

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ KAMPANYA TİPİ ÖLÇÜLERİNDEN ELDE  
EDİLEN HIZLARIN DOĞRULUK ANALİZİ**

**YENER TÜREN**

**DOKTORA TEZİ  
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
GEOMATİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. DOĞAN UĞUR ŞANLI**

**İSTANBUL, 2019**

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ KAMPANYA TİPİ ÖLÇÜLERİNDEN ELDE  
EDİLEN HIZLARIN DOĞRULUK ANALİZİ**

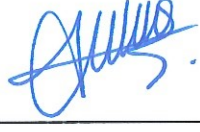
Yener TÜREN tarafından hazırlanan tez çalışması 22.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Doğan Uğur ŞANLI  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Doğan Uğur ŞANLI  
Yıldız Teknik Üniversitesi




---

Prof.Dr. Cüneyt AYDIN  
Yıldız Teknik Üniversitesi




---

Doç.Dr. Tevfik ÖZLÜDEMİR  
İstanbul Teknik Üniversitesi




---

Prof.Dr. Uğur DOĞAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi



---

Doç.Dr. Serdar EROL  
İstanbul Teknik Üniversitesi



---

## ÖNSÖZ

Önsöze başlarken eskiden duyduğum kısa bir öyküyü paylaşmak istedim.

Bir zamanlar, bir delikanlı, bir bilgeye talebe olmak istemiş. “Bana talebe olmak zordur, korkarım sen bunu başaramazsın” demiş bilge. Genç kararlı bir şekilde kendisinden ne isterse yapmaya hazır olduğunu söylemiş. Bilge ona, “Bir yıl boyunca kim seni kızdırmaya çalışırsa ona bir lira vereceksin” dediği için bir yıl boyunca kendisini öfkelenmeye çalışan insanlara para vermiş ve bir yıl sonra yeni vazifesine hazır olduğunu bildirmiş. “Önce şehre git ve bana biraz yemek al!” diyen bilge, genç yola çıkınca dilenci kıyafetine bürünüp bildiği kısa bir yoldan, gencin geçeceği yola oturup onu beklemiş. Tam genç yanından geçerken, bilge ona yüksek sesle hakaret etmeye başlamış. Genç öfkelenmenin tam aksine sakin bir şekilde: “Ne kadar harika! Tam bir yıl bana hakaret eden herkese para ödemek zorunda kaldım; şimdi tek kuruş ödemek zorunda değilim!” demiş. Bunun üzerine, üzerindeki dilenci kıyafetini çıkararak ve yüzünü gence gösteren bilge, gence şöyle demiş: “Başkalarının ne dediğine aldırmış etmemeyi başaran bir kişi, bilgeliğin yolunda adım atmış demektir. Eminim ki, sen bundan böyle hakaretlere aldırmış etmeyeceksin ve doğru bildiğin yoldan asla şaşmayacaksın.”

Kıssadan hisse, eğitim kariyerimin zirve noktasına doğru ilerlerken karşılaştığım tüm zorluklara karşı beni hiçbir zaman yalnız bırakmayıp daima motive ettiği ve yolumu hep aydınlattığı için, değerli danışman hocam ve bilge kişim Sayın Prof.Dr. D.Uğur ŞANLI’ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu süreçte, tezi olumlu katkılarıyla yönlendirdikleri için doktora tez izleme komitesinin değerli üyeleri Sayın Prof.Dr. Cüneyt AYDIN ve Sayın Doç.Dr. M. Tevfik ÖZLÜDEMİR’e çok teşekkür ederim.

GPS zaman serisi arşivlerini araştırma camiasına açtıkları için NASA-JPL’ye ve özel harita yapımı için açık kaynak kod sunan GMT’ye müteşekkirim. GIPSY-OASIS II yazılımının değerlendirmesinde katkı sağlayan Sayın Dr. A.Gökhan HAYAL’e ve doktora eğitimi süresince dayanışma içinde olduğumuz Sayın Dr. Tuna EROL’a çok teşekkür ederim.

Varlığı ile her zaman bana destek olan sevgili ağabeyim ve değerli meslektaşım Kadastro İl Müdürü Sayın Zafer TÜREN’e çok teşekkür ederim.

Ve bugünlere gelmemde karşılıksız emekler veren, biricik anne ve babama şükranlarımı sunar, doktora tezimi minnet duygularıyla kendilerine atfederim.

Temmuz, 2019

Yener TÜREN

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ.....	1
1. Literatür, Amaç ve Hipotez.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	6
1.3 Hipotez.....	7
<b>BÖLÜM 2</b>	
TANIMLAR VE KAVRAMLAR.....	9
2. Jeodezik Temel Kavramlar.....	9
2.1 Uydu Jeodezisi ve GNSS.....	10
2.2 Konum Belirleme ve Kampanya Ölçme Yöntemleri.....	14
2.2.1 GNSS ile Konum Belirleme.....	16
2.2.1.1 GNSS Koordinat Sistemleri ve Datum.....	20
2.2.1.2 Statik Ölçmeler.....	23
2.2.1.3 Diğer Yöntemler.....	26
2.2.1.4 GNSS Ölçme Yönteminin Hata Kaynakları.....	28
2.3 Uluslararası Kuruluşlar.....	31
2.3.1 Uluslararası Yeryüzü Dönüklük ve Referans Sistemleri Servisi (IERS) .....	31

2.3.2	Uluslararası GNSS Servisi (IGS).....	34
2.3.3	Scripps Yörünge ve Sürekli İstasyon Merkezi (SOPAC) .....	36
2.3.4	Kabuk Hareketleri Veri Bilgi Sistemi (CDDIS) ve Jet Yürütme Laboratuvarı (JPL) .....	36
<b>BÖLÜM 3</b>		
GNSS VERİLERİNİN ANALİZİ.....		38
3.	GNSS Veri ile Sinyal Yapıları ve İşlenmesi .....	38
3.1	RINEX Yapısı ve Dosya Tipleri.....	38
3.2	Sinyal Yapıları .....	42
3.3	Bilimsel Yazılımlar .....	44
3.3.1	GIPSY-OASIS Yazılımı.....	45
3.3.1.1	GIPSY Örnek Komutlar .....	45
3.4	GNSS Ölçülerinin Değerlendirmesi .....	48
3.5	Zaman Serileri .....	51
3.6	Periyodiklik, Periyot ve Frekans.....	54
<b>BÖLÜM 4</b>		
SPEKTRAL ANALİZ YÖNTEMLERİ .....		56
4.	Güç Spektrumu ve Regresyon Analizi .....	56
4.1	Fourier Analizine Giriş.....	57
4.1.1.1	Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT).....	59
4.2	Regresyon Analizi.....	61
4.2.1.1	En Küçük Kareler Tahmini (LSE) .....	62
<b>BÖLÜM 5</b>		
UYGULAMA .....		64
5.	Giriş ve Amaç .....	64
5.1	Birinci Bölüm .....	65
5.1.1	Nokta Araştırması .....	65
5.1.2	GPS Verilerinin Bilimsel Yazılımda Değerlendirilmesi.....	66
5.1.3	Zaman Serilerinin Elde Edilmesi.....	66
5.1.4	Fourier Analizinin Uygulanması .....	67
5.1.5	En Küçük Karelerle Hız Kestirimi ve Test Sonuçları.....	72
5.2	İkinci Bölüm.....	79
5.2.1	Nokta Araştırması .....	79
5.2.2	GPS Verilerinin Bilimsel Yazılımda Değerlendirilmesi.....	79
5.2.3	Zaman Serilerinin Elde Edilmesi.....	80
5.2.4	En Küçük Karelerle Hız Kestirimi ve Test Sonuçları.....	81

## BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER .....	96
6. Sonuç Bölümüne Giriş .....	96
6.1 Sonuçların Tartışılması .....	97
6.2 Beklenti ve Öneriler .....	99
KAYNAKLAR .....	102
EK-A	
11 Adet İstasyon için 16 Yıllık Zaman Serileri .....	107
EK-B	
11 Adet İstasyon için 16 Yıllık Yataya İndirgenmiş Terndler .....	119
EK-C	
11 Adet İstasyon için 15 Yıllık Periyodiyagramlar .....	153
EK-Ç	
11 Adet İstasyon için 15 Yıllık Maksimum Periyot Değerleri .....	187
EK-D	
40 Adet İstasyon için 4 Yıllık Zaman Serileri .....	221
EK-E	
Örnek Kodlar .....	262
ÖZGEÇMİŞ .....	266

## SİMGE LİSTESİ

---

A	Düzensiz (Stokastik) Bileşen
AD	Aylık Döngü
n	North (Kuzey)
e	East (Doğu)
u	Up (Yukarı)
$S_n$	Kuzey-güney yönündeki standart sapma
$S_e$	Doğu-batı yönündeki standart sapma
$S_u$	Yukarı-aşağı yönündeki standart sapma
GD	Günlük Döngü
K	Çevrimsel (Konjonktür) Bileşen
L	Baz mesafesi
T	Trend
T	Oturum süresi
$\Delta h$	Yükseklik farkı
H	Ortametrik yükseklik
h	Elipsoidal yükseklik
M	Mevsimsel Bileşen
N	Ondülasyon
t	Oturum süresi
Lon.	Longtitude
Lat.	Latitide
$t_s$	Kod sinyalinin uydudan çıktığı an
$t_r$	Sinyalin alıcı antenine geldiği an ise
c	Işığın boşluktaki hızı
$\delta t_r$	Alıcı saati hatası
$\delta t_s$	Uydu saati hatası
$\delta_{ion}$	İyonosferik hata
$\delta_{tro}$	Troposferik hata
$\delta_{tide}$	Gel-git etkisi
$\delta_{multi}$	Faz sıçraması
$\delta_{rel}$	Relativistik etkiler
$\epsilon$	Kalıntı hataları (noise)
r	Alıcı
S	Uydu
f	Frekans
$\lambda$	Dalga boyu

## KISALTMA LİSTESİ

---

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AIUB	Astronomical Institute of the University of Bern
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BDH	Beidou
BEIDOU	Compass
BIH	Bureau International de l'Heure
BINEX	Binary Exchange
CDDIS	The Crustal Dynamics Data Information System
CDP	Crustal Dynamics Project
CORS	Continuously Operating Reference Stations
DORIS	Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite
DGPS	Differential Global Positioning System
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EGM2008	Earth Gravitational Model 2008
EKK	En küçük Kareler
EOP	Earth Orientation Parameters
FAGS	Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services
FFT	Fast Fourier Transform
GEO	Geostationary Earth Orbit
GGOS	Global Geodetic Observing System
GIPSY	GPS Inferred Positioning System
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GMT	Generic Mapping Tools
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packed Radio Service
GRS	Geocentric Reference System
HEO	High Elliptic Orbit
IAU	International Astronomical Union
ICRF	International Celestial Reference Frame
ICRS	International Celestial Reference System
IERS	International Earth Rotation and Reference Systems Service
IGS	International GNSS Service



ILRS	International Laser Ranging Service
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics
IVLBS	International Very Long Baseline Interferometer Service
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KOH	Karesel Ortalama Hata
LEO	Low Earth Orbit
LLR	Lunar Laser Ranging
LSE	Least Squares Estimation
LS-VCE	Least-squares variance component estimation
MEO	Medium Earth Orbit
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MLE	Maximum Likelihood Estimation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NAVSTAR	Navigation Satellite Timing and Ranging
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OASIS	Orbit Analysis and Simulation Software
PEO	Polar Earth Orbit
PPP	Precise Point Positioning
PP-PPP	Post Processing-Precise Point Positioning
RINEX	Receiver Independent Exchange
RMS	Root Mean Square
RMSDs	Root Mean Square Differences
RMSEEs	Root Mean Square Error of the Estimates
RTCM	The Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	Real Time Kinematic
RT-PPP	Real-Time-Precise Point Positioning
SAG	Satellite Gradiometry
SBAS	Satellite Based Augmentation Systems
SINEX	Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format
SLR	Satellite Laser Ranging
SOPAC	The Scripps Orbit and Permanent Array Center
SSA	Singular Spectrum Analysis
TCG	Temps-coordonnée géocentrique
UNAVCO	University NAVSTAR Consortium
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
VPN	Virtual Private Network
WDS	World Data System

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Jeodezi ve alt bilim dallarının sınıflandırılması [31]. ..... 10
Şekil 2. 2	Bilimsel gelişime katkı sağlayan farklı uydular [33]. ..... 11
Şekil 2. 3	Uydu yörüngelerinin sınıflandırılması [31]. ..... 12
Şekil 2. 4	Uzaktan algılama ve uydu telefonu haberleşme uyduları [31]. ..... 13
Şekil 2. 5	Astronomi, iletişim-haberleşme ve kutup uyduları [31]. ..... 14
Şekil 2. 6	Uydu jeodezisinde kullanılan farklı yöntemler [35]. ..... 15
Şekil 2. 7	GNSS bölümleri [36]. ..... 17
Şekil 2. 8	Yerküre yüzeyleri; a) Fiziksel yeryüzü b) Jeoit c) Dönel elipsoit ç) Datum. 18
Şekil 2. 9	EGM2008 jeoit yükseklikleri haritası [37]. ..... 19
Şekil 2. 10	Jeoit ve elipsoit yükseklikleri arasındaki ilişki [30]. ..... 20
Şekil 2. 11	ITRF2014 istasyon ağı [40]. ..... 21
Şekil 2. 12	ITRF2014 istasyon ağında farklı yöntemlere ait anten tipleri. .... 22
Şekil 2. 13	GNSS ile konum belirleme problemi. .... 24
Şekil 2. 14	GNSS ile konum belirleme ölçme yöntemleri [36]. ..... 25
Şekil 2. 15	Statik ölçme yöntemi [36]. ..... 26
Şekil 2. 16	TUSAGA-Aktif Ağı [43]. ..... 27
Şekil 2. 17	CORS ağı işleyişi [43]. ..... 28
Şekil 2. 18	Konum hataları. .... 28
Şekil 2. 19	GNSS temel hata kaynakları. .... 29
Şekil 2. 20	IERS organizasyon şeması [44]. ..... 33
Şekil 2. 21	ANKR istasyonuna ait IGS ürünleri [45]. ..... 35
Şekil 2. 22	IGS ağı [45]. ..... 35
Şekil 2. 23	SOPAC veri indirme arayüzü [46]. ..... 36
Şekil 2. 24	CDDIS ve JPL veri indirme arayüzleri [47]. ..... 37
Şekil 3. 1	RINEX 3 formatının GNSS uygulamaları kapsamı. .... 39
Şekil 3. 2	RINEX 3 formatı veri gözlem dosyası başlığı. .... 40
Şekil 3. 3	GNSS sinyal işleyiş yapısı. .... 44
Şekil 3. 4	GIPSY-OASIS II işleyiş yapısı. .... 48
Şekil 3. 5	Zaman serisi bileşenleri. .... 52
Şekil 3. 6	ANKR istasyonuna ait ( $d_n$ , $d_e$ , $d_u$ ) rakamsal zaman serileri. .... 53
Şekil 3. 7	ANKR istasyonuna ait yatay ve düşey bileşenler için zaman serisi. .... 53
Şekil 3. 8	Periyot ve frekans arasındaki ilişki. .... 55
Şekil 4. 1	SANT istasyonuna ait zaman serisi ve yataya indirgenmiş trend. .... 60
Şekil 4. 2	SANT istasyonuna ait FFT sonuçlarının grafiklerle gösterimi. .... 61

Şekil 4. 3	Doğrusal regresyon denklemi grafiği. ....	62
Şekil 5. 1	Uygulamanın birinci bölümü için seçilen 11 adet istasyon. ....	65
Şekil 5. 2	ONSA istasyonuna ait 16 yıllık (n, e, u) bileşenlerine ait zaman serileri... 66	
Şekil 5. 3	ONSA istasyonuna ait 16 yıllık veri boşluksuz (Kuzey, Doğu, Yukarı) bileşenleri. ....	67
Şekil 5. 4	ONSA istasyonu 16 yıllık (Yukarı) günlük, aylık ve dört aylık kampanyalar zaman serileri. ....	67
Şekil 5. 5	ONSA istasyonu 16 yıllık (Yukarı) günlük, aylık ve dört aylık kampanyalar yataya indirgenmiş trendler. ....	68
Şekil 5. 6	ONSA istasyonu 16 yıllık (Yukarı) günlük, aylık ve dört aylık kampanyalara ait periyodiyagramlar. ....	69
Şekil 5. 7	ONSA istasyonu 16 yıllık (Yukarı) günlük, aylık ve dört aylık kampanyalara ait maksimum periyotlar. ....	70
Şekil 5. 8	11 istasyona ait hız kestirimlerinin test istatistikleri.....	77
Şekil 5. 8	Uygulamanın ikinci bölümü için seçilen 40 adet istasyon.....	79
Şekil 5. 9	ONSA istasyonuna ait 4 yıllık (n, e, u) bileşenlerine ait zaman serileri. ....	80
Şekil 5. 10	ONSA istasyonu 4 yıllık (Yukarı) günlük, aylık ve dört aylık kampanya zaman serileri. ....	80
Şekil 5. 11	40 istasyona ait aylık ve dört aylık kampanya yatay hızlarının ITRF2014 yatay hızları ile karşılaştırılması. ....	90
Şekil 5. 12	40 istasyona ait aylık ve dört aylık kampanya düşey hızlarının ITRF2014 düşey hızları ile karşılaştırılması. ....	91
Şekil 5. 13	40 istasyona ait hız kestirimlerinin test istatistikleri. ....	92
Şekil 5. 14	ALIC istasyonuna ait görünüm. ....	93
Şekil 5. 15	ONSA istasyonuna ait görünüm. ....	94
Şekil 5. 16	NRIL istasyonuna ait çoklu yol kalitesi (multipath). ....	95
Şekil 5. 17	UFPR istasyonuna sinyal kesikliği seviyesi (cycle slip). ....	95
Şekil A. 1	ALGO istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016)..	108
Şekil A. 2	BJFS istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016)....	109
Şekil A. 3	GOLD istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016)..	110
Şekil A. 4	KERG istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2009). .	111
Şekil A. 5	NNOR istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2002-2016). 112	
Şekil A. 6	ONSA istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016)..	113
Şekil A. 7	PDEL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016)...	114
Şekil A. 8	SANT istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2010). .	115
Şekil A. 9	SELE istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2013)....	116
Şekil A. 10	SUTM istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2002-2013). 117	
Şekil A. 11	SYOG istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016)..	118
Şekil B. 1	ALGO istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. ....	120
Şekil B. 2	ALGO istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.....	121
Şekil B. 3	ALGO istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler... 122	
Şekil B. 4	BJFS istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. ....	123
Şekil B. 5	BJFS istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.....	124
Şekil B. 6	BJFS istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. ....	125
Şekil B. 7	GOLD istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. ....	126
Şekil B. 8	GOLD istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.....	127

Şekil B. 9	GOLD istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler... 128
Şekil B. 10	KERG istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler..... 129
Şekil B. 11	KERG istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler..... 130
Şekil B. 12	KERG istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. .. 131
Şekil B. 13	NNOR istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. .... 132
Şekil B. 14	NNOR istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler..... 133
Şekil B. 15	NNOR istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.. 134
Şekil B. 16	ONSA istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler..... 135
Şekil B. 17	ONSA istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. .... 136
Şekil B. 18	ONSA istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. . 137
Şekil B. 19	PDEL istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. .... 138
Şekil B. 20	PDEL istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. .... 139
Şekil B. 21	PDEL istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.... 140
Şekil B. 22	SANT istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler..... 141
Şekil B. 23	SANT istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. .... 142
Şekil B. 24	SANT istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. .. 143
Şekil B. 25	SELE istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler..... 144
Şekil B. 26	SELE istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. .... 145
Şekil B. 27	SELE istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. ... 146
Şekil B. 28	SUTM istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler..... 147
Şekil B. 29	SUTM istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler..... 148
Şekil B. 30	SUTM istasyonu ait dört aylık gözlemler yataya indirgenmiş trendler. .. 149
Şekil B. 31	SYOG istasyonu ait sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. . 150
Şekil B. 32	SUTM istasyonu ait aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.... 151
Şekil B. 33	SUTM istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler. . 152
Şekil C. 1	ALGO istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar..... 154
Şekil C. 2	ALGO istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar..... 155
Şekil C. 3	ALGO istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar. .... 156
Şekil C. 4	ALGO istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar..... 157
Şekil C. 5	ALGO istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar..... 158
Şekil C. 6	ALGO istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar. .... 159
Şekil C. 7	GOLD istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar. .... 160
Şekil C. 8	GOLD istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar..... 161
Şekil C. 9	GOLD istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar..... 162
Şekil C. 10	KERG istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar..... 163
Şekil C. 11	KERG istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar. .... 164
Şekil C. 12	KERG istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar. .... 165
Şekil C. 13	NNOR istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar. .... 166
Şekil C. 14	NNOR istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar. .... 167
Şekil C. 15	NNOR istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar. .... 168
Şekil C. 16	ONSA istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar. .... 169
Şekil C. 17	ONSA istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar. .... 170
Şekil C. 18	ONSA istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar..... 171
Şekil C. 19	PDEL istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar. .... 172
Şekil C. 20	PDEL istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar..... 173
Şekil C. 21	PDEL istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar..... 174

Şekil C. 22	SANT istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.....	175
Şekil C. 23	SANT istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar. ....	176
Şekil C. 24	SANT istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar. ....	177
Şekil C. 25	SELE istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar. ....	178
Şekil C. 26	SELE istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar. ....	179
Şekil C. 27	SELE istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.....	180
Şekil C. 28	SUTM istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.....	181
Şekil C. 29	SUTM istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar. ....	182
Şekil C. 30	SUTM istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar. ....	183
Şekil C. 31	SYOG istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar. ....	184
Şekil C. 32	SYOG istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.....	185
Şekil C. 33	SYOG istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.....	186
Şekil Ç. 1	ALGO istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.....	188
Şekil Ç. 2	ALGO istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	189
Şekil Ç. 3	ALGO istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	190
Şekil Ç. 4	BJFS istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.....	191
Şekil Ç. 5	ALGO istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.....	192
Şekil Ç. 6	ALGO istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	193
Şekil Ç. 7	GOLD istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar. ....	194
Şekil Ç. 8	GOLD istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.....	195
Şekil Ç. 9	GOLD istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	196
Şekil Ç. 10	KERG istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.....	197
Şekil Ç. 11	KERG istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	198
Şekil Ç. 12	KERG istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	199
Şekil Ç. 13	NNOR istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar. ....	200
Şekil Ç. 14	NNOR istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.....	201
Şekil Ç. 15	NNOR istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.....	202
Şekil Ç. 16	ONSA istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar. ....	203
Şekil Ç. 17	ONSA istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	204
Şekil Ç. 18	ONSA istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.....	205
Şekil Ç. 19	PDEL istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar. ....	206
Şekil Ç. 20	PDEL istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.....	207
Şekil Ç. 21	PDEL istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.....	208
Şekil Ç. 22	SANT istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.....	209
Şekil Ç. 23	SANT istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	210
Şekil Ç. 24	SANT istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	211
Şekil Ç. 25	SELE istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar. ....	212
Şekil Ç. 26	SELE istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	213
Şekil Ç. 27	SELE istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.....	214
Şekil Ç. 28	SUTM istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.....	215
Şekil Ç. 29	SUTM istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.....	216
Şekil Ç. 30	SUTM istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	217
Şekil Ç. 31	SYOG istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar. ....	218
Şekil Ç. 32	SYOG istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.....	219
Şekil Ç. 33	SYOG istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar. ....	220
Şekil D. 1	ALGO istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	222

Şekil D. 2	BJFS istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)....	223
Şekil D. 3	GOLD istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	224
Şekil D. 4	KERG istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2004-2008)..	225
Şekil D. 5	NNOR istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).	226
Şekil D. 6	ONSA istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).	227
Şekil D. 7	PDEL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)...	228
Şekil D. 8	SANT istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	229
Şekil D. 9	SELE istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2009-2013)..	230
Şekil D. 10	SUTM istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2009-2013).	231
Şekil D. 11	SYOG istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	232
Şekil D. 12	FAIR istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2006-2010)..	233
Şekil D. 13	TIXI istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)....	234
Şekil D. 14	NKLG istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	235
Şekil D. 15	YAKT istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2014-2018)..	236
Şekil D. 16	NRIL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	237
Şekil D. 17	NYAL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	238
Şekil D. 18	MAL2 istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2014-2018).	239
Şekil D. 19	YELL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2006-2010)..	240
Şekil D. 20	BAKO istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2010-2014).	241
Şekil D. 21	ALIC istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2006-2010)....	242
Şekil D. 22	SYDN istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	243
Şekil D. 23	GRAZ istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	244
Şekil D. 24	ARTU istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2006-2010)..	245
Şekil D. 25	POHN istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2004-2008).	246
Şekil D. 26	SFER istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2008-2012)...	247
Şekil D. 27	BOGT istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2008-2012).	248
Şekil D. 28	UFPR istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	249
Şekil D. 29	NIST istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2014-2018)..	250
Şekil D. 30	MORP istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).	251
Şekil D. 31	HYDE istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2008-2012)..	252
Şekil D. 32	KIRO istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	253
Şekil D. 33	BREW istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2008-2012).	254
Şekil D. 34	IQAL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)...	255
Şekil D. 35	SALU istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	256
Şekil D. 36	REYK istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)..	257
Şekil D. 37	THU2 istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2010-2014)..	258
Şekil D. 38	KIT3 istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016)....	259
Şekil D. 39	PETS istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2008-2012)...	260
Şekil D. 40	ANKR istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).	261

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Jeodezik uyduların sınıflandırılması..... 14
Çizelge 2. 2	GNSS sistemleri ve özellikleri..... 16
Çizelge 2. 3	Örnek bazı referans elipsoidleri..... 18
Çizelge 2. 4	GNSS ölçme yöntemlerine ilişkin asgari koşullar [36]..... 26
Çizelge 2. 5	GNSS hata kaynaklarının sınıflandırılması [42].....30
Çizelge 3. 1	RINEX Dosya isimlendirme kuralları..... 41
Çizelge 5. 1	Sürekli, aylık ve dört aylık verilerin mevsimsel periyot değerleri. .... 71
Çizelge 5. 2	Çizelge 5.1 istatistikleri. .... 72
Çizelge 5. 3	Çoklu regresyon analizinden t-testi için gösterim ve formülasyon. .... 73
Çizelge 5. 4	LSE'den tahmin edilen IGS istasyon hızları ve t-testine ilişkin test istatistikleri. .... 74
Çizelge 5. 5	11 İstasyona ait hızların karesel ortalama hata değerleri..... 78
Çizelge 5. 6	LSE'den tahmin edilen IGS istasyonlarının anten hatasız ve hatalı hızları ile t-testine ilişkin test istatistikleri. .... 82
Çizelge 5. 7	40 İstasyona ait hızların karesel ortalama hata değerleri..... 91

## KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ KAMPANYA TİPİ ÖLÇÜLERİNDEN ELDE EDİLEN HIZLARIN DOĞRULUK ANALİZİ

Yener TÜREN

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Doğan Uğur ŞANLI

GPS kampanya ölçmeleri, zemin deformasyonunun izlenmesinde geçmişten günümüze kullanılmaktadır. Kalıcı GPS istasyonların kurulması pahalı olduğundan ve istenen sıklıkta tesis edilemediklerinden kampanya ölçümlerine sık sık başvurulur. Sabit istasyonların yakınında kampanya ölçümleri yaparak elde edilen hızlar karşılaştırılabilir. Küresel ölçekte bunu yapmak zor ve maliyetli olacağından, Uluslararası GNSS Servisi'ne (IGS) ait sürekli gözlem yapan GPS istasyonlarından elde edilen verileri kullanarak, kampanya ölçümlerinin süresi, örnekleme aralığı vb. simüle edilebilir. Böylece, kampanya verilerinin zemin deformasyonunun izlenmesine katkısı ortaya çıkarılabilir.

Bu çalışmada, ilk olarak GPS kampanya ölçümlerinden elde edilen zaman serilerinin spektral karakterleri araştırılmıştır. 24 saatlik gözlem süresi üzerinden seçilen IGS istasyonlarındaki kampanya ölçümlerinde mevsimsel etkiler göz önünde bulundurularak, tektonik plakaların deformasyon hız oranlarını daha doğru bir şekilde belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmadır. Dünya genelinde yayılan 11 IGS istasyonunun sürekli verilerini 2000-2016 arasında aylık ve dört aylık kampanyalara bölünmüştür. IGS istasyonlarındaki deformasyon oranları 15 yıl süre ile tahmin edilmiştir. Bu istasyonlar için sürekli zaman serileri çözümleri, Jet Propulsion Laboratory (JPL), NASA tarafından sağlanmıştır. Fourier analizi yapılarak verilerdeki önemli periyodiklikler belirlenmiştir. GPS kampanyalarından (örneklemenin ayda bir ve dört ayda bir yapıldığı) belirlenen hızları (yani deformasyon hızları) günlük ölçümlerden elde edilen sürekli hızlarla karşılaştırılmıştır. 15 yıllık GPS kampanya zaman serisinde bir yılda 12 ölçüm olacak



şekilde tahmin edilen hızlar, sürekli verilerden tahmin edilen hız ile % 100'lük bir başarı göstermektedir. Örneklemenin her dört ayda bir yapıldığı yıllık GPS zaman serilerinden tahmin edilen deformasyon hızı oranları, sürekli zaman serileri ile yaklaşık % 82 oranında uyum içindedir.

Çalışmanın ilk bölümüne ek olarak ikinci bölümünde, yeryüzü üzerinde dağılmış 40 IGS istasyonuna ait 4 yıllık zaman serileri kullanılmıştır. Günlük gözlemlerden elde edilen sürekli verileri, aylık ve dört aylık kampanya ölçümleri olacak şekilde simüle edilmiştir. Ayrıca literatürde yer alan bilgilere dayalı anten kurulum hataları göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmanın ana sonucuna göre, GPS kampanya ölçümlerinin düşey hız tahmin doğruluğu, gözlem süresini 24 saate uzatarak, literatürde yer alan 8-12 saatlik gözlem sürelerinden elde edilenlere göre yaklaşık % 85 oranında arttırılmıştır. Türetilen dört aylık GPS kampanya ölçümlerinin deformasyon hız oranları, ayda bir tekrarlanan ölçümlerden biraz daha düşük doğruluk (ortalama % 8 daha zayıf) üretmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** GPS zaman serileri; GPS kampanyaları; Hız tahmini; Fourier analizi; Zemin deformasyonu.

**ACCURACY ANALYSIS OF VELOCITIES OBTAINED FROM GLOBAL  
POSITIONING SYSTEM CAMPAIGN MEASUREMENTS**

Yener TÜREN

Department of Geomatics Engineering

Phd. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Doğan Uğur ŞANLI

GPS campaign measurements are used from the past to the present in monitoring ground deformation. Since permanent stations are expensive to install and cannot be installed as often as desired, campaign measurements are often used. Velocities can be compared by making campaign measurements near permanent stations. Since it will be difficult and costly to do so on a global scale, the duration of campaign measurements, sampling interval, etc., using data from GPS stations can be simulated which are constantly monitoring by the International GNSS Service (IGS). Thus, the contribution of campaign data to monitoring ground deformation can be revealed.

In this study, spectral properties of GPS campaign measurements were investigated first. The aim of this study is to determine the deformation of tectonic plates at selected IGS stations in a more accurate way by considering seasonal effects of campaign measurements and increasing the observation period to 24 hours. Continuous data of 11 IGS stations spreading across the world were decimated between 2000-2016 with monthly and four monthly campaigns, and the deformation rates at IGS stations were estimated for 15 years. Continuous time series solutions for these stations are provided by the Jet Propulsion Laboratory (JPL), NASA. Fourier analysis was performed to determine the important periodicities in the data. The velocities (i.e., deformation velocities) determined from GPS campaigns (sampling monthly and four monthly) were compared with continuous data. The velocities (ie, ground deformation), which are estimated to be 12 measurements in a year from the 15-year GPS campaign time series,

show 100 % success with the estimated velocity from continuous data. The deformation rates estimated from the annual GPS time series, where sampling takes place every 4 months, are approximately 82 % consistent with continuous time series.

In the second part of the study, in addition to the first section, the continuous data of 40 IGS stations spreading across the world were decimated to campaigns between 2012 and 2016 and the deformation velocities at IGS stations were estimated from the 4 year continuous time series. In addition, antenna installation errors based on the information in the literature have been considered. According to the main result of this study, the vertical velocity estimation accuracy of GPS campaign measurements was increased by approximately 85 % by extending the observation period to 24 hours. GPS campaign measurements repeated every four months produced only slightly worse accuracy (i.e., an average of 8 % poorer) than those of the measurements repeated once a month.

**Keywords:** GPS time series; GPS campaigns; Velocity estimation; Fourier analysis; Ground deformation.



#### 1. Literatür, Amaç ve Hipotez

Çalışmanın başında literatürde daha önceden yapılmış benzer çalışmalardan ilham alınmıştır. Belirlenen hedef ve metodoloji açıkça ortaya konmuştur. Savunulan hipotez çalışmanın motivasyonuna bağlı olarak ileri sürülmüştür.

##### 1.1 Literatür Özeti

Yılda arka arkaya birkaç gün tekrarlama oranı ve 8-24 saatlik bir gözlem süresi olan GPS kampanya ölçümleriyle GPS konumlandırma tarihinde sıklıkla karşılaşılmıştır [1], [2], [3]. Genellikle kampanya ölçümlerinde daha kısa sürelerde yapılan gözlemler, genellikle daha düşük doğrulukla sonuçlanır [4], [5]. Elbette GPS kampanya ölçümlerinin kısa saha çalışmaları ile yapılmasının birkaç nedeni vardır. İlk önce sahadaki kullanıcılar gün ışığından faydalanmak isterler. İkincisi, gün batımından önce alıcıları kullanmak daha güvenlidir ve sahadaki kullanıcılar olumsuz gece koşullarından kaçınmak isterler. Öte yandan çoklu yol ile yansıma (multipath), kötü uydu ağı geometrisi ve atmosferik koşullar nedeniyle 24 saat altında yapılan GPS gözlem süreleri tartışmalı olmuştur [6]. Bu sebeple bahsedilen olumsuz koşulların üstesinden gelmek için 24 saatlik eksiksiz veri kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, mevcut sonuçlardaki kötü çözümleri ortadan kaldırmak için kampanya ölçümleri art arda birkaç gün sürdürülmelidir. Yine belirtilen nedenlerle ortaya çıkabilecek tüm olası düzensizlikler, yalnızca bir tam günde örneklenebilir. Ertesi gün, aynı uydu ağı geometrisi ve dolayısıyla aynı gözlem koşulu tekrar edecektir. Son dönemlerde her ne kadar sürekli gözlem yapan istasyonlardan oluşan (CORS) ağları

kullanılmaya başlansa da her türlü deformasyon izleme çalışması için gerektiği kadar sıklıkta istasyon inşaatı yapılamamıştır. Bu durum heyelan ve sel bölgeleri vb. topografik nedenlerin yanı sıra, CORS sistemlerinin maliyetinin yüksek olmasından kaynaklıdır. Bunun bir sonucu CORS ağları, birçok araştırmacı tarafından özellikle doğal afetlerin olduğu yerlerde yapılan deformasyon izlemelerinde yeteri kadar tercih edilmemiştir.

Deniz seviyesi ölçümü [7], jeopotansiyel değerlerin belirlenmesi [8], bölgesel tektoniğin izlenmesi [9], [10], [11], heyelanlar gibi doğal tehlikelerin izlenmesi [12], [13] ve diğer benzeri durumlarda [14], [15], [16] GPS kampanyaları sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışmaların her birinde ortak amaç deformasyon hız oranlarının belirlenmesidir. CORS, özellikle tektonik alanlarda aktif olarak geniş çapta yayılmıştır. GPS verilerinden elde edilen zaman serileri oluşturulmuş ve bu zaman serilerinden elde edilen deformasyon hız oranları pek çok kez değerlendirilmiştir. Ayrıca düşey bileşen üzerindeki mevsimsel sinyalin karakteri belirlenmiştir [17]. Gerçek hızların elde edilmesinde optimum zaman serisi (yani deformasyon hızları) deneysel olarak belirlenmiştir. Zaman serilerinin gürültü özellikleri ve tahmin edilen deformasyon hızına etkisi incelenmiştir [18], [19], [20]. Çoğu zaman 8-10 saat gözlem süreleri ile yılda bir kez kampanya GPS gözlemleri yapılmıştır. Bu durum, tekrarlanan GPS kampanyaları için düşük doğrulukla hız kestirimine örnek olmuştur. Birçok çalışmada, GPS kampanya ölçümlerinden tahmin edilen hızın, sürekli GPS ölçümlerinden elde edilen hıza eşdeğer olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım, ancak uygun bir değerlendirme metodu kabul edildiğinde doğru olabilir. Referans noktalarına uzaklığı kısa olan noktaların oluşturduğu bazların ticari yazılımla değerlendirilmesi buna örnek verilebilir [21]. Blewitt ve Lavalée [17] teorisine göre, GPS düşey bileşeninde yıllık olarak tekrarlanan önemli bir mevsimsel hareket vardır ve bu mevsimsel etki yılda bir tekrarlanan ölçümler ile doğru bir şekilde modellenemez. Akarsu vd. [22] bunu fark etmişler ve 8-12 saatlik gözlem süresiyle yılda bir kez örneklenen verilerden kampanya GPS ölçümleri kullanarak tektonik plakaların yatay hareket hızını tahmin etmişlerdir. Düşey bileşendeki yıllık mevsimsel etkiyi iyi modellemek üzere kampanya ölçümleri yine 8-12 saat ve fakat ayda bir sıklıkta örneklemişlerdir. Çalışmalarında esas olarak 24 saatten daha az gözlem sürelerine dayanan ve daha az sıklıkta tekrarlanan kampanya ölçüm sonuçlarını eleştirmeyi hedeflemişlerdir. Böylece tam 24 saatlik gözlem periyodunu kullanarak GPS kampanyalarından elde edilen hızları, kısa gözlem sürelerine

dayalı GPS kampanyalarından elde edilen hızlarla karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında, % 95 güvenilirlikle yapılan analizlere dayanarak, 24 saatlik ve 8-12 saatlik verilerin kullanılabilirliğinin kıyaslanması amaçlı hipotez testi uygulamışlardır. Daha sonra karekök ortama hata tahmini (RMSEEs) ve sapma değerleri (RMSDs) sonuçlarını regresyon doğruluğu araştırmasında kullanmışlardır. 8 saatlik GPS gözlemlerinin yatay hızlar için % 30 ve 12 saatlik GPS gözlemlerinin yatay hızlar için % 40 oranında kullanılabilirliğini göstermişlerdir. Ancak düşey hızlarda 8 veya 12 saat gözlem süreleri kötü sonuçlar vermiş, hız kestirim başarısı elde edememişlerdir. Bu çalışmalarına göre, 8-12 saatlik GPS kampanyalarından elde edilen yatay hızlar, 24 saatlik oturumlardan elde edilen hızlarla % 30-40 oranında uyumludur. Öte yandan, 8-12 saatlik kampanyalardan elde edilen düşey hızların hiçbiri 24 saatlik oturumdan elde edilen hızlarla uyumlu değildir.

Duman ve Sanli [23], GPS kısa gözlem süreli (< 24 saat) kampanyalardan elde edilen hızların başarısını arttırmak için Akarsu *vd.* [22] takip eden bir çalışma uygulamışlardır. Simüle edilmiş kampanya GPS zaman serilerinin verilerini, lineer ve mevsimsel bileşen içeren bir regresyon modeli kullanarak analiz etmişlerdir. Çalışmada ayrıca GPS bağıl konum belirleme ile hassas nokta konumlama (PPP) karşılaştırılmıştır. 1992-1999 yıllarında elde edilen gürültülü zaman serilerini elimine edip, Kappa endeksi 4'ten az olan yani ılımlı iyonosferik koşulların hüküm sürdüğü GPS günlerini seçmişler, GPS gözlemleri arka-arkaya üç gün gerçekleştirmişler ve yeniden değerlendirilmiş JPL yörüngeleri ve saatleri kullanmışlardır. Aynı zamanda, istasyonların doğu bileşeni doğruluğunu, GIPSY-OASIS II'nin yeni tekli alıcı belirsizlik çözümleme algoritmasıyla geliştirmişlerdir. Böylece yatay hız tahmini başarısını 8 ve 12 saat gözlem süreleri için sırasıyla % 50'ye ve % 70'e kadar arttırmayı başarmışlardır. Öte yandan düşey bileşenin başarısının sadece ortalama % 10 oranında arttığını ortaya koymuşlardır. Yapılan çalışmanın en önemli sonucu olarak, uzun baz mesafelerinde GPS bağıl konum belirleme, PPP'ye benzer sonuçlar vermiştir. GPS yatay baz bileşenleri için hız kestiriminin başarısı 12 saatlik gözlem süreleri için % 95 güvenle yaklaşık ortalama % 85 seviyesine yükseltilmiştir. Akarsu *vd.* [22] ile Duman ve Sanli [23] kampanya ölçümlerini ayda bir kez örneklemek için IGS ağından 15 yıllık GPS zaman serisi kullanmışlardır. Buna ek olarak, Geng *vd.* [24], eğer uydu saati de yeniden tahmin edilebiliyorsa, GIPSY'nin PPP-Belirsizlik çözünürlüğünün daha da

geliştirilebileceğini göstermişlerdir. Yukarıdaki çabalar, kampanya GPS çözümlerinin yapısını anlamak için faydalı olsa da, pratik durumlar için uygulanabilir değildir. Konuyla ilgili diğer çalışmaların özetleri aşağıda açıklanmıştır.

Mao *vd.* [25] GPS koordinatlarına ait zaman serilerindeki gürültüleri araştırmışlardır. 23 adet istasyonu kullanarak 3 yıllık veriler yardımıyla beyaz gürültü ve titreşimli gürültü kombinasyonlarının koordinat bileşenlerinin gürültü özellikleri için en iyi model olduğu kanısına varmışlardır. Kuzey yarım küre istasyonlarının güney yarım küredekilere göre daha gürültülü olduklarını tespit etmişlerdir. Düzensiz titreşimlerin daha doğru tespiti için daha uzun sürede gözleme ihtiyaç duyulduğunu vurgulamışlardır.

Blewitt ve Lavalley [17] yıllık sinyallerin jeodezik hızlara etkisini araştırmışlardır. GPS istasyonlarının analizinde zaman serilerinin genlikleri yatay için 2 mm genlik ve dikey için 4 mm yıllık değişiminin olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca güç spektrumu analizinin GPS zaman serilerinde yıllık harmonik frekanslarda anlamlılık gösterdiğini ve tekrar eden sinyallerin varlığına işaret ettiğini vurgulamışlardır. Tektonik hareketlerin izlenmesi gibi hassas uygulamalar için, Fourier analizi ile nokta hızlarını yıllık ve yarıyıllık sinüzoidaller üzerinden tahmin edilmesi sonucuna varmışlardır.

Williams [18] jeodezik zaman serilerinden elde ettiği hız değişimlerinin tahminlerinde renkli gürültülerin etkisini araştırmıştır. Beyaz gürültünün yanı sıra güç yasası uygulanarak renkli gürültülerin de irdelenmesi gerektiğini ortaya atmıştır. Bunun sonucu geliştirdiği modellerle toplam hız değişiminin ayrı hızların karelerinin toplamının kareköküne eşit olduğu sonucuna varmıştır. Değerlendirmelerde veri boşluklarını enterpolasyon yardımıyla kestirdikten sonra beyaz gürültülerin eklenmesiyle elde edilen verilere Fourier dönüşümü yapılarak güç spektrumu elde edilmiştir.

Williams *vd.* [26] sürekli GPS zaman serilerinin hata analizini araştırmışlar ve çalışmalarında maksimum olabilirlik tahmini (MLE) yaparak, beyaz gürültü ve güç spektrumu analizi yapmışlardır. Her iki gürültü bileşenlerinin güney yarım kürede daha büyük değerlere ulaşmasının (ekvator bölgelerinde daha yüksek) genliklerin enleme bağımlılığının bir sonucu olduğunu ortaya koymuşlardır. Yine bölgesel çözümlerde güç yasası spektral endeksinin küresel çözümlere göre daha çeşitli olduğunu göstermişler ve muhtemelen yerel etkilerin bir karışımını yansıttığını vurgulamışlardır.

Amiri-Simkooei vd. [19] sürekli GPS istasyonları için zaman serisi konum tahminlerindeki gürültü özelliklerini değerlendirmek için bir metodoloji önermişlerdir. En küçük kareler varyans bileşen tahminini (LS-VCE), verilerdeki her türlü gürültüyle başa çıkmak için benimsemişlerdir. Modele harmonik fonksiyonları dahil ettikten sonra pratikte verilerde sadece beyaz gürültünün kaldığını göstermişlerdir. Atmosferik etkiler ve uydu yörünge hataları gibi yaygın ve iyi bilinen hataları stokastik modele dahil etmişlerdir. Sonuçlarda, yıllık ve yarıyıllık sinyallerin varlığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, 350 günlük periyotlarla ve GPS uydu yörenesinin tekrarlanma zamanına benzeyen  $350/n$  ve  $n=2, \dots, 8$  fraksiyonları ile önemli periyodik hareketler gözlemlemiştir.

Ray vd. [27] yıllık ve yarıyıllık GPS drakonik yılına ait  $(351.4 / N)$  bir çalışma yapmışlardır. Yer dönüklük parametresi (EOP) için standart modeldeki hataların, 12 ve 24 saat aralığındaki değişiminin GPS yörünge elemanları ve günlük yer dönüklük parametresi tahminlerine dahil edilmesinin esas olarak 24 saatlik gözlemlerle ve iki haftada bir kampanya yapılarak etkili olduğunu göstermişlerdir.

Akarsu [28] doktora tezinde, GPS noktasındaki gözlem süresinin noktadaki hızların belirlenmesine olan etkisinin araştırılması üzerine çalışmıştır. Çalışmada karşılaştırma istatistik ölçütü olarak  $R^2$  ve korelasyon katsayısı  $r$  ölçütünü kullanmıştır. GPS kampanya ölçümlerinde aktif oturum süreleri olan 6-8 saat yerine 12 saatlik gözlemlerin yapılması gerektiğini öngörmüştür. 8 saatlik verilerden elde edilen düşey hızların 24 saatliklere yakın sonuçlar üretmediği, 12 saatlik verilerden elde edilen düşey hızların 24 saatliklere yakın sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Düşey hızlar için 12 saatlik çözümlerle 24 saatlik çözümlerin korelasyon katsayıları, 8 saatlik çözümlerle 24 saatlik çözümlerin korelasyon katsayılarından % 10 ile % 20 arasında daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Yatay hızlar için de 24 saatlik verilerden elde edilen hızlara göre 12 saatlik verilerin 8 saatlik verilerden daha iyi sonuçlara ulaştığını ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlara göre, en uygun gözlem süresinin 12 saatlik gözlemler olduğunu ileri sürmüştür.

Chen vd. [29] GPS zaman serilerinde mevsimsel sinyalleri modellemek için tekil spektrum analizini kullanmışlardır. Çalışmalarında okyanus seviyesi değişimlerinin 641 haftalık GPS sinyallerindeki mevsimsel dalgalanmalar üzerinde etkisini araştırmışlardır. Bunu incelerken en küçük kareler yöntemini ve Kalman filtreleme tekniğini kullanmışlardır. 6



aylık ve yıllık veri setleri üzerinden tekil spektrum analizi (SSA) yöntemi ile kısa ve gürültülü zaman serilerinin ayıklanması üzerine testler yapmışlardır. Bu yöntemin GPS zaman serisi salınımları modellenmesinde uygulanabilir ve tamamlayıcı bir araç olduğu sonucuna varmışlardır.

Yukarıdaki çalışmalardan Akarsu [28] ve Akarsu vd. [22] ile Duman ve Sanli [23] hariç diğerleri sürekli GPS gözlemlerini kullanmışlardır. GPS kampanya gözlemlerinin spektral karakteri ile ilgili literatürde bir bulguya rastlanmamıştır.

## 1.2 Tezin Amacı

Tezin amacında, vurgulanmak istenen günlük yapılan sürekli gözlemlerle zaman serilerinde veri boşluğunu minimize ederek konum hızlarının karakteristiğini daha net ortaya koymaktır. IGS ağındaki istasyonlar ele alındığında, uzun dönem zaman serilerinde veri sıklığı ve çokluğu nedeniyle veri boşluksuz istasyon seçimi zordur. Bu durumda olan istasyonlara ait zaman serilerinin spektral analizlerde, faz kayması gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Başka bir olumsuzluk ise söz konusu sürekli sabit istasyonların sayılarının ve dağılımlarının yetersiz olmasıdır. Ayrıca yeni tesis çalışmalarında kurulum, bakım ve onarımın yüksek maliyetlere neden olması göz ardı edilememektedir. Bunun bir sonucu belirli dönemlerde (yani kampanyalar halinde) gözlem yapılarak söz konusu çalışmalarda nokta konum ve hızlarının karakteristiği incelenmektedir. Genelde kampanya tipi ölçümlerde altı ayda ya da yılda bir nokta konum ve hızları ölçülmektedir. Ancak yılda bir ya da iki defa yapılan gözlemler noktalara ait hız oranı doğruluğu hakkında bize yeterli düzeyde bilgi sağlamayabilir. Bunun yerine daha kısa periyotlarda kampanyalar gerçekleştirmek en basit anlamda veri sıklığı açısından avantaj sağlamaktadır.

Öyle ki, oluşturulan zaman serilerindeki boşluklar kestirme ve enterpolasyon yardımıyla giderilebilir. Mevsimsel etkiler ortaya çıkarılabilir. Ancak GPS sinyallerinin içerdiği gürültüden arındırılmış olması, noktaların karakteristiğini anlatan trendin daha anlamlı olmasını sağlamaktadır. Düzenli olmayan hareketleri içeren stokastik bileşen ile tekrar eden hareketleri içeren periyodik bileşenin ayrıştırılması işlemi için farklı analiz yaklaşımları mevcuttur. Bunlardan bazıları Fourier, Wavelet, Laplace, Hankel, Hilbert ya

da En küçük Kareler (EKK) gibi yöntemlerdir. Spektral analiz sonucu GPS gözlemlerine ait zaman serilerinin daha kullanışlı olması kaçınılmazdır.

Bu çalışmada Uluslararası GNSS Servisi (IGS) istasyonlarına ait minimum 4, maksimum 15 yıllık gözlem veri setlerinden boşluksuz gözlemler seçilmiştir. Çok küçük veri boşlukları hareketli ortalama enterpolasyon yöntemi ile doldurulmuştur. Sürekli veriler aylık ve dört aylık verilere bölünerek kısa periyotlu kampanyalar oluşturulmuştur. Bu sürece ait zaman serilerinin hızlı Fourier dönüşümü ile spektral analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların hali hazırda geleneksel olarak yılda bir ya da altı ayda bir gerçekleştirilen kampanyalara alternatif olup olmadığının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu çalışma ile öncelikle, GPS kampanya gözlemlerinin spektral karakteri ile ilgili literatürdeki boşluk giderilmeye çalışılmıştır. Sonrasında, merkezlendirme ve otipik çekülleme hataları gibi anten kurulum hatalarının da etkisi göz önünde bulundurularak, aylık ve dört aylık yapılan kampanya ölçümlerinin hız kestirim doğrulukları araştırılmıştır.

### **1.3 Hipotez**

Gerek tektonik hareketlerin modellenmesi gerekse deformasyon ölçmelerinin analiz edilmesi gibi bilimsel çalışmalarda yılda bir ya da iki defa ortalama 10 saat gözlem süreleri ile noktalara ait hız kestirimleri yapılmaktadır. Bunun sonucu noktalara ait konum bilgileri ve hız kestirimi gibi karakteristik özellikler araştırılmaktadır. Hızların belirlenmesinde, özellikle düşey bileşenin hız kestiriminde mevsimsel bileşenin etkisini izleyebilmek için en az bir buçuk yıllık gözlemler yapılması gerekliliğinden dolayı kampanya ölçümlerinin sıklığının artırılması daha da anlam kazanır. Bu tezde oluşturulan sık periyotlardaki 24 saatlik kampanya ölçümlerinin geleneksel olarak yılda bir ya da iki defa ortalama 10 saatlik kampanya ölçümlerine göre üstünlük sağlayıp, sağlamadığı incelenmiştir. Ayrıca ilk defa kampanya GPS ölçümlerinin spektral karakteri ortaya konmaya çalışılmıştır.

Hipotezin geçerli olması durumunda, statik ölçülerle yüksek hassasiyet gerektiren ve bilimsel amaçlı yapılan çalışmalarda yılda bir ya da iki defa yapılan gözlemlere alternatif olacak ve noktalara ait hız kestirimlerinin daha duyarlı olmasını sağlayacak aylık ve dört aylık kampanyalar olacak şekilde daha sık periyotlardaki 24 saatlik kampanya

ölçümlerinin kullanılması teşvik edilmeye çalışılmıştır. Böylece bu yöntemle, kampanya ölçümlerini kullanmak isteyen kullanıcı ve araştırmacılara fazla maliyet ve veri kirliliği yaratmadan yüksek duyarlıkta sonuçlar elde etmelerinde kolaylık sağlanması hedeflenmiştir.

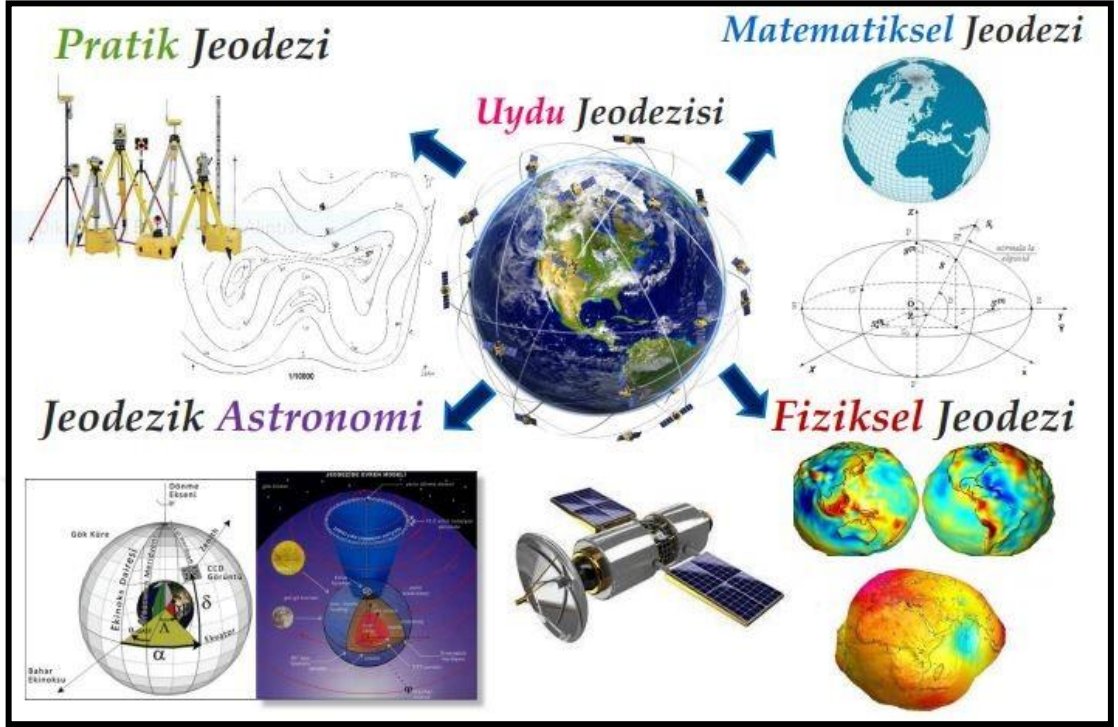


### TANIMLAR VE KAVRAMLAR

#### 2. Jeodezik Temel Kavramlar

Genel anlamda jeodezi, yerkürenin geometrik şeklini, uzayda yönelimi ve yerçekimi alanını doğru ve gerçeğe en yakın şekilde ölçen ve anlayan bilim dalıdır. Aynı zamanda bu özelliklerin zaman içinde nasıl değiştiğine ve gök cisimlerine yapılan ölçümlere ilişkin çalışmaları içermektedir. Bu alt bilimdalı **Jeodezik Astronomi** olarak tanınır. Jeodezik astronominin temel amacı, yerküreden belirli gök cisimlerine gözlemler yaparak, gözlem noktasına ilişkin astronomik koordinatların elde edilmesidir. Böylece eşlenik noktalarda eş zamanlı elde edilen jeodezik koordinatlarla kıyaslandığında yine gözlem noktasına ait çekül sapması bileşenleri elde edilebilir [30]. Peşi sıra gravite değerlerine bağlı dinamik, ortometrik ve normal yükseklik sistemlerinde anlamlı bilgiler elde edilebilir ve sonuç olarak yerel jeoit modelleri oluşturulabilir. Yerkürenin gravite alanının oluşturulmasına yönelik uğraş veren bu alt bilimdalı da **Fiziksel Jeodezi** olarak bilinir. Yerkürenin fiziksel olarak tanımlanmasının yanı sıra yeryüzünde yapılan ölçümlerin hesap yoluyla anlamlandırılması için hesap yüzeylerine ihtiyaç duyulur. Hesap yüzeylerinde tanımlı koordinat sistemleri konum belirlemenin olmazsa olmazıdır. Bu alt bilimdalı yerkürenin gerçek şekline en uygun topolojik yüzeyi modellemeyi amaç edinen **Matematiksel Jeodezi** alanıdır. Mühendislik alanlarının görevleri arasında her ne kadar bilimsel bulguları teorik açıdan analiz etmek var ise de pratikte bunların uygulanabilirliği önemlidir. Mühendislik ölçmelerinde zaman, maliyet ve doğruluk parametrelerinin en uygun olduğu ölçme yöntemleri seçilir. Çoğunlukla küçük ölçekte bölgelerde yapılan

gözlemler ve elde edilen verilerin analizlerini **Pratik Jeodezi** olarak isimlendirmekte fayda vardır (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1 Jeodezi ve alt bilim dallarının sınıflandırılması [31].

Bahsedilen jeodezi ve alt bilim dalları ilk etapta farklı metodolojilere sahip olmalarından dolayı birbirinden oldukça uzak gibi görünse de aslında hepsi ortak amaca hizmet eder. Bu ortak amaç en kaba tabirle konum belirlemedir. Öte yandan her alt uğraş alanı gelişen teknolojik yeniliklerden payını almaktadır. Bu teknolojik katkıların en başında şüphesiz yapay uydu teknolojisi gelmektedir. Jeodezinin tüm alt bilim dallarıyla doğrudan ilişkili olan bu alt bilim dalı günümüzde Uydu Jeodesisi olarak anılmaktadır. Bundan sonraki alt konu bölümlerinde özellikle uydu jeodesisi, konum belirleme ve jeodeziyle ilgili uluslararası kuruluşlar detaylı olarak açıklanacaktır.

## 2.1 Uydu Jeodesisi ve GNSS

Çok eski zamanlarda denizciler için konum ve yön kavramı oldukça zor olmuştur. Öyle ki, enlem belirlemek için gece yıldızları gündüz ise güneşi takip etmişlerdir. Bir lata yardımıyla yıldızlara ya da güneşe bakarak ufuktan yükseliş açılarını ölçüp, böylelikle enlem hesabını kolayca hesaplayabilmişlerdir. Bu iş için görevli denizcilerin bir gözlerinin sürekli güneşe bakmaktan köreldiği de bilinmektedir. O dönemlerde enlemi doğru

belirlemek için belki de bir göz feda edilirken, ne yazık ki doğru boylam belirlemede feda edilecek asırlar olacaktır. Boylam bir anlamda zamanı ifade ettiği için, denizciler ilk olarak zemberekli saatleri kullanmışlardır. Örneğin Avrupa kıtasının batı sahillerinde zemberekleri kurarlar ve denize açılırlardı. Okyanus üzerinde aşırı dalgalanmadan dolayı gemi sarsıldığından zemberekte olması gerekenden ya daha hızlı ya da daha yavaş çalışıyordu. Bunun sonucu yanlış boylam belirlendiğinden, istenenden farklı bir seyrüsefer ile yolculuklarına devam etmişlerdir [32].

Yüzyıllardır gök cisimlerinden yararlanarak yapılan konum belirleme, özellikle doğa benzeşim yöntemleriyle gelişen teknoloji sayesinde ve kaba tabirle belirli yörüngelerle yine gökyüzüne yerleştirilmiş yapay uydular aracılığıyla günümüzde çok daha hızlı ve yüksek hassasiyette yapılabilmektedir.

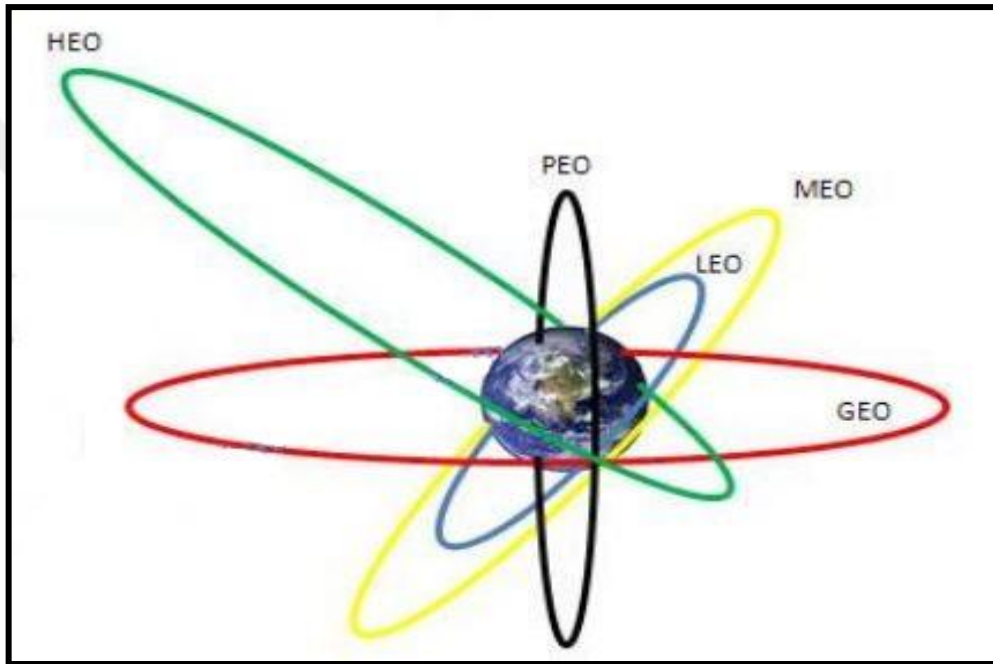
Öte yandan konum belirleme, yapay uydular yardımıyla yapılan araştırma ve geliştirmelerin sadece belli bir kısmını oluşturmaktadır. Özellikle jeodezik amaçlı kullanılan ve bunun yanı sıra başka disiplinlere hizmet eden yapay uydular dünyamızı çepeçevrelemiş durumdadır. Şekil 2.2'de gözüken bu yapay uyduların bir kısmı yerkürenin, bir kısmı diğer gezegenlerin, güneşin ve diğer nesnelere fotoğrafını çeker.



Şekil 2. 2 Bilimsel gelişime katkı sağlayan farklı uydular [33].

Böylece bilim insanlarının yerküre, güneş sistemi ve evren hakkında bilgi edinmesine yardımcı olurlar. Yine dünyaya televizyon sinyalleri ve telefon görüşmeleri gönderen uydular mevcuttur. Sonuçta, yerkürenin hem matematiksel hem de fiziksel anlamda modellenmesine yardımcı olan çeşitli uydular yer bilimcilerin ilgi ve uğraş alanıdır.

Yapay uyduların sınıflandırması farklı yönlerden yapılabilir. Bunlardan biri yörünge sınıflandırmasıdır (Şekil 2.3). Öyle ki, yerkürenin etrafında belirli bir yörünge üzerinde seyreden yapay uyduların yerküreden ne kadar uzaklıkta konumlandığı çok daha rahat anlaşılabilir.



Şekil 2. 3 Uydü yörüngelerinin sınıflandırılması [31].

Yerküreye en yakın alçak uydü yörüngesinin LEO (Low Earth Orbit) ekvatorundan yaklaşık uzaklığı 700 -1400 km arasındadır. Bu yörüngelerde uzaktan algılama, uydü telefonları yer almaktadır. Yerküre ve üzerinde yer alan detaylar hakkında bilgi alıp analiz etme, fiziksel olarak temassız ve belirli bir uzaklıktan yapılan ölçümlerle sözü geçen detaylar hakkında bilgi edinme amaçlı kullanılan uzaktan algılama uyduları temel olarak iki gruptur.

Birinci grup, Landsat-8, Spot-5, Envisat-1, Quickbird, Ikonos gibi yerküreye ait fotoğrafları çeken uydulardır. İkinci grup ise, TerraSAR-X, Aster gibi ve Lidar teknolojilerini meydana getiren yapay açıklıklı radar ve lazer sistemli çalışan uydulardır.

Bunların yanı sıra Inmarsat-G28 gibi telefon haberleşme uyduları da alçak yörünge aralığında seyretmektedir (Şekil 2.4).

Orta uydu yörüngesi MEO'da (Medium Earth Orbit) yer alan jeodezi ve navigasyon uyduları ise ekvatora uzaklığı 2000-35000 km aralığında olan geniş bir bantta yerküre etrafında seyretmektedirler. Bu sınıftaki uyduların tanıtımı ve işlevleri Bölüm 2.2'de geniş kapsamlı olarak açıklanacaktır.



Şekil 2. 4 Uzaktan algılama ve uydu telefonu haberleşme uyduları [31].

Ekvatorundan uzaklığı 36.000 km olarak tasarlanmış eşzamanlı uydu yörüngesine GEO (Geostationary Earth Orbit) sahip Türksat-4A ve Eutelsat-7A gibi iletişim ve haberleşme uyduları ile ekvatora uzaklığı değişken olan Yüksek Eliptik Yörünge'de HEO (High Eliptic Orbit) yer alan Voyager-2, Hubble ve Tycho gibi astronomi uyduları ise yerküreden en uzaktaki uyduları kapsamaktadır. Son olarak, kutup yörüngesinde PEO (Polar Earth Orbit) özellikle kutuplarda etkili meteorolojik olayların ve buzulların izlenmesi ile yerkürenin devinim hareketini izlemek amaçlı presesyon ve nütasyon hareketlerinin incelemesinde kullanılan ICESat-2 ve Fingyün-3D gibi uydular yer almaktadır (Şekil 2.5).





Şekil 2. 5 Astronomi, iletişim-haberleşme ve kutup uyduları [31].

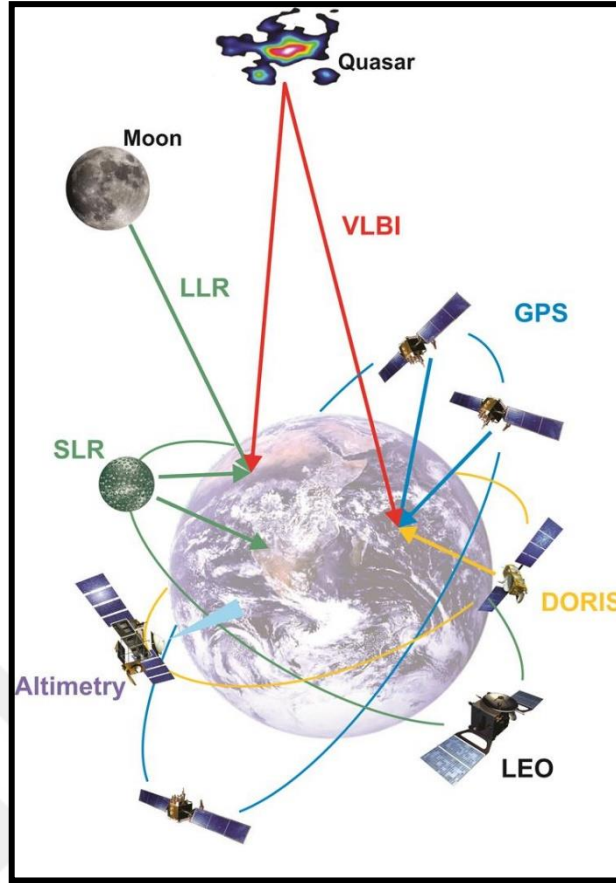
## 2.2 Konum Belirleme ve Kampanya Ölçme Yöntemleri

Uydu jeodezisinde kullanılan yapay uyduların yörüngelerine göre sınıflandırılması bir önceki bölümde açıklanmıştır. Bu uydu görevleri Çizelge 2.1’de olduğu gibi amaç ve ölçme tekniklerine göre sınıflandırıldığında, konum belirleme uydularının nerede yer aldığı çok daha rahat anlaşılır [34].

Çizelge 2. 1 Jeodezik uyduların sınıflandırılması.

Amaçlarına Göre	Ölçme Tekniklerine Göre
<b>Konum Belirleme</b> (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU)	<b>Yerden Uyduya Ölçme</b> (SLR, GNSS, DORIS)
<b>Uzaktan Algılama</b> (SRTM, Landsat, Envisat vd.)	<b>Uydudan Yere Ölçme</b> (Altimetre, Gradyometre)
<b>Yerçekim Alanı</b> (CHAMP, GRACE, GOCE)	<b>Uydudan Uyduya Ölçme</b> (Uydular arası baz ve hız ölçmeleri)

Uzaktan algılama uyduları bir önceki bölümde açıklanmıştı. Fiziksel jeodezinin bir gereği olarak yeryüzünde gravite ölçümlerinin yapılması şarttır. Ancak okyanus ve çok zorlu topoğrafya gereği homojen ve sık bir nokta ağı oluşturmak zor olduğu için, yeryüzüne doğru serbest hareket eden herhangi bir cismin ivmesinin ölçülmesi prensibiyle oluşturulan uydu görevleri mevcuttur. Bunlar farklı ülkeler tarafından geliştirilen CHAMP, GRACE ve GOCE uydu görevleridir.



Şekil 2. 6 Uydu jeodezisinde kullanılan farklı yöntemler [35].

Uydu aracılığıyla Doppler prensibinden yola çıkarak tümleşik radyo konumlandırma sistemleri (DORIS) daha çok yeryüzündeki sabit gözlem istasyonları arasındaki baz mesafelerinin ölçülüp kontrol edilmesi suretiyle konum belirlemeye katkı sağlamaktadır. Uydulardan lazer ışınıyla yerküreye yapılan SLR ve yerküreden ay yüzeyine lazer ışınıyla yapılan LLR ölçme teknikleri de aynı mantıkla sabit istasyonlar arasındaki baz mesafelerinin kontrolü ve konum kestirmede kullanılmaktadır. Yine okyanus seviyesinin izlenmesinde kullanılan uydu altimetresi teknikleri ve yerin belli bir derinlikteki toprak altı oluşumları izlemede yararlanılan SAG uydu gradyometre teknikleri günümüzde yapay uydular aracılığıyla yapılmaktadır. Yine yerküreden çok uzaklarda yer alan Kuasar adı verilen gök cisimlerine VLBI ölçümleri yapılmaktadır. Şekil 2.6'da bu uydu görevlerinin tamamının konum belirleme ve kestirmeyle yerküreye doğrudan ilişkili olup veri topladıkları görülmektedir. Bu ölçme tekniklerinden küresel konumlama sistemleri ise ayrı bir önem arz etmektedir. Günümüzde konum belirleme denildiğinde GNSS sistemleri anlaşılacakla beraber bu sistemler bir sonraki alt bölümde daha detaylı olarak açıklanacaktır.

### 2.2.1 GNSS ile Konum Belirleme

Küresel konumlama sistemlerine gereksinim, ilk olarak askeri arama-kurtarma ve hedef bulma amaçlı ikinci dünya savaşı yıllarında ortaya çıkmıştır. ABD tarafından geliştirilen GPS sistemleri tamamen bu amaçla da geliştirilmemiştir. Aynı zamanda kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonlarına öncülük edecek şekilde tasarlanmıştır. GPS sivil kullanıma açıldığında çok büyük etki yaratmış ve çok sayıda meslek disiplinin ilgi alanı olmuştur. Özellikle sivil kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, jeodezik ve jeodinamik ölçmeler, yersel küresel deformasyon ölçmeleri ve tektonik hareketlerin modellenmesi, kinematik GPS destekli fotogrametrik çalışmalar, aktif sürekli gözlem yapan kontrol ağları (CORS), kadastral ölçmeler, uçakların iniş ve kalkış kontrol sistemleri, CBS veri tabanlarının geliştirilmesi ve araç takip sistemleri, tarım, ormancılık, turizm, spor, arkeoloji vb. gibi alanlarda yıllardan beri etkin olarak kullanılmaktadır. Dünyada pek çok yerde kullanılır hale gelen GPS literatürde uzun yıllar hakim konumda olsa da, en nihayetinde farklı ülkelerin kendi benzer sistemlerini geliştirmesiyle GNSS sistemlerinin içinde anılmaktadır. Çizelge 2.2'de bu alternatif sistemlere ait bilgiler detaylı olarak yer almaktadır.

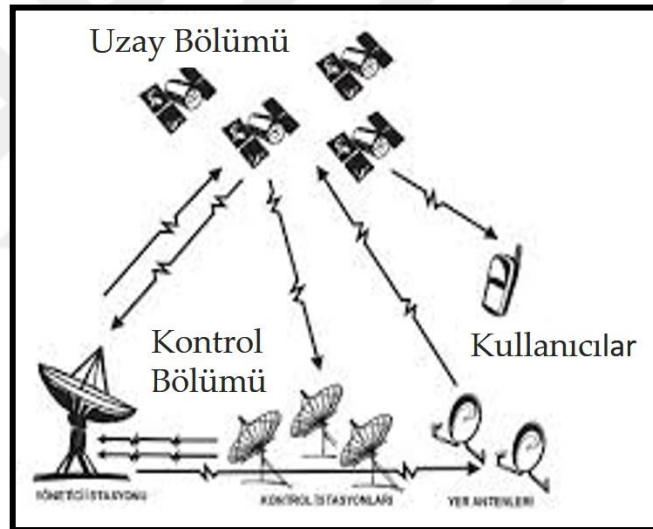
Çizelge 2. 2 GNSS sistemleri ve özellikleri.

	<b>GPS</b>	<b>GLONASS</b>	<b>GALILEO</b>	<b>BEIDOU</b>
<b>Ülke</b>	ABD	Rusya	AB	Çin
<b>Test Yılı-Aktif Yılı</b>	1960-1994	1976-2011	2005-2019	2000-2020
<b>Uydu sayısı</b>	24	24	30	30+5
<b>Yörünge sayısı</b>	6	3	3	3+1
<b>Büyük yarı eksen</b>	26600 km	25440 km	29600 km	21500 km
<b>Yörünge dönüş</b>	11:58 h	11:15 h	14:07 h	12:35 h
<b>Eğiklik</b>	55 deg	64 deg	56 deg	55 deg
<b>Uydu kütlesi</b>	1100 kg	1400 kg	700 kg	2200 kg
<b>Güneş paneli alanı</b>	14 m <sup>2</sup>	23 m <sup>2</sup>	13 m <sup>2</sup>	18 m <sup>2</sup>

Tüm bu sistemlerin çalışma prensipleri aynı mantıktadır. Genel olarak bu sistemler üç ana bölümden oluşur. Bunlar uzay, kontrol ve kullanıcı bölümleridir. Uzay bölümü,

yerkürede hiç boşluk kalmayacak şekilde, her yere sinyal oluşturabilecek şekilde yörüngelerinde seyreden uydulardan meydana gelmektedir. Kontrol bölümü, yeryüzünde hemen her kıtada yer alan ve uyduların yörünge düzeltmeleri ile birlikte en az iki kontrol bölümü arasındaki bazın sürekli kontrol edilmesi amaçlı oluşturulmuş gözlem yerleridir. Kontrol bölümlerinde veri depolama, işleme ve analiz aynı anda yürütülmektedir. Son olarak elinde GNSS alıcısı olan herkes veya her nesne kullanıcı bölümünü oluşturmaktadır (Şekil 2.7).

