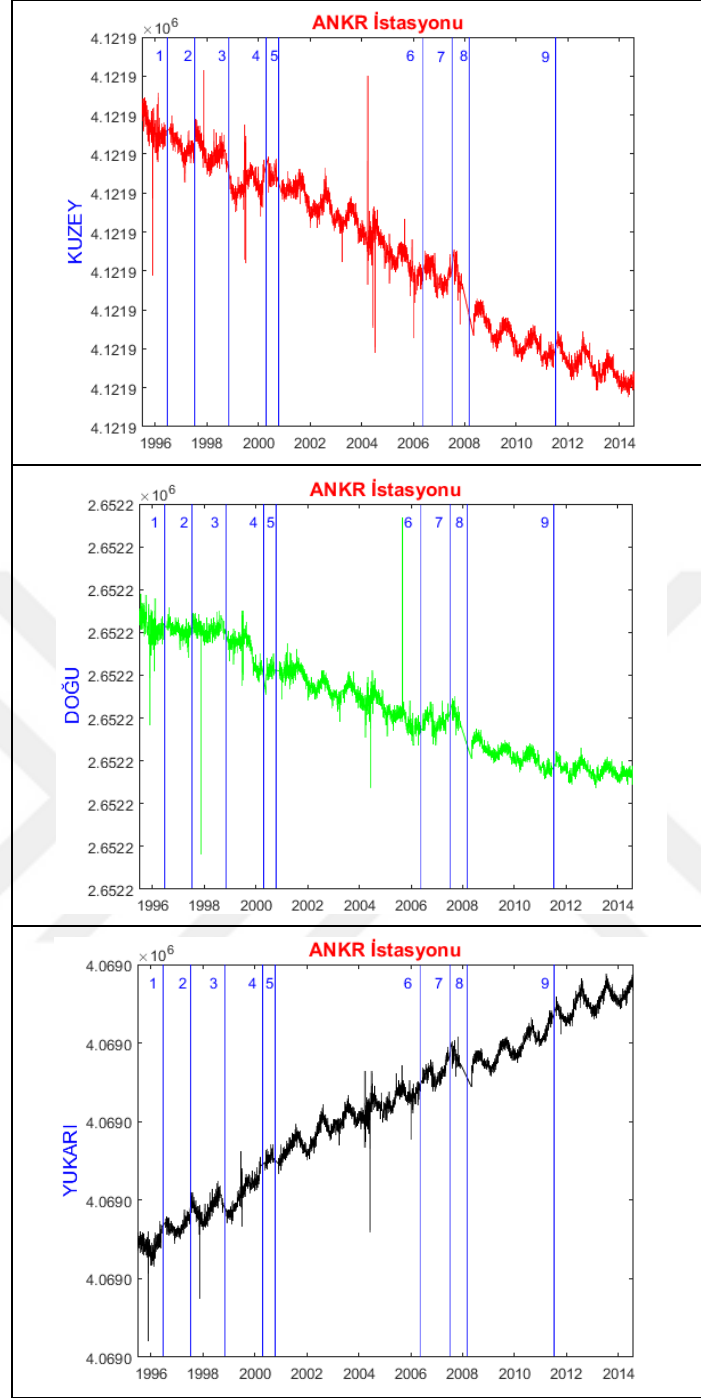
Veri kesintisi bulunan ANKR, ISTA ve TUBI IGS istasyonlarının üç koordinat bileşenine ait zaman serisi grafiklerinde 1 aylık ve daha fazla veri kesintisi olan tarihler belirlendi.

- ANKR IGS İstasyonu

ANKR İstasyonunda 1 aylık ve daha fazla veri kesintisine sahip dokuz tarih aralığı (1.-9.) belirlendi (Tablo 10.) ve bu tarihler zaman serisi grafiklerinde gösterildi (Şekil 15.).

Tablo 10. ANKR istasyonu veri kesiklikleri

Veri Kesikliği	Ay, Yıl
1	Mayıs-Temmuz, 1996
2	Haziran-Temmuz, 1997
3	Ekim-Kasım, 1998
4	Mart-Mayıs, 2000
5	Eylül-Kasım, 2000
6	Mayıs-Haziran, 2006
7	Haziran-Ağustos, 2007
8	Kasım, 2017-Mayıs, 2008
9	Haziran-Ağustos, 2011



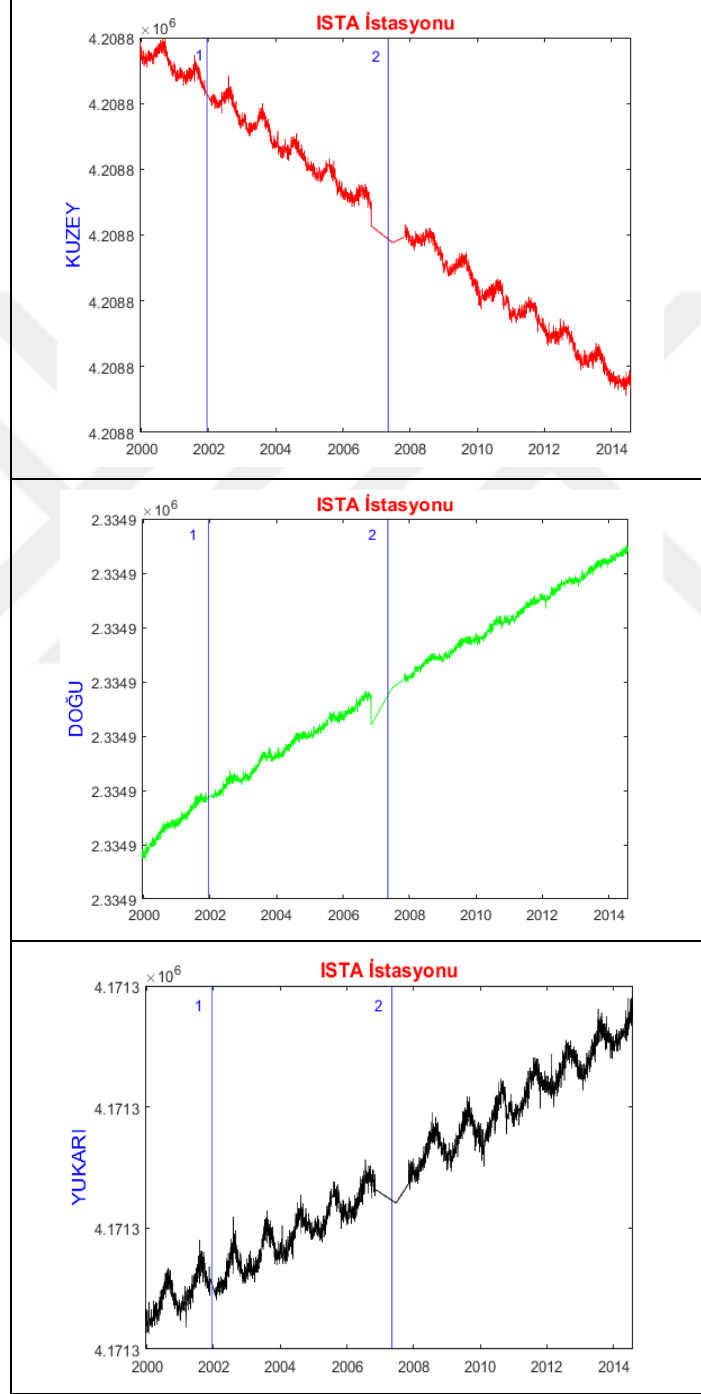
Şekil 15. ANKR istasyonu veri kesiklikleri

- İSTA IGS İstasyonu

İSTA İstasyonunda 1 aydan daha fazla veri kesintisine sahip 2 tarih aralığı (1.- 2.) belirlendi (Tablo 11.) ve zaman serisi grafiklerinde bu tarihler gösterildi (Şekil 16.).

Tablo 11. ISTA istasyonu veri kesiklikleri

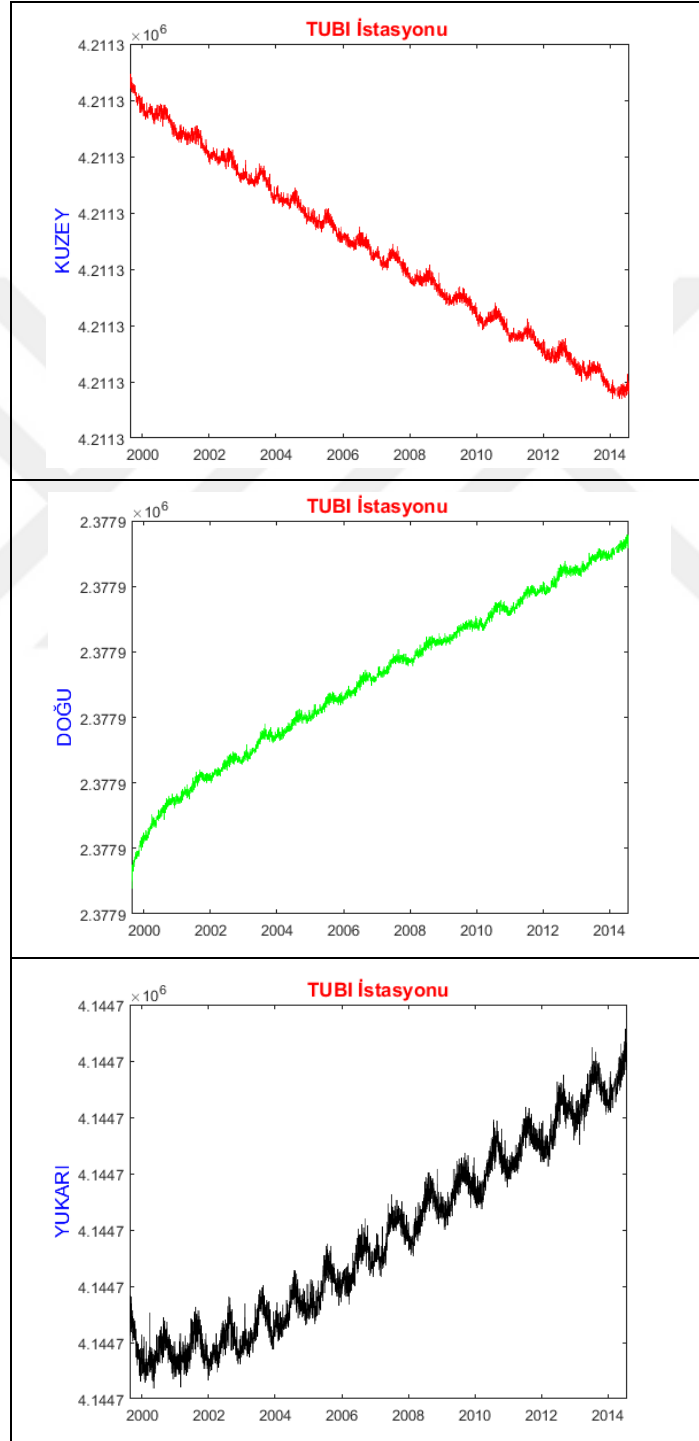
Veri Kesikliği	Ay, Yıl
1	Kasım, 2001-Ocak, 2002
2	Kasım, 2006-Kasım, 2007



Şekil 16. ISTA istasyonu veri kesiklikleri

- TUBI IGS İstasyonu

TUBI istasyonunda 2014 yılının 2'inci ve 3'üncü ayları arasında 1 aylıktan daha az veri kesikliği tespit edildi. Ancak kısa bir sürelik kesinti olduğu için değerlendirmeye alınmadı (Şekil 17.).



Şekil 17. TUBI istasyonu

### 2.1.3. Zaman Serilerinde Otokorelasyon Analizi ile Trend İnceleme

Zaman serilerinde otokorelasyon analizi ile verilerde trend varlığını ortaya çıkarmak mümkündür. Bunun için TUBİ istasyonunun Kuzey bileşeninde hem 30 günlük hem de 360 günlük gecikme sürelerine göre (3) eşitliğinden  $r_k$  otokorelasyon fonksiyonu (ACF-Autocorrelation coefficient) değerleri hesaplanmıştır (Şekil 18.).



Şekil 18. Otokorelasyon analizi ile trend inceleme

Şekil 18 incelendiğinde hesaplanan otokorelasyon katsayılarının oldukça yüksek değerli olduğu gözlenmiştir. Bu durumda, birbirine yakın gözlemlerin birbiriyle oldukça yüksek birlikteliğe sahip olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca, yüksek otokorelasyon katsayılarının daha yüksek gecikmelerde azalan bir yapı özelliği gösterdiği görülmüştür. Hesaplanan otokorelasyon katsayılarının anlamlı olup olmadıkları ise 30 günlük gecikme süresi için (6) eşitliğindeki hipotez testleri ile test edilmiştir. Yapılan hipotez testleri sonucu otokorelasyon katsayıları anlamlı bulunmuştur (Tablo 12.). İstatiksel olarak anlamlı otokorelasyonların varlığı ise serilerin durağan olmadığını göstermektedir.

Tablo 12. Otokorelasyon analizi ile trend incelemede hipotez testleri

ACF (30 )	Test Değeri	Tablo Değeri	Test Sonucu
1	72.8298	1.9604	Anlamlı
2	72.7677	1.9604	Anlamlı
3	72.7124	1.9604	Anlamlı
4	72.6687	1.9604	Anlamlı
5	72.6192	1.9604	Anlamlı
6	72.5711	1.9604	Anlamlı
7	72.5239	1.9604	Anlamlı
8	72.4781	1.9604	Anlamlı
9	72.4310	1.9604	Anlamlı
10	72.3872	1.9604	Anlamlı
11	72.3421	1.9604	Anlamlı
12	72.2948	1.9604	Anlamlı
13	72.2491	1.9604	Anlamlı
14	72.1956	1.9604	Anlamlı
15	72.1491	1.9604	Anlamlı
16	72.1056	1.9604	Anlamlı
17	72.0610	1.9604	Anlamlı
18	72.0146	1.9604	Anlamlı
19	71.9663	1.9604	Anlamlı
20	71.9217	1.9604	Anlamlı
21	71.8734	1.9604	Anlamlı
22	71.8269	1.9604	Anlamlı
23	71.7781	1.9604	Anlamlı
24	71.7364	1.9604	Anlamlı
25	71.6896	1.9604	Anlamlı
26	71.6407	1.9604	Anlamlı
27	71.5929	1.9604	Anlamlı
28	71.5476	1.9604	Anlamlı
29	71.4985	1.9604	Anlamlı
30	71.4548	1.9604	Anlamlı

#### 2.1.4. Zaman Serilerinde Doğrusal Regresyon Analizi

Koordinat serilerinde doğrusal regresyon modeli uyşumsuz ölçüler ayıklanmış veriler üzerinde uygulandı. (15) eşitliğinde ifade edilen doğrusal regresyon modelinde bağımsız değişken (X); zaman ve bağımlı değişken (Y); koordinat değerleri olmak üzere her bir koordinat bileşeni için trend hesaplandı. Trend analizinde karşılaştırma, hesaplama ve dönüşüm işlemlerinde kolaylık sağlanması amacıyla yıl, ay ve gün şeklinde olan zaman

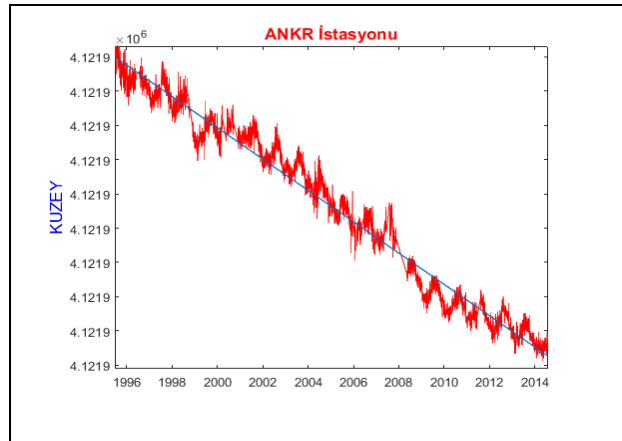
verileri takvim tarihleri tamsayı olan jülyen günlere dönüştürüldü. Jülyen günü, MÖ 1 Ocak 4713 tarihinden itibaren geçen tam gün sayısı olarak adlandırılır. Uluslararası Astronomi Birliği tarafından bilimsel çalışmalarda kullanılması önerilen bir zaman ölçüm sistemidir. MATLAB ortamında jülyen günleri hesaplamak için *mjuliandate* fonksiyonundan yararlanılmıştır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında kondüsyon bozukluğunu önlemek için (22), (23), (24) ve (25) eşitliklerine göre verilerde öteleme ve normlandırma yapılmıştır. Normlandırılmış değerlere göre elde edilen  $a_0$  ve  $a_1$  regresyon katsayılarının anlamlı olup olmadıkları (32) ve (33) eşitliklerinden yararlanarak test edilmiştir. (33) eşitliğinde yanılma olasılığı  $\alpha = 0.05$  olarak seçilmiştir. Değişim oranını vermesi bakımından daha önem taşıdığı için yalnızca  $a_1$  sonuçları tabloda sunulmuştur.

- ANKR, ISTA ve TUBI IGS İstasyonları Doğrusal Regresyon Modelleri

ANKR istasyonu doğrusal regresyon grafikleri (Şekil 19.), regresyon katsayıları ve test sonuçları (Tablo 13.) incelendiğinde Kuzey (K) ve Doğu (D) bileşenlerinde azalan yönde, Yukarı (Y) bileşeninde ise artan yönde anlamlı trend olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 13. ANKR istasyonu regresyon katsayıları ve hipotez test sonuçları

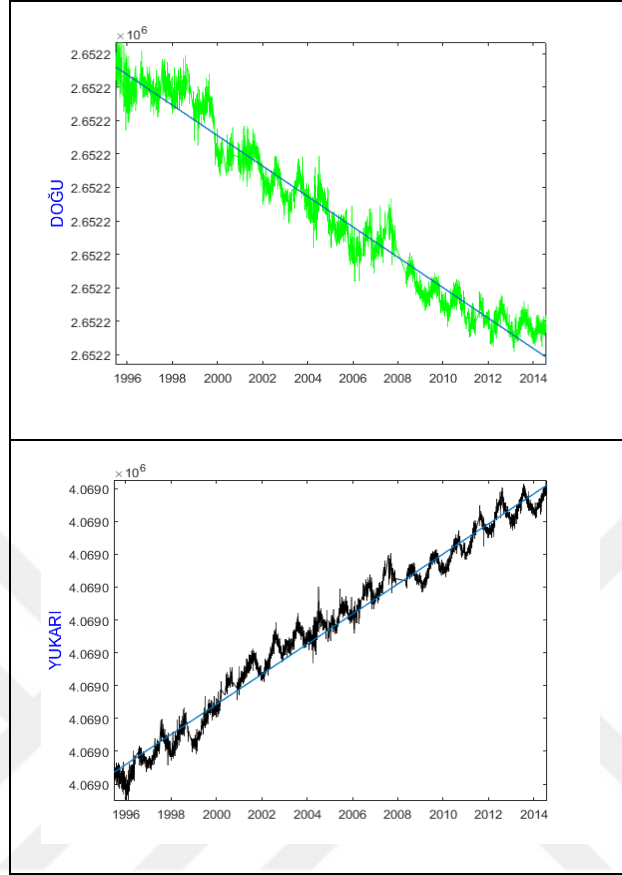
	$a_1$ (m)	$m_{a_1}$ (m)	Test Değeri	Tablo Değeri	$a_1$ Test Sonucu
K	-0.9871	0.0021	475.8016	1.96	Anlamlı
D	-0.9820	0.0025	400.7376	1.96	Anlamlı
Y	0.9893	0.0019	522.6173	1.96	Anlamlı



Şekil 19. ANKR istasyonu doğrusal regresyon analizi



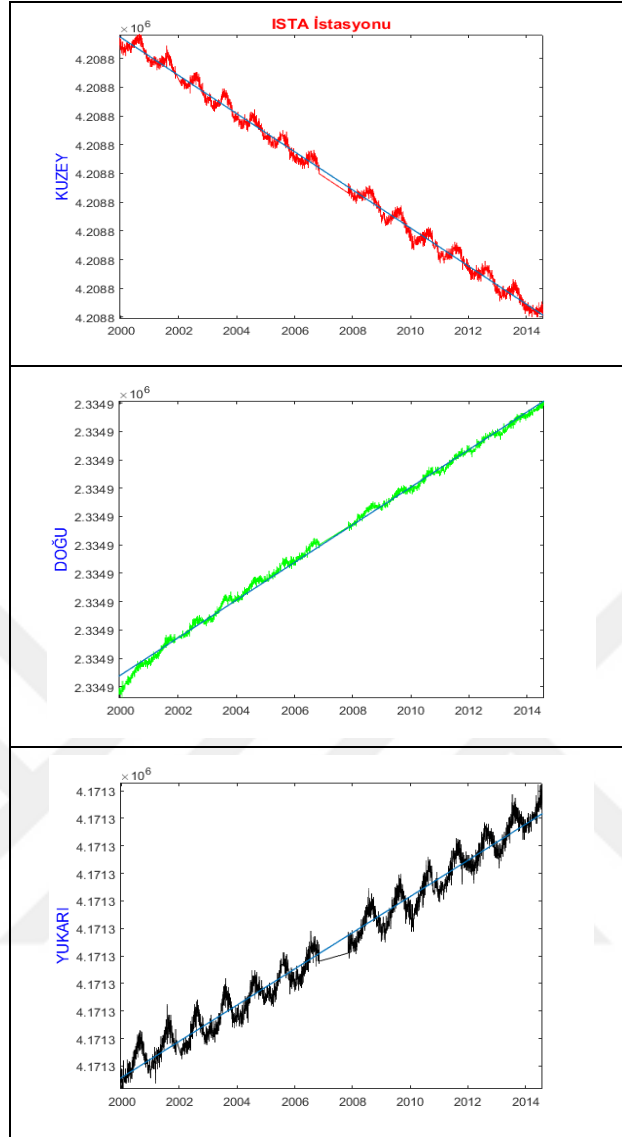
Şekil 19'un devamı



ISTA istasyonu, doğrusal regresyon grafikleri (Şekil 20.), regresyon katsayıları ve test sonuçları (Tablo 14.) incelendiğinde Kuzey bileşeninde azalan yönde, Doğu ve Yukarı bileşeninde ise artan yönde anlamlı trend olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 14. ISTA istasyonu regresyon katsayıları ve hipotez test sonuçları

	$a_1$ (m)	$m_{a_1}$ (m)	Test Büyüklüğü	Test Sonucu	$a_1$ Test Sonucu
K	-0.9970	0.0011	886.7572	1.96	Anlamlı
D	0.9985	0.0008	1265.2000	1.96	Anlamlı
Y	0.9886	0.0022	454.9412	1.96	Anlamlı

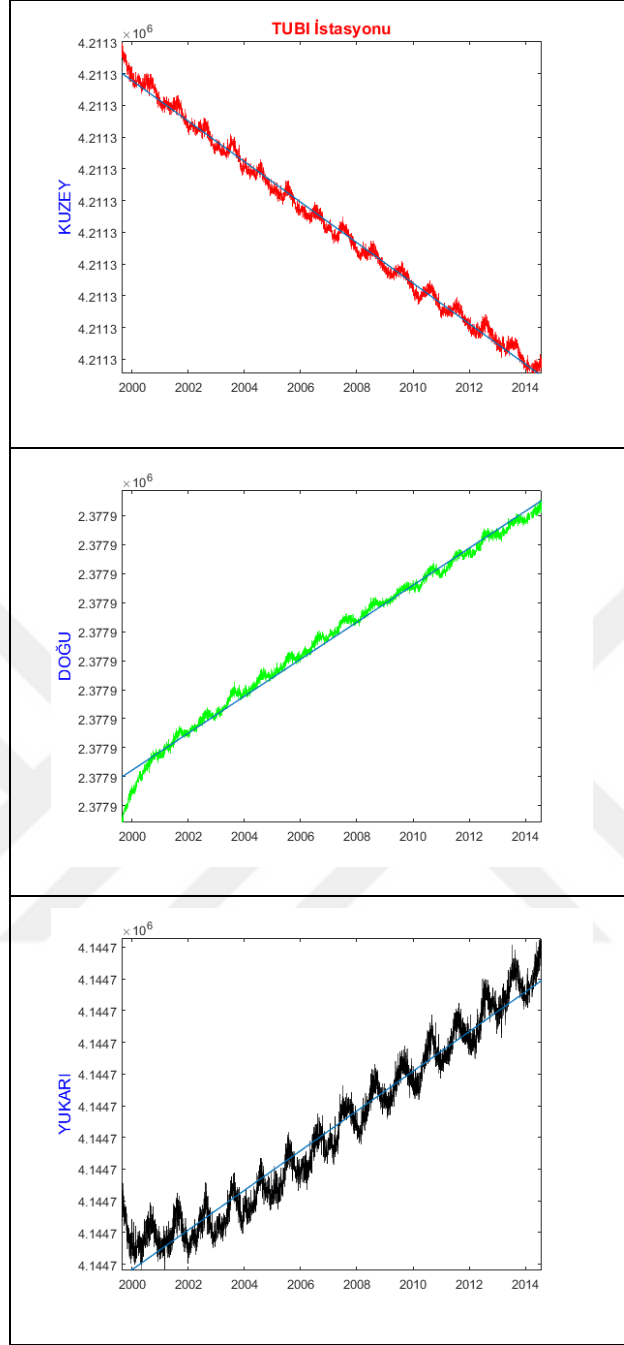


Şekil 20. ISTA istasyonu doğrusal regresyon analizi

TUBI istasyonu doğrusal regresyon grafikleri (Şekil 21.), regresyon katsayıları ve test sonuçları (Tablo 15.) incelendiğinde Kuzey bileşeninde azalan yönde, Doğu ve Yukarı bileşeninde ise artan yönde anlamlı trend olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 15. TUBI istasyonu regresyon katsayıları ve hipotez test sonuçları

	$a_1$ (m)	$m_{a_1}$ (m)	Test Değeri	Tablo Değeri	$a_1$ Test Sonucu
K	-0.9967	0.0011	894.4575	1.96	Anlamlı
D	0.9949	0.0014	721.7932	1.96	Anlamlı
Y	0.9764	0.0030	330.1121	1.96	Anlamlı



Şekil 21. TUBI istasyonu doğrusal regresyon analizi

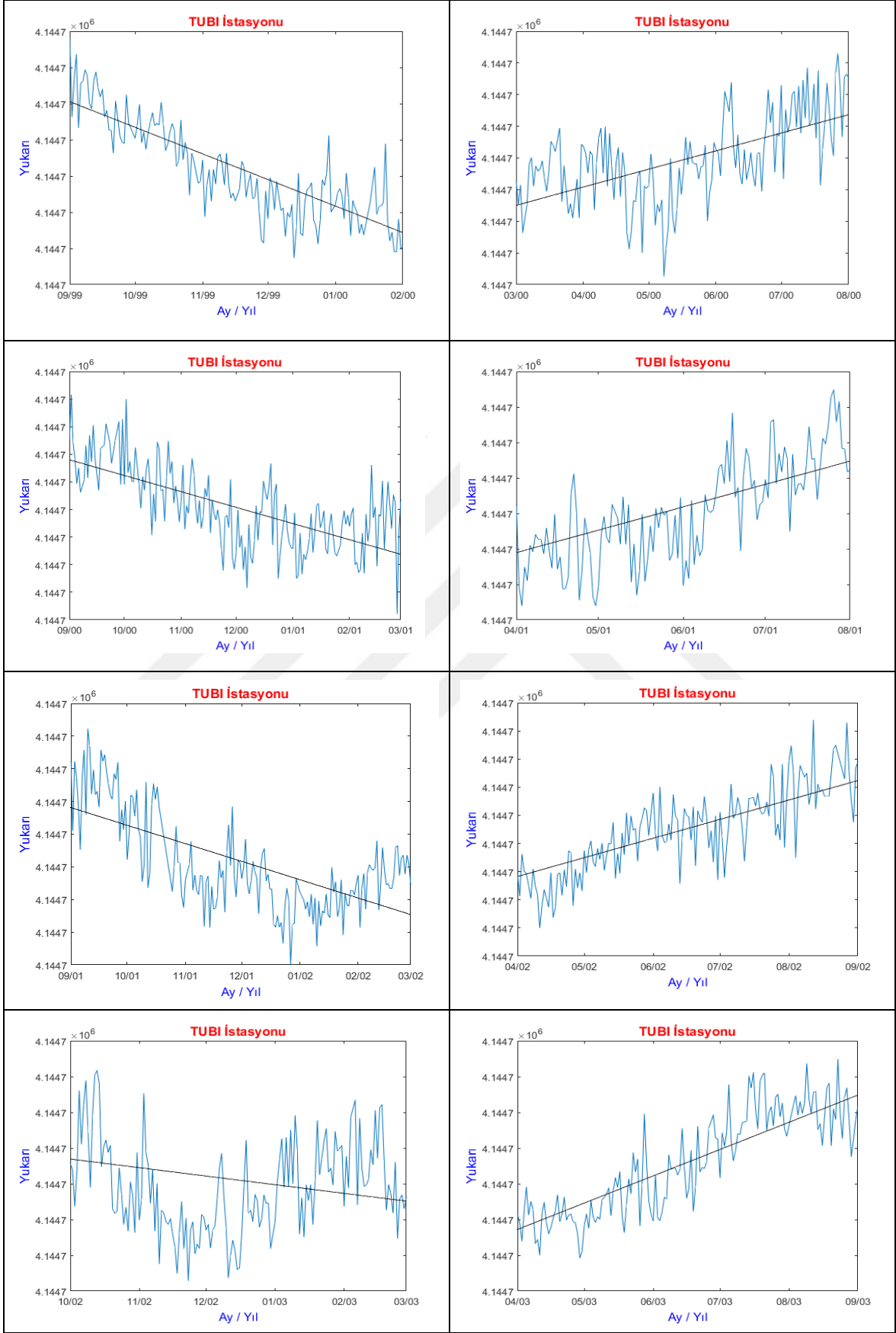
### 2.1.5. Zaman Serilerinde Çeyrek ve Yarı Yıllık Trend Analizi

Zaman serilerinde genellikle çeyrek yıllık, yarım yıllık ve yıllık olarak meydana gelen mevsimsel etkisinin giderilmesi için uzun dönem aralığına sahip veriler üç aylık veya altı aylık olacak şekilde incelendi. Bu incelemede istasyonlardaki veri kesiklikleri göz önünde bulunduruldu. ANKR istasyonu için bir aydan fazla veri kaybı bulunan zaman aralıklarına

göre gruplandırılan veriler üç aylık olacak şekilde dönemlere ayrıldı. ISTA istasyonunda on günden daha fazla veri kaybı bulunan zaman aralıklarına göre gruplandırılan veriler üç aylık olacak şekilde dönemlere ayrıldı. 1999-2014 yılları arasındaki TUBİ istasyonu verileri 6 aylık 30 döneme ayrılmıştır. Dönemlerin bir çoğunda basit doğrusal regresyon analizine göre elde edilen trend katsayıları anlamlı bulunmuştur (Tablo 16.), (Şekil 22.).