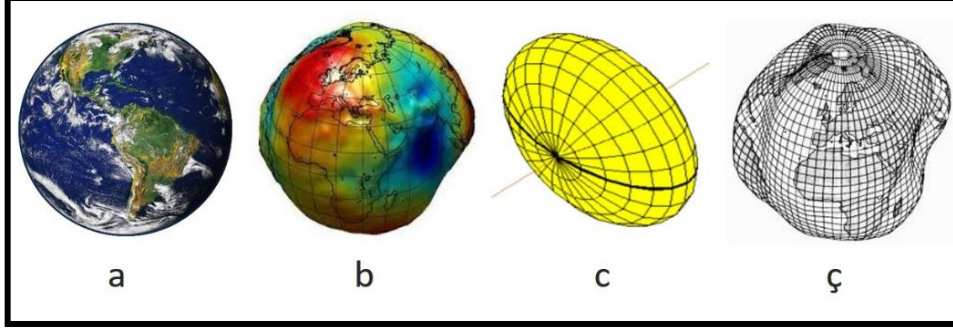
Temel prensip yerden uyduya ölçüm gerçekleştirmektir. Yerde alıcı anteni durak noktasındayken ölçüm başlangıcında şifreli sinyal üreterek uydularla eş zamanlı olarak irtibata geçer. Uydularda bu sinyale karşılık gelen yine şifreli sinyal üretilir ve kontrol bölümlerinden gelen düzeltilmiş koordinat bilgileri bu sinyal üzerinden alıcıya iletilir. Karşılıklı şifre üretildiğinden sinyaller durak noktasındaki alıcı antenince yakalanmış olur.



Şekil 2. 7 GNSS bölümleri [36].

GNSS sistemleri tasarımları itibariyle, durak noktası merkezli (toposentrik) koordinat sisteminin aksine yer merkezli (jeosentrik) koordinat sistemi üzerinde koordinat bilgisi üretmektedir. Bu sayede küresel olarak eş zamanlı konum ve hız bilgileri elde edilebilmektedir. Her ne kadar alıcı anten fiziksel yeryüzü üzerinde kurulsun da, ölçümler hesap yüzeyi üzerinden yapılır. Bu hesap yüzeyi basit geometrik şekil olarak elipstir. Elips büyük ya da küçük eksen etrafında 360° de döndürülürse ortaya elipsoit çıkar. Kısa eksen uçlarında oluşan basıklık yerküreninkine benzemektedir. Elipsoid kısa eksen tarafında batıdan doğuya hareketlendirilirse ortaya dönük elipsoit çıkar. Bu aslında

günümüzde yerkürenin matematiksel modelidir. Bu şeklin merkezi yerkürenin çekirdeği ile çakıştırılıp, ortalama eksen uzunlukları yerkürenin yarıçapı kadar (~6373.43 km) alınırsa, özellikle yatay koordinatlar yüksek hassasiyette elde edilebilir.



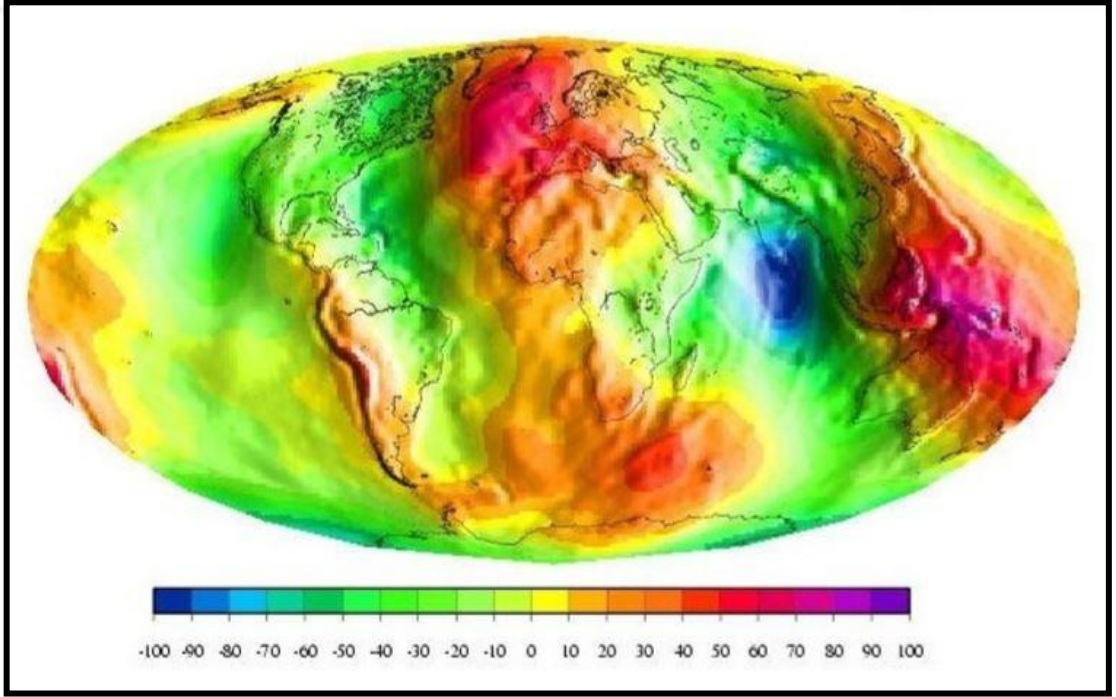
Elbette elipsoit farklı parametrelerle tanımlanabilir. Günümüzde en çok kullanılan referans elipsoit modelleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2. 3 Örnek bazı referans elipsoidleri.

Elipsoid	Yıl	Yarıçap a (km)	Yarıçap b (km)	Basıklık (~)	Kullanım
WGS84	1984	6378.14	6356.75	1/298	Tüm yeryüzü
GRS80	1980	6378.14	6356.75	1/298	Kuzey Amerika
Hayford	1924	6378.40	6356.91	1/297	Tüm yeryüzü
Clarke	1880	6378.25	6356.52	1/293	Afrika
Bessel	1841	6377.40	6356.08	1/299	Avrupa

Klasik jeodezik ölçmelerde yatay koordinatların ve düşey kotların hesaplanabilmesi için ayrı ayrı ölçüm işlemleri yapılmaktadır. Bilinen adlarıyla kutupsal veya ortogonal yatay ölçmeler, nivelman yoluyla da düşey ölçmeler gerçekleştirilir. Yatay ölçmeler için koordinat sistemi ve orijini projeksiyon sistemlerinde tanımlanabilir. Düşey için ise mareograf istasyonlarından yapılan uzun periyot gözlemlere dayalı olarak ortalama deniz seviyesinden itibaren kotlandırma yapılabilir. Ancak GNSS ölçmelerinde konum belirleme bir bütündür ve kartezyen koordinatlar kullanılan referans elipsoidi üzerinden hesaplanır. Yatay bileşenlerin doğruluklarının yüksek olacağı yukarıda belirtilmiştir. Ancak düşey bileşenler için bir takım düzeltme değerleri hesaplamak gerekir. Bunun nedeni yüksekliklerin, ortalama deniz yüzeyinin karaların altından devam ettiği var sayıldığında ve yukarıda kalan kara parçaların yarma şeklinde kesildiğinde ve dolgu

olarak gravite yoğunluğuna göre deniz içerisine dağıtıldığında elde edilen jeoit yüzeyinden itibaren anlamlı olmasdır. GNSS sistemlerinde ise Kartezyen koordinatlardan z bileşeni seçilen referans elipsoidinin merkezinden itibaren hesaplanır. Buradan elipsoit yüzeyinden itibaren olan elipsoit ykseklığine kolaylıkla geçiş sağlanabilir. Ancak bulunan değer ortalama deniz seviyesinden itibaren ykseklığine karşılık gelmez. Halk arasında rakım olarak tabir edilen bu kavram durak noktasındaki jeoit ykseklığinin belirlenmesinden ibarettir. Bunun için noktada gravite değerlerinin ölçülerek ya da hesaplanarak bilinmesi gerekir. Gravimetrik, astrojeodezik, uydu gradyometresi ve altimetresi ya da gravite belirleme amaçlı uydu görevleri sayesinde modellenebilen yeryüzü gravite modelleri bu amaç için kullanılmaktadır (şekil 2.9).

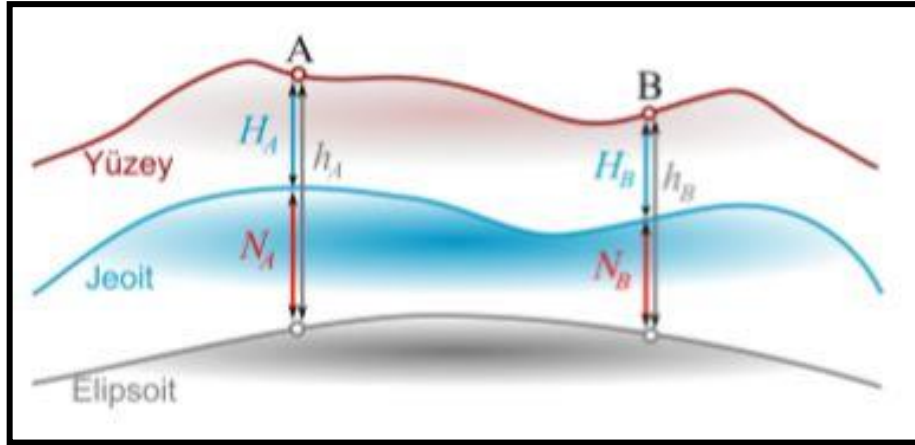


şekil 2. 9 EGM2008 jeoit yükseklikleri haritası [37].

Fiziksel yeryüzünden itibaren jeoit ykseklıği pratikte durak noktasındaki jeoit ykseklıği ve elipsoit ykseklıği arasındaki farkın bilinmesiyle hesaplanır. Bu fark ondülasyon farkı olarak bilinir:

$$N = h - H \quad (2.1)$$

şekil 2.10'da görüldüğü gibi jeoit ykseklıği N ile elipsoidal ykseklilik h ve ortometrik ykseklilik H arasındaki (2.1) formülü uygulandığında durak noktasına ait ortalama deniz seviyesinden itibaren olan ykseklilik değerini hesaplanmış olacaktır.



Şekil 2. 10 Jeoit ve elipsoit yükseklikleri arasındaki ilişki [30].

Ayrıca, nivo yüzeylerini oluşması için gerekli olan, nivonun düzeçlenmesinde yerçekiminin etkisi olduğu gerçeği, klasik ölçmelerde nivelmanın da yola bağımlı olduğunu ortaya koyar. Bu konuyla ilgili detaylara [30], [38], [39]'den ulaşılabilir.

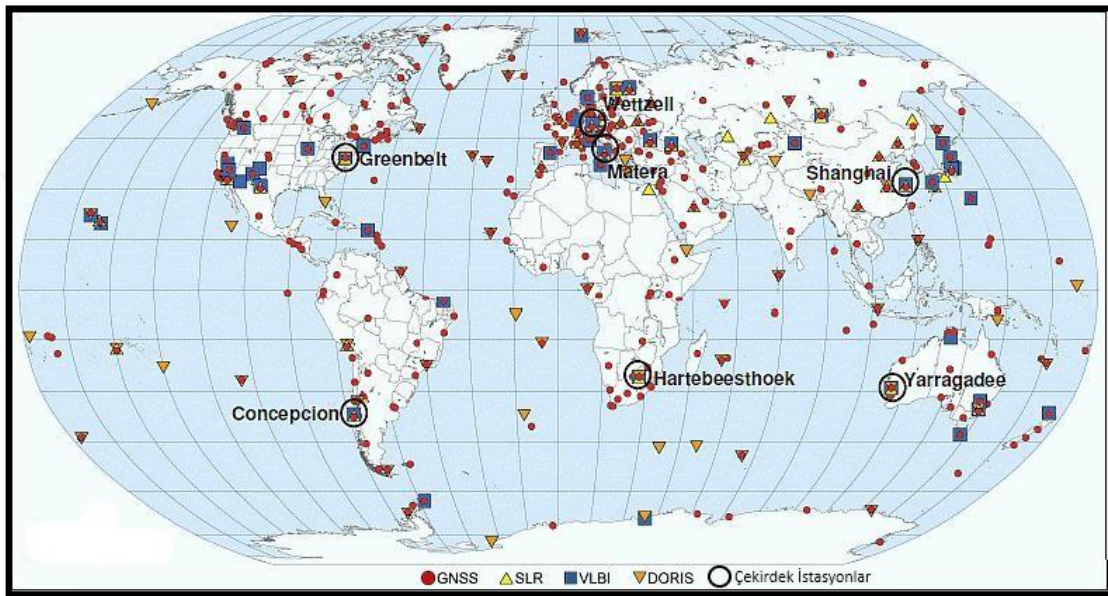
#### 2.2.1.1 GNSS Koordinat Sistemleri ve Datum

Yeryüzündeki veya onun yakınındaki (örneğin uydular) nokta konumlarının belirlenmesi, yerkürenin gravite alanının gösterimi ve yerküre ile ilişkili başka fiziksel özelliklerin tanımı için kullanılan koordinat sistemleri konum belirlemenin temel taşıdır. Konum belirleme ile ilgili oluşturulacak koordinat sistemlerinin tanımlanması ve düzleme aktarılmasında aracı rol oynayan matematiksel işlevlerin bir sonucu datum problemini ortaya çıkarmaktadır. Yerkürenin ya da onun bir parçasının ölçülerek haritaya aktarılmasında kullanılacak referans elipsoidinin uzaydaki konumunu, yönelimini ve boyutlarını tanımlayan parametrelere kısaca datum adı verilir. Öte yandan GNSS sistemlerinin jeosentrik koordinat sistemlerine ihtiyaç duyduğunu önceki bölümde belirtilmiştir.

Bu amaçla kullanılan Uluslararası Yersel Referans Sistemi (ITRS) ve Gerçekleşmesi (ITRF) yeryüzündeki veya onun yakınındaki (örneğin uydular) nokta konumlarının belirlenmesi, yerkürenin gravite alanının gösterimi ve yerküre ile ilgili başka fiziksel özelliklerin tanımı için kullanılan üç boyutlu jeosentrik (yer merkezli) bir sistemdir. Ağırlık merkezi tanımı yerkürenin katı, sıvı ve atmosfer katmanlarının tamamını kapsar. Eksen yönelimleri ekvatoraldır. Başka bir ifade ile z eksenini yerin dönme eksenini doğrultusundadır. Yer in jeodinamik olaylarına bağlı olarak zamanla değişir. Eksen doğrultuları için başlangıç,

Uluslararası Zaman Bürosu (BIH) tarafından 1984.0 epöğündaki yönelim ile tanımlıdır. ITRS'nin gerçekleşmeleri, Uluslararası Yeryüzü Dönüklük ve Referans Sitemleri Servisi (IERS) bünyesinde ITRS ürün servisince ITRF adı altında duyurulur.

ITRF istasyonların konum ve hızlarından elde edilen küresel ve yersel referans sistemlerinin birleşimidir. Beş adet ölçme tekniği kullanılmıştır. Bunlar çok uzun bazlı interferometre (VLBI), ay ve uydu lazer ölçmeleri (LLR-SLR) GPS ve DORIS yöntemleridir (şekil 2.11).



şekil 2. 11 ITRF2014 istasyon ağı [40].

SLR, yeryüzündeki gözlem istasyonlarından, geri-yansıtıcı taşıyan uydulara gönderilen kısa lazer ışınının çıkış ve geri dönüş zamanları arasındaki farkın ölçüldüğü tekniktir. Jeodinamik araştırmalar amacıyla geliştirilen SLR uydu tekniği, dünya referans ağının oluşturulmasında kullanılmaktadır. SLR ağları, dünyanın dönme parametreleri elemanlarının hassas bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamıştır. SLR ölçümleriyle nokta konumu doğruluğu cm olarak belirlenebilmektedir. VLBI ağları, çok uzaklarda radyo dalgalarını yayan ve kuasar adı verilen gök cisminde yayılan sinyallerin iki veya daha fazla sayıdaki radyo teleskoplarının antenleriyle alınmasındaki zaman farkını ölçer. Çok sayıda kuasardan dünya üzerinde tesis edilmiş birçok alıcı antene gelen sinyallerdeki zaman farkı ölçüldüğünden, antenlerin eş zamanlı hassas konumları tanımlanır. DORIS ağlarıyla, hassas konum ve uydu yörüngesi belirlemek amacıyla ilk olarak yerden belli frekanslarda sinyaller impuls şeklinde uydulara gönderilir. Yörüngesi bilinen uyduların



yer noktasına olan uzaklık değişiminden kaynaklanan Doppler etkisinden yararlanarak yer ve uydu arasındaki uzaklıklar belirlenmektedir. Şekil 2.12’de bu ölçme tekniklerinde kullanılan farklı anten tipleri görölmektedir.

Yersel referans sistemleri açıklanan tekniklerin tekil çözüm analizleri ya da veri setlerinin (istasyon koordinatları, dünya dönme parametreleri gibi) birleşik çözümlerinin analizi ile belirlenmiştir. İstasyon koordinatları, hızları ve varyans matrisleri bağımsız değişim formatı çözümlenmesi olan SINEX formatında yayımlanır.



Şekil 2. 12 ITRF2014 istasyon ağında farklı yöntemlere ait anten tipleri.

ITRF, 1991 yılında Viyana’da Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği (IUGG) tarafından benimsenen ilkeler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. 1991’deki Buenos Aires toplantısındaki Uluslararası Astronomi Birliğinin (IAU) önerileri de bu gerçekleştirmede etkili olmuştur. ITRS’in tanımı için aşığıdaki ilkeler geçerlidir.

- ITRS, sabit yer merkezli sistemden özel dönmelerle kartezyen bir sisteme geçiş olarak sağlayacaktır.
- Sabit yer merkezli sistem, IAU’nun önerileri doğrultusunda oluşturulacak Jeosentrik Referans Sistemi (GRS) olacaktır.
- ITRS’nin koordinat zamanı, hem GRS zamanı hem de Jeosentrik Koordine Zamanı TCG olacaktır.
- Sistemin orijini karalar, okyanus ve atmosferi de içeren yerin kütle merkezi olacaktır.
- Sistem, yer yüzeyindeki yatay hareketlere göre küresel artık dönme farklarına sahip olmayacaktır.

- ITRS'nin ideal gerçekleştirmesi, noktalarının üç boyutlu kartezyen koordinatlarıyla Uluslararası Yersel Referans Ağı ITRF olarak tanımlanacaktır.

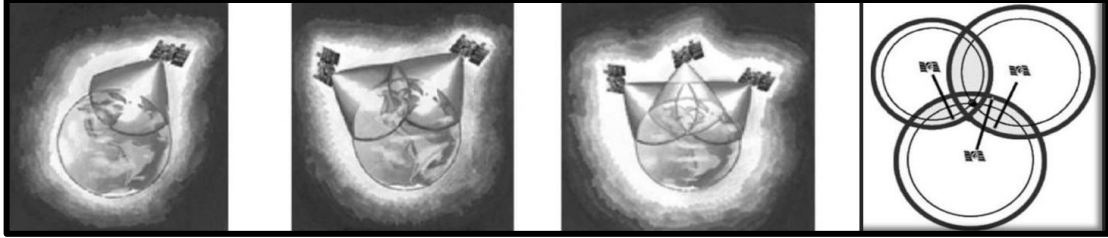
ITRF içerik olarak, istasyonlara ait kartezyen koordinat ve hızları, istasyonların kataloğu, DOMES istasyon kimlik numaraları ve yerel bağlantılar ile ITRF 89, ITRF 90, ITRF 91, ITRF 92, ITRF93, ITRF 94, ITRF 95, ITRF 96, ITRF 97, ITRF 2000, ITRF 2005, ITRF 2008, ITRF 2014 güncelleştirmelerinden oluşmaktadır.

Gündelik hayatın bir parçası haline gelen konum belirlemenin, tüm dünyadaki kullanıcılara en doğru bir şekilde konumsal bilgi sunabilmesinde şüphesiz oluşumunda fayda sağlanan ITRF'in önemi büyüktür. Yine jeodezik çalışmaların, uzay gözlemlerinin, deprem ve plaka hareketlerinin izlenmesinde kullanılan tekniklerin birleşimi sonucu elde edilen gözlemlerin tanımlandığı ortak bir dildir. ITRF aynı zamanda hem yerel hem de kendisiyle eş değerde olabilecek referans sistemlerine de altlık oluşturmaktadır. Bölgesel datumlar, birbirleri arasındaki dönüşümü hız ve zamana bağlı olarak ITRF'yi araç olarak kullanmaktadırlar. ITRF sisteminin yer merkezli olması jeoit belirleme ve modelleme çalışmalarında önemli adımlar atılmasını sağlamıştır. Özellikle yükseklik problemlerinin çözümünde ondülasyon farkının ortaya çıkması ve deformasyon hesaplamalarında hız ve zaman bilgilerinden yararlanılması ITRF sisteminin sürekli güncellenen ve gelişen bir referans sistemi olduğunun ispatıdır.

### 2.2.1.2 Statik Ölçmeler

GNSS sistemleri konum belirlemenin yanı sıra navigasyon amaçlı olarak kullanılmaktadır. Günümüzde navigasyon uygulamaları her türlü kişisel akıllı mobil telefon ve multimedya sahibi araçlarda karşımıza çıkmaktadır. Navigasyon tam olarak yön ve yer bulma olarak özetlenebilir. Bu bakımdan konum belirleme navigasyon hizmetleri için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. GNSS ile konum belirlemede temel çözümleme aslında geriden kestirme problemidir. Durak noktasının  $(x,y,z)$  kartezyen koordinatları aranan değerler olduğu düşünülürse ve uyduların yörüngelerindeki kartezyen koordinatları da bilindiğine göre, bu durumda üç adet bilinmeyen çözüm için en az üç adet uydudan ölçüm yapılması gereği ortaya çıkar (Şekil 2.13). Ancak bunların dışında GPS gibi GNSS sistemlerinde atomik saatler ile zaman ölçümü de yapıldığı için uydu saati ya da alıcı saati

hatalarının giderilmesi için bir bilinmeyen daha eklenir ki bir uydudan daha ölçüme ihtiyaç duyulur. Kısaca en az dört uydudan durak noktasına doğru oluşan bazların oluşturduğu triyagülasyon ağı geriden kestirme probleminin çözümüne yeterlidir.



Şekil 2. 13 GNSS ile konum belirleme problemi.

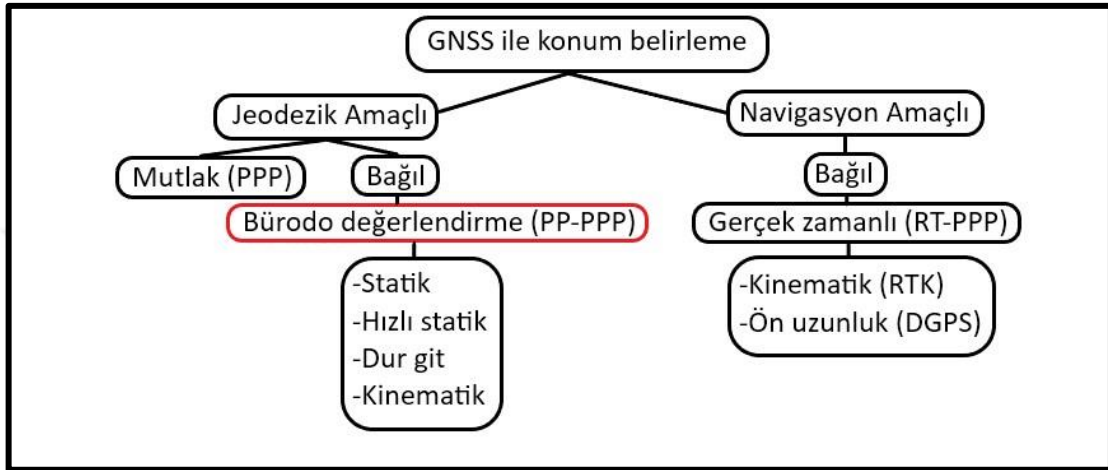
Öte yandan GNSS sistemleri mühendislik ölçmelerinde yüksek hız ve doğrulukla, düşük maliyetler kazandırmaktadır. Elbette çok daha yüksek doğruluk gerektiren bilimsel çalışmalarda da hassas konum belirleme önem arz eder. İster jeodezik çalışmalarda olsun ister navigasyon gibi gündelik hayata girmiş uygulamalarda olsun, zaman, doğruluk ve maliyet açısından GNSS ölçme yöntemleri farklı amaç ve çalışmalarda kullanılmaktadır. Şekil 2.14’de özetlenen bu yöntemler jeodezik ve navigasyon amaçlı olmalarına göre ilk etapta ayrılabilir. Her iki durumda da mutlak ya da bağıl ölçmeler yapılabilir. Hassas nokta konumlama (PPP-Precise Point Positioning) tekniğinin, özellikle tek alıcı ölçümlerde kullanımı son yıllarda hızla artmaktadır. Günümüzde jeodezik ürünlerin ücretsiz sunumu sayesinde, PPP tekniğinin ölçü sonrası değerlendirme (PP:Post-Processing) ve gerçek zamanlı (RT:Real-Time) uygulamalarına önemli katkı sunmaktadır [41].

Mutlak konum belirleme tek alıcıyla yapılan ve yeryüzünde sadece kontrol merkezlerine ve uydulara olan bazların hesaplanmasıyla geriden kestirme probleminin çözümlenmesidir. Daha çok el tipi GPS alıcıları ve yardımcı GPS özellikli mobil telefon ve araç navigasyon uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır.

Bağıl konum belirleme ise durak noktasıyla eş zamanlı olarak mutlaka ikinci bir bilinen durak noktasında ölçüm yapılması koşuluyla dayalı dengeleme çözümlenmesidir. Burada dikkat edilirse, en az iki alıcı olması gerekliliği ortaya çıkar. Bağıl konum belirleme navigasyon amaçlı çözümlenelerde olduğu gibi jeodezik amaçlı uygulamalarda da gerçek zamanlı kinematik (RTK) ölçme tekniği ile yapılabilir. Buna en güzel örnek sürekli

gözlem yapan belirli uzaklıklarda tesisli istasyonlardan oluşan ve bir sonraki bölümde detaylı açıklanacak olan (CORS) ağlardır.

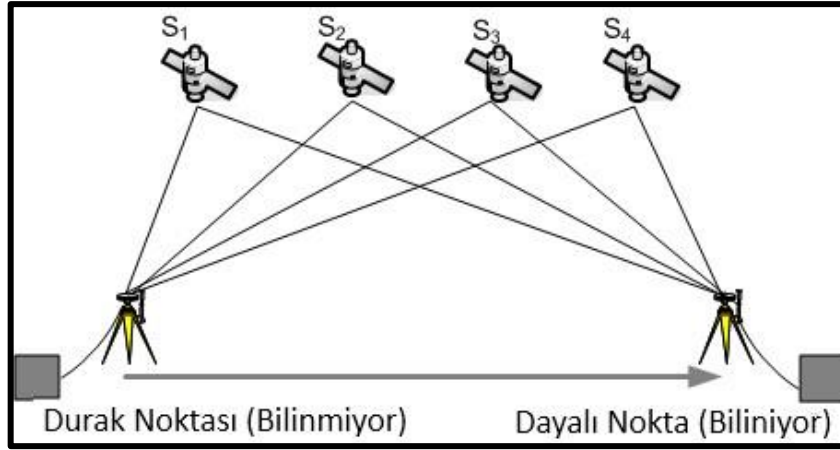
Anlık olmayan çözümlenmelerde ise arazide toplanan veriler bir yazılım aracılığıyla dengelenmelidir [42]. Bu şekilde yapılan ölçmeler durağan olarak yapılan statik ölçmeler, sürekli hareketli olarak yapılan kinematik ölçmeler ve kısa sürelerle hem durağan hem de hareketli olarak dur-git ölçme yöntemleridir.



Şekil 2. 14 GNSS ile konum belirleme ölçme yöntemleri [36].

Statik ölçmelerde en az iki alıcı ile minimum bir saatlik eş zamanlı ölçü yapılmalıdır. Yüksek doğruluk istendiğinde, uzun baz ölçümlerinde ve sistematik hata etkilerinin dikkate alınması durumunda en uygun yöntemdir. Kıtalararası ve ulusal jeodezik ağların ölçümü, güçlü yer hareketlerinin ve tektonik hareketlerin izlenmesi ve yüksek doğruluk gerektiren özel ölçmelerde statik ölçme yöntemi uygulanmalıdır. Bu yöntemle, bazlar arası mesafe  $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$  hassasiyette hesaplanabilir. Statik ölçmelerde gözlem süreleri her ne kadar en az 1 saat olarak bilinse de, istenilen yüksek doğruluklara minimum 8-12 saat ölçülerle erişilebilir. Deformasyon ve aktif fay izlemelerinde ise 24 saatlik ölçümler her zaman tercih edilmelidir [22].

Alıcının bilinmeyen bir noktadaki koordinatları, kod veya taşıyıcı ölçümleri kullanılarak bilinen bir noktadaki alıcıya göre aranır (Şekil 2.15). Aradaki baz vektörü ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ ), bilinen bir pozisyondan bilinmeyen bir pozisyona kadar hesaplanır. Diferansiyel konumlandırma, bazen bilinmeyen bir bölgedeki ölçümlere bilinen bir bölgede ölçülen düzeltmeleri uygulayan CORS gibi özel bir göreceli konumlandırma türü ile ilişkilendirilen bağıl konumlandırma ile aynı anda kullanılır.



Şekil 2. 15 Statik ölçme yöntemi [36].

### 2.2.1.3 Diğer Yöntemler

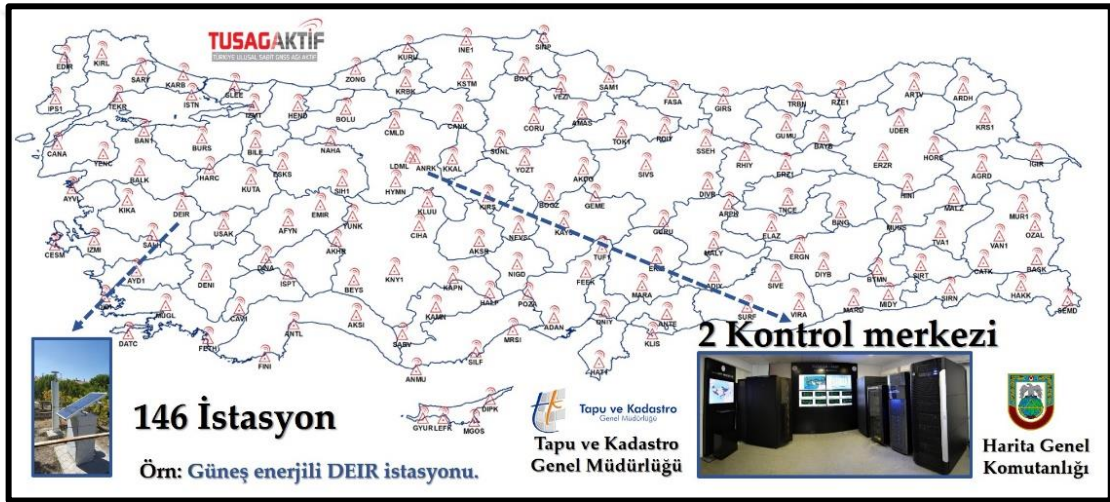
Statik ölçümlerin daha kısa bazlarda ve kısa sürelerde uygulanmasına hızlı statik ölçme yöntemi denir. Prensip olarak statik ölçmeyle aynıdır. Kontrol ağlarının sıklaştırılması, hassas poligon ölçümü ile yerel ağların ölçülmesinde ve kontrolünde yüksek doğruluk beklendiğinde kullanılmaktadır. Statik ölçmeye göre daha kolay, hızlı ve ekonomik olmasına karşın sadece kısa bazların ölçülmesinde kullanılmaktadır.

Bir başka statik ölçme yöntemi de durağan aralıklı kinematik ölçme yöntemidir. Dur-git yöntemi olarak bilinen bu yöntemde statik ya da hızlı statik yöntemlerden biriyle taşıyıcı faz başlangıç belirsizliği giderilmelidir. Çözüm için yeteri kadar veri toplandıktan sonra alıcı sürekli en az dört uyduya kilitlenecek şekilde sahada gezdirilir. Bu yöntemde bir epokluk veri kaydı yeterli olacaktır. Daha çok poligon noktalarının koordinatlandırılmasında ve detay noktalarının ölçüm işlerinde tercih edilir. Çizelge 2.4'te ölçü yöntemlerine ilişkin asgari koşullar verilmiştir.

Çizelge 2. 4 GNSS ölçme yöntemlerine ilişkin asgari koşullar [36].

Ölçü Tipi	Epok (sn)	Doğruluk (mm)	Baz (km)	Süre
Statik	15	5	20>	8-24 sa
Hızlı Statik	5-10	5-10	<20	1-8 sa
Dur-Git	1-5	10-20	Hareketli	1-5 dk
Kinematik	0.1	10-20	Hareketli	Anlık

Kinematik ölçü yönteminde de dur-git yönteminde olduğu gibi işleyişe sahiptir. Tek fark alıcı ilk işlemlerden sonra sürekli hareket halindedir. Kinematik ölçü yönteminin gerçek zamanlı olarak yapılması sonucu RTK ölçme yöntemi oluşur. Eğer RTK yöntemi sürekli gözlem yapan istasyonlarla bütünleşik çalışırsa ortaya RTK-CORS yöntemi çıkar. Bu sistemlerde ikinci alıcıya ihtiyaç duymadan ağıdaki sabit istasyonlardan yararlanarak bağıl konum belirleme yapılabilmektedir. Eş zamanlı yapılan gözlemler kontrol bölümlerinde değerlendirilip tek alıcıya düzeltilmiş koordinatlar anlık olarak sunulmaktadır. Elbetteki bazı ağlarda işletim ve veri iletim maliyetleri gereği kullanıcılara belirli bir ücret karşılığı hizmet verilebilir [43]. Şekil 2.16'da ülkemizde yer alan 146 sabit istasyon ile 2 adet kontrol merkezine sahip TUSAGA-Aktif ağı bu amaçla hizmet vermektedir.



Şekil 2. 16 TUSAGA-Aktif Ağı [43].

CORS ağlarında, alıcıdan bağımsız veri değişim formatı olarak kabul gören RINEX dosyaları GNSS uydularından ilk olarak sürekli gözlem yapan sabit istasyonlardaki alıcılarda toplanmaktadır. RINEX dosyaları VPN, GPRS ve EDGE gibi internet üzerinden veri aktarım protokolleri aracılığıyla kontrol merkezine ulaşır. Burada atmosferik ve diğer hatalar modellenir. RTK ve DPGS ölçümlerine ilişkin düzeltilmiş koordinatlar hesaplanır. Sunucuya aktarılan bilgiler radyo frekansı ile taşınabilir RTCM veri formatına çevrilerek bu formata özel aktarım protokolü olan NTRIP ya da VPN, GPRS ve EDGE gibi internet üzerinden veri aktarım protokolleri aracılığıyla alıcıya ulaşır. Kullanıcı alıcının el ünitesinde  $\pm 4$  cm hassasiyette koordinat bilgilerini anlık olarak görebilir. Kullanıcılar tarafından büyük zaman ve maliyet kazancı olan, bölgesel ve küresel olarak

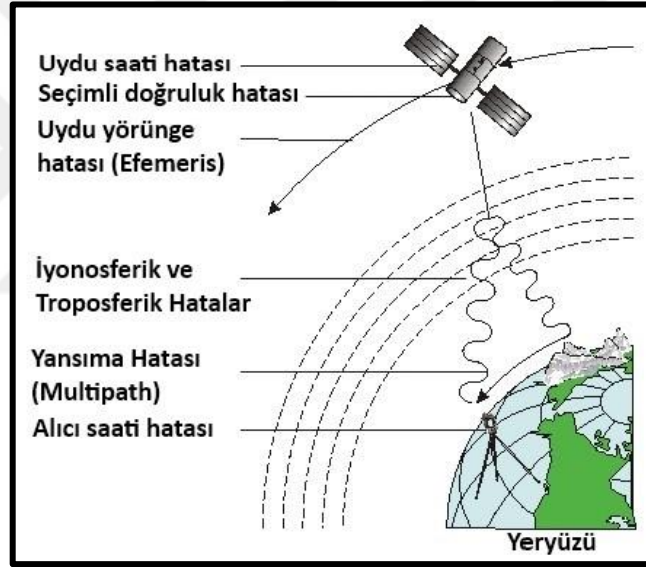


Gürültüden kaynaklı hatalara sapma hatası ve kaba hata eklendiğinde ise ölçü grubu gerçek değerden oldukça çok uzaklaşmaktadır.

GNSS sistemlerinde genel olarak hata kaynaklarını;

- Uydu Kaynaklı Hatalar,
- Alıcı Kaynaklı Hatalar,
- Atmosferik Etkiler/Modeller,

olarak sınıflandırabiliriz. Bu sınıflandırma içerisinde yer alan uydu saat hataları, sinyal kayıklığı, uydu yörünge hataları, iyonosferik ve troposferik hatalar, sinyal çok yolluluk etkisi ve alıcı anteni faz merkezi değişimleri GNSS’de temel hata kaynaklarıdır (Şekil 2.19).

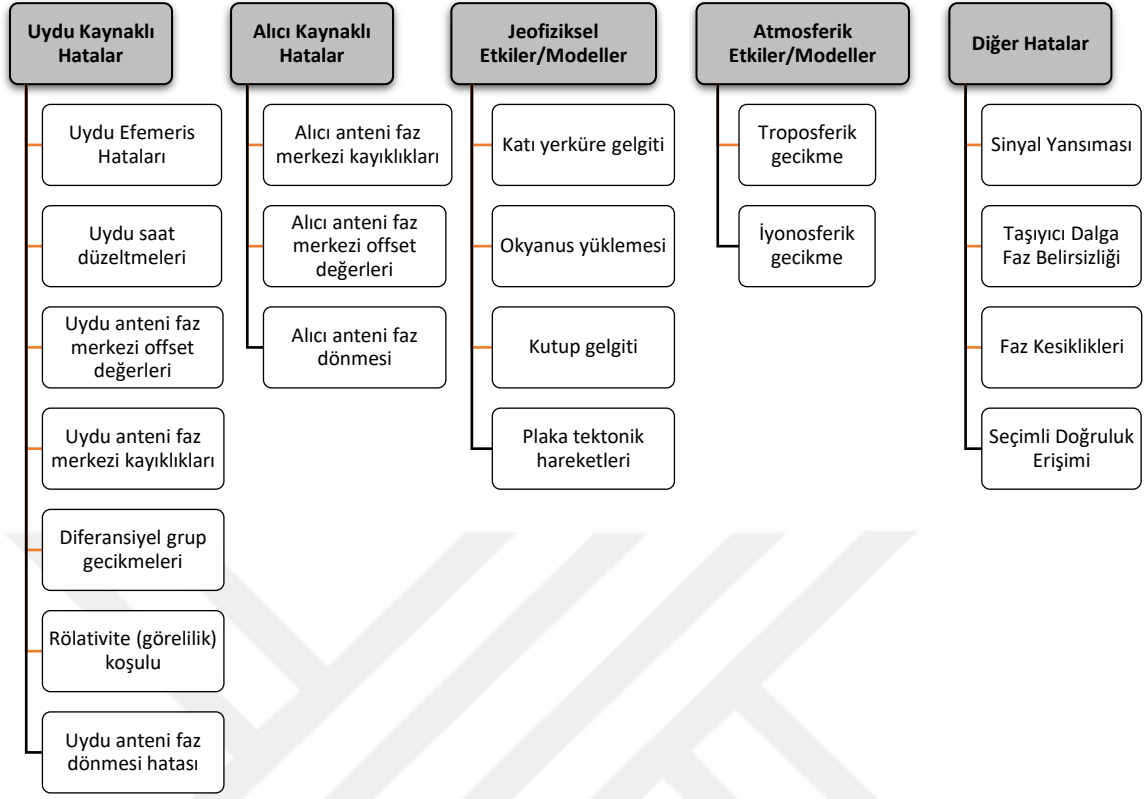


Şekil 2. 19 GNSS temel hata kaynakları.

Çizelge 2.5’te hata kaynaklarının detaylı sınıflandırılması yapılmıştır. Bu hataların bir kısmı dengeleme sonucu giderilir. Ancak bir kısmı da elde edilen parametre kestirimlerinde etkilerini sürdürür. Bu durumda, GNSS gözlemlerine dayalı olarak türetilen fark gözlemleri ile bir takım hatalar giderilmeye çalışılır.



Çizelge 2. 5 GNSS hata kaynaklarının sınıflandırılması [42].



Fark gözlemleri özetle şu şekildedir [36];

1. İlk olarak tekli farklar, iki farklı noktadaki alıcılardan aynı uyduya eşzamanlı olarak yapılan faz gözlemleri arasındaki farklardır. Tek uydu ile çözümlenir. Bu yöntemde temel olarak uydu saatlerindeki hatalar giderilmektedir. Tekli fark, uydular arasında aynı bir alıcı için oluşturulursa bu durumda alıcı saati hataları giderilmiş olur.
2. İki tekli farkın fark gözlemleri ikili farklardır. Aynı epokta iki farklı uydu için oluşturulan tekli farklar arasındaki farktır. En az iki uydu ile çözüm yapılır. Bu yöntemle ölçüler gerçekleştirilirse, kısa baz uzunluklarında troposferik ve iyonosferik etkiler giderilmekte veya en aza indirilebilmektedir. Üstelik uydu ve alıcı saati hatalarının her ikisi birden giderilir.
3. Üçlü farklar ise iki ikili fark arasındaki fark gözlemleridir. Böylece en az dört uydu ile iki farklı epokta oluşturulan çözüm yapılır. Bu yöntemle tekli ve ikili fark gözlemleri ile giderilen diğer hatalara ek olarak taşıyıcı dalga faz başlangıcı

belirsizliğinin (ambiguity) çözümlenmesi de yapılır. Ayrıca, sinyal yansıması gibi kaba hataların belirlenmesinde kullanılır.

## **2.3 Uluslararası Kuruluşlar**

Bu bölümde uydu jeodezisi ve özellikle GNSS sistemlerinin organizasyonu ve işleyişi kapsamındaki öne çıkan uluslararası kuruluşlar açıklanacaktır.

### **2.3.1 Uluslararası Yeryüzü Dönüklük ve Referans Sistemleri Servisi (IERS)**

1987 yılında, Uluslararası Yeryüzü Dönüklük Servisi (IERS) adı altında, Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği (IUGG) ile Uluslararası Astronomi Birliği (IAU) iştiraki ile kuruldu. 1 Ocak 1988 yılında ise çalışmalarına başladı. 2003 yılında ise halen kullanılmakta olan Uluslararası Yeryüzü Dönüklük ve Referans Sistemleri Servisi adını almıştır.

Bilimsel ya da mühendislik ölçmeleri, uzay ve yersel zaman referans sistemlerinin uluslararası kuruluşlarla ortaya konulmasını gerekli kılmıştır. İlk etapta Uluslararası Zaman Bürosu (BIH) tarafından üstlenilen çalışmalar, 1 Ocak 1988 tarihinden itibaren IERS tarafından yürütölmektedir. Astronomik ve Jeofiziksel Veri Analiz Servisleri (FAGS) üyesi olan IERS'nin temel amaçları, astronomi, jeodezi ve jeofizik araştırmalarına ve uygulamalarına aşağıdakileri sağlamaktadır:

- Uluslararası Göksel Referans Sistemi (ICRS) ve bunun gerçekleşmesi Uluslararası Göksel Referans Ağı'nı (ICRF),
- Uluslararası Yersel Referans Sistemi (ITRS) ve bunun gerçekleşmesi Uluslararası Yersel Referans Ağı'nı (ITRF),
- Yerkürenin dönüş hızındaki değişimlerini belirlemek için ICRF ve ITRF arasındaki dönüşüm için gereken yer dönme parametrelerini,
- ICRF, ITRF veya yer dönme parametrelerindeki ve modellerindeki değişimleri referans sistemlerinde yorumlamak için jeofiziksel veri,
- Uluslararası işbirliğini teşvik eden standartlar, sabitler ve modeller.

IERS, yönetimler ve seçilmiş ticari kuruluşlar tarafından sağlanan geniş bir platformdur. IERS, geniş kapsamlı uygulamalar ve araştırmalar için kullanılacak verileri doğru bir

şekilde toplar, arşivler ve dağıtır. Verilerin doğruluğu aşağıdaki bilimsel ve teknik amaçlar için önemlidir:

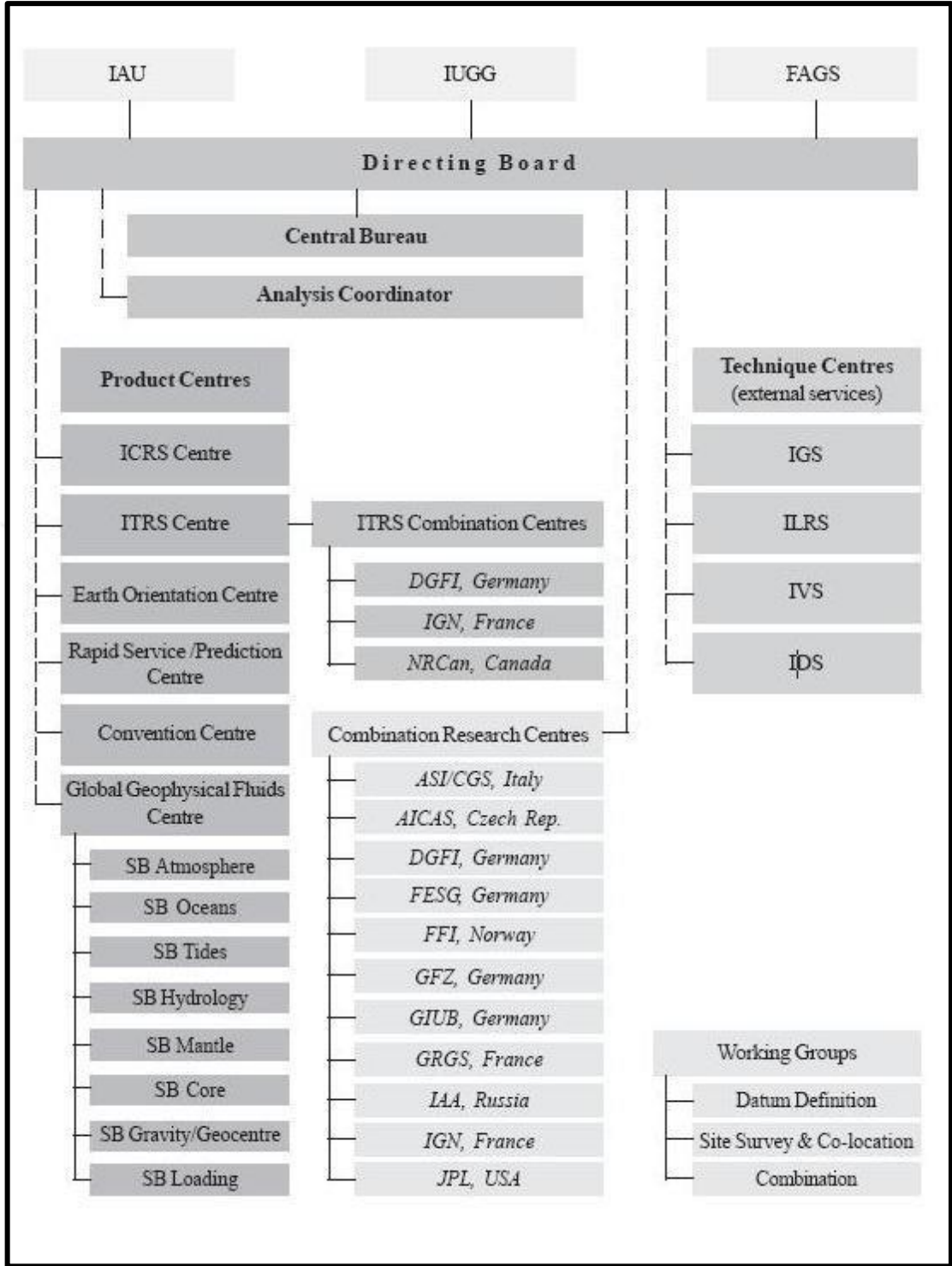
- Temel astronomik ve jeodezik referans sistemleri,
- Yer dönüklük parametrelerinin ve yer kabuğundaki deformasyonların izlenmesi ve modellenmesi,
- Atmosferi ve hidrosferi içeren jeofiziksel akışkanlardaki kütle değişmelerinin izlenerek dinamik yer değiştirmenin jeofiziksel ve atmosferik incelenmesi
- Yapay uyduların yörüngelerinin belirlenmesi ve uzayda konumlama ve yön bulma çalışmaları vb.

IERS kendine ait görevlerini, teknik komiteler, veri üretim ve birleştirme merkezleri, analiz koordinatörlüğü, merkez bürosu, yönetim kurulu ve çalışma grupları yoluyla gerçekleştirir. Teknik komiteler, IERS'in işbirlikçisi ve kendi iradesi ile hareket eden bağımsız kuruluşlardır. Bu teknik komitelerden;

- Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service for Geodynamics, IGS)
- Uluslararası Lazer Ölçmeleri Servisi (International Laser Ranging Service, ILRS)
- Uluslararası Çok Uzun Bazlı İnterferometri Servisi (International Very Long Baseline Interferometer Service, IVLBS)
- DORIS Servisi

önemli veri üretim ve araştırma merkezleri olarak çalışırlar. Bu servisler birçok araştırma merkezlerinden oluşmaktadır. Her araştırma merkezi farklı ölçme ve gözlem tekniğiyle veri üretir. Şekil 2.20'de gözlenen hedef, gözlem tekniği ve yer istasyonlarının arasındaki bağlantılar görülmektedir.

Uluslararası projelerde farklı ülkelerin kullandığı ulusal referans koordinat sistemleri arasında farklılıklar olduğundan projelerin sonuçlanması zorluklarla karşılaşmaktadır. Oysa ki küreselleşen dünya ülkelerinde yoğun miktarda yapılan ortak çalışmaların hızlı ve doğru bir şekilde yürütülmesi hem maliyet hem de hizmet açısından kaçınılmazdır.



Şekil 2. 20 IERS organizasyon şeması [44].

Bundan dolayı, uluslararası nitelikte ortak referans koordinat sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gereksinimin bir sonucu olarak uluslararası nitelikteki kuruluşların oluşturduğu organizasyonlar sayesinde büyük adımlar atılmış ve ortaya kayda değer sonuçlar çıkmıştır.

### 2.3.2 Uluslararası GNSS Servisi (IGS)

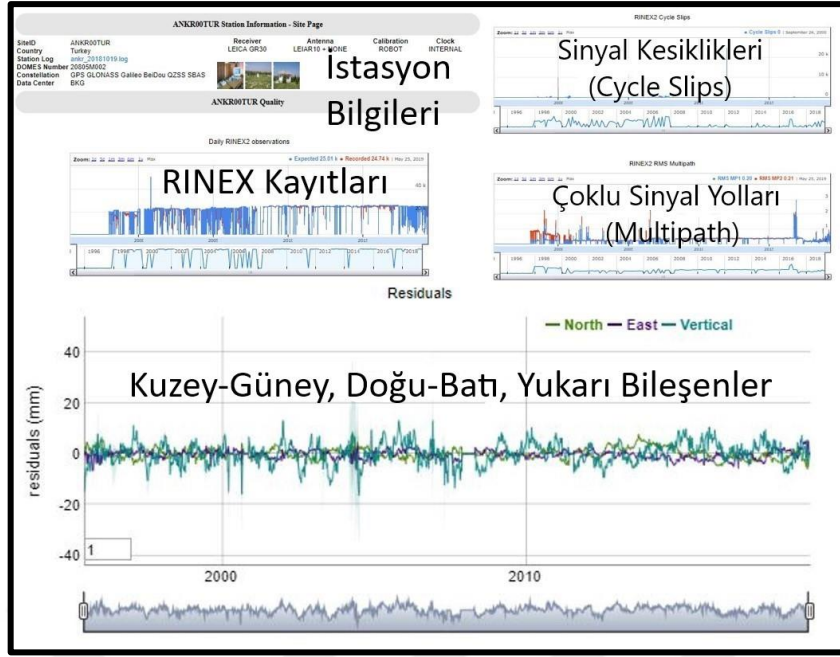
Bilimsel, eğitimsel ve ticari uygulamalar için küresel referans ağına erişim sağlamaktadır. 1994'ten beri ilgili tüm bilim insanlarına yüksek kaliteli GNSS veri ürünlerini açık erişim olarak sağlamaktadır.

IGS, yüzden fazla ülkede, iki yüzün üzerinde üniversite, araştırma ve kamu kurumundan oluşan en hassas GPS uydu yörüngelerini sağlayan kar amacı taşımayan bir birliktir. IGS'in başlıca görevleri;

- Bilimsel ilerleme ve kamu yararı için mevcut en yüksek hassasiyete sahip ürünlere ücretsiz ve açık erişim sağlayarak jeodezik araştırmalar ve bilimsel yayınları desteklemek,
- Dünya çapında dört yüzden fazla referans istasyonundan izleme verisine erişim sağlarken, ITRF gerçekleştirilmesini destekleyen ürünler üretmek,
- Çalışma grupları ve pilot projeler ile yeni uygulama ve ürünlerin sürekli gelişimi için Küresel Jeodezik Gözlem Sisteminin (GGOS) bir bileşeni ve Dünya Veri Sistemi (WDS) üyesi olarak çalışmaktadır.

IGS ürünleri özetle, GNSS uydu efemerisleri, yer dönme parametreleri, GPS koordinatları ve hızları, uydu ve takip istasyonu saati bilgisi, troposferik ve iyonosferik düzeltemeler, sinyal kesiklik ve gecikme tahminlerini (Cycle slip) içerir. IGS ürünleri, yer bilimleri analizlerini ve bunun gibi diğer çabaları destekler (Şekil 2.21).

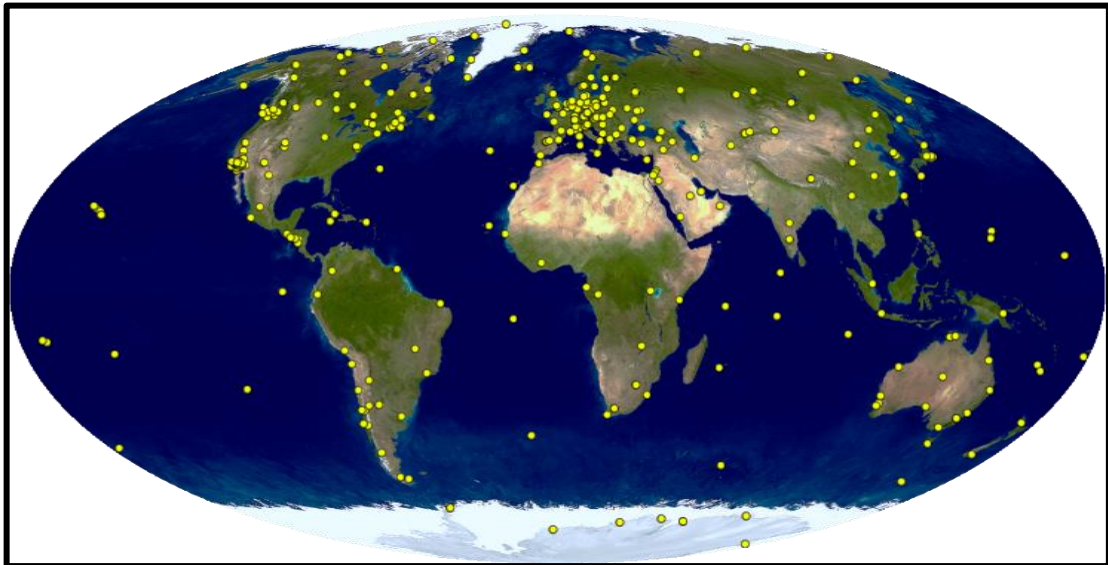
Örneğin, ITRF'in geliştirilmesi ve genişletilmesi, küresel deformasyonun ve nutasyonun izlenmesi, troposfer ve iyonosferin modellenmesi, bilimsel uyduların yörüngelerinin belirlenmesi vb. konularda yer bilimi alanına hizmet etmektedir. Aynı zamanda küresel ölçeklerde hassas nokta konumlandırma (PPP) sağlayan bir GNSS yörünge ve saat düzeltme servisi. IGS ürünleri, bilimsel testler, jeofiziksel izlemeler, tehlike tespiti ve uyarı sistemleri, hava durumu tahmini, zaman senkronizasyonu, GNSS konfigürasyon izlenmesi, görüntü kontrolü ve diğer birçok kamu yararı uygulaması gibi uygulamaları mümkün kılmaktadır.



Şekil 2. 21 ANKR istasyonuna ait IGS ürünleri [45].

IGS'nin kuruluşu, GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZSS ve SBAS'ı takip eden dört yüzden fazla sürekli çalışan GNSS istasyonundan oluşan küresel bir ağıdır (Şekil 2.22).

İstasyonlara ait veriler, 4 IGS küresel veri merkezinde ve birden fazla bölgesel veri merkezinde arşivlenmektedir. Analiz merkezleri, verileri düzenli olarak işleyerek bilim camiasının kullanımına sunmaktadır.



Şekil 2. 22 IGS ağı [45].

### 2.3.3 Scripps Yörünge ve Sürekli İstasyon Merkezi (SOPAC)

ABD'nin California eyaletinde yer alan merkez, deprem ve tsunami tehlikeleri, tektonik levha hareketi, kabuk deformasyonu ve yapısal izleme çalışmaları için yüksek hassasiyetli jeodezik ve sismik verilerin araştırılması, analiz edilmesi ve arşivlenmesi için hizmet vermektedir.

SOPAC, 1991'den itibaren hassas GPS verisi ve ürünlerinin analizine ve arşivlenmesine odaklanan geniş bir kullanıcı topluluğuna hizmet etmektedir. Bugün SOPAC, jeodezi, jeofizik, ölçme ve mühendislik alanlarında çok çeşitli projeler için jeodezik ve sismik verileri kullanan araştırma gruplarını da kapsamaktadır.

SOPAC veri arşivinden IGS istasyonlarına ait RINEX dosyaları veri gözlem, meteorolojik, ve navigasyon uzantılı olarak sağlanabilir. Etkileşimli arayüz sayesinde, istenilen istasyona ait veriler belli bir tarih aralığında ya da yılın günleri şeklinde veri yoğunluğunu görerek temin edilebilir (Şekil 2.21).

site	2018	2018	2018	2018
ankr	1	2	3	5
	61	100	100	100

Şekil 2. 23 SOPAC veri indirme arayüzü [46].

### 2.3.4 Kabuk Hareketleri Veri Bilgi Sistemi (CDDIS) ve Jet Yürütme Laboratuvarı (JPL)

Kabuk hareketleri veri bilgi sistemi (CDDIS) başlangıçta ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'nin (NASA) kabuk hareketleri projesi (CDP) için merkezi bir veri bankası sağlamak üzere geliştirilmiştir. Sistem, NASA'nın uzay jeodezisi projesi ve yer bilimleri araştırmaları aracılığıyla uzay jeodezisi ve jeodinamik faaliyetleri desteklemektedir. CDDIS, 1982 yılında uzay jeodezisiyle ilgili veri setlerini arşivlemek ve dağıtmak için özel bir veri

bankası olarak kurulmuştur. Günümüzde, CDDIS temel olarak GNSS, SLR- LLR, VLBI ve DORIS verilerini arşivlemekte ve dağıtmaktadır.



Şekil 2. 24 CDDIS ve JPL veri indirme arayüzleri [47].

NASA bünyesinde hizmet veren bir başka kuruluş Jet yürütme laboratuvarı (JPL), robotik uzay ve dünya bilimi görevlerini yerine getiren benzersiz bir araştırma tesisidir. JPL, 1958'de ABD'nin ilk bilim uydusunu geliştirerek, ilk başarılı gezegenler arası uzay aracını yaratarak ve güneş sistemindeki tüm gezegenlerin yanı sıra asteroidler, kuyruklu yıldızlar ve ay yüzeyini incelemek için robotik görevler göndererek uzay çalışmalarının yolunun açılmasına yardımcı olmuştur. JPL tarafından GIPSY-OASIS yazılımı ile IGS ağındaki tüm istasyonlara ait veriler dengelenir ve kullanıcılara zaman serisi olarak sunulur. Bu iki önemli kuruluşa ait veri indirme arayüzleri Şekil 2.22'de görülmektedir.



### GNSS VERİLERİNİN ANALİZİ

#### 3. GNSS Veri ile Sinyal Yapıları ve İşlenmesi

GNSS verilerinin uydu ve alıcı arasında nasıl taşındığı ve kaydedilen verilerin nasıl analiz edildiği bu bölümde ele alınacaktır. Kullanılan dosya ve sinyal yapıları, bilimsel dengeleme yazılımları ve elde edilen çıktılarının nasıl değerlendirileceği ile ilgili detaylı bilgi verilecektir.

##### 3.1 RINEX Yapısı ve Dosya Tipleri

Günümüzde ister jeodezik isterse navigasyon amaçlı konum belirlemede GNSS verilerinin iletimi için iki temel format kullanılmaktadır. İlki bağıl ölçüm yöntemlerinde ofis ortamında değerlendirmede ve veri arşivlemede kullanılan, alıcıdan bağımsız veri değişimine olanak sağlayan ve anlık veri iletimi için uygun olmayan RINEX formatıdır. İkincisi anlık ölçüm yöntemlerinde kullanılan gerçek zamanlı değerlendirme için geliştirilmiş olan RTCM formatıdır [48].

RINEX formatı, İsviçre'deki Bern Üniversitesi Astronomi Enstitüsü'nün öncülüğünde bilimsel ve jeodezik amaçlı uygulamalarda GNSS verisinin iletim ve aktarımı için ASCII dosya biçiminde 1980'lerin sonuna doğru geliştirilmiştir. Farklı markadaki GNSS alıcılarının, kendilerine ait veri formatlarının aksine RINEX sayesinde birlikte değerlendirme sağlanmaktadır. Bir bakıma üretici firma yazılımlarına bağımlılık ortadan kalkmıştır. Yine farklı üreticilere ait alıcılarla aynı anda oturum planlaması yapılabilmektedir. Özellikle statik verilerin değerlendirilmesi ve arşivlenmesinde kullanılmaktadır.

1989 yılında, RINEX formatının ilk sürümü olan birinci versiyon alıcıdan bağımsız veri değişim formatı, Las Cruces’da düzenlenen 5. Uluslararası Uydularla Konum Belirleme Jeodezi Sempozyumu’nda uluslararası veri değişim formatı olarak kabul edilmiştir. 1990 yılında, GLONASS ve SBAS uydu sistemlerinin verileri de ilk versiyona eklenerek, Ottawa’da düzenlenen 2. Uluslararası Global Konum Belirleme Sistemleri ile Duyarlı Konumlama Sempozyumu’nda ikinci versiyon olarak kabul edilmiştir [49]. Son olarak günümüzde 2009 yılının ortalarında test edilmeye başlanan RINEX Sürüm 3.02 yayınlanmıştır (Şekil 3.1).

RINEX Versiyon Kapsamları															
Ver.	OBS Verisi						NAV Mesajı						Met	CLK	GEO BRDC
	G	R	E	J	C	S	G	R	E	J	C	S			
2.10	o	o	o	o	o	o	N	G	N	N	-	H	-	-	-
2.11	o	o	o	o	o	o	N	G	N	N	-	H	-	-	-
2.12	o	o	o	o	o	o	N	G	N	N	-	H	-	-	-
3.00	o	o	o	o	o	o	N	N	N	N	N	N	-	C	-
3.01	o	o	o	o	o	o	N	N	N	N	N	N	-	C	-
3.02*	o	o	o	o	o	o	N	N	N	N	N	N	-	C	-

G: GPS, R: GLONASS, E: Galileo, J: QZSS, C: BeiDou, S: SBAS  
O/N: RTKLIB Kapsamı

Şekil 3. 1 RINEX 3 formatının GNSS uygulamaları kapsamı.

RINEX sürüm 3.XX formatı üç ASCII dosya tipinden oluşur:

1. GNSS gözlem veri dosyası,
2. GNSS navigasyon mesajı dosyası,
3. GNSS meteorolojik veri dosyası.

Her dosya türü bir başlık ve bir veri bölümünden oluşur. Üstbilgi bölümü, tüm dosya için genel bilgiler içerir ve dosyanın başına yerleştirilir. Başlık bölümü, başlık bölümünde bulunan her satır için 61-80 sütunlarındaki başlık etiketlerini içerir. Bu etiketler zorunludur ve Şekil 3.2’de gözlem dosyası için verilen örnekte belirtildiği gibi görünmelidir [50].

Her bir gözlem dosyası ve her meteorolojik veri dosyası temel olarak bir siteden ve bir oturumdan elde edilen verileri içerir. Sürüm 2'den başlayarak RINEX ayrıca hızlı statik veya kinematik uygulamalarda bir gezici alıcı tarafından taranan birden fazla bölgeden gözlem verilerinin eklenmesine izin vermektedir.

TABLE A4															
GNSS OBSERVATION DATA FILE - EXAMPLE #3															
3.03	OBSERVATION DATA				M: MIXED	RINEX VERSION / TYPE									
GR25 V3.08					20140513 072944 UTC	PGM / RUN BY / DATE									
SNR is mapped to RINEX snr flag value [1-9]															
LX:	< 12dBHz -> 1; 12-17dBHz -> 2; 18-23dBHz -> 3				COMMENT										
	24-29dBHz -> 4; 30-35dBHz -> 5; 36-41dBHz -> 6				COMMENT										
	42-47dBHz -> 7; 48-53dBHz -> 8; >= 54dBHz -> 9				COMMENT										
Tokio					MARKER NAME										
TOKI					MARKER NUMBER										
SU Japan - Leica Geosystems															
1970023	LEICA GR25				3.08/6.401		OBSERVER / AGENCY								
	LEIAS10				NONE		REC # / TYPE / VERS								
							ANT # / TYPE								
-3956196.8609	3349495.1794		3703988.8347		APPROX POSITION XYZ										
0.0000	0.0000		0.0000		ANTENNA: DELTA H/E/N										
G	16	C1C	L1C	D1C	S1C	C2S	L2S	D2S	S2S	C2W	L2W	D2W	S2W	C5Q	SYS / # / OBS TYPES
		L5Q	D5Q	S5Q	SYS / # / OBS TYPES										
R	12	C1C	L1C	D1C	S1C	C2P	L2P	D2P	S2P	C2C	L2C	D2C	S2C	SYS / # / OBS TYPES	
E	16	C1C	L1C	D1C	S1C	C5Q	L5Q	D5Q	S5Q	C7Q	L7Q	D7Q	S7Q	C8Q	SYS / # / OBS TYPES
		L8Q	D8Q	S8Q	SYS / # / OBS TYPES										
C	8	C2I	L2I	D2I	S2I	C7I	L7I	D7I	S7I	SYS / # / OBS TYPES					
J	12	C1C	L1C	D1C	S1C	C2S	L2S	D2S	S2S	C5Q	L5Q	D5Q	S5Q	SYS / # / OBS TYPES	
S	4	C1C	L1C	D1C	S1C	SYS / # / OBS TYPES									
DBHZ	SIGNAL STRENGTH UNIT														

Şekil 3. 2 RINEX 3 formatı veri gözlem dosyası başlığı.

Sürüm 2 ve daha üstü, belirli başlık kayıtlarının veri bölümüne eklenmesine izin vermesine rağmen, veriler zaman içinde çakışmasa bile, birden fazla alıcıdan (veya antenden) toplanan veriyi aynı dosyaya birleştirmek önerilmez. Birden fazla alıcının verilerinin değişmesi gerekiyorsa, farklı alıcılar tarafından toplanan aynı uydu navigasyon mesajlarını birkaç kez dahil etmek ekonomik olmayacaktır. Bu nedenle, tam dosyayı elde etmek için bir alıcıdan gelen navigasyon mesajı dosyası değişebilir veya birkaç alıcıdan gerekli bilgiler içeren birleşik navigasyon mesajı dosyası oluşturulabilir.

IGS tarafından kullanılan diğer RINEX benzeri değişim dosyası formatları da tanımlanmıştır [50];

- GNSS izleme ağının verileri işlenerek belirlenen uydu ve alıcı saat uzaklıkları için değişim formatı,
- Uydu bazlı alan büyütme sistemleri (SBAS) için tam yayın verisi için değişim formatı,

- IONEX: Bir GNSS izleme ağının verilerinin işlenmesiyle belirlenen iyonosfer modelleri için değişim formatı,
- ANTEX: Jeodezik GNSS antenin faz merkezi değişimleri için değişim formatı.

RINEX dosyalarının bir düzen içinde isimlendirilmesiyle dengeleme yazılımları aracılığıyla yapılan analizlerden çok daha sağlıklı sonuçlar alınabilir. Aynı şekilde sahada karışıklığa yol açmamak için isimlendirme önemlidir. RINEX dosyalarının isimlendirme kuralı Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3. 1 RINEX Dosya isimlendirme kuralları.

<b>daily/YYYY/DDD/YYt/XXXXMRCCC_K_YYYYDDHHMM_01D_30S_tt.FFF</b>	
Günlük 30 saniye aralıkta dosya isimlendirmesi	
<b>hourly/YYYY/DDD/HH/XXXXMRCCC_K_YYYYDDHHMM_01H_30S_tt.FFF</b>	
Saatlik 30 saniye aralıkta dosya isimlendirmesi	
<b>highrate/YYYY/DDD/YYt/HH/XXXXMRCCC_K_YYYYDDHHMM_15M_01S_tt.FFF</b>	
15 Dakikalık 1 saniye aralıkta dosya isimlendirmesi	
Kod	Anlamı
<b>XXXX</b>	4 karakter IGS istasyon ismi
<b>M</b>	Pilye veya nokta numarası
<b>R</b>	Alıcı numarası
<b>CCC</b>	ISO ülke kodu (Örn. Türkiye için TUR vb.)
<b>K</b>	Veri Kaynağı <b>R</b> = Başka yazılımdan <b>S</b> = Protokol üzerinden <b>U</b> = Bilinmeyen
<b>YYYY</b>	4 karakter Gregoryen yıl
<b>DDD</b>	3 karakter yılın günü
<b>YY</b>	2 karakter yıl
<b>HH</b>	2 karakter saat
<b>MM</b>	2 karakter dakika
<b>d</b>	Hatanaka-sıkıştırılmış gözlem verisi, <b>f</b> = Beidou navigasyon mesaj verisi
<b>g</b>	GLONASS navigasyon mesaj verisi, <b>h</b> = SBAS navigasyon mesaj verisi
<b>l</b>	GALILEO navigasyon mesaj verisi, <b>m</b> = meteorolojik veri
<b>n</b>	GPS navigasyon mesaj verisi, <b>o</b> = Gözlem verisi, <b>s</b> = Gözlem özet dosyası
<b>p</b>	Karışık GNSS navigasyon mesaj verisi, <b>q</b> = QZSS navigasyon mesaj verisi
<b>GO</b>	GPS Obs., <b>RO</b> = GLONASS Obs., <b>EO</b> = Galileo Obs., <b>JO</b> = QZSS Obs.,
<b>CO</b>	BDS Obs., <b>IO</b> = IRNSS Obs., <b>SO</b> = SBAS Obs., <b>MO</b> = Mixed Obs.,
<b>GN</b>	GPS Nav., <b>RN</b> = GLONASS Nav., <b>EN</b> = Galileo Nav., <b>JN</b> = QZSS Nav.,
<b>CN</b>	BDS Nav., <b>IN</b> = IRNSS Nav., <b>SN</b> = SBAS Nav.,
<b>MN</b>	Nav. (Tüm GNSS Sistemleri), <b>MM</b> = Meteorolojik Gözlem
<b>Obs.</b>	Gözlem, <b>Nav.</b> = Navigasyon
<b>FFF</b>	<b>rnx</b> = RINEX, <b>crx</b> = Hatanaka Compressed RINEX

### 3.2 Sinyal Yapıları

Üretilen RINEX dosyalarının uydu ve alıcı arasında aktarılması gerekir. Bu amaçla GNSS sistemlerinde sinyal yapıları mevcuttur. Uydu sinyalleri temel olarak 3 bileşenden oluşur:

1. İki mikro dalga L-bandı (Taşıyıcı olarak da bilinir) dalgalar,
  - L<sub>1</sub> taşıyıcısı: 1575.42 MHz
  - L<sub>2</sub> taşıyıcısı: 1227.60 MHz
2. Taşıyıcı dalgalar üzerinde modüle edilmiş değişken kodlar,
  - C/A kodu, 1.023 MHz'de modüle edilmiş erişim veya düşük kod ve sivil kullanıcılar için bozulmuş kod sadece L<sub>1</sub>'de modüle edilmiştir.
  - P (Y) kodu, 10.23 MHz'de modüle edilmiş özel, korumalı veya kesin koddur. Yetkili askeri kullanıcılar için hem L<sub>1</sub> hem de L<sub>2</sub> taşıyıcı dalgalarda modüle edilmiştir.
3. Navigasyon mesajı,
  - Hem L<sub>1</sub> hem de L<sub>2</sub>'de modüle edilmiştir, uydu konum ve sabitlerini içerir.

Ayrıca iyonosferik kırılma ile ortaya çıkan hataları ortadan kaldırmak için iki farklı frekans kullanılır. Günümüzde havacılık navigasyon bandı olan ve 2009 yılından itibaren kullanıma sunulan L<sub>5</sub> frekansında (1176.45 MHz, 10.23 MHz × 115) dosya aktarımında kullanılmaktadır.

GPS taşıyıcı sinyallerinin ve kodlarının yapısı, aşağıda verilen çeşitli gereklilikleri karşılamak için oldukça karmaşıktır:

- Çok kullanıcı sistem: GPS, tek yönlü ölçümler için kullanılır.
- Gerçek zamanlı konumlandırma: Birçok uydu için eşzamanlı ölçümler olduğundan, farklı sinyalleri tanımlamaya ihtiyaç vardır.
- Belirsiz aralık ölçümleri: Sinyal gecikmesini belirlemeniz gerekir. Uydu konumları gerektiğinden, birisinin efemeridleri yayınlamasına ihtiyaç vardır.
- Yüksek hassasiyetli konumlandırma: Mikrodalga taşıyıcı frekansı (- 1,2 ila 1,6 GHz) iyonosferik gecikmeyi en aza indirmek için çift frekans kullanımı gerektirir.

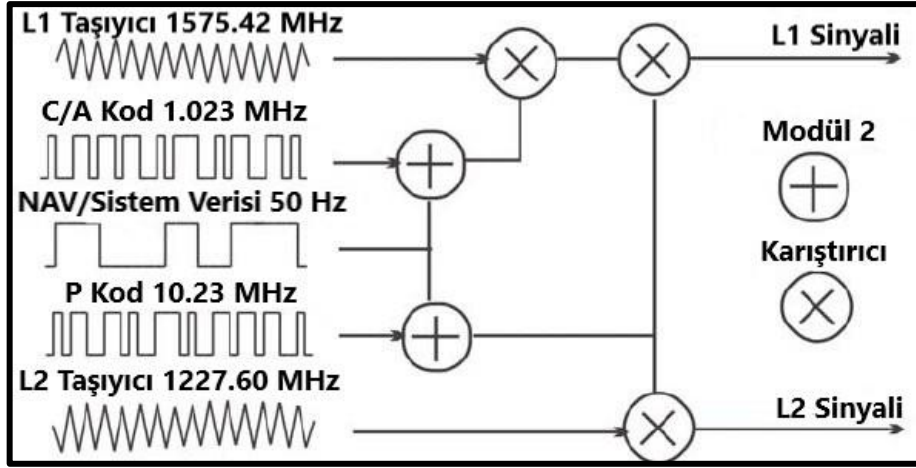
- Yüksek frekans modülasyonu: GPS, bu amaçla yayılım spektrum tekniği olarak adlandırılan özel bir teknik kullanır.
- Askeri ve sivil kullanıcılar: Sivil ve askeri/yetkili kullanıcılara farklı erişim sağlamak için GPS'in iki farklı koda ve ikili frekans kullanımında kısıtlamaya ihtiyacı vardır.

Taşıyıcılar saf sinüzoid olduğundan, anında konumlandırma amacıyla kolayca kullanılamazlar ve bu nedenle iki ikili kod bunlara modüle edilir: C/A (düşük toplama) kodu ve P (kesin) kodu. Kodlar (P ve C/A), karmaşık bir algoritma tarafından oluşturulan ikili bilgi dizisinden başka bir şey değildir. Kodlar (PRN veya sözde rasgele gürültü kodları) ve mesaj ikili veri akışları olduğundan, sadece iki faz modülasyon durumu mümkündür. +1 veya -1 durumu taşıyıcıyı değiştirmez; +1'den -1'e veya -1'den +1'e bir kod geçişi, 180 derecelik bir faz kaymasını içerir.  $L_1$  ve  $L_2$  sinyallerinin yapısı, hem kodların hem de taşıyıcıların dönemlerinin (zamanlarının) senkronize edilmesinden meydana gelir. Senkronizasyon (3.1) bağıntılarıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntılarda,  $L_1(t)$  ve  $L_2(t)$  sırasıyla sinyalleri;  $A_p$ ,  $L_1$  sinyali için P kodun genliğini;  $B_p$ ,  $L_2$  sinyali için P kodun genliğini;  $P_i(t)$ ,  $\pm 1$  durumlu P kodu dizisini;  $D_i(t)$ ,  $\pm 1$  durumlu veri akışını;  $A_c$ , C/A kod genliğini;  $C_i(t)$ ,  $\pm 1$  durumlu C/A kodu dizisini;  $i$ , uydu indeksini;  $f_1$  ve  $f_2$  taşıyıcı sinyal frekanslarını;  $\Phi$ , faz kaymasını ifade etmektedir [51].

$$L_1(t) = A_p P_i(t) D_i(t) \sin(f_1^t + \Phi_{P1}) + A_c C_i(t) D_i(t) \cos(f_1^t + \Phi_c) \quad (3.1)$$

$$L_2(t) = B_p P_i(t) D_i(t) \sin(f_2^t + \Phi_{P2})$$

$L_1$  kanalının hem P hem de C / A kodunu taşıması gerekir. Bu düzenleme, faz dörtlü adı verilen bir teknikle gerçekleştirilir. Bu durumda, modüle edilmemiş  $L_1$  taşıyıcı C/A kod sinyali ile karıştırılmadan önce faza ayrılır ve 90 derece kaydırılır ve daha sonra modüle edilmiş P kodu sinyaline eklenir. Uydu koordinatları ve ek bilgiler, taşıyıcılara da modüle edilen yayın veri mesajı içinde gönderilir. Hem C/A koduna hem de P koduna eklenen modül-2, kodun ters çevrilmesine ve otokorelasyon fonksiyonuna neden olur (Şekil 3.3).