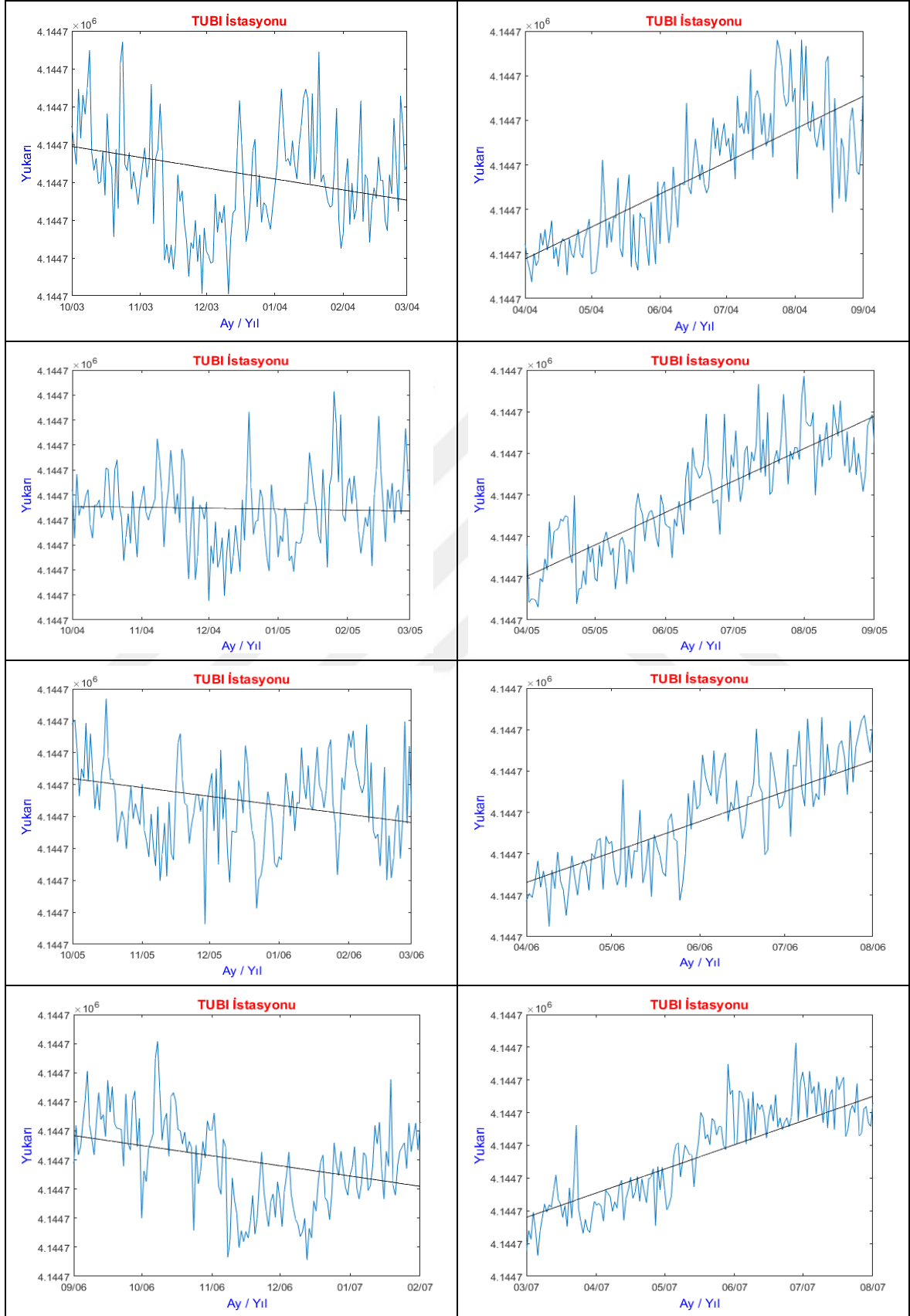
Tablo 16. TUBİ istasyonu yarım yıllık regresyon katsayıları ve hipotez test sonuçları

Ay/Yıl	$a_1(m)$	$m_{a_1}(m)$	Test Değeri	Test Sonucu
08/99-02/00	-0.8646	0.0377	22.934	Anlamlı
02/00-08/00	0.6638	0.0561	11.832	Anlamlı
09/00-02/01	-0.6772	0.0551	12.290	Anlamlı
03/01-08/01	0.7370	0.0507	14.537	Anlamlı
09/01-02/02	-0.6610	0.0562	11.762	Anlamlı
03/02-09/02	0.7828	0.0466	16.798	Anlamlı
09/02-02/03	-0.2768	0.0720	3.844	Anlamlı
03/03-08/03	0.8780	0.0359	24.457	Anlamlı
09/03-02/04	-0.3307	0.0707	4.678	Anlamlı
03/04-08/04	0.8319	0.0416	19.998	Anlamlı
09/04-02/05	-0.0443	0.0749	0.592	Anlamsız
03/05-08/05	0.8846	0.0350	25.274	Anlamlı
09/05-02/06	-0.3202	0.0710	4.510	Anlamlı
03/06-08/06	0.8466	0.0399	21.218	Anlamlı
08/06-02/07	-0.4026	0.0686	5.869	Anlamlı
03/07-08/07	0.8431	0.0403	20.921	Anlamlı
09/07-02/08	-0.8324	0.0415	20.058	Anlamlı
03/08-08/08	0.8668	0.0374	23.177	Anlamlı
09/08-02/09	-0.7219	0.0519	13.909	Anlamlı
03/09-08/09	0.8801	0.0356	24.722	Anlamlı
09/09-02/10	-0.6773	0.0551	12.292	Anlamlı
03/10-08/10	0.9004	0.0326	27.620	Anlamlı
08/10-02/11	-0.6805	0.0549	12.395	Anlamlı
02/11-08/11	0.9030	0.0322	28.044	Anlamlı
08/11-02/12	-0.6518	0.0568	11.475	Anlamlı
03/12-09/12	0.8653	0.0376	23.013	Anlamlı
09/12-03/13	-0.1868	0.0736	2.538	Anlamsız
03/13-09/13	0.8077	0.0442	18.274	Anlamlı
10/13-04/14	-0.1596	0.0740	2.157	Anlamsız
04/14-08/14	0.7142	0.0697	10.247	Anlamlı

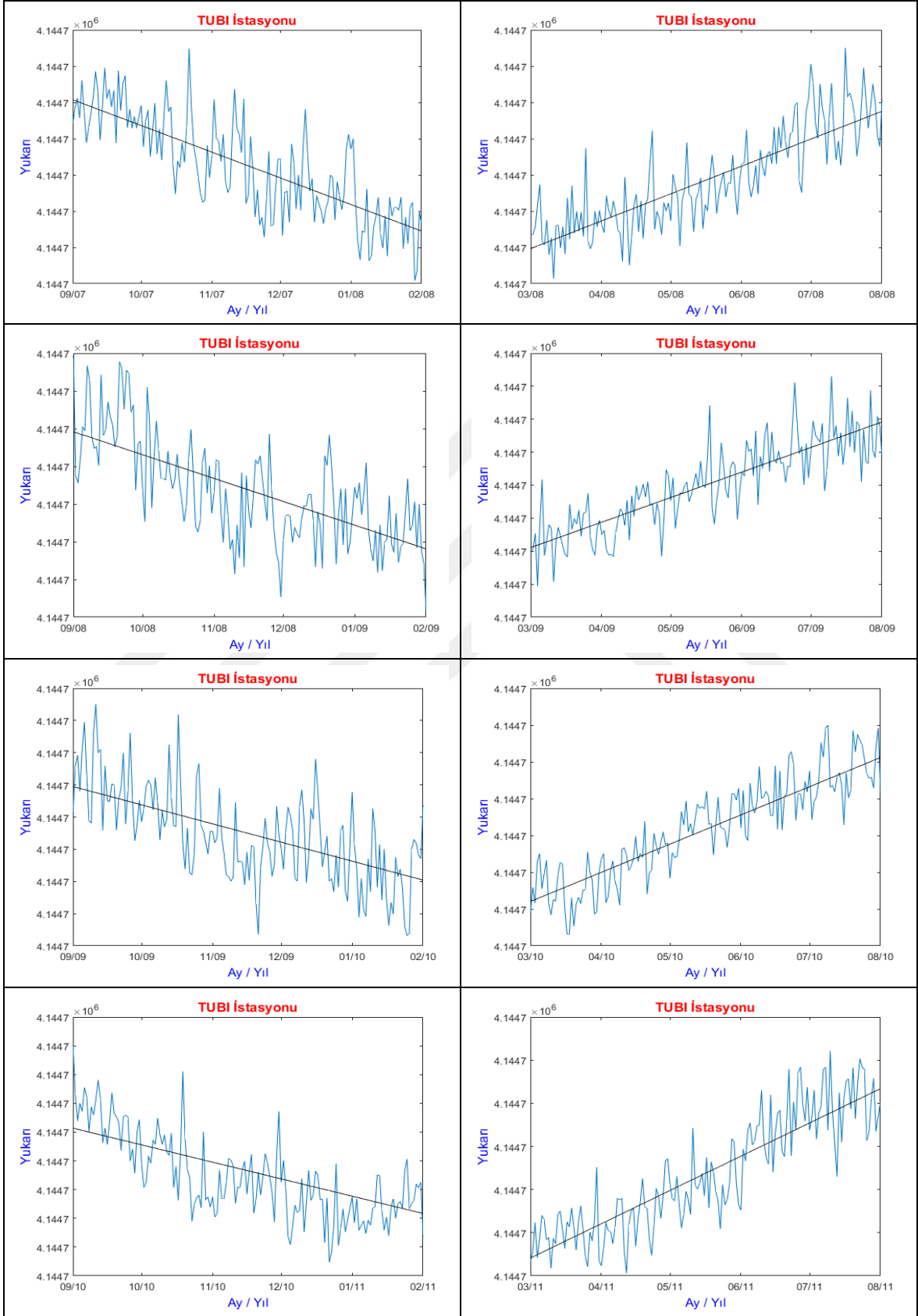


Şekil 22. TUBI istasyonu yarı yıllık doğrusal regresyon analizi

Şekil 22'nin devamı



Şekil 22'nin devamı

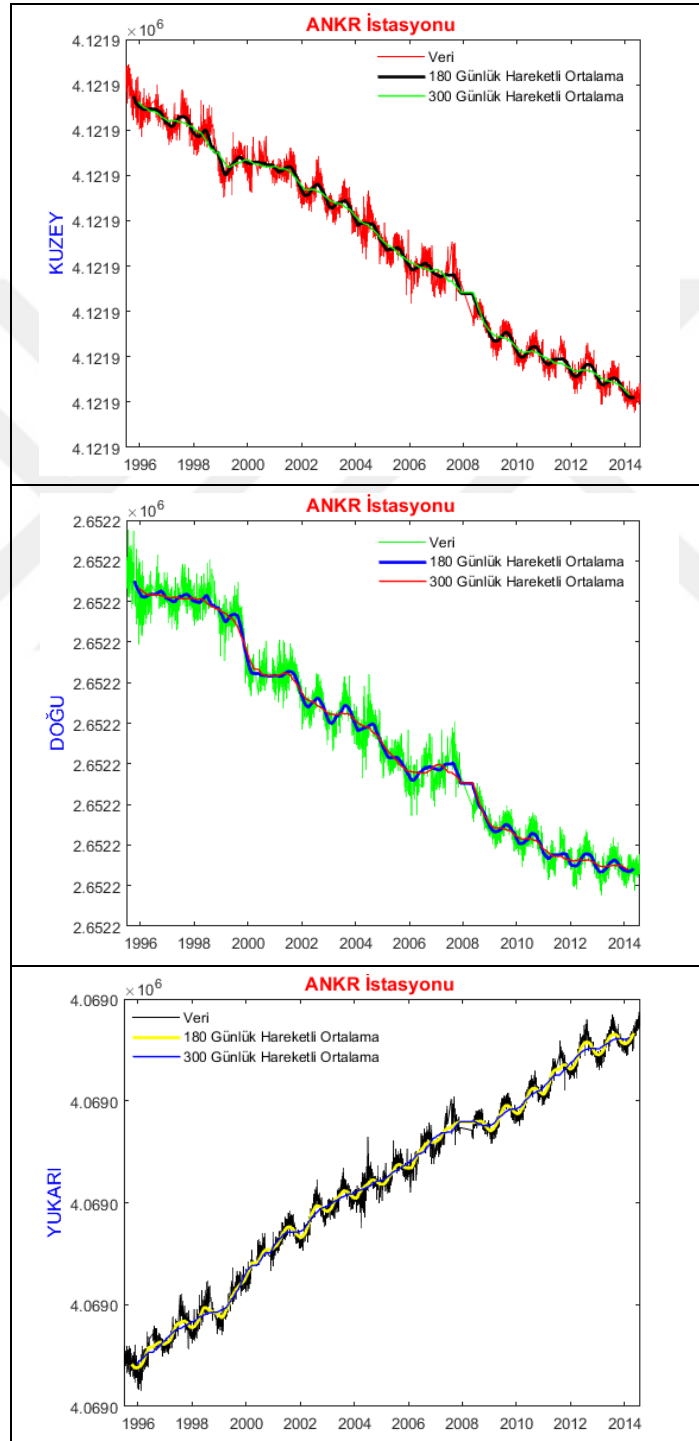






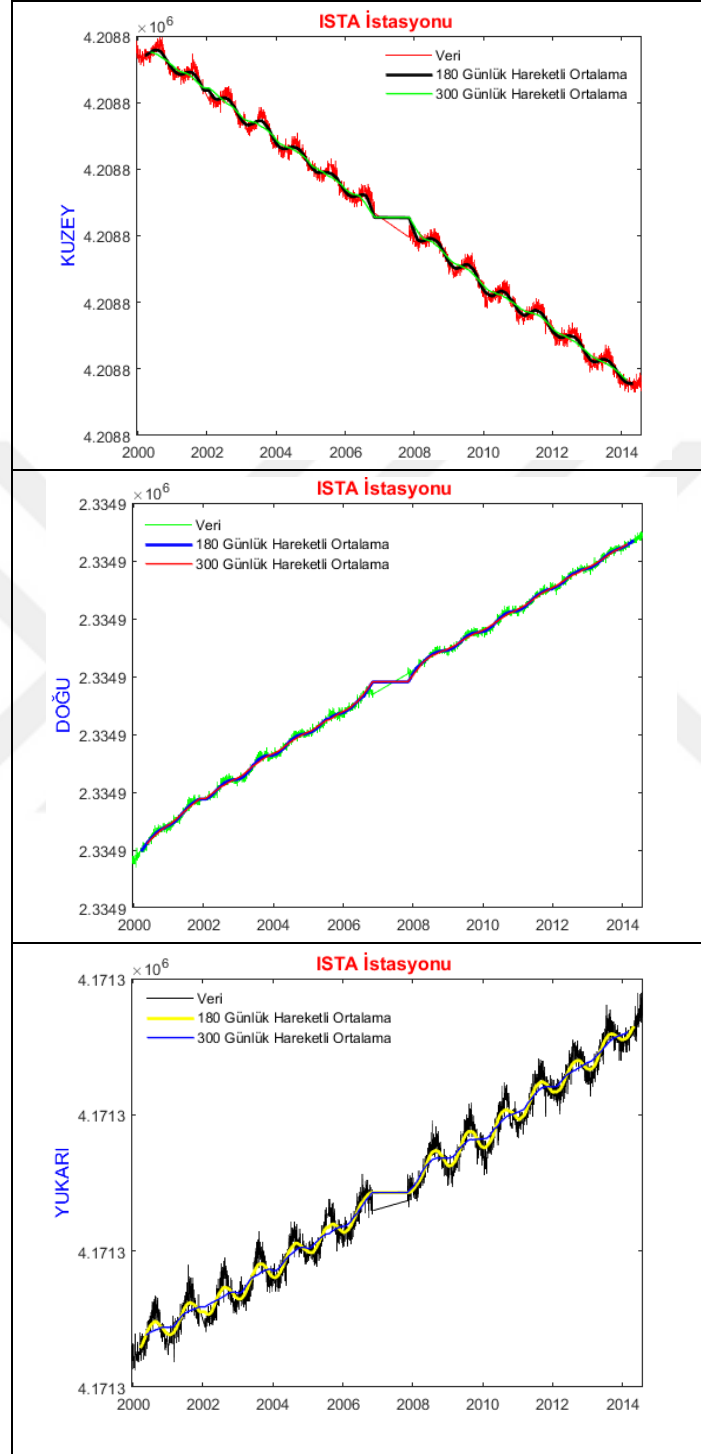
istasyonlarında 300 günlük dönemlerde hesaplanan ortalamaların 180 günlük dönemden hesaplanan ortalamalara göre veriyi daha fazla düzleştirdiği ve böylece trendi daha net ortaya koyduğu görülmektedir (Şekil 23., Şekil 24., Şekil 25.).

- ANKR İstasyonu



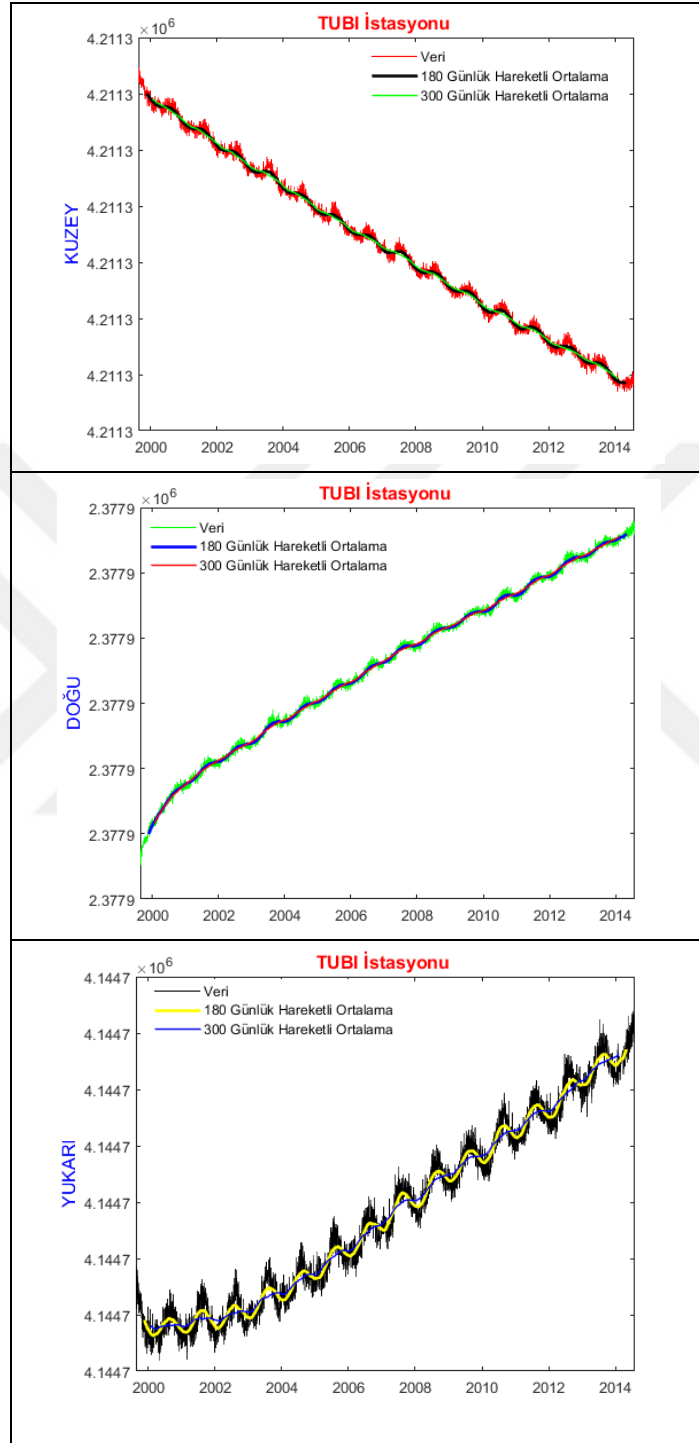
Şekil 23. ANKR istasyonu hareketli ortalama

- ISTA İstasyonu



Şekil 24. ISTA istasyonu hareketli ortalama

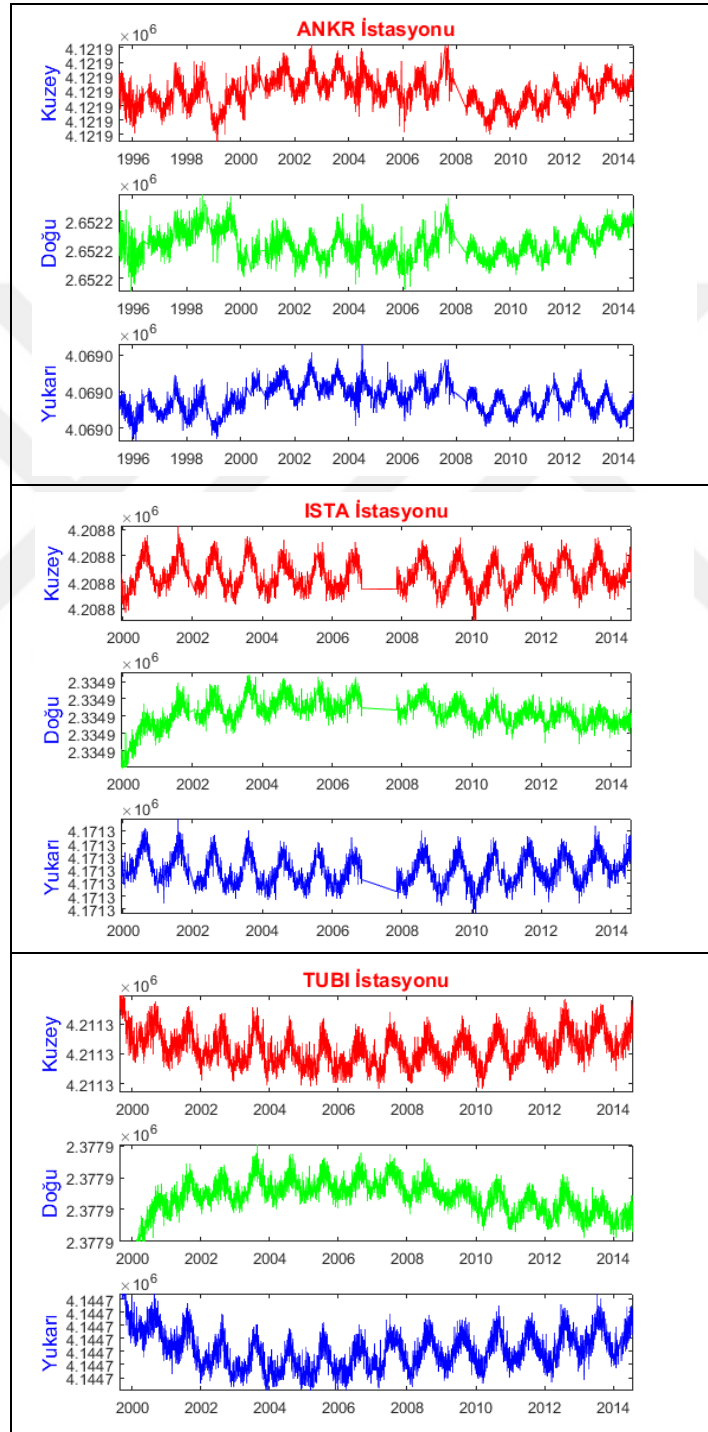
- TUBİ İstasyonu



Şekil 25. TUBİ istasyonu hareketli ortalama

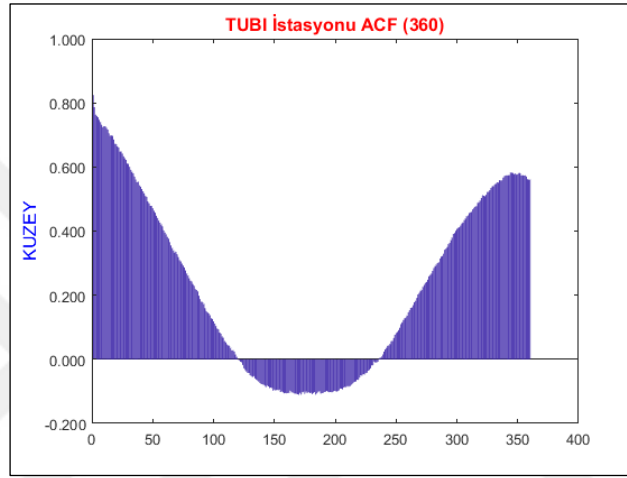
### 2.1.7. Zaman Serilerinde Otokorelasyon Analizi ile Mevsimsellik İnceleme

Otokorelasyon yaklaşımı ile mevsimsellik yapısı incelemek için öncelikle koordinat serilerinden doğrusal regresyon modelinden hesaplanan trend etkisi giderildi (Şekil 26.).



Şekil 26. IGS istasyonlarında doğrusal trend giderilmiş koordinat serileri

IGS İstasyonlarında doğrusal trend giderildikten sonra koordinat serileri içerisinde bulunan periyodik salınımlar ortaya çıkarılmıştır. Bu periyodik salınımların otokorelasyon yaklaşımı ile incelenmesi için TUBİ istasyonun Kuzey bileşeninde gecikme sayısı 360 günlük olarak seçilmiştir. Böylece serilerdeki mevsimsellik açıkça görülmeye çalışılmıştır. Otokorelasyon katsayılarında belli bir gecikmeden sonra benzer bir yapı özelliği görülmektedir (Şekil 27.) Yapılan hipotez testleri sonucu ile bu durum ayrıca desteklenmiştir (Tablo 17.).