Şekil 3. 3 GNSS sinyal işleyiş yapısı [36].

### 3.3 Bilimsel Yazılımlar

GNSS ve türevlerinin gelişmesi ve büyümesi sonucu bu sistemlerin kullanıcı sayılarında önemli derecede artış gözlenmektedir. İster jeodezik amaçlı olsun isterse navigasyon yada mühendislik ölçmeleri ile ilgili olsun GNSS ölçülerine ait ham verilerinin çözümlenmesi gerekmektedir. Dünyada sayıları giderek üretici firmaların ürettikleri dosya yapıları ve bu dosya yapılarını çözümlayebilen yazılımları ticari olarak günümüzde varlığını sürdürmektedir. Söz konusu ticari yazılımlar bilimsel anlamda yeterli doğrulukta çözümlenememekle beraber daha çok pratik uygulamalarda tercih edilmektedir.

Alıcıdan bağımsız veri değişimi kullanarak bilimsel anlamda yüksek duyarlılıkta çözümlerin yapılabilmesi için açık kaynak kodlu yazılımlar geliştirilmiştir. Örneğin, Bern Üniversitesi Astronomi Enstitüsü (AIUB) tarafından geliştirilen BERNESE ve ABD bünyesindeki Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA) tarafından geliştirilen PAGE5, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından geliştirilen GIPSY-OASIS ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) bünyesindeki jeodezi bölümü tarafından geliştirilen GAMIT-GLOBK yazılımları bu amaç için üretilmiş geliştirilebilir, açık kaynak kodlu bilimsel yazılımlardır. GNSS ölçülerine ait ham verileri alıcıdan bağımsız veri format yapısı olan RINEX formatı kullanarak çözümlayebilen bu yazılımlar daha çok bilimsel amaçlı araştırmaların geliştirme ve gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada National Aeronautics and Space Administration (NASA) tarafından geliştirilen GIPSY-OASIS yazılımının komutları ile ilgili açıklamalar ile uygulama kısmında belli bir noktaya ait günlük

çözümlemeler yapılmıştır. Farklı saat gruplarına ait çözümlemelere ilişkin standart sapma değerleri bulunarak verilerin doğrulukları hakkında bilgilere varılmıştır [52], [53].

### 3.3.1 GIPSY-OASIS Yazılımı

GPS konumlandırma, yörünge analiz ve simülasyon yazılımı olan GIPSY-OASIS, NASA bünyesinde JPL departmanınca geliştirilen UNIX işletim sistemi tabanlı açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Kıtalar arası uzunluktaki bazlardan yararlanarak oluşturulan bağıl GPS ölçümlerin çözümlerini yapmak için tasarlanmıştır. Bazlar üzerinde, 1985 yılında 10-7 aralığında çözümlene yapabilen yazılım günümüzde 10-10 aralığında hassas çözümlene yapabilmektedir. GIPSY ve OASIS olarak iki ana kısımdan oluşur. GIPSY standart jeodezik uygulamalara yönelik kullanılırken, OASIS ise yörünge analizlerini gerçekleştiren bir tür simülasyon yazılımıdır. Şekil 3.4’de GIPSY-OASIS II yazılımına ilişkin işlem adımları ve ana programlar ile dosyalar gösterilmektedir [54].

#### 3.3.1.1 GIPSY Örnek Komutlar

Bu bölümde GIPSY yazılımına ait bazı örnek komutları incelenecektir. Program Linux tabanlı yazıldığından, çalışma mantığı konsol üzerinden kodlar ile gerçekleştirilir. İşlem adımları şu şekildedir;

- Konsolda ilk olarak “*source /opt/goa-6.4/rc\_gipsy.csh /*” kodu ile GIPSY-OASIS çalıştırılır.
- Daha sonra her bir istasyon için “*antex2xyz.py -antexfile /var/opt/goa-var/etc/antenna\_cals\_xmit/igs08\_1604.atx -anttype TPSCR.G3 -rename ANKR -xyzfile ANKR.xyz*” komutuyla anten dosyası tanımlaması yapılır.
- Çözüm dosyası “*-stacov, istasyona ait konum ve kovaryans matrisi) elde etmek için, “gd2p.pl -i ANKR/338/1h/ANKR3380\_0001.12o -n ANKR -r 300 -type s -d 2012-12-03 -add\_ocnld -OcnldCpn \ -tides WahrK1 PolTid FreqDepLove OctTid -trop\_z\_rw 5E-8 -wetzgrad 5E-9 -w\_elmin 7 \ -post\_wind 5.0E-3 5.0E-5 -AntCal ANKR/ANKR.xyz -orb\_clk flinnR -arp -ion\_2nd \ -amb\_res 1 -stacov*” komut satırı ile program çalıştırılır.

Bu komutlarda yer alan her bir alt komut kısaca aşağıda açıklanmıştır.



**-gd2p.pl:** GPS verilerinin statik ve kinematik konumlandırması, kesin yörünge belirlenmesi, saat tahmini, troposfer tahmini analizlerinin yapılabilmesi için GISPY-OASIS ana çalıştırma komutudur.

**-i rinex\_file / compress\_rinex:** Eğer Rinex dosyası sıkıştırılmış olarak, dosya uzantısı xxx.z ya da xxx.gz ile bitiyorsa kullanılır. Eğer sıkıştırılmış dosya uncompressed.rnx komutuyla çağrılırsa dosyalar sıkıştırılmış halden kurutulacaktır.

**-n name\_of\_receiver:** Küçük harfleri büyük harflere dönüştürür.

**-d yyyy-mm-dd:** -i komutunda belirtilen uzantılar ile günlük işlem yapar.

**-r data\_rate (sec):** Saniyedeki veri hızının çıkışı için varsayılan düzenleyici tarafından kullanılır.

**-type:** Çözümleme tipidir. s statik çözümleme, k kinematik çözümleme yapılmasını sağlar.

**-add\_ocnld:** qregres.nml için okyanus yükleme katsayıları ekler. Bu komut add\_ocnld tarafından çalıştırılır. Komutu takiben en az bir boşluk ile başlayan seçenekler altında dize girmek için komut seçeneklerden herhangi birini kullanmak için, örneğin -add\_ocnld -k 200 komutu 200 km mesafe altında işlem yapmayacaktır, eğer komut kullanılmazsa standart 100 km mesafe altında işlem yapmayacaktır. Diğer bir seçenek ise add\_ocnld – H komutudur. Tırnak işaretinden önce boşluk gerektiren bu komut ile add\_ocnld komutundan sıfırdan farklı bir çıkış varsa gd2.pl (GPS Data to Position) işleminden çıkacaktır.

**-OcnldCpn:** IERS-2010 standartları ile çalışır. Hardispjg programının geliştirilmiş sürümüdür. Okyanus üzerindeki gelgitlerden kaynaklanan okyanus yüklemelerini çözümler. Toplamda 342 adet bileşenden biri olan gelgit bileşeni, giriş olarak BQL dosyasındaki 11 adet bileşeni kullanarak genlik ve fazları enterpolasyon yardımıyla çözümler. Deniz genliklerine eş değer bir genlikte 18.6 yıllık gelgitleri kapsar. OcnldCpn komutu -add\_ocnld komutu olmadan kullanılmaz.

**-tides [WahrK1 PolTid FreqDepLove OctTid]:** İstasyon isim listesine ilave ek katı gelgit modellerini ekler. Standart gelgit modeli WahrK1 ve PolTid içerir. WahrK1 FreqDepLove bir alt kümesidir. Herhangi bir giriş üzerinden liste girişi ile varsayılan değerleri getirir. Tüm katı gelgit modellerini kapatmak için sadece -tides seçeneğini kullanılır.

**-trop\_z\_rw [km/sqrt(sec)]:** Random statik çözümleme için troposfer parametrelerini yürütür (-type s), varsayılan değeri  $1.7 \times 10^{-7}$ 'dir. Kinematik çözümleme için, varsayılan değeri  $-1.0 \times 100$  dir. Değer olarak 0.01 den küçük değer girilirse, nominal konum bir tdp dosyasında girişi olduğunda ıslak zenit gecikmesi sadece yükseklik parametresi ile modellenmiştir (-tdp\_inflag) ve dengelenemez. tdp dosyası olmadan ıslak zenit gecikmesi için 10 cm lik konum kullanılır. Yavaş hareket eden nesnelere için, belki de bu komutu ayarlayarak elde edilen çözümler daha anlamlı olacaktır

**-wetzgrad:** Rastgele troposfer gradyan parametrelerini çözer. Yürüme ıslak gecikmesi ve zenit gecikmesi gibi fonksiyonları oluşturur.

**-w\_elmin:** Troposfer çözümlemesinde yerden kaç dereceye kadar çözüm yapılacağını belirler. Örneğin arkasından gelen 7 rakamı, yerden 7 derece yükseklikten itibaren troposfer çözümlemesi yapmaktadır.

**-post\_wind:** Sinyal kırılma kriterinin minimum olduğu yükseklik girişi komutudur. Bu açının altında, fazda yeterince büyük sıçramalar için düşük açılarda artıklar eklenir.

**-AntCal:** Anten dosyası üzerinden anten kalibrasyonu için kullanılır.

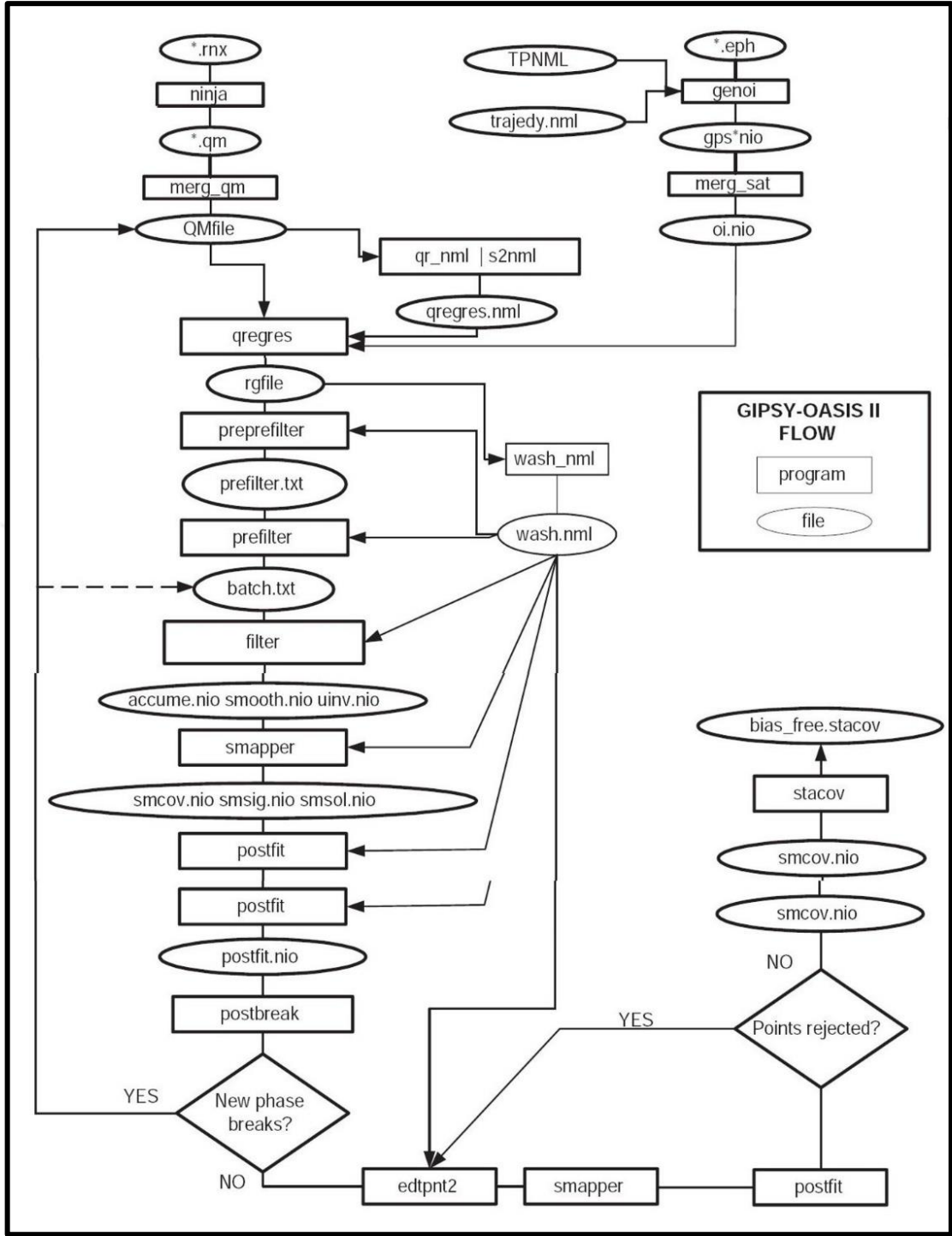
**-orb\_clk:** GPS yörünge ve saat kaynağı komutudur. Genelde bu komut çözümleme süresince saat çözümüne sahip değilse, program tarafından eklenen ek faz kesintileri nedeniyle sadece çok küçük bir fark yaratır.

**-arp:** Yer istasyonları için anten dosyasını alır ve x, y, z dosyaları oluşturur.

**-ion\_2nd:** İkinci dereceden iyonosfer düzeltmesini yapmak için kullanılır. 450 km'lik iyonosferik kabuk için yükseklik kullanılır.

**-amb\_res:** Bir belirsizlik çözümünün yinelenen giriş sayısını gerçekleştirir. Yörünge ve saat veritabanlarından otomatik olarak alınır ve geçerli dizine yerleştirilir.

**-stacov:** komutu çalıştırılırsa gd2p tarafından sadece yer istasyonlarına ve yörüngeler gibi aynı referans düzlemine ait stacov\_final dosyalarını üretecektir. Faz başlangıç belirsizliğinin çözümü için -abm\_res komutu ile iki adet stacov\_final dosyası oluşur. Oluşan stacov\_final faz başlangıç belirsizliğinin çözümündeki değerleri, stacov\_final\_pre\_amb dosyası da faz başlangıç belirsizliğinden önceki değerleri içerir [53], [54].



Şekil 3. 4 GIPSY-OASIS II işleyiş yapısı.

### 3.4 GNSS Ölçülerinin Değerlendirmesi

IGS ağındaki istasyonlara ait RINEX dosyaları SOPAC, CDDIS ya da JPL gibi veri bankalarından ya da kendi gözlemlerinize ait RINEX dosyaları temin edildikten sonra ham ölçülerin bir dizi işlemden geçirilerek dengeleme yazılımında analiz edilmesi gerekir. Bu

bölümde SOPAC arşivinden indirilen RINEX dosyasının GIPSY-OASIS II yazılımında dengeleme ve analiz işlemlerinin öncesi ve sonrası açıklanacaktır.

University California, San Diego (UCSD) bünyesinde bulunan SOPAC bölümüne ait web sitesinden (<http://sopac.ucsd.edu/>) aşağıdaki yol izlenerek istenilen gözlem dosyalarına ulaşılabilir [46].

- <http://sopac.ucsd.edu/> → Data Archive → SOPAC Data Browsers → Site

Gelen sayfada istenilen gün aralığı girilerek değerlendirilecek nokta ismine ait gözlem dosyaları Hatanaka formatında indirilebilir. Hatanaka formatında dosyalar xxx.z uzantılıdır. Sıkıştırılmış olan bu dosyalar açıldığı takdirde xxx.d dosyaları oluşur. Bu format Hatanaka formattır. Bu formattaki dosyaların RINEX gözlem dosyalarına çevrilmesi için crx2rnx komutu kullanılmalıdır. xxx.d dosyayı crx2rnx komutu ile çalıştırıldığında xxx.o uzantılı dosyanın oluştuğunu görülür.

Örneğin TRAK istasyonuna ait 2008 yılı 15'inci GPS gününe ait veriler için bu işlem sonucu şu komut işletilir;

- trak0150.08d.Z → (Unzip) trak0150.08d → (crx2rnx) trak0150.08o

Gözlem (observation) dosyasını elde ettikten, kampanya tipi ölçü yapılmış gibi 24 saatlik veri istenilen saat aralıklarına ayrılabilir ve bu şekilde çözümlenebilir. Bunu gerçekleştirmek için üniversiteler arası NAVSTAR konsorsiyumu olan UNAVCO tarafından sağlanan, GNSS verileri için TEQC yazılımı kullanılabilir. TEQC yazılımı MsDos komutlarıyla kullanabiliriz. Örneğin 15. Güne ait 24 saatlik verimizi 1 saatlik veriler şeklinde düzenlenecek ise şu şekilde MsDos komutu;

- teqc -st 080115000000 -e 080115005945 trak01510.08o > trak0150\_1a.08o
- teqc -st başlangıç saati -e bitiş saati girdi verisi > çıktı verisi

şeklinde yazılır. Burada başlangıç ve bitiş saati formatı, yıl-ay-gün-saat-dakika-saniye (YYAAGGSSDDSS-080115005945) formatındadır. Çıktı verisi için formatı kendimiz belirleyebiliriz. Kolaylık olması açısından şu format kullanılabilir:

- istasyon adı-günü(0150)\_saat uzunluğu(1)-harf

1 saatlik 24 veri olacağı için a'dan başlanarak İngilizce harfler kullanıldığında x'e kadar alfabetik sırasına dikkat edilerek değer verilebilir,

- 1 saatlik veri → trak0150\_1a.08o (00:00:00-00:59:45), trak0150\_1b.08o (01:00:00-01:59:45),... trak0150\_1x.08o(23:00:00-23:59:45) (Epok değeri: 15 saniye),
- 2 saatlik veri → trak0150\_2a.08o (00:00:00-01:59:45), trak0150\_2b.08o (02:00:00-03:59:45),... trak0150\_1l.08o(22:00:00-23:59:45) (Epok değeri: 15 saniye),

gibi diğer saatler için de aynı metot kullanılabilir. TRAK istasyonuna ait 2008 yılı 15'inci GPS gününe ait veriler sırasıyla 24 adet 1 saatlik, 12 adet 2 saatlik, 8 adet 3 saatlik, 6 adet 4 saatlik, 4 adet 6 saatlik, 3 adet 8 saatlik, 2 adet 12 saatlik ve 1 adet 24 saatlik verilere dönüştürdükten sonra GIPSY-OASIS II 6.4 versiyonlu yazılımı kullanılarak difrensiyal anlamda (n,e,u) bileşenlerinden oluşan zaman serileri elde edilebilir.

İlk olarak bir önceki bölümde açıklandığı üzere source /opt/goa-6.4/rc\_gipsy.csh komutu çalıştırılır. Sonrasında anten tanımlamaları yapılarak;

- “**gd2p.pl -i trak0010\_1a.08o -n TRAK -r 300 -type s -d 2008-01-15 -add\_ocnld -OcnldCpn -tides WahrK1 PolTid FreqDepLove OctTid -trop\_z\_rw 5E-8 -wetzgrad 5E-9 -w\_elmin 7 -post\_wind 5.0E-3 5.0E-5 -orb\_clk flinnR -arp -ion\_2nd -amb\_res 1 -stacov > gd2p.log ) > & gd2p.err &”**

komutu çalıştırılmalıdır. Dikkat edilirse, TRAK noktası 2008-01-15 gününe ait trak0010\_1a.08o dosya ismi farklı saatler için oluşturulan dosya adı her defasında değiştirilip komut çalıştırılmalıdır.

Bu işlem sonucu oluşan stacov\_final dosyaları farklı yere alınıp, örneğin trak0010\_1a.08o\_stacov şeklinde isimlendirilebilir. Aksi takdirde aynı klasördeki dosyalar için her defasında stacov\_final dosyası üzerine yazılacaktır.

Girdi verileri için elde edilen stacov uzantılı dosyalar saatlik gruplar halinde sıralanabilir. Stacov uzantılı dosyalar içinde kartezyen koordinatların yanı sıra standart sapmaları da mevcuttur. (X,Y,Z) değerlerinin kendi aralarında ortalaması alınır. Daha sonra her bir değerden ortalama değerler çıkarılırsa, dx, dy, dz farkları elde edilir.

Elde edilen (dx, dy, dz) değerleri ile (X, Y, Z) kartezyen değerlerinden elde edilmiş coğrafi ( $\phi$ ,  $\lambda$ , h) enlem, boylam ve yükseklik değerleri yardımıyla (3.2) bağıntısındaki matris işlemleriyle denklem çözümü gerçekleştirilir. Sonuç olarak toposentrik koordinatlar (kuzey-güney, doğu-batı, yukarı) bileşen değerleri (dn, de, du) diferansiyel anlamda elde edilmiş olur.

$$\begin{pmatrix} de \\ dn \\ du \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ -\sin\phi \cos\lambda & -\sin\phi \sin\lambda & \cos\phi \\ \cos\phi \cos\lambda & \cos\phi \sin\lambda & -\sin\phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

İstenirse, hesaplanan (dn, de, du) değerlerine ait karesel ortalama hata (KOH) değerleri (3.3) deki bağıntılar yardımıyla her ölçü ( $v_i$ ) grubu için hesaplanabilir.

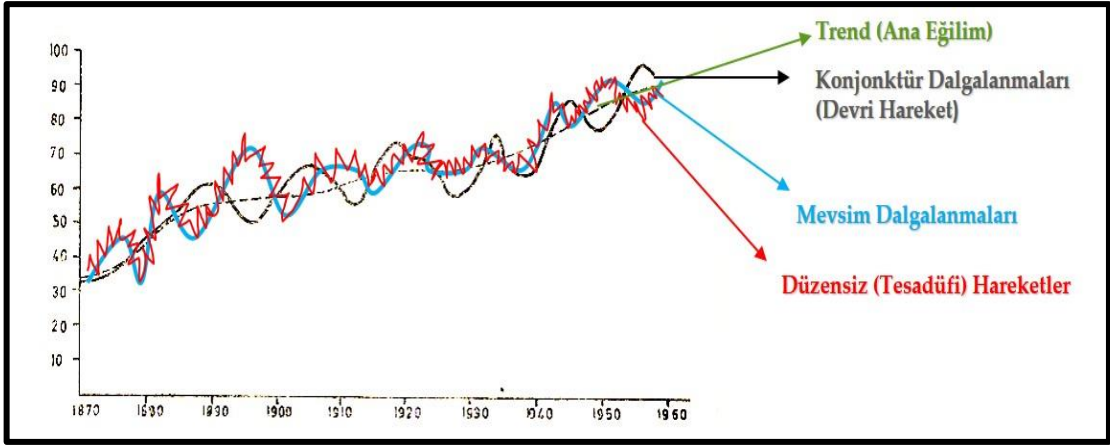
$$KOH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2} = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n}} \quad ; \quad (d_i = v_i - v_{ort}) \quad (3.3)$$

Bu aşamadan sonra eğer belli bir zaman diliminde elde edilen sonuçlar irdelenecekse zaman serilerinin analizine geçilmelidir.

### 3.5 Zaman Serileri

Zaman serileri, zaman ile korelasyonlu başka bir değişken hakkında, mevcut gözlem verilerini zamana göre sıralanmış olarak gösteren serilerdir. Veriler ardışık ve düzenli olarak ölçülmelidir. Zaman serisi analiz edilmesi, eldeki veri kümesinde değişkenler arasındaki ilişkiyi ve bağımlılığı ortaya koymaktır. Ayrıca gelecekteki değerlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi mümkündür.

Zaman serisi verileri genellikle bağımlıdır ve analizlerde gözlemler mutlaka zamana göre sıralanmalıdır. Eğer zaman serisi tamamen predikte edilebiliyorsa deterministiktir denir. Fakat zaman serilerinin çoğunluğu stokastiktir. Çünkü gelecek değerler geçmiş değerler kullanılarak sadece kısmen belirlenebilir. Bağımsız değişken zaman olarak alındığından zaman dizileri olarak adlandırılırlar. Ancak jeodezide konumun bağımsız değişken olarak alınması beklenen bir durumdur. Çünkü genelde konumsal bilgiye dayalı gravite, deniz seviyesi vb. farklı büyüklükler gözlemlenebilir. Zaman serileri Şekil 3.4'te görüldüğü üzere dört bileşenden oluşur.



Şekil 3. 5 Zaman serisi bileşenleri.

Bu bileşenler kısaca şu şekilde açıklanabilir;

**1. Trend (Genel ya da ana eğilim) bileşeni (T);**

Trend, zaman serisinin uzun dönem hareketi olarak tanımlanır. Bu süreçte serinin belirli bir yönde gösterdiği karakter veya eğilimdir. Zaman serileri, uzun dönemde kararlı belirgin inişli veya çıkışlı bir eğilime sahiptir.

**2. Mevsim bileşeni (M);**

Bir serideki bir yıldan uzun olmamak koşuluyla, tekrarlanan döngüsel hareketlerin tümüne mevsim dalgalanmalar denir. Örneğin bu hareketler, bir zaman serisinde birbirini takip eden yılların içerdiği aylarda görülen benzer örneklerini ifade ederler.

**3. Çevrimsel (Konjonktür) Bileşen (K);**

Bir trendin uzun dönem içerisindeki dalgalanmaları konjonktür hareketleridir. Bu hareketler, trend çizgisinin etrafındaki uzun dönem dalgalanmalarını ifade ederler. Örneğin, yerkürenin devinimi esnasında genel eğilim olan nutasyon hareketinden bağımsız olarak kısa süreli genişleme ya da daralma durumunu ifade eden presesyon hareketi burada çevrimsel süreci ifade eder.

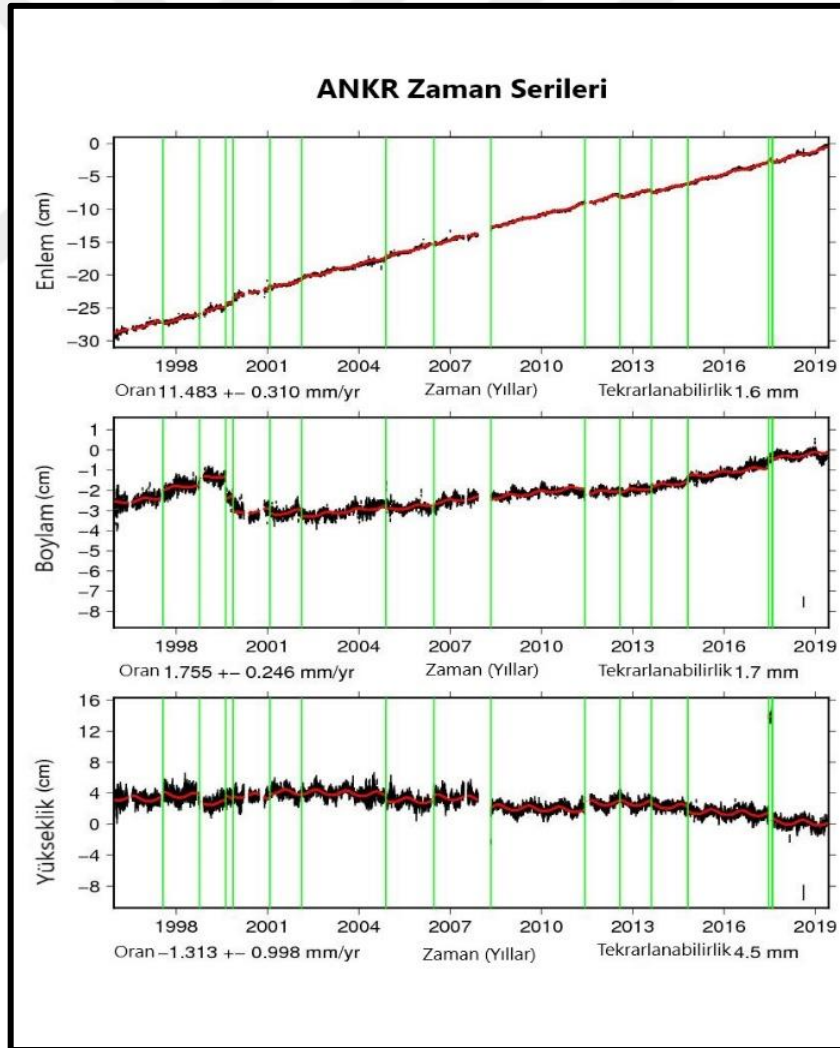
**4. Düzensiz (Stokastik) Bileşen (A);**

Zaman serileri içerisinde raslantısal ve düzensiz olaylardan meydana gelen hareketlerdir. Bu hareketler, seller, depremler, erozyon vb. gibi doğa olayları sebebiyle zaman serilerinde bazen meydana gelen hareketleri ifade ederler.

Zaman serisi analizlerinin yapılan ilk işlem serinin zaman ve bağımlı değişkene ait grafiğinin çizilmesidir. Örneğin Şekil 3.6'da ANKR istasyonuna ait GIPSY-OASIS II yazılımında elde edilmiş (n,e,u) bileşenleri ve standart sapmalarına ait rakamsal değerler görülmektedir. Şekil 3.7'de ise bu rakamsal sonuçların grafik hale getirilmiş çizimleridir.

Desimal Yıl	de	dn	du	sde	sdn	sdu
1996.00273310	-0.024905	-0.295494	0.041589	0.000826	0.000998	0.003666
1996.00547095	-0.027554	-0.294411	0.032867	0.000955	0.001037	0.003936
1996.00820880	-0.027112	-0.290172	0.031878	0.000906	0.001056	0.003927
1996.01094665	-0.032163	-0.291986	0.038956	0.000858	0.001020	0.003829
1996.01368450	-0.036516	-0.289309	0.031026	0.000824	0.001016	0.003748
1996.01642235	-0.028653	-0.293980	0.031922	0.000873	0.001007	0.003793
1996.01916020	-0.024911	-0.293733	0.022332	0.000886	0.001030	0.003746
1996.02189805	-0.028364	-0.291507	0.028107	0.000898	0.001057	0.003947
1996.02463590	-0.028202	-0.290369	0.031961	0.001087	0.001368	0.005088
1996.02703628	-0.025326	-0.290839	0.030425	0.001217	0.001506	0.005686
1996.03004031	-0.022401	-0.296049	0.037112	0.001619	0.002311	0.008289
1996.03291600	-0.020854	-0.293118	0.017821	0.001489	0.002164	0.007533
1996.03615769	-0.030688	-0.284177	0.014000	0.001179	0.001626	0.006061
1996.03799243	-0.027994	-0.289848	0.030556	0.001114	0.001426	0.005181
1996.04158111	-0.027362	-0.293343	0.027268	0.001181	0.001473	0.005377
1996.04380086	-0.032824	-0.292882	0.034192	0.000927	0.001139	0.004318
1996.04653871	-0.026431	-0.289176	0.029335	0.000921	0.001100	0.003969

Şekil 3. 6 ANKR istasyonuna ait ( $d_n$ ,  $d_e$ ,  $d_u$ ) rakamsal zaman serileri.



Şekil 3. 7 ANKR istasyonuna ait yatay ve düşey bileşenler için zaman serisi.



Burada serinin bir trend bileşenine sahip olup olmadığı araştırılmaktadır. Daha sonra periyodik hareketlerin şiddeti ölçülmeye çalışılmaktadır. Son olarak da düzensiz hareketler (stokastik bileşen) giderilerek seri temiz bir dizi haline getirilmektedir. Bir zaman serisinin gözlenen değerlerinin bu üç bileşenden oluştuğu düşünülerek fonksiyonel bir ilişki;

- Zaman Serisi= f(Trend Bileşeni, Periyodik Bileşen, Düzensiz Bileşen)

biçiminde yazılabilmektedir.

Buna göre  $Y_t$  gibi bir zaman serisinde bütün bileşenlerin toplam modeli;

$$Y_t = T_t + P_t + A_t \quad (3.4)$$

biçiminde ifade edilmektedir. Zaman serileri tüm bu kendilerini oluşturan bileşenlere ayrıştırıldıktan sonra, bileşenlerin toplamı şeklinde,

$$Y_t = T_t + M_t + K_t + A_t \quad (3.5)$$

ya da çarpımı şeklinde,

$$Y_t = T_t \cdot M_t \cdot K_t \cdot A_t \quad (3.6)$$

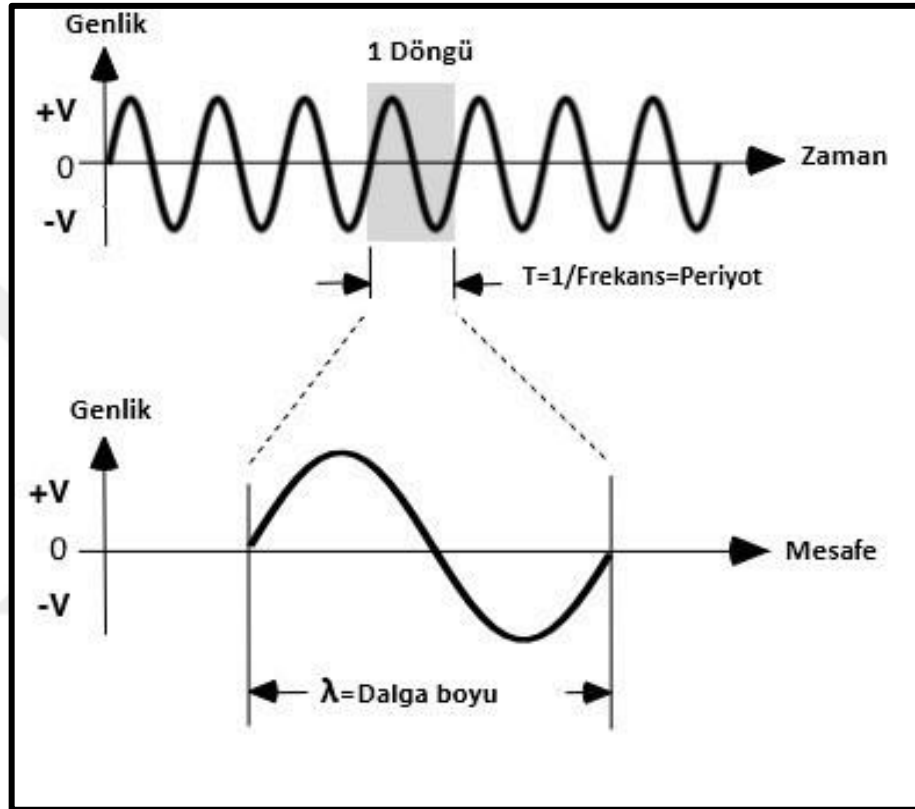
belli bir t döneminde Y zaman serisi ifade edilebilir.

Burada;  $Y_t$ , t dönemindeki serinin gözlemlerini,  $T_t$ , trend bileşeni;  $P_t = M_t + K_t$ , mevsimsel ve çevrimsel bileşenlerin toplamı olarak periyodik bileşeni ve  $A_t$ , düzensiz (stokastik) bileşeni göstermektedir. Zaman serinin deterministik (hesaplanabilir) bir trend bileşenine sahip olması, durağan (sabit) olmayan zaman serilerinin durağan hale dönüştürülmesinde trend veya periyodik etkilerinden arındırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

### 3.6 Periyodiklik, Periyot ve Frekans

Zaman serisi verilerinin temel bir özelliği, gözlemlerin zaman içinde ne sıklıkta aralıklandırıldığıdır. Bir zaman serisinin gözlemlerinin ne sıklıkla gerçekleştiği, örnekleme frekansı veya serinin periyodikliği olarak adlandırılır. Örneğin, her ay bir kez gözlemlenen bir zaman serisi, aylık bir örnekleme sıklığına veya aylık periyodikliğe sahiptir ve buna aylık bir zaman serisi denir. Trigonometrik temel fonksiyonlar olan sinüs ve tersi kosinüs

fonksiyonları periyodik fonksiyonlardır. Sinüs fonksiyonunun tam bir dairede ( $2\pi$ ) bir tekrarlama tam olarak  $T$  ile gösterilen periyodu ifade eder. Her döngüde bir dalga oluşur. Teorik olarak eşdeğer olması beklenen her dalga, uygulamalardaki hatalar nedeniyle birbirine benzemezler. Bu durum faz kayması olarak bilinir. Dalga boyuna denk gelen periyodun tersi,  $f$  ile sembolize edilen frekansa karşılık gelen salınım hızı olarak ifade edilir (Şekil 3.8).



Şekil 3. 8 Periyot ve frekans arasındaki ilişki.

Burada periyotun ( $T$ ) tersi salınım hızı olan frekansa ( $f=1/T$ ) eşittir. Birim zamanda ölçülen tam dalga sayısı (*Hertz*) ile ölçülür. Bir tam dairede ( $2\pi$ ) tam dalga döngüsü açısal hız olarak radyan biriminde ifade edilebilir. Açısal hız ( $\omega$ ) ve frekans ( $f$ ) arasında;

$$\omega = 2\pi f \quad \text{ya da} \quad f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (3.7)$$

bağıntıları yazılabilir. Bu durumda periyot açısal hız olarak;

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (3.8)$$

bağıntısı ile gösterilir [55].

### SPEKTRAL ANALİZ YÖNTEMLERİ

#### 4. Güç Spektrumu ve Regresyon Analizi

Güç spektrumu, sinyalin bir zaman serisi üzerinde rastgele bir sinyalin spektral yoğunluğunu tahmin etmektir. Sinyalin frekans özelliklerini karakterize eder. Spektral analiz, zaman serisindeki periyodikliklere karşılık gelen frekanslardaki tepe noktalarını gözlemleyerek verideki herhangi bir periyodikliği belirlemeye yarar. Aynı zamanda frekansa karşılık gelen genlik, güç, yoğunluk veya faz gibi farklı büyüklüklerin ölçülmesidir. Örnek olarak, bir telli çalgının ses perdeleri kalınlık veya incelik derecesine göre spektral analiz yöntemiyle anında tespit edilebilir. Işığın rengi elektromanyetik dalgaların aşırı yüksek frekansta dalgalanmasıyla bulunur. Fiziksel kavramlarda ışık spektrumu elde etmek için ışık ayrıştırıcı prizma işlevsel olabilir ve bunun gibi benzer durumda zaman değerleri özel olarak kullanılmaz. Ancak zamana bağlı olarak değişen ve biriken soyut kavramların belli bir periyotta nasıl ve ne şiddette tekrarladığını belirlemek farklı bir durumdur.

GNSS ölçümlerinden elde edilen  $n$ ,  $e$  ve  $u$  bileşenlerinin zamana bağlı değişimlerinin incelenmesi buna örnek olarak gösterilir. Yıllık ya da yarılılık bir sinyal döngüsünde tepe noktasını güç spektrum analizi ile belirlemek mümkündür. Peki, bu ne işe yarar ve ne için kullanılır?

Elde edilen tepe noktaları aslında belirli parametrelere bağlı olarak beklenen frekans değerinin hesaplanan gerçek frekans değerinden ne oranda kaydığını gösterir. Örneğin her gün yapılan ölçümlerin doğal olarak bir yıldaki beklenen frekans değeri  $365.25/365.25=1$  olarak düşünülür. Bu periyottan daha uzun bir zaman serisinde yapılan

güç spektrum analizinden elde edilen tepe noktasının maksimum periyot değeri olarak gösterimi verilerden elde edilen gerçek frekansa eş değerdir. Bu değerin 365.25'e oranlanmasıyla bir yıllık gerçek frekans değeri bulunmuş olur. Bu değerin beklenen frekans değerinden farkı frekans kayması olarak kabul edilir.

Öte yandan birden fazla çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için regresyon analizi yapılır. Zaman serisinin bir bileşeni olan trend üzerinden yapılan bu analize, örneğin GPS ölçümlerine ilişkin bileşenlerin zamana bağlı değişimi ya da hızı, ofset değerleri gibi konumu etkileyen bir çok değişken faktör etki eder. Bu değişkenlerin kestirilmesi ve belirlenmesi regresyon analizidir. Bu bölümde spektral analizle birlikte regresyon analizine değinilecektir.

#### 4.1 Fourier Analizine Giriş

Zamana bağlı değişimi frekansa dönüştüren matematiksel işlemlere ihtiyaç vardır. Bu işlevleri çözümlenebilmek için, Fourier, Wavelet, Laplace, Hankel, Hilbert ya da EKK gibi birçok analiz yöntemi mevcuttur. Fourier analizi en bilinen ve en çok kullanılan yöntemdir. 2000'li yıllarından başından beri dalgacık (wavelet) analizi de oldukça yaygın kullanılmaktadır. Burada Fourier analizi detaylandırılacaktır.

Fourier analizi, genel fonksiyonların ya da belirli frekanslarla üstel fonksiyonların trigonometrik olarak nasıl çözülebildiğinin incelenmesidir. İki tür Fourier açılımı vardır:

- **Fourier serileri:** Bir fonksiyon periyodik ise, o zaman olabilir belirli frekanslarla ayrı ayrı trigonometrik veya üstel fonksiyonların toplamı olarak yazılır.
- **Fourier dönüşümü:** Her zaman periyodik olmayan genel bir işlev (ancak bu hala makul derecede iyi niyetli), olası frekansların sürekliliği ile sürekli trigonometrik veya üstel fonksiyonların integrali olarak yazılabilir.

Spektral analiz esas olarak Fourier analizinin bir modifikasyonudur. Zamanın rastgele olmayan, yani deterministik fonksiyonlarından ziyade, olasılıksal, yani stokastik fonksiyonları için uygundur [56]. Fourier analizi, temel olarak Fourier serisinin temsili olarak adlandırılan bir sinüs ve kosinüs terimleriyle bir fonksiyona yaklaşmakla ilgilidir. Fourier serisinin, sabit terimin yarısına kadar yakınlaştığı süreksizlik noktaları haricinde zamana bağlı fonksiyonun belirli bir değerden sonsuza doğru yakınsadığı,

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{r=1}^k (a_r \cos rt + b_r \sin rt) \quad (4.1)$$

eşitliğinden görülebilir. Buradaki katsayı terimleri,

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) dt \quad (4.2)$$

$$a_r = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cos rt dt \quad r = 1, 2, \dots \quad (4.3)$$

$$b_r = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \sin rt dt \quad r = 1, 2, \dots \quad (4.4)$$

şeklinindedir. Fourier analizini boşluklu zaman serilerine uygulamak için, fonksiyonun sadece 1,2,...,N tamsayılarında tanımlandığında fonksiyonun Fourier serisi gösterimini göz önünde bulundurmamız gerekir. Bu nedenle Fourier analizi basit bir sinüzoidal model düşünülerek ortaya çıkabilir [57]. Belli aralıklarla ölçülen ayrık bir işlem için, spektral dağılım fonksiyonunun aralık (0,π) aralığında döngüsü olduğu fonksiyon bağıntılarından anlaşılabilir. Belirli bir döneme ait zaman serisinde yer alan veri boşlukları, Fourier analizi sonucunda faz kaymasına neden olabilir. Bu yüzden analizden önce veri boşluklarının uygun enterpolasyon yöntemiyle (örn. çok küçük veri boşluklarını doldurmak için hareketli ortalama (Moving Average) yöntemi vb.) doldurulması doğru döngüleri belirlemede rol oynamaktadır.

Chatfield [57], **Nyquist frekansı** bir veri kümesinden anlamlı bilgiler alabileceğimiz en yüksek frekans olarak tanımlar. Nyquist frekansı için daha genel bir biçim, eğer gözlemler eşit uzunlukta  $\Delta t$  aralıklarla alınırsa, Nyquist (açısal) frekansı  $\omega_N = \pi/\Delta t$ 'dir. Birim zaman başına döngü olarak ifade edilen eşdeğer frekans  $f_N = \omega_N/2\pi = 1/2\Delta t$ 'dir. Örneğin, sıcaklık okumalarının her gün öğlen belli bir kasabada yapıldığını varsayalım. Bu gözlemlerin bize bir gün içindeki sıcaklık değişimi hakkında hiçbir şey söylemediği açıktır. Özellikle gecelerin günlerden daha sıcak veya soğuk olduğunu bize söylemezler. Günde sadece bir gözlemlerle, Nyquist frekansı  $\omega_N = \pi$  radyandır veya günde  $f_N = 1/2$  döngüdür. Ya da iki günde bir döngüdür. Bu, bir gün içindeki değişime karşılık gelen frekanslardan daha düşüktür. Örneğin, bir günlük dalga boyuna sahip varyasyon, günde-  $\omega_N = \pi$  radyandır veya günde  $f_N = 1$  döngüdür. Bu yüksek frekanslarda bir gün içindeki değişkenlik hakkında bilgi edinmek için, örnekleme sayısını arttırmalı ve günde iki veya daha fazla gözlem alınmalıdır.

Benzer şekilde yılda bir yapılan GPS gözlemleri o noktanın gerçek karakteri hakkında bilgi vermeyecektir. Bu nedenle bir yıllık periyotta daha fazla gözlem yapılması çıkarımı çok rahat yapılabilir. Kampanya ölçümlerinin daha sık yapılmasının, hız kestirimi sonuçlarına olumlu etkisi buna benzer bir durumdur.

#### 4.1.1.1 Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT)

Fourier serilerinin çözümü çok fazla veri için uygulanırsa çözümlene işlemi çok fazla zaman alacaktır. Bu durumda daha hızlı ve sade çözümlene tercih edilir. Bu yöntem, bilgisayarda Fourier analizi yapmak için gereken süreyi önemli ölçüde azaltır ve ayrıca daha doğrudur. Genellikle FFT olarak bilinir. Matlab gibi matematiksel işlevleri hızlı bir şekilde çalıştıran yazılımlar aracılığıyla, matris şeklinde dizi oluşturulup, yine matris şeklinde sonuç elde edilebilir. Örneğin;  $f(x, y)$  fonksiyonu,  $x = 0, 1, 2, \dots, m - 1$  ve  $y = 0, 1, 2, \dots, n - 1$  olmak üzere  $m \times n$  boyutunda bir veri olsun. Bu veri kümesinin Fourier dönüşümü;  $F = F(f)$  şeklinde, ters Fourier dönüşümü ise;  $f = F^{-1}(F)$  şeklinde ifade edilebilir.  $F(a, b)$  fonksiyonunun katsayıları aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$F(a, b) = \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ax/m+by/n)} \quad (4.5)$$

$$F(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} F(a, b) e^{j2\pi(ax/m+by/n)} \quad (4.6)$$

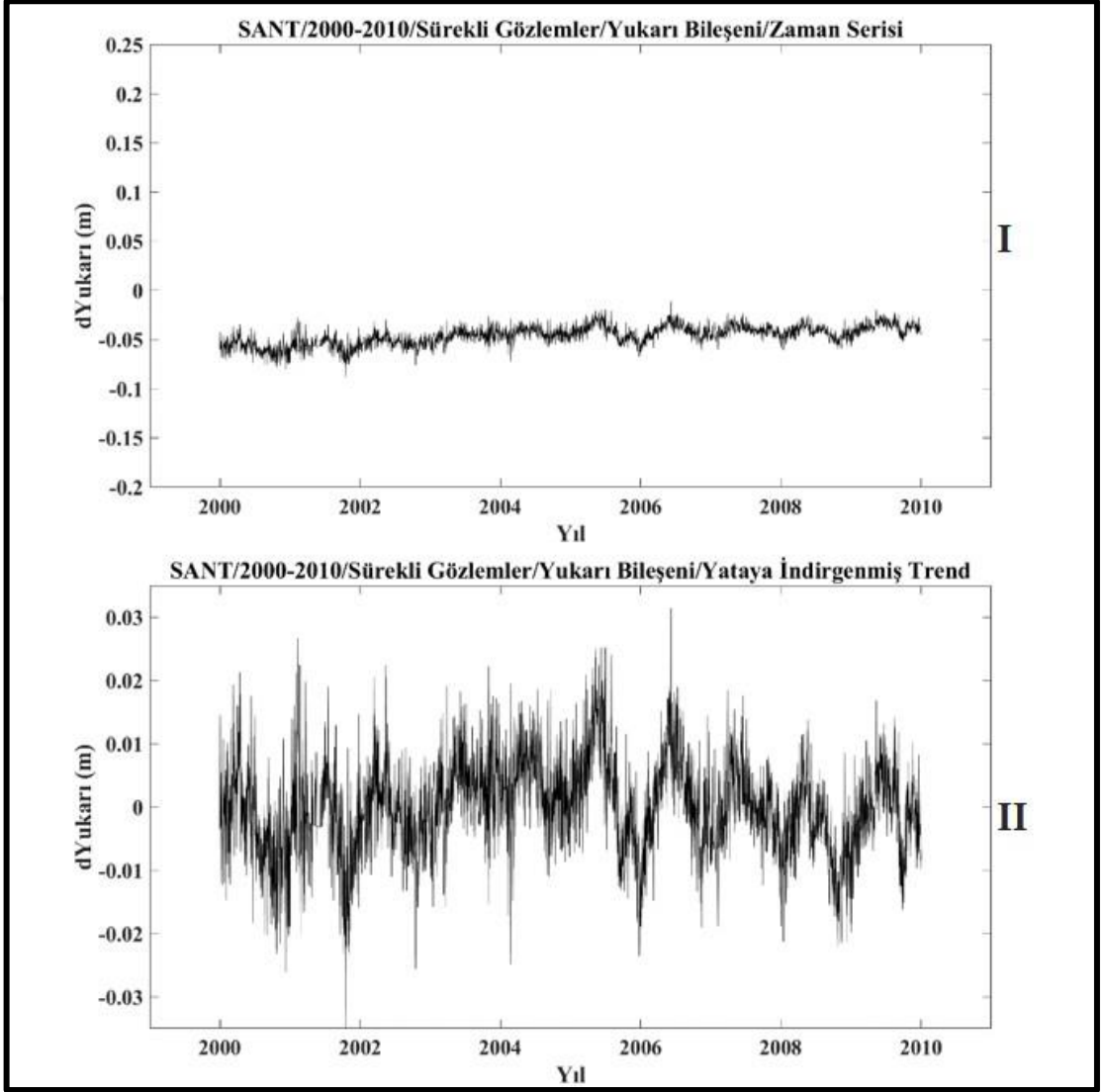
Dönüştürülmüş veri kümesinin frekans bilgisi için onun spektrumunu ifade etmek gerekir.  $R(a, b)$  fonksiyonu gerçek veriler ve  $I(a, b)$  fonksiyonu ise tahmin edilen verileri ifade ediyorken ve  $F(a, b)$  fonksiyonun bileşimini iken, Fourier dönüşümü ve güç spektrumu şu şekildedir [57];

$$F(a, b) = \sqrt{R^2(a, b) + I^2(a, b)} \quad (4.7)$$

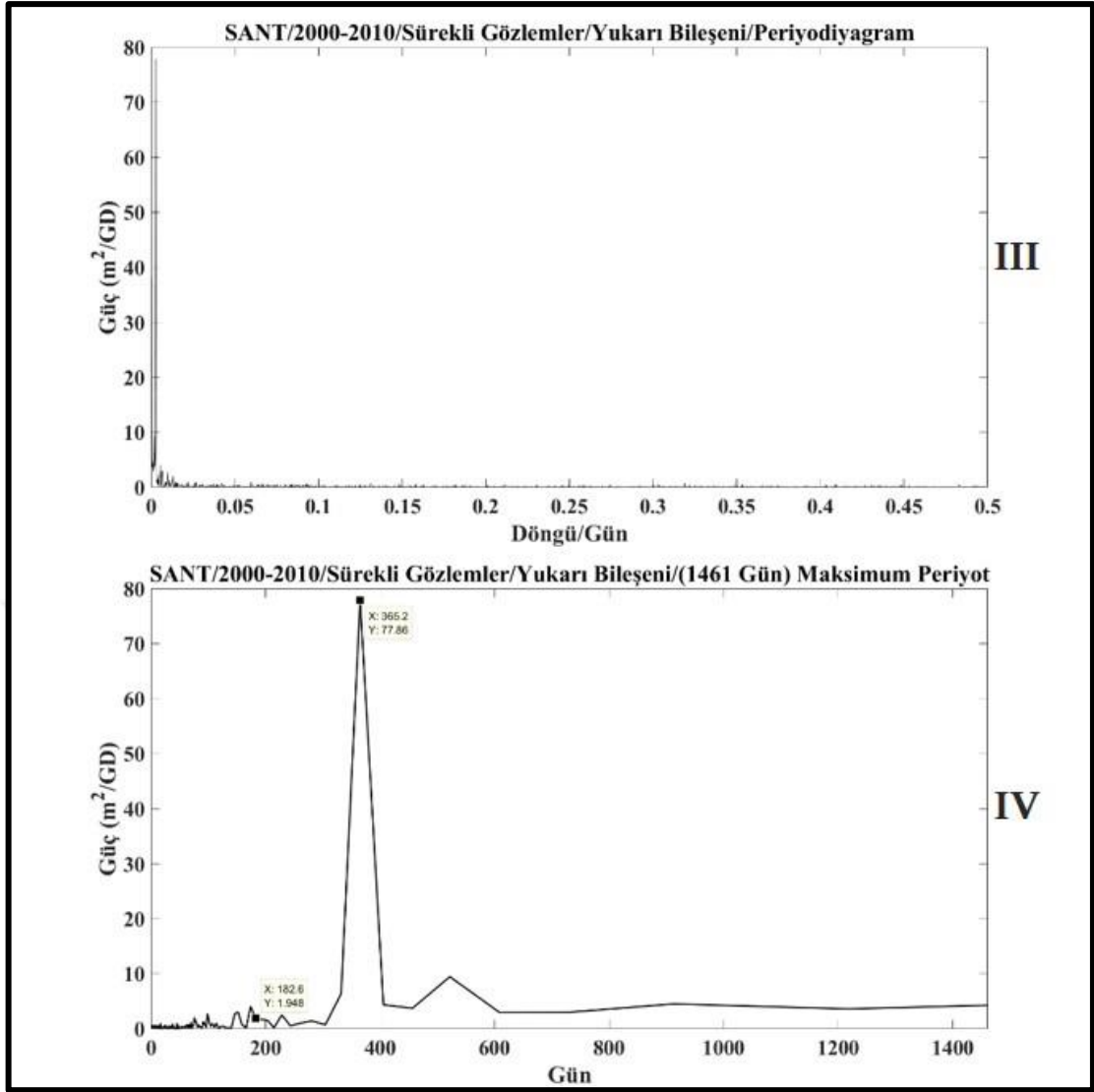
$$P(a, b) = F(a, b)^2 = R^2(a, b) + I^2(a, b) \quad (4.8)$$

Buradan veri kümesinin frekans bilgilerinin Fourier spektrumu veya güç spektrumu ile ortaya çıkarılabileceği sonucuna varılabilir. Bulunan frekans değerlerinin güç yoğunlukları periyodyagram olarak anılır ve grafik ortamda gösterilir. Buradaki güç spektrumu değerleri, periyota çevrilip grafik ortamda gösterilebilir.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de çalışmanın uygulama kısmında kullanılan istasyonlardan, SANT istasyonuna ait 15 yıllık uzun periyotluk düşey bileşene ait FFT analizinden elde edilen grafiksel sonuçlar görülmektedir. Burada, **I**, zaman serisini; **II**, yataya indirgenmiş zaman serisini (detrend); **III**, güç yoğunluğunu (periyodiyagram) ve **IV** ise maksimum periyot değerlerini göstermektedir.



Şekil 4. 1 SANT istasyonuna ait zaman serisi ve yataya indirgenmiş trend.



Şekil 4. 2 SANT istasyonuna ait FFT sonuçlarının grafiklerle gösterimi.

#### 4.2 Regresyon Analizi

Regresyon analizi özellikle ortada zaman serisi oluşturmuş bir veri grubu varsa, aralarında neden sonuç ilişkisi bulunan birden çok parametre arasındaki korelasyonu ortaya koyarak konu ile ilgili kestirimler veya tahminler yapabilmek için sıklıkla kullanılır. Birçok veri grubunda sebep sonuç ilişkisi vardır. Bu veri grubunda iki değişken varsa basit regresyon analizi ile aralarındaki ilişki ortaya konur. İki den fazla değişkene sahip bir veri grubunda ise çoklu regresyon analizi yapılmalıdır. Analizi gerçekleştirmek için matematiksel bir model tanımlanır. Örneğin basit regresyon modeli;

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i \quad (4.9)$$

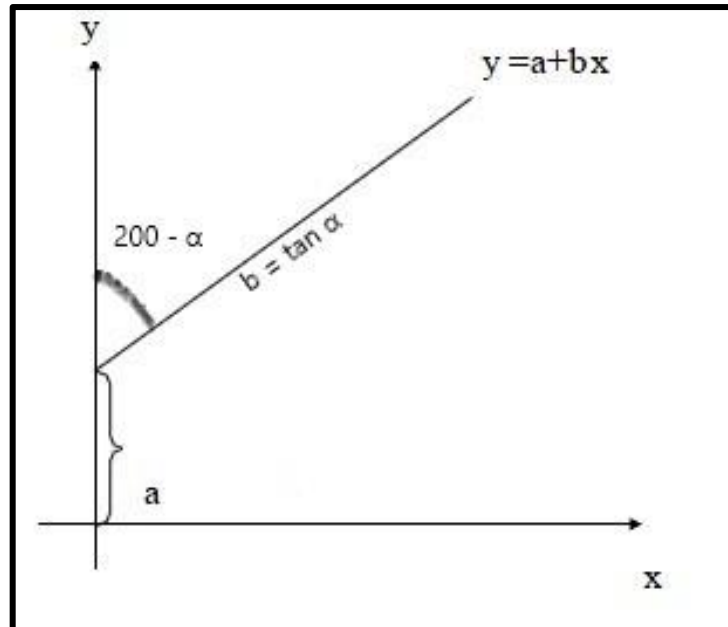


şeklinde tek bağımlı ve tek bağımsız değişken içeren bir modeldir. Burada, Y bağımlı değişken iken, X bağımsız değişkendir.  $\beta_0$  sabit olup, X'in sıfır olması durumunda Y'nin aldığı değerdir.  $\beta_1$  ise regresyon katsayısıdır. X'in değişimine karşılık, Y'de oluşacak değişime karşılıktır.  $\epsilon$  ise rastgele hata terimidir. Bu varsayım katsayı terimlerinin önem kontrolleri için modele dahil edilir. Regresyon modeli hata teriminin normal dağılımlı ya da düzensiz olmasına bağlı olarak genelde iki yolla çözümlenir. Bunlar, en küçük kareler ve en büyük olasılık teknikleridir [58].

#### 4.2.1.1 En Küçük Kareler Tahmini (LSE)

En küçük kareler kestirimi, çözüm tarafından sağlanan gerçek değer tahminlerinden gözlemlenen  $Y_i$ 'nin trendi üzerindeki sapmalarının mümkün olan en küçük kareler sapmalarını vermesi gerektiği koşulunu kullanır.

Genel regresyon denklemi ifadesi  $y = a + bx$  şeklinde tanımlanır. Burada, x, seçilen bağımsız değişkenin değeridir. Her bir x değeri için tahmin edilen değerler, y değerlerini verir. a ve b regresyon katsayılarını ifade eder. Doğrunun Y eksenini kestiği noktanın değeri a'yı, doğrunun eğimi olarak adlandırılan ve doğrunun x eksenini yaptığı açının tanjant değeri ise b'yi verir.



Şekil 4. 3 Doğrusal regresyon denklemi grafiği.

En küçük kareler kesitiriminde, veri kümesinden elde edilen trende bir regresyon modeli uydurulur. Örneğin b katsayı nokta konum bilgisi içeren veri topluluğu için zamana bağlı toplam yer değişimini yani hızları ifade edebilir. Eğer hata terimi varsa buda olası ofset değerlerini içeriyor olabilir.

Regresyon çözümlemesi sonucunda çıktılar kıyaslanabilir terimlerle birlikte bir güven testine tabi tutulmalıdır. Böylece ortaya atılacak bir hipotezin kabul edilip edilmeyeceği çok daha rahat görülebilir.



#### 5. Giriş ve Amaç

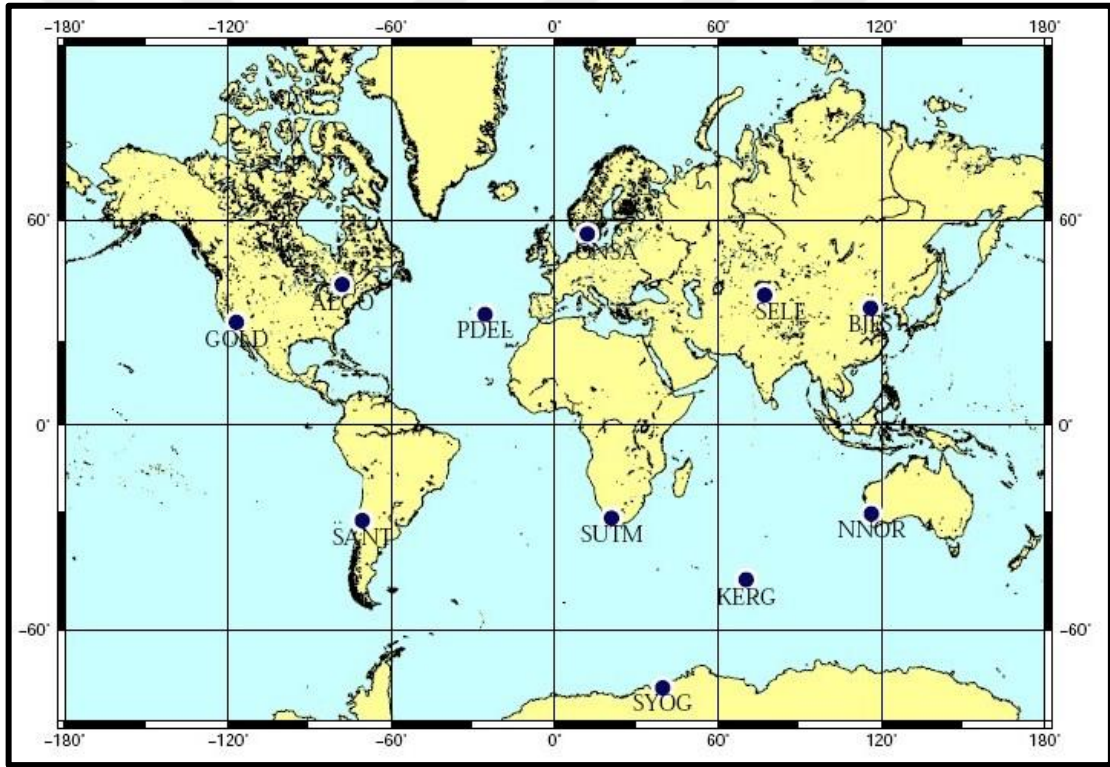
GPS kampanya ölçmeleri deformasyon izlemede hala kullanılmaktadır. Kalıcı istasyonların kurulması pahalı olduğundan ve istenen yoğunlukta tesis edilemediklerinden kampanya ölçümlerine sık sık başvurulur. Uluslararası GNSS Servisi (IGS) daimi GPS istasyonlarından elde edilen verileri kullanılarak, kampanya ölçümlerinin süresi, örnekleme aralığı vb. simüle edilebilir. Bu nedenle, kampanya verilerinin deformasyon izlemeye katkısı değerlendirilebilir. Bu çalışma uygulaması iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde GPS kampanya ölçümlerinin spektral özellikleri incelenmiştir. Kampanya ölçümlerinde mevsimsel etkiler göz önünde bulundurularak deformasyonu daha doğru belirlemek amacıyla bu ön çalışma yapılmıştır. Küresel ölçekte yayılmış 11 IGS istasyonununun 24 saatlik sürekli verilerinden 2000 ve 2016 yılları arasında aylık ve dört aylık kampanya ölçümleri türetilmiştir. Verilerdeki önemli periyodiklikler Fourier analizi uygulanarak belirlenmiştir. İlk bölümde bulunan yıllık ve yarıyıllık sinyal döngülerinin, gerçekte bilinen yıllık ( $12/12=1$  döngü), yarıyıllık ( $6/12=0.5$  döngü) olan döngülerden çok küçük sapmalarla farklı olduğu ve hız kestirimlerine anlamlı etki etmediği görülmüştür. Bu nedenle ikinci bölümde spektral karakterleri incelemeyen, ancak bu sefer ağ nokta sayısını 40 adet IGS istasyonuna çıkararak ve 16 yıllık ölçümler yerine kampanya ölçümlerini daha pratik hale getirmek amaçlı 4 yıllık veriler üzerinden sürekli, aylık ve dört aylık kampanya ölçümleri analiz edilmiştir. Hız kestirimleri t-testine tabi tutulmuştur. Her iki bölümde de istasyonlar için sürekli zaman serileri çözümleri, Jet Propulsion Laboratory (JPL), NASA tarafından GIPSY-OASIS II yazılımında

değerlendirilen verilerden ve üretilen zaman serilerinden sağlanmıştır. Sonuçta her iki durumda da GPS aylık kampanyalarından belirlenen hızlar (yani deformasyon hızları) sürekli verilerden elde edilen hızlarla karşılaştırılmıştır. Aylık örneklenmiş 24 saatlik GPS kampanyalarından tahmin edilen hızların, sürekli GPS verilerinin analizinden elde edilen hızlardan önemli ölçüde farklı olmadığı görülmüştür.

## 5.1 Birinci Bölüm

### 5.1.1 Nokta Araştırması

Birinci bölümde homojen olarak dağılmış 11 IGS istasyonuna ait ve JPL tarafından sunulan 2000 - 2016 yılları arasındaki zaman serileri kullanılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5. 1 Uygulamanın birinci bölümü için seçilen 11 adet istasyon.

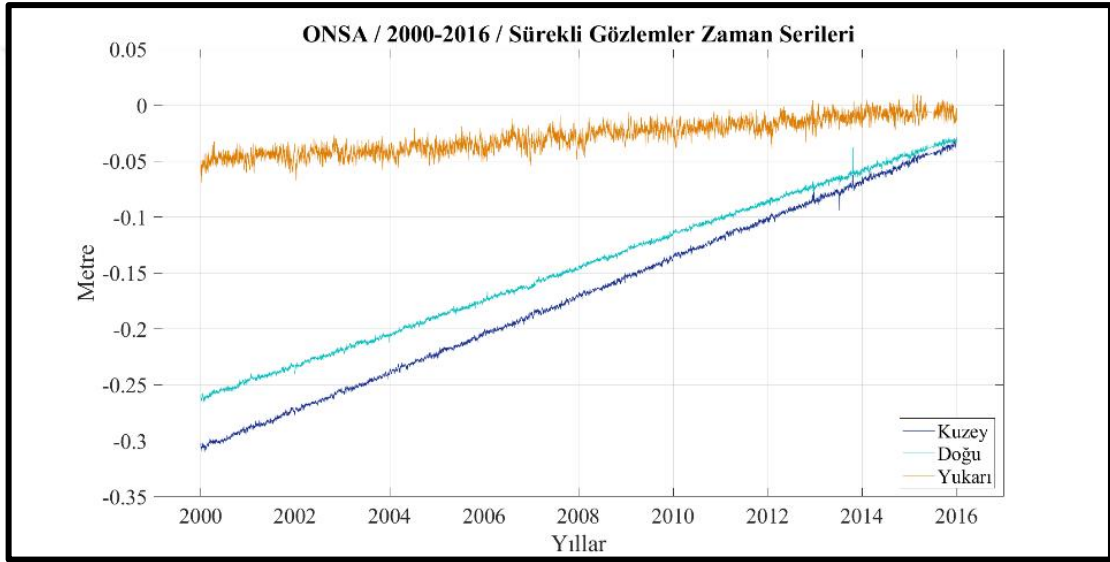
Spektral analiz yapılacağından noktalar seçilirken mümkün olduğu kadar zaman serilerinde minimum veri boşluğu olanlar tespit edilmiştir. Aksi takdirde uygulanan Fourier analizi güvenilir sonuçlar vermeyecektir. Bunun için IGS web sitesindeki istasyon ürünlerinden veri kayıt yoğunlukları simüle edilerek ön çalışma yapılmıştır. Aynı zamanda istasyonların hemen hemen her kıtada olmasına dikkat edilmiştir.

### 5.1.2 GPS Verilerinin Bilimsel Yazılımda Değerlendirilmesi

Bunun için GIPSY OASIS II yazılımını kullanan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) - JPL resmi web sitesinden (<http://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series>) yararlanılmıştır. Her IGS istasyonu için kuzey, doğu ve yukarı (n, e, u) yerel toposentrik koordinatlar ve beraberindeki standart sapmalarla ilgili konum zaman serileri indirilmiştir.

### 5.1.3 Zaman Serilerinin Elde Edilmesi

2000-2016 yılları arasında istasyonlara ait zaman serilerinin (n,e,u) bileşenlerine ait grafikleri çizdirilmiştir (Şekil 5.2) (ayr. bkz. EK-1).

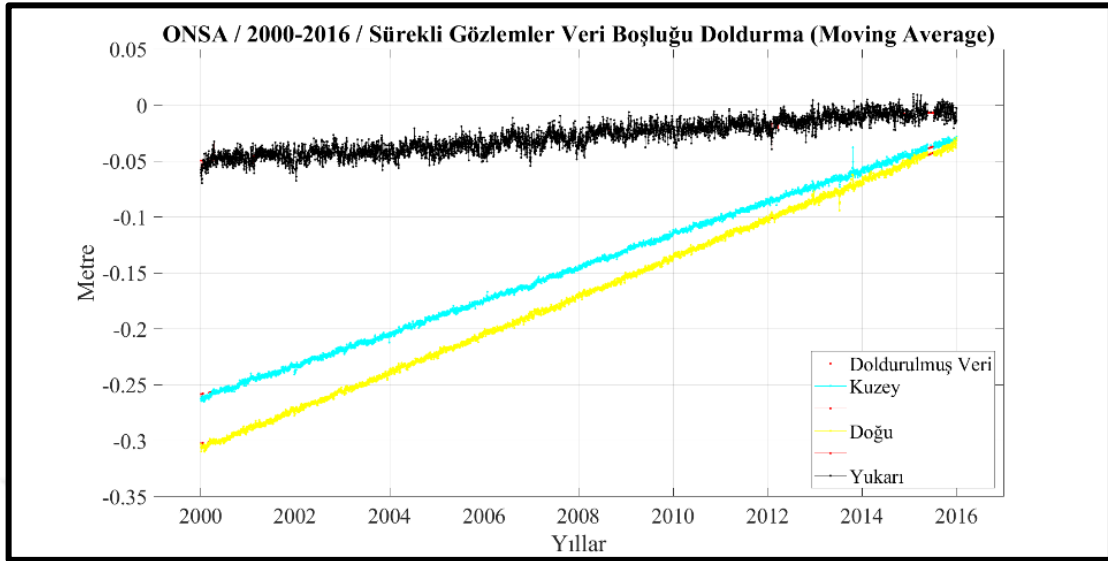


Şekil 5. 2 ONSA istasyonuna ait 16 yıllık (n, e, u) bileşenlerine ait zaman serileri.

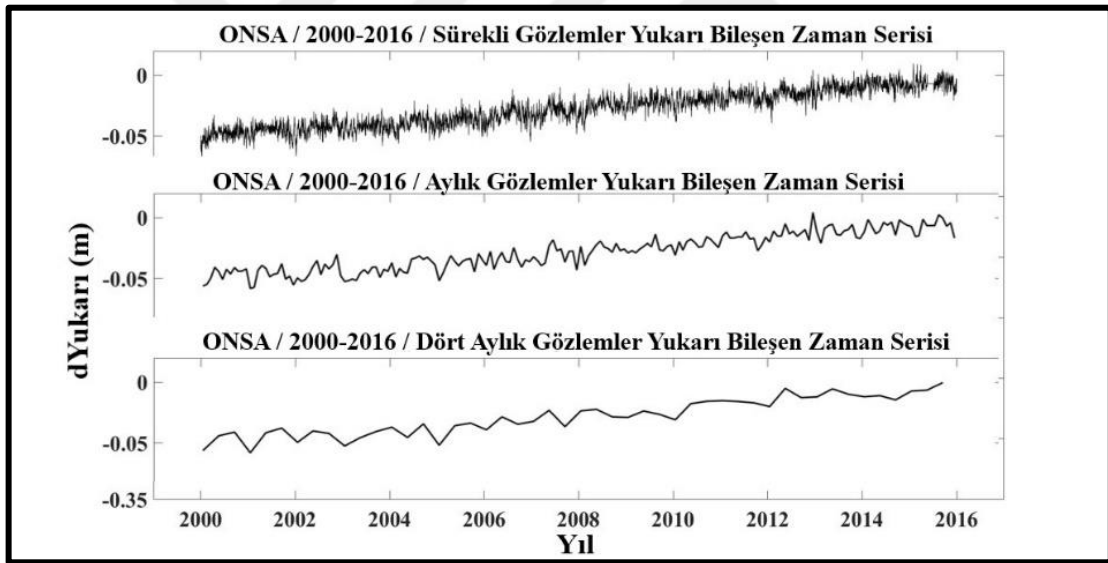
Veri boşluklarını gidermek amaçlı hareketli ortalama (Moving Average) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, zaman serisi üzerinde bulunan çok küçük veri boşluklarını, ağırlıklı olarak trend üzerinde yer alan veri boşluklarına yakın verileri kullanarak enterpolasyon yapılmaktadır. Bu sayede arada tespit edilemeyen küçük veri boşlukları dahi sorunsuzca giderilmiştir. Şekil 5.3'de ONSA istasyonuna ait bileşenlerdeki veri boşluklarının doldurulmuş hali kırmızı renkte gösterilmiştir.

Veri boşlukları doldurulduktan sonra, gerçekte araziye belirli bir gün çıkılacağı varsayıldığından, her ayın 15'inci günü seçilerek aylık kampanya ölçüleri 16 yıllık zaman serilerinden elde edilmiştir. Ayrıca aylık verilerden yılın ilk ayından başlayarak, 1'inci,

5'inci ve 9'uncu aylarında veriler seçilerek bu sefer dört ayda bir zaman serileri elde edilmiştir (Şekil 5.4) (ayr. bkz. EK-1).



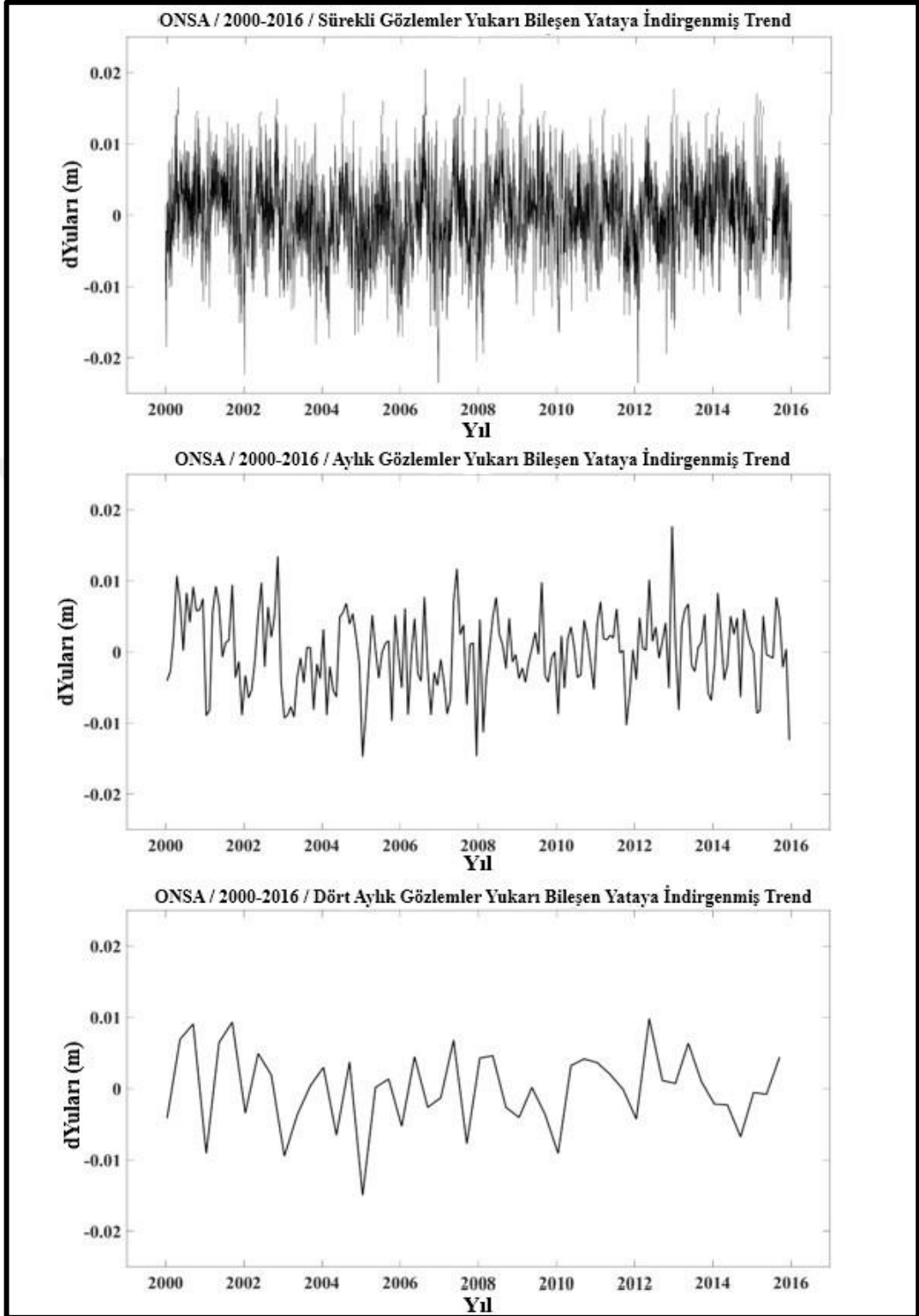
Şekil 5. 3 ONSA istasyonuna ait 16 yıllık veri boşluksuz (Kuzey, Doğu, Yukarı) bileşenleri.