Şekil 27. Otokorelasyon analizi ile mevsimsellik inceleme

Tablo 17. Otokorelasyon analizi ile mevsimsellik incelemede hipotez testleri

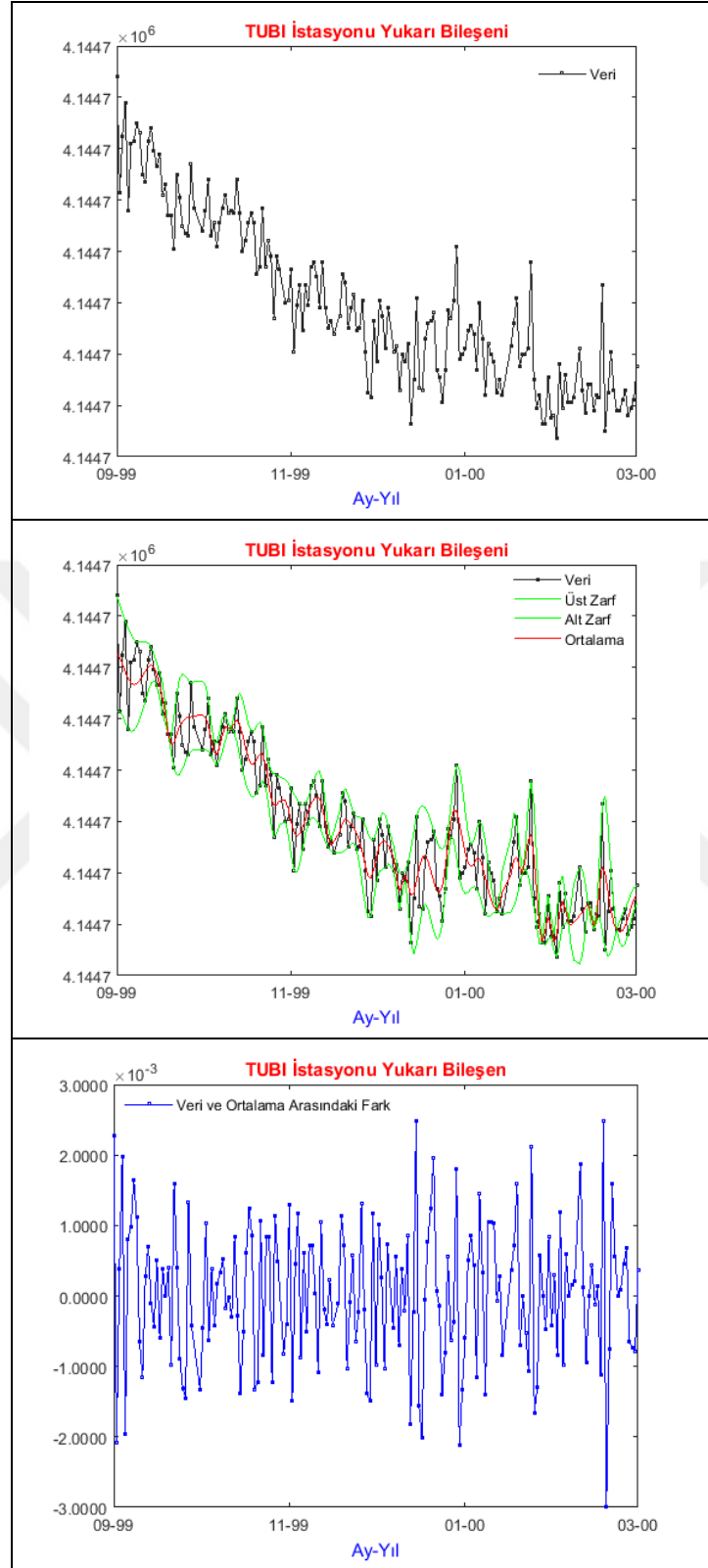
ACF(360)	Test Değeri	Tablo Değeri	Test Sonucu
1	60.1666	1.9604	Anlamlı
2	57.3988	1.9604	Anlamlı
3	55.6672	1.9604	Anlamlı
⋮	⋮	⋮	⋮
118	1.7723	1.9604	Anlamsız
119	1.0886	1.9604	Anlamsız
200	0.5843	1.9604	Anlamsız
⋮	⋮	⋮	⋮
242	2.2720	1.9604	Anlamlı
243	2.5889	1.9604	Anlamlı
244	3.0750	1.9604	Anlamlı
⋮	⋮	⋮	⋮

IGS istasyonlarında doğrusal regresyondan hesaplanan trend etkisi giderildikten sonra koordinat serilerinin doğrusal ve durağan olmayan mevsimsel salınımlardan oluştuğu Şekil 27’de incelenmiştir. Ayrıca doğrusal trend giderilmiş veriler üzerinde yapılan otokorelasyon analizi ile otokorelasyon katsayılarının bazı zaman aralıklarında anlamlılığının tekrar ettiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla verinin durağan özellik göstermediği iki durumda da açıkça ortaya konulmuştur. Bu duruma, IGS koordinatlarının tektonik, atmosferik gibi çeşitli faktörlerin etkisi altında kalması neden olarak gösterilebilir.

### 2.1.8. Zaman Serilerinde Deneysel Mod Ayrıştırma

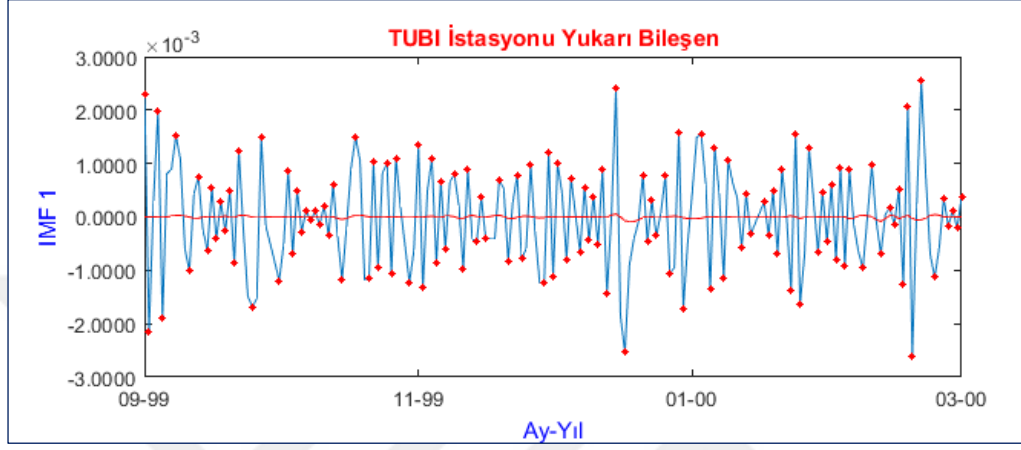
Koordinat zaman serileri farklı genlik ve frekansta birden fazla salınının birleşiminden meydana gelmiş olabilir. EMD yöntemi bu salınımların ortaya çıkarılmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu bölümde, EMD yöntemi doğrusal trend giderilmiş koordinat zaman serileri üzerinde uygulanarak IMF bileşenlerine ayrıştırılmıştır. Ayrıştırma işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen artıklar incelenmiştir. Nitekim, (1.8.3.1) bölümünde de açıklandığı gibi artıklar trend özelliği taşıyabilmektedir.

Koordinat serilerinde EMD yöntemiyle IMF bileşenlerinin elde edilmesi için öncelikle türev işlemine bağlı olarak ekstremum noktalar belirlendi. Ekstremum noktalar belirlendikten sonra kübik spline yöntemi ile alt ve üst zarflar oluşturuldu. Alt ve üst zarfların ortalaması alınarak koordinat verilerinden çıkarıldı. Böylece ilk eleme işlemi gerçekleştirilmiş oldu. Bu noktada, eleme işlemi birden fazla tekrarlandı. Eleme işleminin birden fazla tekrar ettirilmesi, dalga profillerinin daha simetrik olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, veri kümesinde gözlenen hafif bükülmeler yerel uç nokta haline gelebilmektedir. Bu uç noktalar IMF bileşenlerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak, eleme işleminin uzun sürmesi, eşit genlikli salınımların meydana gelmesine sebep olabilir. Bu durumu engellemek için eleme işleminde (40) eşitliğinde ifade edilen ardışık eleme sonuçlarından elde edilen standart sapma hesaplandı. Ardışık eleme sonuçlarından hesaplanan standart sapma öncül olarak belirlenen 0.3 değerinden küçük olana kadar devam ettirildi. EMD yöntemini uygulamak için MATLAB algoritmasından yararlanıldı (Giron-Sierra, 2016). Ayrıca, yapılan uygulamanın daha iyi anlaşılması için öncelikle TUBI istasyonunun ilk 200 günlük koordinat serileri ele alındı (Şekil 28.).



Şekil 28. TUBI istasyonu veri (üst), zarflar ve zarfların ortalaması (orta), veri ve zarf ortalaması arasındaki fark (alt)

Eleme işleminin sonlanmasıyla ilk IMF bileşeni elde edildi. TUBI istasyonunun 200 günlük koordinat verisinden elde edilen ilk IMF bileşeni incelendiğinde extremum noktalar tarafından zarf ortalamasının sıfır olduğu görülmüştür. Ayrıca extremum noktalar sıfır ortalamaya göre simetrik durumda elde edilmiştir (Şekil 29.).



Şekil 29. TUBI istasyonu yerel ortalamaya göre simetrik zarflar

İkinci IMF bileşenini elde etmek için, veri kümesinden IMF1 bileşeni çıkarılarak (41) eşitliğinde de ifade edilen kalıntı değerler bulundu. Daha sonra bu kalıntı değerler üstünde extremum noktalar hesaplanarak aynı işlem adımları tekrar edildi. IMF oluşturma işlemi  $r_n$  kalıntı değeri monoton bir fonksiyon veya yalnızca bir adet uç noktaya sahip olana kadar devam ettirildi.

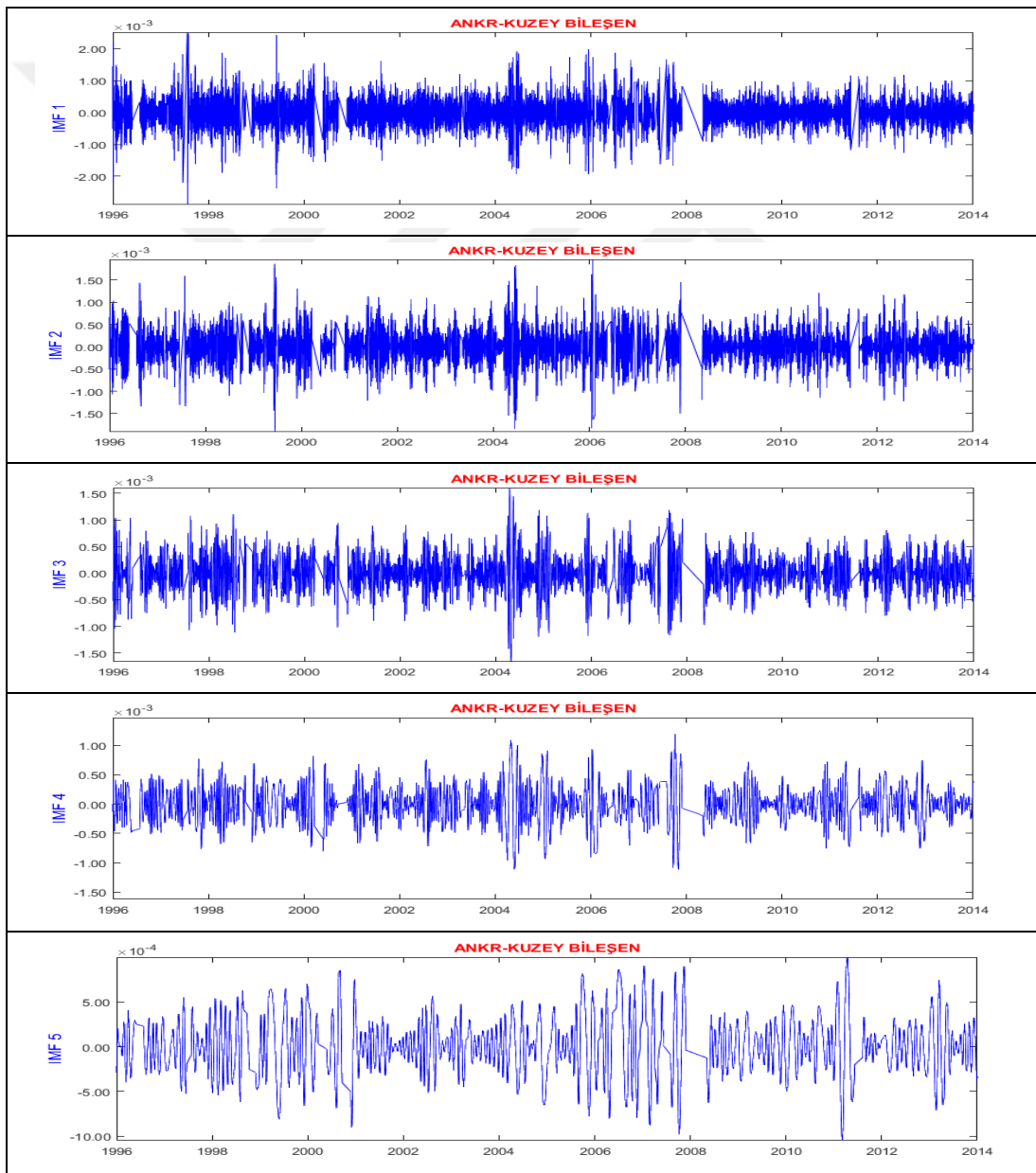
ANKR, İSTA ve TUBI istasyonlarında koordinat verilerinin tamamı için EMD yöntemi uygulanarak doğrusal ve durağan olmayan zaman serileri IMF bileşenlerine ayrıştırıldı. Daha sonra IMF bileşenleri ve kalıntılar toplanarak verinin ilk halinin elde edilip edilmediği kontrol edildi. Bu kapsamda yapılan kontrol aşamasında tüm istasyonlarda ilk sinyal elde edilmiştir. Elde edilen IMF bileşenleri yüksek frekans özelliklerine, dalga boylarına ya da dalga şiddetlerine göre değerlerindedir. Dalga şiddeti, bir dalga tepesi ve çukur arasındaki mesafenin yarısı olarak adlandırılır. Dalga şiddeti, genlik olarak da ifade edilebilir. Dalga boyu ise, iki tepe veya iki çukur arası uzaklık olarak ifade edilir. Dalga azaldıkça frekans özelliği artar.

- ANKR İstasyonu Kuzey Bileşeni

ANKR istasyonu kuzey koordinatlarında uygulanan EMD yönteminde 14 IMF bileşeni elde edilmiştir. Bu bileşenlerin ilk dördünde yüksek frekans özelliği gözlenmiştir.

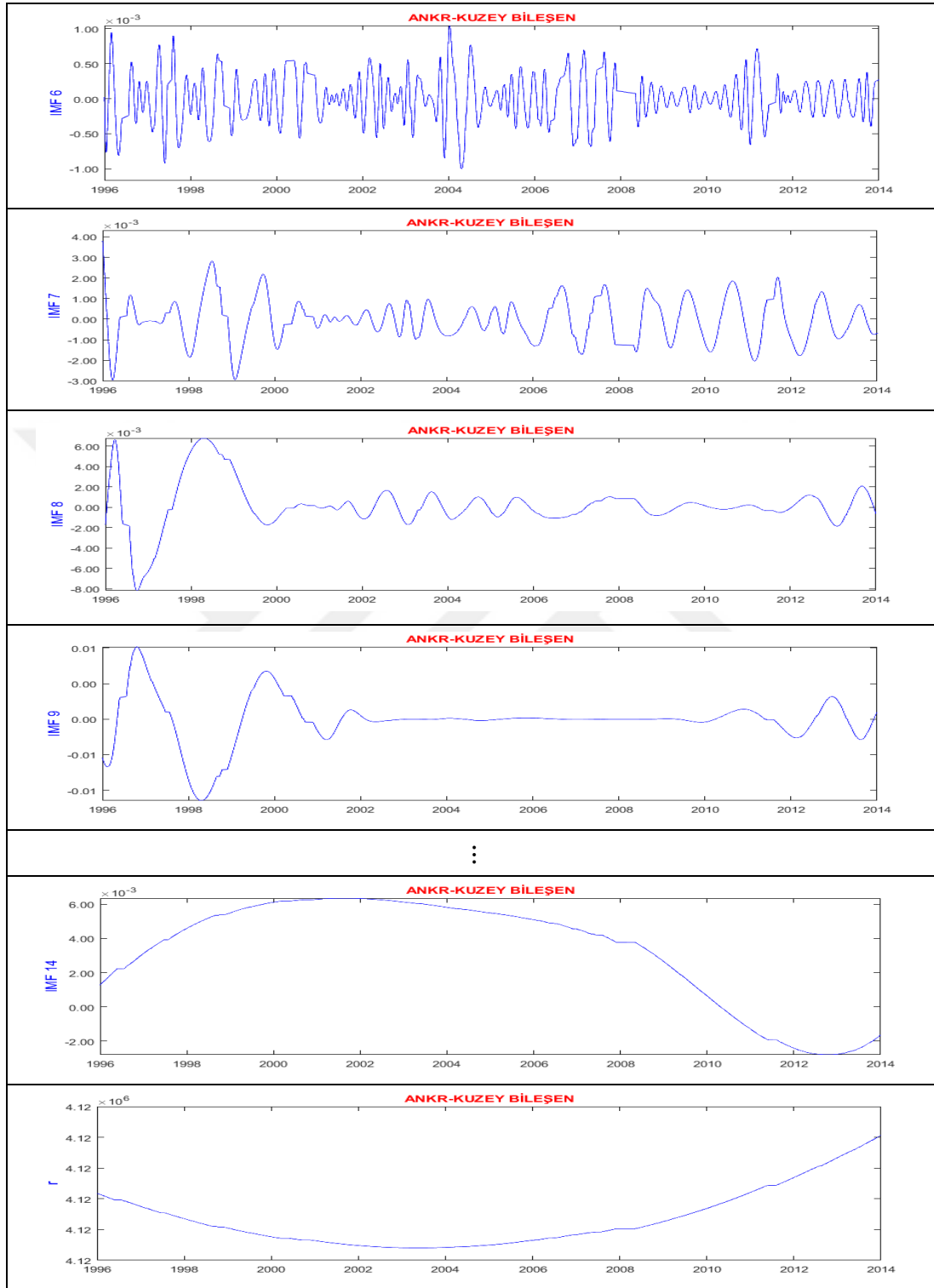


Ayrıca bu IMF bileşenlerinden IMF1 ve IMF2’de; 1997 yılının sonu ile 1999 yılının sonu arasında, 2004 ve 2008 yılları arasında; IMF3 ve IMF4 bileşenlerinde 2004 ve 2008 yılları arasında dalga şiddetlerinde artışlar gözlenmiştir. IMF5 ve IMF6 bileşenlerinde dalga boyları artmaya, buna bağlı olarak frekans özellikleri azalmaya başlamıştır. IMF7’de yaklaşık 1 yıllık periyotlu salınımlar meydana gelmiş, bu salınım genliklerinin 2000 ile 2006 yılları arasında daha düşük olduğu görülmüştür. IMF8 ve IMF9’da 2000 yılından sonra dalga şiddetleri oldukça azalmıştır. IMF14’te ise bir tepe ve çukur noktasına sahip dalga elde edilmiştir (Şekil 30.).



Şekil 30. ANKR istasyonu kuzey koordinatlarında IMF bileşenleri

Şekil 30'un devamı



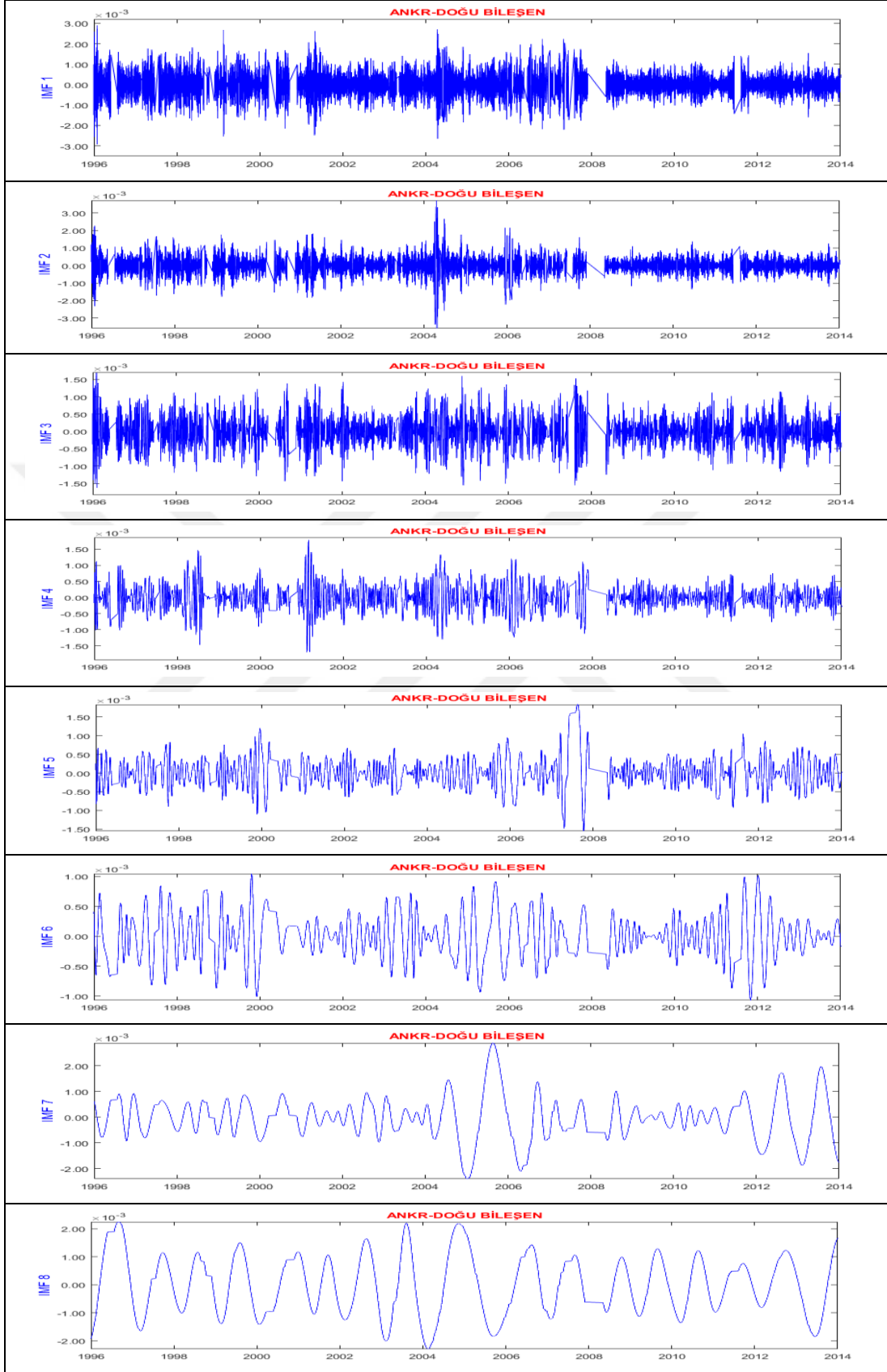
Elde edilen tüm IMF bileşenlerinde ortalamalar ve standart sapmalar da incelenmiştir. Hesaplanan ortalamaların sıfır, standart sapmaların ise eleme sürecinin sona ermesi için belirlenen 0.3 değerinden küçük olduğu görülmüştür (Tablo 18.).

Tablo 18. ANKR kuzey koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma

ANKR- KUZEY BİLEŞEN		
IMF	Ortalama	Standart Sapma
1	$5.6151.10^{-07}$	0.2522
2	$4.8126.10^{-06}$	0.2849
3	$-7.5869.10^{-07}$	0.2656
4	$-1.7261.10^{-06}$	0.2078
5	$8.8232.10^{-06}$	0.2858
6	$8.8040.10^{-08}$	0.2625
7	$-2.0114.10^{-05}$	0.2966
8	$1.2624.10^{-04}$	0.2633
9	$-1.7165.10^{-04}$	0.2928
10	$1.5127.10^{-05}$	0.2494
11	$-6.7288.10^{-05}$	0.2356
12	$2.5619.10^{-05}$	0.2795
13	$-6.0039.10^{-05}$	0.2839
14	0.0030	0.1895

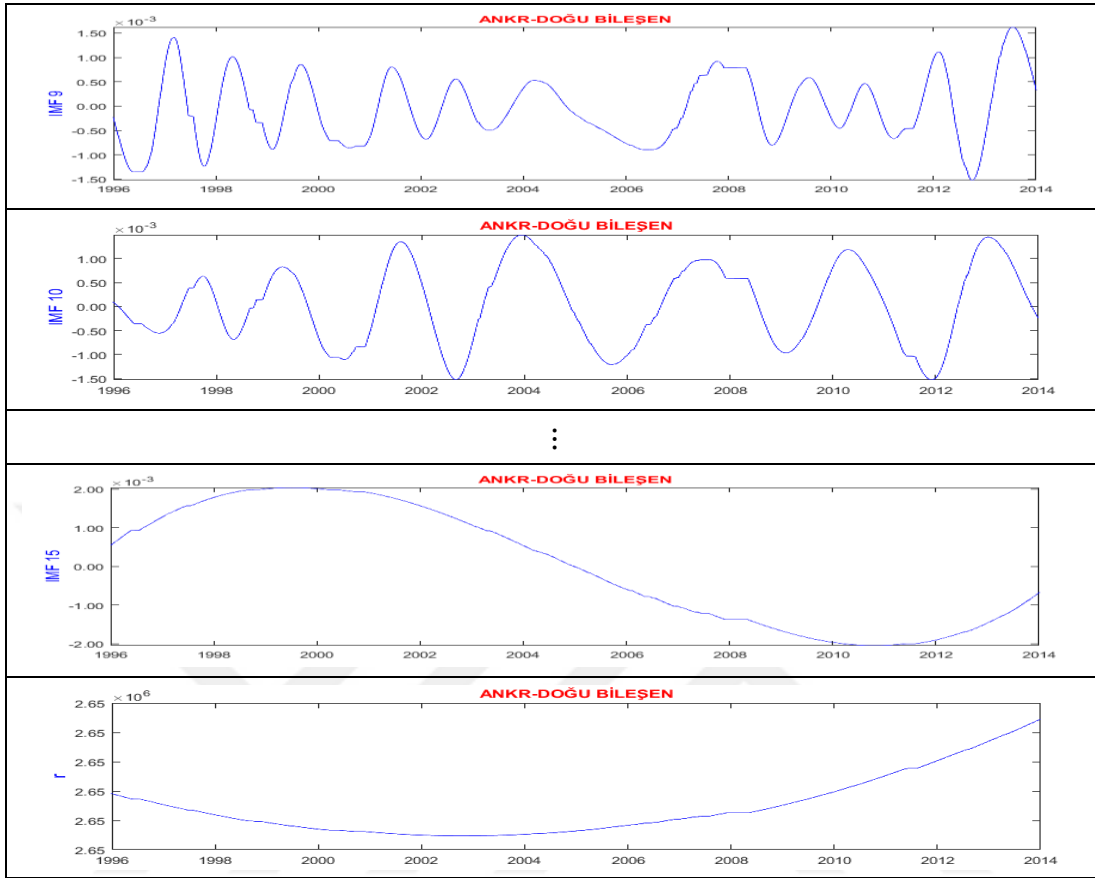
- ANKR İstasyonu Doğu Bileşen

ANKR istasyonu doğu koordinatlarında uygulanan EMD yönteminde 15 IMF bileşeni elde edilmiştir. Bu bileşenlerin ilk dördünde yüksek frekans özelliği gözlenmiştir. Ayrıca, 2008 yılından önce meydana gelen dalga şiddetleri de daha yüksektir. Bu durum özellikle IMF1’de, 1999 ile 2000 yılları arasında ve 2004 ile 2008 yılları arasında, IMF2’de 2004 ve 2005 yılları arasında, IMF3’ de 2008 yılı öncesinin genelinde, IMF4’de 1996, 2004 ve 2005 yıllarında görülmektedir. IMF5’ten itibaren dalga boyları artmaya başlamıştır. IMF6 ve IMF7’de bu durum devam etmiştir. IMF8, IMF9’da yaklaşık 1 yıllık, IMF10’da yaklaşık 2 yıllık periyotlu dalgalar meydana gelmiştir. IMF15’te ise bir tepe ve çukur noktasına sahip dalga elde edilmiştir (Şekil 31.). Hesaplanan ortalamaların sıfır, standart sapmaların ise eleme sürecinin sona ermesi için kullanılan 0.3 sınır değerinden küçük olduğu görülmüştür (Tablo 19.).