Şekil 5. 4 ONSA istasyonu 16 yıllık (Yukarı) günlük, aylık ve dört aylık kampanyalar zaman serileri.

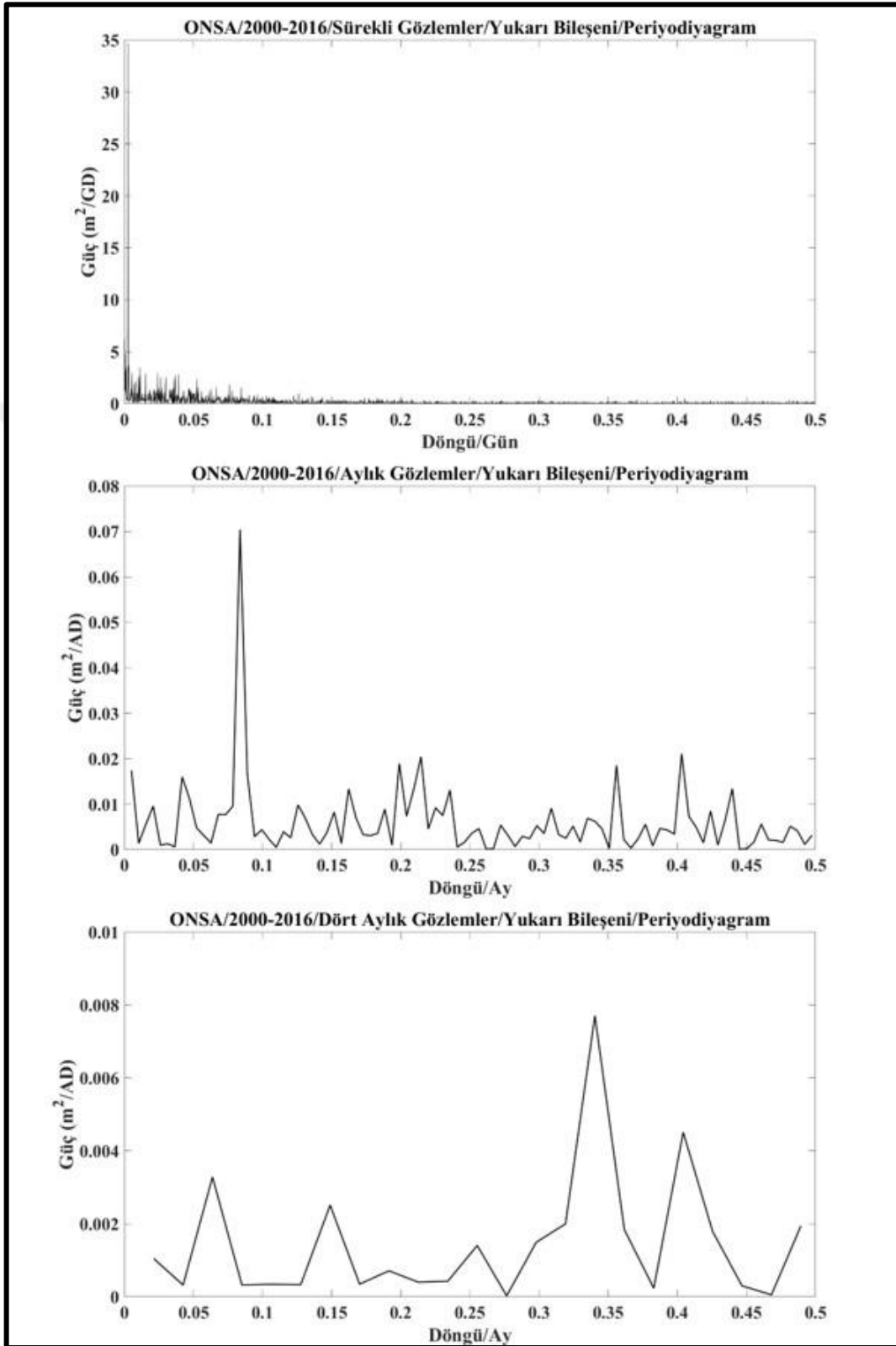
#### 5.1.4 Fourier Analizinin Uygulanması

Elde edilmiş ve türetilmiş 16 yıllık günlük, aylık ve dört aylık zaman serileri üzerinden spektral karakter incelemesi yapılmıştır. Bu amaçla hızlı Fourier dönüşümü (FFT) yapılmıştır. Bu aşamada öncelikle trendler yataya indirgenmiş ve detrendler elde edilmiştir (Şekil 5.5) (ayr. bkz. EK-1).



Şekil 5. 5 ONSA istasyonu 16 yıllık (Yukarı) günlük, aylık ve dört aylık kampanyalar yataya indirgenmiş trendler.

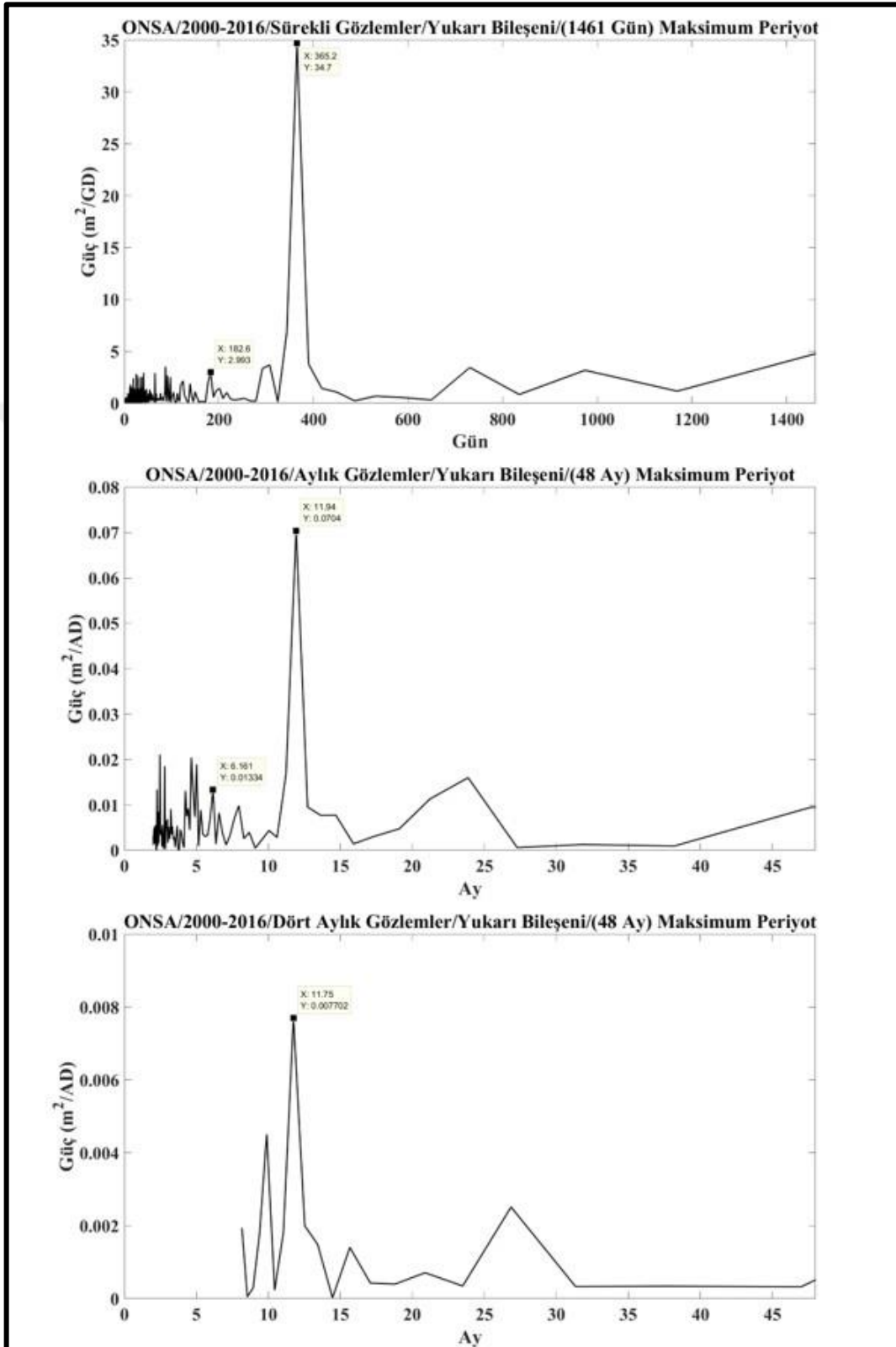
Daha sonra spektral yoğunluk tahmini yapılarak elde edilen periyodiyagramlar çizdirilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5. 6 ONSA istasyonu 16 yıllık (Yukarı) günlük, aylık ve dört aylık kampanyalara ait periyodiyagramlar.



Son olarak, maksimum periyot değerleri, günlük, aylık ve dört aylık değerler için hesaplanmıştır. Sonuçlarda ayrıca grafiklere çizdirilmiştir (Şekil 5.7) (ayr. bkz. EK-1).



Şekil 5. 7 ONSA istasyonu 16 yıllık (Yukarı) günlük, aylık ve dört aylık kampanyalara ait maksimum periyotlar.

Zaman serilerinin çizdirilmesi, spektral analizler ve diğer tüm hesaplamalar için Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü lisanslı yazılımı olan Matlab-2018a yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Fourier analizi esnasında sinyal işleme sisteminin örnekleme oranının yarısı olan Nyquist frekansı, yılda bir döngü olarak seçilen örnekleme oranının yarısı olarak  $n = 0.5$  döngü/m seçilmiştir. Güç spektrum birimleri de  $m^2/AD$  (metrekare/Aylık Döngü) olarak hesaplanmıştır. 11 istasyona ait günlük aylık ve dört aylık maksimum periyot değerleri yıllık ve yarıyıllık olarak Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5. 1 Sürekli, aylık ve dört aylık verilerin mevsimsel periyot değerleri.

		Periot (T) (Döngü)				Periot (T) (Döngü)			
		Yıllık	Yarıyıllık			Yıllık	Yarıyıllık		
		(T <sub>1</sub> )	(T <sub>2</sub> )			(T <sub>1</sub> )	(T <sub>2</sub> )		
<b>ALGO</b>	Doğu	Sürekli	0.9999	0.4849	Doğu	Sürekli	1.0445	0.4747	
		Aylık	0.9950	0.4825		Aylık	0.9742	0.4867	
		Dört-Aylık	0.9792	-		Dört-Aylık	1.1792	-	
	Kuzey	Sürekli	0.9999	0.4999	PDEL	Kuzey	Sürekli	1.0445	0.4747
		Aylık	0.9950	0.4975			Aylık	0.9167	0.4867
		Dört-Aylık	1.0442	-			Dört-Aylık	1.0950	-
	Yukarı	Sürekli	0.9999	0.4999	Yukarı	Sürekli	0.9791	0.5402	
		Aylık	0.9950	0.4975		Aylık	0.9742	0.5375	
		Dört-Aylık	0.9792	-		Dört-Aylık	1.0225	-	
<b>BJFS</b>	Doğu	Sürekli	0.9936	0.4819	Doğu	Sürekli	0.9999	0.4999	
		Aylık	0.9900	0.4800		Aylık	0.9917	0.4725	
		Dört-Aylık	0.9217	-		Dört-Aylık	1.0742	-	
	Kuzey	Sürekli	0.9352	0.4969	SANT	Kuzey	Sürekli	0.9999	0.4999
		Aylık	0.9900	0.4950			Aylık	0.9917	0.4725
		Dört-Aylık	0.9792	-			Dört-Aylık	0.9667	-
	Yukarı	Sürekli	0.9936	0.4969	Yukarı	Sürekli	0.9999	0.4999	
		Aylık	0.9900	0.4950		Aylık	0.9917	0.4725	
		Dört-Aylık	0.9792	-		Dört-Aylık	0.9667	-	
<b>GOLD</b>	Doğu	Sürekli	1.0335	0.4843	Doğu	Sürekli	0.9999	0.4816	
		Aylık	1.0275	0.4817		Aylık	0.9225	0.4783	
		Dört-Aylık	1.0717	-		Dört-Aylık	0.9050	-	
	Kuzey	Sürekli	1.0335	0.4999	SELE	Kuzey	Sürekli	0.9999	0.4816
		Aylık	1.0275	0.4975			Aylık	0.9933	0.4967
		Dört-Aylık	1.0000	-			Dört-Aylık	0.9742	-
	Yukarı	Sürekli	1.0335	0.4999	Yukarı	Sürekli	0.9999	0.4816	
		Aylık	1.0275	0.4975		Aylık	0.9933	0.4783	
		Dört-Aylık	1.0000	-		Dört-Aylık	0.9742	-	
<b>KERG</b>	Doğu	Sürekli	0.9629	0.4561	Doğu	Sürekli	0.9832	0.4914	
		Aylık	0.9533	0.4767		Aylık	0.9775	0.5975	
		Dört-Aylık	1.0417	-		Dört-Aylık	1.0333	-	
	Kuzey	Sürekli	1.0831	0.4561	SUTM	Kuzey	Sürekli	0.9832	0.4914
		Aylık	1.0733	0.4517			Aylık	0.9775	0.5658

Çizelge 5. 1 Sürekli, aylık ve dört aylık verilerin mevsimsel periyot değerleri (Devamı).

		Periot (T) (Döngü)		Periot (T) (Döngü)			
		Yıllık (T <sub>1</sub> )	Yarıyılık (T <sub>2</sub> )	Yıllık (T <sub>1</sub> )	Yarıyılık (T <sub>2</sub> )		
<b>KERG</b>	<i>Kuzey</i> Dört-Aylık	1.0417	-	<b>SUTM</b>	<i>Kuzey</i> Dört-Aylık	0.9392	-
	Sürekli	0.9629	0.4561		Sürekli	0.9832	0.4914
	<i>Yukarı</i> Aylık	0.9533	0.4767		<i>Yukarı</i> Aylık	0.9775	0.4883
	Dört-Aylık	1.0417	-		Dört-Aylık	0.9392	-
<b>Doğu</b>	Sürekli	1.0376	0.4819	Sürekli	0.9407	0.4704	
	Aylık	0.9583	0.4792	Aylık	0.9367	0.4825	
	Dört-Aylık	0.9283	-	Dört-Aylık	0.8700	-	
	Sürekli	0.9634	0.4819	Sürekli	0.9407	0.4999	
<b>NNOR</b>	<i>Kuzey</i> Aylık	0.9583	0.4967	<b>SYOG</b>	<i>Kuzey</i> Aylık	0.9367	0.4975
	Dört-Aylık	1.0000	-	Dört-Aylık	0.9217	-	
	Sürekli	0.9634	0.4997	Sürekli	0.9407	0.4569	
	<i>Yukarı</i> Aylık	0.9583	0.4325	<i>Yukarı</i> Aylık	0.9950	0.4683	
	Dört-Aylık	0.9283	-	Dört-Aylık	0.9792	-	
<b>Doğu</b>	Sürekli	0.9999	0.4684				
	Aylık	0.9950	0.4825				
	Dört-Aylık	0.9792	-				
	Sürekli	0.9999	0.4999				
<b>ONSA</b>	<i>Kuzey</i> Aylık	0.9950	0.4683				
	Dört-Aylık	0.7833	-				
	Sürekli	0.9999	0.4999				
	<i>Yukarı</i> Aylık	0.9950	0.5133				
	Dört-Aylık	0.9792	-				

Dört aylıklarda veri sıklığı azaldığından dolayı yarıyılık periyotlar FFT analizi sonucu kaybolmuştur. Periyotlara ait istatistiksel sonuç değerleri Çizelge 5.2’de sunulmuştur.

Çizelge 5. 2 Çizelge 5.1 istatistikleri.

	Günlük Analizler		Aylık Analizler		Dört Aylık Analizler	
	Yıllık (Döngü)	Yarıyılık (Döngü)	Yıllık (Döngü)	Yarıyılık (Döngü)	Yıllık (Döngü)	Yarıyılık (Döngü)
<b>Ortalama</b>	0.9950	0.4873	0.9826	0.4845	0.9854	-
<b>KOH</b>	0.0336	0.0214	0.0356	0.0230	0.0714	-

### 5.1.5 En Küçük Karelerle Hız Kestirimi ve Test Sonuçları

FFT'den elde edilen yıllık ve yarıyılık bileşenlerin hızları En Küçük Kareler Tahmini'ne göre zamana bağlı katsayılar ve bilinmeyen parametreleri (a, b, c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, d<sub>1</sub> ve d<sub>2</sub>) içeren regresyon denklemi kullanılarak tahmin edilmiştir:

$$y(t) = a + b \cdot t + c_1 \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T_1}\right) + d_1 \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_1}\right) + c_2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T_2}\right) + d_2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_2}\right) + o. x_{off} + e(t) \quad (5.1)$$

Burada; a, sabit terimi sıfır eki ve b, hızdır.  $c_1$  ve  $d_1$  yıllık terim için periyodik bileşenler iken,  $c_2$  ve  $d_2$  yarı yıllık terim için periyodik bileşenlerdir. Ayrıca,  $T_1$  ve  $T_2$ , sırasıyla 1.0 ve 0.5 döngü olarak alınan yıllık ve yarı yıllık periyodik bileşenlerin dönemleridir.  $x_{off}$ , zaman serisindeki, deprem ve anten değişimi gibi ani sıçramalar sonucu oluşan dengelemeyi ve  $e(t)$  hataları temsil eder. Burada sadelik açısından sadece yıllık ve yarıyıllık mevsimsel etki modele dahil edilmiş ve GNSS zaman serilerinde görülen daha küçük periyodik etkiler ve “transient”ler modele dahil edilmemiştir. Bu konularla ilgili detaylı bilgi almak üzere okuyucu Bogusz ve Klos [20] ile Ji ve Herring [59] başvurabilir. Benzer şekilde, geçici zaman serilerinin olduğu yerlerden istasyonlar seçilmemiştir.

Ek olarak,  $n$ ,  $e$  ve  $u$  bileşenleri için diğer bilinmeyen parametreler ve bunlarla ilişkili standart sapmalar da hesaplanmıştır. Ardından, aylık veya dört aylık çözümlerden gelen hızların günlük çözümlerden önemli ölçüde farklı olup olmadığına dair, 1908 yılında William Sealy Gosset tarafından bulunan istatistik test uygulanmıştır. Bu testin adı Student dağılımı ya da t-testi olarak bilinmektedir. Çoklu regresyon analizinden t-testi formülasyonu ve gösterimi Çizelge 5.3'de sunulmuştur.

Çizelge 5. 3 Çoklu regresyon analizinden t-testi için gösterim ve formülasyon.

	<u>Test İstatistiği</u>	<u>Kritik Bölge</u>
$b_d$ = Günlük Hız $b_m$ = Aylık veya Dört Aylık Hız $\sigma_{bd}$ = Günlük hız standart sapması $\sigma_{bm}$ = Aylık veya Dört Aylık Hız standart sapması	$T = \frac{b_m - b_d}{\sqrt{\sigma_{b_m}^2 + \sigma_{b_d}^2}}$	$f = \infty, \alpha = 0.05$ için; $t_{f, 1-\frac{\alpha}{2}} = \pm 1.96$

Sıfır hipotezi  $H_0: b_m = b_d$  ve alternatif hipotez  $H_A: b_m \neq b_d$  olarak ayarlanmıştır. İki taraflı bir test için  $T = \pm 1.96$ 'yı  $\alpha = 0.05$  ile aşarsa,  $H_0$  reddedilir. Başka bir deyişle, aylık veya dört aylık GPS kampanyalarından tahmin edilen hız, sürekli GPS gözlemlerinden elde edilen hızdan önemli ölçüde farklıdır. Çizelge 5.1'de verilen maksimum periyot değerleri aracılığıyla gerçek frekans değerleri hesaplanmıştır. Sürekli günlük veriler için,

$$f = \text{Maks. periyot}/365.25 \quad (5.2)$$

Aylık ve dört aylık veriler için ise,

$$f = \text{Maks. periyot}/12 \quad (5.3)$$

bağıntıları kullanılmıştır. Bu frekanslar aracılığıyla en küçük kareler yöntemine göre hız kestirimleri standart sapmalar ile birlikte hesaplanmıştır. t-testi sonuçları ile birlikte hız kestirimi ve standart sapmaları Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Çizelge 5. 4 LSE'den tahmin edilen IGS istasyon hızları ve t-testine ilişkin test istatistikleri.

İstasyon	Bileşen	Veri Seti	Yıllık			Yarıyıllık		
			b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği
ALGO	Doğu	Sürekli	-0.016255	0.000007		-0.016257	0.000007	
		Aylık kampanya	-0.016210	0.000045	-1.000000	-0.016211	0.000046	-1.000000
		Dört aylık kampanya	-0.016251	0.000077	-0.051948	-	-	-
	Kuzey	Sürekli	0.002341	0.000007		0.002344	0.000007	
		Aylık kampanya	0.002369	0.000038	-0.736842	0.002373	0.000037	-0.783784
		Dört aylık kampanya	0.002329	0.000066	0.181818	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	0.003320	0.000015		0.003317	0.000015	
		Aylık kampanya	0.003262	0.000082	0.707317	0.003259	0.000083	0.698795
		Dört aylık kampanya	0.003254	0.000143	0.461538	-	-	-
BFJS	Doğu	Sürekli	0.031251	0.000009		0.031249	0.000009	
		Aylık kampanya	0.031289	0.000052	-0.730769	0.031288	0.000053	-0.735849
		Dört aylık kampanya	0.031273	0.000105	-0.209524	-	-	-
	Kuzey	Sürekli	-0.010806	0.000006		-0.010804	0.000006	
		Aylık kampanya	-0.010800	0.000032	-0.187500	-0.010798	0.000032	-0.187500
		Dört aylık kampanya	-0.010793	0.000065	-0.200000	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	0.001351	0.000019		0.001325	0.000019	
		Aylık kampanya	0.001322	0.000108	0.268519	0.001302	0.000108	0.212963
		Dört aylık kampanya	0.001444	0.000249	-0.373494	-	-	-
GOLD	Doğu	Sürekli	-0.017230	0.000007		-0.017230	0.000007	
		Aylık kampanya	-0.017192	0.000040	-0.950000	-0.017192	0.000040	-0.950000
		Dört aylık kampanya	-0.017032	0.000075	-2.640000	-	-	-
	Kuzey	Sürekli	-0.003551	0.000008		-0.003553	0.000008	
		Aylık kampanya	-0.003486	0.000041	-1.585366	-0.003489	0.000041	-1.560976
		Dört aylık kampanya	-0.003376	0.000071	-2.464789	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	-0.000094	0.000017		-0.000096	0.000017	
		Aylık kampanya	-0.000135	0.000105	0.390476	-0.000140	0.000106	0.415094
		Dört aylık kampanya	-0.000023	0.000186	-0.381720	-	-	-
KERG	Doğu	Sürekli	0.004971	0.000019		0.004975	0.000019	
		Aylık kampanya	0.004930	0.000104	0.394231	0.004953	0.000106	0.207547
		Dört aylık kampanya	0.004916	0.000155	0.354839	-	-	-
	Kuzey	Sürekli	-0.002314	0.000023		-0.002313	0.000023	
		Aylık kampanya	-0.002393	0.000117	0.675214	-0.002407	0.000120	0.783333
		Dört aylık kampanya	-0.002400	0.000162	0.530864	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	-0.000390	0.000062		-0.000392	0.000063	
		Aylık kampanya	-0.000263	0.000331	-0.383686	-0.000310	0.000338	-0.242604
		Dört aylık kampanya	-0.000538	0.000650	0.227692	-	-	-
NNOR	Doğu	Sürekli	0.037982	0.000009		0.037982	0.000009	
		Aylık kampanya	0.037995	0.000048	-0.270833	0.037994	0.000048	-0.250000
		Dört aylık kampanya	0.038066	0.000102	-0.823529	-	-	-
Kuzey	Sürekli	0.057829	0.000007		0.057829	0.000007		

Çizelge 5. 4 LSE'den tahmin edilen IGS istasyon hızları ve t-testine ilişkin test istatistikleri (Devamı).

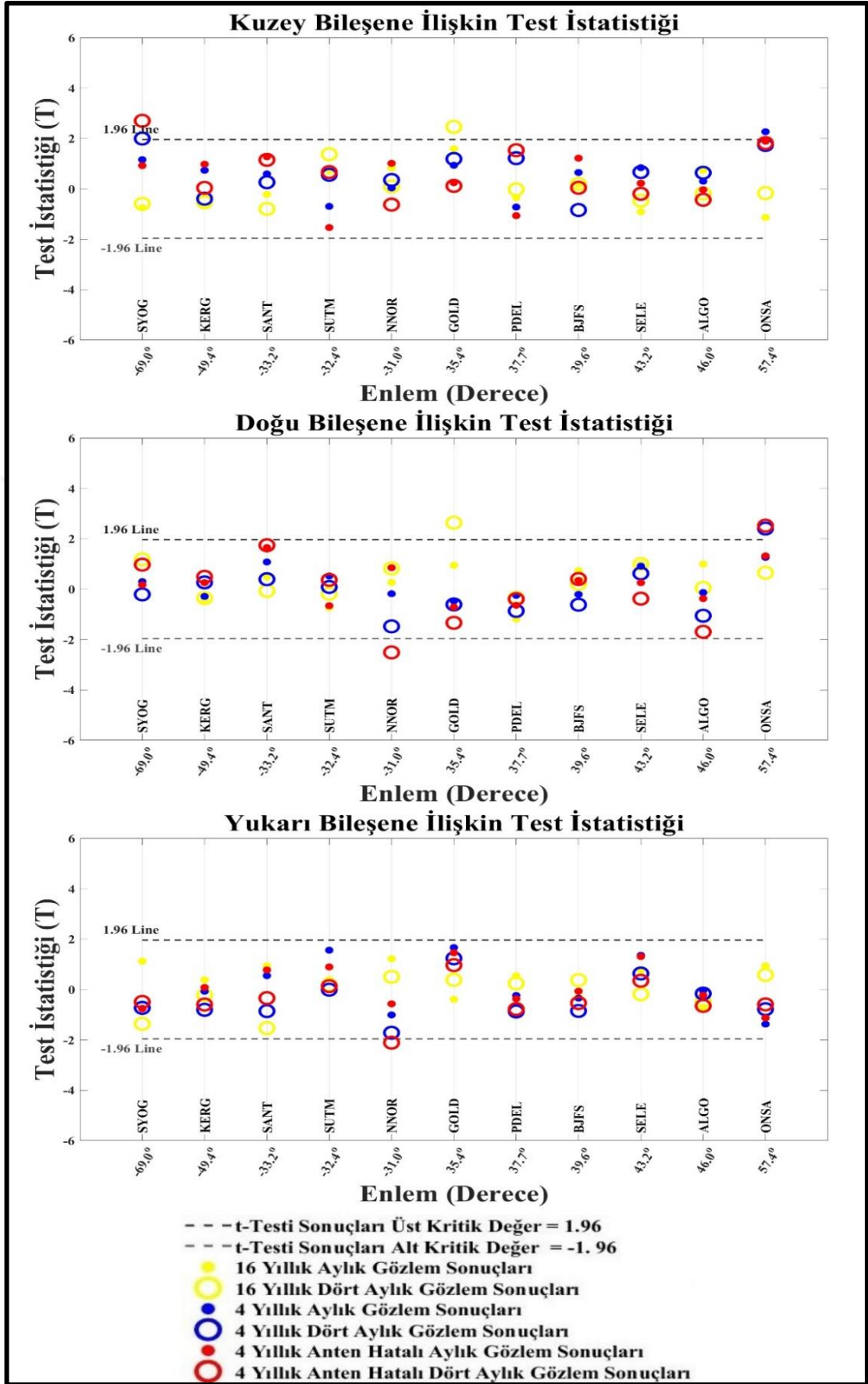
İstasyon	Bileşen	Veri Seti	Yıllık			Yarıyıllık		
			b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği
NNOR	Kuzey	Aylık kampanya	0.057859	0.000036	-0.833333	0.057865	0.000036	-1.000000
		Dört aylık kampanya	0.057835	0.000061	-0.098361	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	-0.002034	0.000027		-0.002041	0.000027	
		Aylık kampanya	-0.001852	0.000149	-1.221477	-0.001840	0.000149	-1.348993
	Doğu	Dört aylık kampanya	-0.001864	0.000338	-0.502959	-	-	-
		Sürekli	0.017059	0.000005		0.017060	0.000005	
ONSA	Kuzey	Aylık kampanya	0.017090	0.000024	-1.291667	0.017090	0.000024	-1.250000
		Dört aylık kampanya	0.017091	0.000049	-0.653061	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	0.014573	0.000004		0.014575	0.000004	
		Aylık kampanya	0.014547	0.000023	1.130435	0.014547	0.000023	1.217391
	Doğu	Dört aylık kampanya	0.014565	0.000048	0.166667	-	-	-
		Sürekli	0.002927	0.000015		0.002932	0.000015	
PDEL	Kuzey	Aylık kampanya	0.003005	0.000083	-0.939759	0.003016	0.000083	-1.012048
		Dört aylık kampanya	0.003025	0.000169	-0.579882	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	0.012417	0.000007		0.012417	0.000007	
		Aylık kampanya	0.012372	0.000038	1.184211	0.012372	0.000038	1.184211
	Doğu	Dört aylık kampanya	0.012393	0.000070	0.342857	-	-	-
		Sürekli	0.016548	0.000011		0.016548	0.000011	
SANT	Kuzey	Aylık kampanya	0.016527	0.000061	0.344262	0.016529	0.000062	0.306452
		Dört aylık kampanya	0.016546	0.000114	0.017544	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	-0.000846	0.000021		-0.000845	0.000021	
		Aylık kampanya	-0.000776	0.000129	-0.542636	-0.000777	0.000130	-0.523077
	Doğu	Dört aylık kampanya	-0.000764	0.000342	-0.239766	-	-	-
		Sürekli	0.021249	0.000015		0.021241	0.000015	
SELE	Kuzey	Aylık kampanya	0.021288	0.000080	-0.487500	0.021280	0.000081	-0.481481
		Dört aylık kampanya	0.021237	0.000183	0.065574	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	0.016738	0.000013		0.016729	0.000013	
		Aylık kampanya	0.016722	0.000073	0.219178	0.016717	0.000073	0.164384
	Doğu	Dört aylık kampanya	0.016592	0.000184	0.793478	-	-	-
		Sürekli	0.002189	0.000039		0.002156	0.000040	
SUTM	Kuzey	Aylık kampanya	0.002412	0.000237	-0.940928	0.002399	0.000240	-1.012500
		Dört aylık kampanya	0.001526	0.000433	1.531178	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	0.028340	0.000008		0.028339	0.000008	
		Aylık kampanya	0.028383	0.000043	-1.000000	0.028380	0.000043	-0.953488
	Doğu	Dört aylık kampanya	0.028414	0.000074	-1.000000	-	-	-
		Sürekli	0.003703	0.000008		0.003711	0.000008	
SUTM	Kuzey	Aylık kampanya	0.003665	0.000042	0.904762	0.003667	0.000041	1.073171
		Dört aylık kampanya	0.003662	0.000088	0.465909	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	0.000437	0.000027		0.000448	0.000027	
		Aylık kampanya	0.000559	0.000158	-0.772152	0.000572	0.000159	-0.779874
	Doğu	Dört aylık kampanya	0.000386	0.000273	0.186813	-	-	-
		Sürekli	0.017129	0.000011		0.017132	0.000011	
Kuzey	Aylık kampanya	0.017082	0.000064	0.734375	0.017081	0.000065	0.784615	
	Dört aylık kampanya	0.017102	0.000151	0.178808	-	-	-	
Kuzey	Sürekli	0.019241	0.000010		0.019240	0.000009		
	Aylık kampanya	0.019280	0.000055	-0.709091	0.019284	0.000056	-0.785714	

Çizelge 5. 4 LSE'den tahmin edilen IGS istasyon hızları ve t-testine ilişkin test istatistikleri (Devamı).

İstasyon	Bileşen	Veri Seti	Yıllık			Yarıyılık		
			b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği
SUTM	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.019431	0.000138	-1.376812	-	-	-
		Sürekli	0.000464	0.000027		0.000455	0.000027	
	Yukarı	Aylık kampanya	0.000526	0.000158	-0.392405	0.000511	0.000159	-0.352201
		Dört aylık kampanya	0.000535	0.000396	-0.179293	-	-	-
SYOG	Doğu	Sürekli	-0.004085	0.000006		-0.004085	0.000006	
		Aylık kampanya	-0.004075	0.000031	-0.322581	-0.004073	0.000031	-0.387097
		Dört aylık kampanya	-0.004014	0.000060	-1.183333	-	-	-
		Sürekli	0.002936	0.000006		0.002937	0.000006	
	Kuzey	Aylık kampanya	0.002909	0.000036	0.750000	0.002905	0.000037	0.864865
		Dört aylık kampanya	0.002894	0.000071	0.591549	-	-	-
	Yukarı	Sürekli	0.000237	0.000020		0.000223	0.000019	
		Aylık kampanya	0.000117	0.000107	1.121495	0.000116	0.000105	1.019048
	Dört aylık kampanya	-0.000074	0.000228	1.364035	-	-	-	

Aylık verilerin analize ilişkin Çizelge 5.4'teki T istatistiklerinin hepsinin  $-1.96 < T < 1.96$  kabul aralığında olduğu görülmüştür. Ayrıca, dört aylık verilerden GOLD istasyonuna ait analiz sonucu kuzey ve doğu bileşenleri için T istatistikleri -2.64 ve -2.46'dır. Dolayısıyla dört aylık verilerden sadece ikisinin kritik bölgede  $T < -1.96$  elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre aylık kampanyaların analizinden elde edilen deformasyon oranlarının, sürekli GPS'deki deformasyon oranlarıyla % 95 güvenle tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Öte yandan, dört aylık kampanyalardan elde edilen deformasyon oranı, sürekli verilerden üretilen deformasyon oranı ile yaklaşık % 94 başarıya ulaştığı görülmüştür. Bu sonuçlar, GPS kampanya ölçümlerinin dört ayda bir dahi yapılsa oldukça başarılı sonuçlar verdiğinin bir göstergesidir.

Anten hatası nedeniyle zaman serisinin normal dağılım göstereceği varsayılmıştır. Bu nedenle Matlab yazılımında RandTool komutuyla, normal dağılımlı 3 mm standart sapma ile beyaz gürültü üretilmiştir. Elde edilen bu değerler, en küçük kareler yaklaşımında hesaba katılmıştır. Bunu değerlendirmenin en iyi yolu, sürekli istasyonların yakınındaki anten kurulumlarını uygulamak olacaktır, ancak bu küresel ölçekte geniş bir ekip çalışması gerektirir.



Şekil 5. 8 11 istasyona ait hız kestirimlerinin test istatistikleri.



Çizelge 5.5'te sürekli gözlemlerden elde edilen hızlardan aylık ve dört aylık kampanya hızlarının çıkarılmasıyla hesaplanan karesel ortalama hata değerleri görülmektedir. Sonuçlara göre, GPS bileşenlerinde yıllık ve yarıyıllık hız tahmin doğruluğu benzerdir. Dört aylık kampanya hızlarının tahmin doğruluğu, aylık kampanya hızlarının doğruluğundan daha düşüktür.

Çizelge 5. 5 11 İstasyona ait hızların karesel ortalama hata değerleri.

	<b>11 İstasyona ait 16 yıllık veri için karesel ortalama hatalar (KOH)</b>			
	<b>Yıllık</b>		<b>Yarıyıllık</b>	
	<b>Aylık kampanyalar</b>	<b>Dört aylık kampanyalar</b>	<b>Aylık kampanyalar</b>	<b>Dört aylık kampanyalar</b>
	mm/yıl	mm/yıl	mm/yıl	mm/yıl
Kuzey	0.040	0.095	0.044	0.089
Doğu	0.038	0.074	0.036	0.075
Yukarı	0.116	0.240	0.118	0.232

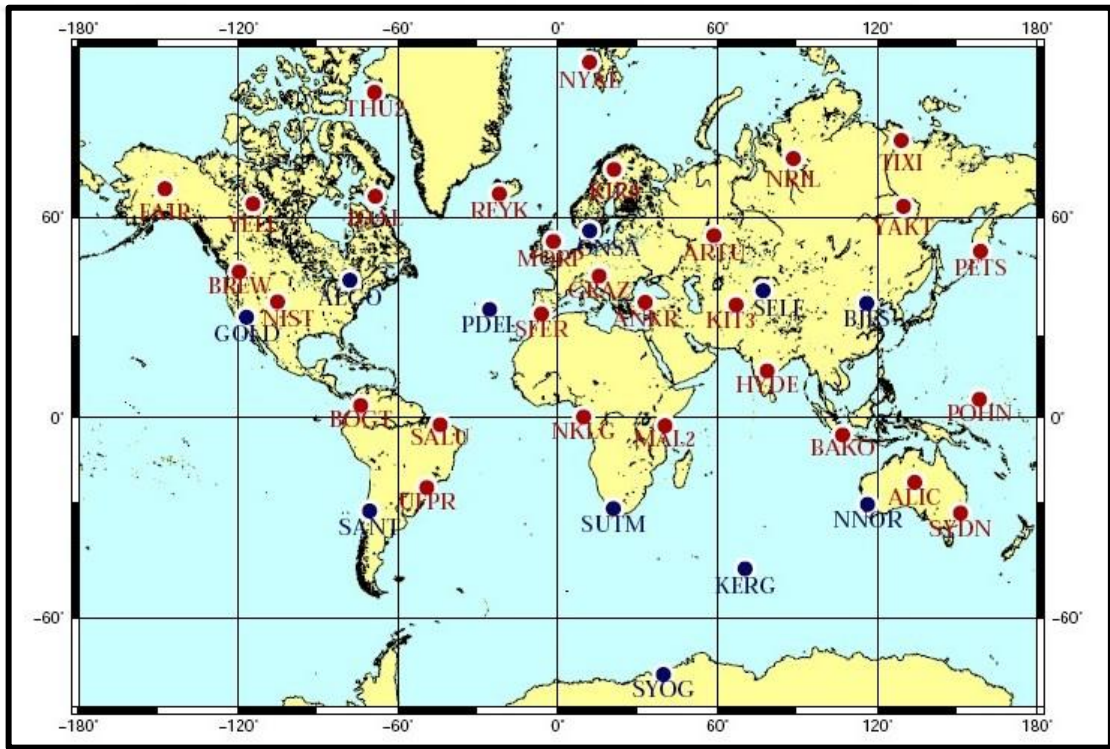
Burada, özellikle Hızlı Fourier Dönüşümü için yukarıda belirtilen kısıtlamalar nedeniyle, noktaların eşit şekilde küresel dağılıma sahip olduğu söylenemez. Örneğin, zaman serilerinde düzenli örnekleme önleyen veri boşlukları nedeniyle ekvator kuşağındaki istasyonlar dahil edilememiştir. Öte yandan, Saracoglu ve Sanli [60], [[61] konumlandırma doğruluğunun yere bağlı olduğunu ve konumlandırma doğruluğunun özellikle ekvator kuşağında bozulduğunu göstermişlerdir. Genliklerin enleme bağımlılığının bir sonucu, tropikal bölgelerdeki noktalarda daha düşük hız oranları beklenmelidir.

İstasyonlar, tektonik olarak aktif olan bölgelerden ve ofsete sahip zaman serilerinden seçilmemiştir. Bunlar ayrıntılı modelleme ve istasyonlara özel bir analiz gerektirir. Modelimiz, tektonik hareket nedeniyle lineer bir eğilim ve yer hareketi nedeniyle yıllık ve yarı yıllık döngüler gibi hemen hemen tüm istasyonlarda ortak olan ana GPS zaman serisi bileşenleri de dahil olmak üzere mümkün olduğu kadar basit kurgulanmıştır. İstenirse ofsetler için Williams [62]'e, zaman serilerindeki geçiş yapıları (transient) için Ji ve Herring [59]'e bakılabilir.

## 5.2 İkinci Bölüm

### 5.2.1 Nokta Araştırması

İkinci bölümde homojen olarak dağıtılmış 11 IGS istasyonuna ek olarak 29 istasyon daha seçilmiş ve toplam nokta ağı 40 istasyona çıkarılmıştır. İlk bölümde elde edilen gerçek periyot değerleri yıllık ve yarıyıllık ezbere bilinen periyot değerlerinden anlamlı derecede farklılık göstermediğinden ve kampanya ölçümlerinin daha kısa zamanlarda tamamlanması daha pratik olacağından zaman periyodu 16 yıldan 4 yıla indirilmiştir. Genişletilen nokta ağında bu hususlar dikkate alınarak ön çalışma yapılmış ve yeni noktalar eklenmiştir. Şekil 5.7'de kırmızı renkli noktalar ağa dahil edilmiştir.



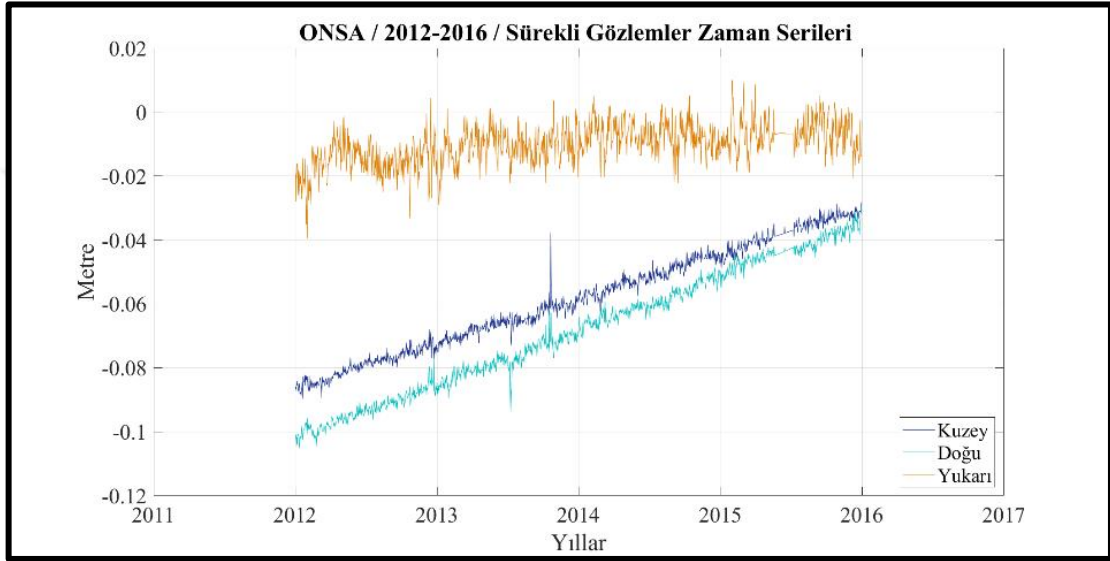
Şekil 5. 9 Uygulamanın ikinci bölümü için seçilen 40 adet istasyon.

### 5.2.2 GPS Verilerinin Bilimsel Yazılımda Değerlendirilmesi

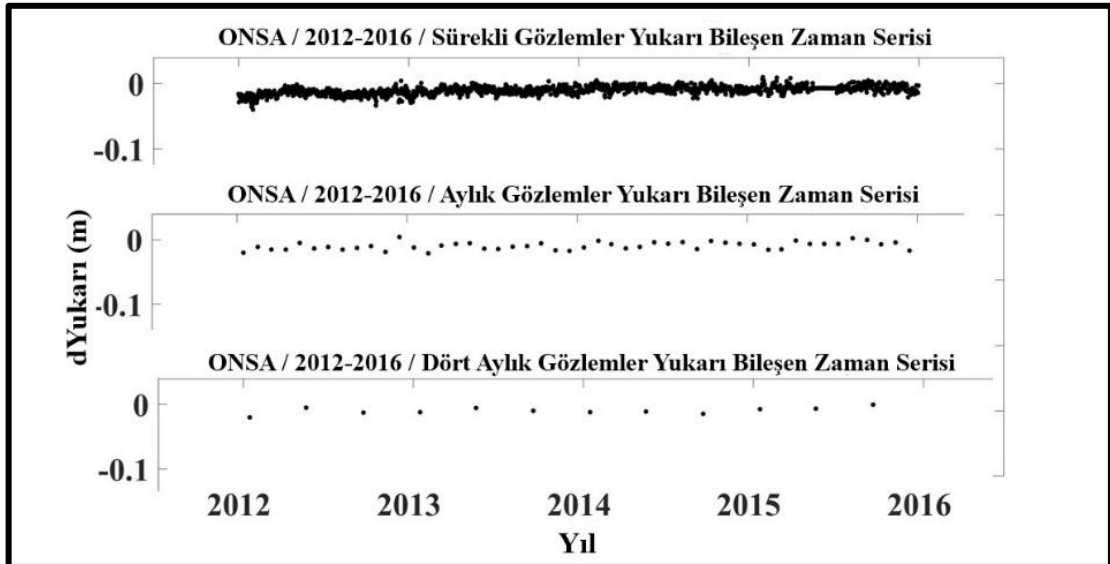
Bu bölümde de GIPSY-OASIS II yazılımını kullanan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) - JPL resmi web sitesinden yararlanılmıştır. Her IGS istasyonu için kuzey, doğu ve yukarı (n, e, u) lokal toposentrik koordinatlar ve beraberindeki standart sapmalarla ilgili konum zaman serileri indirilmiştir.

### 5.2.3 Zaman Serilerinin Elde Edilmesi

Bu bölüm için 2012-2016 yılları arasında istasyonlara ait zaman serilerinin (n,e,u) bileşenlerine ait grafikleri çizdirilmiştir (Şekil 5.8) (ayr. bkz. EK-1). Bir önceki bölümde Fourier analizi sonuçlarından elde edilen döngülerin, yıllık  $12/12=1$ 'e ve yarıyillik  $6/12=0.5$ 'e çok yakın çıkması ve en küçük kareler yaklaşımında hız kestirimlerini büyük oranda değiştirmemesinden dolayı, bu bölümde Fourier analizi yapılmamıştır. Bu nedenle de veri boşluklarının doldurulmasına gerek duyulmamıştır.



Şekil 5. 10 ONSA istasyonuna ait 4 yıllık (n, e, u) bileşenlerine ait zaman serileri.



Şekil 5. 11 ONSA istasyonu 4 yıllık (Yukarı) günlük, aylık ve dört aylık kampanya zaman serileri.

Yine gerçekte ayın belirli bir günü araziye çıkıldığı varsayılarak, her ayın 15'inci günü seçilerek aylık kampanya ölçüleri bu sefer 4 yıllık zaman serilerinden elde edilmiştir. Ayrıca yılın ilk ayından itibaren, aylık verilerden 1'inci, 5'inci ve 9'uncu aylarında veriler seçilerek dört ayda bir zaman serileri elde edilmiştir (Şekil 5.10) (ayr. bkz. EK-1).

#### 5.2.4 En Küçük Karelerle Hız Kestirimi ve Test Sonuçları

İlk bölümde elde edilen gerçek periyot değerleri yıllık ve yarıyıllık bilinen periyot değerlerinden anlamlı derecede farklılık göstermediğinden bu bölümde periyotlar yıllık analiz için 12 alınmıştır. Yarıyıllık analizler ise dört aylıklarda kaybolduğundan yapılmamıştır. Zaman periyodu 16 yıldan 4 yıla indirilmiştir. Blewitt ve Lavalley [17] ve Wang *vd.* [63] daha önceden 4 yıllık sürekli zaman serileri ile tatminkâr düzeyde bir hız kestirimi yapılabileceğini öne sürmüşlerdir.

Bu tezde ise bunun kampanya ölçümleri ile başarılıp, başarılamayacağı araştırılmıştır. Buradan hareketle nokta ağı genişletilmiş ayrıca her nokta için günlük, aylık ve dört aylık çözümlere ek olarak normal dağılım yoluyla anten hataları eklenmiştir. Kampanya GPS ölçümleri, genellikle istasyonlarda GPS antenini bir alet sehpa üzerine monte ederek toplanır. Bu, olası yanlış merkezleme ve anten yüksekliğinin yanlış ölçümü nedeniyle bir hataya neden olabilir. Hata üretiminin büyüklüğünde, anten kurulum hatalarını değerlendiren Dixon [64] ve Gili *vd.* [65]'e göre, üçayaklı sehpa üzerine optik çeküller kullanılarak, GPS antenlerinin kurulumundan 1-3 mm arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir.

Bu nedenle Matlab yazılımında RandTool komutuyla, normal dağılımlı 3 mm standart sapma ile beyaz gürültü üretilmiştir. Elde edilen bu değerler, en küçük kareler yaklaşımında hesaba katılmıştır. Aslında bunu değerlendirmenin en iyi yolu, sürekli istasyonların 5-10 m yakınındaki anten kurulumlarını uygulamak olacaktır; ancak bu, çalışma için dünya çapında elde edilemeyeceğinden simülasyon yöntemine başvurulmuştur. Sonuçlar üzerinde, ilk bölümde açıklanan test yöntemi uygulanarak Çizelge 5.6'te sunulmuştur.

Çizelge 5. 6 LSE'den tahmin edilen IGS istasyonlarının anten hatasız ve hatalı hızları ile t-testine ilişkin test istatistikleri.

İstasyon	Bileşen	Veri Seti	Yıllık			Yıllık (Anten hatalı)			
			b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	
ALGO 2012-2016	Doğu	Sürekli	-0.015594	0.000069		-0.015594	0.000069		
		Aylık kampanya	-0.015665	0.000535	0.132710	-0.015811	0.000583	0.372213	
		Dört aylık kampanya	-0.016240	0.000613	1.053834	-0.016704	0.000656	1.692073	
	Kuzey	Sürekli	0.001807	0.000062		0.001807	0.000062		
		Aylık kampanya	0.001939	0.000433	-0.304850	0.001792	0.000474	0.031646	
		Dört aylık kampanya	0.002017	0.000328	-0.640244	0.001552	0.000591	0.431472	
	Yukarı	Sürekli	0.002690	0.000131		0.002690	0.000131		
		Aylık kampanya	0.002654	0.000771	0.046693	0.002508	0.000795	0.228931	
		Dört aylık kampanya	0.002511	0.001091	0.164070	0.002047	0.000987	0.651469	
	BJFS 2012-2016	Doğu	Sürekli	0.029763	0.000056		0.029763	0.000056	
			Aylık kampanya	0.029704	0.000284	0.207746	0.029887	0.000356	-0.348315
			Dört aylık kampanya	0.029512	0.000407	0.616708	0.029998	0.000582	-0.403780
Kuzey		Sürekli	-0.010977	0.000046		-0.010977	0.000046		
		Aylık kampanya	-0.010828	0.000229	-0.650655	-0.010644	0.000273	-1.219780	
		Dört aylık kampanya	-0.011434	0.000545	0.838532	-0.010948	0.000638	-0.045455	
Yukarı		Sürekli	0.001799	0.000118		0.001799	0.000118		
		Aylık kampanya	0.001568	0.000670	0.344776	0.001752	0.000693	0.067821	
		Dört aylık kampanya	0.000271	0.001797	0.850306	0.000757	0.001936	0.538223	
GOLD 2012-2016		Doğu	Sürekli	-0.016704	0.000053		-0.016704	0.000053	
			Aylık kampanya	-0.016872	0.000353	0.475921	-0.017014	0.000436	0.711009
			Dört aylık kampanya	-0.017088	0.000634	0.605678	-0.017563	0.000644	1.333851
	Kuzey	Sürekli	-0.003480	0.000052		-0.003480	0.000052		
		Aylık kampanya	-0.003269	0.000225	-0.937778	-0.003411	0.000281	-0.245552	
		Dört aylık kampanya	-0.002908	0.000481	-1.189189	-0.003383	0.000812	-0.119458	
	Yukarı	Sürekli	0.001336	0.000123		0.001336	0.000123		
		Aylık kampanya	0.002770	0.000862	-1.663573	0.002628	0.000886	-1.458239	
		Dört aylık kampanya	0.003801	0.001993	-1.236829	0.003326	0.002058	-0.966958	
	KERG 2004-2008	Doğu	Sürekli	0.005045	0.000051		0.005045	0.000051	
			Aylık kampanya	0.004964	0.000281	0.288256	0.005133	0.000343	-0.256560
			Dört aylık kampanya	0.005177	0.000488	-0.270492	0.005414	0.000752	-0.490691
Kuzey		Sürekli	-0.002735	0.000069		-0.002735	0.000069		
		Aylık kampanya	-0.002450	0.000386	-0.738342	-0.002281	0.000463	-0.980562	
		Dört aylık kampanya	-0.002941	0.000528	0.390152	-0.002704	0.000767	-0.040417	
Yukarı		Sürekli	0.001887	0.000188		0.001887	0.000188		
		Aylık kampanya	0.001810	0.001064	0.072368	0.001978	0.001105	-0.082353	
		Dört aylık kampanya	0.001017	0.001079	0.806302	0.001254	0.001061	0.596607	
NNOR 2012-2016		Doğu	Sürekli	0.037197	0.000053		0.037197	0.000053	
			Aylık kampanya	0.037145	0.000288	0.180556	0.037473	0.000324	-0.851852
			Dört aylık kampanya	0.036291	0.000614	1.475570	0.035779	0.000565	<b>2.509735</b>
	Kuzey	Sürekli	0.057575	0.000050		0.057575	0.000050		
		Aylık kampanya	0.057585	0.000263	-0.038023	0.057912	0.000332	-1.015060	
		Dört aylık kampanya	0.057746	0.000483	-0.354037	0.057233	0.000549	0.622951	
	Yukarı	Sürekli	-0.003832	0.000145		-0.003832	0.000145		
		Aylık kampanya	-0.004594	0.000755	1.009272	-0.004267	0.000763	0.570118	
		Dört aylık kampanya	-0.007130	0.001920	1.717708	-0.007642	0.001805	<b>2.110803</b>	
	ONSA 2012-2016	Doğu	Sürekli	0.016953	0.000042		0.016953	0.000042	
			Aylık kampanya	0.017232	0.000221	-1.262443	0.017351	0.000301	-1.322259
			Dört aylık kampanya	0.017856	0.000375	<b>-2.408000</b>	0.018024	0.000425	<b>-2.520000</b>

Çizelge 5. 6 LSE'den tahmin edilen IGS istasyonlarının anten hatasız ve hatalı hızları ile t-testine ilişkin test istatistikleri (Devamı).

İstasyon	Bileşen	Veri Seti	Yıllık			Yıllık (Anten hatalı)		
			b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği
ONSA 2012-2016	Kuzey	Sürekli	0.014077	0.000039		0.014077	0.000039	
		Aylık kampanya	0.014556	0.000211	<b>-2.270142</b>	0.014676	0.000317	-1.889590
		Dört aylık kampanya	0.014687	0.000350	-1.742857	0.014855	0.000428	-1.817757
	Yukarı	Sürekli	0.002946	0.000119		0.002946	0.000119	
		Aylık kampanya	0.001993	0.000693	1.375180	0.002112	0.000738	1.130081
		Dört aylık kampanya	0.002027	0.001175	0.782128	0.002195	0.001269	0.591805
PDEL 2012-2016	Doğu	Sürekli	0.011623	0.000053		0.011623	0.000053	
		Aylık kampanya	0.011560	0.000256	0.246094	0.011425	0.000311	0.636656
		Dört aylık kampanya	0.011079	0.000631	0.862124	0.011308	0.000801	0.393258
	Kuzey	Sürekli	0.014864	0.000067		0.014864	0.000067	
		Aylık kampanya	0.014576	0.000399	0.721805	0.014441	0.000398	1.062814
		Dört aylık kampanya	0.015769	0.000742	-1.219677	0.015997	0.000738	-1.535230
SANT 2006-2010	Yukarı	Sürekli	-0.001570	0.000154		-0.001570	0.000154	
		Aylık kampanya	-0.001777	0.000870	0.237931	-0.001912	0.000932	0.366953
		Dört aylık kampanya	-0.003793	0.002550	0.871765	-0.003565	0.002563	0.778385
	Doğu	Sürekli	0.020754	0.000037		0.020754	0.000037	
		Aylık kampanya	0.020944	0.000176	-1.079545	0.021172	0.000253	-1.652174
		Dört aylık kampanya	0.020928	0.000440	-0.395455	0.021659	0.000519	-1.743738
Kuzey	Sürekli	0.016935	0.000040		0.016935	0.000040		
	Aylık kampanya	0.017093	0.000266	-0.593985	0.017320	0.000302	-1.274834	
	Dört aylık kampanya	0.017088	0.000578	-0.264706	0.017820	0.000768	-1.152344	
SELE 2009-2013	Yukarı	Sürekli	0.001098	0.000132		0.001098	0.000132	
		Aylık kampanya	0.001556	0.000835	-0.548503	0.001783	0.000884	-0.774887
		Dört aylık kampanya	-0.000180	0.001490	0.857718	0.000552	0.001594	0.342535
	Doğu	Sürekli	0.028454	0.000042		0.028454	0.000042	
		Aylık kampanya	0.028657	0.000222	-0.914414	0.028542	0.000343	-0.256560
		Dört aylık kampanya	0.028792	0.000541	-0.624769	0.028241	0.000567	0.375661
Kuzey	Sürekli	0.003483	0.000054		0.003483	0.000054		
	Aylık kampanya	0.003679	0.000233	-0.841202	0.003564	0.000359	-0.225627	
	Dört aylık kampanya	0.003926	0.000662	-0.669184	0.003375	0.000558	0.193548	
SUTM 2009-2013	Yukarı	Sürekli	0.000128	0.000172		0.000128	0.000172	
		Aylık kampanya	0.001570	0.001064	-1.355263	0.001455	0.001017	-1.304818
		Dört aylık kampanya	0.001196	0.001683	-0.634581	0.000644	0.001493	-0.345613
	Doğu	Sürekli	0.016824	0.000041		0.016824	0.000041	
		Aylık kampanya	0.016968	0.000275	-0.523636	0.016626	0.000302	0.655629
		Dört aylık kampanya	0.016857	0.000371	-0.088949	0.017082	0.000698	-0.369628
Kuzey	Sürekli	0.019220	0.000038		0.019220	0.000038		
	Aylık kampanya	0.019045	0.000252	0.694444	0.018703	0.000337	1.534125	
	Dört aylık kampanya	0.019644	0.000754	-0.562334	0.019869	0.000972	-0.667695	
SYOG 2012-2016	Yukarı	Sürekli	-0.000374	0.000109		-0.000374	0.000109	
		Aylık kampanya	0.000591	0.000619	-1.558966	0.000248	0.000695	-0.894964
		Dört aylık kampanya	-0.000386	0.001588	0.007557	-0.000161	0.001591	-0.133878
	Doğu	Sürekli	-0.004242	0.000048		-0.004242	0.000048	
		Aylık kampanya	-0.004178	0.000214	-0.299065	-0.004192	0.000289	-0.173010
		Dört aylık kampanya	-0.004324	0.000396	0.207071	-0.003791	0.000463	-0.974082
Kuzey	Sürekli	0.002826	0.000055		0.002826	0.000055		
	Aylık kampanya	0.003194	0.000317	-1.160883	0.003180	0.000383	-0.924282	

Çizelge 5. 6 LSE'den tahmin edilen IGS istasyonlarının anten hatasız ve hatalı hızları ile t-testine ilişkin test istatistikleri (Devamı).

İstasyon	Bileşen	Veri Seti	Yıllık			Yıllık (Anten hatalı)			
			b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	
SYOG 2012-2016	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.003669	0.000422	<b>-1.997630</b>	0.004202	0.000509	<b>-2.703340</b>	
		Sürekli	0.003279	0.000124		0.003279	0.000124		
	Yukarı	Aylık kampanya	0.002683	0.000796	0.748744	0.002669	0.000795	0.767296	
		Dört aylık kampanya	0.001571	0.002343	0.728980	0.002105	0.002384	0.492450	
TIXI 2012-2016	Doğu	Sürekli	0.017264	0.000043		0.017264	0.000043		
		Aylık kampanya	0.017433	0.000193	-0.875648	0.017345	0.000262	-0.309160	
	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.017831	0.000327	-1.733945	0.017111	0.000547	0.279707	
		Sürekli	-0.011574	0.000049		-0.011574	0.000049		
	Yukarı	Aylık kampanya	-0.011607	0.000246	0.134146	-0.011695	0.000305	0.396721	
		Dört aylık kampanya	-0.011883	0.000464	0.665948	-0.012604	0.000741	1.390013	
	NKLK 2012-2016	Doğu	Sürekli	-0.000081	0.000169		-0.000081	0.000169	
			Aylık kampanya	-0.001110	0.001017	1.011799	-0.001198	0.001024	1.090820
Kuzey		Dört aylık kampanya	-0.001615	0.002786	0.550610	-0.002335	0.002670	0.844195	
		Sürekli	0.022474	0.000036		0.022474	0.000036		
YAKT 2014-2018	Doğu	Aylık kampanya	0.022812	0.000200	-1.690000	0.022431	0.000250	0.172000	
		Dört aylık kampanya	0.023131	0.000446	-1.473094	0.022576	0.000643	-0.158631	
	Kuzey	Sürekli	0.019421	0.000034		0.019421	0.000034		
		Aylık kampanya	0.019468	0.000170	-0.276471	0.019087	0.000278	1.201439	
NRIL 2012-2016	Doğu	Dört aylık kampanya	0.019315	0.000162	0.654321	0.018760	0.000477	1.385744	
		Sürekli	-0.001111	0.000120		-0.001111	0.000120		
	Yukarı	Aylık kampanya	-0.000833	0.000691	-0.402315	-0.001214	0.000761	0.135348	
		Dört aylık kampanya	-0.001609	0.001197	0.416040	-0.002164	0.001265	0.832411	
	YAKT 2014-2018	Doğu	Sürekli	0.019468	0.000120		0.019468	0.000120	
			Aylık kampanya	0.019328	0.000665	0.210526	0.019288	0.000670	0.268657
		Kuzey	Dört aylık kampanya	0.019267	0.000571	0.352014	0.019459	0.000638	0.014107
			Sürekli	-0.011529	0.000098		-0.011529	0.000098	
NYAL 2012-2016	Doğu	Aylık kampanya	-0.011259	0.000637	-0.423862	-0.011299	0.000711	-0.323488	
		Dört aylık kampanya	-0.011678	0.000969	0.153767	-0.011485	0.001201	-0.036636	
	Kuzey	Sürekli	0.000174	0.000270		0.000174	0.000270		
		Aylık kampanya	-0.000079	0.001594	0.158720	-0.000119	0.001569	0.186743	
NYAL 2012-2016	Doğu	Dört aylık kampanya	0.000658	0.001458	-0.331962	0.000851	0.001645	-0.411550	
		Sürekli	0.022258	0.000028		0.022258	0.000028		
	Kuzey	Aylık kampanya	0.022129	0.000174	0.741379	0.021867	0.000255	1.533333	
		Dört aylık kampanya	0.022222	0.000346	0.104046	0.023289	0.000715	-1.441958	
	NYAL 2012-2016	Doğu	Sürekli	-0.002051	0.000036		-0.002051	0.000036	
			Aylık kampanya	-0.002501	0.000210	<b>2.142857</b>	-0.002763	0.000300	<b>2.373333</b>
		Kuzey	Dört aylık kampanya	-0.002081	0.000481	0.062370	-0.001014	0.000720	-1.440278
			Sürekli	0.001279	0.000139		0.001279	0.000139	
NYAL 2012-2016	Doğu	Aylık kampanya	0.000599	0.000769	0.884265	0.000337	0.000787	<b>1.196950</b>	
		Dört aylık kampanya	0.000507	0.002041	0.378246	0.001574	0.002227	-0.132465	
	Kuzey	Sürekli	0.009814	0.000028		0.009814	0.000028		
		Aylık kampanya	0.009989	0.000226	-0.774336	0.009871	0.000293	-0.194539	
NYAL 2012-2016	Doğu	Dört aylık kampanya	0.009910	0.000536	-0.179104	0.010169	0.000960	-0.369792	
		Sürekli	0.014770	0.000032		0.014770	0.000032		
	Kuzey	Aylık kampanya	0.014744	0.000209	0.124402	0.014626	0.000260	0.553846	
		Dört aylık kampanya	0.014435	0.000570	0.587719	0.014694	0.000969	0.078431	
NYAL 2012-2016	Yukarı	Sürekli	0.007929	0.000137		0.007929	0.000137		
		Aylık kampanya	0.007679	0.001033	0.242014	0.007560	0.001089	0.338843	

Çizelge 5. 6 LSE'den tahmin edilen IGS istasyonlarının anten hatasız ve hatalı hızları ile t-testine ilişkin test istatistikleri (Devamı).

İstasyon	Bileşen	Veri Seti	Yıllık			Yıllık (Anten hatalı)		
			b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği
NYAL 2012-2016	Yukarı	Dört aylık kampanya	0.009184	0.003054	-0.410936	0.009443	0.002903	-0.521529
		Sürekli	0.026331	0.000066		0.026331	0.000066	
	Doğu	Aylık kampanya	0.026404	0.000169	-0.431953	0.026456	0.000230	-0.543478
		Dört aylık kampanya	0.026459	0.000383	-0.334204	0.025748	0.000646	0.902477
MAL2 2014-2018	Kuzey	Sürekli	0.016091	0.000034		0.016091	0.000034	
		Aylık kampanya	0.016101	0.000150	-0.066667	0.016153	0.000225	-0.275556
		Dört aylık kampanya	0.016046	0.000335	0.134328	0.015335	0.000712	1.061798
	Yukarı	Sürekli	0.000198	0.000138		0.000198	0.000138	
		Aylık kampanya	0.000796	0.000555	-1.077477	0.000848	0.000586	-1.109215
		Dört aylık kampanya	0.001224	0.001065	-0.963380	0.000514	0.001156	-0.273356
	Doğu	Sürekli	-0.016942	0.000047		-0.016942	0.000047	
		Aylık kampanya	-0.017090	0.000232	0.637931	-0.016919	0.000325	-0.070769
Dört aylık kampanya		-0.017513	0.000453	1.260486	-0.017538	0.000402	1.482587	
Sürekli		-0.010857	0.000056		-0.010857	0.000056		
YELL 2006-2010	Kuzey	Aylık kampanya	-0.011043	0.000333	0.558559	-0.010872	0.000399	0.037594
		Dört aylık kampanya	-0.010877	0.000470	0.042553	-0.010902	0.000827	0.054414
	Yukarı	Sürekli	0.005879	0.000153		0.005879	0.000153	
		Aylık kampanya	0.006603	0.000885	-0.818079	0.006773	0.000891	-1.003367
BAKO 2010-2014	Doğu	Dört aylık kampanya	0.008102	0.001583	-1.404296	0.008076	0.001724	-1.274362
		Sürekli	0.023779	0.000052		0.023779	0.000052	
		Aylık kampanya	0.023806	0.000332	-0.081325	0.023586	0.000386	0.500000
	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.024320	0.000673	-0.803863	0.024200	0.000763	-0.551769
		Sürekli	-0.005918	0.000042		-0.005918	0.000042	
		Aylık kampanya	-0.006102	0.000217	0.847926	-0.006322	0.000303	1.333333
	Yukarı	Dört aylık kampanya	-0.006470	0.000467	1.182013	-0.006590	0.000426	1.577465
		Sürekli	-0.001537	0.000129		-0.001537	0.000129	
Aylık kampanya		-0.002212	0.000739	0.913396	-0.002431	0.000771	1.159533	
Dört aylık kampanya		-0.003959	0.001348	1.796736	-0.004079	0.001454	1.748281	
ALIC 2006-2010	Doğu	Sürekli	0.032118	0.000029		0.032118	0.000029	
		Aylık kampanya	0.032085	0.000138	0.239130	0.031972	0.000221	0.660633
		Dört aylık kampanya	0.031996	0.000232	0.525862	0.032215	0.000552	-0.175725
	Kuzey	Sürekli	0.059279	0.000030		0.059279	0.000030	
		Aylık kampanya	0.059584	0.000148	<b>-2.060811</b>	0.059471	0.000261	-0.735632
		Dört aylık kampanya	0.059408	0.000266	-0.484962	0.059627	0.000423	-0.822695
		Sürekli	0.000911	0.000098		0.000911	0.000098	
	Yukarı	Aylık kampanya	0.001354	0.000539	-0.821892	0.001241	0.000596	-0.553691
Dört aylık kampanya		0.002666	0.001130	-1.553097	0.002884	0.001124	-1.755338	
Sürekli		0.018287	0.000031		0.018287	0.000031		
Aylık kampanya		0.018427	0.000162	-0.864198	0.018611	0.000238	-1.361345	
SYDN 2012-2016	Doğu	Dört aylık kampanya	0.017908	0.000354	1.070621	0.017801	0.000583	0.833619
		Sürekli	0.054324	0.000032		0.054324	0.000032	
		Aylık kampanya	0.054587	0.000154	-1.707792	0.054771	0.000217	<b>-2.059908</b>
	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.054733	0.000354	-1.155367	0.054626	0.000637	-0.474097
		Sürekli	-0.001068	0.000112		-0.001068	0.000112	
		Aylık kampanya	-0.000619	0.000609	-0.737274	-0.000435	0.000647	-0.978362
		Dört aylık kampanya	0.000961	0.000599	-3.387312	0.000855	0.000760	<b>-2.530263</b>
	GRAZ 2012-2016	Doğu	Sürekli	0.022063	0.000030		0.022063	0.000030
Aylık kampanya			0.022199	0.000187	-0.727273	0.021991	0.000277	0.259928



Çizelge 5. 6 LSE'den tahmin edilen IGS istasyonlarının anten hatasız ve hatalı hızları ile t-testine ilişkin test istatistikleri (Devamı).

İstasyon	Bileşen	Veri Seti	Yıllık			Yıllık (Anten hatalı)		
			b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği
GRAZ 2012-2016	Doğu	Dört aylık kampanya	0.022471	0.000309	-1.320388	0.022444	0.000339	-1.123894
		Sürekli	0.015733	0.000030		0.015733	0.000030	
	Kuzey	Aylık kampanya	0.015781	0.000172	-0.279070	0.015572	0.000298	0.540268
		Dört aylık kampanya	0.015767	0.000415	-0.081928	0.015740	0.000426	-0.016432
	Yukarı	Aylık kampanya	-0.001214	0.000698	-0.581662	-0.001422	0.000717	-0.276151
		Dört aylık kampanya	-0.000767	0.001826	-0.467141	-0.000794	0.001773	-0.465877
ARTU 2006-2010	Doğu	Sürekli	0.025361	0.000026		0.025361	0.000026	
		Aylık kampanya	0.025511	0.000133	-1.127820	0.025779	0.000144	<b>-2.902778</b>
	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.025576	0.000206	-1.043689	0.024849	0.000429	1.193473
		Sürekli	0.006455	0.000031		0.006455	0.000031	
	Yukarı	Aylık kampanya	0.006352	0.000168	0.613095	0.006619	0.000250	-0.656000
		Dört aylık kampanya	0.006070	0.000310	1.241935	0.005343	0.000341	<b>3.260997</b>
POHN 2004-2008	Doğu	Sürekli	-0.000179	0.000127		-0.000179	0.000127	
		Aylık kampanya	-0.000383	0.000572	0.356643	-0.000116	0.000578	-0.108997
	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.000326	0.001210	-0.417355	-0.000401	0.001188	0.186869
		Sürekli	-0.069738	0.000057		-0.069738	0.000057	
	Yukarı	Aylık kampanya	-0.070152	0.000314	1.318471	-0.070444	0.000373	1.892761
		Dört aylık kampanya	-0.070961	0.000551	<b>2.219601</b>	-0.071234	0.000725	<b>2.063448</b>
SFER 2008-2012	Doğu	Sürekli	0.026258	0.000061		0.026258	0.000061	
		Aylık kampanya	0.026271	0.000301	-0.043189	0.025978	0.000400	0.700000
	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.026840	0.000898	-0.648107	0.026566	0.001152	-0.267361
		Sürekli	-0.001899	0.000196		-0.001899	0.000196	
	Yukarı	Aylık kampanya	-0.002151	0.001216	0.207237	-0.002444	0.001239	0.439871
		Dört aylık kampanya	-0.004000	0.003185	0.659655	-0.004274	0.002960	0.802365
BOGT 2008-2012	Doğu	Sürekli	0.016610	0.000032		0.016610	0.000032	
		Aylık kampanya	0.016675	0.000207	-0.314010	0.016158	0.000278	1.625899
	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.016928	0.000337	-0.943620	0.017426	0.000408	<b>-2.000000</b>
		Sürekli	0.017168	0.000031		0.017168	0.000031	
	Yukarı	Aylık kampanya	0.017235	0.000101	-0.663366	0.016718	0.000190	<b>2.368421</b>
		Dört aylık kampanya	0.017320	0.000261	-0.582375	0.017818	0.000516	-1.259690
UFPR 2012-2016	Doğu	Sürekli	-0.000662	0.000090		-0.000662	0.000090	
		Aylık kampanya	0.000105	0.000455	-1.685714	-0.000412	0.000494	-0.506073
	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.000918	0.001058	-1.493384	0.001416	0.001173	-1.771526
		Sürekli	0.000189	0.000040		0.000189	0.000040	
	Yukarı	Aylık kampanya	0.000072	0.000212	0.551887	0.000145	0.000238	0.184874
		Dört aylık kampanya	0.000011	0.000502	0.354582	0.000571	0.000565	-0.676106
UFPR 2012-2016	Doğu	Sürekli	0.014224	0.000049		0.014224	0.000049	
		Aylık kampanya	0.014245	0.000269	-0.078067	0.014317	0.000320	-0.290625
	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.014814	0.000652	-0.904908	0.015373	0.000842	-1.364608
		Sürekli	-0.042018	0.000138		-0.042018	0.000138	
	Yukarı	Aylık kampanya	-0.042196	0.000646	0.275542	-0.042123	0.000648	0.162037
		Dört aylık kampanya	-0.043559	0.001367	1.127286	-0.043000	0.001497	0.655979
UFPR 2012-2016	Doğu	Sürekli	-0.003547	0.000034		-0.003547	0.000034	
		Aylık kampanya	-0.003678	0.000184	0.711957	-0.003690	0.000237	0.603376
	Kuzey	Dört aylık kampanya	-0.003762	0.000341	0.630499	-0.003386	0.000536	-0.300373
		Sürekli	0.012921	0.000035		0.012921	0.000035	
	Yukarı	Aylık kampanya	0.012970	0.000170	-0.288235	0.012958	0.000224	-0.165179
		Sürekli						

Çizelge 5. 6 LSE'den tahmin edilen IGS istasyonlarının anten hatasız ve hatalı hızları ile t-testine ilişkin test istatistikleri (Devamı).

İstasyon	Bileşen	Veri Seti	Yıllık			Yıllık (Anten hatalı)			
			b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	
UFPR 2012-2016	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.013565	0.000347	-1.855908	0.013940	0.000595	-1.712605	
		Sürekli	0.000302	0.000108		0.000302	0.000108		
	Yukarı	Aylık kampanya	0.001954	0.000528	<b>-3.128788</b>	0.001942	0.000547	<b>-2.998172</b>	
		Dört aylık kampanya	0.001174	0.000961	-0.907388	0.001550	0.000891	-1.400673	
NIST 2014-2018	Doğu	Sürekli	-0.015219	0.000043		-0.015219	0.000043		
		Aylık kampanya	-0.015299	0.000234	0.341880	-0.015567	0.000296	1.175676	
	Kuzey	Dört aylık kampanya	-0.015402	0.000279	0.655914	-0.015753	0.000584	0.914384	
		Sürekli	-0.006109	0.000039		-0.006109	0.000039		
	Yukarı	Aylık kampanya	-0.006158	0.000179	0.273743	-0.006427	0.000282	1.127660	
		Dört aylık kampanya	-0.005964	0.000411	-0.352798	-0.006316	0.000530	0.390566	
	MORP 2012-2016	Doğu	Sürekli	-0.002131	0.000125		-0.002131	0.000125	
			Aylık kampanya	-0.001498	0.000727	-0.870702	-0.001767	0.000771	-0.472114
Kuzey		Dört aylık kampanya	0.000890	0.001189	<b>-2.540791</b>	0.000539	0.001285	<b>-2.077821</b>	
		Sürekli	0.015175	0.000044		0.015175	0.000044		
HYDE 2008-2012	Doğu	Aylık kampanya	0.015397	0.000208	-1.067308	0.015084	0.000262	0.347328	
		Dört aylık kampanya	0.015157	0.000432	0.041667	0.015226	0.000874	-0.058352	
	Kuzey	Sürekli	0.016737	0.000047		0.016737	0.000047		
		Aylık kampanya	0.016923	0.000235	-0.791489	0.016610	0.000331	0.383686	
KIRO 2012-2016	Doğu	Dört aylık kampanya	0.016434	0.000584	0.518836	0.016504	0.000559	0.416816	
		Sürekli	0.000536	0.000146		0.000536	0.000146		
	Yukarı	Aylık kampanya	0.001186	0.000614	-1.058632	0.000873	0.000642	-0.524922	
		Dört aylık kampanya	0.003009	0.001367	-1.809071	0.003078	0.001406	-1.807966	
BREW 2008-2012	Doğu	Sürekli	0.040460	0.000039		0.040460	0.000039		
		Aylık kampanya	0.040549	0.000176	-0.505682	0.040312	0.000238	0.621849	
	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.040418	0.000234	0.179487	0.041006	0.000420	-1.300000	
		Sürekli	0.035176	0.000033		0.035176	0.000033		
KIRO 2012-2016	Doğu	Aylık kampanya	0.035287	0.000198	-0.560606	0.035051	0.000273	0.457875	
		Dört aylık kampanya	0.034972	0.000232	0.879310	0.035560	0.000532	-0.721805	
	Yukarı	Sürekli	0.000539	0.000145		0.000539	0.000145		
		Aylık kampanya	-0.000130	0.000862	0.776102	-0.000367	0.000965	0.938860	
BREW 2008-2012	Doğu	Dört aylık kampanya	-0.001637	0.001223	1.779231	-0.001049	0.001345	1.180669	
		Sürekli	0.016429	0.000047		0.016429	0.000047		
	Kuzey	Aylık kampanya	0.016505	0.000271	-0.280443	0.016480	0.000300	-0.170000	
		Dört aylık kampanya	0.016948	0.000407	-1.275184	0.017448	0.000621	-1.640902	
BREW 2008-2012	Doğu	Sürekli	0.014596	0.000044		0.014596	0.000044		
		Aylık kampanya	0.014554	0.000257	0.163424	0.014528	0.000288	0.236111	
	Yukarı	Dört aylık kampanya	0.014347	0.000341	0.730205	0.014846	0.000658	-0.379939	
		Sürekli	0.008368	0.000201		0.008368	0.000201		
BREW 2008-2012	Doğu	Aylık kampanya	0.007222	0.001158	0.989637	0.007196	0.001201	0.975853	
		Dört aylık kampanya	0.007858	0.001409	0.361959	0.008357	0.001548	0.007106	
	Kuzey	Sürekli	-0.012889	0.000034		-0.012889	0.000034		
		Aylık kampanya	-0.012949	0.000172	0.348837	-0.013320	0.000283	1.522968	
BREW 2008-2012	Doğu	Dört aylık kampanya	-0.012775	0.000354	-0.322034	-0.012499	0.000671	-0.581222	
		Sürekli	-0.010202	0.000030		-0.010202	0.000030		
	Yukarı	Aylık kampanya	-0.010214	0.000145	0.082759	-0.010585	0.000230	1.665217	
		Dört aylık kampanya	-0.010239	0.000195	0.189744	-0.009963	0.000509	-0.469548	
BREW 2008-2012	Yukarı	Sürekli	-0.001505	0.000097		-0.001505	0.000097		
		Aylık kampanya	-0.000859	0.000529	-1.221172	-0.001230	0.000557	-0.493716	

Çizelge 5. 6 LSE'den tahmin edilen IGS istasyonlarının anten hatasız ve hatalı hızları ile t-testine ilişkin test istatistikleri (Devamı).

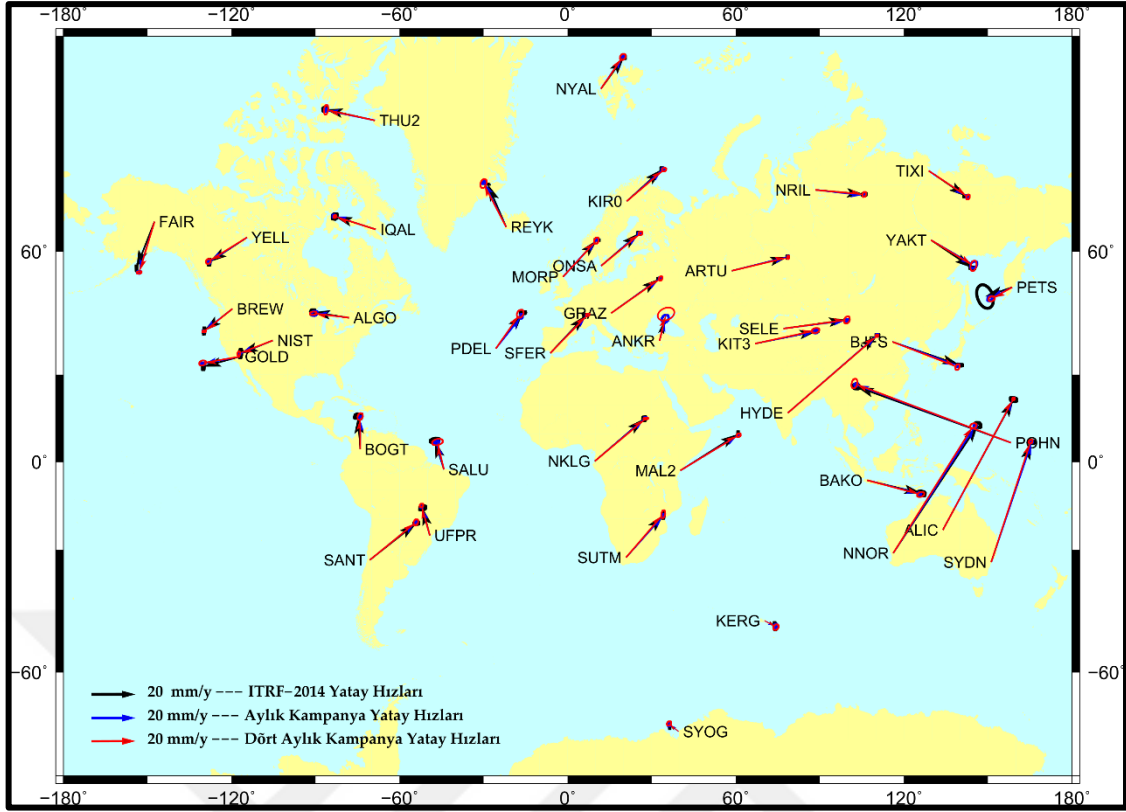
İstasyon	Bileşen	Veri Seti	Yıllık			Yıllık (Anten hatalı)		
			b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği
BREW 2008-2012	Yukarı	Dört aylık kampanya	-0.000786	0.000843	-0.852906	-0.000509	0.000962	-1.035343
		Sürekli	-0.018821	0.000026		-0.018821	0.000026	
	Doğu	Aylık kampanya	-0.019122	0.000166	1.813253	-0.019018	0.000259	0.760618
		Dört aylık kampanya	-0.018529	0.000242	-1.206612	-0.018486	0.000417	-0.803357
IQAL 2012-2016	Kuzey	Sürekli	0.005994	0.000035		0.005994	0.000035	
		Aylık kampanya	0.006157	0.000205	-0.795122	0.006261	0.000296	-0.902027
		Dört aylık kampanya	0.005884	0.000280	0.392857	0.005927	0.000239	0.280335
	Yukarı	Sürekli	0.003636	0.000108		0.003636	0.000108	
		Aylık kampanya	0.003556	0.000622	0.128617	0.003660	0.000667	-0.035982
		Dört aylık kampanya	0.002380	0.001069	1.174930	0.002424	0.000819	1.479853
	Doğu	Sürekli	-0.007129	0.000054		-0.007129	0.000054	
		Aylık kampanya	-0.007072	0.000305	-0.186885	-0.007180	0.000345	0.147826
Dört aylık kampanya		-0.006935	0.000453	-0.428256	-0.007419	0.000618	0.469256	
FAIR 2008-2012	Kuzey	Sürekli	-0.023004	0.000044		-0.023004	0.000044	
		Aylık kampanya	-0.022980	0.000223	-0.107623	-0.023087	0.000260	0.319231
		Dört aylık kampanya	-0.023074	0.000226	0.309735	-0.023557	0.000521	1.061420
	Yukarı	Sürekli	0.002734	0.000170		0.002734	0.000170	
		Aylık kampanya	0.001197	0.000803	1.914072	0.001090	0.000834	<b>1.971223</b>
		Dört aylık kampanya	0.002031	0.001727	0.407064	0.001548	0.001920	0.617708
	Doğu	Sürekli	-0.002562	0.000070		-0.002562	0.000070	
		Aylık kampanya	-0.003405	0.000493	1.709939	-0.003740	0.000669	1.760837
Dört aylık kampanya		-0.002919	0.000997	0.358074	-0.003255	0.001556	0.445373	
SALU 2012-2016	Kuzey	Sürekli	0.012707	0.000059		0.012707	0.000059	
		Aylık kampanya	0.012143	0.000296	1.905405	0.011809	0.000442	2.031674
		Dört aylık kampanya	0.012386	0.000601	0.534110	0.012049	0.001263	0.520982
	Yukarı	Sürekli	0.001121	0.000204		0.001121	0.000204	
		Aylık kampanya	0.000005	0.001119	0.997319	-0.000330	0.001029	1.410107
		Dört aylık kampanya	0.002364	0.002234	-0.556401	0.002027	0.002683	-0.337682
	Doğu	Sürekli	-0.010550	0.000054		-0.010550	0.000054	
		Aylık kampanya	-0.010236	0.000297	-1.057239	-0.010915	0.000429	0.850816
Dört aylık kampanya		-0.010281	0.000593	-0.453626	-0.009678	0.001246	-0.699839	
REYK 2012-2016	Kuzey	Sürekli	0.019984	0.000056		0.019984	0.000056	
		Aylık kampanya	0.020444	0.000332	-1.385542	0.019765	0.000426	0.514085
		Dört aylık kampanya	0.019745	0.000834	0.286571	0.020348	0.001285	-0.283268
	Yukarı	Sürekli	0.000002	0.000219		0.000002	0.000219	
		Aylık kampanya	0.000945	0.001077	-0.875580	0.000266	0.001120	-0.235714
		Dört aylık kampanya	0.002861	0.002590	-1.103861	0.003463	0.002820	-1.227305
	Doğu	Sürekli	-0.022432	0.000036		-0.022432	0.000036	
		Aylık kampanya	-0.022511	0.000220	0.359091	-0.022379	0.000417	-0.127098
Dört aylık kampanya		-0.022148	0.000407	-0.697789	-0.022823	0.000926	0.422246	
THU2 2010-2014	Kuzey	Sürekli	0.004649	0.000054		0.004649	0.000054	
		Aylık kampanya	0.004610	0.000334	0.116766	0.004742	0.000436	-0.213303
		Dört aylık kampanya	0.004813	0.000894	-0.183445	0.004138	0.000931	0.548872
	Yukarı	Sürekli	0.006001	0.000208		0.006001	0.000208	
Aylık kampanya		0.006736	0.001197	-0.614035	0.006869	0.001154	-0.752166	
KIT3 2008-2012	Doğu	Dört aylık kampanya	0.006140	0.002608	-0.053298	0.005465	0.002730	0.196337
		Sürekli	0.027682	0.000083		0.027682	0.000083	
		Aylık kampanya	0.027544	0.000368	0.375000	0.027081	0.000475	1.265263

Çizelge 5. 6 LSE'den tahmin edilen IGS istasyonlarının anten hatasız ve hatalı hızları ile t-testine ilişkin test istatistikleri (Devamı).

İstasyon	Bileşen	Veri Seti	Yıllık			Yıllık (Anten hatalı)		
			b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği	b (m/yıl)	$\sigma$ (m/yıl)	T İstatistiği
KIT3 2008-2012	Doğu	Dört aylık kampanya	0.027403	0.000717	0.389121	0.028141	0.000675	-0.680000
		Sürekli	0.005082	0.000074		0.005082	0.000074	
	Kuzey	Aylık kampanya	0.005585	0.000380	-1.323684	0.005121	0.000509	-0.076621
		Dört aylık kampanya	0.005910	0.000479	-1.728601	0.006648	0.000874	-1.791762
	Yukarı	Aylık kampanya	0.000156	0.001272	-1.744497	-0.000308	0.001318	-1.331563
		Dört aylık kampanya	0.000247	0.002917	-0.791909	0.000985	0.002889	-1.055036
PETS 2008-2012	Doğu	Sürekli	-0.010212	0.000088		-0.010212	0.000088	
		Aylık kampanya	-0.010082	0.000460	-0.282609	-0.009825	0.000676	-0.572485
	Kuzey	Dört aylık kampanya	-0.009271	0.000598	-1.573579	-0.008469	0.000688	-2.533430
		Sürekli	-0.004654	0.000086		-0.004654	0.000086	
	Yukarı	Aylık kampanya	-0.005104	0.000449	1.002227	-0.004847	0.000655	0.294656
		Dört aylık kampanya	-0.005187	0.000489	1.089980	-0.004384	0.000632	-0.427215
ANKR 2012-2016	Doğu	Sürekli	-0.007974	0.000269		-0.007974	0.000269	
		Aylık kampanya	-0.006034	0.001360	-1.426471	-0.005776	0.001405	-1.564413
	Kuzey	Dört aylık kampanya	-0.005705	0.001790	-1.267598	-0.004902	0.001857	-1.654281
		Sürekli	0.002575	0.000103		0.002575	0.000103	
	Yukarı	Aylık kampanya	0.002579	0.000650	-0.006154	0.003115	0.001137	-0.474934
		Dört aylık kampanya	0.002978	0.001538	-0.262029	0.003263	0.003279	-0.209820
ANKR 2012-2016	Doğu	Sürekli	0.010183	0.000119		0.010183	0.000119	
		Aylık kampanya	0.010050	0.000684	0.194444	0.010586	0.001194	-0.337521
	Kuzey	Dört aylık kampanya	0.012157	0.001208	-1.634106	0.012442	0.003035	-0.744316
		Sürekli	-0.004083	0.000388		-0.004083	0.000388	
	Yukarı	Aylık kampanya	-0.004650	0.002101	0.269871	-0.004115	0.002167	0.014767
		Dört aylık kampanya	-0.007188	0.003210	0.967290	-0.006903	0.004165	0.677071

Hız kestirimleri için aynı zamanda, normal dağılım ile 3 mm standart sapmalı rastgele anten hataları üretilmiş ve elde edilen bu değerler, en küçük kareler yaklaşımında hesaba katılmıştır. Sonuçlara göre az da olsa, merkezleştirme ve anten yükseklik ölçümü gibi kişiye bağımlı anten kurulum hatalarının etkisi koyu renkle vurgulanmış her üç bileşende de açıkça görülmektedir. Anten hatalı dört aylık çözüm sonuçları, anten hatalı bir aylık kampanya sonuçlarından yaklaşık % 8 daha düşük sonuç vermiştir.

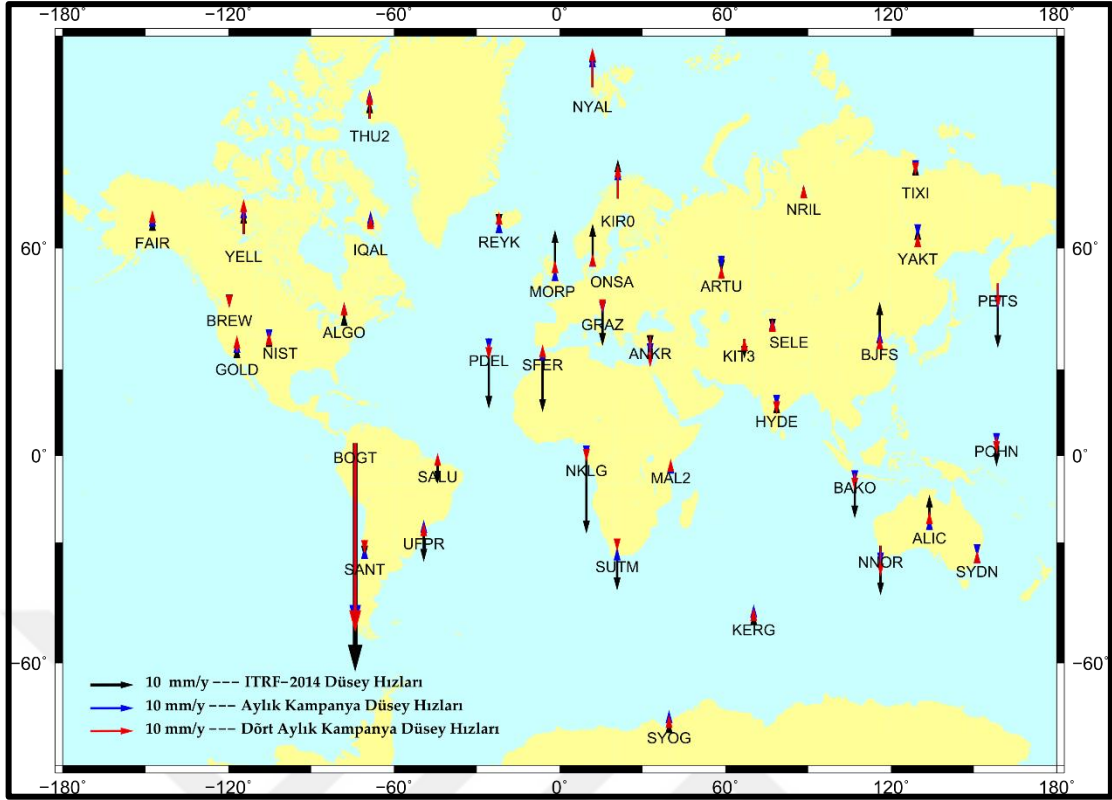
Şekil 5.11'de aylık ve dört aylık kampanyalardan elde edilen yatay hızlarla, noktaların ITRF2014 datumunda Jülyen 2000.0 epoğundan itibaren hesaplanan yatay hızlarının karşılaştırılmasında, hızların uyumlu olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle, tarafımızdan kestirilen hızlarla ITRF2014 hızları için kullanılan modellerin yatay hız bileşenleri için benzer olduğu söylenebilir.



Şekil 5. 12 40 istasyona ait aylık ve dört aylık kampanya yatay hızlarının ITRF2014 yatay hızları ile karşılaştırılması.

Şekil 5.12’de aylık ve dört aylık kampanya verileri kullanılarak tarafımızdan kestirilen düşey hızlarla, noktaların ITRF2014 datumunda Jülyen 2000.0 epoğundan itibaren hesaplanan düşey hızlarının karşılaştırılmasında ise hızların bazılarının uyuşmadığı görülmektedir. Bunun nedeni ilk olarak, ITRF2014 hızlarının hesaplanmasında kullanılan model ile tarafımızca kestirilen hızların hesaplanmasında kullanılan modelin farklı olması gelmektedir. İkinci olarak, hız hatasının kestiriminde renkli gürültü kullanılmamasının, hatası yatay konum bileşenlerinin hatasından 2-3 kat büyük olan düşey bileşen üzerinde etkisini daha belirgin gösterdiği değerlendirilmektedir.

Öte yandan, sürekli ölçümlerden tarafımızca oluşturulan model ile beyaz gürültülü sinyaller üzerinden kestirilen hızlarla, gözlem süresi 24 saat olarak her dört ayda bir kampanyalardan elde edilen hızlar arasında, doğu bileşeni için % 100’e yakın, kuzey ve yukarı bileşenleri için % 95’e yakın bir güven seviyesine ulaşılabilmektedir.



Şekil 5. 13 40 istasyona ait aylık ve dört aylık kampanya düşey hızlarının ITRF2014 düşey hızları ile karşılaştırılması.

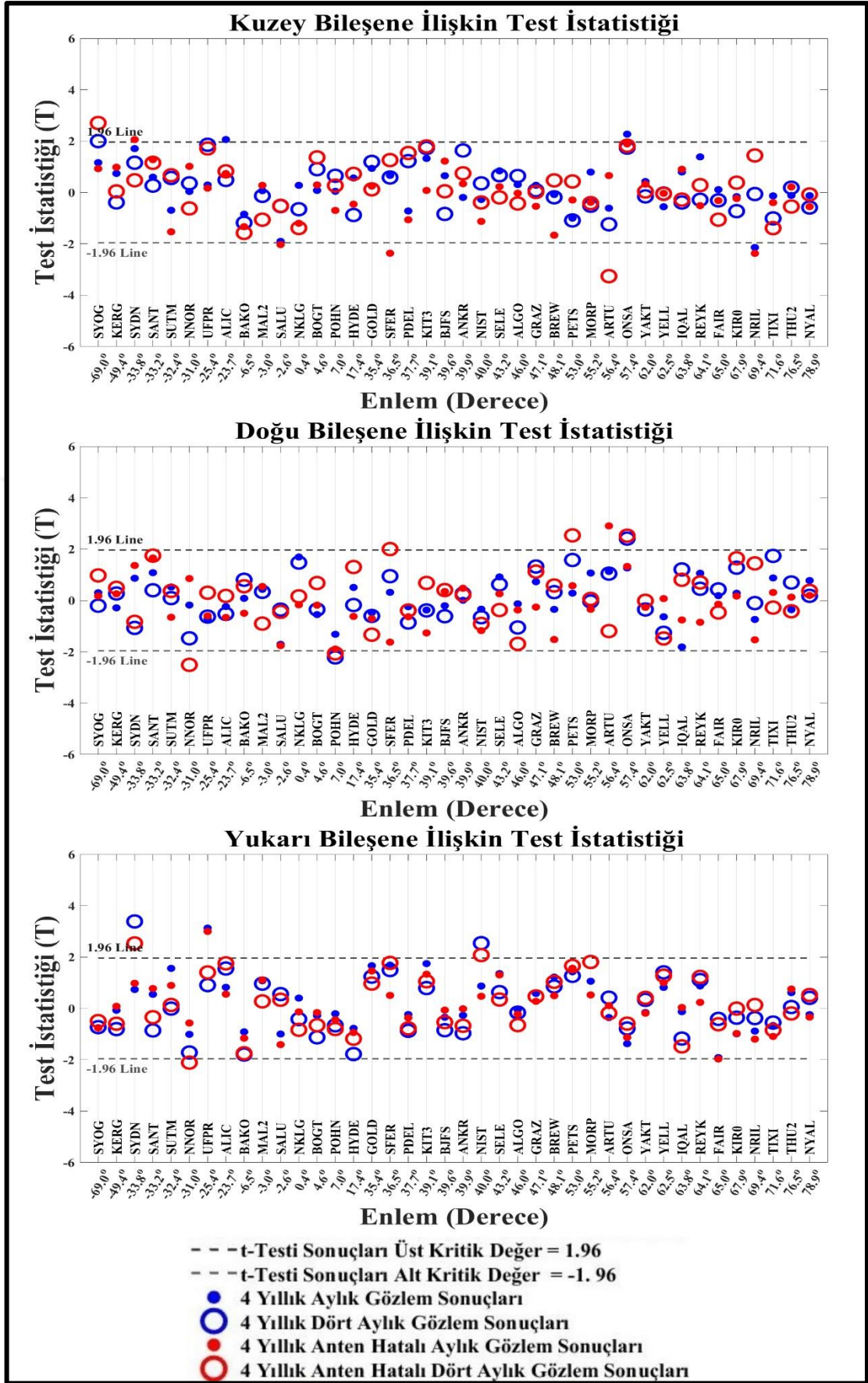
Çizelge 5.7’de sürekli gözlemlerden elde edilen hızlardan aylık ve dört aylık kampanya hızlarının çıkarılmasıyla hesaplanan karesel ortalama hata değerleri görülmektedir. Sonuçlara göre, GPS bileşenlerine anten kurulum hataları verildiğinde, hız tahmin doğruluğu düşmektedir.

Çizelge 5. 7 40 İstasyona ait hızların karesel ortalama hata değerleri.

#### 40 İstasyona ait 4 yıllık veri için karesel ortalama hatalar (KOH)

	Anten Hatasız		Anten Hatalı	
	Aylık kampanyalar mm/yıl	Dört aylık kampanyalar mm/yıl	Aylık kampanyalar mm/yıl	Dört aylık kampanyalar mm/yıl
Kuzey	0.241	0.449	0.332	0.746
Doğu	0.209	0.506	0.341	0.698
Yukarı	0.885	1.727	0.863	1.788

Karşılaştırmalar aylık ve dört aylık sonuçlar arasında da yapılırsa, anten hatalı dört aylık çözüm sonuçları, anten hatalı bir aylık çözüm sonuçlardan yaklaşık % 8 daha düşük sonuç vermiştir. İkinci bölümde her şeyden önce, anten kurulum hatalarının etkisi her üç bileşende de açıkça görülmektedir (Şekil 5.13).



Şekil 5. 14 40 istasyona ait hız kestirimlerinin test istatistikleri.

Test istatistiklerinin bir sonucu da kuzey bileşeninde, anten hatalarını dikkate almadan tahmin edilen hızların bir kısmının, sürekli gözlemlerden elde edilen hızlardan önemli ölçüde farklı olmasıdır. Bunlar ALIC, ONSA ve NRIL istasyonlarıdır. Aynı şekilde, UFPR istasyonunun yukarı bileşeninde, anten hatalarını dikkate almadan tahmin edilen hızın, sürekli gözlemlerden elde edilen hızdan önemli ölçüde farklıdır. Bu aşamada, bu beklenmeyen konumlandırma farklılıklarını yorumlamak için IGS tarafından yayınlanan sahaya özel bilgilere ve bazı jeolojik raporlara başvurulmuştur. Şekil 5.14 ALIC istasyonunun ortamını göstermektedir.



Şekil 5. 15 ALIC istasyonuna ait görünüm.

ALIC istasyonu tektonik hareketi izlemek için standart olan bir ana kaya üzerine kuruludur. Multipath etkisi ve Cycle Slip seviyesi çok düşüktür. Bununla birlikte, istasyonun ağaçlarla çevrili olduğu görülmektedir. ALIC'de tahmin edilen hızın gerçeklerden önemli ölçüde farklı olduğu gerçeği, ağaç yapraklarından kaynaklanan sinyal zayıflaması ile ilişki olabilir ve bu da konumlandırmayı bozabilir [30].

Şekil 5.15'te görüldüğü üzere, ONSA istasyonu bir anakaya üzerine kurulmuştur. Bununla birlikte, VLBI antenleri, gravimetre ve gelgit ölçerler gibi diğer jeodezik enstrümantasyonlardan veri toplanan bir uzay laboratuvarına konumlandırılmıştır.

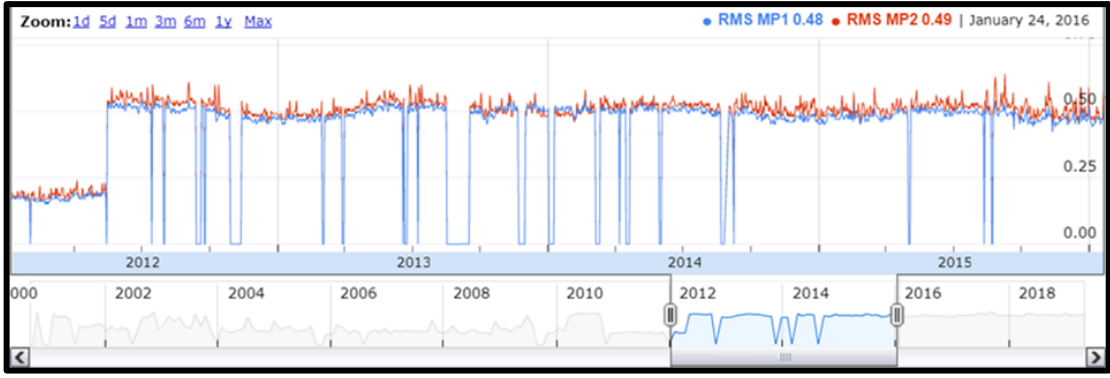


Şekildeki GPS antenin arkasındaki devasa bir kapalı teleskop dikkat çekicidir. Bu istasyondaki aylık verilerden elde edilen hızın, sürekli gözlemlerden elde edilen hızdan önemli ölçüde farklı olmasının nedeni, MP1 ve MP2 multipath seviyeleri yaklaşık 0,80 olarak verilen GNSS antenin çevresindeki sinyal yansımaları yüksektir. İstasyonun log dosyasında, düşük veri kalitesi, multipath etkisi ve 2012 ve 2016 yılları arasında analiz sürecimize tekabül eden ve çevredeki yapıların onarımı ile ilgili çeşitli olaylar bildirilmektedir.



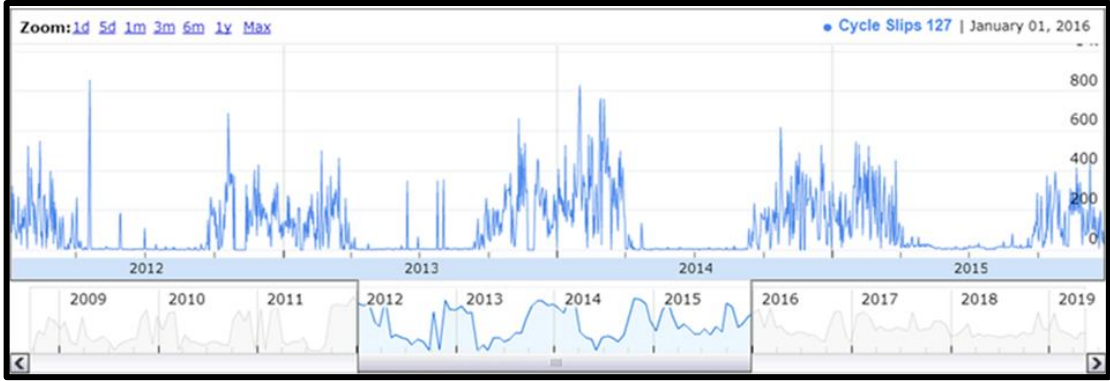
Şekil 5. 16 ONSA istasyonuna ait görünüm.

Şekil 5.16 NRIL istasyonunun multipath seviyesini temsil etmektedir. NRIL, IGS tarafından yayınlanan log dosyasında belirtildiği gibi sismoloji binasının çatısının tepesinde bulunmaktadır. Bukchin *vd.* [66] istasyonun tektonik olarak stabil bir yerde olduğunu belirtmektedir. Pamir ve Tien Shan arasındaki tektonik etkileşim GNSS analizinde NRIL'in kararlı Avrasya referans istasyonlarından biri olarak alınmasıyla incelenmiştir [67]. Bununla birlikte, çatıdaki MP1 0.48 ve MP2 0.49 multipath seviyeleri verilen konumlandırma kalitesine göre nispeten yüksektir. Ne yazık ki, GNSS istasyonu NRIL'nin site konumunu gösteren bir görüntü internette yer almamaktadır.



Şekil 5. 17 NRIL istasyonuna ait çoklu yol kalitesi (multipath).

Salamuni vd. [68] UFPR'nin kurulduğu yerin tektonik olarak aktif bir bölgede olduğunu belirtmektedir. Bölgede erozyonlar ve normal faylanmalarla karşılaşmaktadır. Ayrıca, 2012 - 2016 veri toplama sürecinde çok sayıda sinyal kesikliği (cycle slip) meydana gelmiştir (Şekil 5.17). Yüksek tektonik aktivitesi ve sinyal kesikliği seviyesi UFPR'nin düşük konumlandırma kalitesinde bozulmaya neden olmuş olabilir.



Şekil 5. 18 UFPR istasyonuna sinyal kesikliği seviyesi (cycle slip).

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 6. Sonuç Bölümüne Giriş

Bu tez çalışmasında ana motivasyon, yüksek maliyet gerektiren sabit istasyon tesislerinden sağlanan deformasyon oranlarındaki başarılarla kampanya ölçüleri yapılarak ulaşıp ulaşılamayacağı olmuştur. Elbette sadece maliyet öngörülemez. Özellikle sel, heyelan, deprem gibi doğal afetlerde sürekli istasyonlarda geri dönüşü olmayan kalıcı hasarların meydana gelmesi de kampanya ölçümlerini alternatif olarak ön plana çıkarmaktadır.

Kampanya ölçülerini IGS istasyonlarının sürekli verilerinden seyrekleştirerek simüle etmek analizlerde gerçek kampanya ölçülerinin karakterine yakın sonuç verecektir. Böylece kampanya ölçümleri hakkında kullanılabilirlik tahminleri yapılabilir. Gerçeğe yakın davranışların anlamlı olması için, araziye çıkıldığında yapılabilecek olası anten kurulum hatalarının dikkate alınması ayrı bir kazançtır. Öyleki kişiden bağımsız hatalar dengeleme yazılımları sayesinde modellenebilir ve çözümlenebilir. Kişiye bağımlı hataları dikkate almak gerçek ölçümleri yansıtabilmenin en uygun yoludur.

Uygulama kısmında ayrıca sürekli GPS ölçümlerinin spektral karakterinin incelenmesi kampanya ölçümleri ile aralarındaki tutarlılığın tanımlanması için önemli bir işlem adıdır. Bu işlemler koordinat değişimlerindeki yıllık ya da yarı yıllık sinyal döngüleri ölçü gruplarının karakterini yansıtır. Böylece kıyaslanabilir sonuçlara varılabilir.

Çalışmanın uygulama kısmı iki ana bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölümde uzun zaman serileri üzerinden değerlendirilen 11 istasyona ait sürekli gözlem verileri

aylık ve dört aylık kampanya ölçülerine ayrılmıştır. Bu bölümde ana motivasyon hızlı Fourier dönüşüm analizi yapılarak yıllık ve yarı yıllık sinyallerin gerçek periyotlarının belirlenmesidir. Gerçek sinyal döngülerinin ezbere bilinen yıllık (12 ayda bir) ve yarı yıllık (6 ayda bir) olan sinyal döngülerinden farklarının önemli derecede anlamlı olup olmadığının ortaya konmasıdır. Daha sonrasında elde edilen maksimum periyot değerlerinin (5.2) ve (5.3) bağıntılarından elde edilen gerçek frekanslar kullanılarak (5.1) bağıntısında verilen trend denkleminde hız kestirimleri yapılabilir. Böylelikle elde edilen standart sapmalı hız bileşenleri t-testine tabi tutularak sonuçlar irdelenebilir. İkinci bölümde ise kampanya ölçümlerinin pratikte daha kullanılabilir hale gelmesini kolaylaştırdığı düşünülerek uzun periyot ölçümler dört yıl olarak kısaltılmıştır. Bu bölümdeki ana motivasyon ise literatürde 4-yıllık zaman serilerinden güvenle kestirilen deformasyon oranlarının 4 yıllık kampanya verilerinden güvenilir bir şekilde kestirilip, kestirilemeyeceğinin araştırılmasıdır. Duyarlılığı arttırmak amaçlı, nokta ağı 40 istasyona çıkarılmış ve normal dağılım ile 3 mm standart sapmalı rastgele anten hataları üretilmiştir. Simülasyon IGS sabit istasyonlarından yapıldığından, bunlar sehpa ile anten kurma hatalarından etkilenmez. Ancak uzun zamanda anten kurma nedeniyle oluşacak hatanın normal dağılımlı olacağı varsayılarak ve nokta konumuna buna göre bias verilerek, kampanya ölçümlerinde kişiye bağımlı hataların oluşmasının zorunluluğundan dolayı hız kestirimindeki değişim gösterilebilir.

## **6.1 Sonuçların Tartışılması**

IGS ağı bugün yaklaşık 400 GNSS istasyonu içermesine rağmen, bu çalışmanın ilk bölümünde bu istasyonlardan sadece 11'i kullanılmıştır. GPS konumlandırma, konumlandırma hassasiyeti enleme bağlıdır ve eşit şekilde dağılmış 10-15 istasyon genellikle tatmin edici sonuçlar vermektedir [21], [22], [65]. İstasyonların çoğunun zaman serileri 15 yıldan daha kısa ya da uzun veri boşlukları içerdiğinden ve bunlar FFT analizinin kısıtlamaları nedeniyle düzenli zaman aralıklarında örneklenemeyeceğinden, yaklaşık 16 yıllık sürekli veriye sahip bu 11 istasyonun seçimi tercih edilmiştir. Bu kadar uzun periyotta hiç veri boşluğu olmamasını beklemek doğru bir yaklaşım değildir. Ancak minimum veri boşluğu olanlar için hareketli ortalama gibi bir algoritma ile boşluklar doldurulabilir. Burada da bu şekilde yapılmıştır.

Öte yandan, Hayal ve Sanli [69] analizlerinde yaklaşık 67 IGS istasyonu kullanılarak GPS konumlandırma doğruluğundaki değişimi incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları 10-15 eşit dağıtılmış istasyondan doğruluk tahmin edildiği çalışmalarla karşılaştırabilmişlerdir. 24 saatlik ölçümlerin 8-12 saatlik ölçümlere göre yalnızca yatay bileşenler için 1 mm, düşey bileşen için yaklaşık 2 mm iyileştğini görmüşlerdir. IGS'in düşey bileşen için 24 saat ölçüm hız kestirim hatasını 3 mm/yıl verdiği düşünülduğünde, bu iyileşmenin hız kestirimi üzerinde pek bir iyileştirme yapmayacağı aşikardır. Uygulamanın birinci bölümüne bakıldığında, düşey bileşenle ilgili hipotez testlerinden sadece birinin reddedildiği görülmektedir.

Küresel bir IGS istasyonu ağından, tektonik hareket nedeniyle kampanya ölçümlerinden tahmin edilen zemin deformasyonunu (yani hız) sürekli GPS verilerinden elde edilen zemin deformasyonu ile karşılaştırılmıştır. Literatürde 8-12 saat ile gerçekleştirilen GPS kampanyalarının başarısından dersler alarak, ölçüm süresi 24 saate çıkarılmıştır. Başka bir deyişle, 24 saatlik verilerden elde edilen JPL çözümleri kullanılarak simülasyonla kampanyalar oluşturulmuştur. Daha önce yapılan başka çalışmalarda, geleneksel 8-12 saatlik GPS kampanyalarından tektonik hareketin belirlenmesinin, 24 saatlik verileri kullanan GPS kampanyalarından tektonik hareketin belirlenmesiyle uyumlu olmadığı ortaya konmuştur. Ortalama olarak yatay bileşenler için tahmin edilen hızların sadece % 50-70'i kullanılabilir. 8-12 saatlik kampanyaların düşey bileşenlerinden üretilen hızların yalnızca % 10'u 24 saatlik kampanyalardan elde edilenlerle karşılaştırılabilir. GPS kampanyalarının süresinin tam güne (yani 24 saat) uzatılması, örnekleme başına ayda bir ölçüm yapılması ve aylık örneklenmiş verilerin spektral karakterinin incelenmesi, hem yatay hem de düşey bileşenler için başarı oranını % 100'e yükseltmiştir. Bununla birlikte, GPS kampanyalarının sıklığı yılda 12 kampanya, birçok araştırmacı için zahmetli olacaktır. Bu durumda, % 94'lük bir başarı oranı sağlayan 4 ayda bir kampanya ölçümü benimsenebilir. Öte yandan bir yılda üç adet veri olacağından ve bu durum veri azlığına yol açacağından, spektral analiz sonucu yarıyıllık döngü belirlenemeyecektir.

Üçayaklı sehpa ile GPS anten kurulum hataları hesaba girerse hız tahmin doğruluğu da düşmektedir. Düşey bileşenin başarı oranı Duman ve Sanli [23] çalışmasına göre % 85 civarında bir iyileşme göstermektedir. Gözlem süresinin 8-10 saatten 24 saate uzatılması, tahmin edilen düşey deformasyon oranlarını önemli ölçüde iyileştirmiştir. n

ve e bileşenleri için hız tahmini de yaklaşık % 25-40 oranında artmıştır. Karşılaştırmalar aylık ve dört aylık sonuçlar arasında da yapılabilir. Anten hatalı dört aylık çözüm sonuçları, anten hatalı bir aylık kampanya sonuçlarından yaklaşık % 8 daha düşük sonuç vermiştir.

## 6.2 Beklenti ve Öneriler

Küresel bir IGS istasyonu ağından, kampanya ölçümlerinden tahmin edilen tektonik hareket nedeniyle zemin deformasyon hızının sürekli GPS verilerinden elde edilen zemin deformasyon hızı ile karşılaştırıldığı bir çalışma sonuçları ile birlikte sunulmuştur. Sürekli GPS gözlemlerinden aylık ve dört aylık kampanya GPS zaman serileri üretilmiştir. Normalde en iyi sonuçları almak ve özellikle çok hassas sismik hareketleri izleyebilmek için sürekli ölçülerin kullanılması önerilebilir. Ancak uygulamada heyelan, sel vb. gibi doğal olayların istasyonlara dönüşü olmayan zararlar verebileceği gerçeği kampanya ölçümlerini önemli hale getirir. Ayrıca sabit ve kalıcı istasyonların güvenlik başta olmak üzere bakım onarım vb. gibi gereksinimlerinden dolayı maliyetler artabilir. Bu da kampanya ölçümlerinin önemini artırır. Yılda bir ölçü ile yapılan kampanya ölçümleri gerçekten de çok yetersizdir. Kampanya sıklığını ayda bir indirerek neredeyse sürekli yapılan gözlemlere eş değer hızlar elde edilebilir. Kullanıcılar için ayda bir aynı tarihlerde ölçüm yapmak pratikte zorlayıcı olabilir. Bu nedenle dört ayda bir yapılan kampanya ölçümleri kullanıcılara çok cazip gelebilir. Analizler sonucunda, 16 yıllık uzun vadede yapılan aylık kampanya ölçümlerinden yapılan hız kestirimleri, aynı periyotta sürekli gözlemlerden elde edilen hızlarla % 100 başarı ile uyum göstermiştir. Aynı şekilde dört aylık kampanya ölçümlerinden yapılan hız kestirimleri ise, aynı periyotta sürekli gözlemlerden elde edilen hızlarla % 82 başarı ile uyum göstermiştir. Bu kadar yüksek başarıya ulaşılmasının bir nedeni, yapılan spektral karakter analizi sonucu gerçek frekans değerlerinin ortaya konması olabilir. Ancak burada yine kampanya ölçümü tercih eden kullanıcıların bu kadar uzun periyotlarda deformasyon izlemesi beklenemeyebilir. 4 yıllık bir periyot deformasyonların belirlenmesi için yeterli kabul edilir. Öte yandan gerçek frekans değerlerinin beklenen frekans değerlerinden anlamlı derecede fark etmediği görülmüştür. Regresyon/Simülasyon çözümlerinde beklenen frekans değerlerini kullanıp, öte yandan duyarlılığı arttırmak amaçlı örneklem sayısını (yani istasyon sayısını)

artırmak gayet yararlıdır. Bunun sonucu 11 istasyondan 40 istasyona genişletilen ağ çalışmasında önceki çalışmalara göre, her dört ayda bir yapılan gözlemleri kullanarak kampanya ölçüleriyle yatay konumlandırma doğruluğunun başarısı yaklaşık % 25-40 oranında arttırılırken, düşey konumlandırmanın başarısı yaklaşık % 85 oranında iyileştirilmiştir.

Nokta konum doğruluğu açısından, günlük gözlem süresi çok önemli faktördür. Genelde kampanya kullanıcıları gün ışığından yararlanmak ve vardiyalı çalışmayı önlemek amaçlı gün içerisinde 8-10 saatlik gözlemlerle kampanyalar gerçekleştirirler. Literatürde 8-12 saat ile gerçekleştirilen GPS kampanyalarının başarısından dersler alarak, ölçüm süresinin 24 saate çıkarılması öngörülmektedir. Daha önceki başka çalışmalar sonucu, geleneksel 8-12 saatlik GPS kampanyalarından tektonik hareketin belirlenmesi 24 saatlik verileri kullanan GPS kampanyalarından elde edilenle karşılaştırılabilir değildir ve yatay bileşenler için tahmin edilen hızların sadece % 50-70'i kullanılabilir. 8-12 saatlik kampanyaların düşey bileşenlerinden üretilen hızların yalnızca % 10'u 24 saatlik kampanyalardan elde edilenlerle karşılaştırılabilir. Bu sebeplerden dolayı kampanya ölçümlerinde gözlem süresinin 8 saatten 24 saate uzatılması önerilmektedir.

Kampanya ölçümlerinde kullanıcıdan bağımsız hatalar olabilir. Ancak kullanıcıdan kaynaklı hataların minimum seviyede tutulması gerekir. Özellikle üç ayaklı sehpa üzerinde yapılan GPS gözlemlerinde anten yükseklik ölçümleri kullanıcı kaynaklı karşılaşılabilecek en önemli hata kaynağıdır. Pratikte 3 mm'den fazla yapılan anten ölçüm hatası kaba hata olarak kabul görür. Çalışmada, konum bileşenlerine normal dağılımlı 3 mm standart sapmalı üretilen rastgele anten hataları analizlerde eklenince sonuçlar anlamlı derecede farklılık göstermiştir. Bu sebeple anten yükseklik ölçümleri kampanya ölçümlerinde gerekirse duyarlı olarak birkaç defa ölçülmelidir.

Burada yapılan değerlendirmelerin yalnızca tektonik hareketin belirlenmesi için olduğuna dikkat edilmelidir. Kampanya verilerinin 1-sigma hız tahmin hatası, sürekli verilere göre 5-10 kat daha kabadır. İstasyonların kurulduğu bölgelerin çevresel ve jeolojik değerlendirmesi mutlaka yapılmalıdır. Ön çalışma ile hata kaynağı olabilecek durumların tespit edilmesi ölçümlerin planlamasına ve elde edilecek sonuçların anlamlı şekilde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Belki de çok genel sonuç olarak; gözlem

süresi 24 saate uzatılırsa ve kampanyalar her dört ayda bir tekrarlanırsa, tektonik hareketin izlenmesinde, doğu bileşeni için % 100'e yakın, kuzey ve yukarı bileşenleri için % 95'e yakın bir güven seviyesine ulaşılabilir.





## KAYNAKLAR

- [1] Roberts, C. ve Rizos, C., (1997). Permanent Automatic GPS Deformation Monitoring Systems: A Review of System Architecture and Data Processing Strategies, F.K. Brunner, ed. *Advances in Positioning and Reference Frames*, IAG Scientific Assembly Rio de Janeiro, Brazil, September 3–9, 1997, Vol.118. Berlin, Heidelberg: Springer, 375-380.
- [2] Freymueller, J.T., (2017). *Geodynamics*, P.J.G. Teunissen ve Montenbruck, O., ed. *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 1063-1106.
- [3] Freymueller, J.T. Woodard, H. Cohen, S.C. Cross, R. Elliott, J. Larsen, C.F. Hreinsdóttir, S. ve Zweck, C., (2008). Active deformation processes in Alaska, based on 15 years of GPS measurements, J.T. Freymueller ve al., e., ed. *Active Tectonics and Seismic Potential of Alaska*, Geophysical Monograph Series, vol. 179. Washington, D. C.: AGU, 1-42.
- [4] Soler, T. Michalak, P. Weston, N.D. Snay, R.A. ve Foote, R.H., (2006). "Accuracy of OPUS solutions for 1-to 4-h observing sessions", *Gps Solutions*, 10: 45-55.
- [5] Hastaoglu, K.O. ve Sanli, D.U., (2011a). "Monitoring Koyulhisar landslide using rapid static GPS: a strategy to remove biases from vertical velocities", *Natural Hazards*, 58: 1275-1294.
- [6] Blewitt, G., (1993). *Advances in Global Positioning System technology for geodynamics investigations*, D.E. Smith ve Turcotte, D.L., ed. *Contributions of Space Geodesy to Geodynamics: Technology*, Geodynamics Series, Vol.25. Washington, D. C.: AGU, 195–213.
- [7] Sanli, D.U. ve Blewitt, G., (2001). "Geocentric sea level trend using GPS and > 100-year tide gauge record on a postglacial rebound nodal line", *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 106: 713-719.
- [8] Kuczynska-Siehnien, J. Lyszkowicz, A. Stepniak, K. ve Krukowska, M., (2017). "Determination of geopotential value  $W-0(L)$  at Polish tide gauges from GNSS data and geoid model", *Acta Geodaetica Et Geophysica*, 52: 527-534.
- [9] Tatar, O. Poyraz, F. Gursoy, H. Cakir, Z. Ergintav, S. Akpınar, Z. Kocbulut, F. Sezen, F. Turk, T. Hastaoglu, K.O. Polat, A. Mesci, B.L. Gursoy, O. Ayazli, I.E. Cakmak, R. Belgen, A. ve Yavasoglu, H., (2012). "Crustal deformation and

- kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements", *Tectonophysics*, 518: 55-62.
- [10] Muller, M.D. Geiger, A. Kahle, H.G. Veis, G. Billiris, H. Paradissis, D. ve Felekis, S., (2013). "Velocity and deformation fields in the North Aegean domain, Greece, and implications for fault kinematics, derived from GPS data 1993-2009", *Tectonophysics*, 597: 34-49.
- [11] Aktug, B. Dogru, A. Ozener, H. ve Peyret, M., (2015). "Slip rates and locking depth variation along central and easternmost segments of North Anatolian Fault", *Geophysical Journal International*, 202: 2133-2149.
- [12] Wang, G.Q. Kearns, T.J. Yu, J.B. ve Saenz, G., (2014). "A stable reference frame for landslide monitoring using GPS in the Puerto Rico and Virgin Islands region", *Landslides*, 11: 119-129.
- [13] Hastaoglu, K.O. Poyraz, F. Turk, T. Yilmaz, I. Kocbulut, F. Demirel, M. Sanli, U. Duman, H. ve Sanli, F.B., (2017). "Investigation of the success of monitoring slow motion landslides using Persistent Scatterer Interferometry and GNSS methods", *Journal*.
- [14] Wirz, V. Beutel, J. Gruber, S. Gubler, S. ve Purves, R.S., (2014). "Estimating velocity from noisy GPS data for investigating the temporal variability of slope movements", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14: 2503-2520.
- [15] Hu, Y.X. Cheng, L. ve Wang, X., (2016). "Quality analysis of the campaign GPS stations observation in Northeast and North China", *Geodesy and Geodynamics*, 7: 87-94.
- [16] Liu, L. ve Larson, K.M., (2018). "Decadal changes of surface elevation over permafrost area estimated using reflected GPS signals", *Cryosphere*, 12: 477-489.
- [17] Blewitt, G. ve Lavallee, D., (2002). "Effect of annual signals on geodetic velocity", *Journal of Geophysical Research*, 107: 9-1;9-11.
- [18] Williams, S.D.P., (2003a). "The effect of coloured noise on the uncertainties of rates estimated from geodetic time series", *Journal of Geodesy*, 76: 483-494.
- [19] Amiri-Simkooei, A.R. Tiberius, C.C.J.M. ve Teunissen, P.J.G., (2007). "Assessment of noise in GPS coordinate time series: Methodology and results", *Journal of Geophysical Research*, Vol.12, 10.1029/2006jb004913.
- [20] Bogusz, J. ve Klos, A., (2016). "On the significance of periodic signals in noise analysis of GPS station coordinates time series", *Gps Solutions*, 20: 655-664.
- [21] Hastaoglu, K.O. ve Sanli, D.U., (2011b). "Accuracy of Gps Rapid Static Positioning: Application to Koyulhisar Landslide, Central Turkey", *Survey Review*, 43: 226-240.
- [22] Akarsu, V. Sanli, D.U. ve Arslan, E., (2015). "Accuracy of velocities from repeated GPS measurements", *Natural Hazards and Earth System Science*, 15: 875-884.

- [23] Duman, H. ve Sanli, D.U., (2019). "Assessment of geodetic velocities using GPS campaign measurements over long baseline lengths", Natural Hazards Earth System Sciences.
- [24] Geng, J.H. Meng, X.L. Dodson, A.H. ve Teferle, F.N., (2010). "Integer ambiguity resolution in precise point positioning: method comparison", Journal of Geodesy, 84: 569-581.
- [25] Mao, A.L. Harrison, C.G.A. ve Dixon, T.H., (1999). "Noise in GPS coordinate time series", Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 104: 2797-2816.
- [26] Williams, S.D.P. Bock, Y. Fang, P. Jamason, P. Nikolaidis, R.M. Prawirodirdjo, L. Miller, M. ve Johnson, D.J., (2004). "Error analysis of continuous GPS position time series", Journal of Geophysical Research, 109.
- [27] Ray, J. Griffiths, J. Collilieux, X. ve Rebischung, P., (2013). "Subseasonal GNSS positioning errors", Geophysical Research Letters, 40: 5854-5860.
- [28] Akarsu, V., (2012). "Gözlem süresinin GPS noktası hızlarının belirlenmesine olan etkisini araştırılması", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Geomatik Mühendisliği Bilim Dalı. İTÜ İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi 188.
- [29] Chen, Q. van Dam, T. Sneeuw, N. Collilieux, X. Weigelt, M. ve Rebischung, P., (2013). "Singular spectrum analysis for modeling seasonal signals from GPS time series", Journal of Geodynamics, 72: 25-35.
- [30] Türen, Y., (2010). "Astrojeodezik nivelman ile yerel jeoit belirleme: Konya örneği", Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı. Selçuk Üniversitesi, Konya: Selçuk Üniversitesi, 81.
- [31] Türen, Y., (2015). "Uydu Jeodezisi ve GNSS Ders Notları", Available at: <https://bys.trakya.edu.tr/file/download/36109600/>. Accessed 2019.
- [32] Sobel, D. ve Andrewes, W.J.H., (2004). Boylam, Ankara: Tübitak Popüler Bilim Kitapları.
- [33] NASA, "Earth Observing System (EOS) ", Available at: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/WhyItMatters09>. Accessed 2019.
- [34] Üstün, A., (2014). "Uydu Jeodezisi Lisans Ders Notları", Available at: <http://galileo.selcuk.edu.tr/~aydin/docs/satgeo.pdf>. Accessed 2019.
- [35] HartRAO, (2014). "Space Geodesy Programme", Available at: <http://geodesy.hartrao.ac.za/site/en/>. Accessed 2019.
- [36] Kahveci, M. ve Yıldız, F., (2012). GPS/ GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- [37] NGA, (2008). "Earth Gravitational Model 2008", Available at: <https://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/>. Accessed 2019.
- [38] Türen, Y. ve Üstün, A., (2013). "Astrojeodezik Çekül Sapması Bileşenlerinin Kern DKM 3A ile Belirlenmesi:Konya Örneği", Ankara/Türkiye: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası.

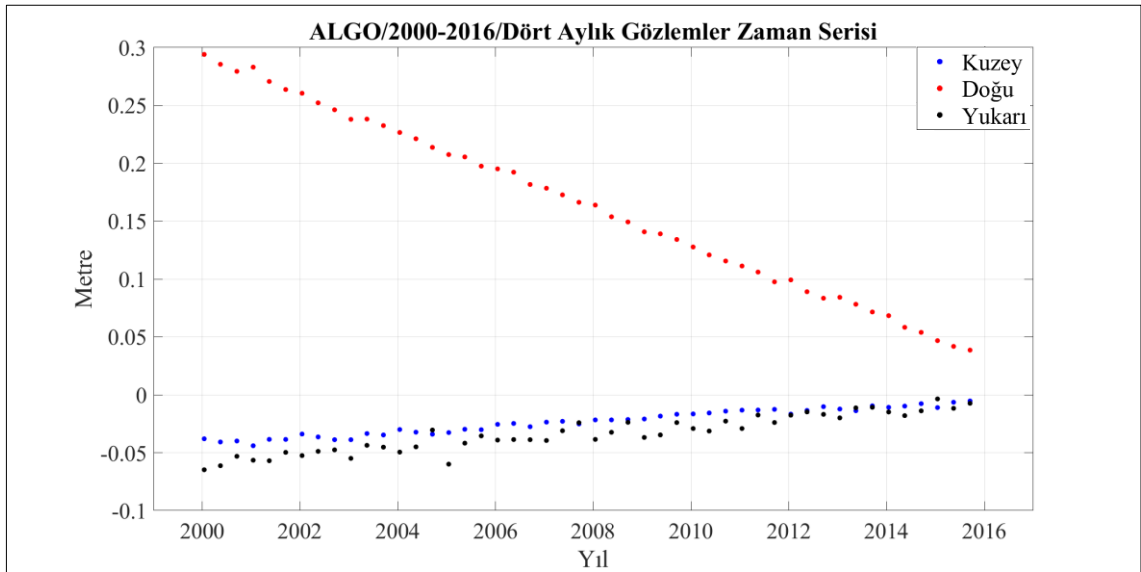
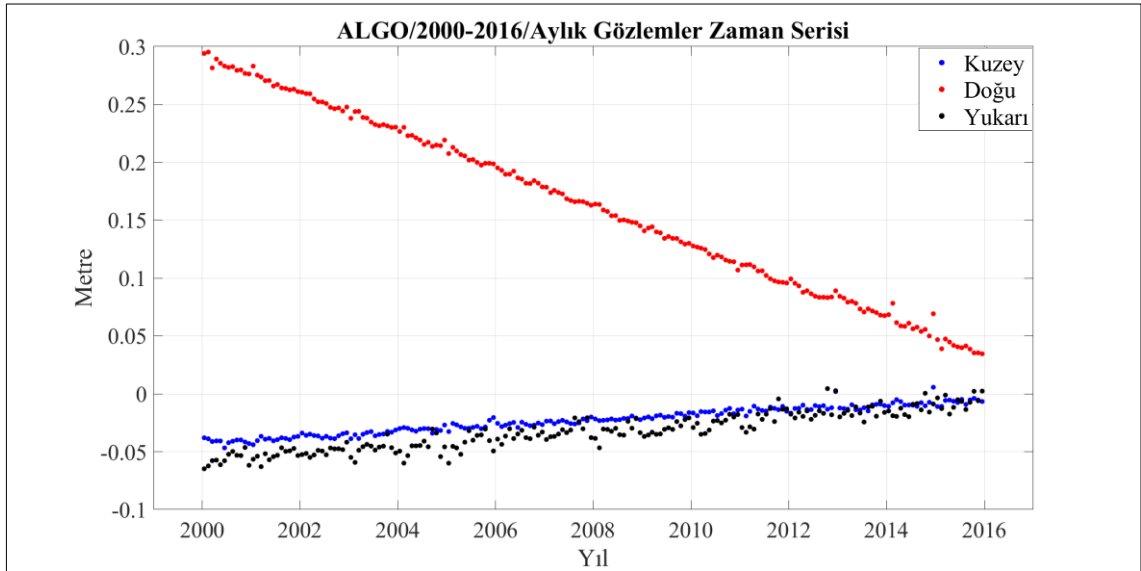
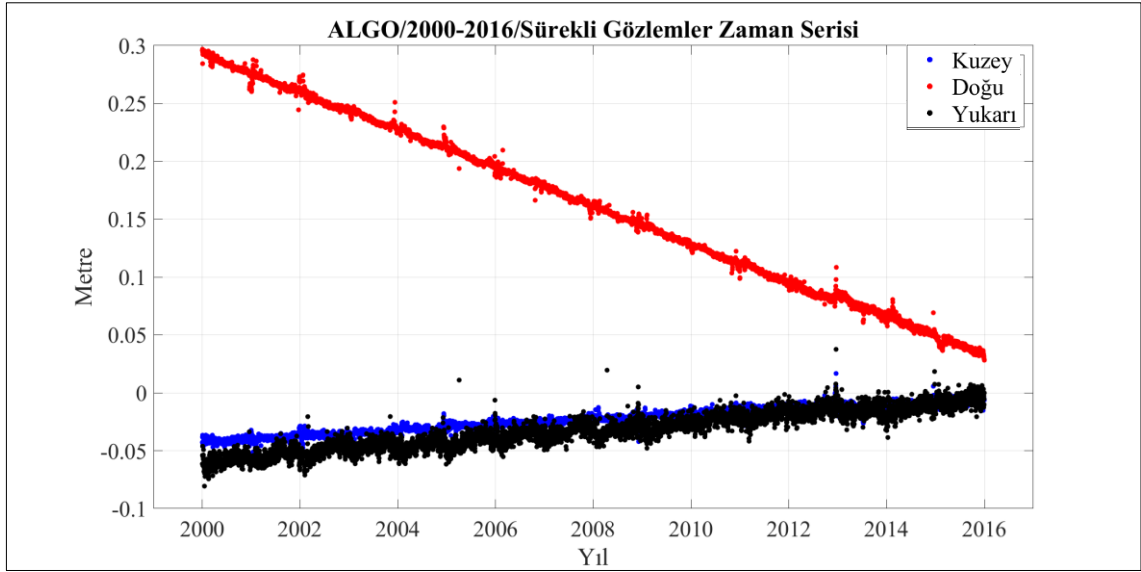
- [39] Türen, Y. ve Üstün, A., (2016). "Astrojeodezik Nivelmanda Astronomik Koordinatların Doğruluğunun Yerel Jeoit Belirlemeye Etkisi", İstanbul/Türkiye: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [40] ESA, (2000). "Explore Earth Online", Available at: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/l/lageos>. Accessed 2019.
- [41] Erdogan, B. Karlitepe, F. Ocalan, T. ve Tunalioglu, N., (2018). "Performance analysis of Real Time PPP for transit of Mercury", Measurement, 129: 358-367.
- [42] Erol, T., (2019). "Ticari Yazılımlar ile Üretilen Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri Çözümlerinin Doğruluğu", Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [43] Turen, Y. Kara, T. Salgin, Ö. İlbey, A. Kulaksız, E. Turen, Z. ve Bakici, S., (2017). "Since Its Inception Analyses of CORS-TR Users on GIS Applications", Çanakkale/Turkey.
- [44] IERS, (2013). "IERS Directing Board", Available at: <https://www.iers.org/IERS/EN/Organization/DirectingBoard/IERSDirectingBoard.html>. Accessed 2019.
- [45] IGS, (1994). "IGS Network", Available at: <http://www.igs.org/network>. Accessed 2019.
- [46] SOPAC, (2017). "Data Browser", Available at: <http://sopac-old.ucsd.edu/dataBrowser.shtml>. Accessed 2019.
- [47] CDDIS, (2019). "Data and derived products overview", Available at: [https://cddis.nasa.gov/Data\\_and\\_Derived\\_Products/CddisArchiveExplorer.html](https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/CddisArchiveExplorer.html). Accessed 2019.
- [48] Öcalan, T. ve Soyca, M., "Gnss Verisinin Gerçek Zamanlı İletimi için Uluslar arası Standartlar ve Gelişmeler", Ankara: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası
- [49] Gurtner, W., (2013). The Receiver Independent Exchange Format RINEX Version 3.02, Boulder Colorado/USA: Astronomical Institute of the University of Bern, Switzerland and Lou Estey, UNAVCO.
- [50] IGS, (2015). The Receiver Independent Exchange Format Version 3.03, Switzerland and Boulder Colorado, USA.: Werner Gurtner, Astronomical Institute of the University of Bern and Lou Estey, UNAVCO
- [51] Seeber, G., (2003). Satellite Geodesy, Hubert & Co. GmbH & Co. Kg, Göttingen: Walter de Gruyter.
- [52] Dach, R. ve Walser, P., (2013). Bernese GNSS Software Version 5.2, Switzerland Astronomical Institute of the University of Bern.
- [53] Gregorious, T., (1996). GIPSY-OASIS II How it works, Newcastle/England: University of Newcastle upon Tyne.
- [54] Webb, F.H. ve Zumberge, J.F., (1995). An Introduction to GIPSY-OASIS II, California Institute of Technology/USA: Jet Propulsion Laboratory User Manual, JPL Technical Document.

- [55] Pow, P., "Wave", Available at: <http://www.cis.rit.edu/people/staff/pow/Nelson-Nasca/ImPhySci/Waves.pdf>. Accessed 2019.
- [56] Morin, D., (2009). Fourier analysis, D. Morin, ed. Waves. Cambridge, Massachusetts, USA: Harvard University.
- [57] Chatfield, C., (1995). The Analysis of Time Series an Introduction, Bath, Avon, BA2 7 AY, UK.: Chapman Hall Book Company.
- [58] Rawlings, J.O. Pantula, S.G. ve Dickey, D.A., (1998). Applied Regression Analysis, Berlin, Germany: Springer.
- [59] Ji, K.H. ve Herring, T.A., (2013). "A method for detecting transient signals in GPS position time-series: smoothing and principal component analysis", Geophysical Journal International, 193: 171-186.
- [60] Saracoglu, A. ve Sanli, D.U., (2016). "Seasonal effects on GPS PPP accuracy", Vienna, Austria.
- [61] Saracoglu, A. ve Sanli, D.U., (18-24 October 2017). "Accuracy of Regional PPP Results", Çanakkale, Turkey.
- [62] Williams, S.D.P., (2003b). "Offsets in Global Positioning System time series", Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 108.
- [63] Wang, G.Q. Turco, M. Soler, T. Kearns, T.J. ve Welch, J., (2017). "Comparisons of OPUS and PPP Solutions for Subsidence Monitoring in the Greater Houston Area", Journal of Surveying Engineering, 143: 05017005.
- [64] Dixon, T.H., (1991). "An Introduction to the Global Positioning System and Some Geological Applications", Reviews of Geophysics, 29: 249-276.
- [65] Gili, J.A. Corominas, J. ve Rius, J., (2000). "Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring", Engineering Geology, 55: 167-192.
- [66] Bukchin, B.G. Mostinsky, A.Z. Egorin, A.A. Levshin, A.L. ve Ritzwoller, M.H., (2001). "Isotropic and nonisotropic components of earthquakes and nuclear explosions on the Lop Nor test site, China", Pure and Applied Geophysics, 158: 1497-1515.
- [67] Zubovich, A. Schone, T. Metzger, S. Mosienko, O. Mukhamediev, S. Sharshebaev, A. ve Zech, C., (2016). "Tectonic interaction between the Pamir and Tien Shan observed by GPS", Tectonics, 35: 283-292.
- [68] Salamuni, E. Ebert, H.D. Borges, M.D. Hasui, Y. Costa, J.B.S. ve Salamuni, R., (2003). "Tectonics and sedimentation in the Curitiba Basin, south of Brazil", Journal of South American Earth Sciences, 15: 901-910.
- [69] Hayal, A.G. ve Sanli, D.U., (2016). "Revisiting the Role of Observation Session Duration on Precise Point Positioning Accuracy Using GIPSY/OASIS II Software", Boletim De Ciencias Geodesicas, 22: 405-419.

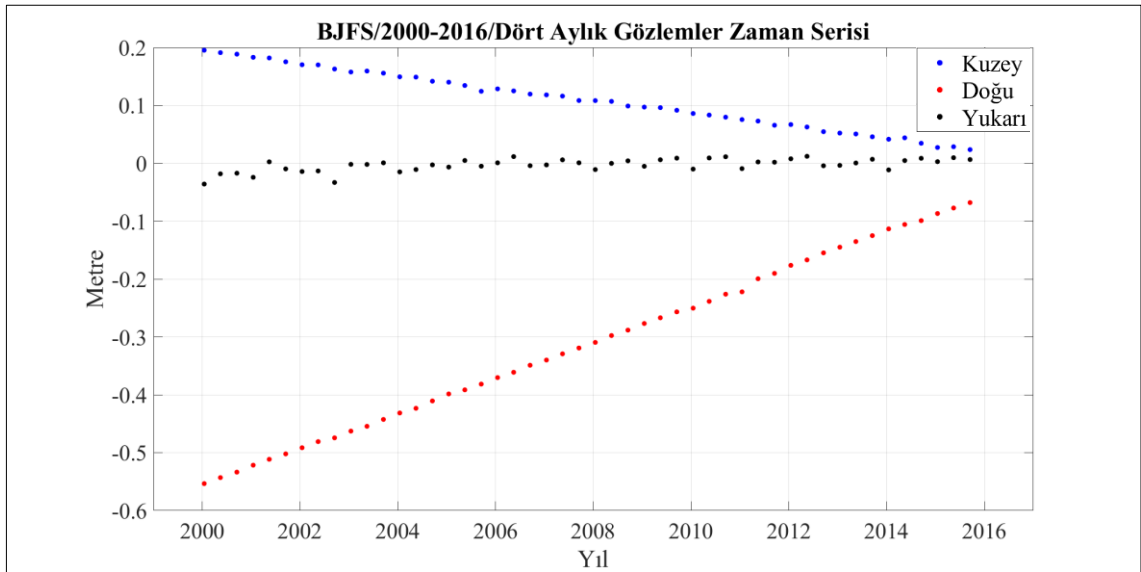
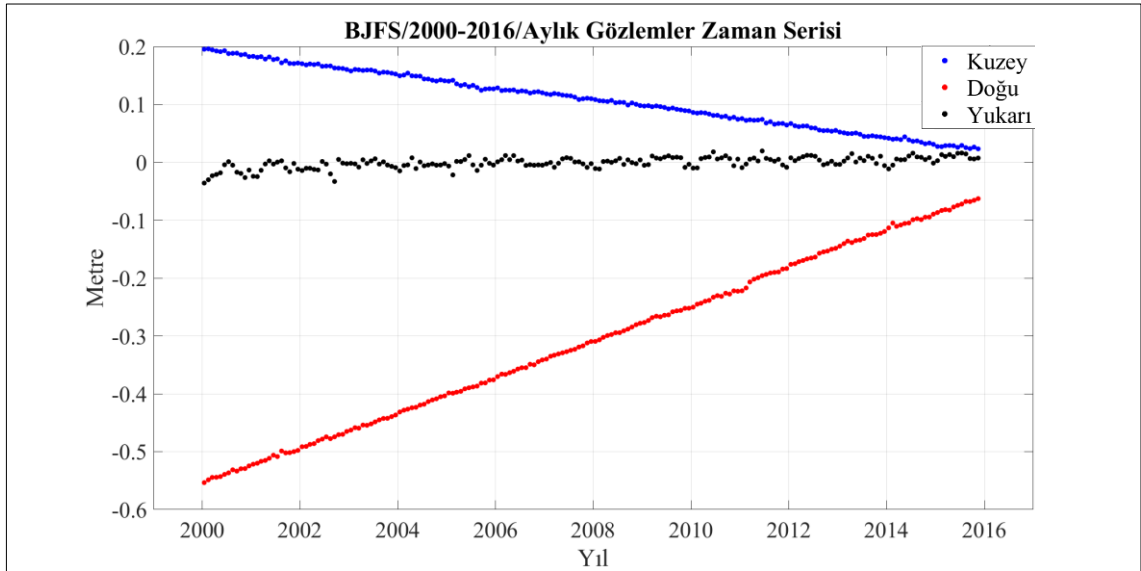
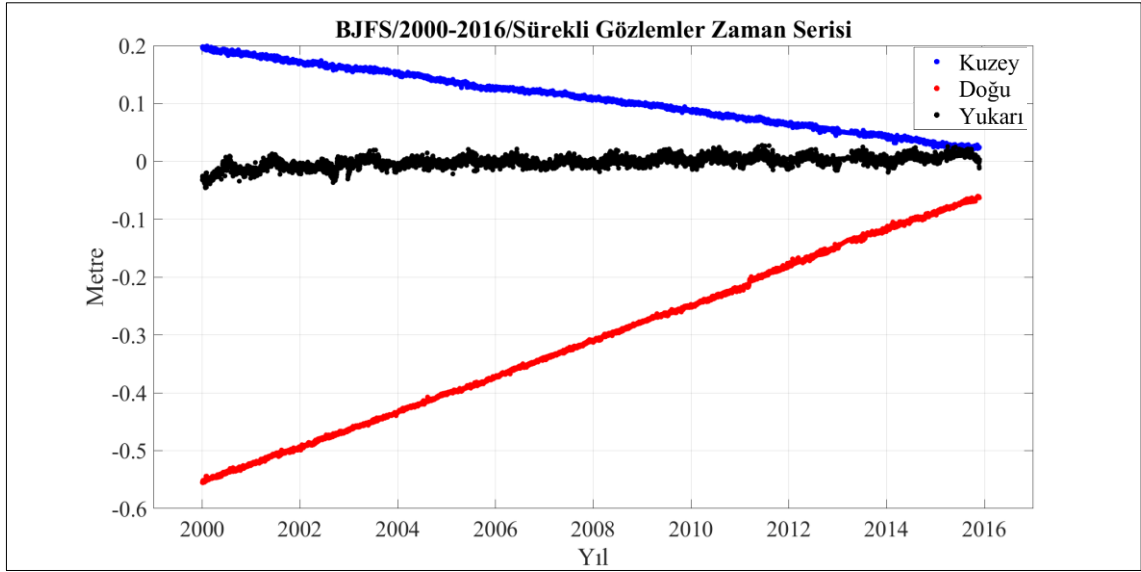
## 11 Adet İstasyon için 16 Yıllık Zaman Serileri

İstasyon Listesi;

ALGO, BJFS, GOLD, KERG, NNOR, ONSA, PDEL, SANT, SELE, SUTM, SYOG.

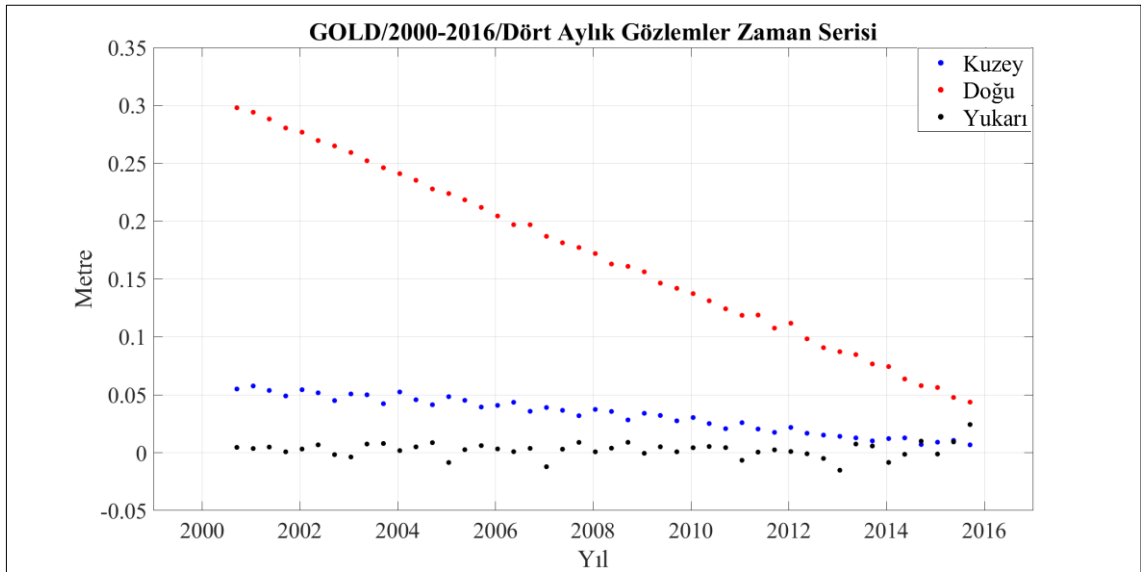
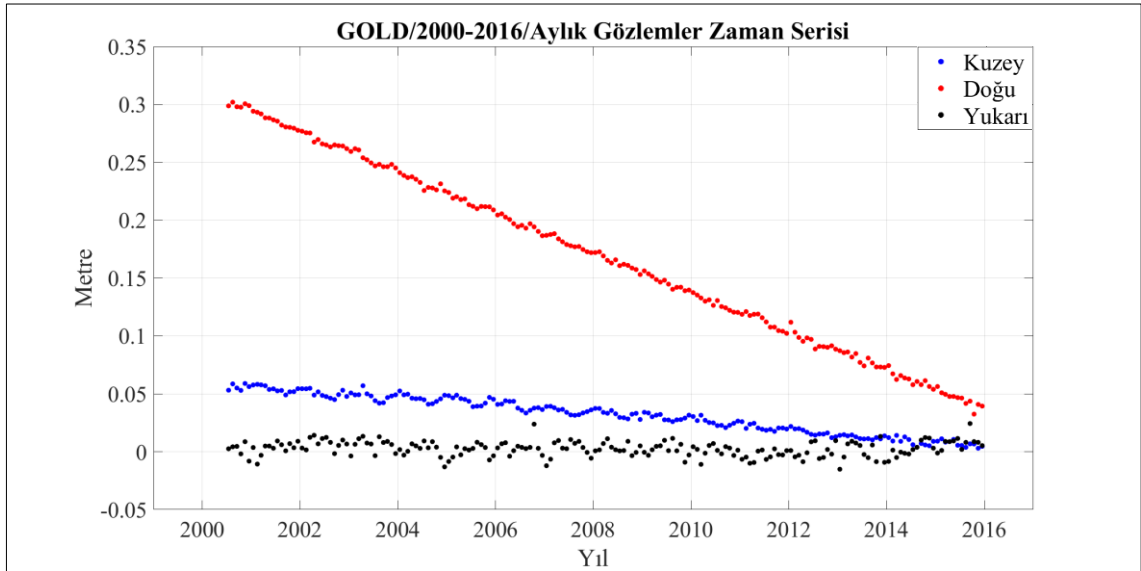
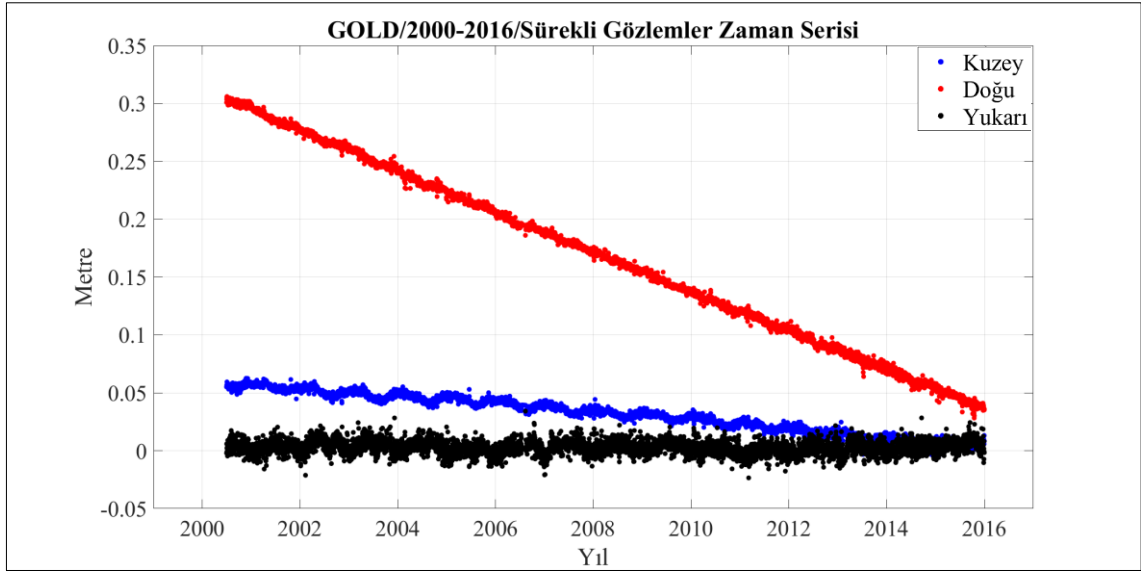


Şekil A. 1 ALGO istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016).