Şekil 31. ANKR istasyonu doğu koordinatlarında IMF bileşenleri

Şekil 31'in devamı

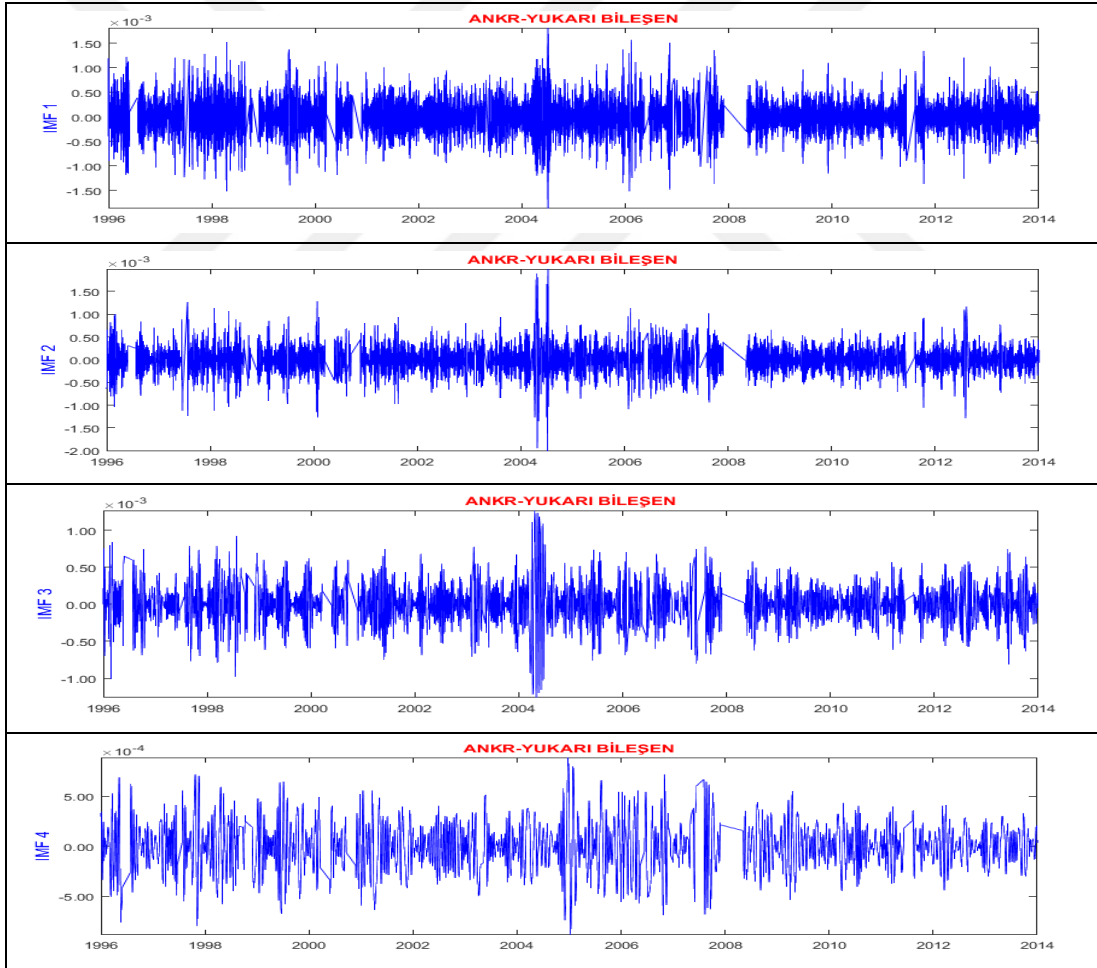


Tablo 19. ANKR doğu koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma

ANKR- DOĞU BİLEŞEN		
IMF	Ortalama	Standart Sapma
1	$-3.5894 \cdot 10^{-06}$	0.2508
2	$-1.0882 \cdot 10^{-07}$	0.2619
3	$-1.7863 \cdot 10^{-06}$	0.2938
4	$-1.5230 \cdot 10^{-06}$	0.2760
5	$1.0978 \cdot 10^{-05}$	0.2807
6	$-7.5689 \cdot 10^{-07}$	0.2546
7	$-2.6406 \cdot 10^{-05}$	0.2768
8	$-1.3557 \cdot 10^{-05}$	0.2883
9	$-3.8161 \cdot 10^{-05}$	0.2975
10	$3.5612 \cdot 10^{-05}$	0.2987
11	$2.4147 \cdot 10^{-05}$	0.2974
12	$9.4264 \cdot 10^{-05}$	0.2989
13	$-1.8194 \cdot 10^{-05}$	0.1268
14	$8.9703 \cdot 10^{-05}$	0.1196
15	$-1.7840 \cdot 10^{-06}$	0.1527

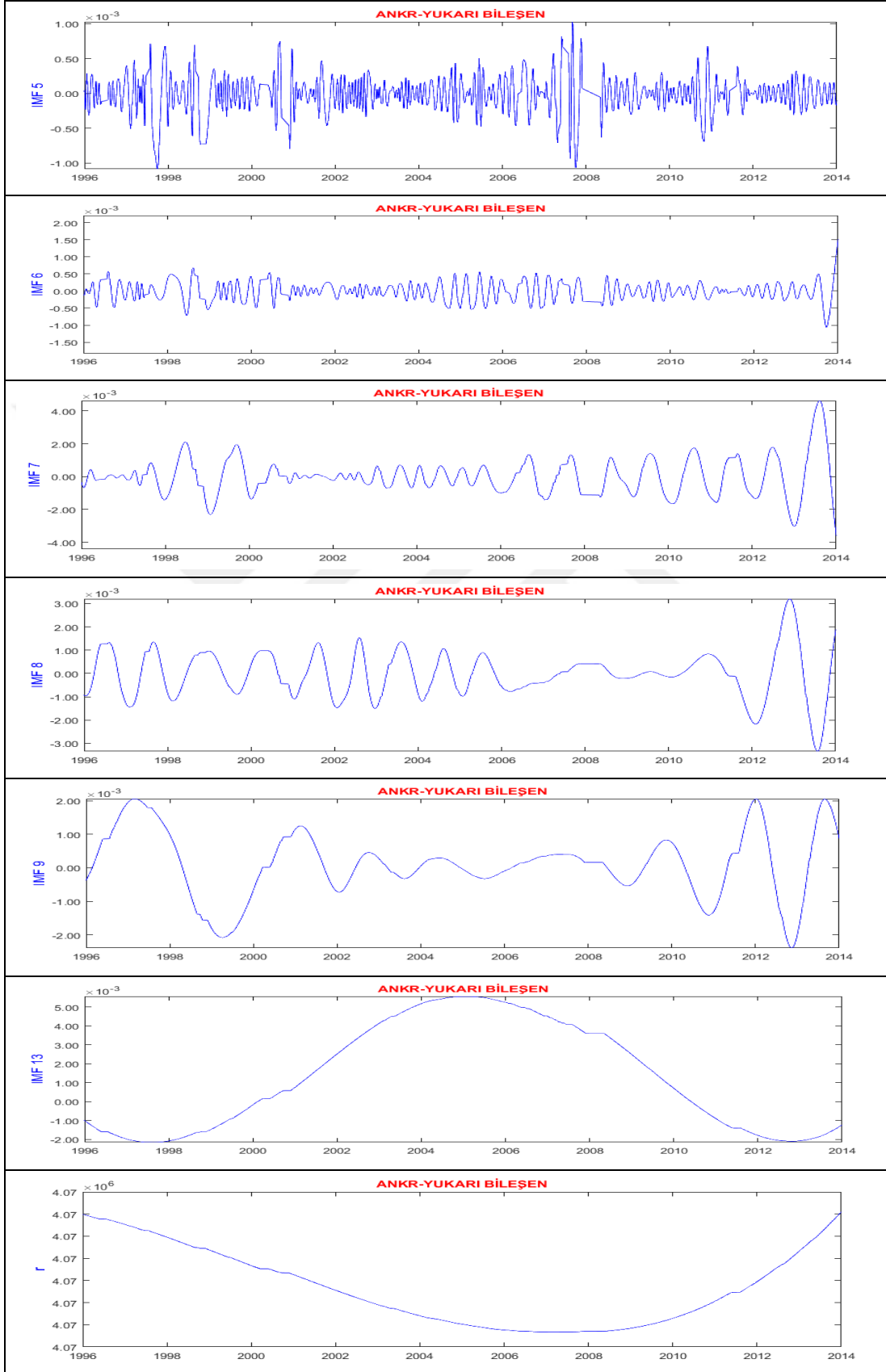
- ANKR İstasyonu Yukarı Bileşen

ANKR istasyonu yukarı koordinatlarında uygulanan EMD yönteminde 13 IMF bileşeni elde edilmiştir. Bu bileşenlerin ilk dördünde yüksek frekans özelliği gözlenmiştir. Ayrıca bu IMF bileşenlerinden IMF1’de 1998 ve 2004 yıllarında, IMF2 ve IMF3’te 2004 yılında, IMF4’te 2005 ve 2008 yılları arasında dalga şiddetlerinde artışlar meydana gelmiştir. IMF5’te dalga boyları büyümeye başlamıştır. IMF6’da da bu durum devam etmiştir. IMF7 ve IMF8 bileşenlerinde yaklaşık 1 yıllık periyotlu, IMF9 ‘da yaklaşık 2 yıl periyotlu dalgalarda meydana gelmiştir. IMF13’te ise bir tepe ve iki çukur noktasına sahip dalga elde edilmiştir (Şekil 32.). Hesaplanan ortalamaların sıfır, standart sapmaların ise eleme sürecinin sona ermesi için kullanılan 0.3 sınır değerinden küçük olduğu görülmüştür (Tablo 20.).



Şekil 32. ANKR istasyonu yukarı koordinatlarında IMF bileşenleri

Şekil 32'nin devamı



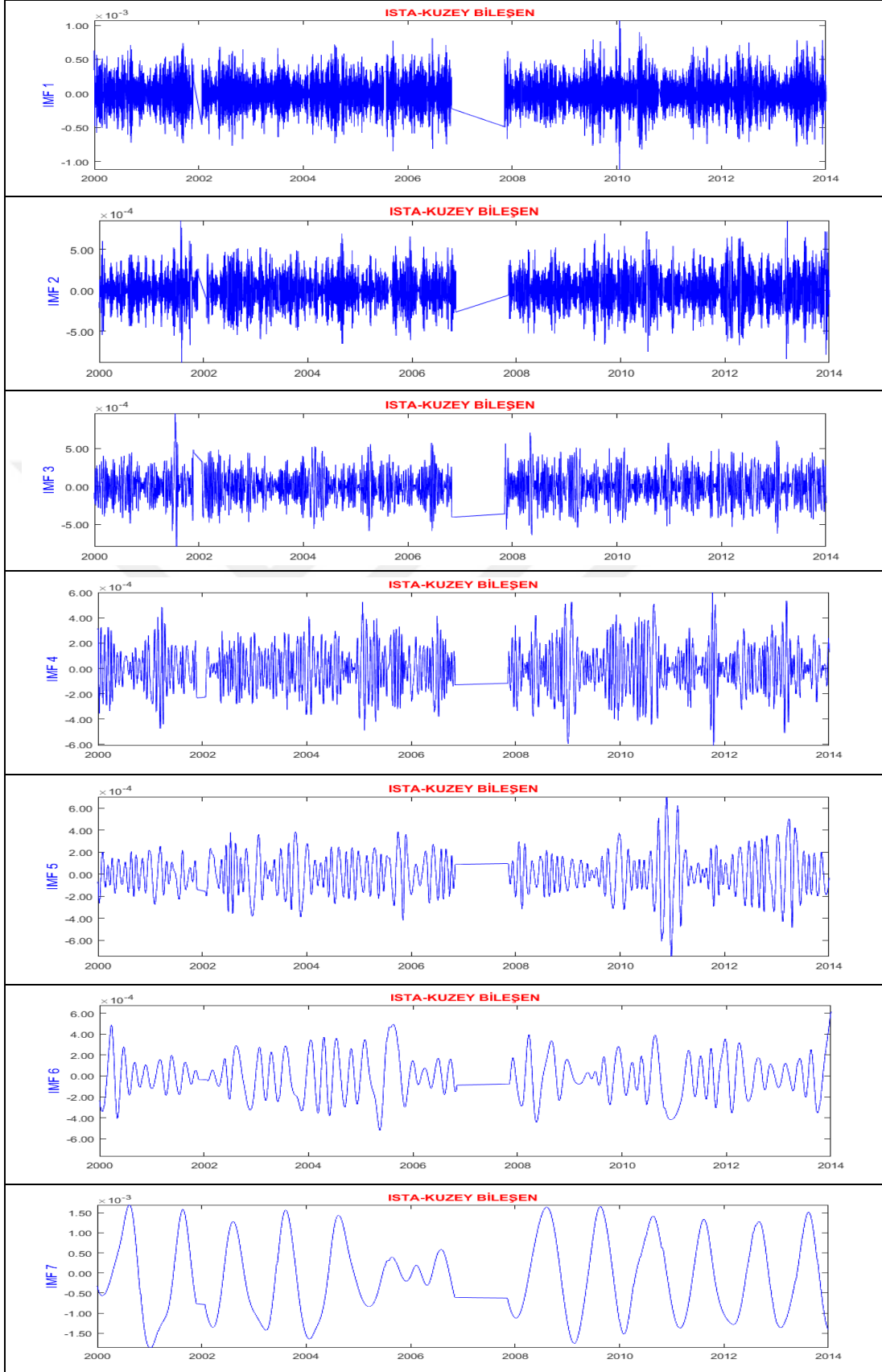
Tablo 20. ANKR yukarı koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma

ANKR- YUKARI BİLEŞEN		
IMF	Ortalama	Standart Sapma
1	-1.1656. 10 <sup>-06</sup>	0.2657
2	-9.9557. 10 <sup>-07</sup>	0.2947
3	2.6608. 10 <sup>-06</sup>	0.2671
4	1.4879. 10 <sup>-07</sup>	0.2792
5	-1.2162. 10 <sup>-05</sup>	0.2659
6	8.7359. 10 <sup>-05</sup>	0.2453
7	-1.7823. 10 <sup>-05</sup>	0.2885
8	-3.5480. 10 <sup>-05</sup>	0.2942
9	6.5284. 10 <sup>-06</sup>	0.2932
10	-1.4187. 10 <sup>-04</sup>	0.2986
11	2.8140. 10 <sup>-04</sup>	0.2617
12	2.8171. 10 <sup>-04</sup>	0.1551
13	0.0011	0.2819

- ISTA İstasyonu Kuzey Bileşen

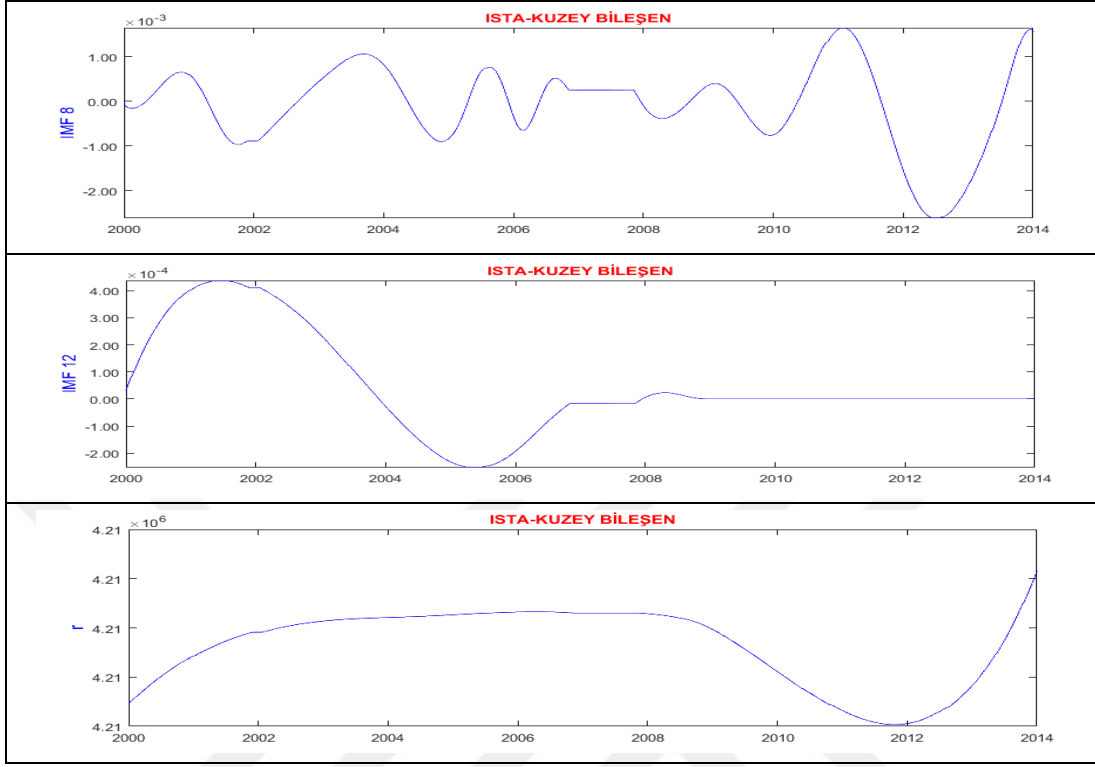
ISTA istasyonu kuzey koordinatlarında uygulanan EMD yönteminde 12 IMF bileşeni elde edilmiştir. Bu bileşenlerin ilk dördünde yüksek frekans özelliği gözlenmiştir. Ayrıca bileşenlerden IMF1’de 2010 yılında, IMF2’de 2001 ve 2013 yıllarında, IMF3’te ise 2001 yılında dalga şiddetlerinde artışlar meydana gelmiştir. IMF5 ve IMF6’da dalga boyları büyümüştür. IMF7’de yaklaşık 1 yıllık periyotlu, IMF8’de yaklaşık 2 yıllık periyotlu dalgalar meydana gelmiştir. IMF12’de ise bir tepe ve bir çukur noktasına sahip dalga elde edilmiştir (Şekil 33.)





Şekil 33. ISTA istasyonu kuzey koordinatlarında IMF bileşenleri

Şekil 33'ün devamı



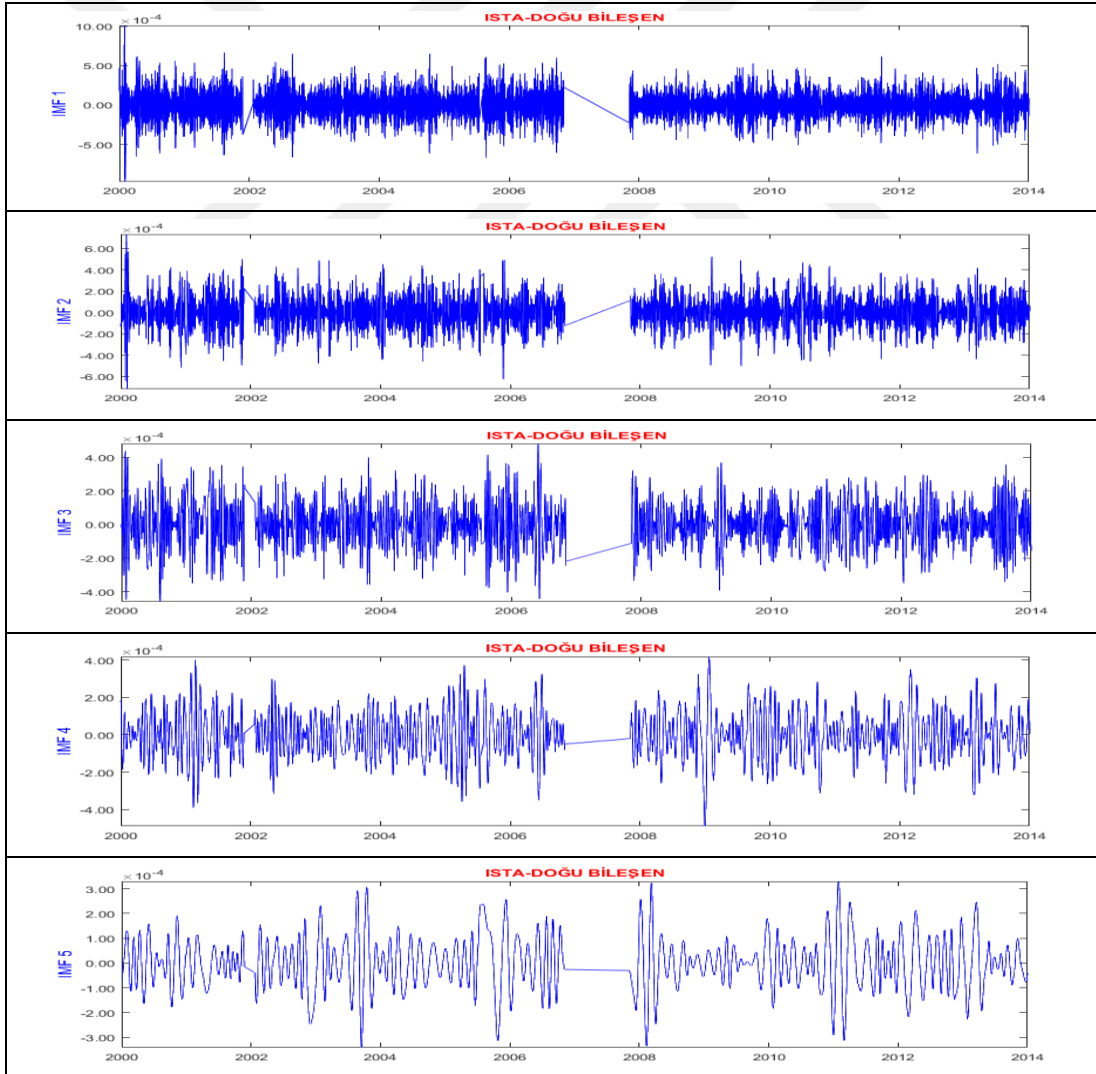
Hesaplanan ortalamaların sıfır, standart sapmaların ise eleme sürecinin sona ermesi için belirlenen 0.3 sınır değerinden küçük olduğu görülmüştür (Tablo 21.).

Tablo 21. ISTA kuzey koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma

ISTA - KUZEY BİLEŞEN		
IMF	Ortalama	Standart Sapma
1	$4.9635 \cdot 10^{-07}$	0.1600
2	$-4.4208 \cdot 10^{-07}$	0.2161
3	$-6.2577 \cdot 10^{-07}$	0.2799
4	$1.1345 \cdot 10^{-06}$	0.2520
5	$4.0285 \cdot 10^{-06}$	0.2505
6	$-4.6921 \cdot 10^{-06}$	0.2672
7	$-9.2396 \cdot 10^{-05}$	0.2989
8	$-7.5215 \cdot 10^{-05}$	0.2839
9	$1.4303 \cdot 10^{-04}$	0.2867
10	$9.4700 \cdot 10^{-05}$	0.2930
11	$4.5365 \cdot 10^{-05}$	0.2542
12	$4.6003 \cdot 10^{-05}$	0.1340

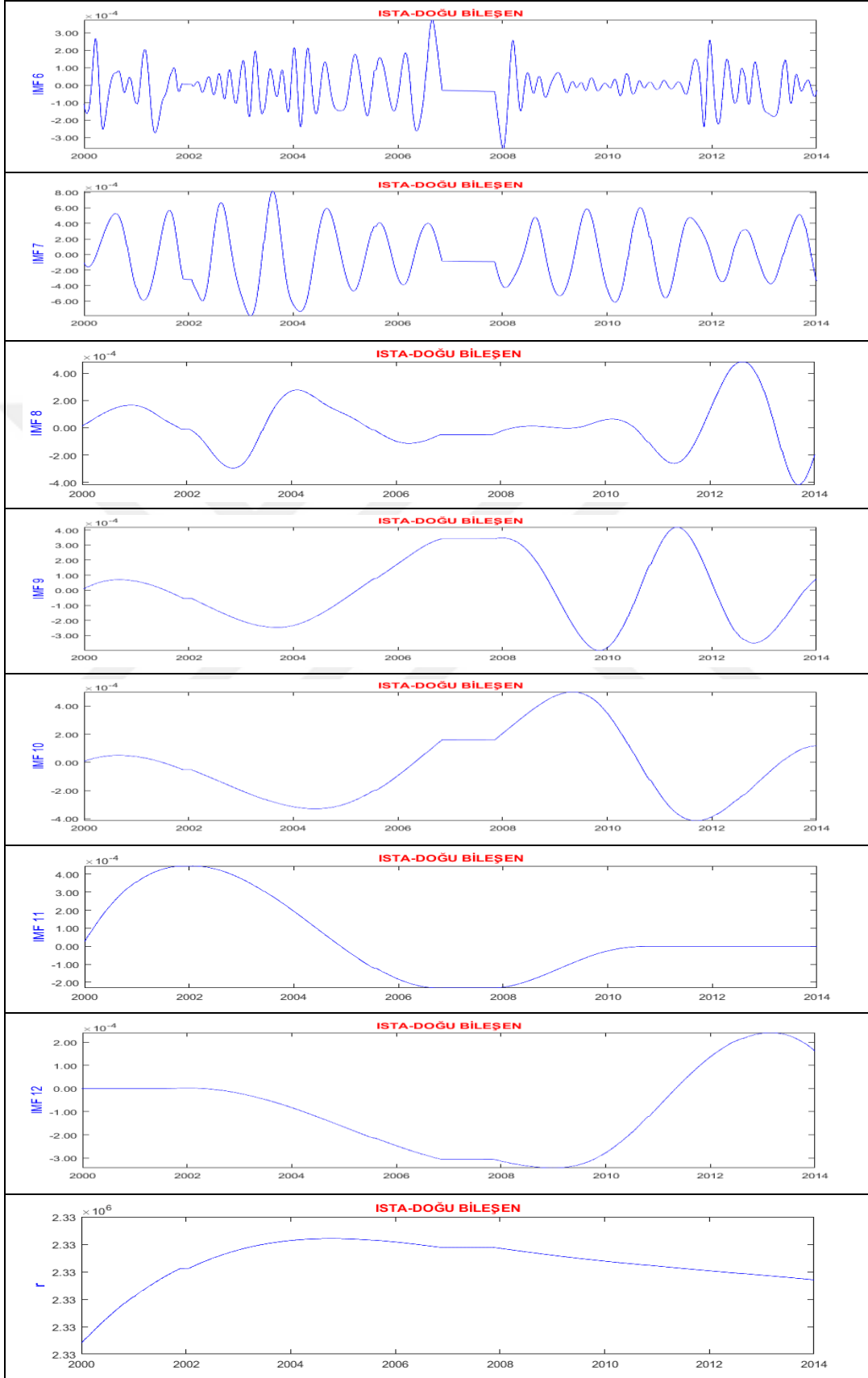
- ISTA İstasyonu Doğu Bileşen

ISTA istasyonu doğu koordinatlarında uygulanan EMD yönteminde 12 IMF bileşeni elde edilmiştir. Bu bileşenlerin ilk dördünde yüksek frekans özelliği gözlenmiştir. Ayrıca bileşenlerden IMF1 ve IMF2’de 2000 yılında, IMF3’te 2000 ve 2006 yılları arasında, dalga şiddetlerinde artışlar meydana gelmiştir. IMF5’te dalga boyları büyümeye başlamıştır. IMF6’da 2008 ve 2012 yılları arasında düşük dalga genlikleri görülmüştür. IMF7’de yaklaşık 1 yıllık periyotlu dalgalar meydana gelmiştir. IMF8’den itibaren dalga boyları daha da büyümeye başlamıştır. IMF12’de ise bir tepe ve bir çukur noktasına sahip dalga elde edilmiştir (Şekil 34.). Hesaplanan ortalamaların sıfır, standart sapmaların ise eleme sürecinin sona ermesi için belirlenen 0.3 sınır değerinden küçük olduğu görülmüştür (Tablo 22.)