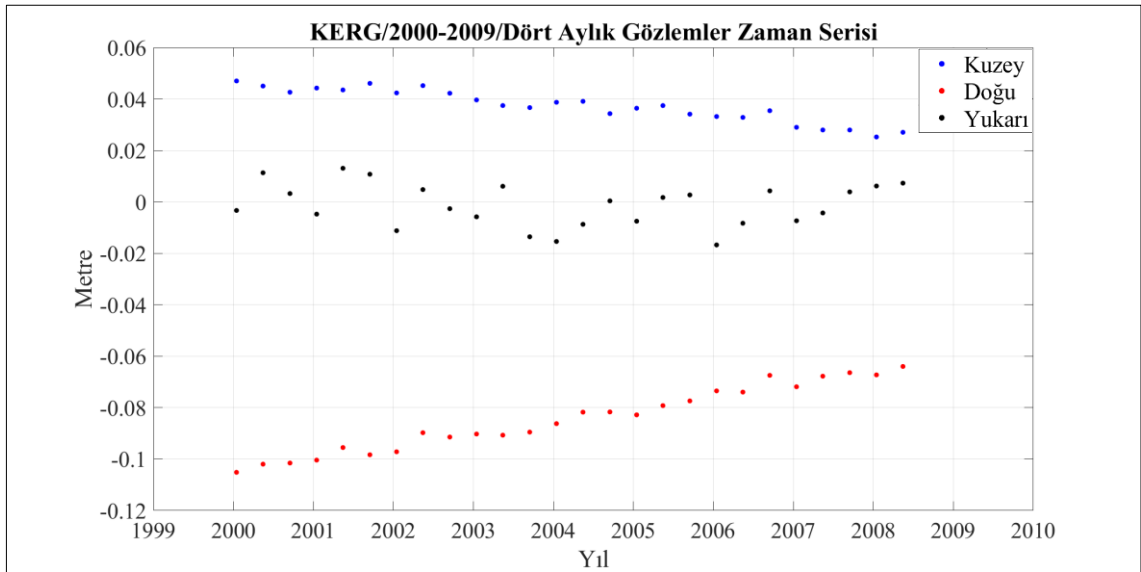
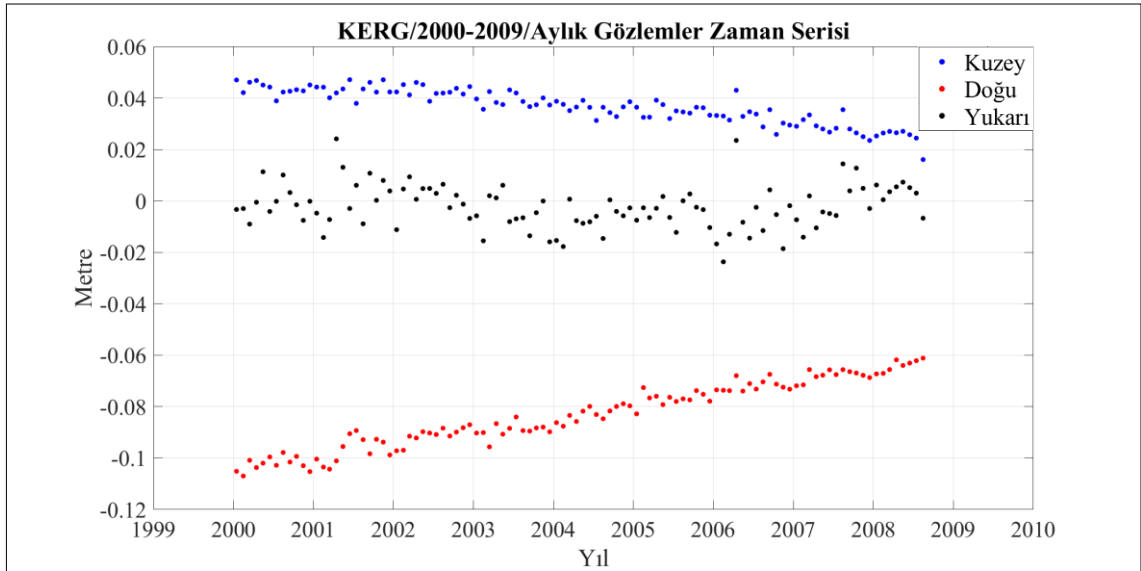
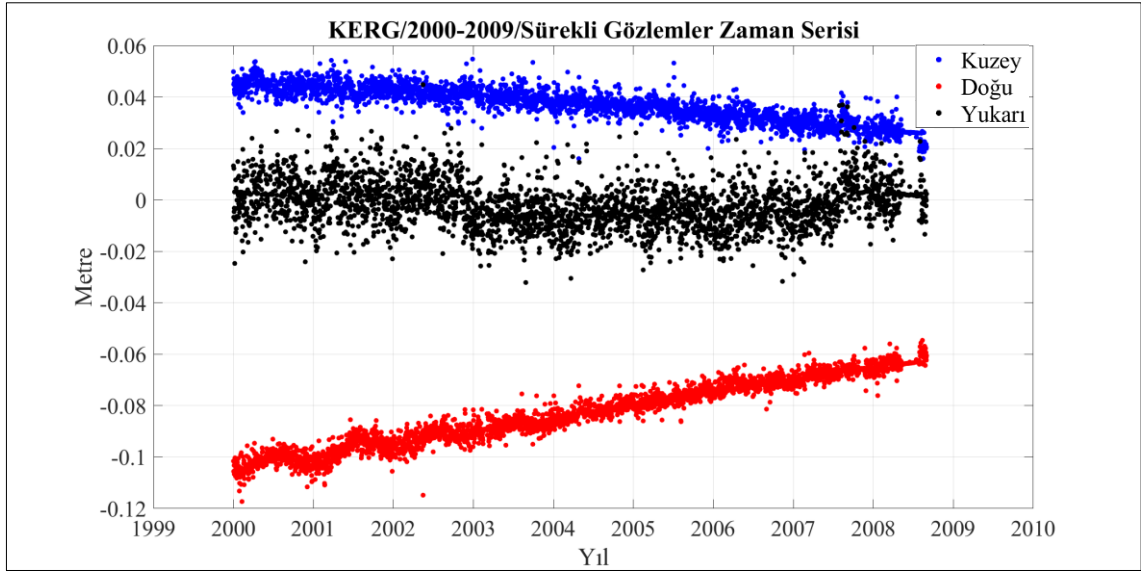


Şekil A. 2 BJFS istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016).

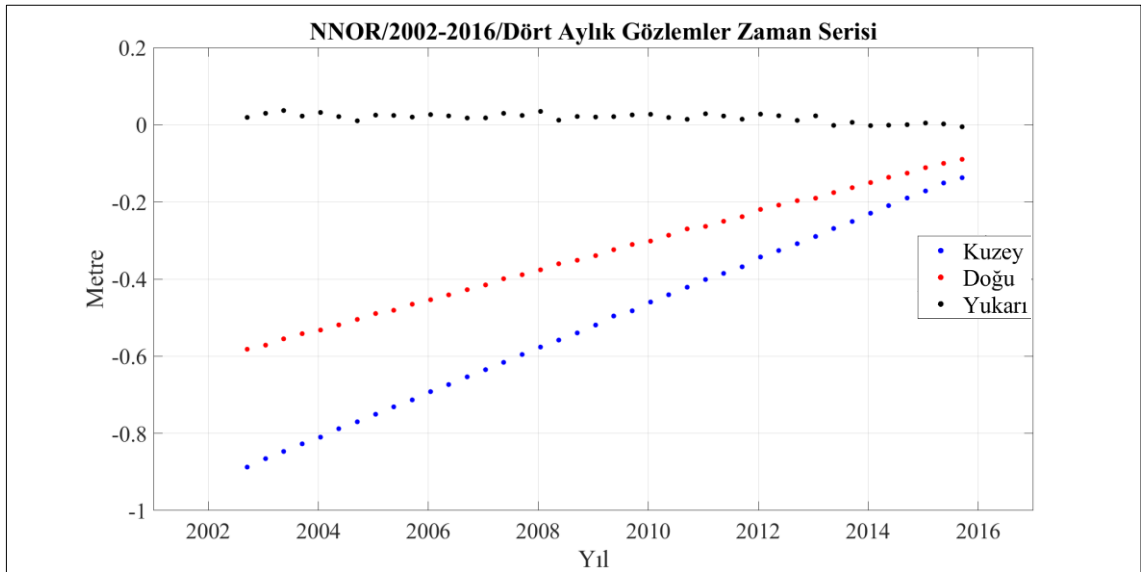
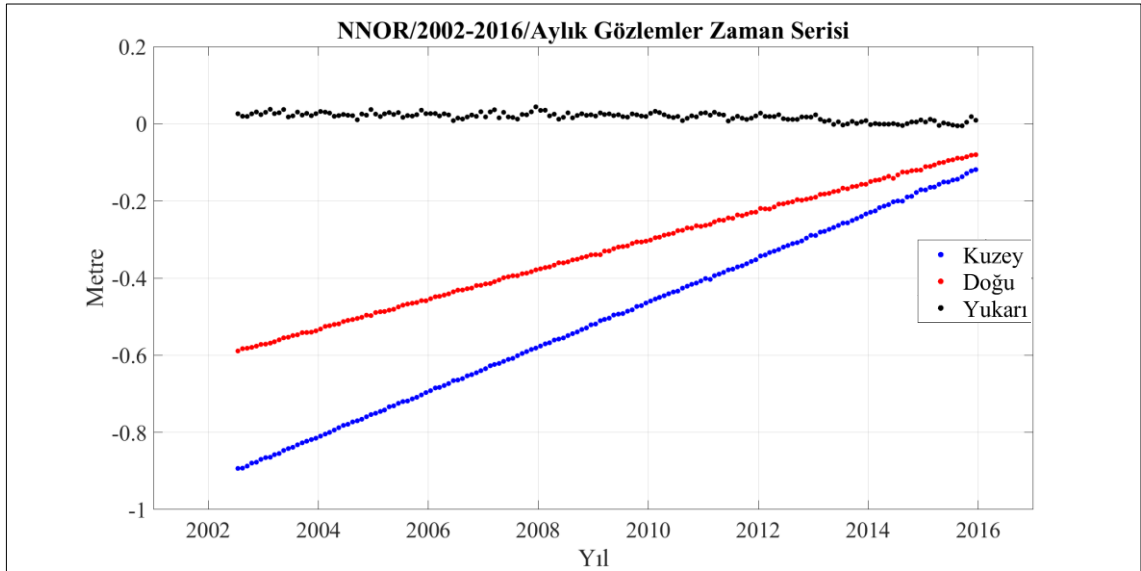
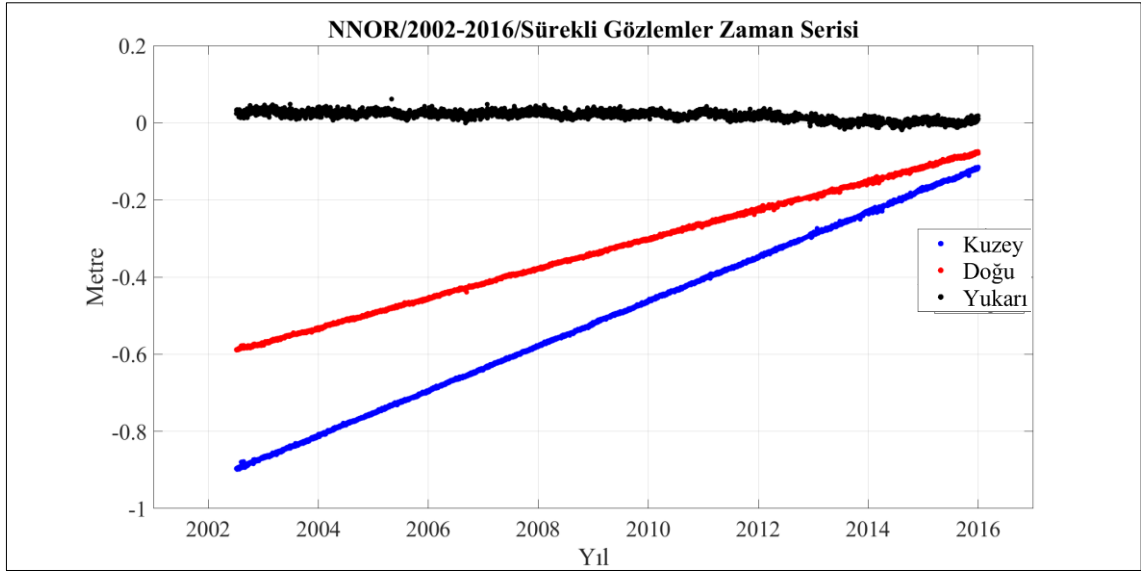




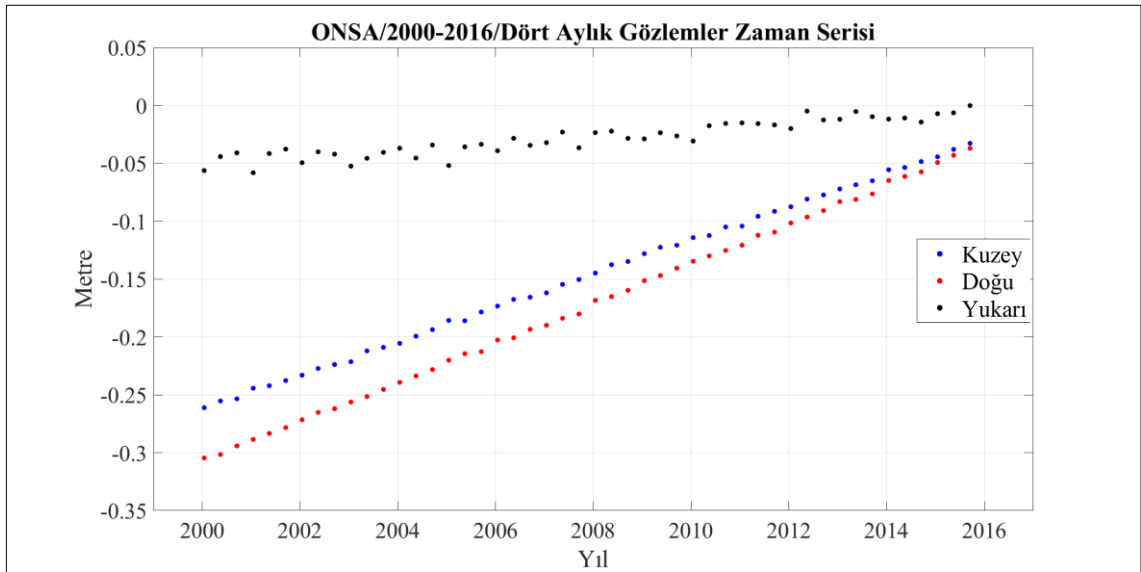
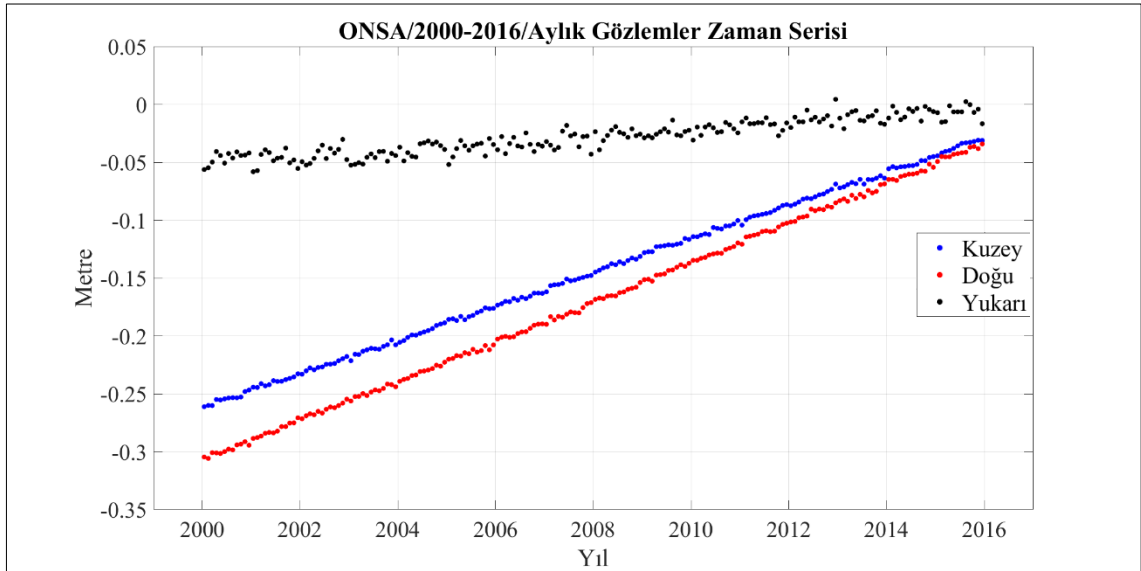
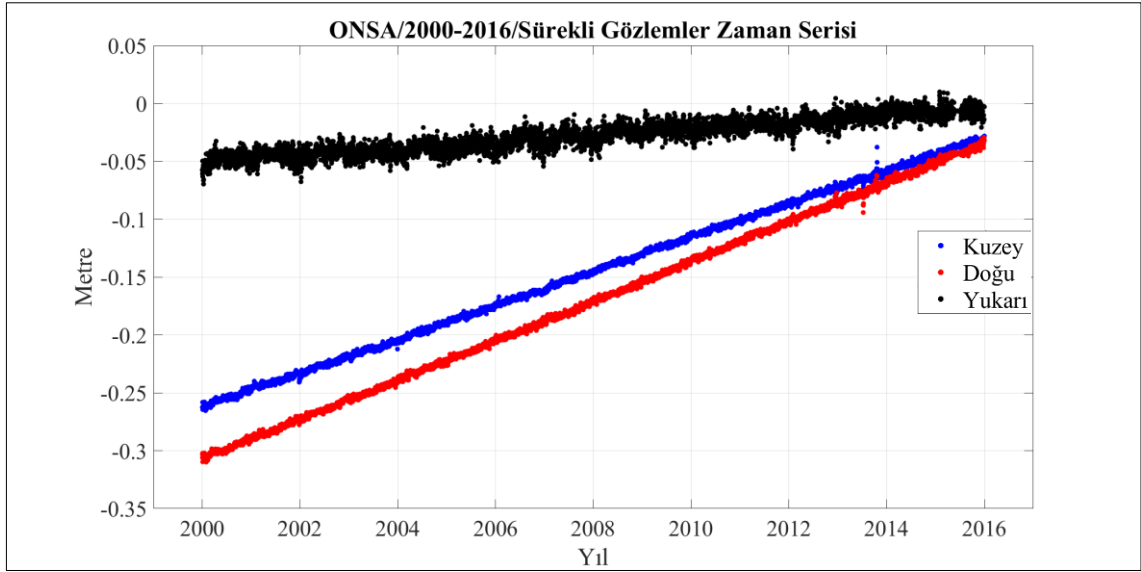
Şekil A. 3 GOLD istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016).



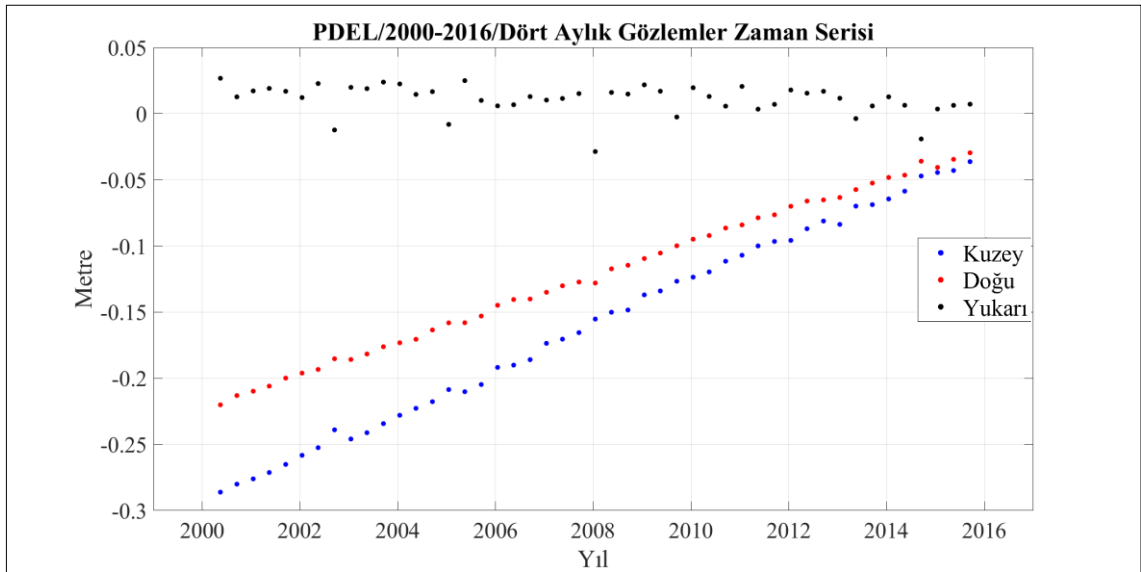
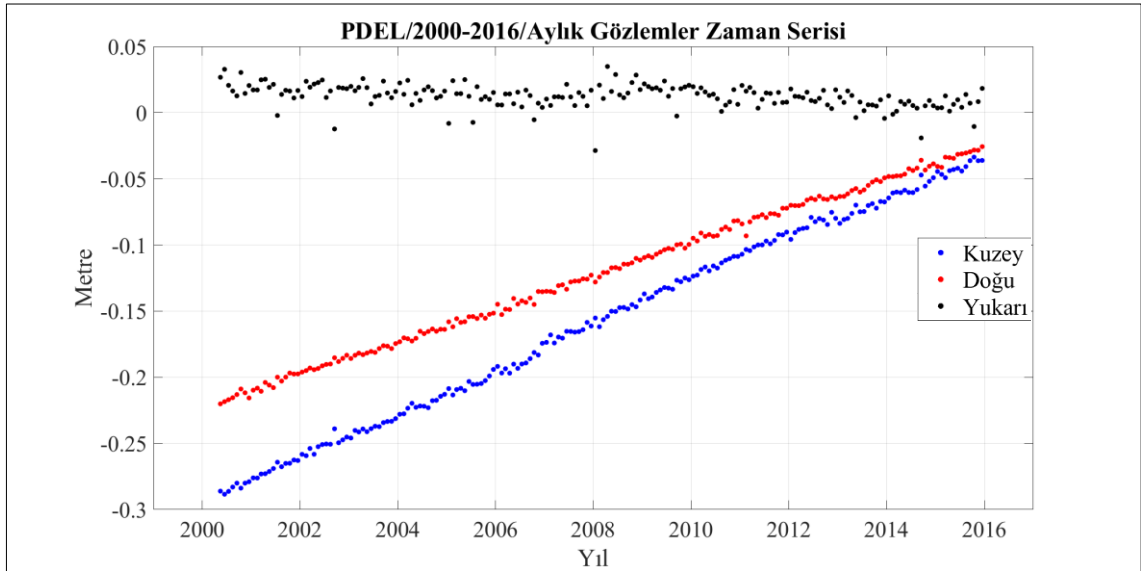
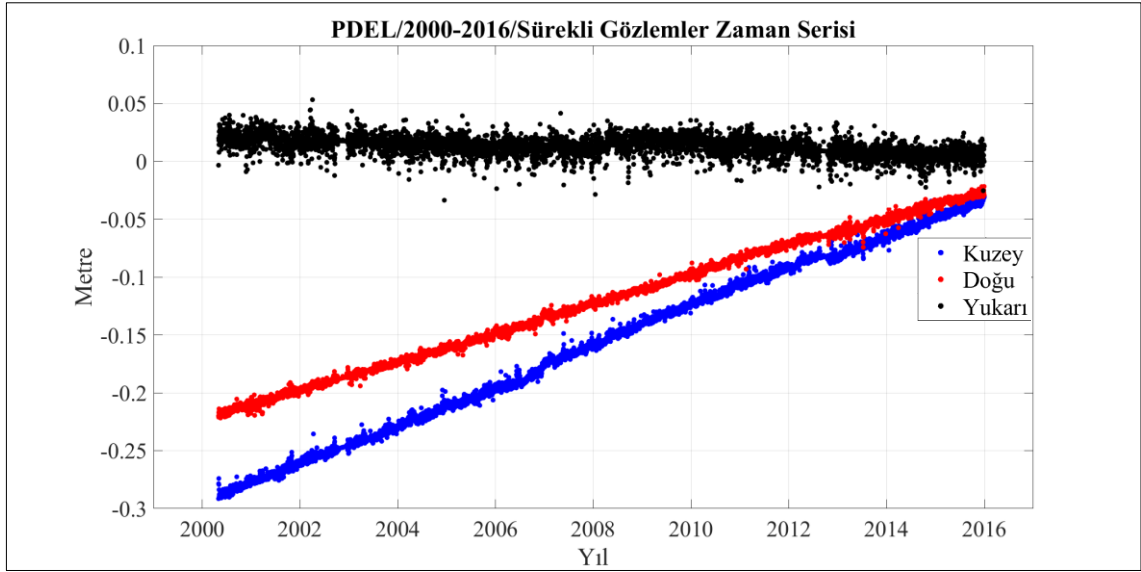
Şekil A. 4 KERG istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2009).



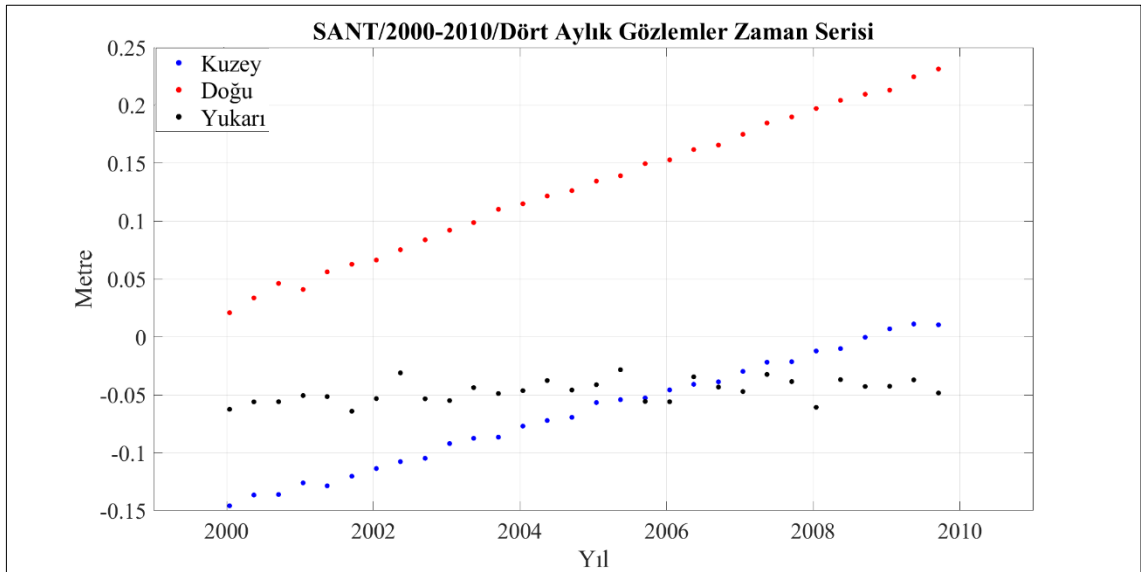
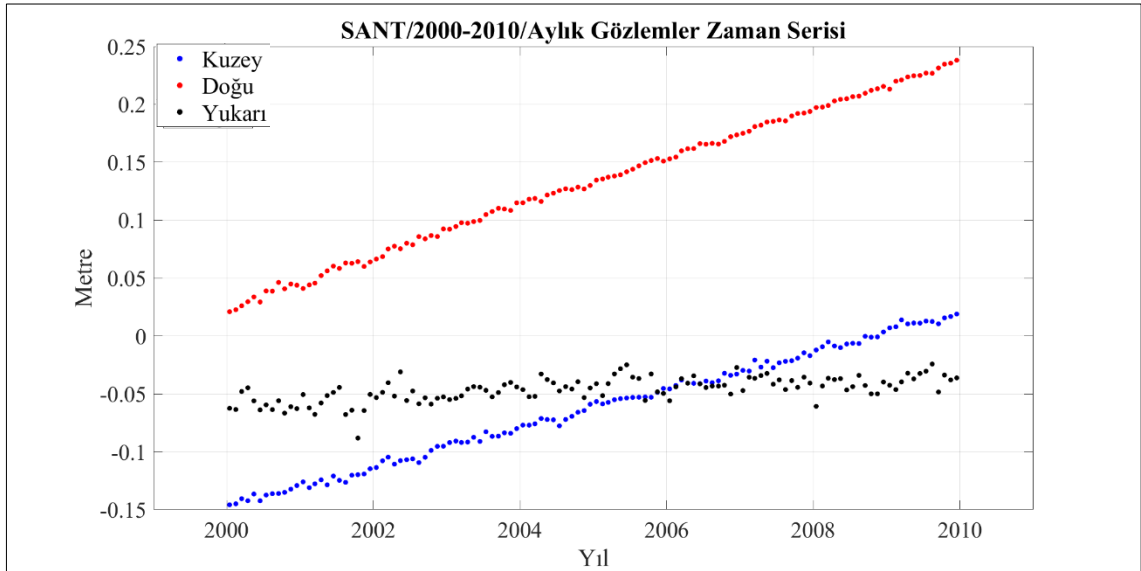
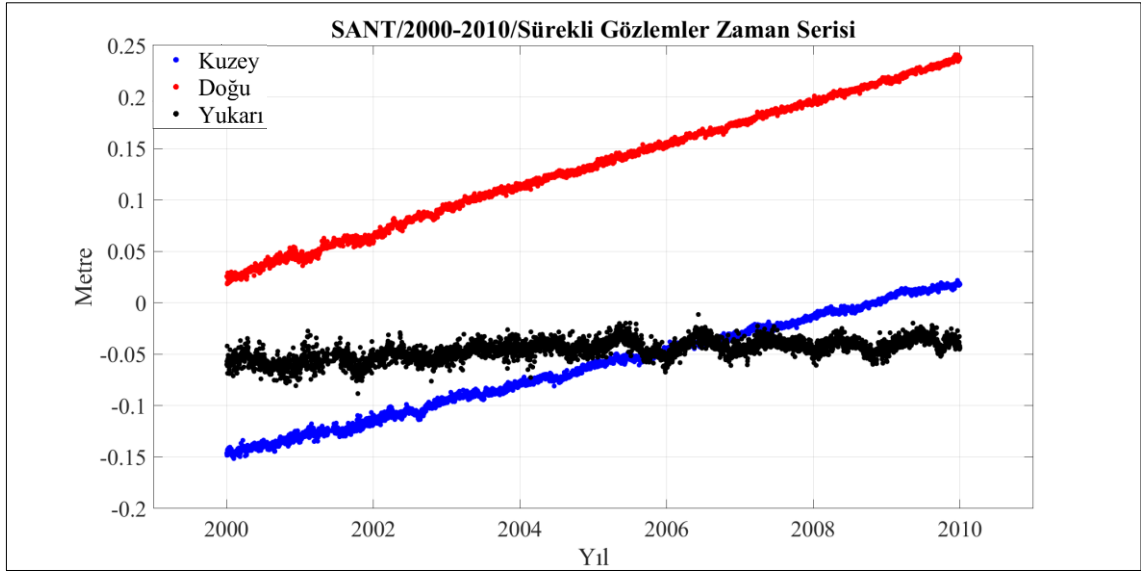
Şekil A. 5 NNOR istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2002-2016).



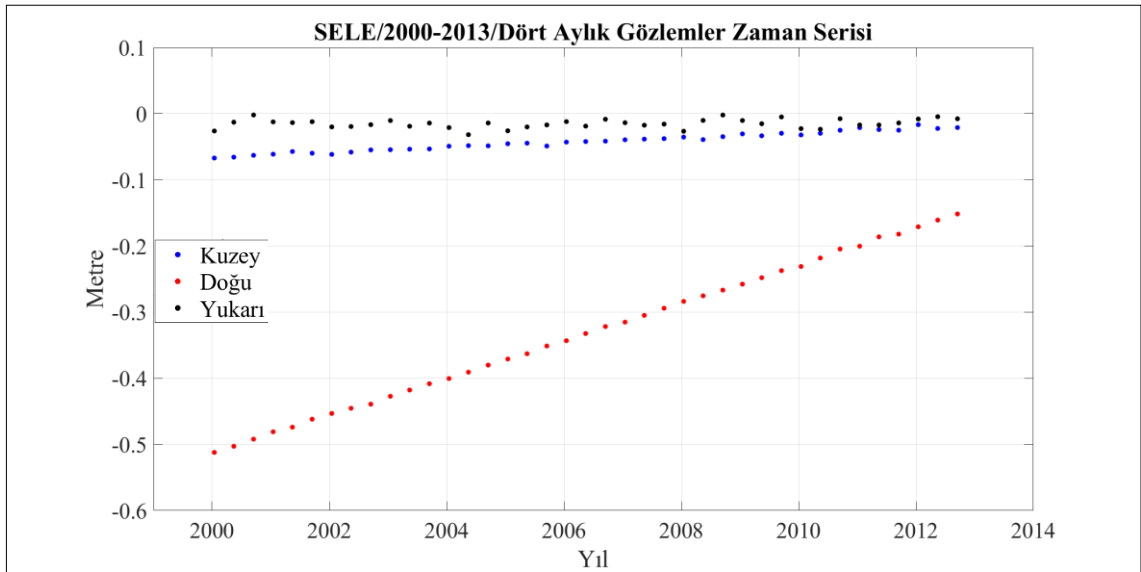
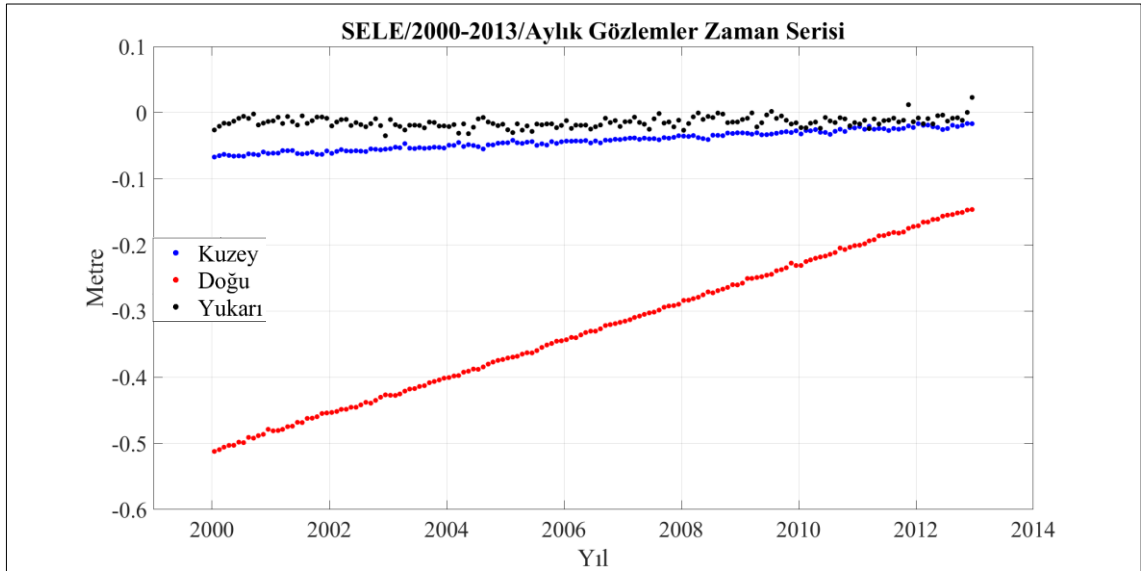
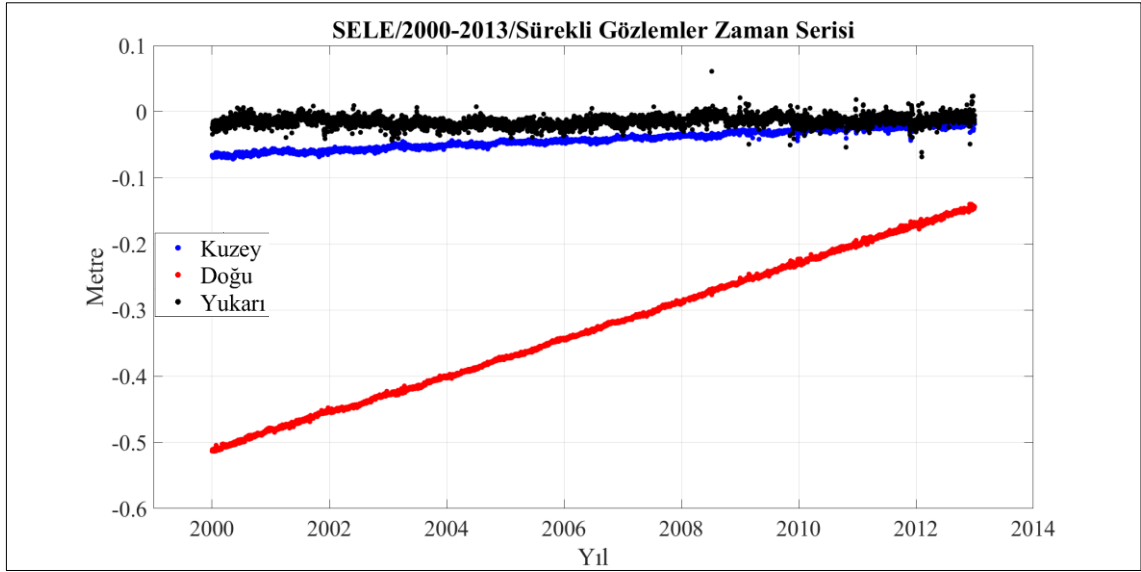
Şekil A. 6 ONSA istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016).



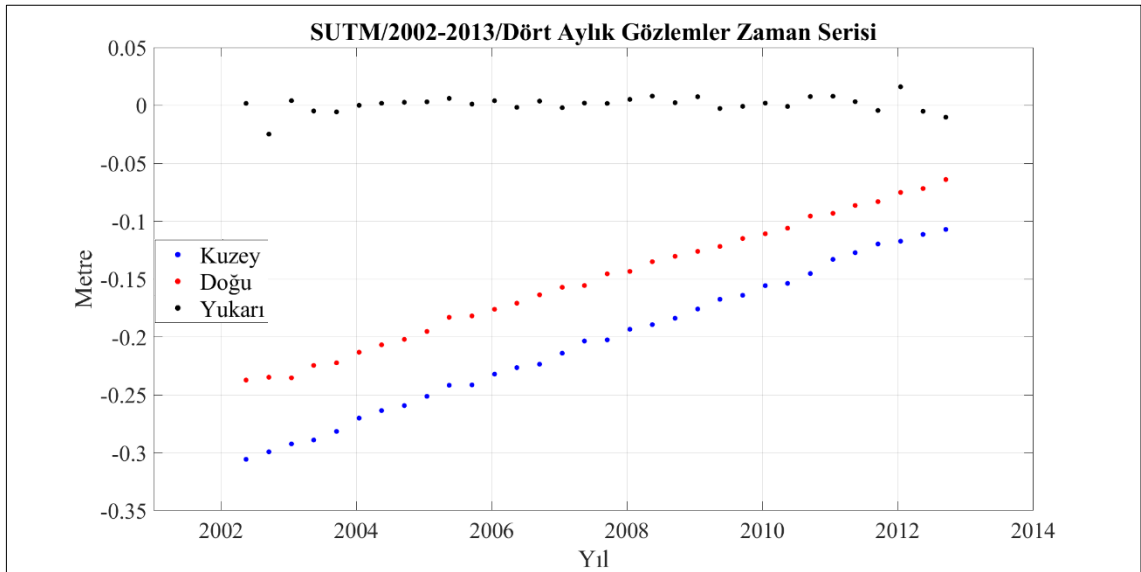
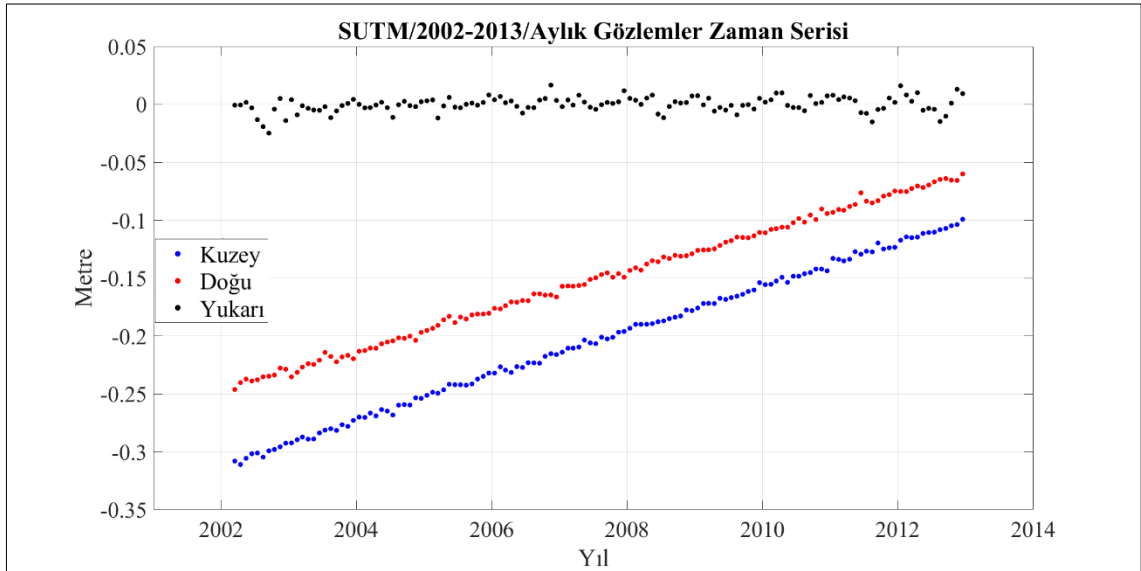
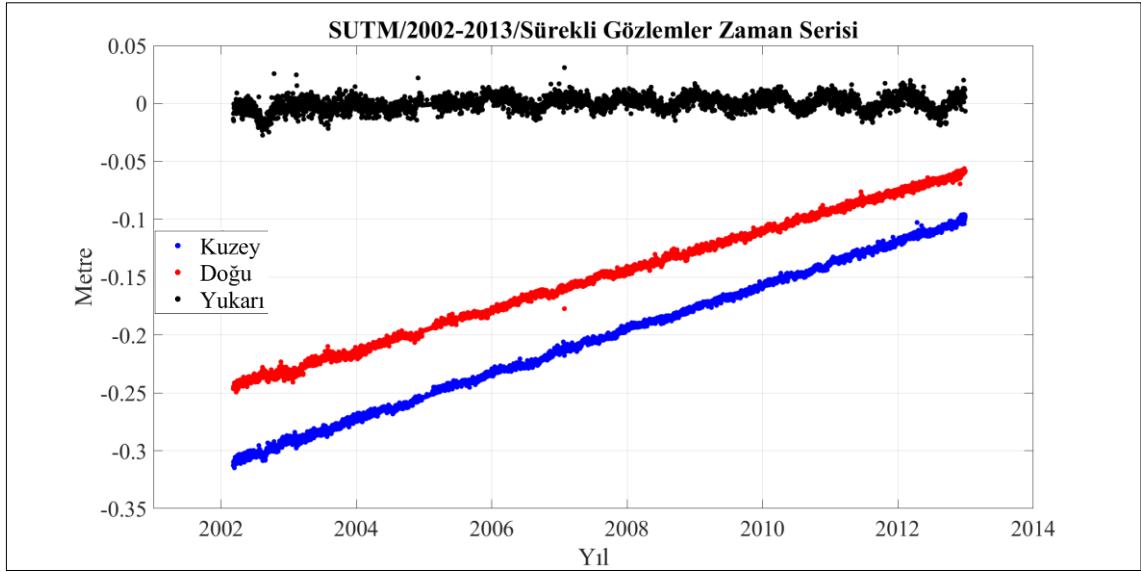
Şekil A. 7 PDEL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016).



Şekil A. 8 SANT istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2010).

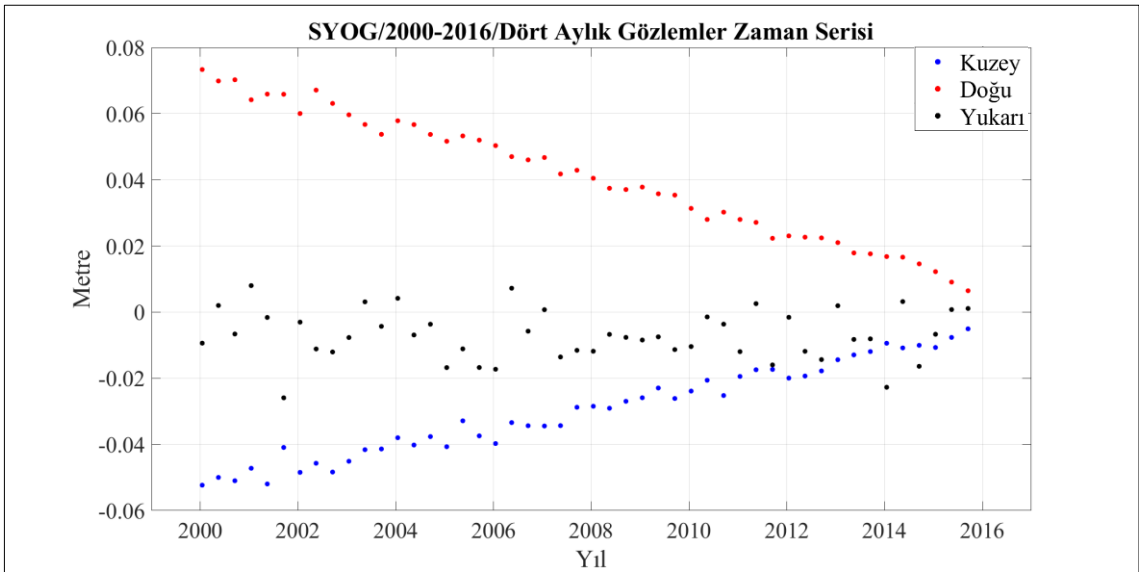
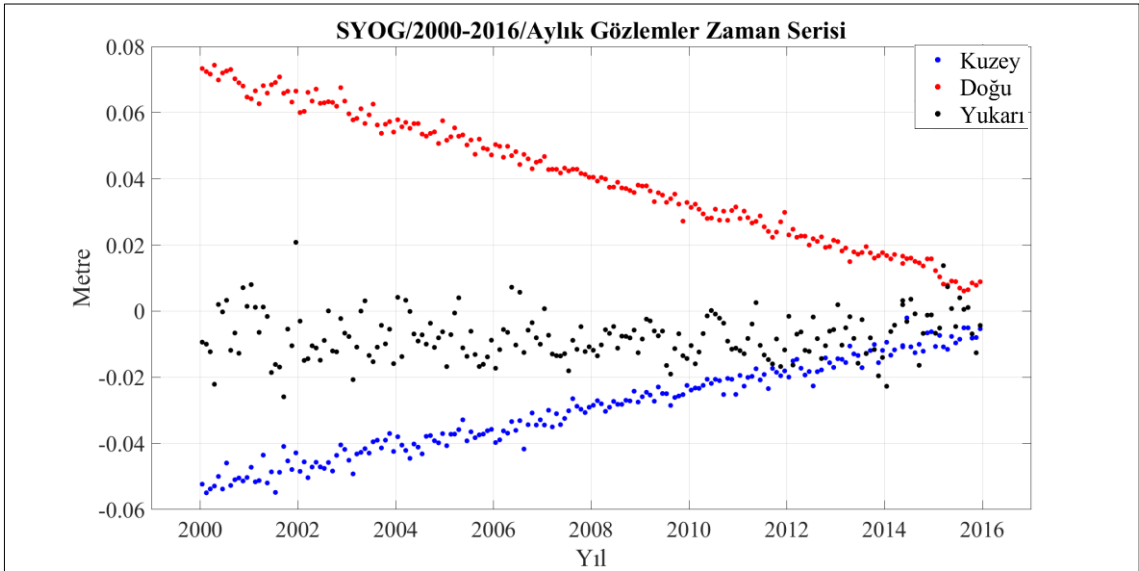
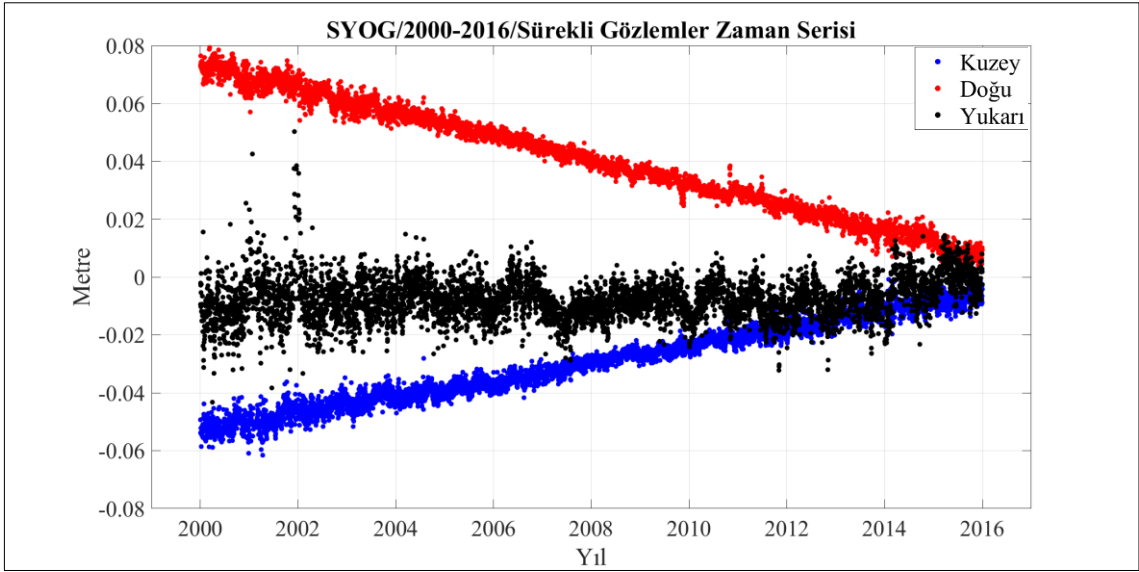


Şekil A. 9 SELE istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2013).



Şekil A. 10 SUTM istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2002-2013).



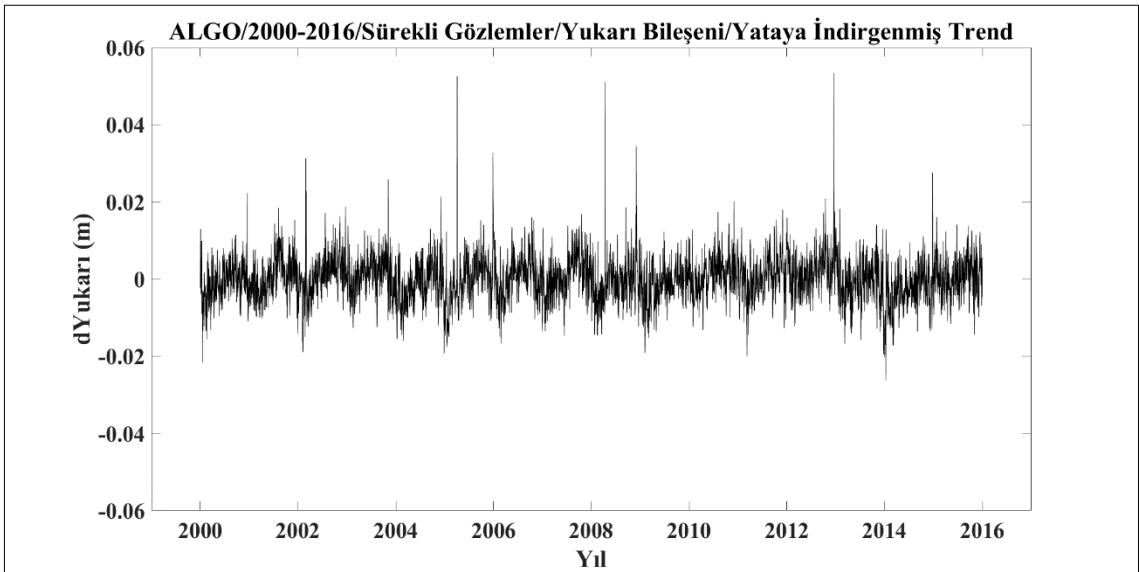
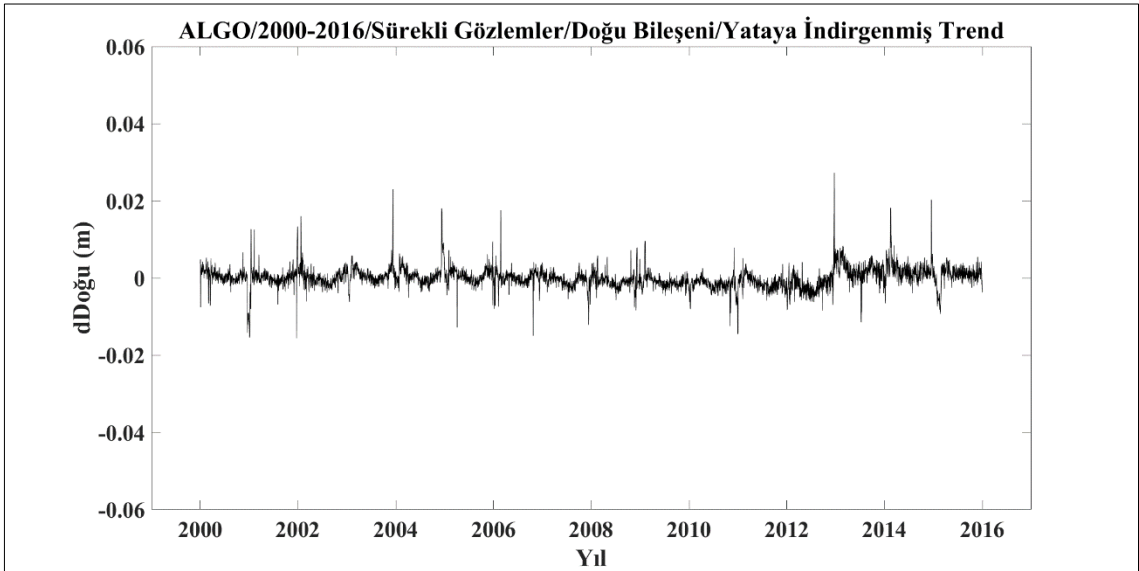
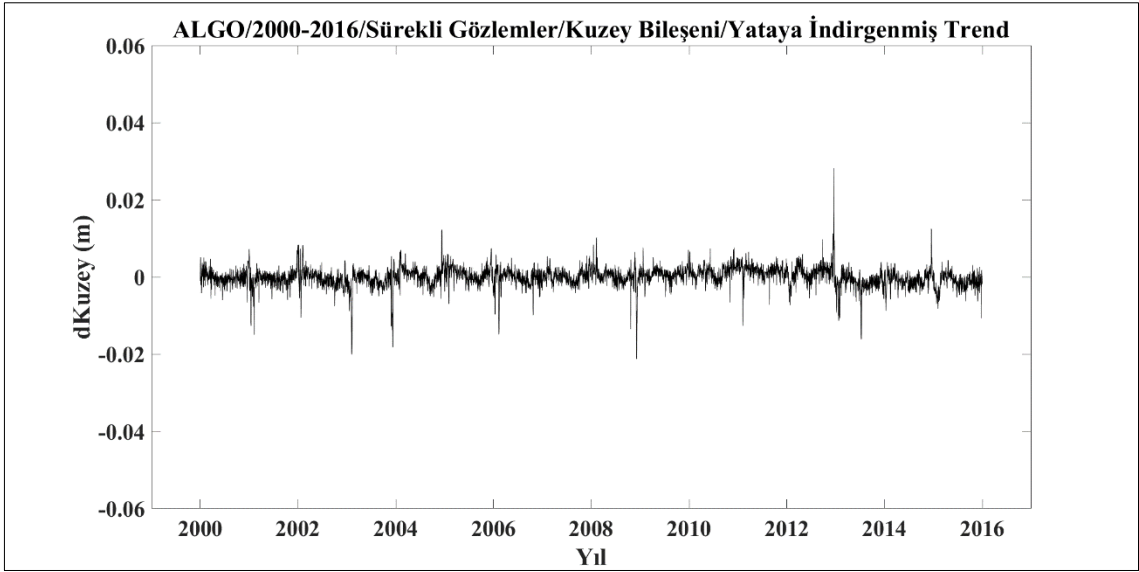


Şekil A. 11 SYOG istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2000-2016).

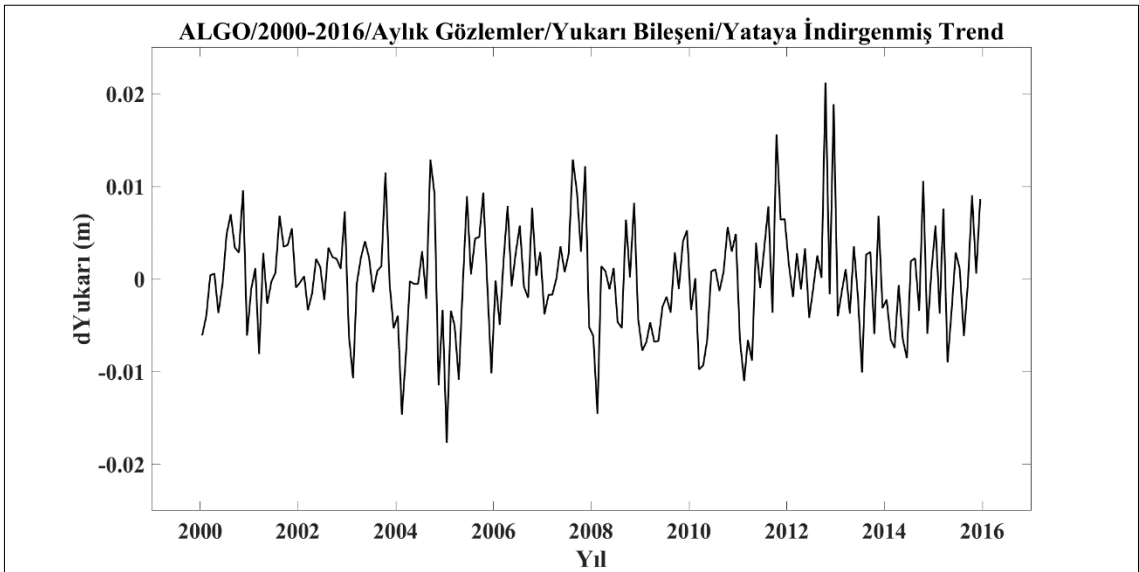
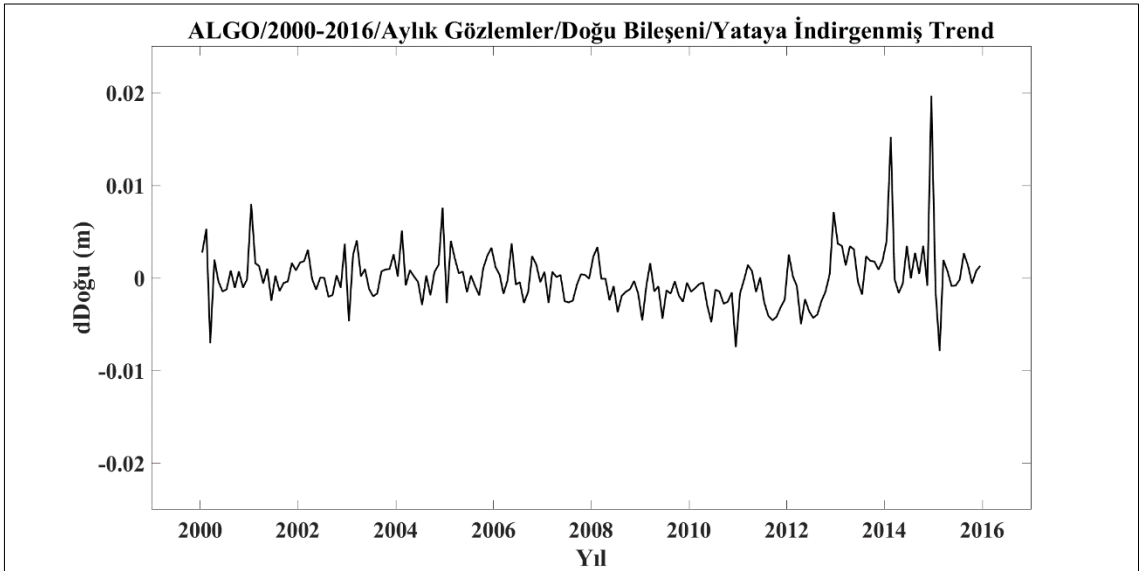
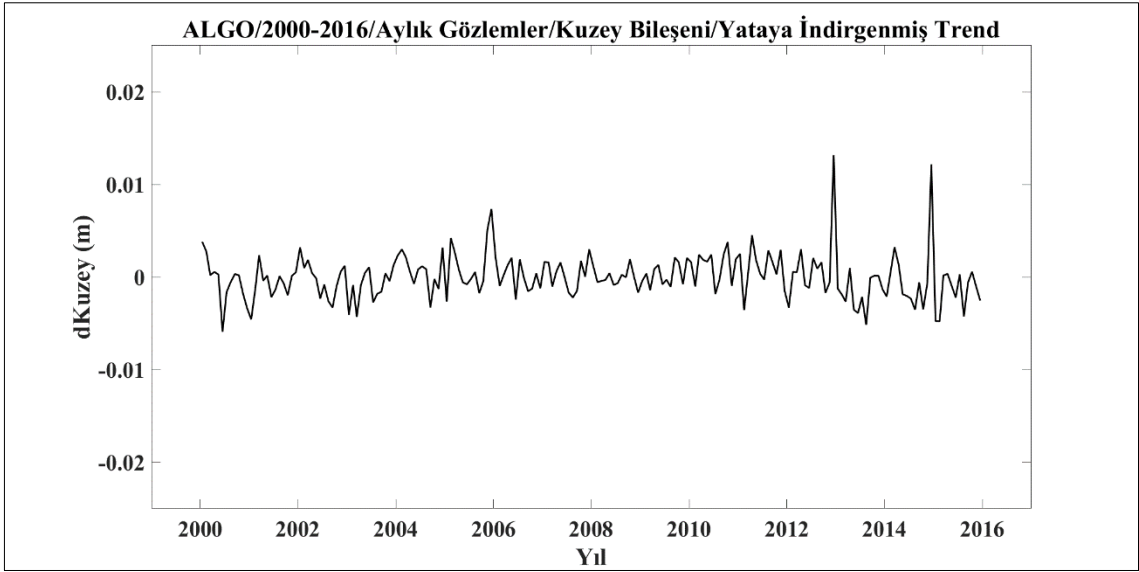
**11 Adet İstasyon için 16 Yıllık Yataya İndirgenmiş Terndler**

İstasyon Listesi;

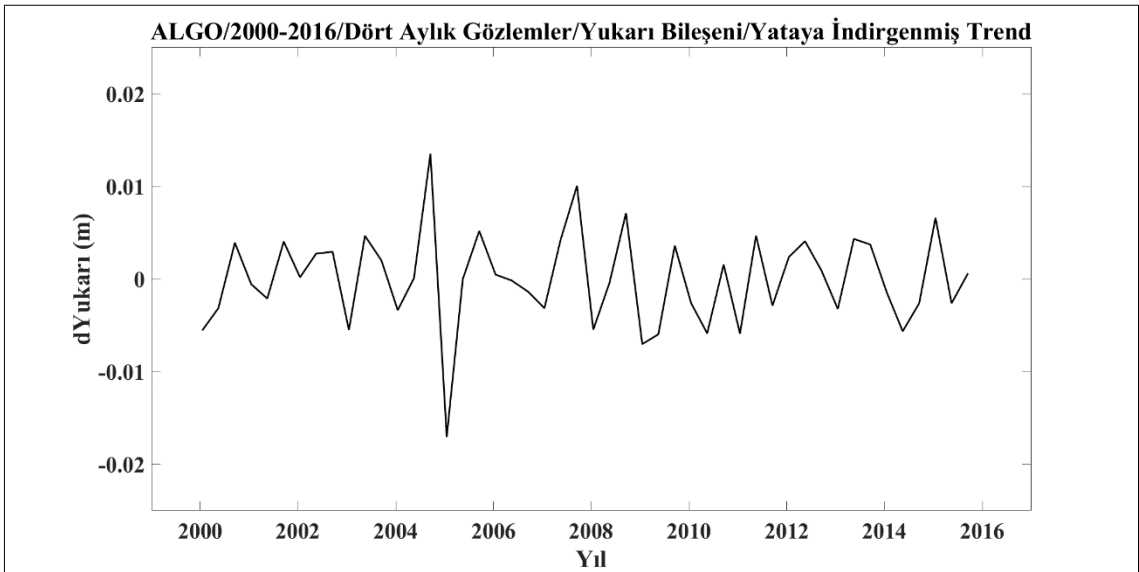
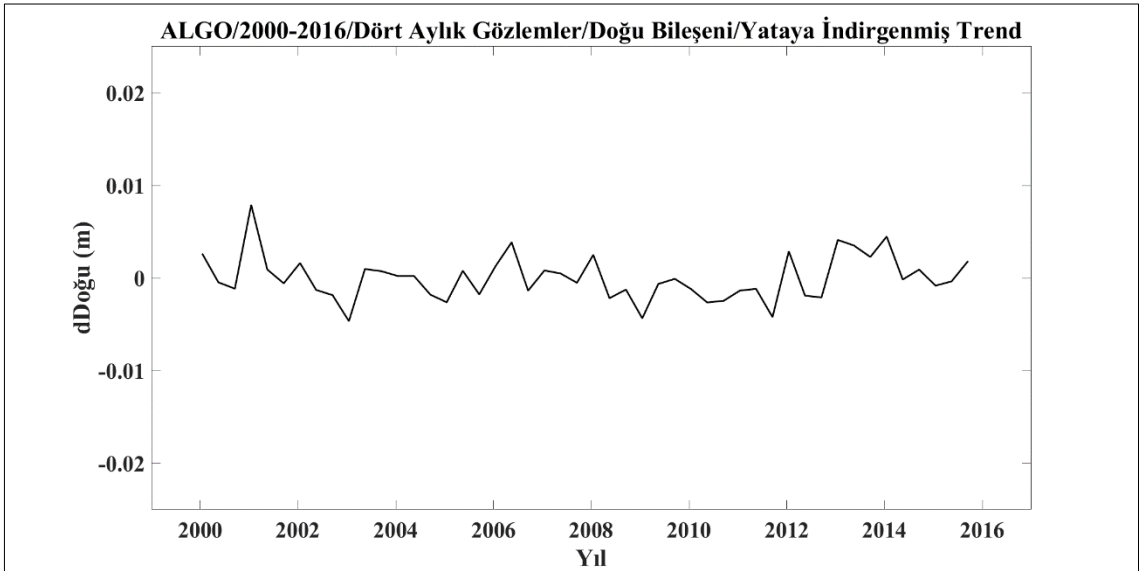
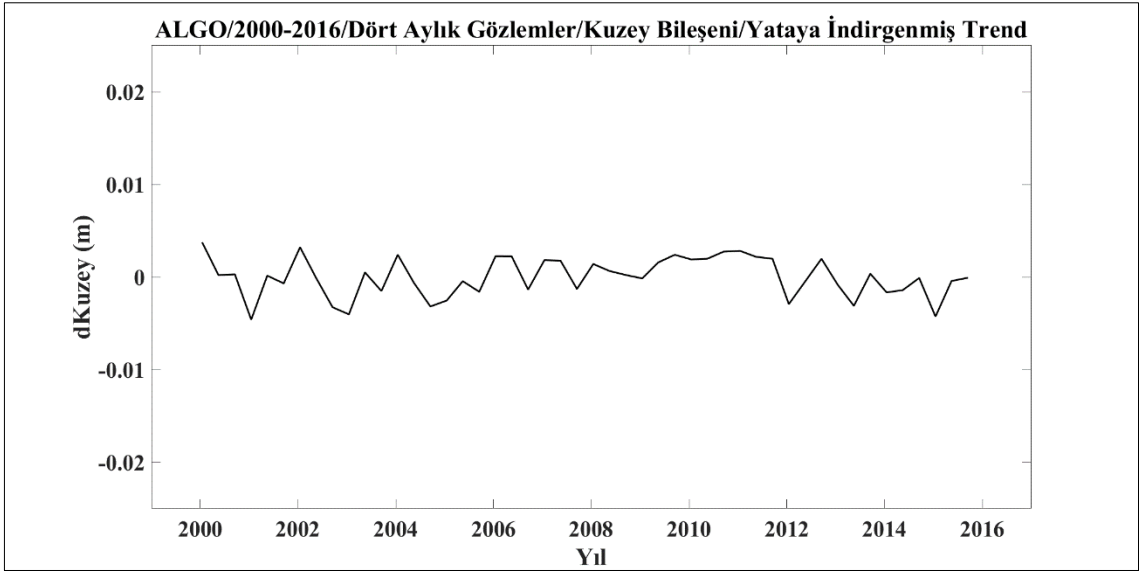
ALGO, BJFS, GOLD, KERG, NNOR, ONSA, PDEL, SANT, SELE, SUTM, SYOG.



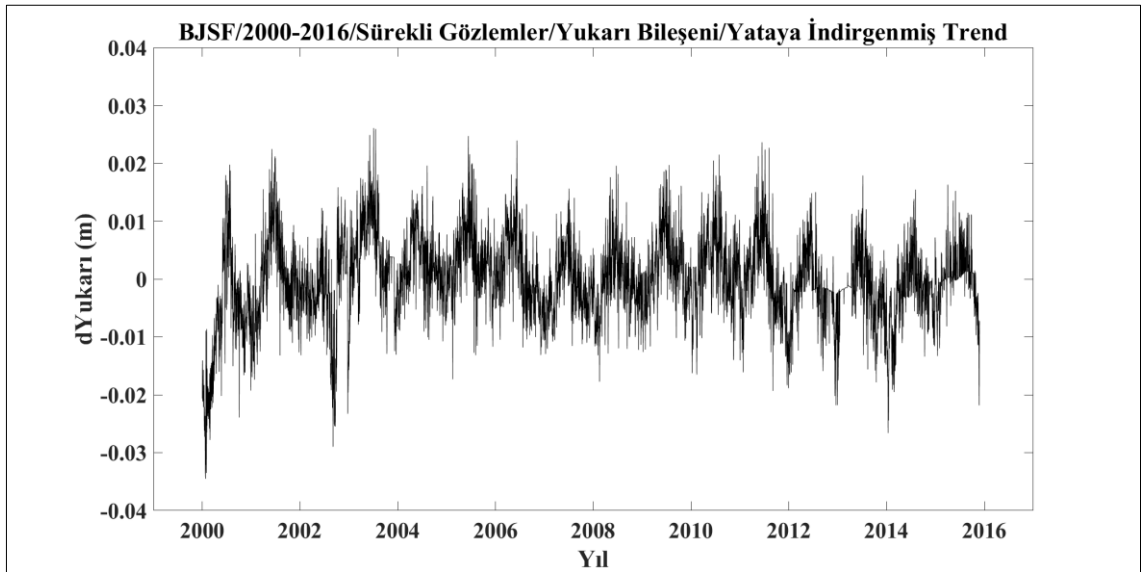
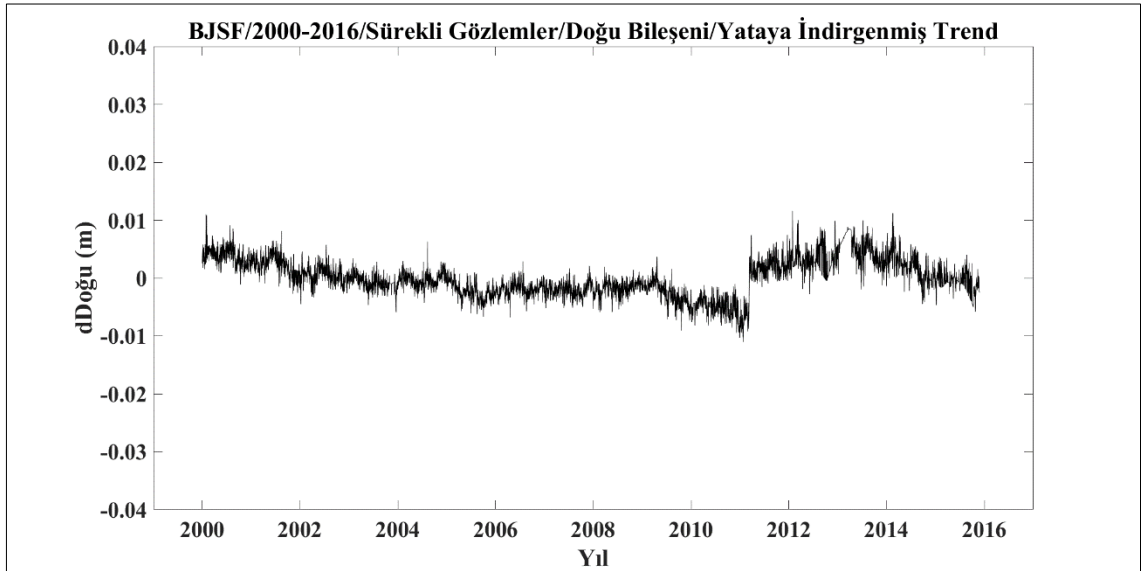
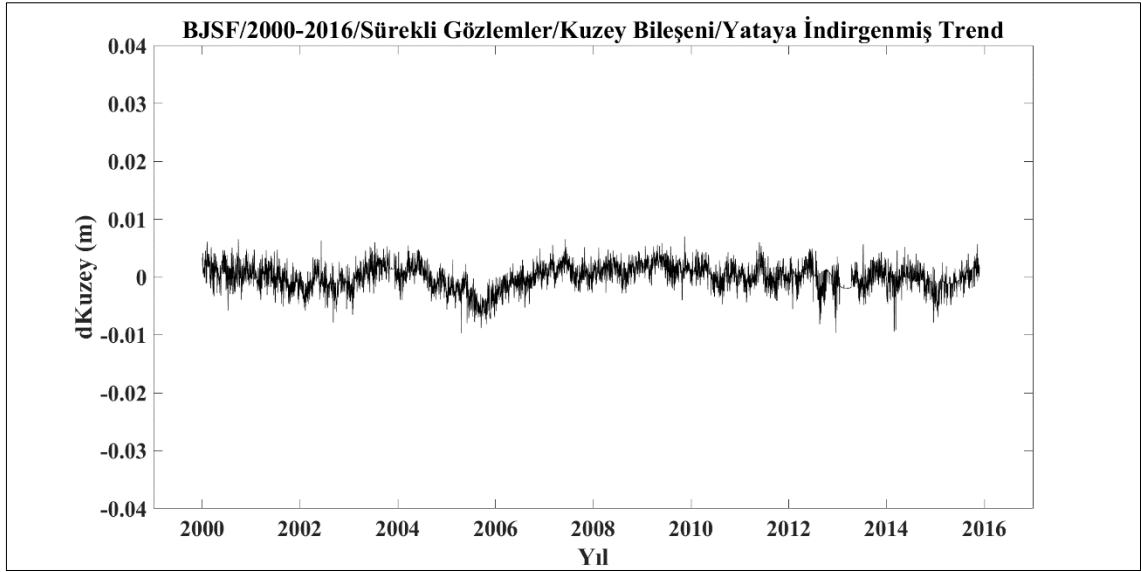
Şekil B. 1 ALGO istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



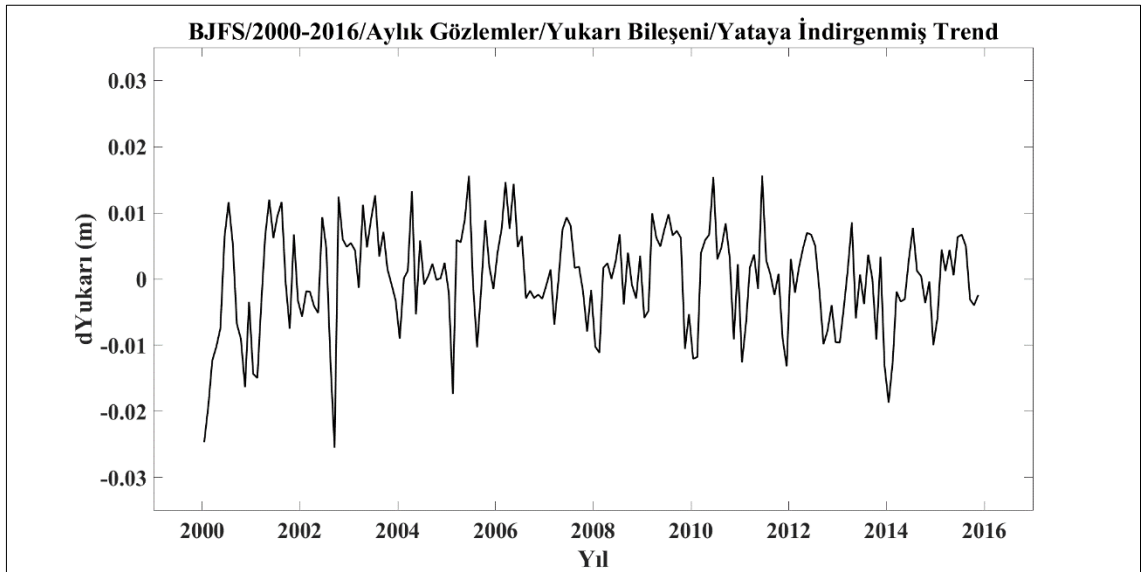
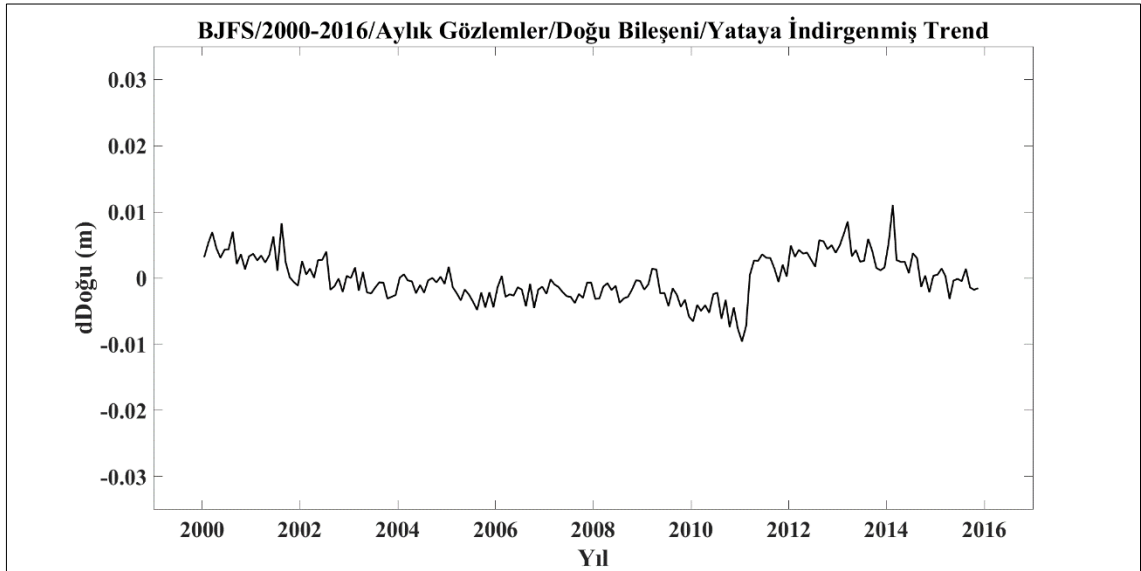
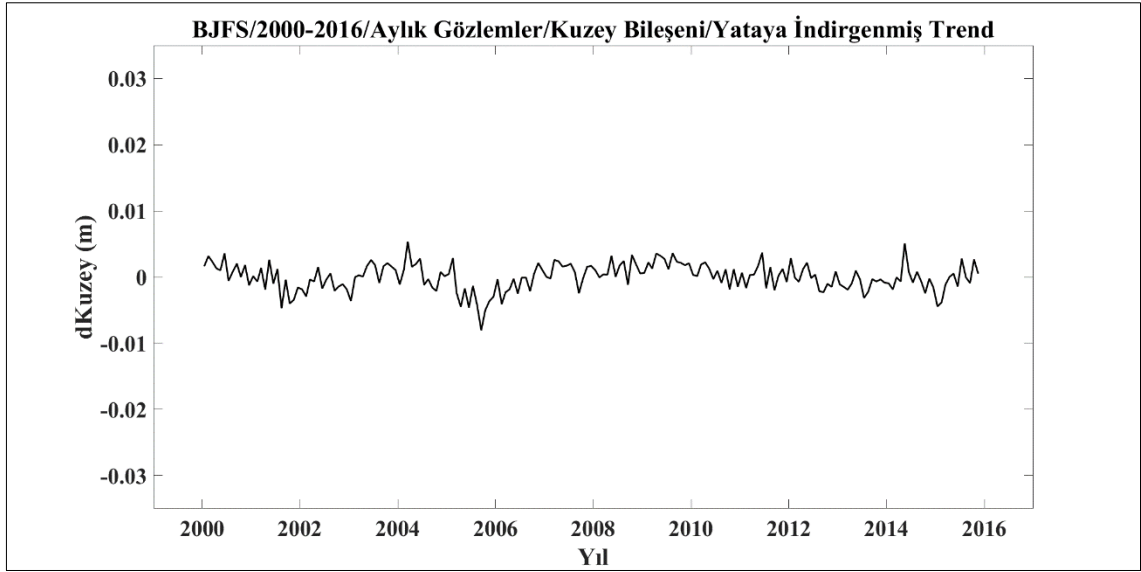
Şekil B. 2 ALGO istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



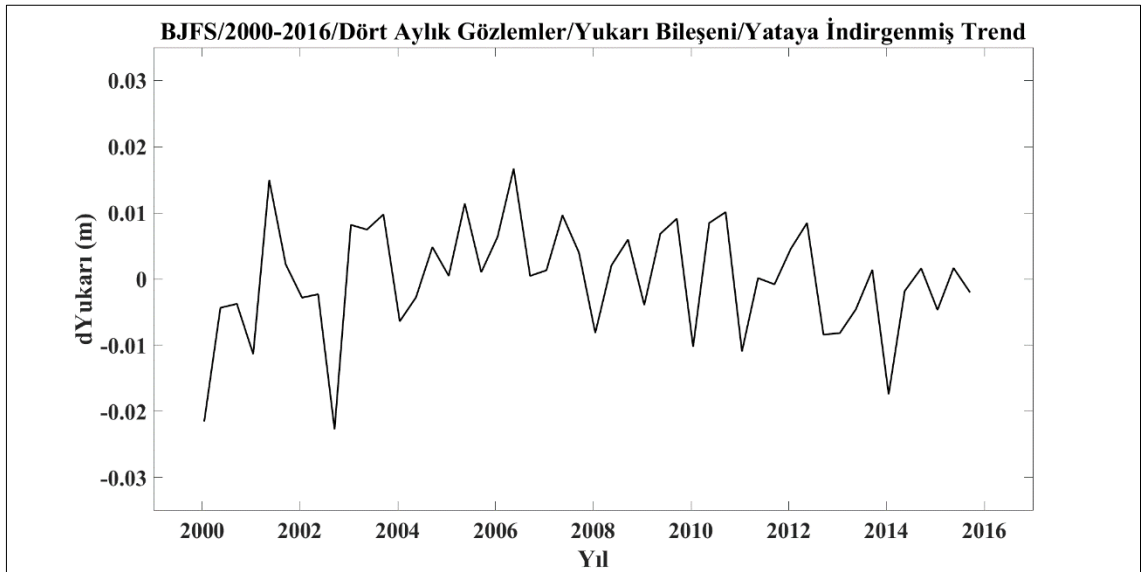
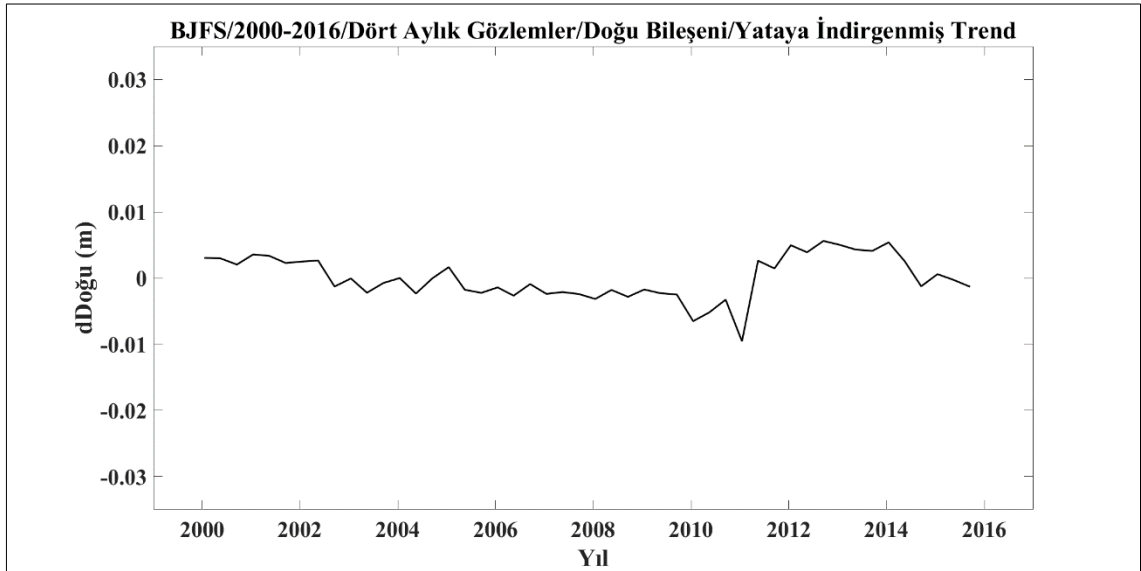
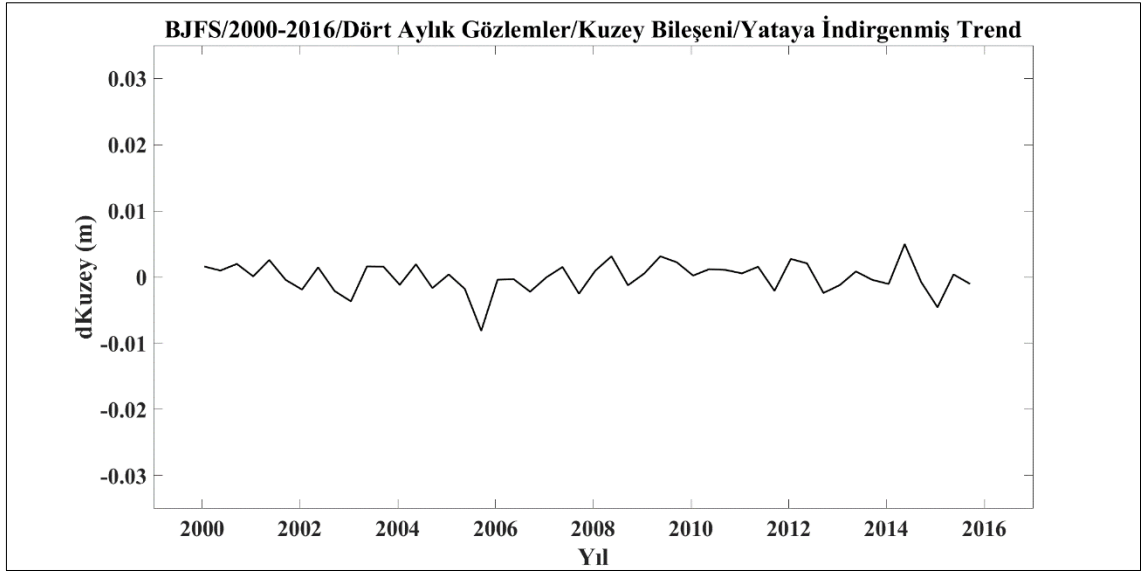
Şekil B. 3 ALGO istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



Şekil B. 4 BJSF istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

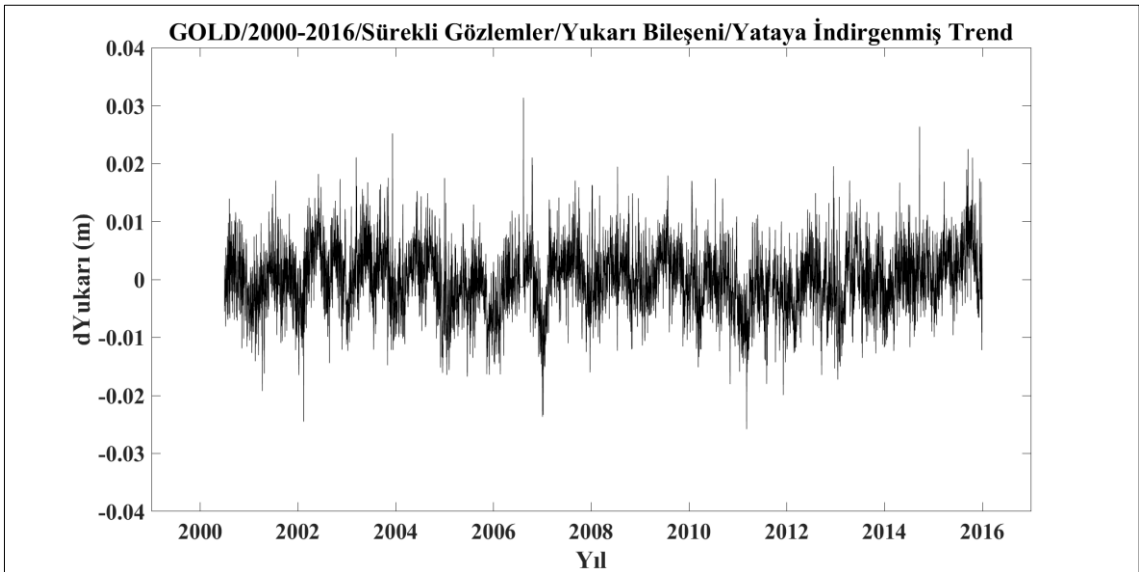
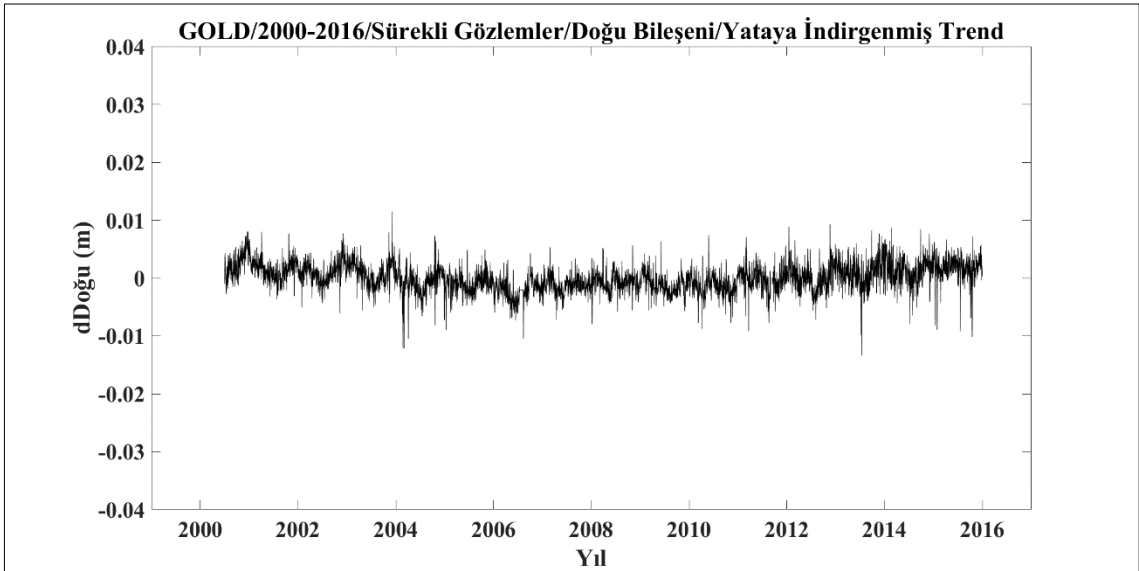
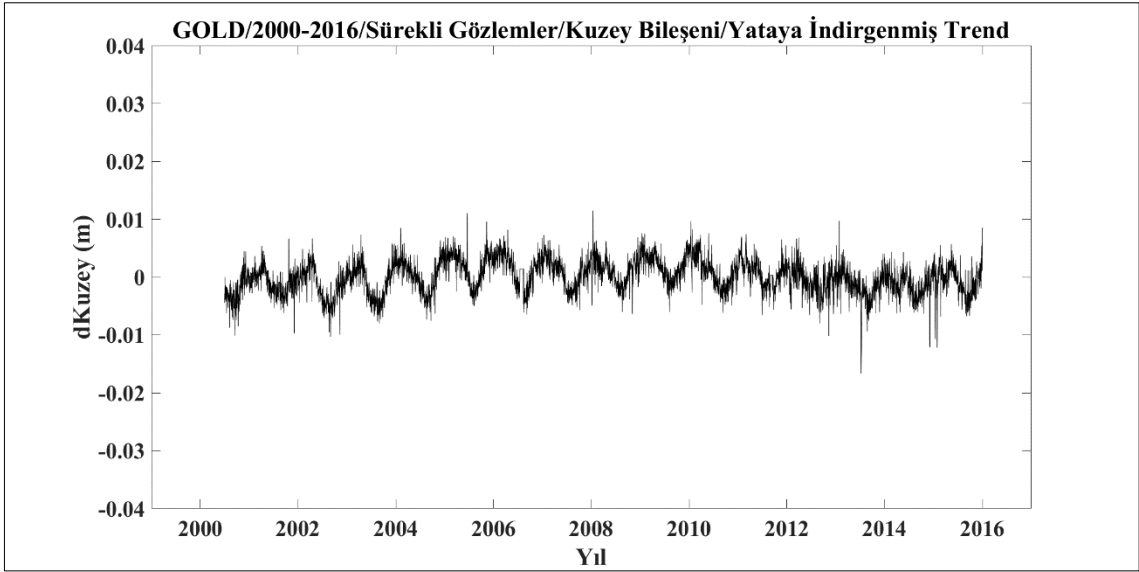


Şekil B. 5 BJFS istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

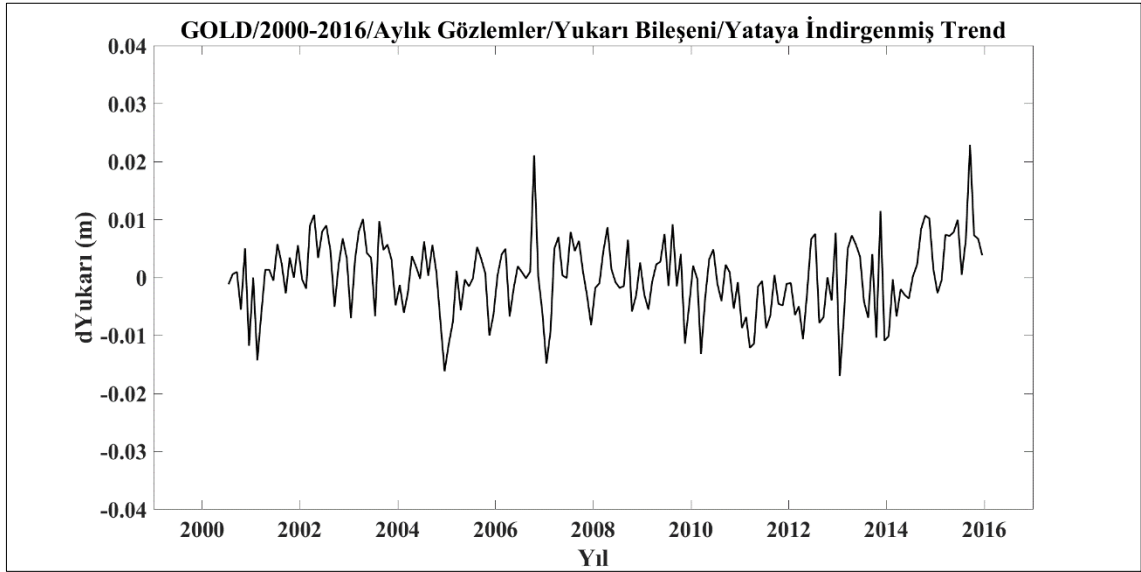
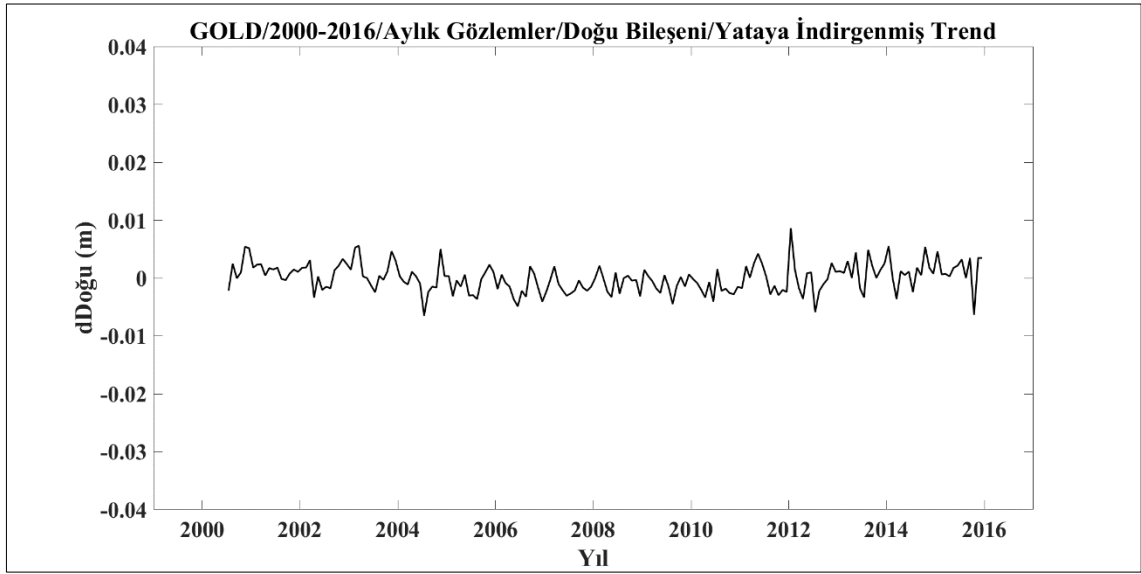
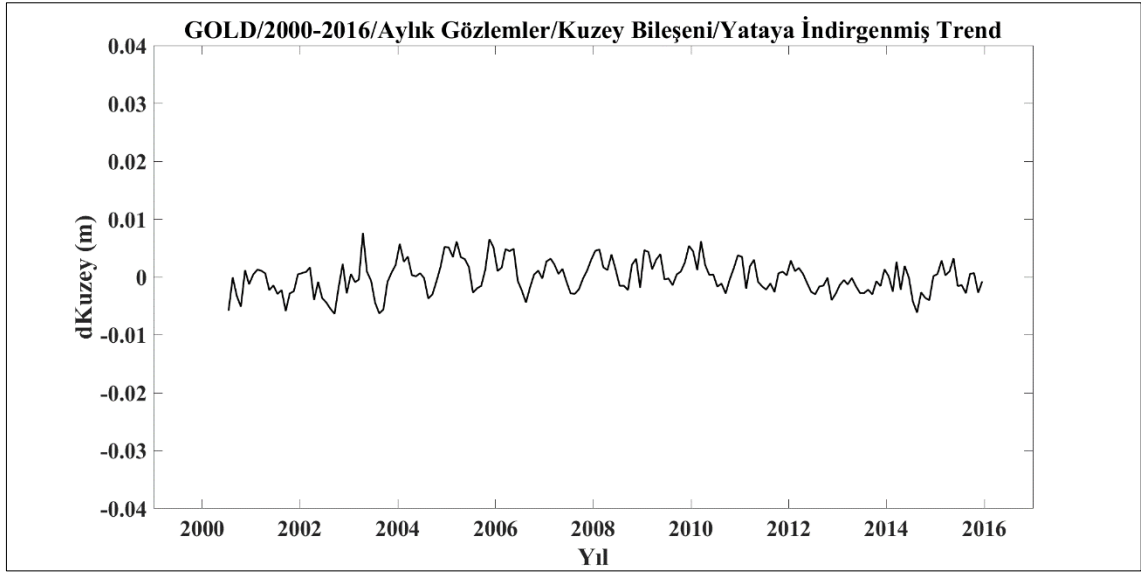


Şekil B. 6 BJFS istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

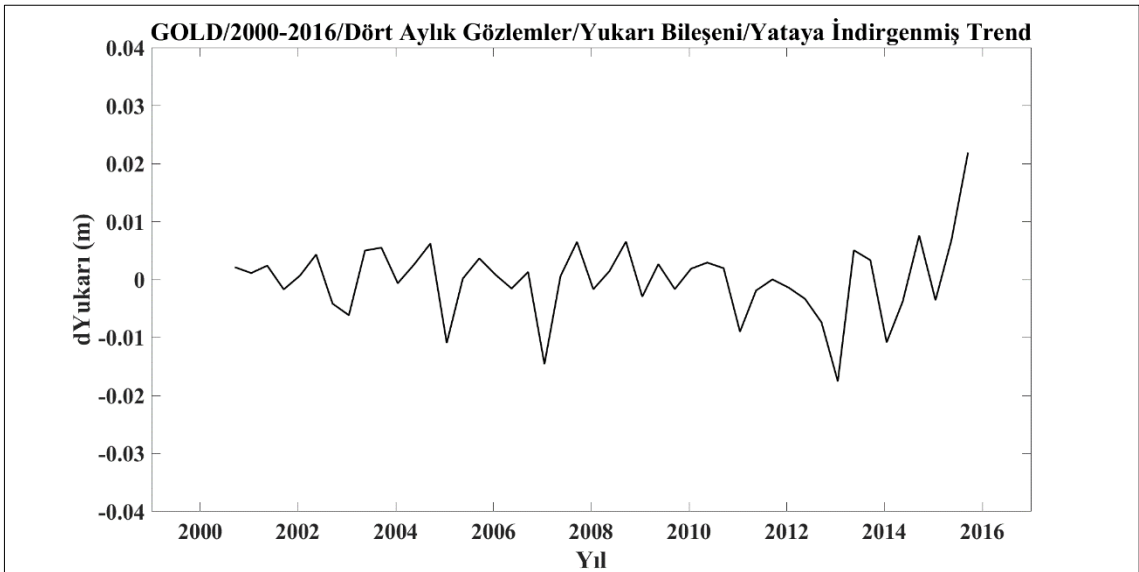
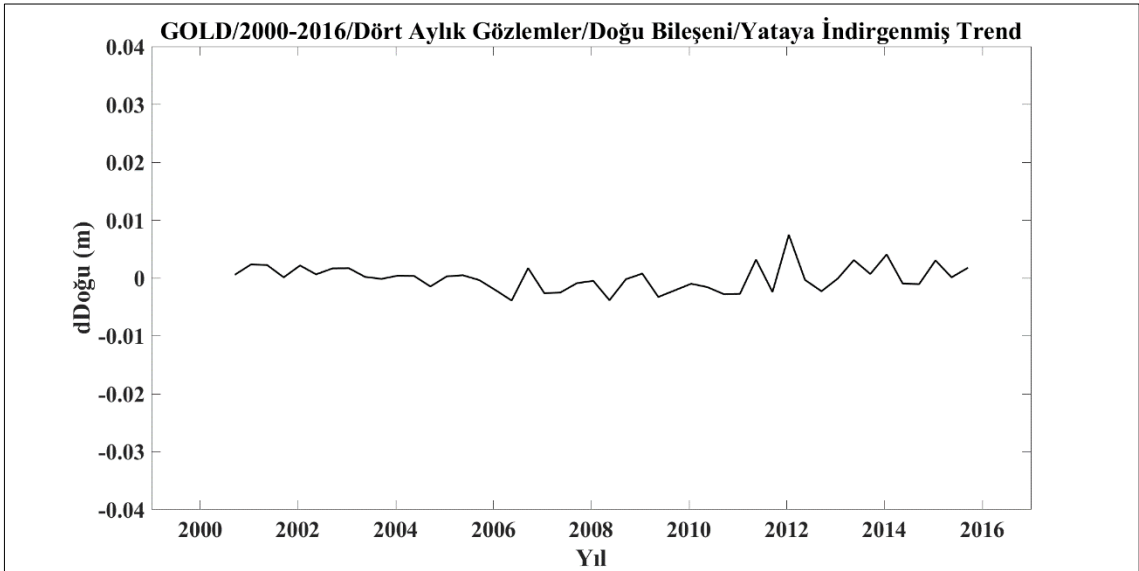
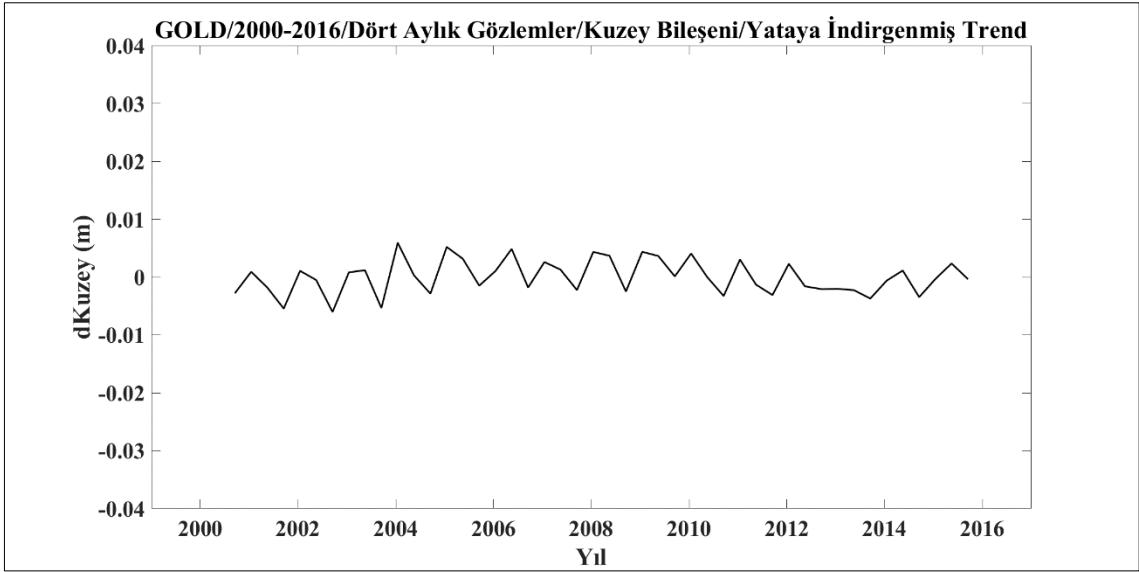




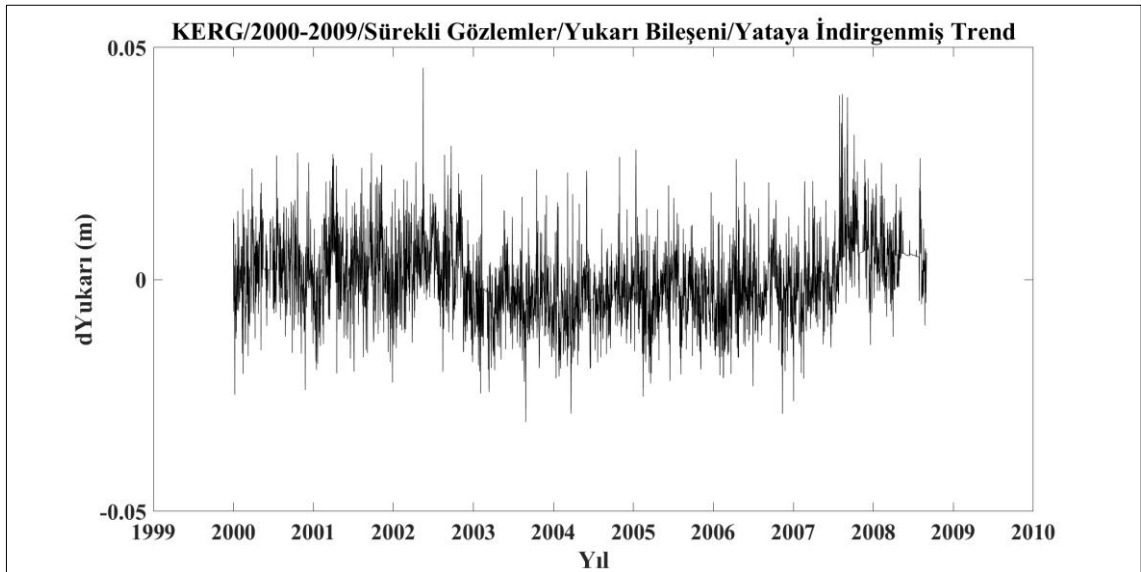
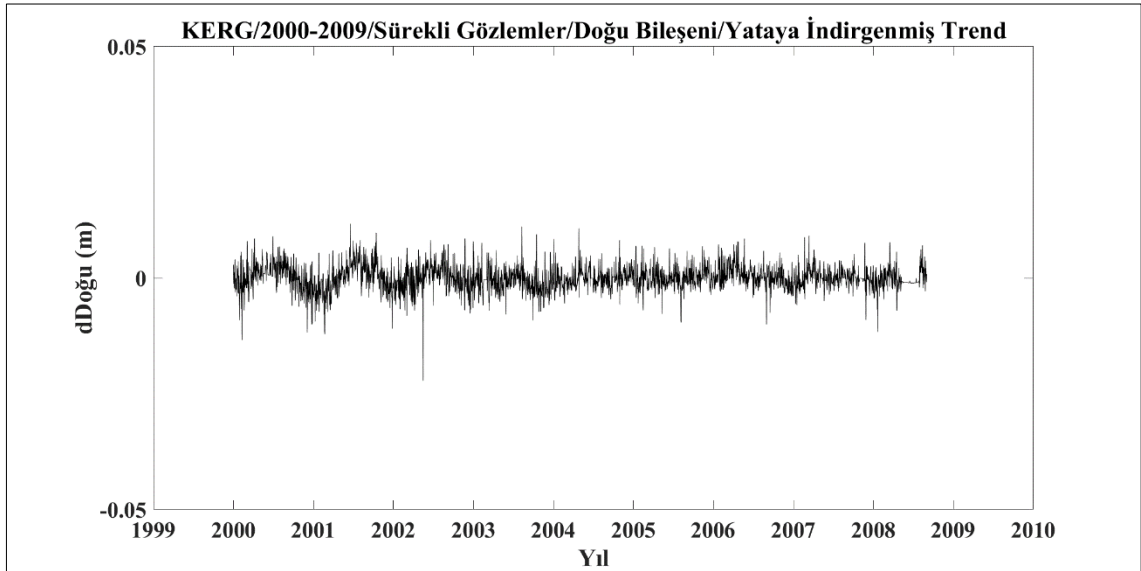
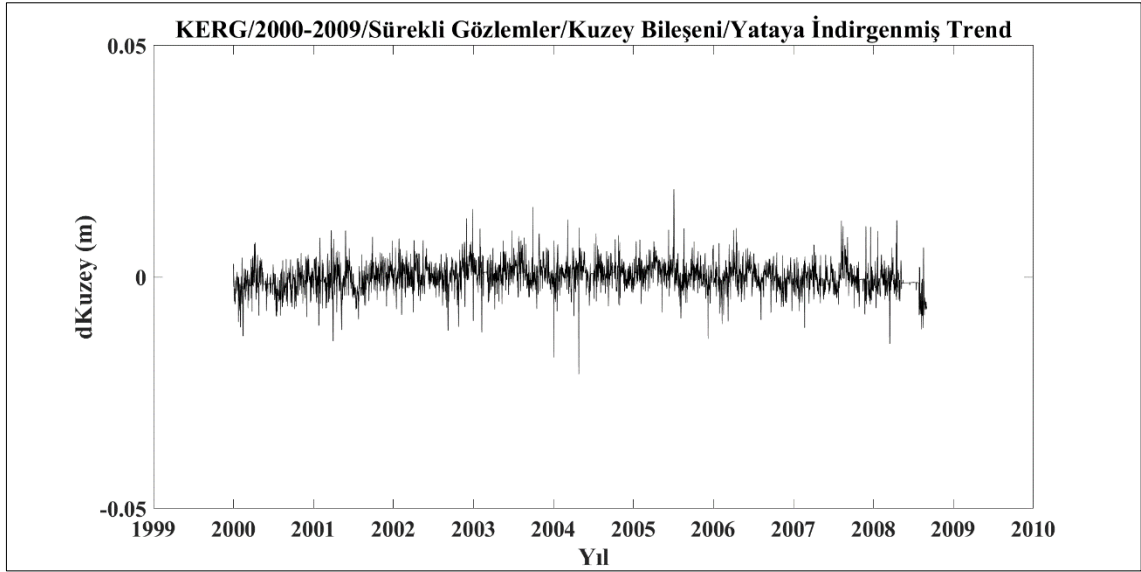
Şekil B. 7 GOLD istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



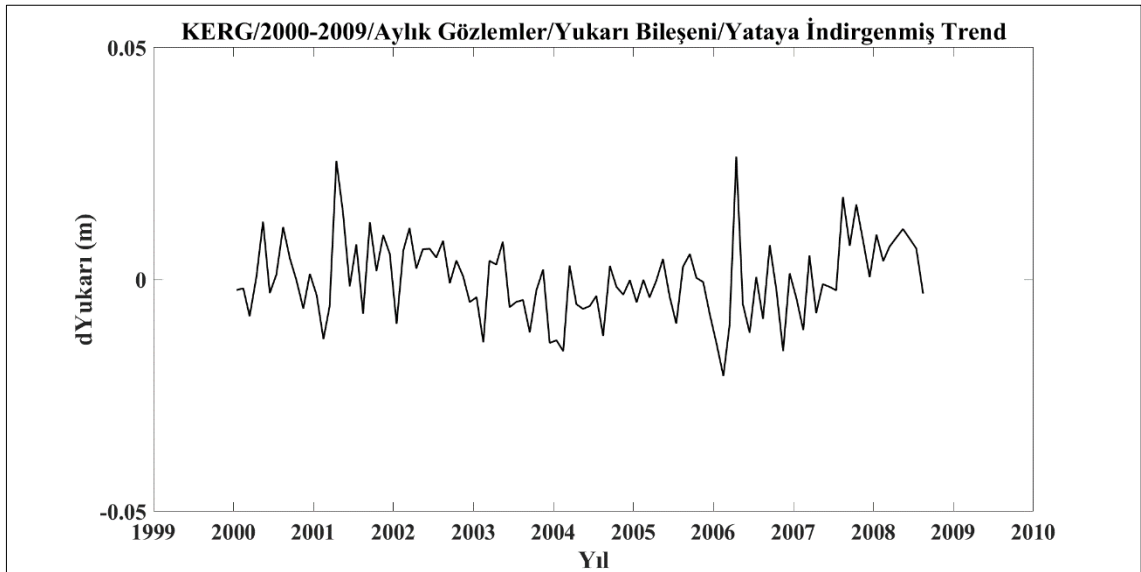
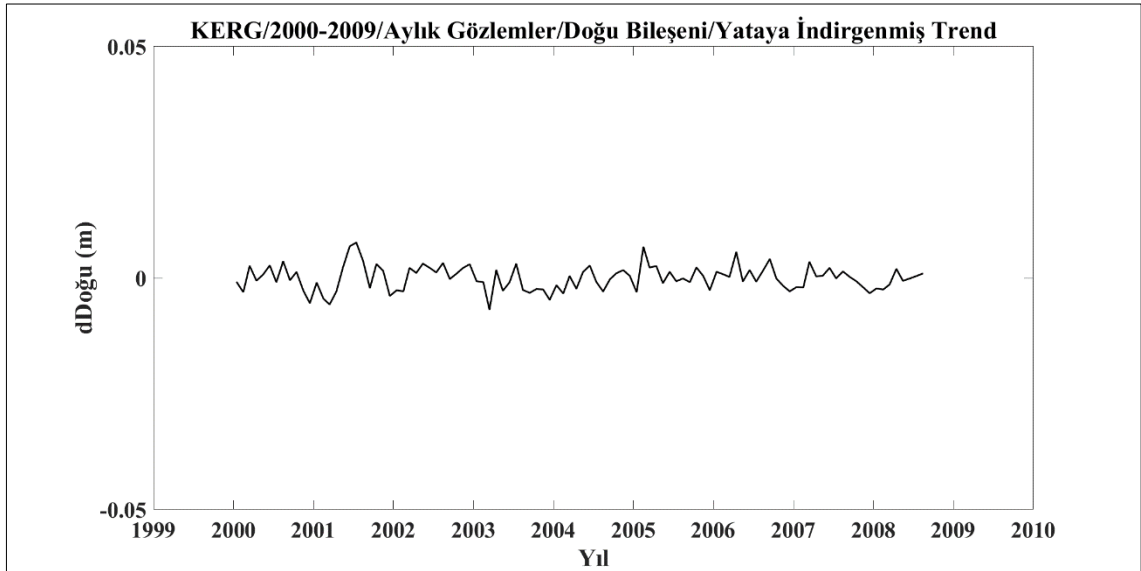
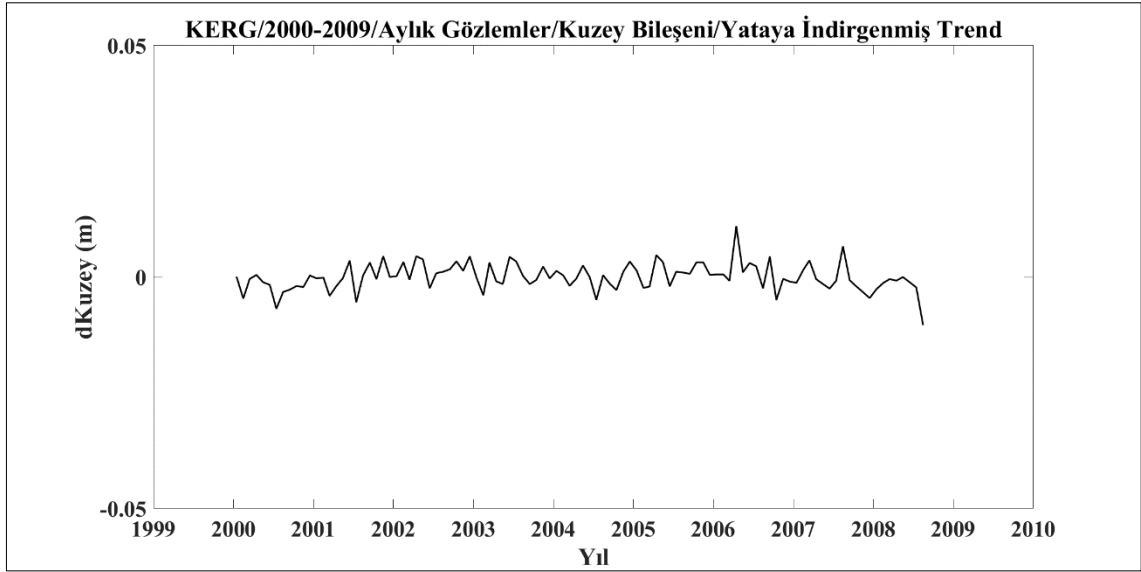
Şekil B. 8 GOLD istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



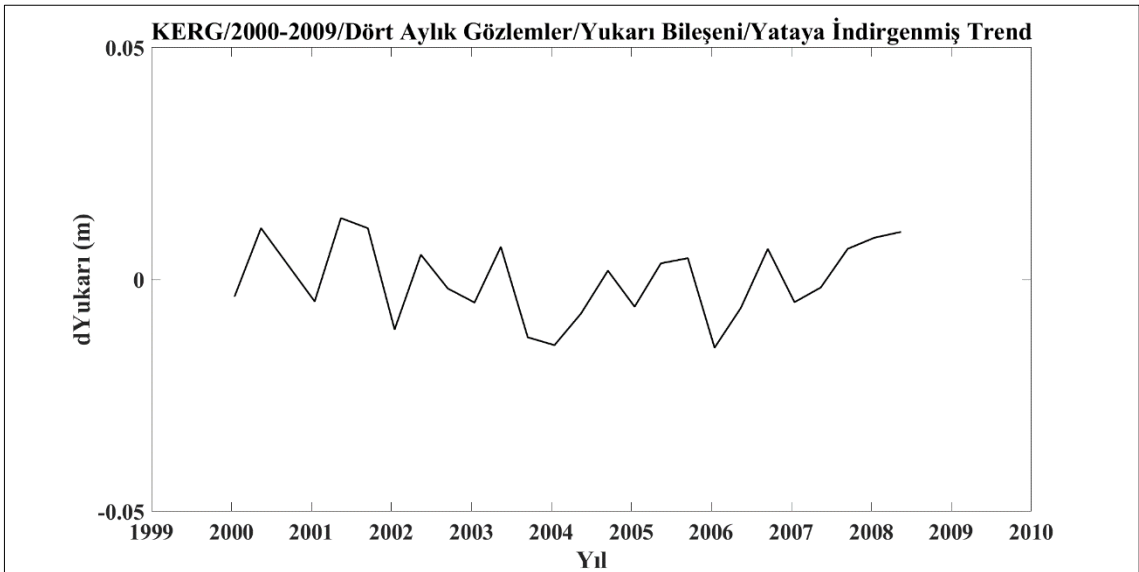
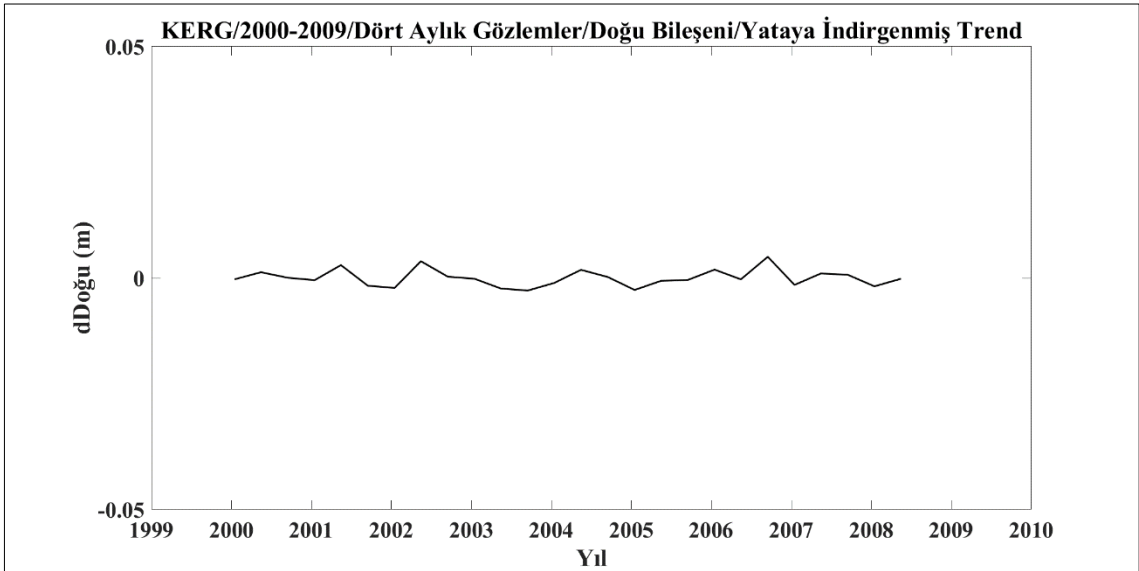
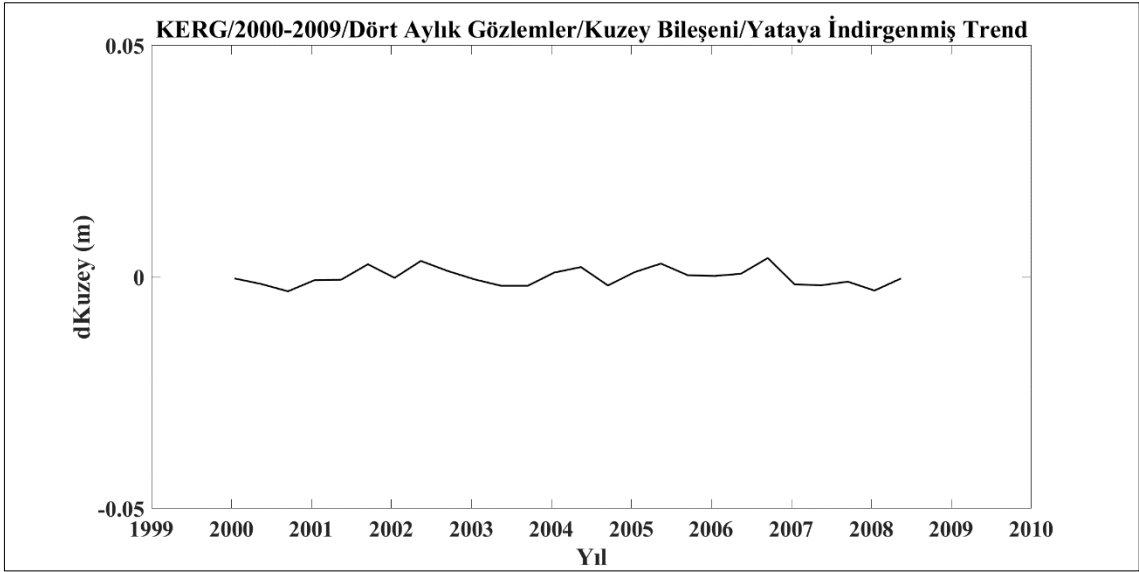
Şekil B. 9 GOLD istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



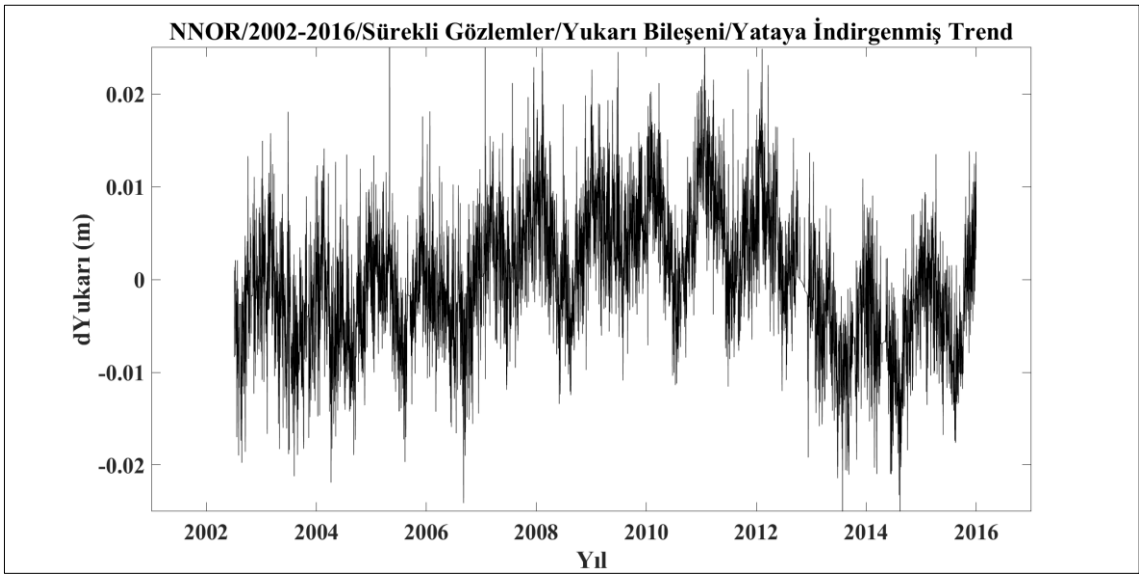
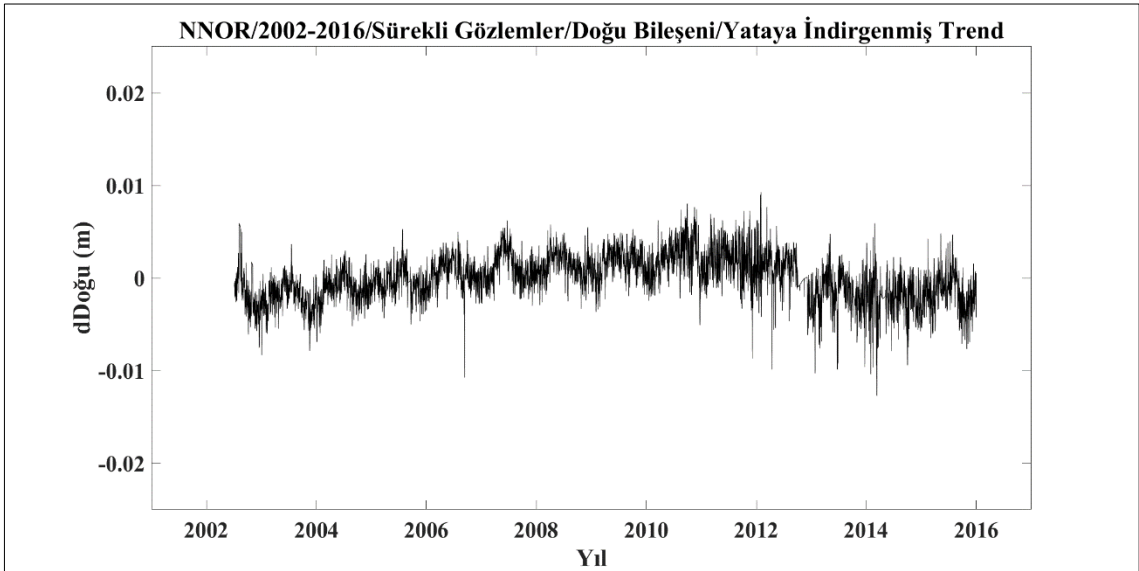
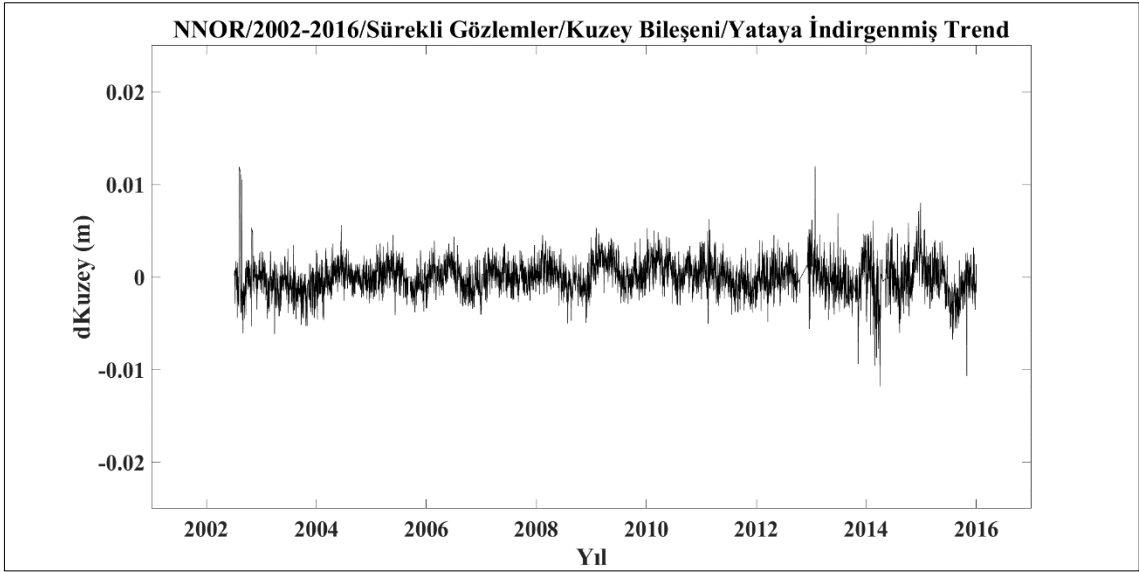
Şekil B. 10 KERG istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



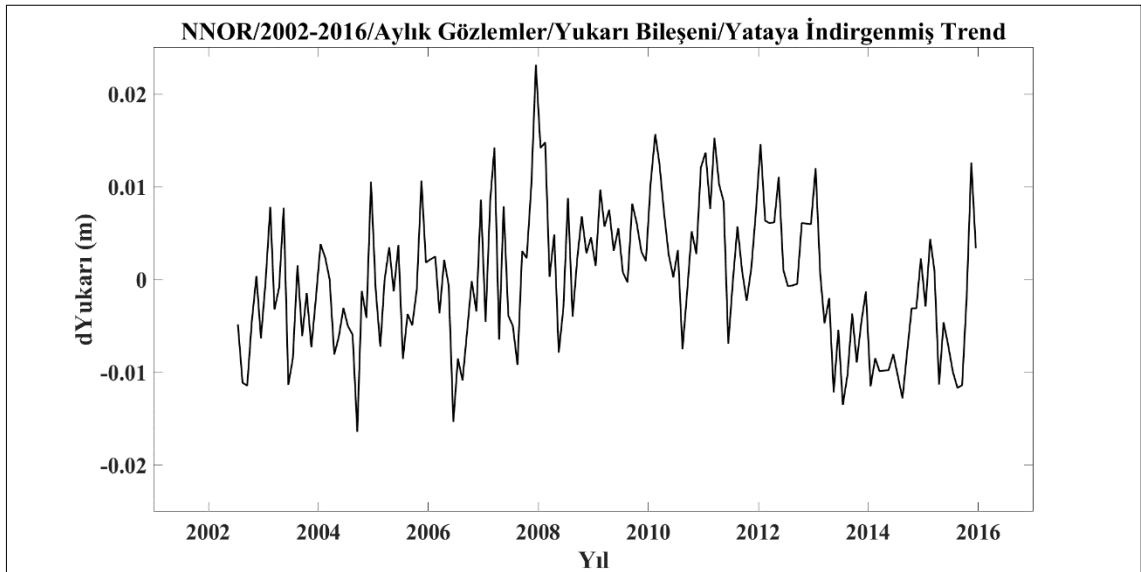
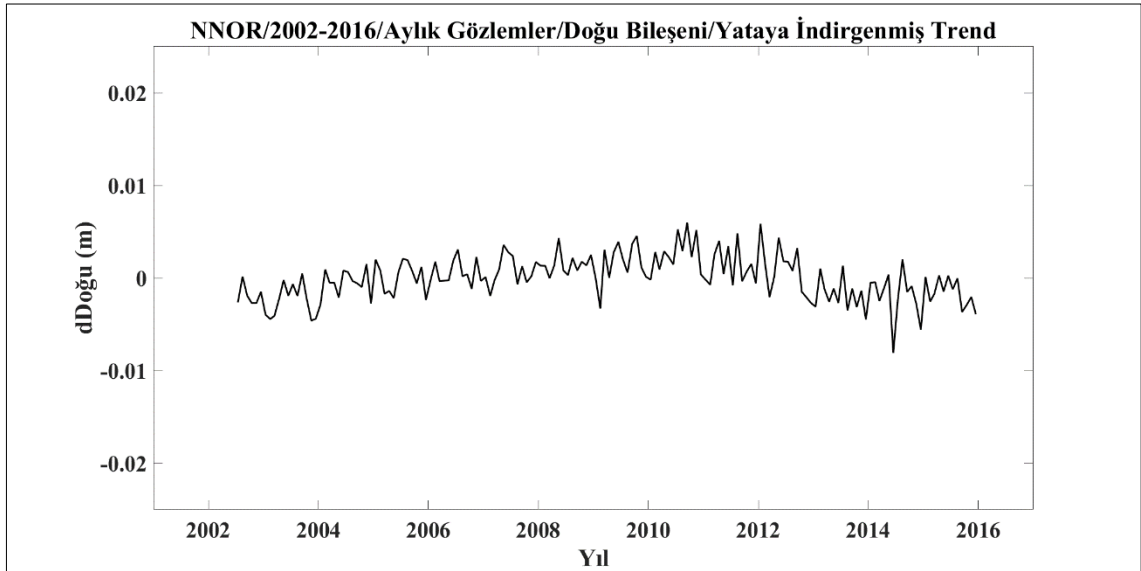
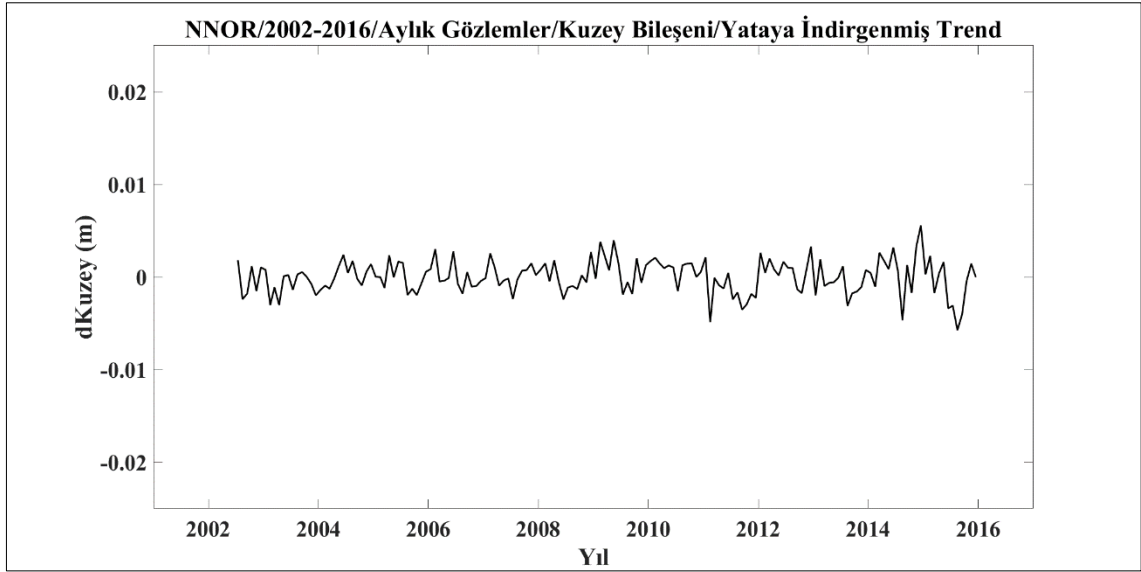
Şekil B. 11 KERG istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



Şekil B. 12 KERG istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

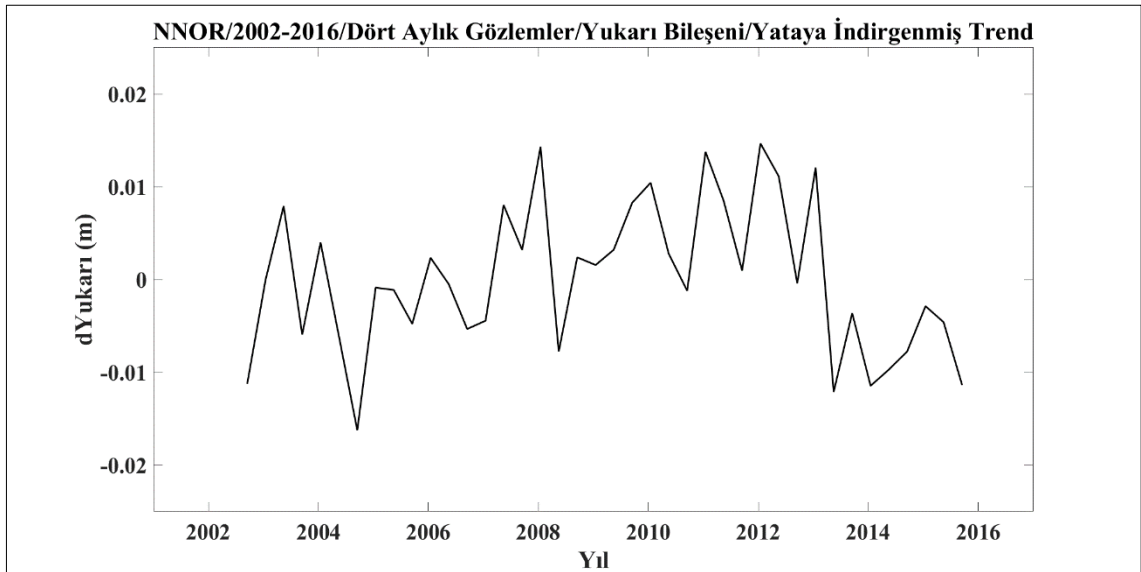
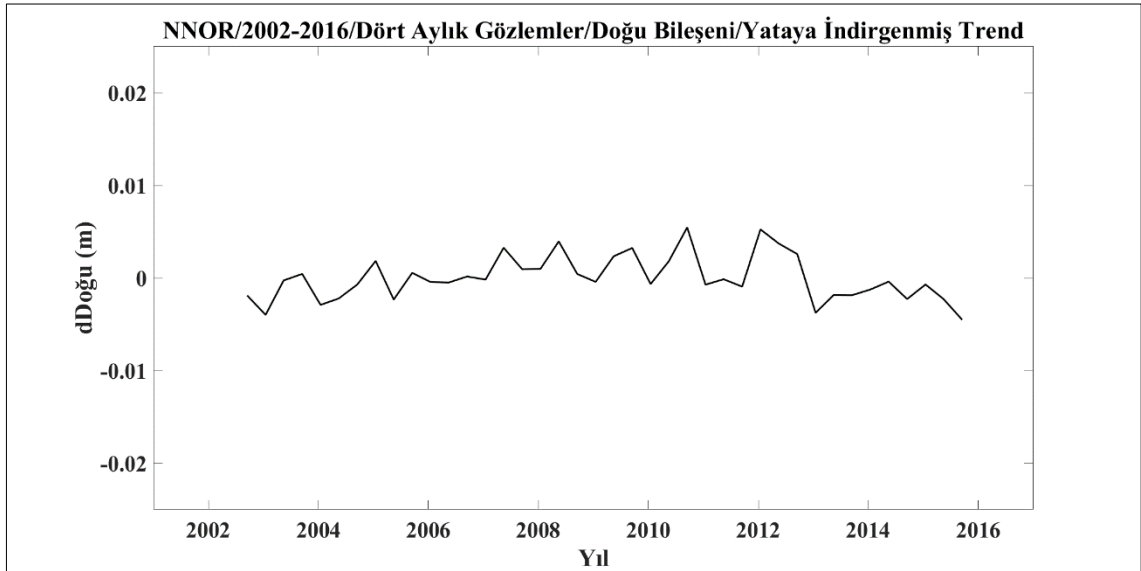
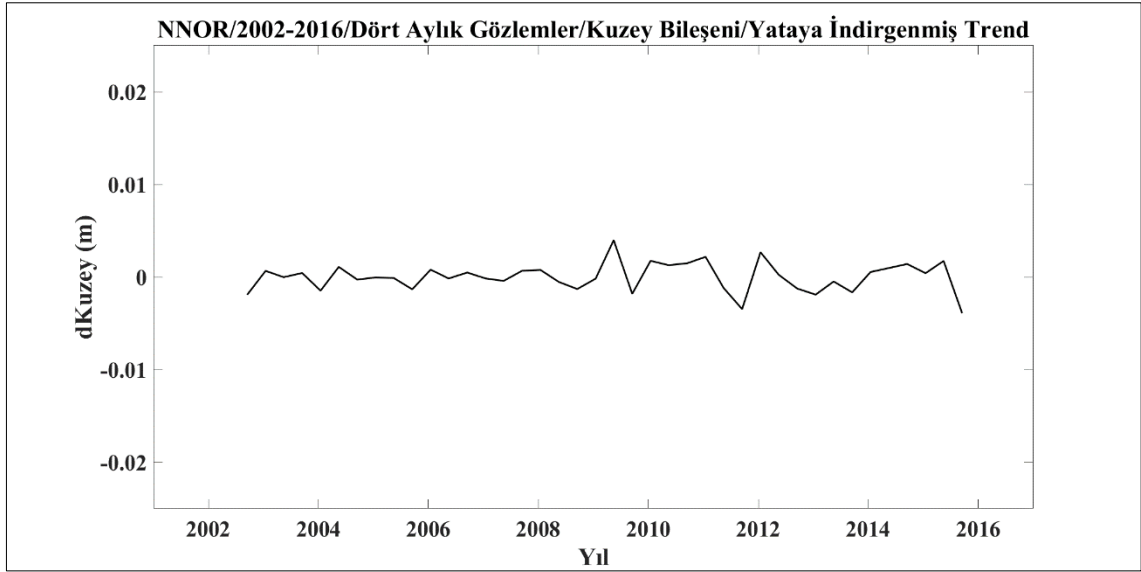


Şekil B. 13 NNOR istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

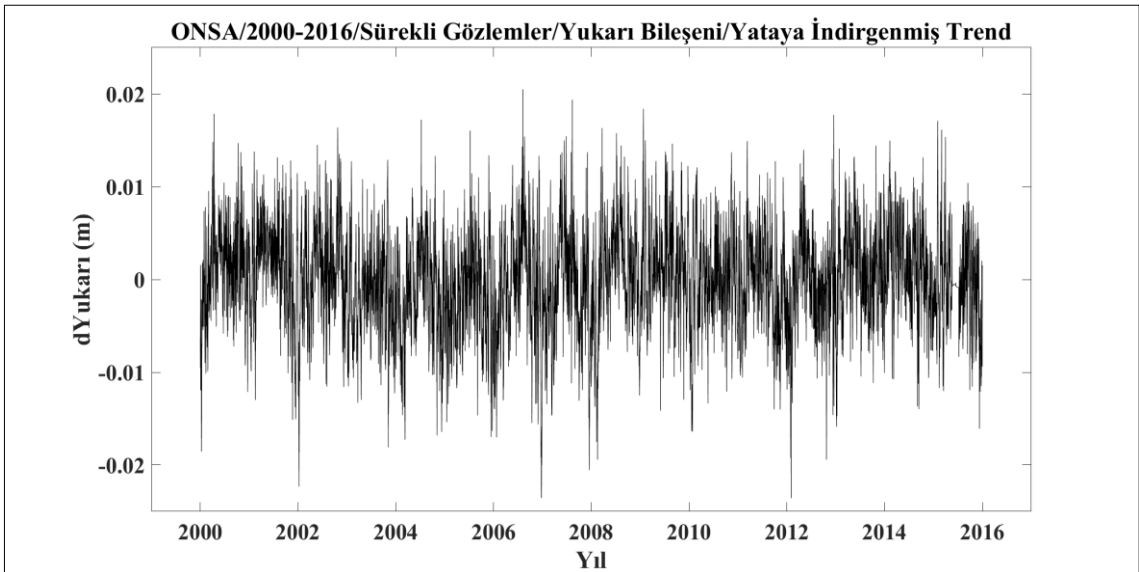
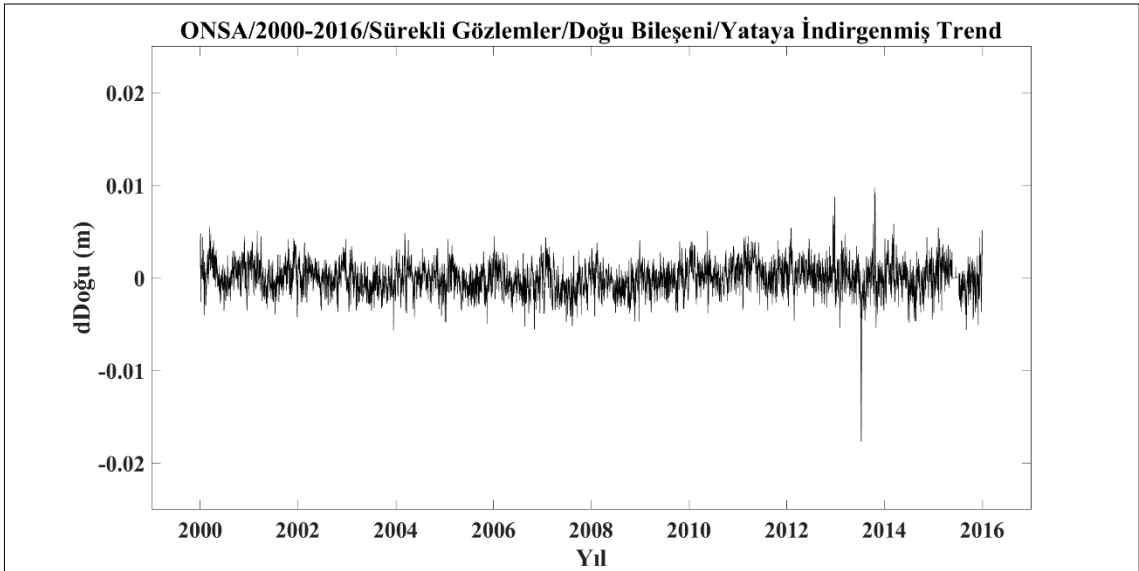
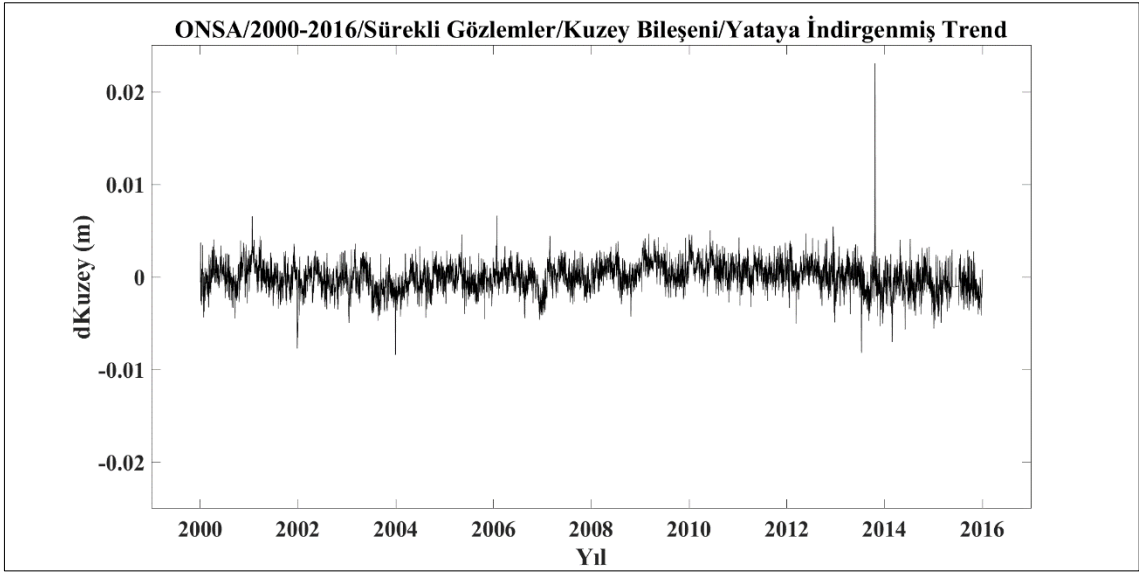