Şekil 34. ISTA istasyonu doğu koordinatlarında IMF bileşenleri

Şekil 34'ün devamı

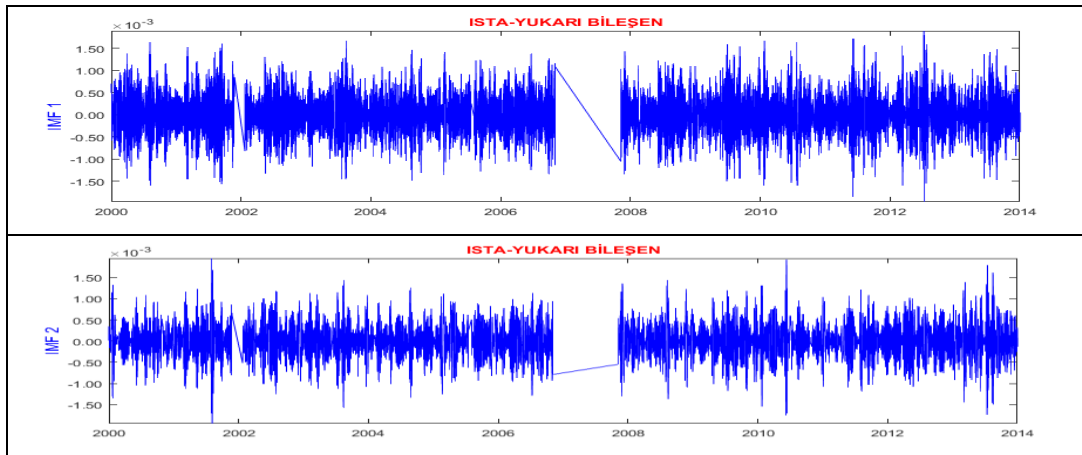


Tablo 22. ISTA doğu koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma

ISTA- DOĞU BİLEŞEN		
IMF	Ortalama	Standart Sapma
1	$-1.2216 \cdot 10^{-07}$	0.2854
2	$-7.1847 \cdot 10^{-07}$	0.2302
3	$-2.0803 \cdot 10^{-07}$	0.2736
4	$6.3695 \cdot 10^{-07}$	0.2911
5	$-5.9044 \cdot 10^{-06}$	0.2872
6	$-8.8862 \cdot 10^{-06}$	0.2382
7	$-2.3005 \cdot 10^{-05}$	0.2433
8	$1.3762 \cdot 10^{-05}$	0.2963
9	$-1.6411 \cdot 10^{-05}$	0.2937
10	$-3.4605 \cdot 10^{-05}$	0.1874
11	$5.7368 \cdot 10^{-05}$	0.0687
12	$-7.6124 \cdot 10^{-04}$	0.2856

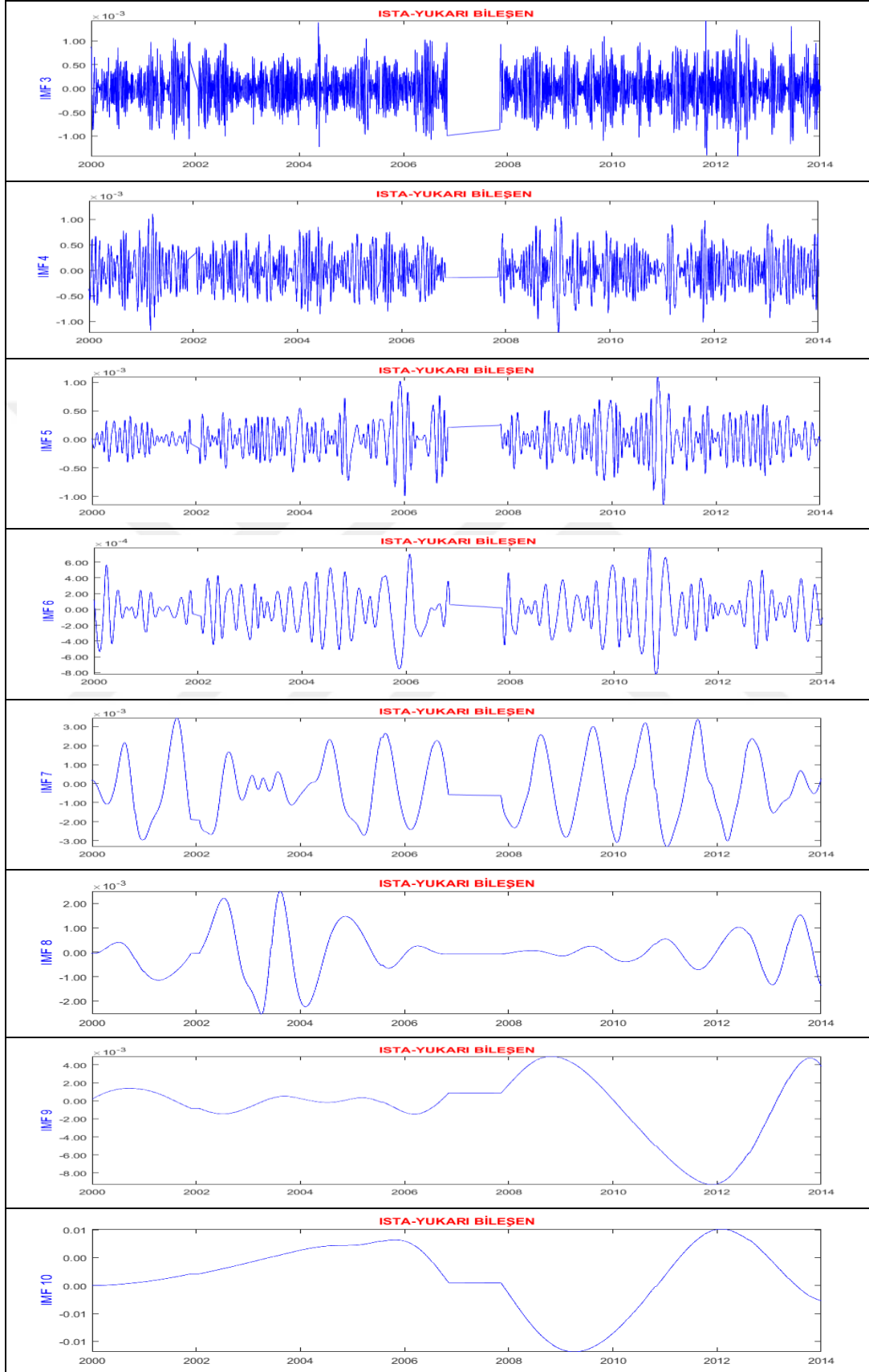
- ISTA İstasyonu Yukarı Bileşen

ISTA istasyonu yukarı koordinatlarında uygulanan EMD yönteminde 13 IMF bileşeni elde edilmiştir. Bu bileşenlerin ilk dördünde yüksek frekans özelliği gözlenmiştir. IMF5 ve IMF6'da dalga boyları büyümüştür. IMF7 ve IMF8'de yaklaşık 1 yıllık periyotlu dalgalar meydana gelmiştir. IMF8'den itibaren dalga boyları artmıştır. IMF13'te ise bir tepe ve bir çukur noktasına sahip dalga elde edilmiştir (Şekil 35.) Hesaplanan ortalamaların sıfır, standart sapmaların ise eleme sürecinin sona ermesi için belirlenen 0.3 sınır değerinden küçük olduğu görülmüştür (Tablo 23.).

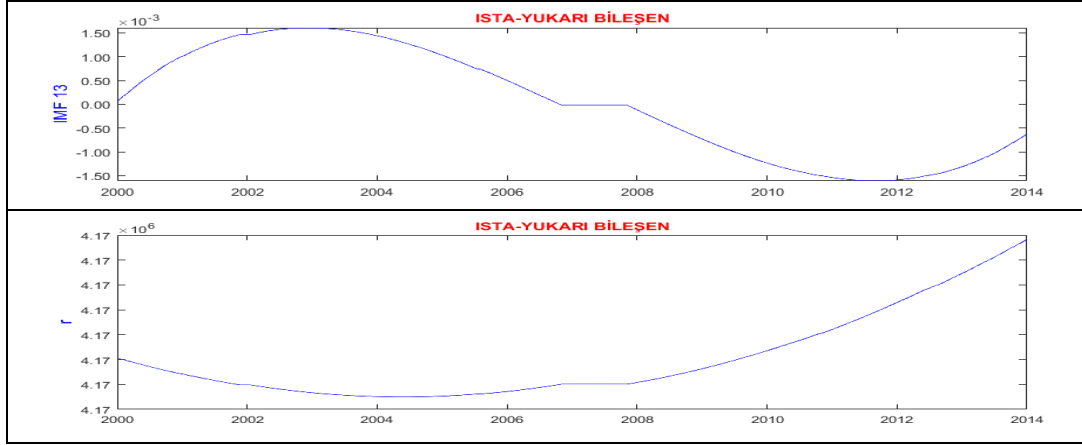


Şekil 35. ISTA istasyonu yukarı koordinatlarında IMF bileşenleri

Şekil 35'in devamı



Şekil 35'in devamı

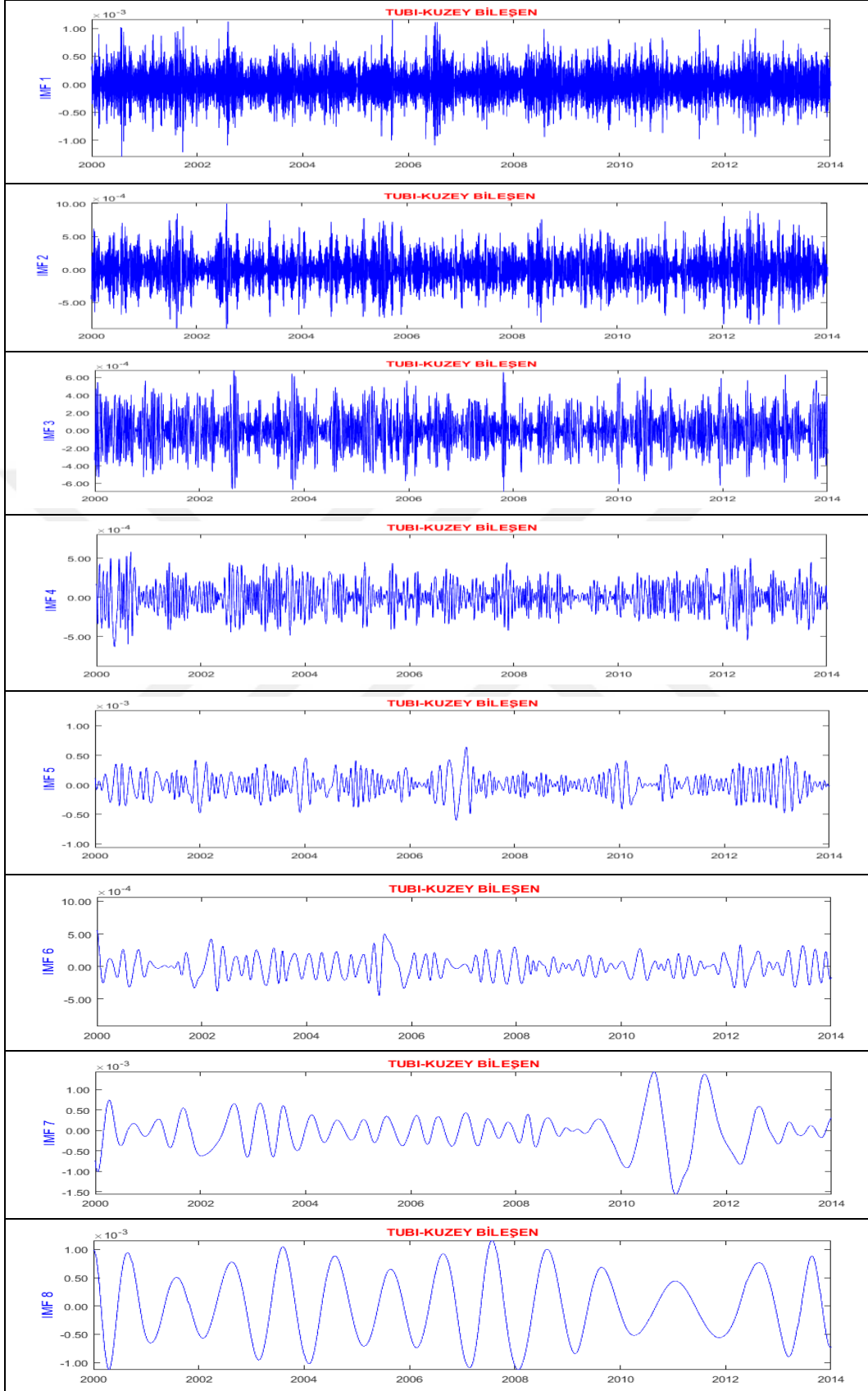


Tablo 23. ISTA yukarı koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma

ISTA- YUKARI BİLEŞEN		
IMF	Ortalama	Standart Sapma
1	$-2.5470 \cdot 10^{-06}$	0.2594
2	$3.9619 \cdot 10^{-06}$	0.2507
3	$-1.1455 \cdot 10^{-06}$	0.2788
4	$-6.1836 \cdot 10^{-06}$	0.2927
5	$9.4557 \cdot 10^{-06}$	0.2630
6	$-5.4509 \cdot 10^{-04}$	0.2519
7	$-1.9677 \cdot 10^{-04}$	0.2829
8	$-1.4531 \cdot 10^{-05}$	0.2756
9	$-5.4669 \cdot 10^{-04}$	0.2960
10	0.0015	0.0106
11	$-1.6782 \cdot 10^{-04}$	0.0203
12	$1.3586 \cdot 10^{-05}$	0.2934
13	$-1.1642 \cdot 10^{-06}$	0.1023

- TUBİ İstasyonu Kuzey Bileşen

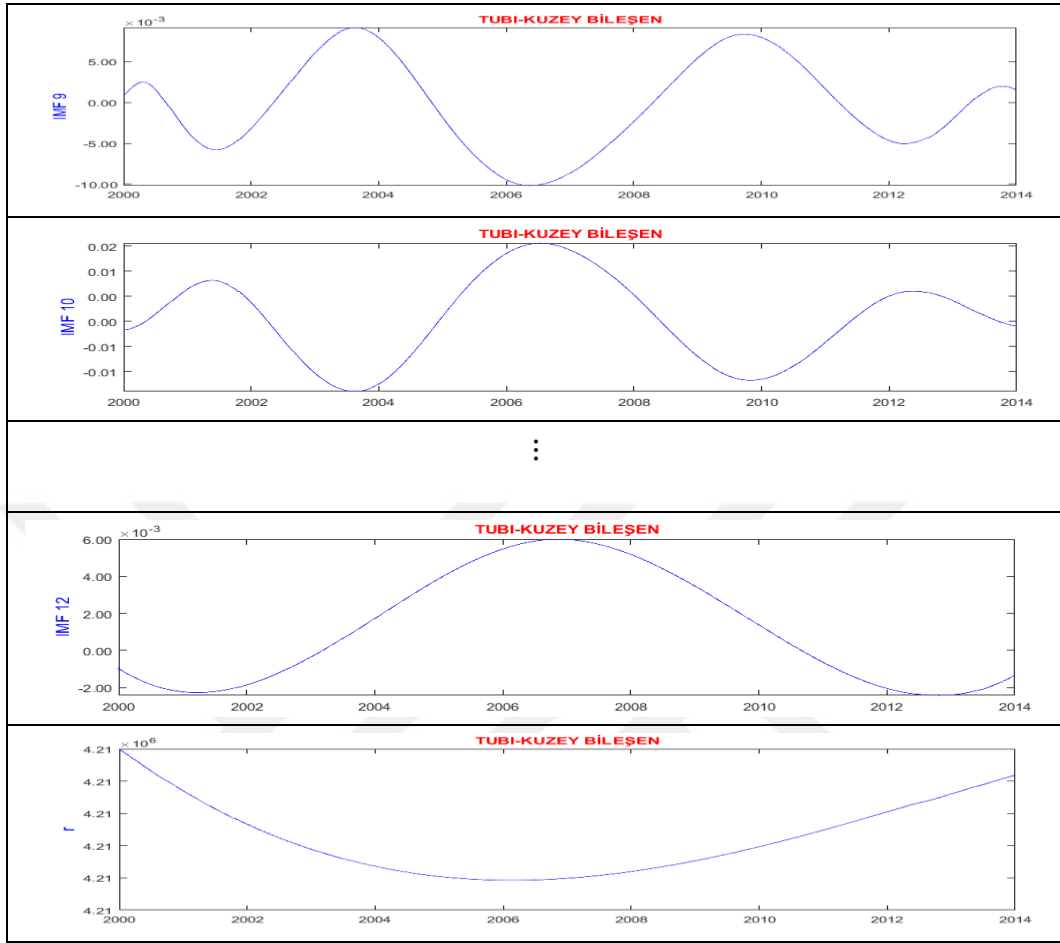
TUBİ istasyonu kuzey koordinatlarında uygulanan EMD yönteminde 12 IMF bileşeni elde edilmiştir. Bu bileşenlerin ilk dördünde yüksek frekans özelliği gözlenmiştir. IMF5'te ve IMF6'da dalga boyları artmıştır. IMF7'de yaklaşık 6 aylık periyotlu, IMF8'de yaklaşık 1 yıllık periyotlu, IMF9 ve IMF10'da yaklaşık 3 yıllık periyotlu dalgalar meydana gelmiştir. IMF9'den itibaren dalga boyları daha da büyümeye başlamıştır. IMF12'de ise iki tepe ve bir çukur noktasına sahip dalga elde edilmiştir (Şekil 36.) Hesaplanan ortalamaların sıfır, standart sapmaların ise eleme sürecinin sona ermesi için belirlenen 0.3 sınırdeğerinden küçük olduğu görülmüştür (Tablo 24.).



Şekil 36. TUBI istasyonu kuzey koordinatlarında IMF bileşenleri



Şekil 36'nın devamı

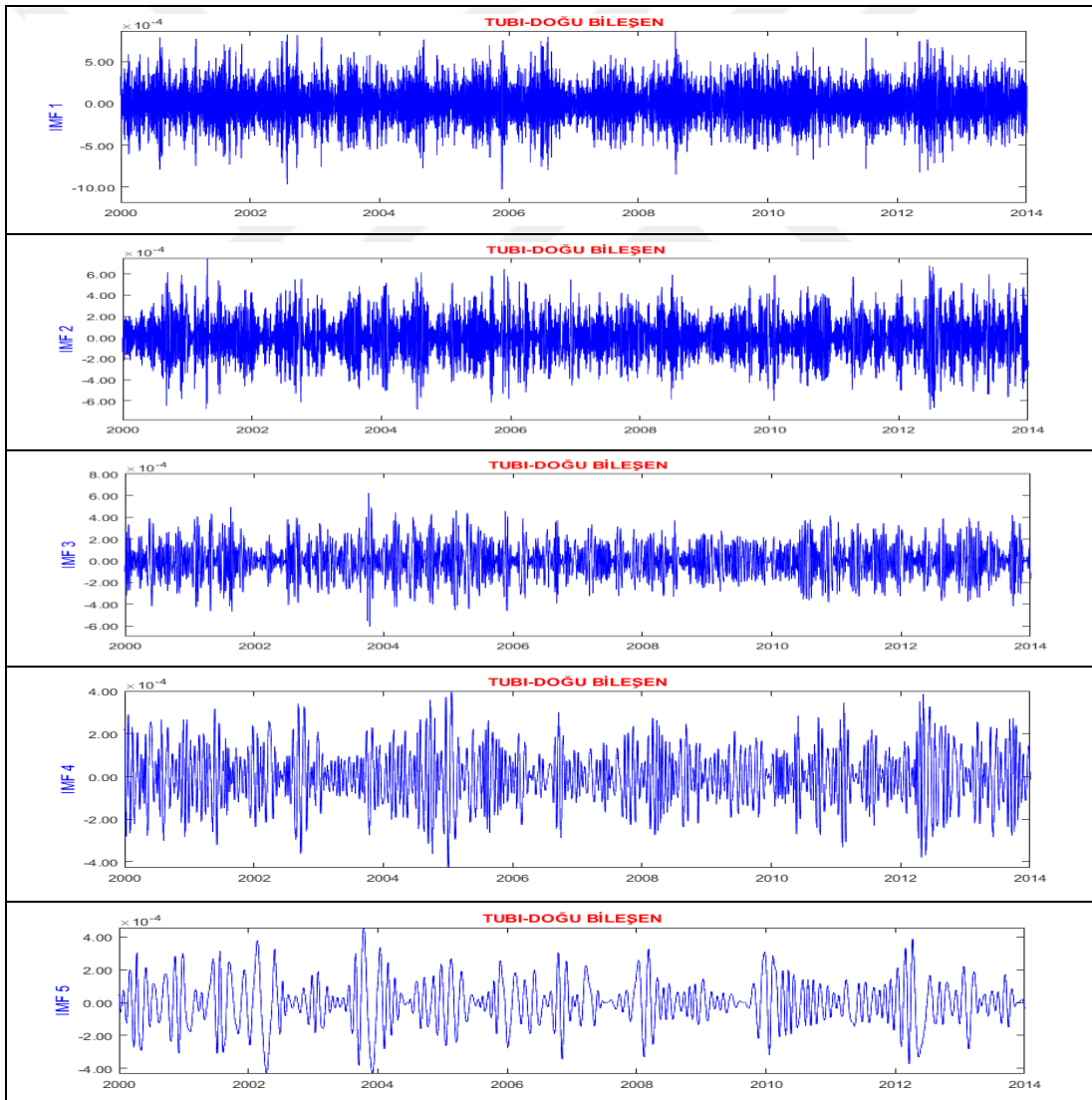


Tablo 24. TUBI kuzey koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma

TUBI- KUZEY BİLEŞEN		
IMF	Ortalama	Standart Sapma
1	$2.0821 \cdot 10^{-06}$	0.1854
2	$-2.7917 \cdot 10^{-06}$	0.2283
3	$1.3263 \cdot 10^{-06}$	0.2403
4	$5.8810 \cdot 10^{-07}$	0.2976
5	$2.1006 \cdot 10^{-06}$	0.2630
6	$3.4630 \cdot 10^{-06}$	0.2576
7	$-2.2225 \cdot 10^{-05}$	0.2577
8	$3.3446 \cdot 10^{-06}$	0.2463
9	$-2.3675 \cdot 10^{-04}$	0.2904
10	$3.7540 \cdot 10^{-04}$	0.2579
11	$4.7986 \cdot 10^{-04}$	0.2086
12	0.0011	0.0767

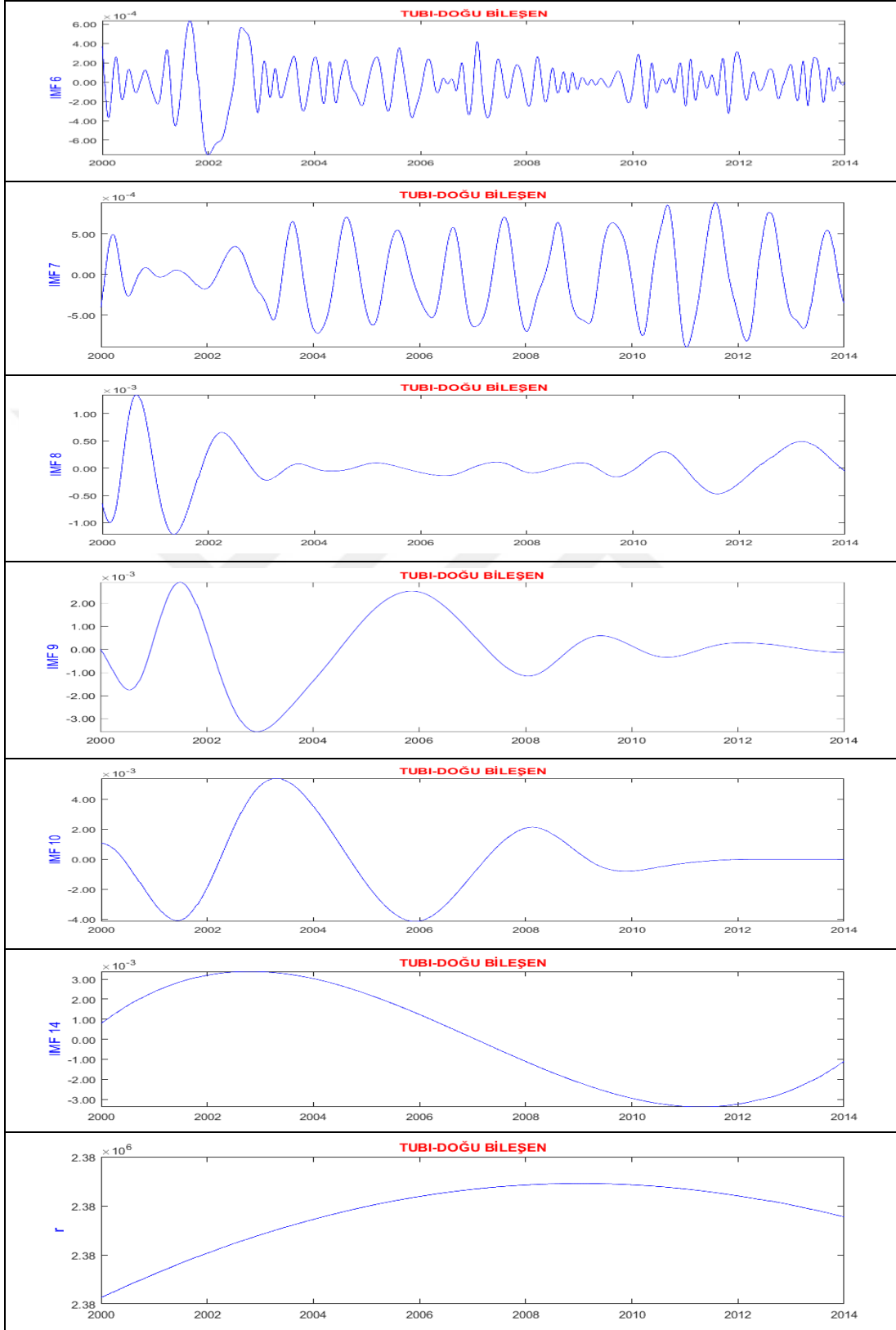
- TUBI İstasyonu Doğu Bileşen

TUBI istasyonu doğu koordinatlarında uygulanan EMD yönteminde 14 IMF bileşeni elde edilmiştir. Bu bileşenlerin ilk dördünde yüksek frekans özelliği gözlenmiştir. IMF5'te ve IMF6'da dalga boyları artmıştır. IMF7'de yaklaşık 1 yıllık periyotlu dalgalar meydana gelmiştir. IMF8'de 2002 yılından sonra dalga şiddetleri oldukça azalmıştır. IMF9 ve IMF10'da yaklaşık 3 yıllık periyotlu dalgalar meydana gelmiştir. IMF9'den itibaren dalga boyları daha da artmıştır. IMF14'te ise bir tepe ve çukur noktasına sahip dalga elde edilmiştir (Şekil 37.) Hesaplanan ortalamaların sıfır, standart sapmaların ise eleme sürecinin sona ermesi için belirlenen 0.3 sınır değerinden küçük olduğu görülmüştür (Tablo 25.)



Şekil 37. TUBI istasyonu doğu koordinatlarında IMF bileşenleri

Şekil 37'nin devamı

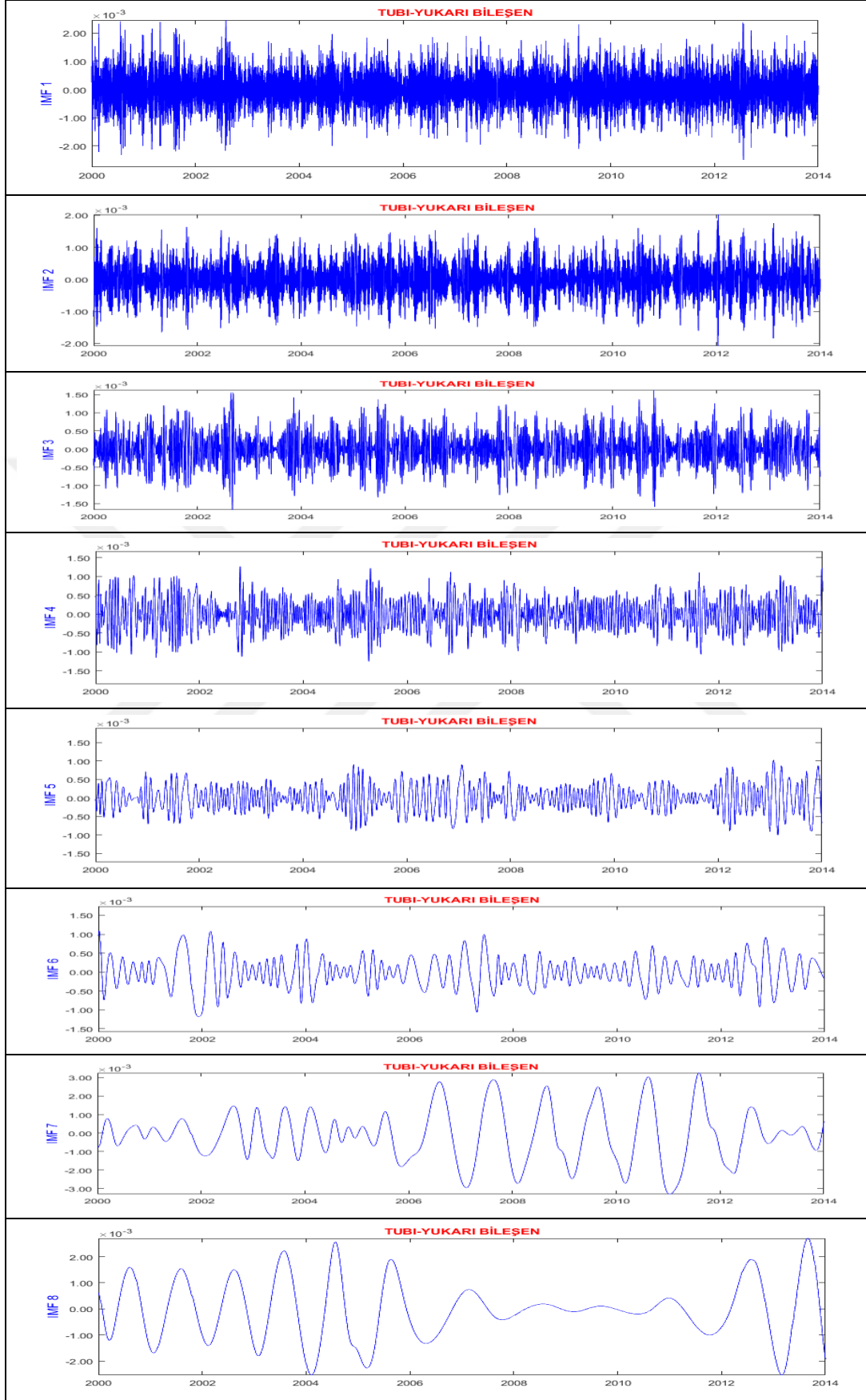


Tablo 25. TUBI doğu koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma

TUBI- DOĞU BİLEŞEN		
IMF	Ortalama	Standart Sapma
1	$-2.9345 \cdot 10^{-06}$	0.2482
2	$-9.3329 \cdot 10^{-07}$	0.2597
3	$2.0965 \cdot 10^{-06}$	0.2932
4	$-6.6057 \cdot 10^{-07}$	0.2144
5	$-8.2598 \cdot 10^{-06}$	0.2419
6	$-1.0810 \cdot 10^{-05}$	0.2860
7	$-3.9222 \cdot 10^{-05}$	0.2692
8	$-2.2687 \cdot 10^{-06}$	0.2959
9	$-1.6398 \cdot 10^{-05}$	0.2975
10	$-6.7898 \cdot 10^{-05}$	0.2625
11	$-2.1850 \cdot 10^{-04}$	0.1127
12	$-1.1536 \cdot 10^{-04}$	0.1950
13	$2.2033 \cdot 10^{-06}$	0.0720
14	$3.3045 \cdot 10^{-06}$	0.1281

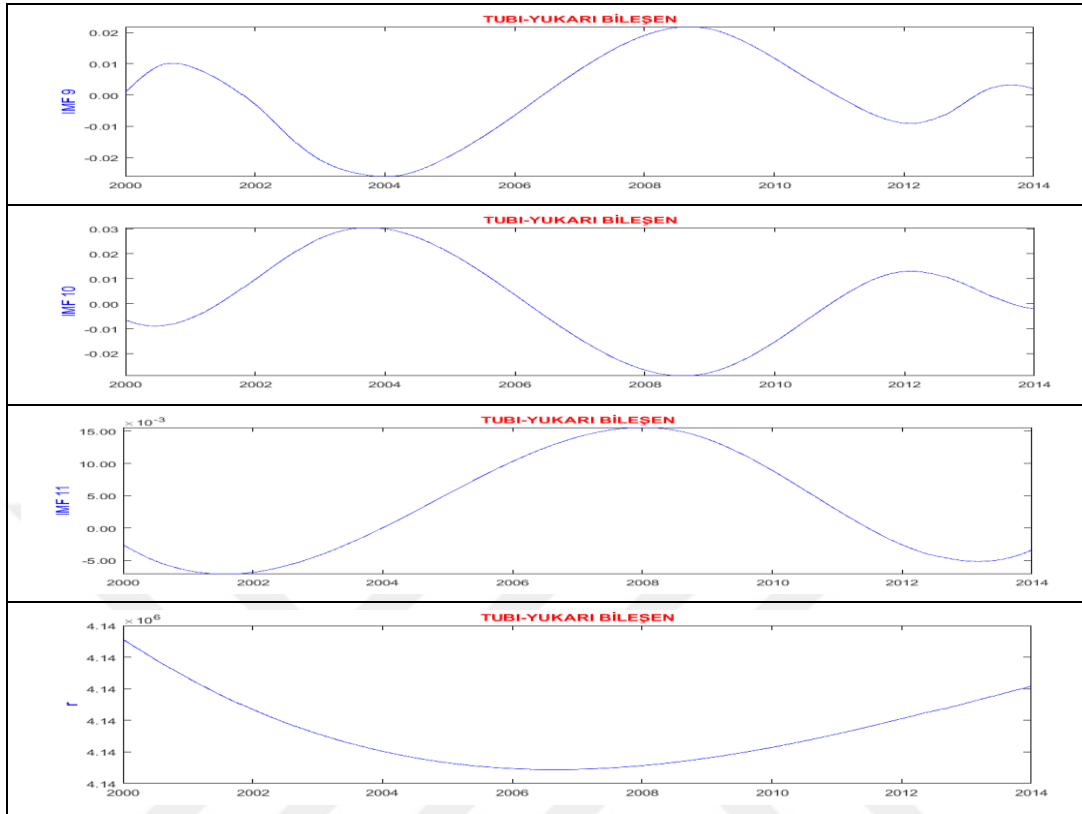
- TUBI İstasyonu Yukarı Bileşen

TUBI istasyonu doğu koordinatlarında uygulanan EMD yönteminde 11 IMF bileşeni elde edilmiştir. Bu bileşenlerin ilk dördünde yüksek frekans özelliği gözlenmiştir. IMF5 ve IMF6'da dalga boyları artmıştır. IMF7'de 2006 ve 2012 yılları arasında, IMF8'de 2000 ve 2006 yılları arasında dalga Şiddetleri büyümüş yaklaşık 1 yıllık periyotlu dalgalar meydana gözlenmiştir. IMF8'de 2002 yılından sonra dalga Şiddetleri oldukça azalmıştır. IMF9 ve IMF10'da yaklaşık 3 yıllık periyotlu dalgalar meydana gelmiştir. IMF9 ve IMF10'da dalga boyları daha da artmıştır. IMF11'de ise bir tepe ve çukur noktasına sahip dalga elde edilmiştir (Şekil 38.).



Şekil 38. TUBI istasyonu yukarı koordinatlarında IMF bileşenleri

Şekil 38'in devamı



Hesaplanan ortalamaların sıfır, standart sapmaların ise eleme sürecinin sona ermesi için belirlenen 0.3 sınır değerinden küçük olduğu görülmüştür (Tablo 26.)

Tablo 26. TUBI yukarı koordinatlarında IMF ortalama ve standart sapma

TUBI- YUKARI BİLEŞEN		
IMF	Ortalama	Standart Sapma
1	$-7.1687 \cdot 10^{-06}$	0.2892
2	$-4.9187 \cdot 10^{-06}$	0.2661
3	$-2.5415 \cdot 10^{-06}$	0.2716
4	$3.6044 \cdot 10^{-06}$	0.2544
5	$9.7604 \cdot 10^{-07}$	0.2629
6	$-1.7729 \cdot 10^{-06}$	0.2847
7	$-1.0060 \cdot 10^{-05}$	0.2700
8	$-4.3345 \cdot 10^{-06}$	0.2705
9	$-9.2194 \cdot 10^{-04}$	0.2067
10	0.0010	0.1447
11	0.0028	0.2427

### 2.1.9. Zaman Serilerinde Hilbert Dönüşümü

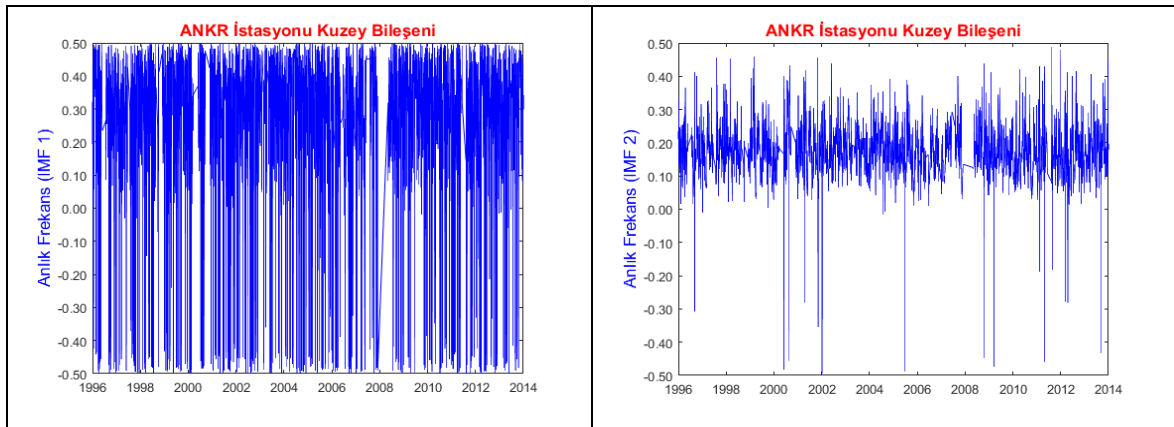
Koordinat zaman serilerinde meydana gelen anlık frekansların analizi için EMD yönteminden çıkartılan IMF bileşenlerine HD uygulanmıştır. IGS istasyonlarında anlık frekanslar 8 IMF bileşeni için hesaplanmış ve sonuçlar pozitif ve negatiflik açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen frekansların pozitif olması frekansların anlamlı, negatif olması ise anlamsız olduğunu ifade etmektedir. IGS istasyonlarında IMF1 ve IMF2 bileşenlerinde diğer IMF bileşenlerine göre daha fazla anlamsız anlık frekans gözlenmiştir. Bu nedenle anlık frekansların anlamlı olup olmadıkları, zaman aralıklarına göre IMF3, IMF4, IMF5, IMF6, IMF7, IMF8 bileşenlerinde daha detaylı olarak sunulmuştur.

- ANKR İstasyonu

ANKR istasyonu Kuzey koordinatlarında IMF3, IMF4, IMF5, IMF6, IMF7 ve IMF8 bileşenlerinin hepsinde anlamsız frekanslar gözlenmiştir (Tablo 27., Şekil 39.).

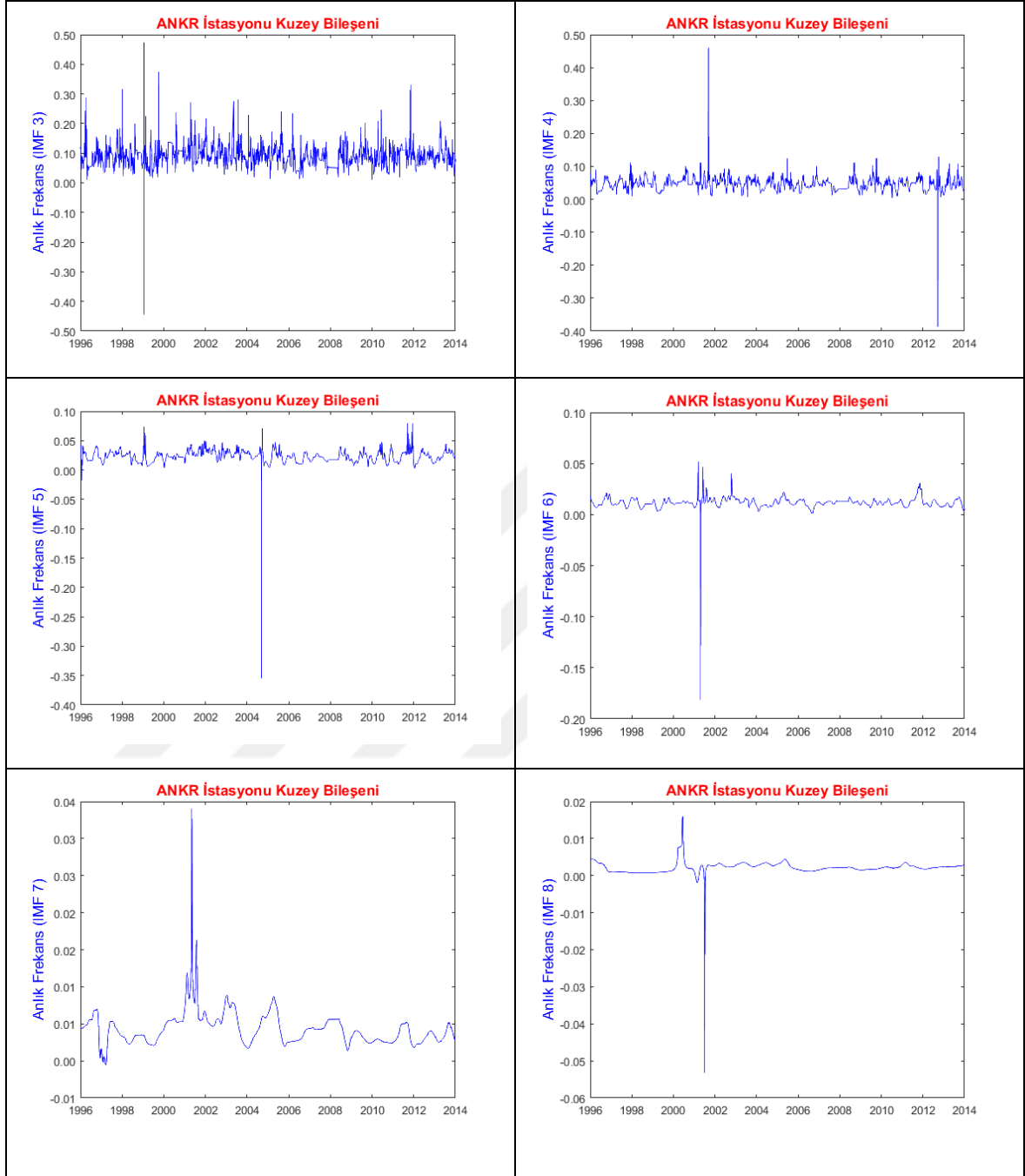
Tablo 27. ANKR kuzey bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları

ANKR İstasyonu Kuzey Bileşeni	
IMF	Anlamsız Anlık Frekanslar Gözlenen Zaman Aralıkları
IMF3	1998 ve 2000 yılları arasında
IMF4	2004 yılında, 2012 ile 2014 yılları arasında
IMF5	2004 ile 2006 yılları arasında
IMF6	2000 ile 2002 yılları arasında
IMF7	1996 ile 1998 yılları arasında
IMF8	2000 ile 2002 yılları arasında



Şekil 39. ANKR istasyonu kuzey koordinatlarda anlık frekanslar

Şekil 39'un devamı

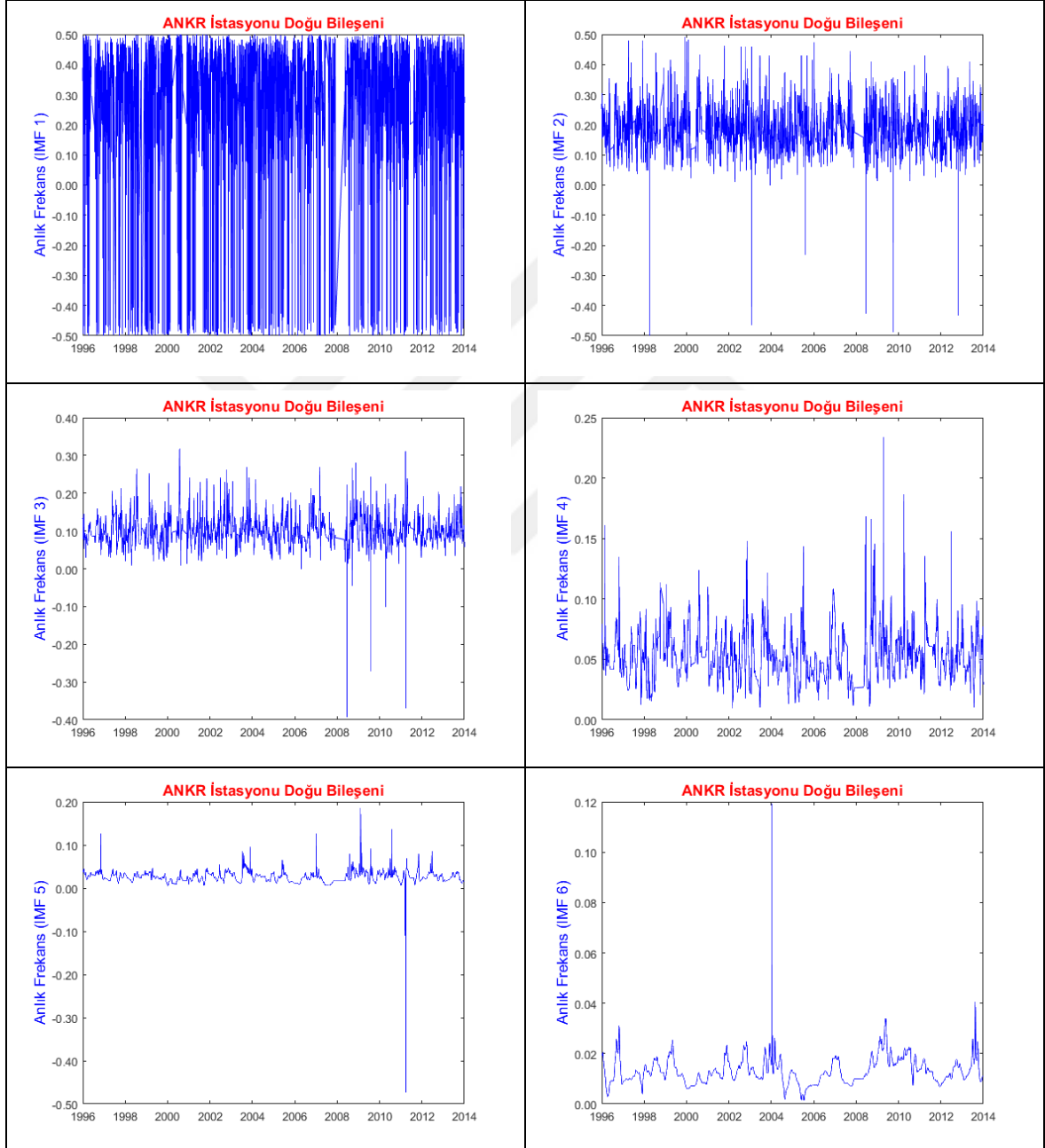


ANKR istasyonu Doğu koordinatlarında IMF3 ve IMF5'te anlamsız anlık frekanslar gözlenmiştir. IMF4, IMF6, IMF7 ve IMF8 bileşenlerinde tüm frekanslar anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 28., Şekil 40.).



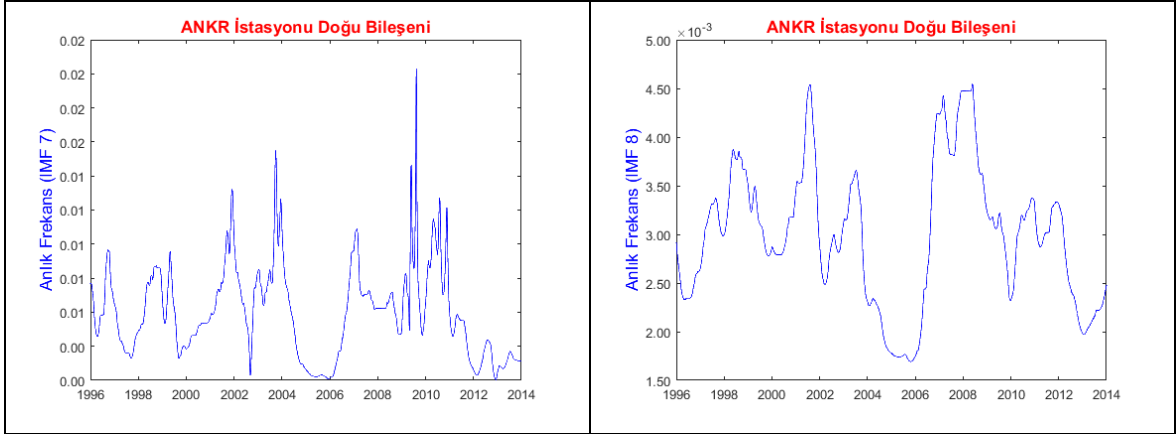
Tablo 28. ANKR doğu bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları

ANKR İstasyonu Doğu Bileşeni	
IMF	Anlamsız Anlık Frekanslar Gözlenen Zaman Aralıkları
IMF3	2008 ile 2012 yılları arasında
IMF5	2010 ile 2012 yılları arasında



Şekil 40. ANKR istasyonu doğu koordinatlarda anlık frekanslar

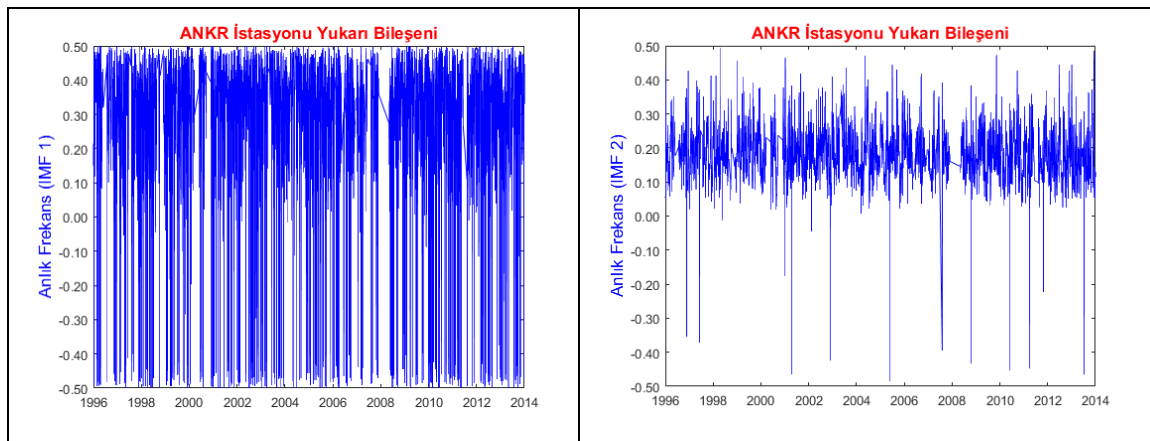
Şekil 40'ın devamı



ANKR istasyonu Yukarı koordinatlarında IMF3 ve IMF5'te anlamsız anlık frekanslar gözlenmiştir. IMF4, IMF6, IMF7 ve IMF8 bileşenlerinde tüm frekanslar anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 29., Şekil 41.).

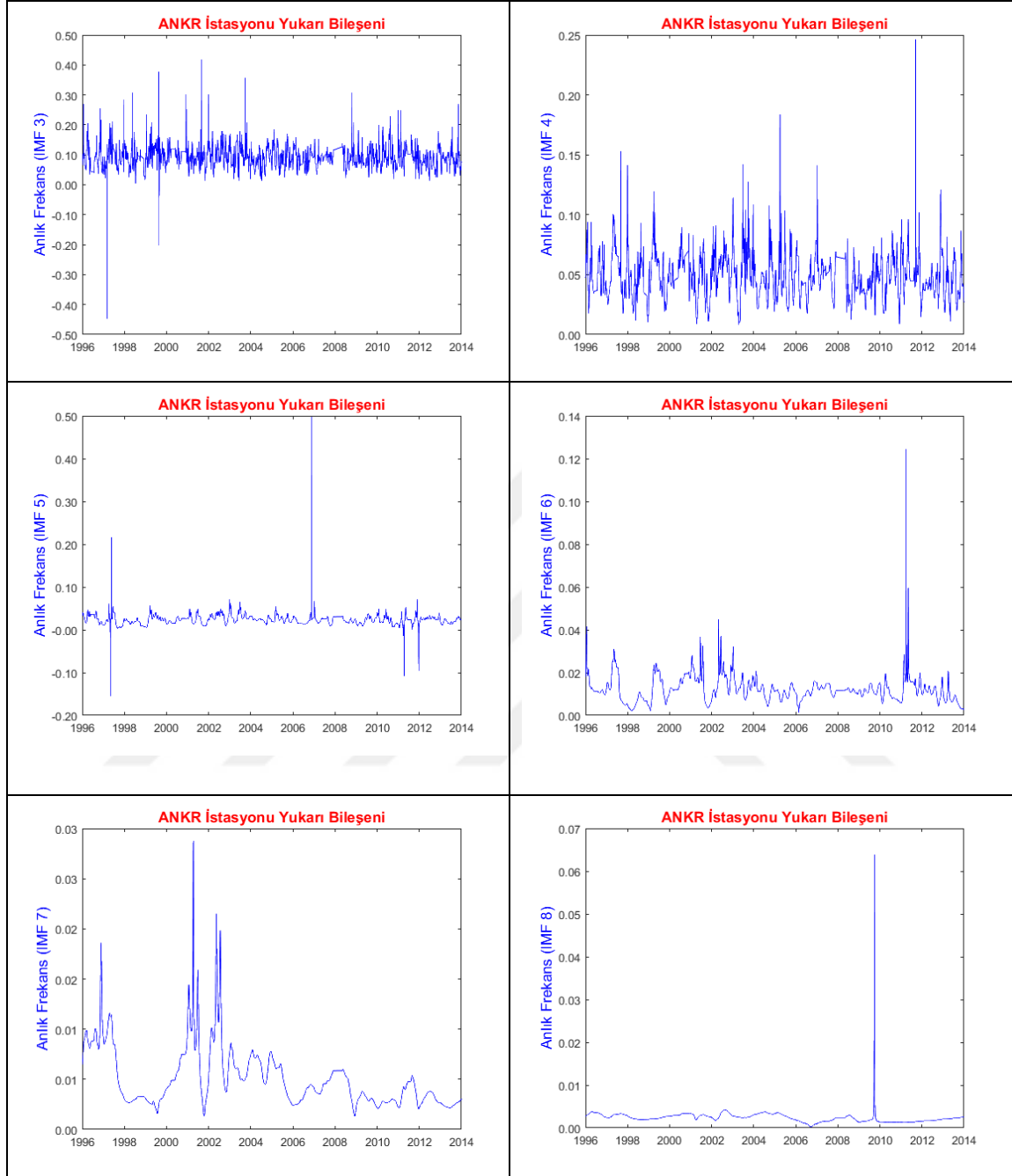
Tablo 29. ANKR yukarı bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları

ANKR İstasyonu Yukarı Bileşen	
IMF	Anlamsız Anlık Frekanslar Gözlenen Zaman Aralıkları
IMF3	1996 ile 2000 yılları arasında
IMF5	1996 ile 1998, 2006 ile 2008 ve 2010 ile 2012 yılları arasında



Şekil 41. ANKR istasyonu yukarı koordinatlarda anlık frekanslar

Şekil 41'in devamı

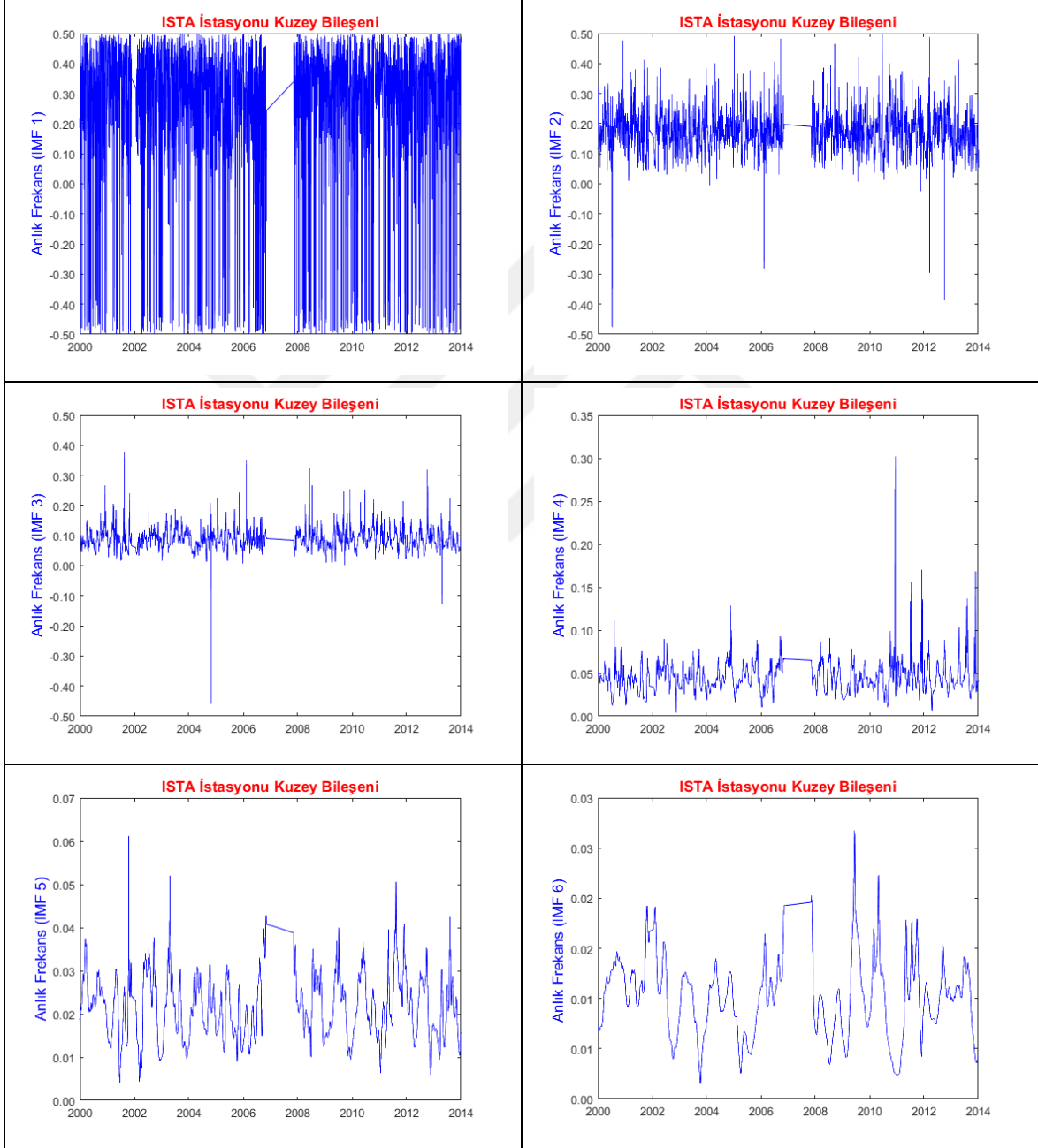


- İSTA İstasyonu

İSTA istasyonu Kuzey koordinatlarında IMF3 ve IMF8 bileşeninde anlamsız anlık frekanslar gözlenmiştir. IMF4, IMF5, IMF6 ve IMF7 bileşenlerinde tüm frekanslar anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 30., Şekil 42.).

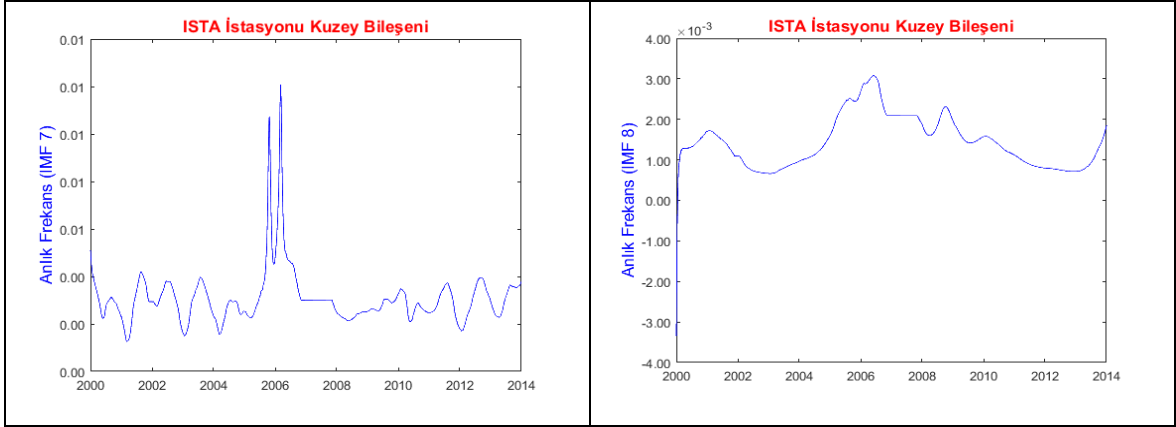
Tablo 30. ISTA kuzey bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları

ISTA İstasyonu Kuzey Bileşen	
IMF	Anlamsız Anlık Frekanslar Gözlenen Zaman Aralıkları
IMF3	2004 ile 2006 ve 2012 ile 2014 yılları arasında
IMF8	2000 yılında



Şekil 42. ISTA istasyonu kuzey koordinatlarda anlık frekanslar

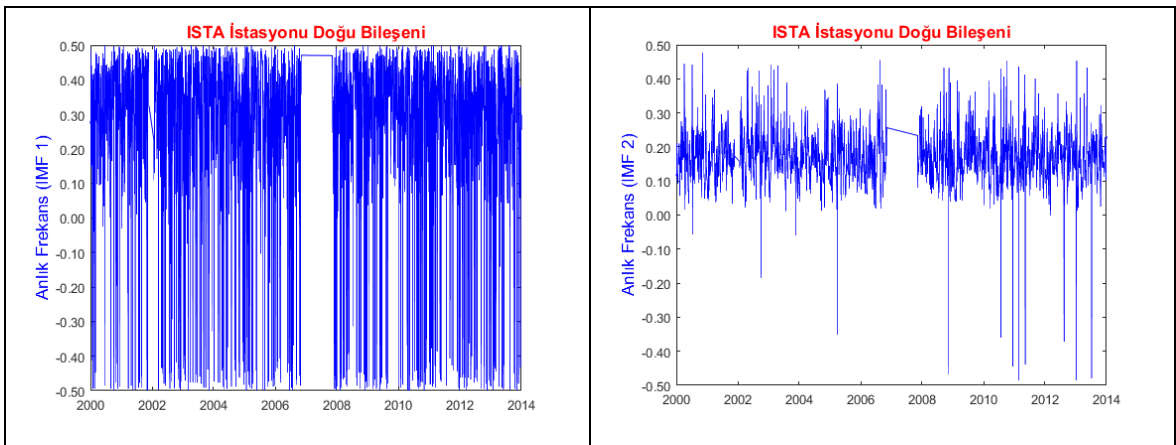
Şekil 42'nin devamı



ISTA istasyonu Doğu koordinatlarında IMF3, IMF4, IMF6, IMF8 bileşenlerinde anlamsız anlık frekanslar gözlenmiştir. IMF5 ve IMF7 bileşenlerinde tüm frekanslar anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 31., Şekil 43.).

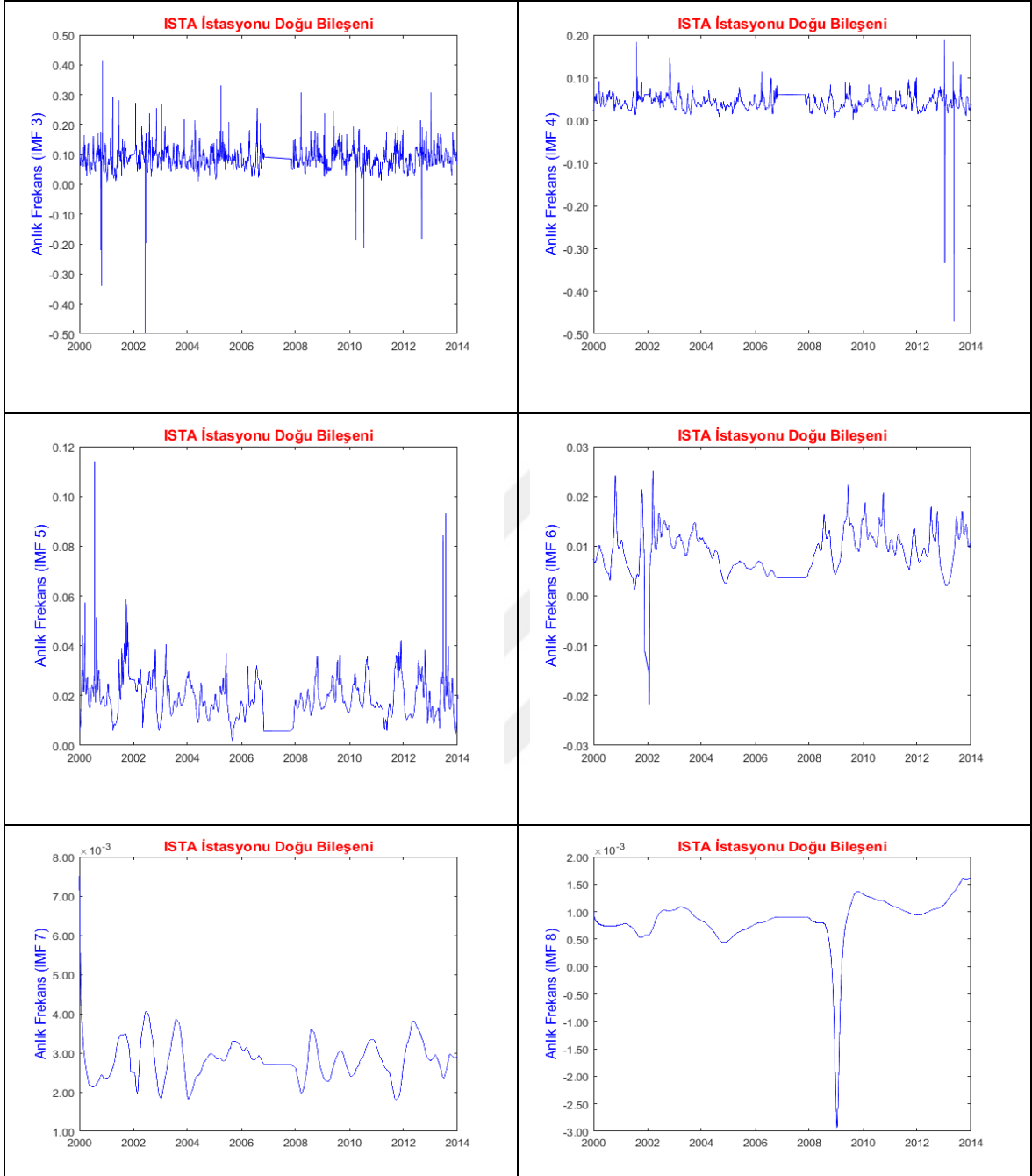
Tablo 31. ISTA doğu bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları

ISTA İstasyonu Doğu Bileşen	
IMF	Anlamsız Anlık Frekanslar Gözlenen Zaman Aralıkları
IMF3	2000 ile 2002 yılları arasında, 2010 yılında ve 2012 ile 2014 yılları arasında
IMF4	2012 ile 2014 yılları arasında
IMF6	2002 yılında
IMF8	2008 ile 2010 yılları arasında



Şekil 43. ISTA istasyonu doğu koordinatlarda anlık frekanslar

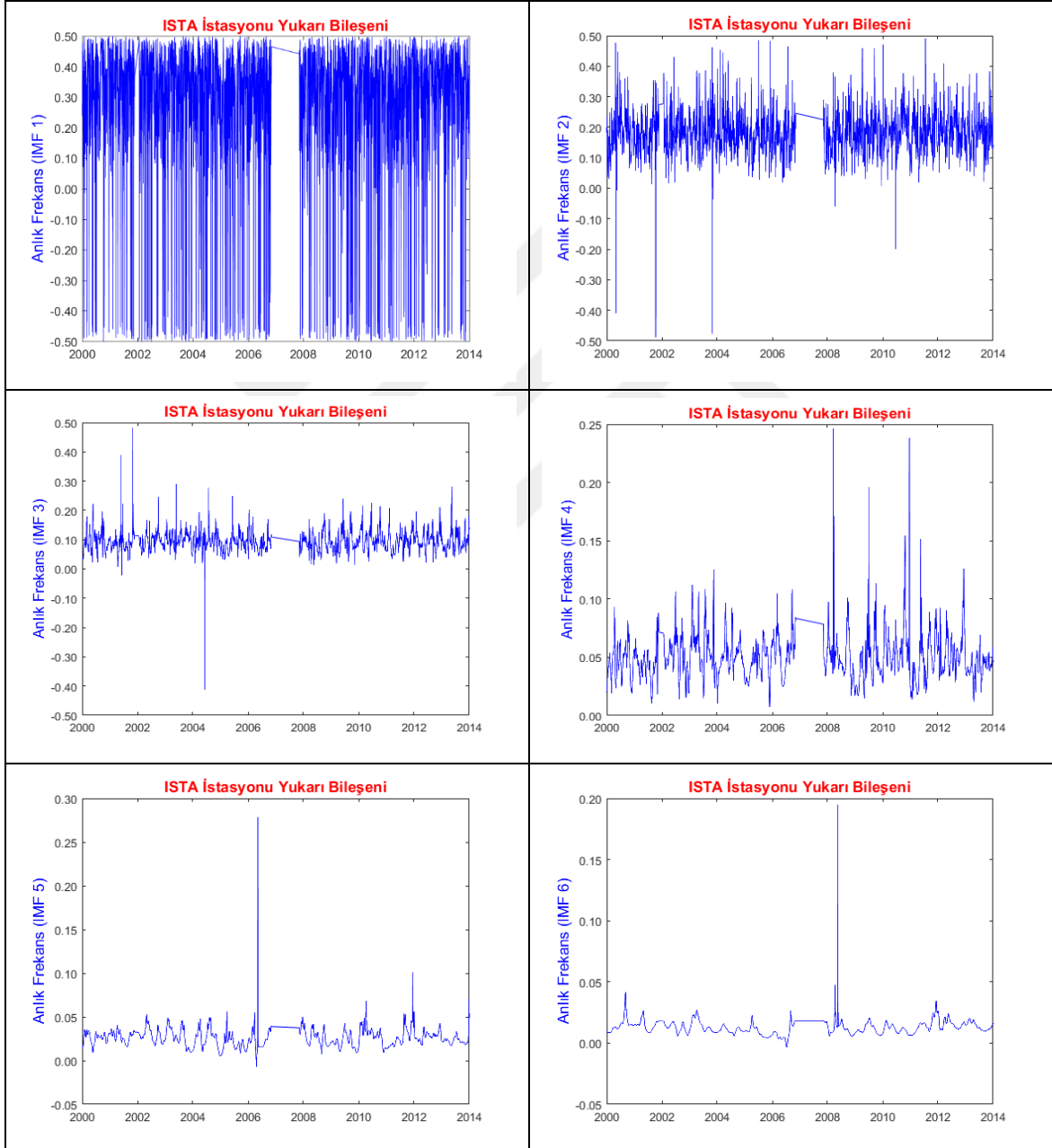
Şekil 43'ün devamı



ISTA istasyonu Yukarı koordinatlarında IMF3, IMF5 ve IMF8 bileşeninde anlamsız anlık frekanslar gözlenmiştir. IMF4, IMF6 ve IMF7’de tüm frekanslar anlamlı olarak elde edilmiştir bileşenlerinde tüm frekanslar anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 32., Şekil 44.).

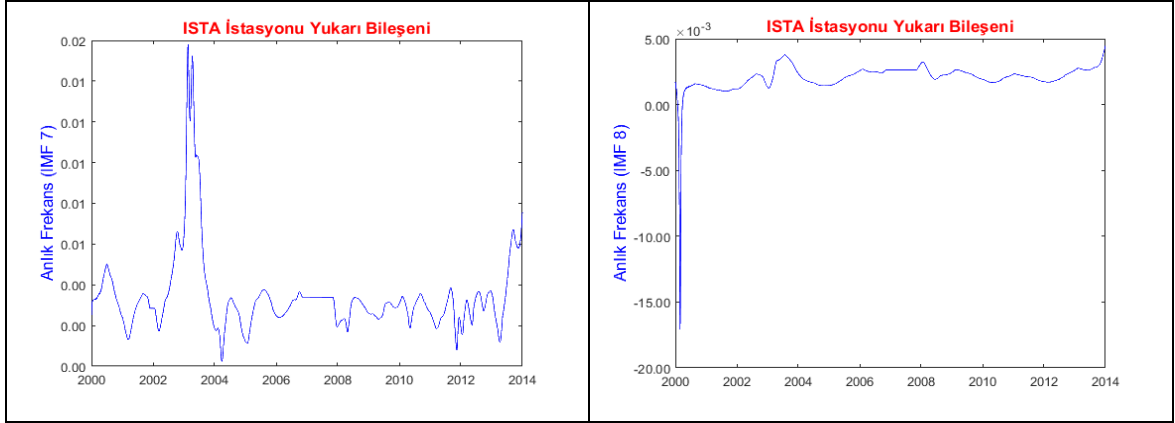
Tablo 32. ISTA yukarı bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları

ISTA İstasyonu Yukarı Bileşen	
IMF	Anlamsız Anlık Frekanslar Gözlenen Zaman Aralıkları
IMF3	2000 ile 2002, 2004 ile 2005 yılları arasında
IMF5	2006 yılında
IMF8	2000 yılında



Şekil 44. ISTA istasyonu yukarı koordinatlarda anlık frekanslar

Şekil 44'ün devamı

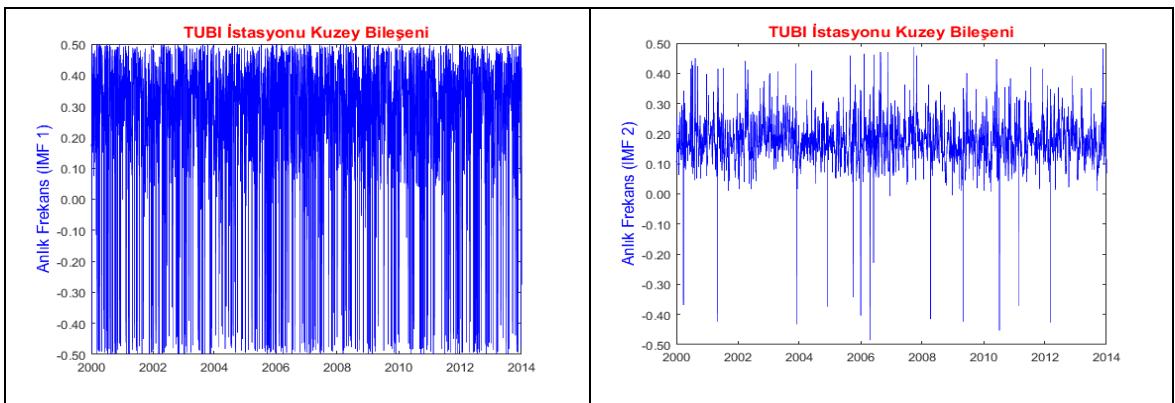


- TUBİ İstasyonu

TUBİ istasyonu Kuzey koordinatlarında IMF3, IMF4, IMF5, IMF6 ve IMF7 bileşeninde anlamsız anlık frekanslar gözlenmiştir. IMF8 bileşeninde tüm frekanslar anlamlı olarak elde edilmiştir bileşenlerinde tüm frekanslar anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 33., Şekil 45.).

Tablo 33. TUBİ kuzey bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları

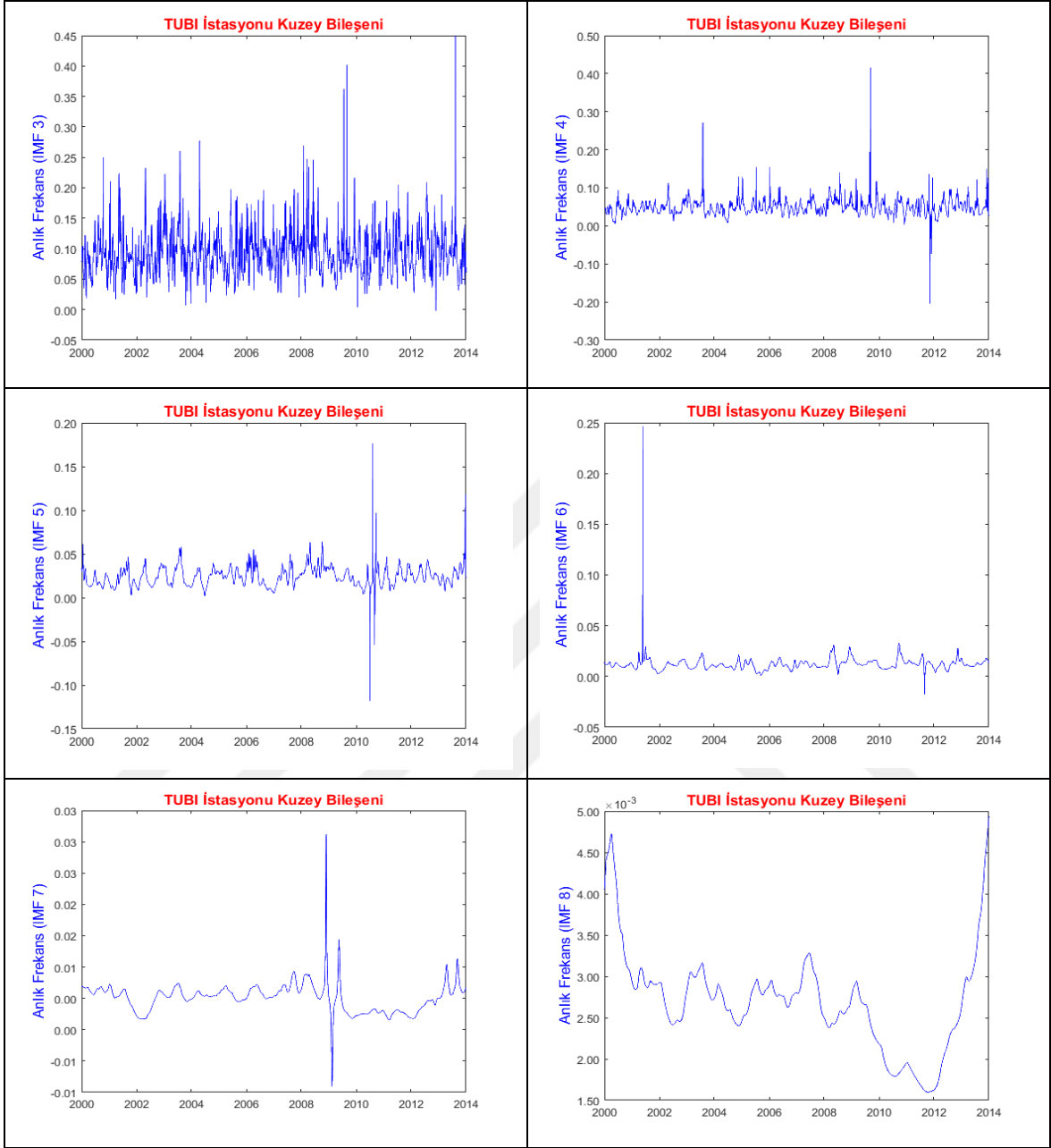
TUBİ İstasyonu Kuzey Bileşen	
IMF	Anlamsız Anlık Frekanslar Gözlenen Zaman Aralıkları
IMF3	2012 ile 2014 yılları arasında
IMF4	2012 yılında
IMF5	2010 ile 2012 yılları arasında
IMF6	2011 ile 2012 yılları arasında
IMF7	2008 ile 2010 yılları arasında



Şekil 45. TUBİ istasyonu kuzey koordinatlarda anlık frekanslar



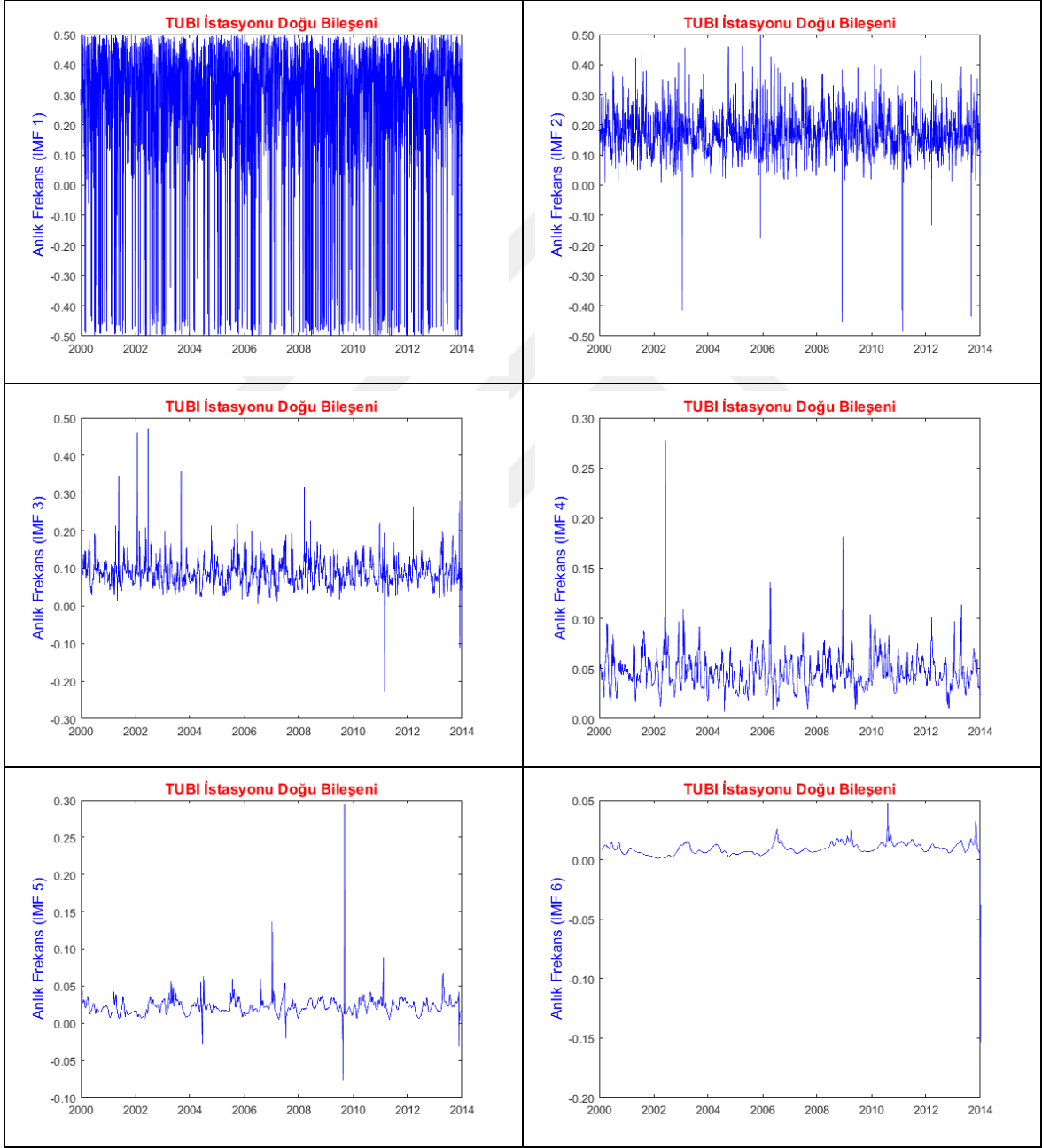
Şekil 45'in devamı



TUBI istasyonu Doğu koordinatlarında IMF3, IMF5 ve IMF6 bileşeninde anlamsız anlık frekanslar gözlenmiştir. IMF4, IMF7 ve IMF8 bileşenlerinde tüm frekanslar anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 34., Şekil 46.).

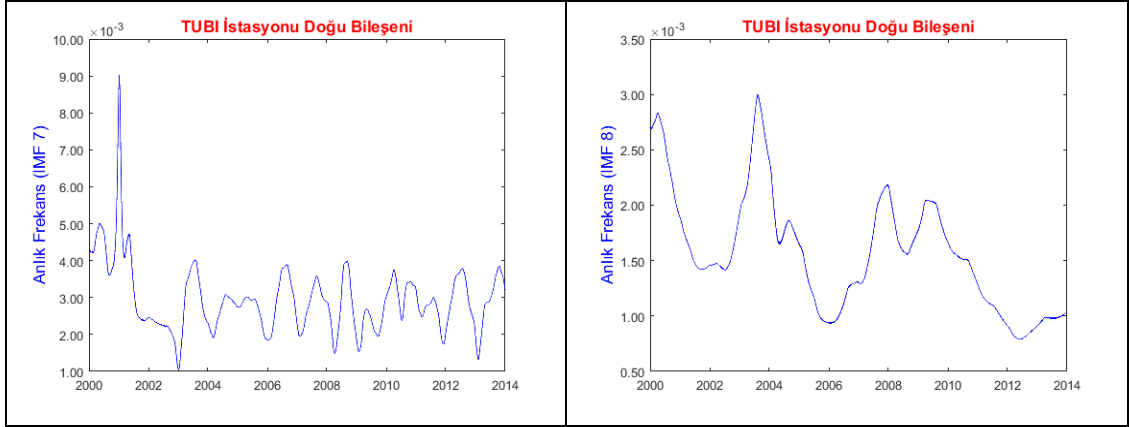
Tablo 34. TUBİ doğu bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları

TUBİ İstasyonu Doğu Bileşen	
IMF	Anlamsız Anlık Frekanslar Gözlenen Zaman Aralıkları
IMF3	2010 ile 2012 yılları arasında, 2014 yılında
IMF5	2004 yılında, 2006 ile 2010 yılları arasında, 2014 yılında
IMF6	2014 yılında



Şekil 46. TUBİ istasyonu doğu koordinatlarda anlık frekanslar

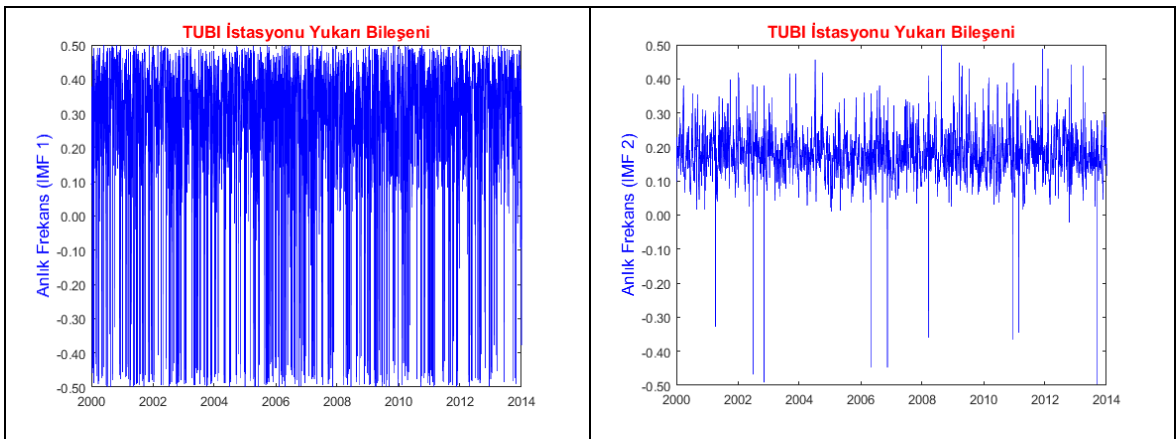
Şekil 46'nın devamı



TUBI istasyonu Doğu koordinatlarında IMF3, IMF5 ve IMF7 bileşeninde anlamsız anlık frekanslar gözlenmiştir. IMF4, IMF6 ve IMF8 bileşenlerinde tüm frekanslar anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 35., Şekil 47.).

Tablo 35. TUBI yukarı bileşende anlamsız frekans bulunan IMF ve zaman aralıkları

TUBI İstasyonu Yukarı Bileşen	
IMF	Anlamsız Anlık Frekanslar Gözlenen Zaman Aralıkları
IMF3	2000 ile 2002 yılları arasında
IMF5	2000 ile 2002 yılları arasında
IMF7	2012 ile 2014 yılları arasında



Şekil 47. TUBI istasyonu yukarı koordinatlarda anlık frekanslar

Şekil 47'nin devamı



### 3. BULGULAR VE İRDELEMELER

ANKR, İSTA ve TUBI istasyonları koordinat zaman serileri için yapılan çalışmaların sonuç ve bulguları bu bölümde detaylıca irdelenmiştir.

- İstasyonlarda Uyuşumsuz Ölçülerin İrdelenmesi

Koordinat zaman serisi grafiklerinde belirgin sıçramalara neden olan kaba hatalar özellikle ANKR istasyonunda gözlenmiştir. Çeşitli şekilde elde edilen veri gruplarında uyumsuz ölçülerin de varlığı söz konusu olmaktadır. Bu nedenle uyumsuz ölçüler IGS istasyonları koordinat serilerinde uygulanan *k-sigma* yöntemi ile ANKR istasyonunda 57 günlük, İSTA istasyonunda 26 günlük, TUBI istasyonunda 29 günlük olmak üzere tespit edildi. Tespit edilen bu ölçülerin meydana gelmesinde çevresel veya depremsel olaylar etkili olmuş olabilir.

- İstasyonlarda Veri Kesikliklerinin İrdelenmesi

Koordinat serilerinde donanımsal veya tektonik olaylar gibi sebeplere bağlı olarak günlük, aylık ve yıllık düzeyde veri alınamama durumu söz konusu olmuştur. Zaman serisi grafiklerinde boşlukların meydana gelmesi bu durumdan kaynaklanmıştır. Günlük düzeyde veri kesiklikleri grafiklerde açıkça gözlenmemiştir. Ancak, aylık ve yıllık düzeyde veri kesiklikleri grafiklerde belirgin ortaya çıkmıştır. Koordinat serilerinde, veri kesikliklerinin bir aydan fazla yaşandığı zaman noktaları grafiklerde detaylıca gösterilmiştir. IGS istasyonlarında bir aydan fazla veri kesiklikleri irdelendiğinde ANKR istasyonunda yaklaşık 20 yıllık veride 9 zaman noktası, İSTA istasyonunda yaklaşık 15 yıllık veride 2 zaman noktası ortaya çıkarılmıştır. Belirlenen bu veri kesikliklerinin genellikle yaz aylarında meydana geldiği tespit edilmiştir. TUBI istasyonunda bir aydan fazla veri kesikliği bulunmamıştır. IGS istasyonlarında veri kesiklikleri tespit edildikten sonra uyumsuz ölçüler veriden ayıklanmıştır. Uyuşumsuz ölçülerin de seriden ayıklanması veride daha fazla boşluğa sebep olmuştur. Hem uyumsuz ölçüler hem de veri kesiklikleri dikkate alındığında ANKR istasyonunun diğer istasyonlara göre kötü performanslı olduğu söylenebilir. Diğer taraftan TUBI istasyonunun da diğer istasyonlara göre daha iyi performanslı olduğunu söylenebilir.

- İstasyonlarda Otokorelasyon Yaklaşımının İrdelenmesi

Koordinat zaman serilerinin doğrusal veya durağan olup olmadığını anlamanın en basit yolu zaman serisi grafiklerinin çizdirilmesidir. Verilerin çizdirilen grafiklerinde durağan özellikler gözlenmemiştir. Çünkü seriler doğrusal veya doğrusal olmayan yönde artan veya azalan şekilde periyodik salınım özelliği göstermiştir. Serilerin durağan olmadığını, trend ve mevsimsel özellikler içerdiğini ortaya koymak için ayrıca otokorelasyon analizi yapılmıştır.

Koordinat serilerinde doğrusal trend giderilmeden önce ilk olarak 30 günlük gecikme değerine göre otokorelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Yapılan hipotez testlerinin sonucunda otokorelasyon katsayıları anlamlı bulunmuştur. Daha yüksek gecikmelerde otokorelasyon katsayılarının göstereceği özellikleri incelemek için 360 günlük gecikme dönemine göre de otokorelasyon analizi yapılmıştır. Elde edilen bulgularda, yüksek gecikmelerde otokorelasyon katsayılarının 30 günlük gecikme sürecindeki gibi doğrusal yönde azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, gecikme süreci arttırıldığında otokorelasyon değerlerinin daha yavaş bir şekilde azaldığını da söylemek mümkün olmuştur. Daha sonraki işlemlerde, doğrusal trend çıkarılmış veriler üzerinde otokorelasyon katsayıları 360 günlük gecikmeye göre hesaplanmıştır. Burada, özellikle trend etkisi altında kalan mevsimselliği grafiksel olarak daha açık şekilde ortaya koymak amaçlanmıştır. Nitekim, verilerde doğrusal trend giderildiğinde hesaplanan otokorelasyon katsayılarında periyodik değişimlerin meydana geldiği, zaman içinde düzenli ve sistematik bir yapının ortaya çıktığı gözlenmiştir.

- İstasyonlarda Doğrusal Regresyon Model Sonuçlarının İrdelenmesi

Koordinat zaman serilerinde, istasyonların her bileşenin trendini ortaya çıkarmak için doğrusal regresyon modeli uygulanmıştır. Bu model için kurulan hipotez testlerinin sonucunda verilerde 0.05 yanılma olasılığı içerisinde doğrusal yönde anlamlı değişimler elde edilmiştir. Bu noktada, bölüm (2.1.4)'deki Tablo 13, Tablo 14, Tablo 15 incelendiğinde değişim miktarını veren  $a_1$  regresyon katsayı için özellikle test büyüklüğü belirtilmiştir. Çünkü trendi ortaya koymak için temel parametre  $a_1$  regresyon katsayısına bağlıdır.

Doğrusal regresyon sonucunda elde edilen eğim değerlerinin sıfıra çok yakın olmadığı, zamana göre koordinatlardaki değişimin yaklaşık % 98 düzeyinde olduğu; ayrıca değişim değerlerinin ortalama hatalarının ANKR istasyonunda yaklaşık 2mm, ISTA istasyonunda yaklaşık 1mm, TUBI istasyonunda ise yaklaşık 1 mm arasında değiştiği gözlenmiştir (Tablo 36).

Tablo 36. İstasyon bileşenlerinde doğrusal trend ve ortalama hatalar

İstasyon	Bileşen	Eğim (Trend) $a_1$ (m)	Ortalama Hata $m_{a_1}$ (mm)
ANKR	Kuzey	-0.9871	2
	Doğu	-0.9820	2
	Yukarı	0.9893	1
İSTA	Kuzey	-0.9970	1
	Doğu	0.9985	1
	Yukarı	0.9886	2
TUBI	Kuzey	-0.9967	1
	Doğu	0.9949	1
	Yukarı	0.9764	3

Doğrusal regresyon modelinin bölüm (2.1.5)'de açıklandığı üzere yarım yıllık şeklinde TUBI istasyonunun Yukarı bileşene uygulanması sonucunda genellikle eğim değerlerinin yaklaşık % 60-% 90 aralığında, bu eğim değerlerinin ortalama hatalarının ise genellikle 3 cm - 7 cm aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Koordinat zaman serilerinde doğrusal regresyon modelinin uzun dönemli ve yarım yıllık uygulanması sonucu elde edilen bulgular karşılaştırıldığında, veri uzunluğu arttıkça eğim değerlerinin ortalama hatalarının daha düşük düzeyde çıktığı ve ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Bu bulgu, bölüm (2.1)'de açıklanan Blewitt ve Lavalley (2002) önerisini desteklemektedir. Ayrıca, uzun zamanlı verilerde mevsimsellik etkisini ortadan kaldırmak için yarım yıllık doğrusal regresyon modelinin uygulanmasının yeterli olduğu görülmüştür.

- Hareketli Ortalama Yöntemi ile Trend Analizinin İrdelenmesi

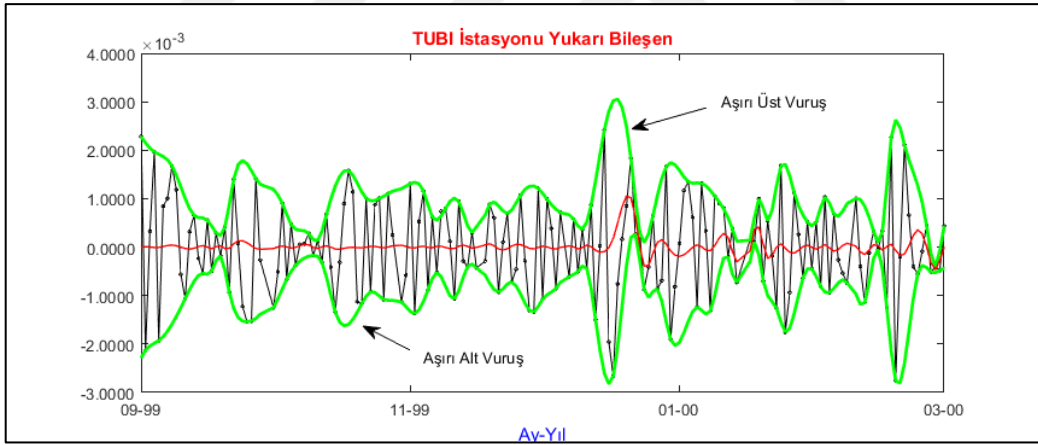
Koordinat zaman serilerinde, mevsimsel ve rassal etkileri azaltarak trendi ortaya çıkarmak için hareketli ortalama yöntemi uygulandı. Koordinat verileri uzun dönemli olduğu için dalga uzunluklarına göre kaçı hareketli ortalama yapılacağını belirlemek gibi zorlukla karşılaşmıştır. Ancak, genellikle mevsimlik etkilerin çeyrek yıllık, yarım yıllık ya da yıllık olarak meydana geldiği dikkate alınarak koordinat serileri üzerinde 180 günlük ve 300 günlük hareketli ortalama uygulandı. Elde edilen sonuçlarda ise 300 günlük hareketli ortalamanın mevsimsel etkileri daha fazla azaltarak seriyi yumuşattığı ve trendi ortaya çıkardığı görülmüştür.

- EMD Yöntemi ile Trendin İrdelenmesi

EMD yöntemi, doğrusal ve durağan olmayan serileri kendi içsel özelliklerine göre belli matematiksel temellere dayandırmadan analiz etmektedir. Bu yöntem, koordinat serilerinde uygulanmış ve elde edilen IMF bileşen sayısı 10-15 sayısı arasında değişmiştir. IMF elde

etmek için uygulanan eleme işlemi, (40) eşitliğinde ifade edilen standart sapma değeri, 0.3 olarak belirlenen öncül standart sapma değerinden küçük oluncaya kadar devam ettirilmiştir. Buna bağlı olarak elde edilen IMF bileşenlerinin, durdurma kriteri olan 0.3 değerinden küçük standart sapmalara sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, IMF'lerin genel ortalamaları sıfır olarak bulunmuştur. IMF bileşenlerinden IMF1, IMF2, IMF3 ve IMF4 yüksek frekans özelliği göstermiştir. Genellikle IMF5 bileşeninden sonra frekans özelliği azalmıştır. Dolayısıyla EMD yönteminin verileri yüksek frekansdan düşük frekansa göre filtrelediğini söylemek mümkündür. Ayırıştırma işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen doğrusal olmayan artıklar trend olarak değerlendirilmiştir.

Eleme işleminde, kübik spline uygulanması sonucunda oluşturulan zarfların birbirine çok yakın olması modların birbirine karışma ihtimalini ortaya çıkarmaktadır. Sinyalde mod karışımı veride bulunan boşluklardan kaynaklanabilir. Bu durum veride fiziksel anlamsızlığa sebep olabilmektedir. Yöntemde, mod karışımının yanı sıra kübik splinelerin neden olduğu aşırı üst vuruşlar ve alt vuruşlarda meydana gelebilmektedir (Şekil 48.).



Şekil 48. Koordinat serilerinde aşırı üst vuruş ve alt vuruşlar

- İstasyonlarda Hilbert Dönüşümünün İrdelenmesi

Hilbert Dönüşümü doğrusallık ve durağanlık şartını aramaksızın tek boyutlu neredeyse tüm fiziksel ve stokastik süreçlerde zamana bağlı anlık frekans ve genlik değerlerini kestirebilen bir dönüşüm yöntemidir. Ancak bu dönüşümün sonucunda anlamsız anlık frekanslar elde edilebilir. Koordinat zaman serilerinde EMD yönteminden elde edilen IMF bileşenlerine hilbert dönüşümü uygulanması ve anlık frekansların hesaplanması sonucunda anlamsız anlık frekanslar tespit edilmiştir. Anlamsız anlık frekanslar, özellikle IMF1 ve IMF2 bileşenlerinde daha fazla gözlenmiştir.



- Trend Belirlemek için Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması

Bu çalışmada trend belirlemede üç farklı yöntem kullanılmıştır. Literatür değerlendirmesi ve uygulanan yöntemlerin sonuçları dikkate alındığında verilerin genel eğilimi doğrusal artan ya da azalan yönde ise uygulanacak en basit yöntem hareketli ortalama yöntemidir. Ancak hareketli ortalama yöntemi verilerdeki değişim miktarını bir modelleme sonucu ortaya koymamaktadır. Bu durumda uygulanacak ikinci basit yöntem doğrusal regresyon modelidir. Koordinat serileri üzerinde basit doğrusal regresyon yöntem uygulandığında sonuçları istatistiksel olarak incelemek mümkündür. Nitekim bu doğrultuda hipotez testlerinden yararlanılmaktadır. Basit doğrusal regresyon modelinde uygulanan hipotez test sonuçlarının bazılarında anlamsız değişimler elde edilmiştir. Bu durumda, koordinat zaman serilerinde doğrusal bir değişimden bahsedilemez. Doğrusal ve durağan olmayan zaman serilerinde trend belirlemede çoklu regresyon modeli uygulanabilirdi. Ancak, bunun yerine EMD yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, türev özelliği kullanılarak veriler kendi içsel özelliklerine göre ayrıştırılmaktadır. Belli bir matematiksel modele bağlı olarak çözüm yapılmamaktadır. Dolayısıyla, doğrusal ve durağan olmayan zaman serilerinde trend belirlemek için kullanılan EMD yönteminin verilerin içsel özellikleri taşıması nedeniyle diğer yöntemlere göre daha üstün nitelikli olduğu söylenebilir. Ancak, EMD yönteminin matematiksel ifade bakımından net ve keskin olmayışı yöntemi deneysel olarak ortaya koymuştur.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

IGS istasyonlarının görevleri dikkate alındığında bu noktalarda zamanla meydana gelen değişimlerin gelecekte yapılacak çalışmaları etkileyeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle verilerde kişisel, donanımsal veya çevresel etkilerden kaynaklı hatalar olabildiğince minimum düzeyde tutulmalıdır. Bunun için aletlerin kalibrasyonları, güvenilirlikleri kontrol edilmelidir. Koordinat zaman serileri ile analiz edilen istasyonlardan ANKR istasyonu gibi kötü performanslı olan istasyonlarda problemlerin kaynağı tespit edilmeli, gerekirse istasyon konum alıcısı veya anteni değiştirilmelidir. Ayrıca istasyonların kurulacağı bölgelerin fay özellikleri açısından detaylıca araştırılmasına ve zeminlerinin sağlam olmasına dikkat edilmelidir. Böylece verilerde oluşabilecek kesiklikler, uyumsuz ölçüler azaltılarak analiz sonuçlarının daha hassas elde edilmesi sağlanabilir. İstasyonların zemine tesis edilmesinden sonra ise sabitliğinin zamana göre kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun için günlük bazda sürekli bir faaliyet olarak IGS istasyonlarının analizleri yapılmalıdır. Böylece, depremsel araştırmalar için de daha güvenilir bilgiler sunulması olanaklı hale gelir.

Koordinat zaman serilerinde uygulanan doğrusal regresyona modelleri ile gelecek için tahmin yapmak mümkündür. Her bir istasyon için belirlenen regresyon katsayıları model denkleminde yerine konulduğunda gelecekte istenilen herhangi bir zamanda koordinat değerinin hangi değeri alacağı bulunabilir. Hesaplanan değer gelecekte almış olduğu değer ile karşılaştırması da yapılarak uygulanan modelin doğruluğu kontrol edilebilir.

Verilerde uzun süreli kesikliklerin olması yapılacak trend analizlerinde sonuçların hassasiyetini olumsuz etkileyebilir. Veri kesikliği yaşanan zaman aralıkları enterpolasyon yöntemleri ile doldurulsa dahi gerçek veri özelliklerine sahip olmaz. Dolayısıyla doğrusal regresyon uygulanacak zaman serilerinde verilerin sürekli olmasına dikkat edilmelidir. Böylece daha güvenilir sonuçlara erişmek mümkün olacaktır.

Koordinat zaman serilerinde EMD yöntemi ile IMF bileşenlerini elde etmek için eleme işlemi durdurma kriteri standart sapma 0.3 değerinden küçük oluncaya kadar devam ettirilmiştir. Ancak eleme işleminin durdurulmasına yönelik bu kriter gelecekteki çalışmalar için  $3 \leq S \leq 5$  arasında veya  $S=10$  olacak şekilde seçilebilir.

EMD yönteminin önemli bir dezavantajı mod karışımıdır. IMF bileşenlerinin fiziksel olarak anlamsız olması bu durumdan kaynaklanmış olabilir. EMD yönteminde meydana gelebilen mod karışımı problemini çözmeye yönelik literatürde Ensemble EMD (EEMD) yönteminden bahsedilmektedir (Torun, 2012) . EEMD yöntemi, beyaz gürültülü serinin istatistiksel özelliklerini inceleyen çalışmalardan elde edilen bulgulara dayalı olarak geliştirilmiştir. Doğrusal ve durağan olmayan zaman serilerinde uygulanabilen EEMD yöntemi detaylı şekilde irdelenip yapılacak çalışmalar için veri grupları üzerinde uygulanabilir.

Zaman serilerinde trend ve mevsimsel etkiler önemli bileşenlerdir. Yeryüzü hiçbir zaman durağan olmadığı ve çeşitli jeofiziksel süreçlerden etkilendiği için bu bileşenlerin başka parametrelerle ilişkisi ortaya konulabilir. (Örneğin, koordinat serilerinde mevsimsellik; sıcaklık, basınç gibi iklimsel parametrelerle ilişkisi ölçülebilir.) Ancak mevsimsel salınımların altında yatan dinamik olayların daha iyi anlaşılması için spektral analizler uygulanabilir. Spektral analiz ile periyodik bileşenlerin analiz edilmesi için ihtiyaç duyulan frekans değerleri bu çalışmada hilbert dönüşüm ile anlık olarak hesaplanmıştır.

Zaman serilerinin frekans bölgesine dönüştürülmesi, çoğunlukla zamanla değişmeyen genlik ve frekans değerleri veren Fourier dönüşümüne dayanmaktadır. Bir sinyal Fourier dönüşümü ile örneklendiğinde, serinin uzunluğuna ve örnekleme aralığına bağlı olarak zaman bölgesinde periyodik olan alt sinyalleri belirler. Ancak Fourier analizi doğrusal ve durağan olmayan veri yapılarında kullanır. Ayrıca, zamandan bağımsız olduğu için verinin zamanla değişen fiziksel özelliklerini ortaya çıkaracak frekanslar elde edilemez. Periyodik bileşenlerin analiz edilmesinde hilbert dönüşümünden elde edilen anlık frekans değerleri, fourier dönüşümünden hesaplanacak frekans değerleri ile karşılaştırılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Blewitt, G., and Lavallee, D., 2002. Effect Of Annual Signals On Geodetic Velocity, Journal Of Geophysical Research, 107, B7, 2145
- Bozkurt, H., 2007. Zaman Serileri Analizi, Ekin Yayınevi
- Bölük, E., 2012. Zaman Serisi Modellerinin Belirlenmesinde Artıklara Uygulanan Tanı Teknikleri Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir
- Chen, Y., and Feng, M.Q., 2003. A Technique To Improve Empirical Mode Decomposition In The Hilbert Huang Transform, Earthquake Engineering And Engineering Vibration, June
- Demir, Y., 2006. GPS Anteni Faz Merkezi Parametrelerinin Baz Ölçüleriyle Test Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Dong, D., Fang, P., Bock, Y., Cheng, M.K., and Miyazaki, S., 2002. Anatomy Of Apparent Seasonal Variations From GPS-Derived Site Position Time Series, Journal Of Geophysical Research, 107, B4
- Elbi, M.D., 2013. Hilbert Huang Dönüşümü ile Zaman Serilerindeki Gürültü Bileşenlerinin Ayırıştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli
- Feng, M., YuanXi, Y., AnMin, Z., and YiFan, J., 2016. Analysis Of Seasonal Signals And Long-Term Trends In The Height Time Series Of IGS Sites In China, Science China Earth Sciences, June, 59
- Fisher, N., 2015. Using Empirical Mode Decomposition To Study Periodicity And Trend In Extreme Precipitation, University Of Vermont, Graduate College Dissertations And Theses
- Giron-Sierra, J.M., 2016. Digital Signal Processing With Matlab Examples, Volume 1: Signals And Data, Filtering, Non-Stationary Signals, Modulation, Springer
- Gökalp, E., 1994. GPS Ölçme Sistemini Geliştirme Amaçlı Yöntem Geliştirme, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Gualandi, A., Avouac, J.P., Galetzka, J., Genrich, J.F., Blewitt, G., Adhikari, L.B., Koirala, B.P., Gupta, R., Ubreti, B.N., Sitaula, B.P., and Zeng, J.L., 2016. Pre-and Post Seismic Deformation Related to The 2015 Mw 7.8 Gorkha Earthquake, Nepal, Tectonophysics

- Gürsoy, M.İ., Yılmaz, A.S., ve Üstün, S.V., 2017. Güç Kalitesi Bozulmalarının Hilbert Huang Dönüşümü ve Gabor Dönüşümü Kullanarak Sınıflandırılması, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Adıyaman Üniversitesi
- Hong, L., 2010. Decomposition and Forecast for Financial Time Series with High Frequency Based on Empirical Mode Decomposition, Energy Procedia
- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., and Liu, H. H., 1998. "The Empirical Mode Decomposition and The Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-Stationary Time Series Analysis", Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 454, 903 – 995
- Huang, N.E., and Shen, S.S.P., 2005. Hilbert-Huang Transform and Its Application, World Scientific
- Huang, N.E., Wu, Z., Long, S.R., Arnold, K.C., Chen, X., and Blank, K., 2009. On Instantaneous Frequency, Advance In Adaptive Data Analysis
- Kahveci, M., 2010. GPS/GNSS Gözlemlerini Değerlendirme Yöntemlerinde Son Gelişmeler, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 102
- Kara, T., 2009. Sabit GPS İstasyonlarında Zaman Serileri Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Kurt, A.İ., 2009. Sabit GPS İstasyonları Zaman Serileri Analizinden Yararlanarak Kampanya Tipi GPS Ölçülerinin Hızlarının İyileştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Lu, J., Chen, X., and Feng, S., 2016. A GPS Time Series Prediction Model Based On CEEMD, Journal Of Advances In Computer Networks, 4, 1, March
- Lyubushin, A., and Yakovlev, P., 2014. Properties Of GPS Noise At Japan Islands Before and After Tohoku Mega-Earthquake, Springer Plus
- Mao, A., Harrison, C.G.H., and Dixon, T.H., 1999. Noise In GPS Coordinate Time Series, Journal Of Geophysical Research, 104, B2
- Mhamdi, F., Saidane, M.J., and Poggi, G.M., 2010. Empirical Mode Decomposition For Trend Extraction. Application To Electrical Data
- Oktar, O., ve Erdoğan, H., 2016. GNSS İstasyonları Lineer Hareketlerinin Zaman Serileri Analizi ile Belirlenmesi, HKMO-Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Ekim, İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Özek, T., 2010. Zaman Serisi Modelleri Üzerine Bir Simülasyon Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

- Özdemir, S., 2014. Analysis Of GNSS Time Series Obtained From Turkish National Permanent GNSS Stations Network-Active System Using Hilbert Huang Transform, A Thesis Submitted To Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University, June
- Pegram, G.G.S., Peel, M.C., and McMahon, T.A., 2008. Empirical Mode Decomposition Using Rational Splines: An Application To Rainfall Time Series, Proceeding Of The Royal A Society, Şubat
- Sevüktekin, M. ve Nargeleşkenler, M., 2005. Zaman Serileri Analizi, 1. Basım, Nobel Yayın
- Simav, Ö., Demir, C, Simav, V., ve Yıldız, H., 2006. Sabit GPS İstasyonları Koordinat Zaman Serileri Analizleri
- Şanlı, D.U., 2002. GPS Zaman Serilerinin Analiz ve Türkiye İçin Değerlendirmeler, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK), 2002 Bilimsel Toplantısı, Tektonik Ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Ekim, İznik, Bildiriler ve Konuşma Tutanakları Kitabı: 216-225
- Şanlıoğlu, İ., ve İnal, C., 2004. IGS Ürünlerinin Tanıtımı, IGS Ürünlerine Erişim ve Bir Uygulama, Teknik-Online Dergi, 3, 1
- Şişman, Y., Bektaş, S., ve 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, Mayıs, Ankara
- Tanır, E., Felsenstein, K., and Heinkelmann, R., 2004. Detection Of Outliers From The Bayesian Point Of View In Temperature Time Series At “NRAO85 3” VLBI Station
- Teferle, F.N., Williams, S.D.P., Kierulf, H.P., Bingley, R.M., and Plag, H.P., 2008. A Continuous GPS Coordinate Time Series Analysis Strategy For High-Accuracy Vertical Land Movements
- Tiryakioğlu, İ., Uğur, M.A., Yılmaz, M., Özkaymak, Ç, ve Yavaşoğlu H., 2017. 2011 Van Depremi Sonrası Bölgenin GNSS Hızları, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim, Eskişehir, Anadolu Üniversitesi, Bildiriler Kitabı:291
- Torun, E., 2012. HHT Analizine İlişkin Yeni Yaklaşımlar: Sermaye Piyasası Üzerine Bir Uygulama, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir
- Uğurlu, E., 2009. Durağanlık ve Birim Kök Sınamaları, Ders Notları
- Ulukavak, M., 2010. IGS İstasyon Noktalarının Sabitliğinin Araştırılması: TRAB IGS Noktası Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

- Uygur, S., 2012. GNSS Antenlerinin Kalibrasyonları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Yıldız, H., 2005. Mareograf ve Sabit GPS Verileri İle Uzun Dönemli Mutlak Deniz Seviyesi Değişimlerinin Araştırılması, , Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Yıldız, H., Çırmık A., Pamukçu O., Gönenç T., ve Kahveci M., 2017. Sabit GPS Koordinat Zaman Serilerinden Deneysel Mod Ayırıştırma Yöntemi İle Deprem Sinyallerinin Ayırıştırılması
- Wu, Z., and Huang, N.E., 2004. A Study Of The Characteristics Of White Noise Using The Empirical Mod Decomposition Method., Proc. Roy. Soc. London. 460A: 1597-1611
- Wu, Z., Huang, N.E., Long, S.R., and Peng, C.K., 2007. On The Trend, Detrending And Variability Of Non-Linear, And Non-Stationary Time Series
- Xu, G., 2007. GPS Theory, Algorithms and Applications, Second Edition
- URL-1: <http://www.igs.org/network> ,1 Şubat 2017
- URL-2: <http://www.igs.org/about/data-centers>, 1 Şubat 2017
- URL-3: [http://atlas.selcuk.edu.tr/1205301/DERS\\_SUNULARI/gps\\_hata\\_kaynaklar%C4%B1.pdf](http://atlas.selcuk.edu.tr/1205301/DERS_SUNULARI/gps_hata_kaynaklar%C4%B1.pdf), 12 Nisan 2017
- URL-4:<http://readgur.com/doc/458687/dura%C4%9Fan-ve-dura%C4%9Fan-olmayan-zaman-serileri>, 10 Mart 2017
- URL-5: <http://slideplayer.biz.tr/slide/3323677/>, 10 Mart 2017

## ÖZGEÇMİŞ

17 Temmuz 1992 yılında Trabzon’ da doğdu. Lise eğitim-öğretim yılını Maçka Mehmet Akif Ersoy Anadolu Lisesinde tamamladı. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim dalında okumaya hak kazandı. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim dalında Tezli Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı. Yüksek Lisans döneminde “Bölgesel GNSS Ağı ile Ekstrem Hava Olayları Tahminlerinin Güçlendirilmesi” adlı TÜBİTAK projesinde bursiyer olarak görev aldı.