Şekil B. 14 NNOR istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

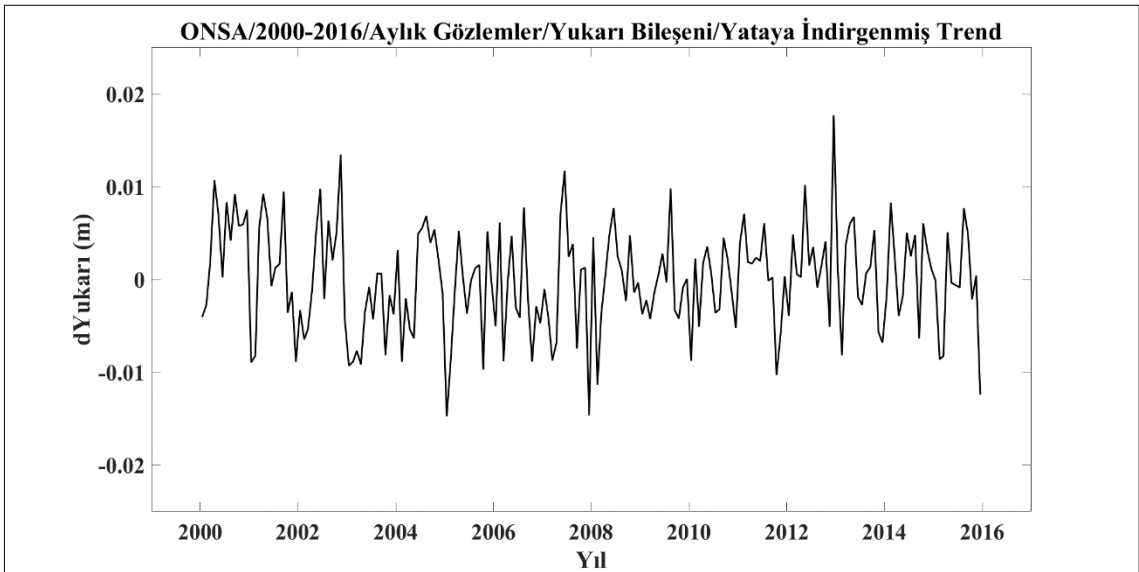
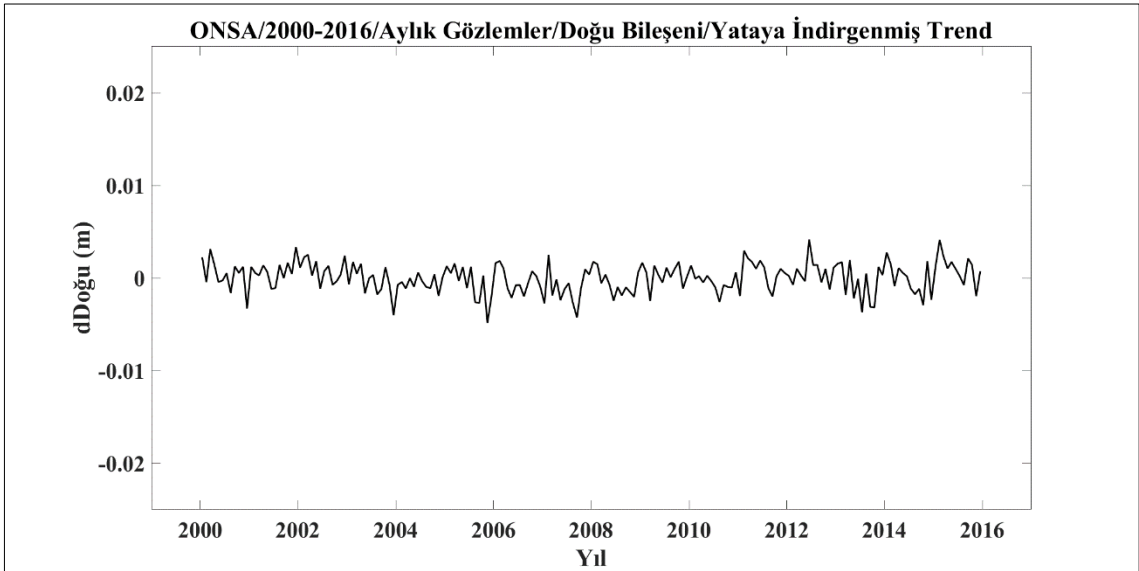
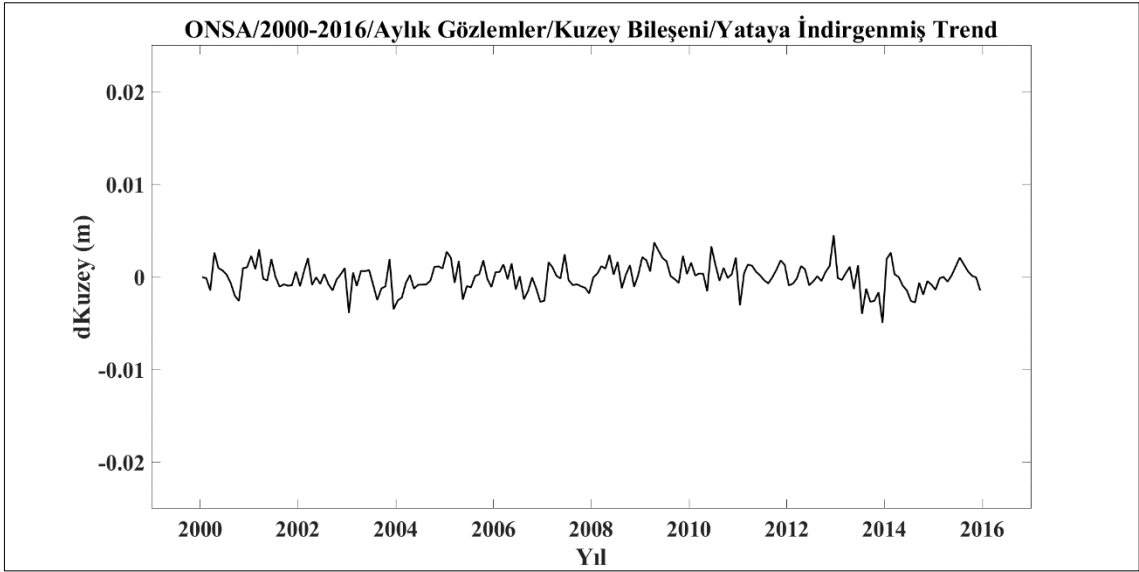




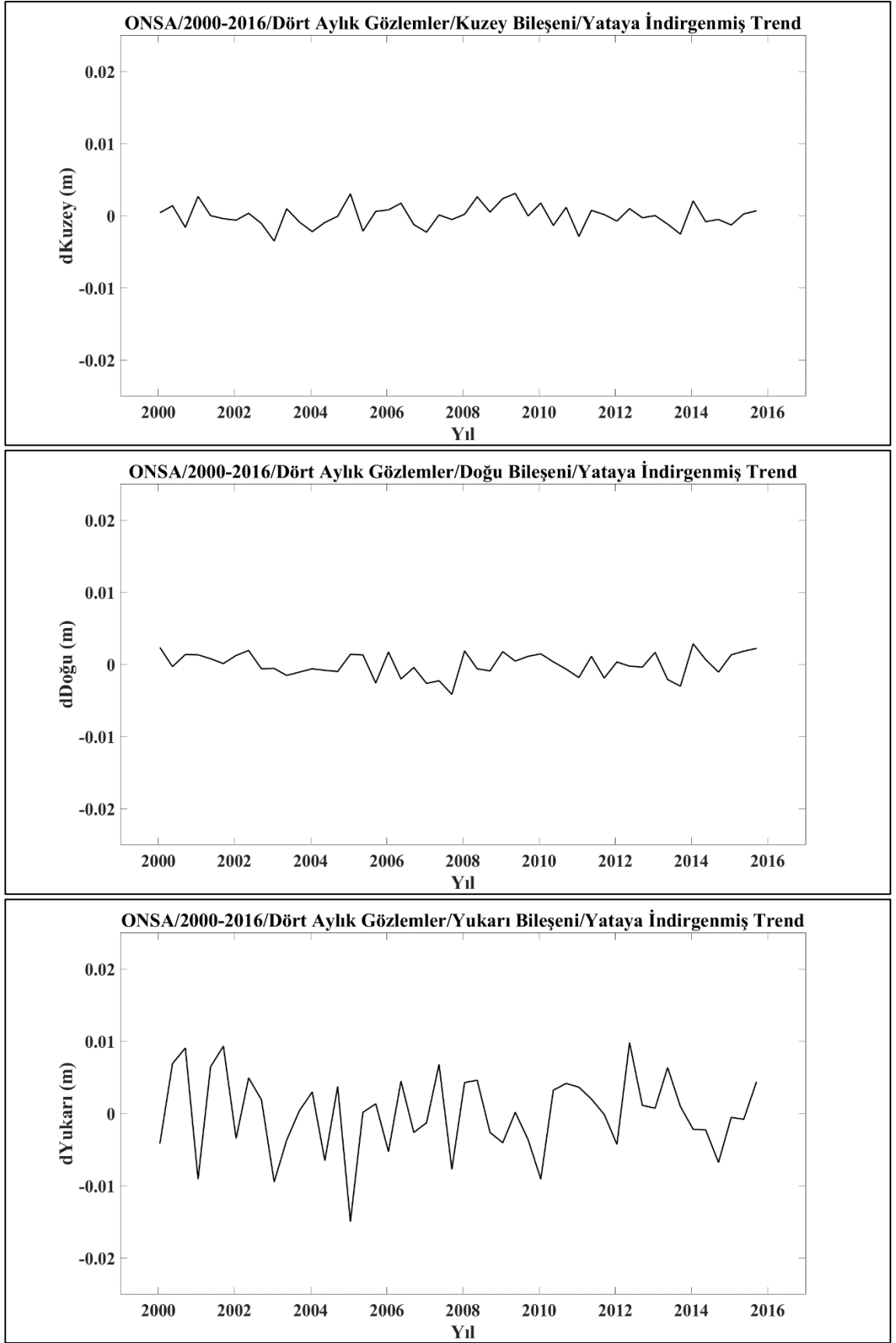
Şekil B. 15 NNOR istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



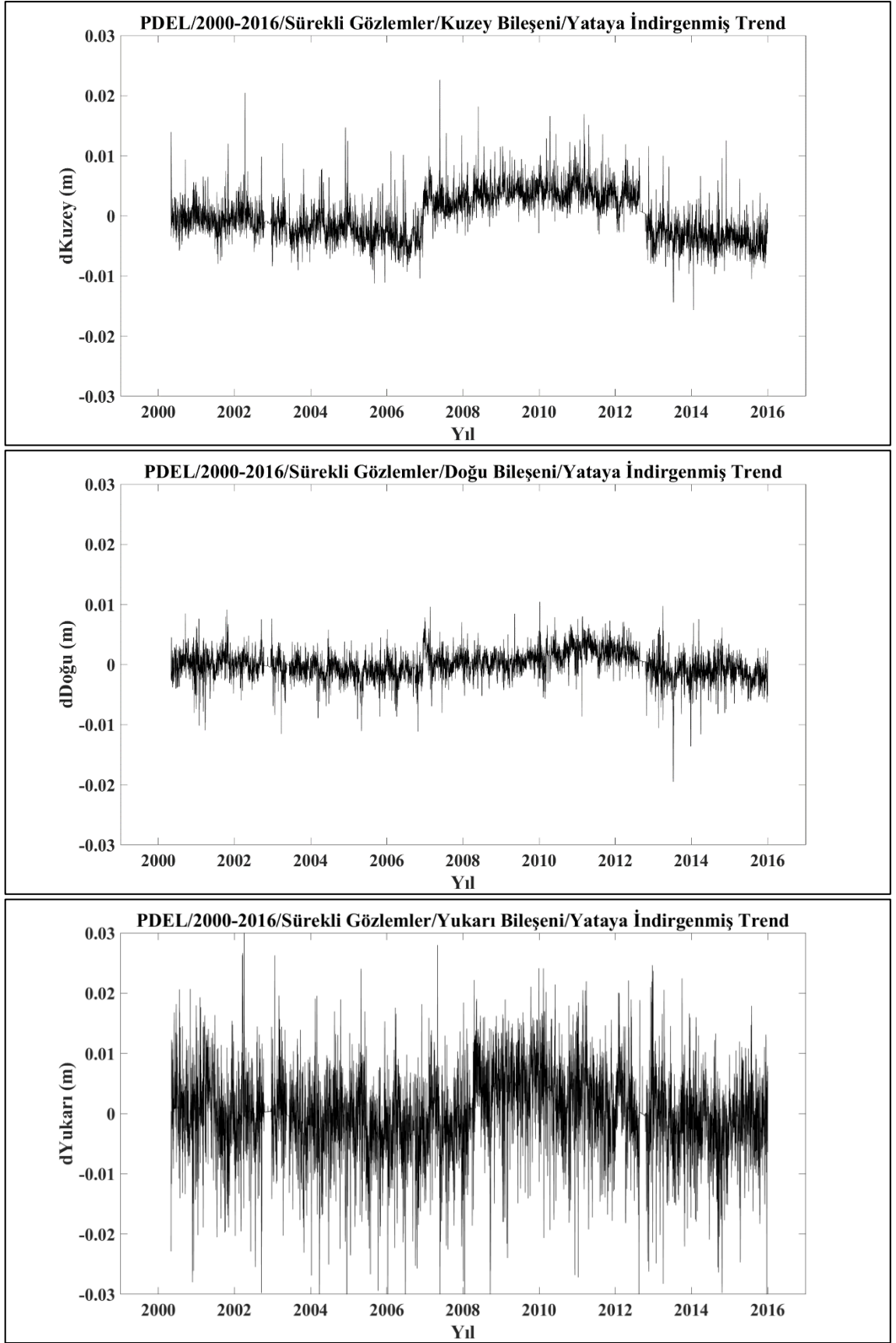
Şekil B. 16 ONSA istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



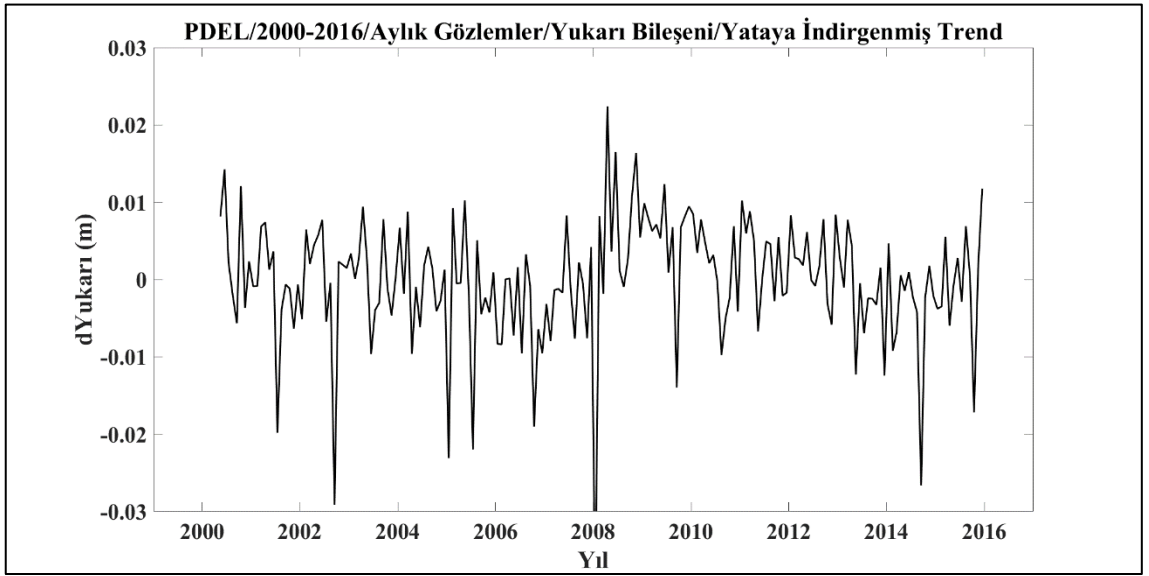
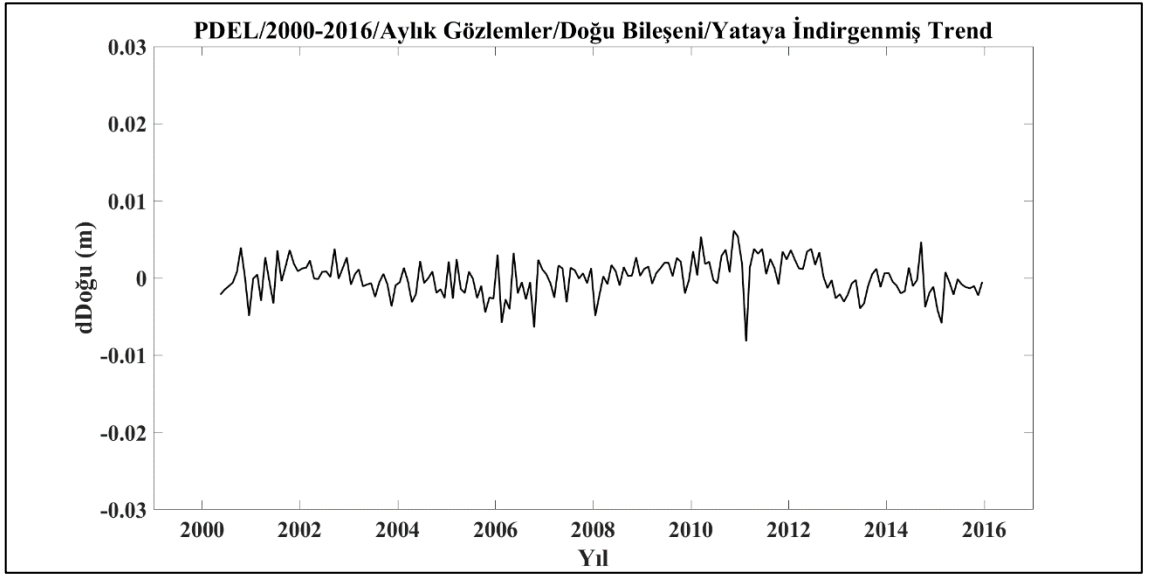
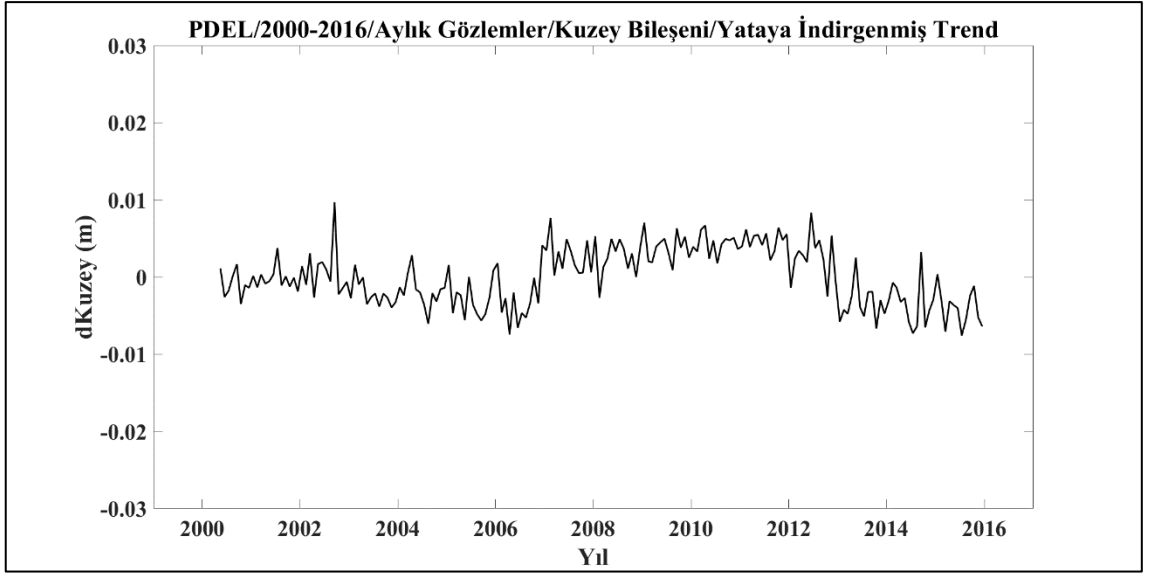
Şekil B. 17 ONSA istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



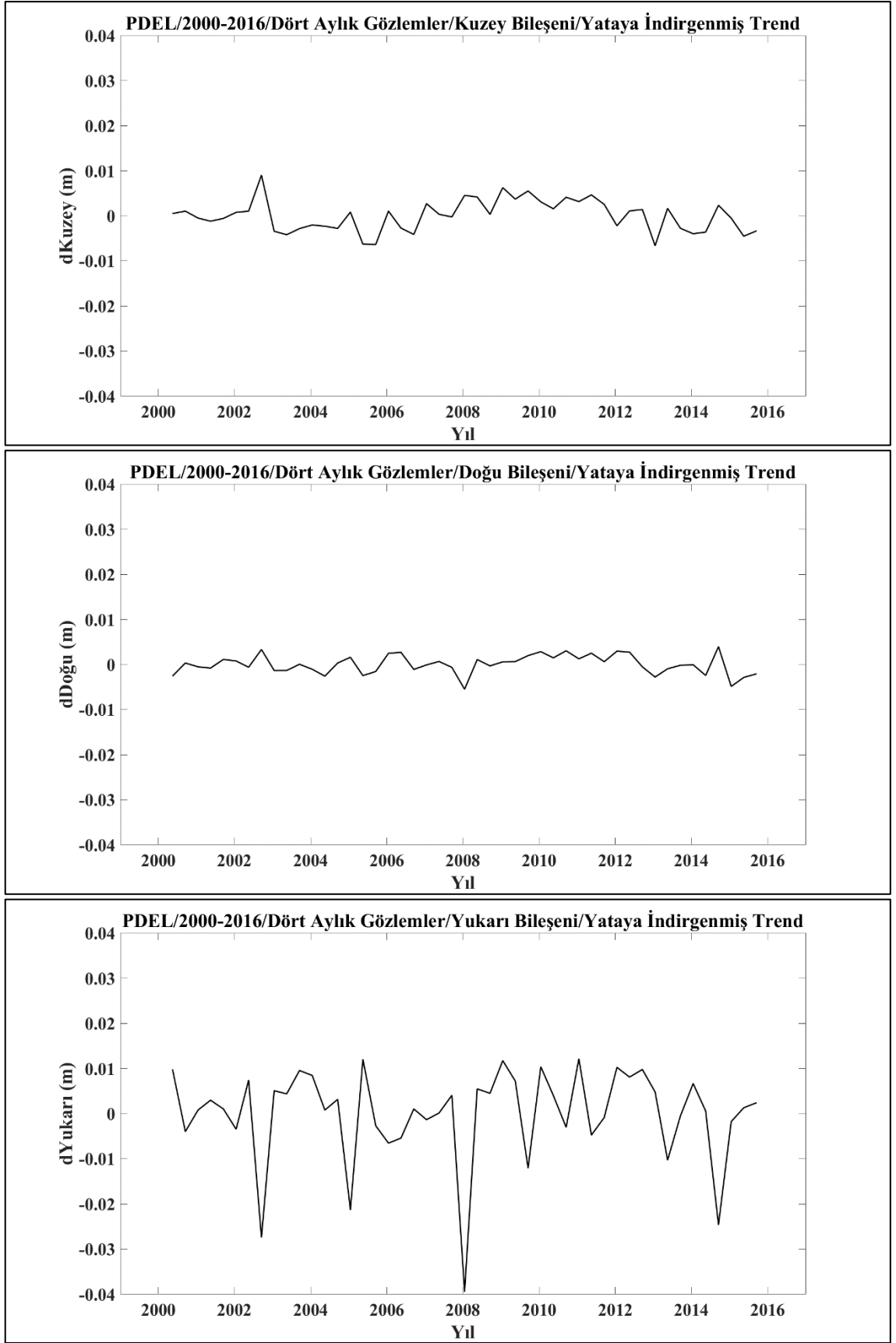
Şekil B. 18 ONSA istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



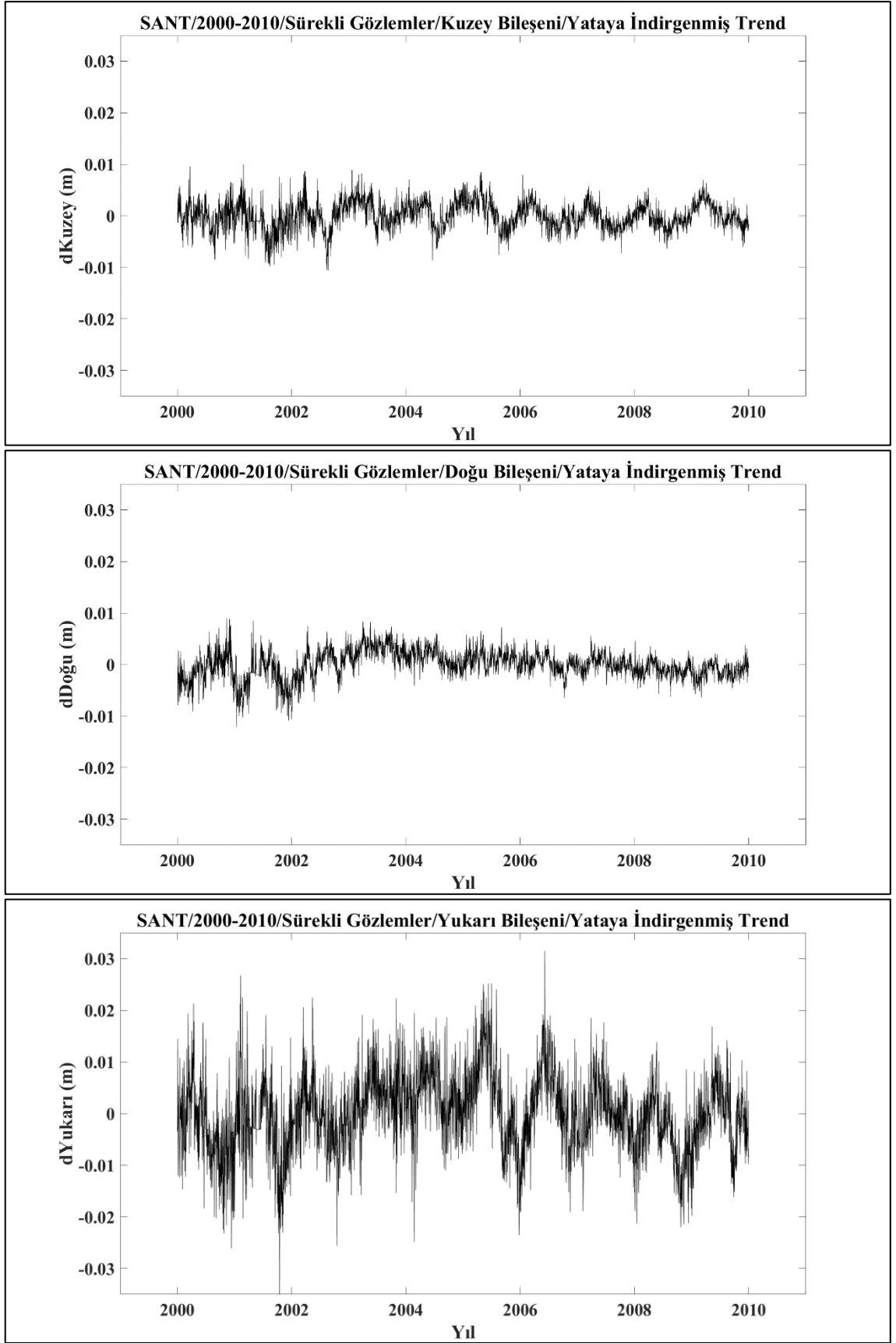
Şekil B. 19 PDEL istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



Şekil B. 20 PDEL istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

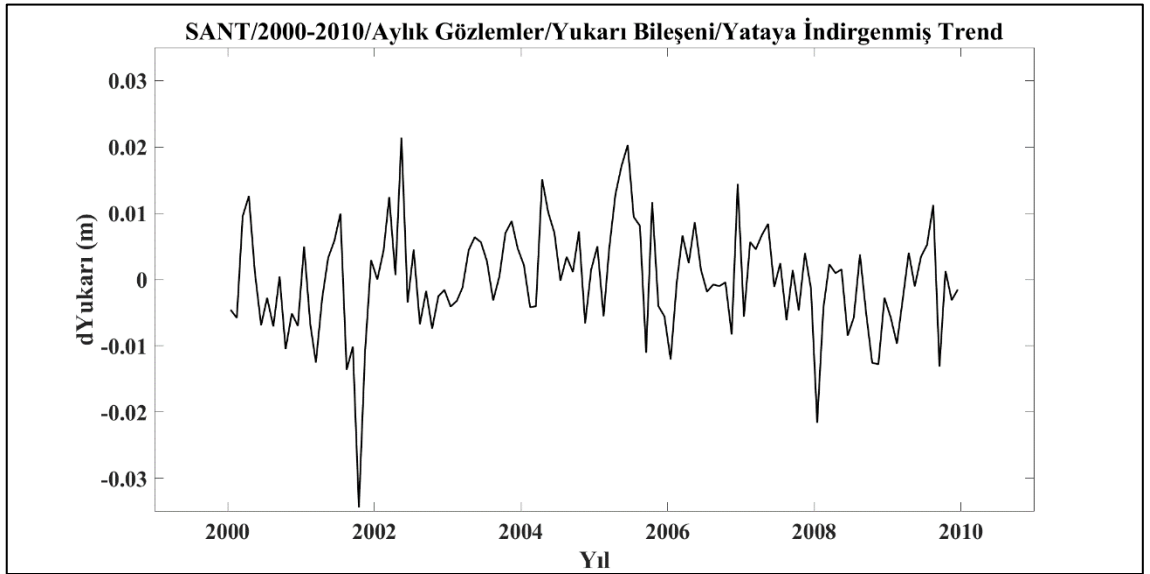
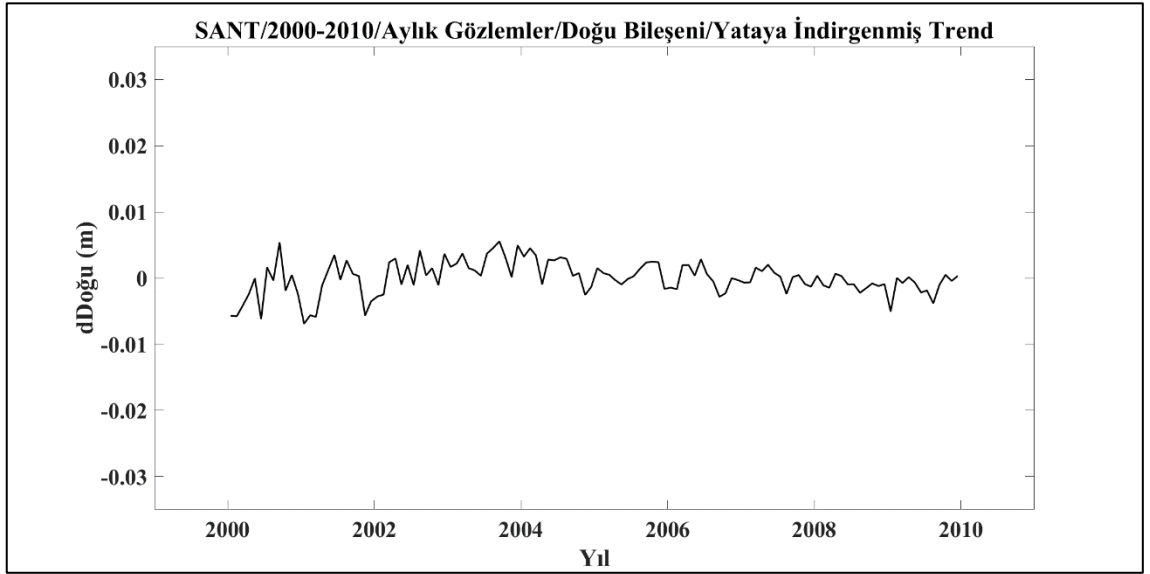
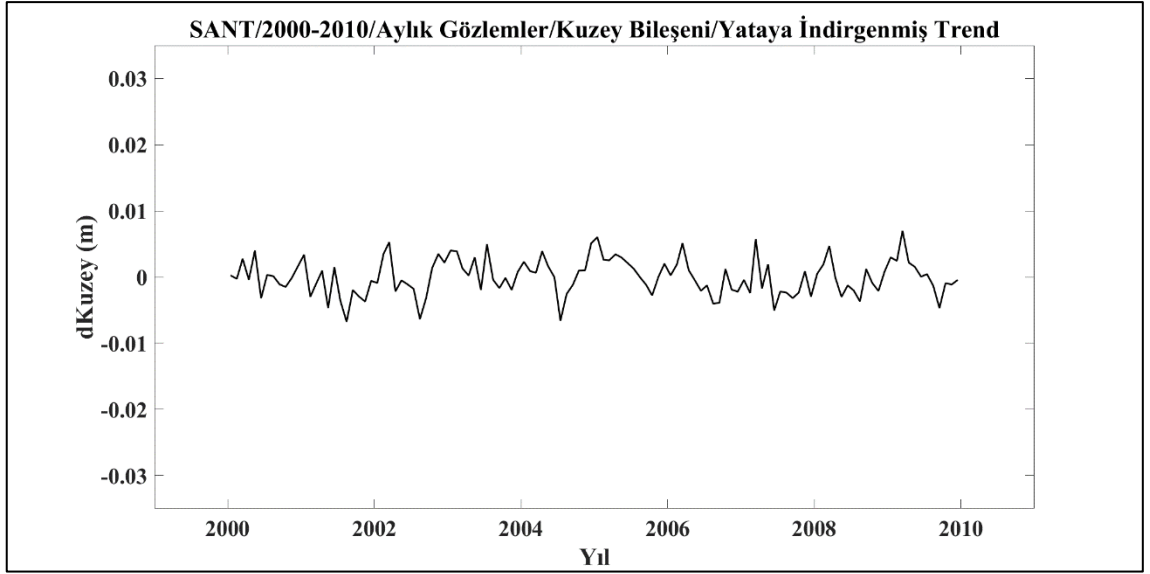


Şekil B. 21 PDEL istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

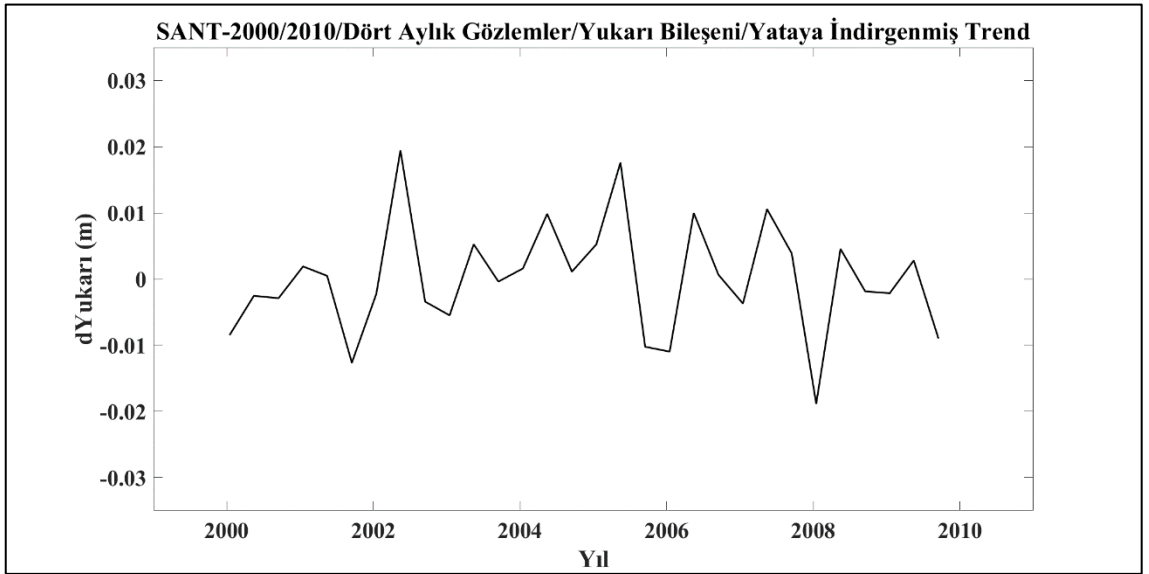
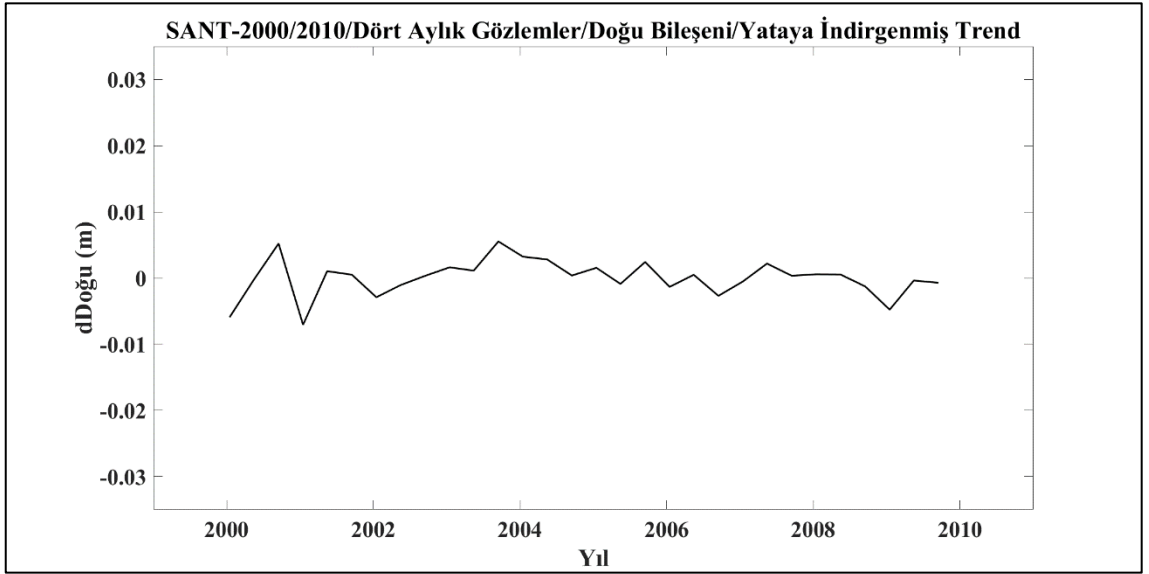
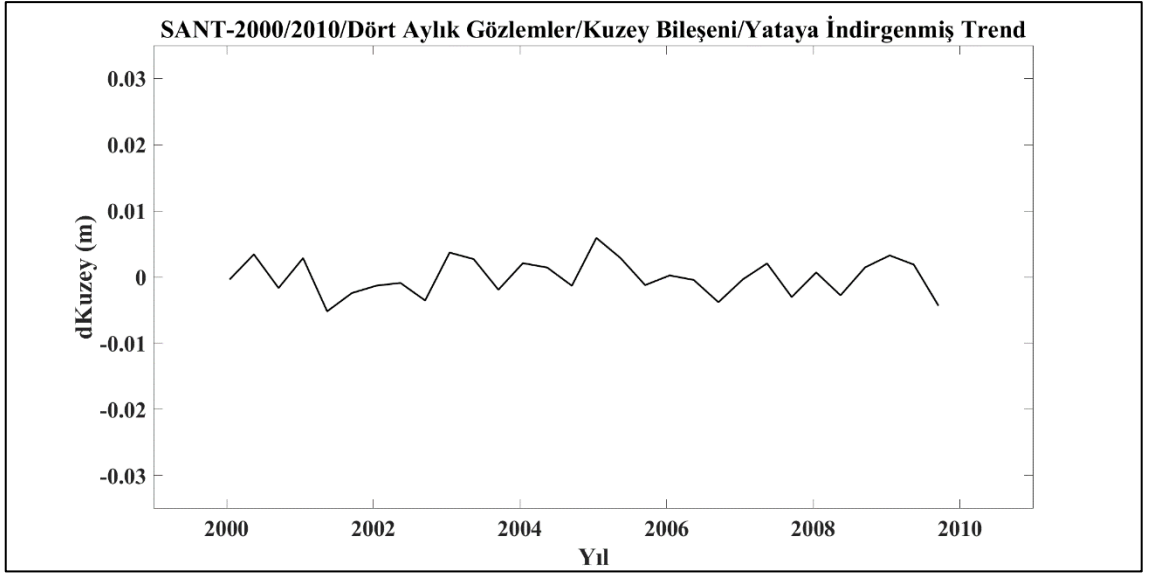


Şekil B. 22 SANT istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

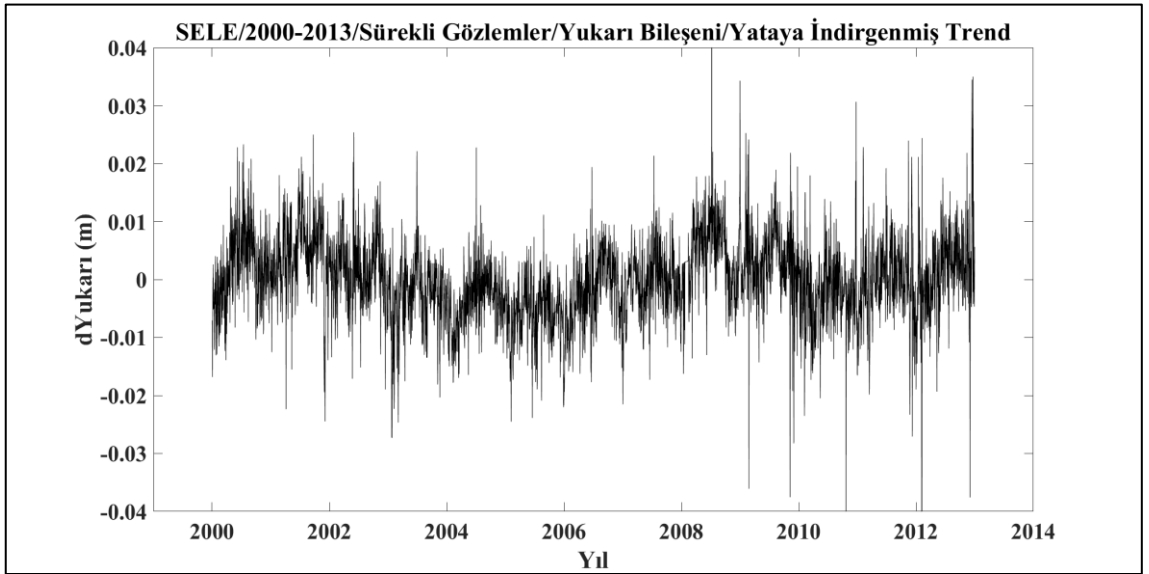
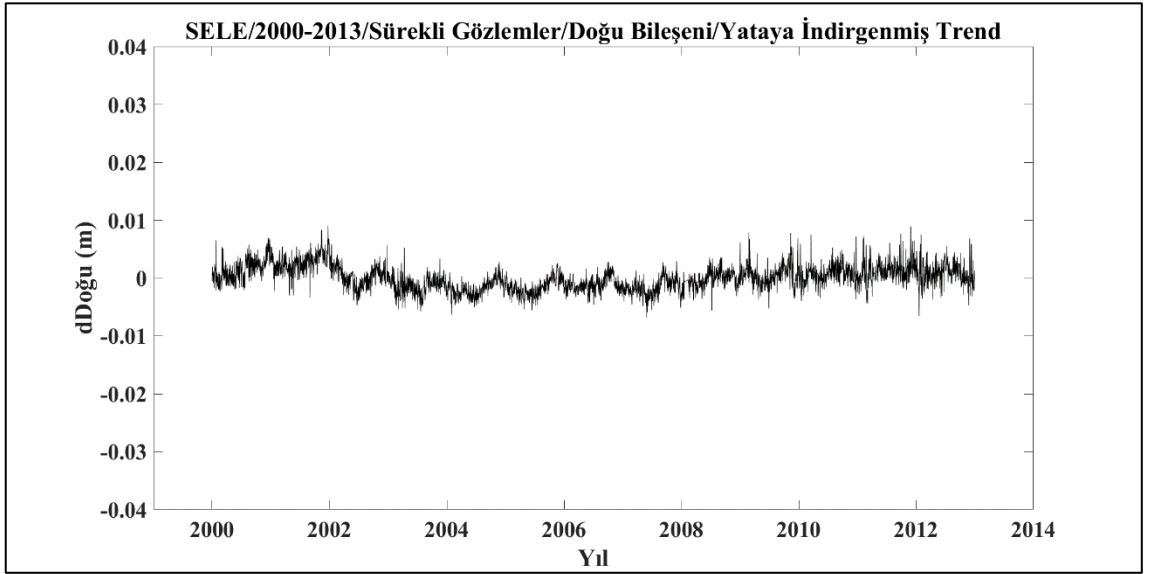
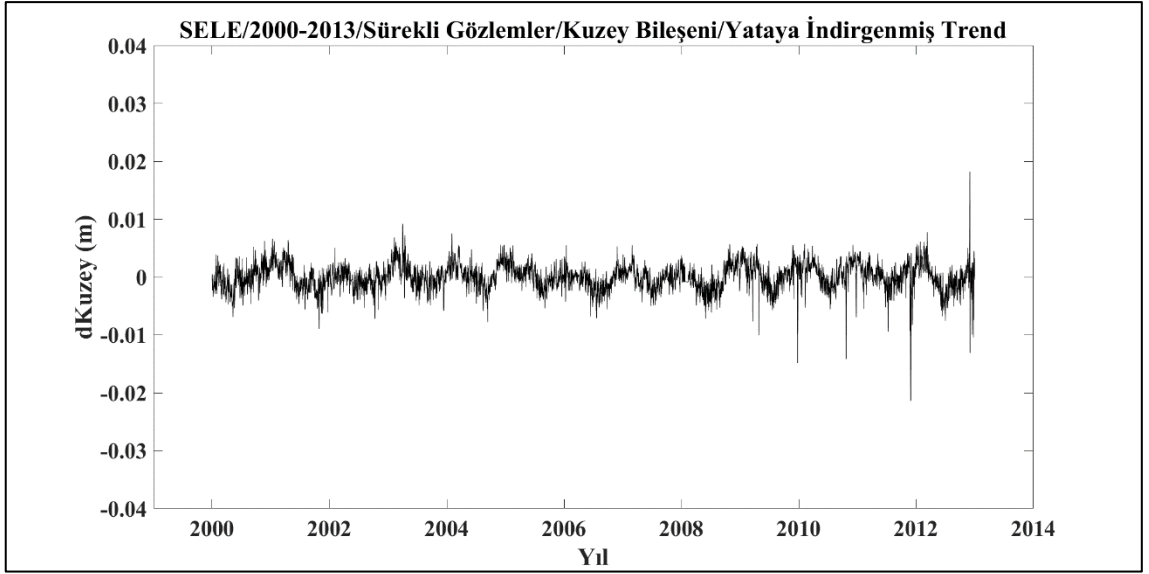




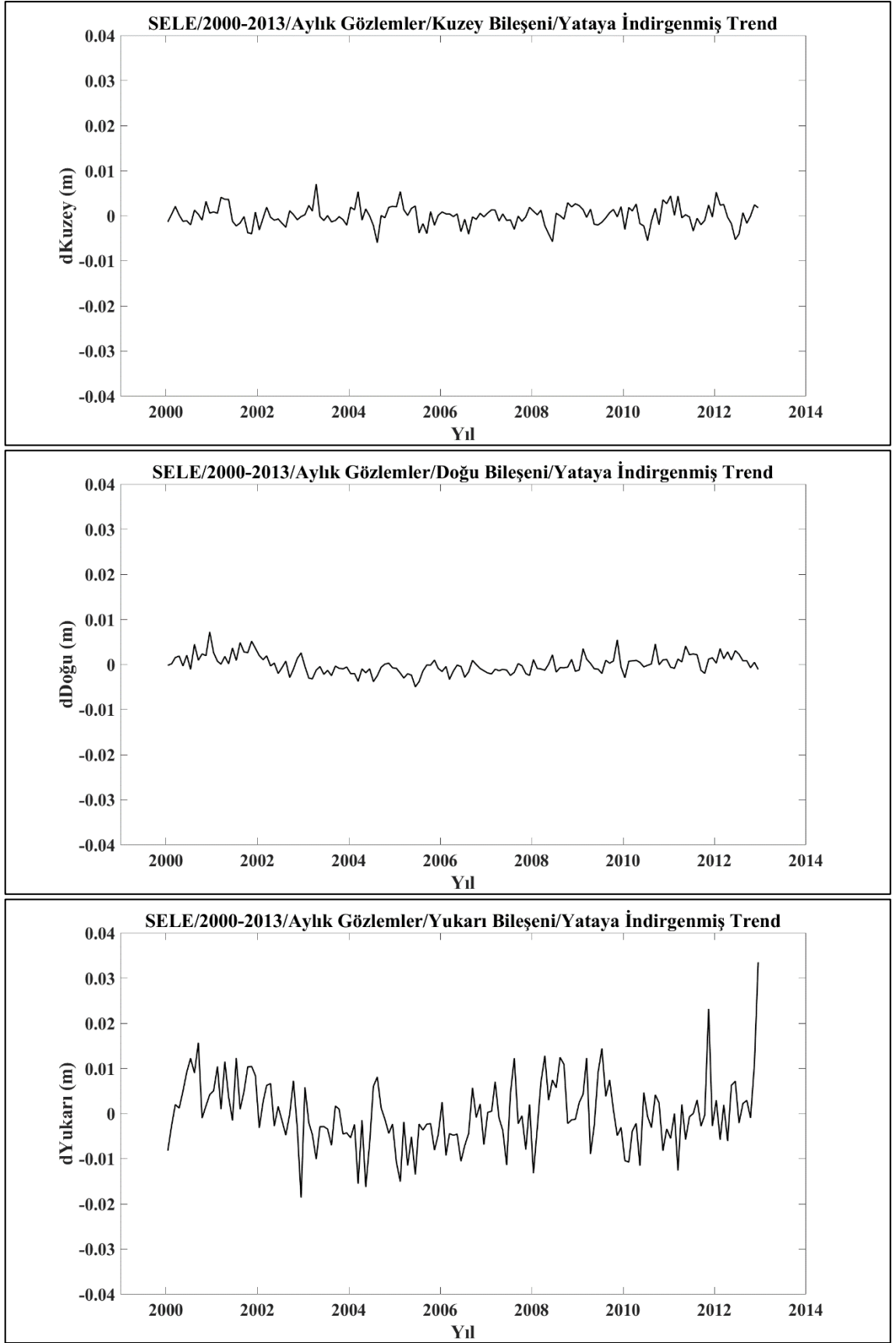
Şekil B. 23 SANT istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



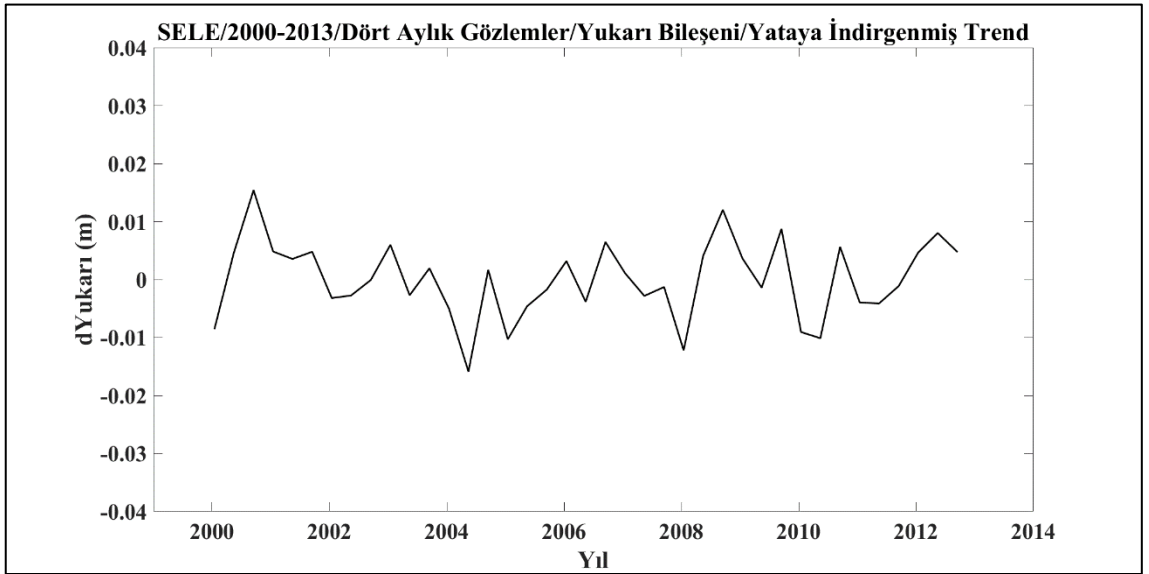
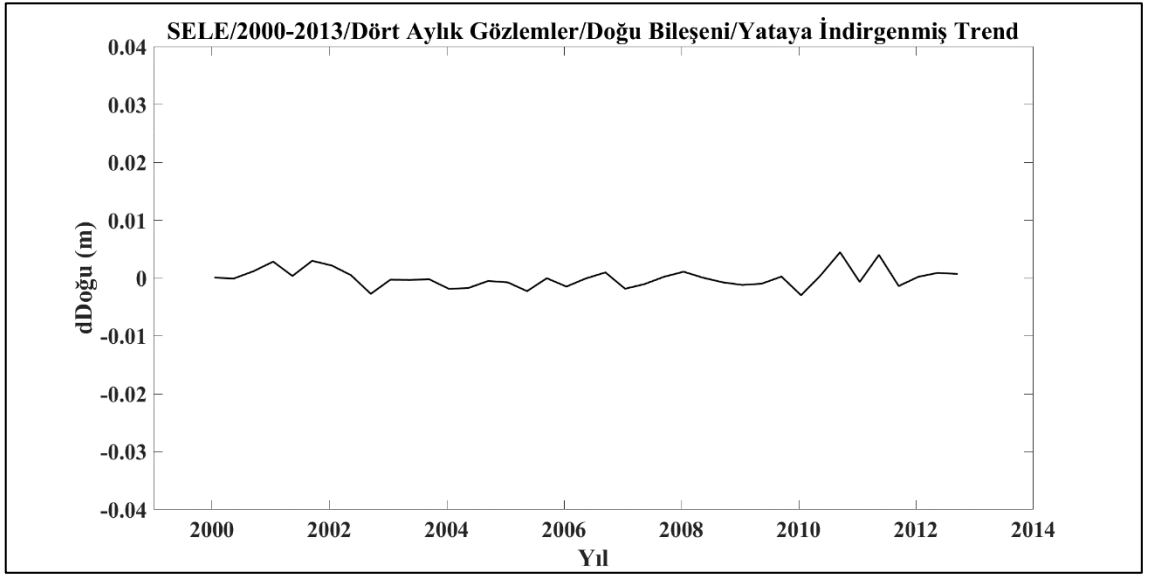
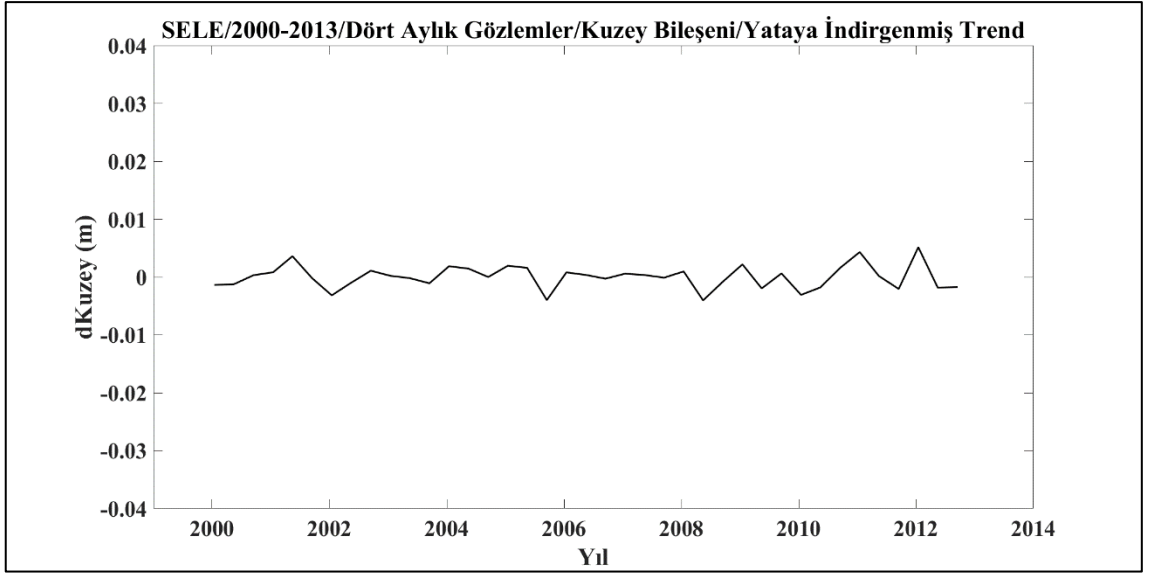
Şekil B. 24 SANT istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



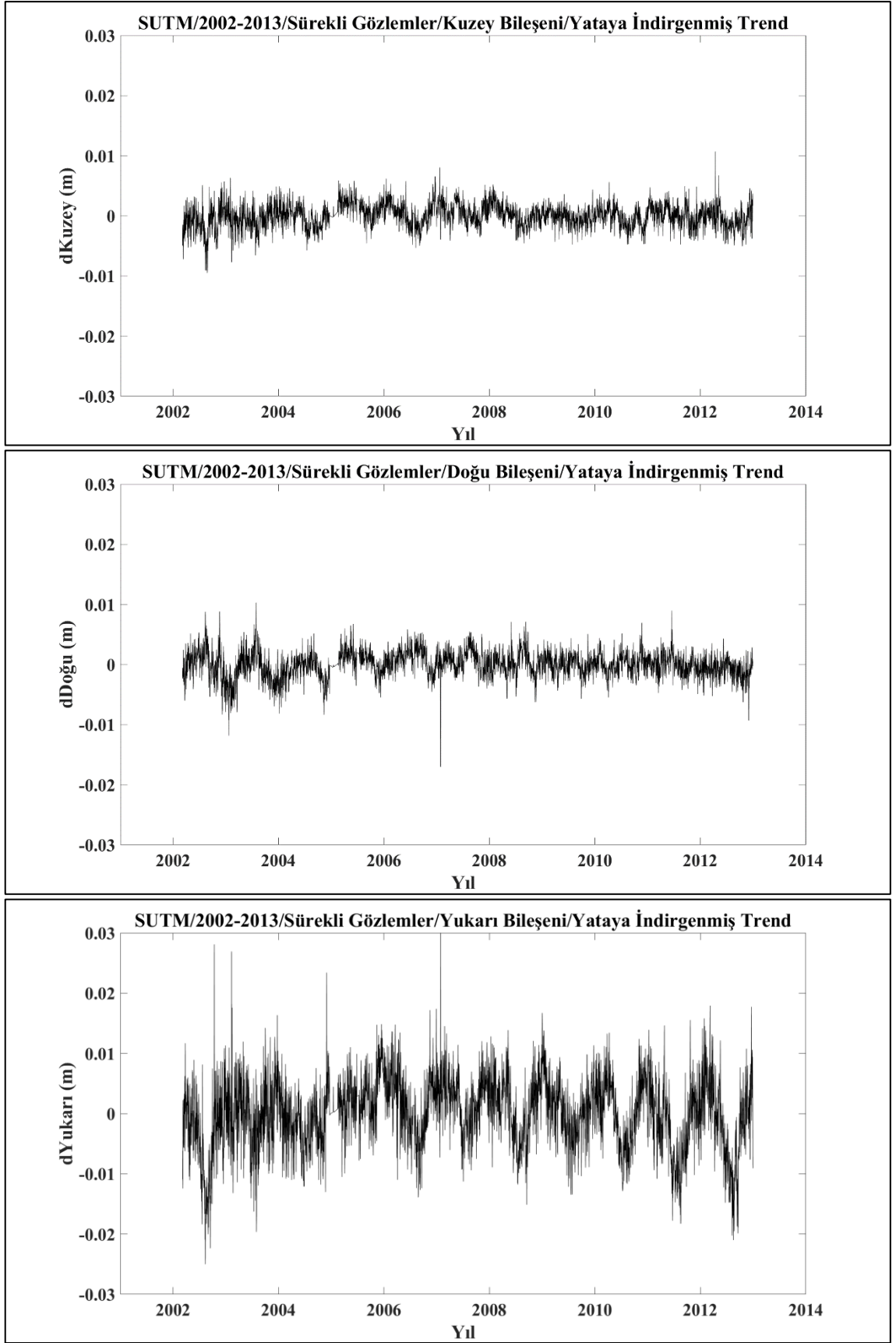
Şekil B. 25 SELE istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



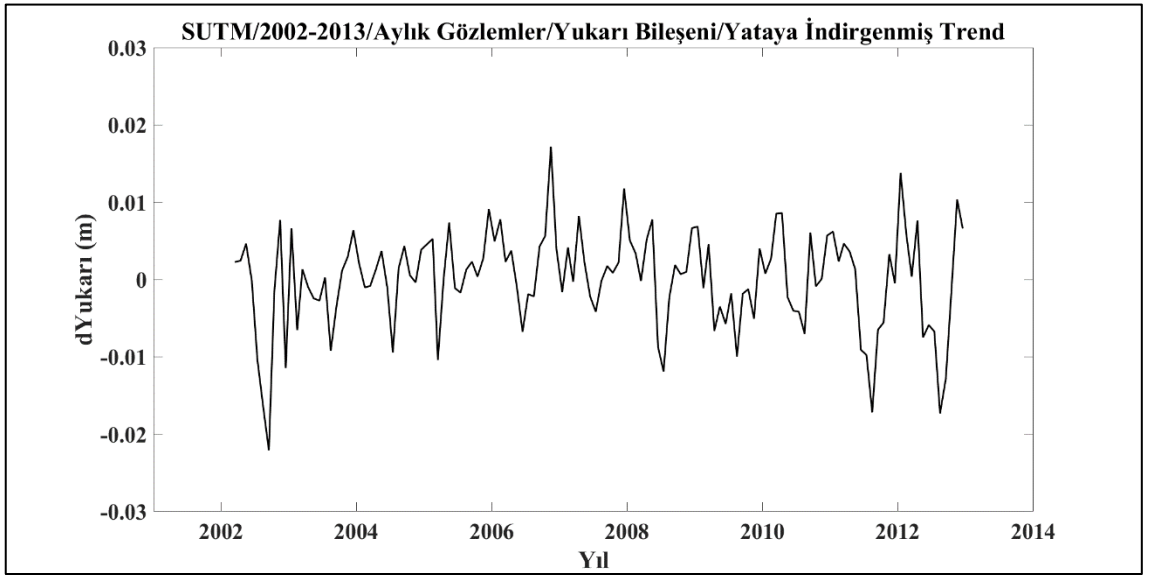
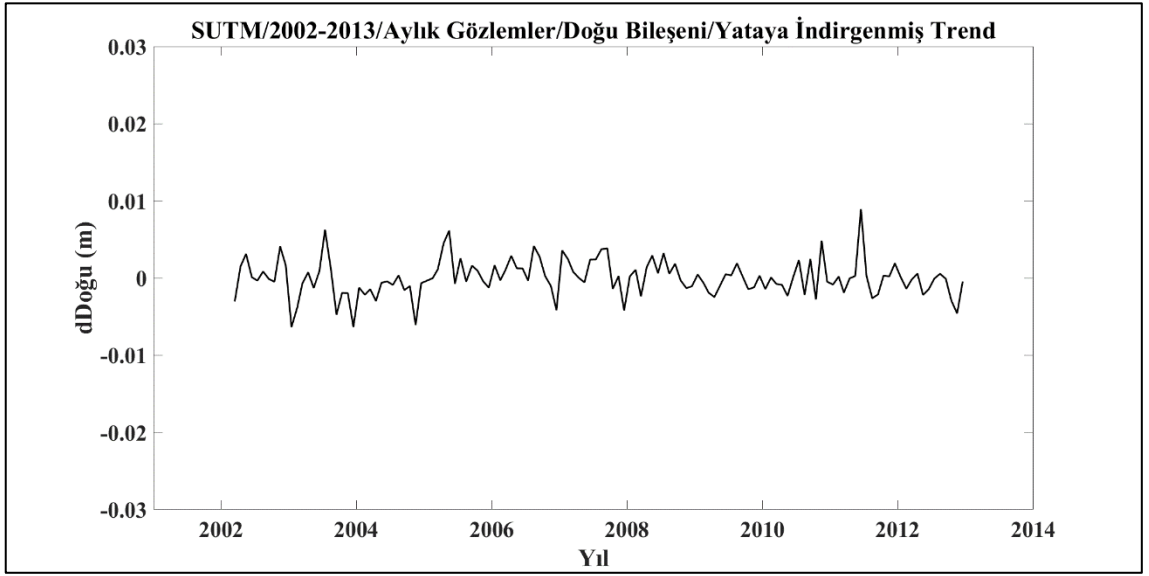
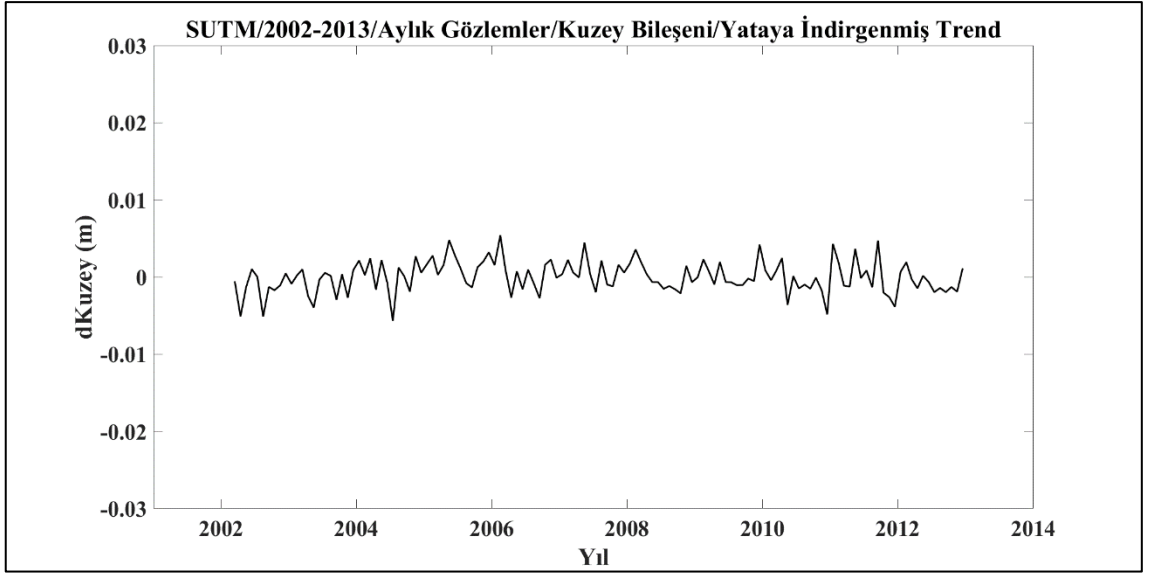
Şekil B. 26 SELE istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



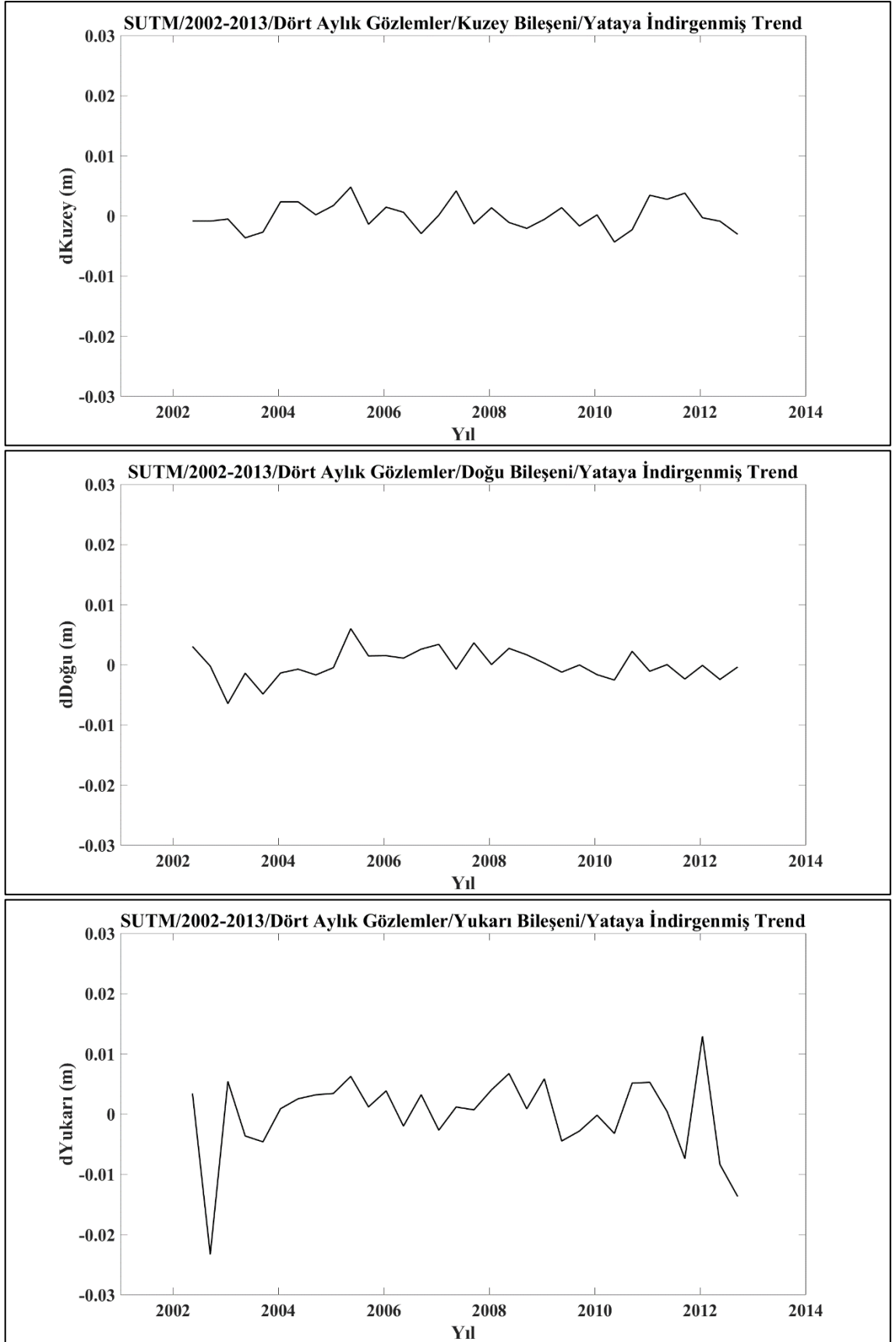
Şekil B. 27 SELE istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



Şekil B. 28 SUTM istasyonu sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

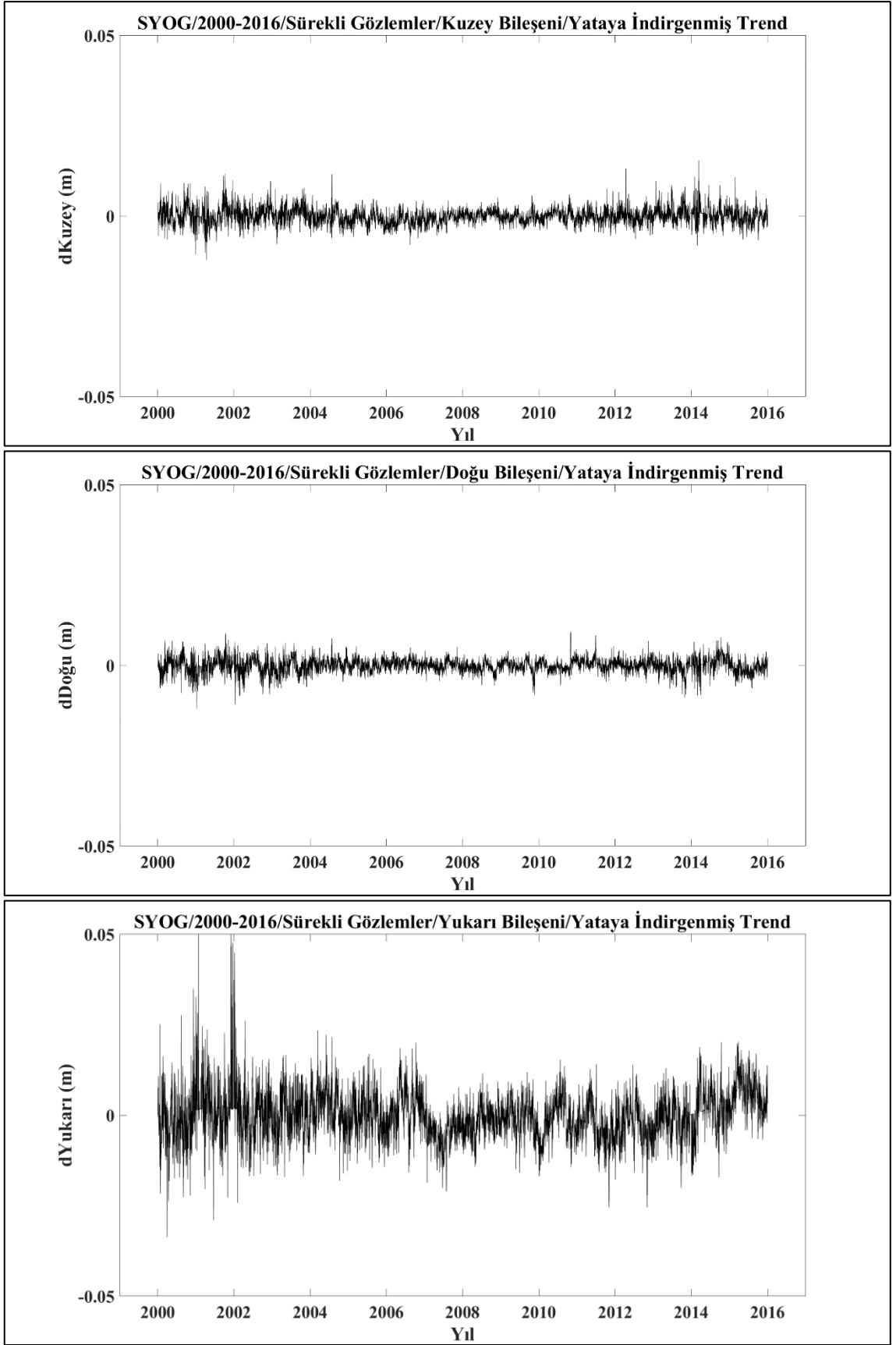


Şekil B. 29 SUTM istasyonu aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

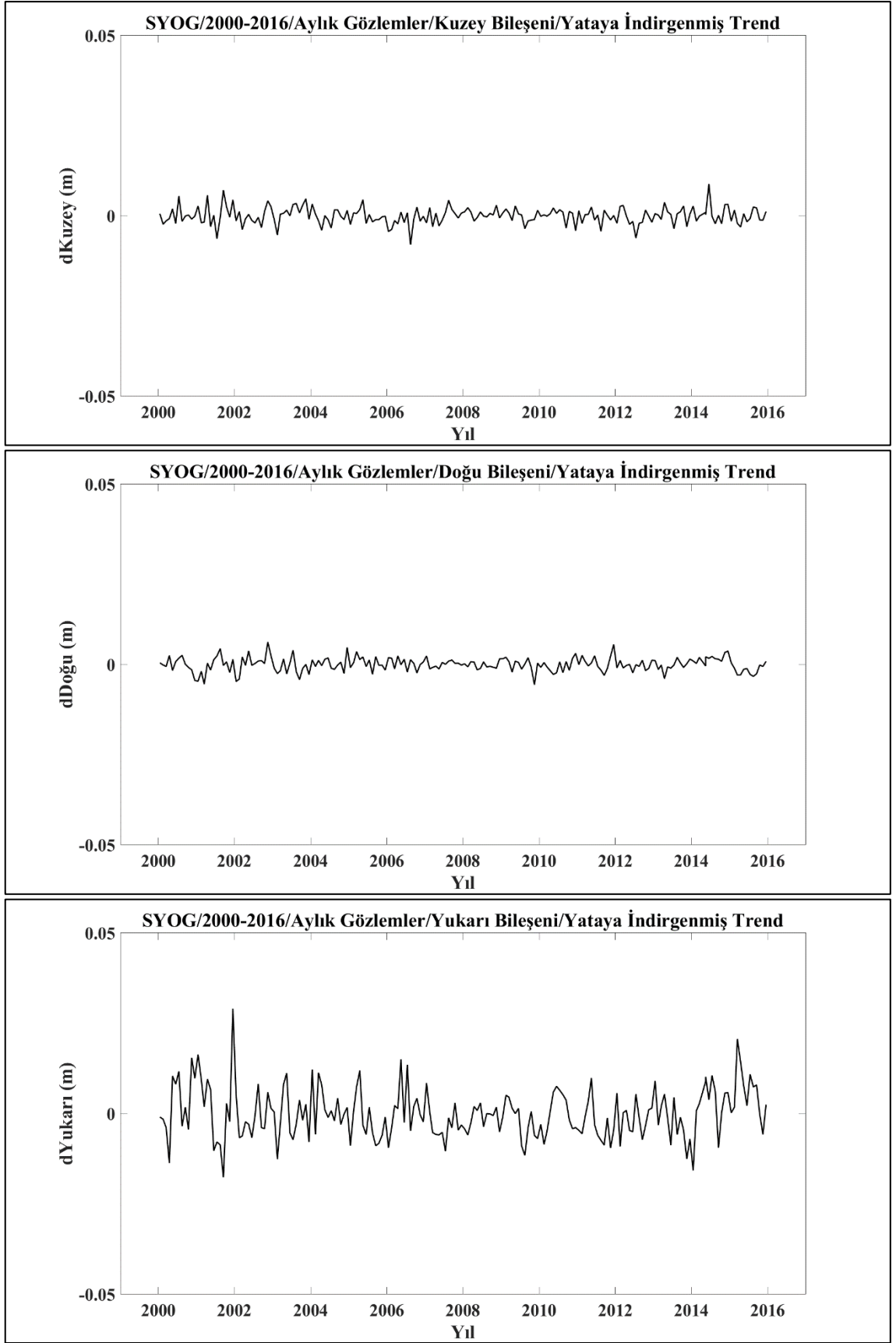


Şekil B. 30 SUTM istasyonu ait dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

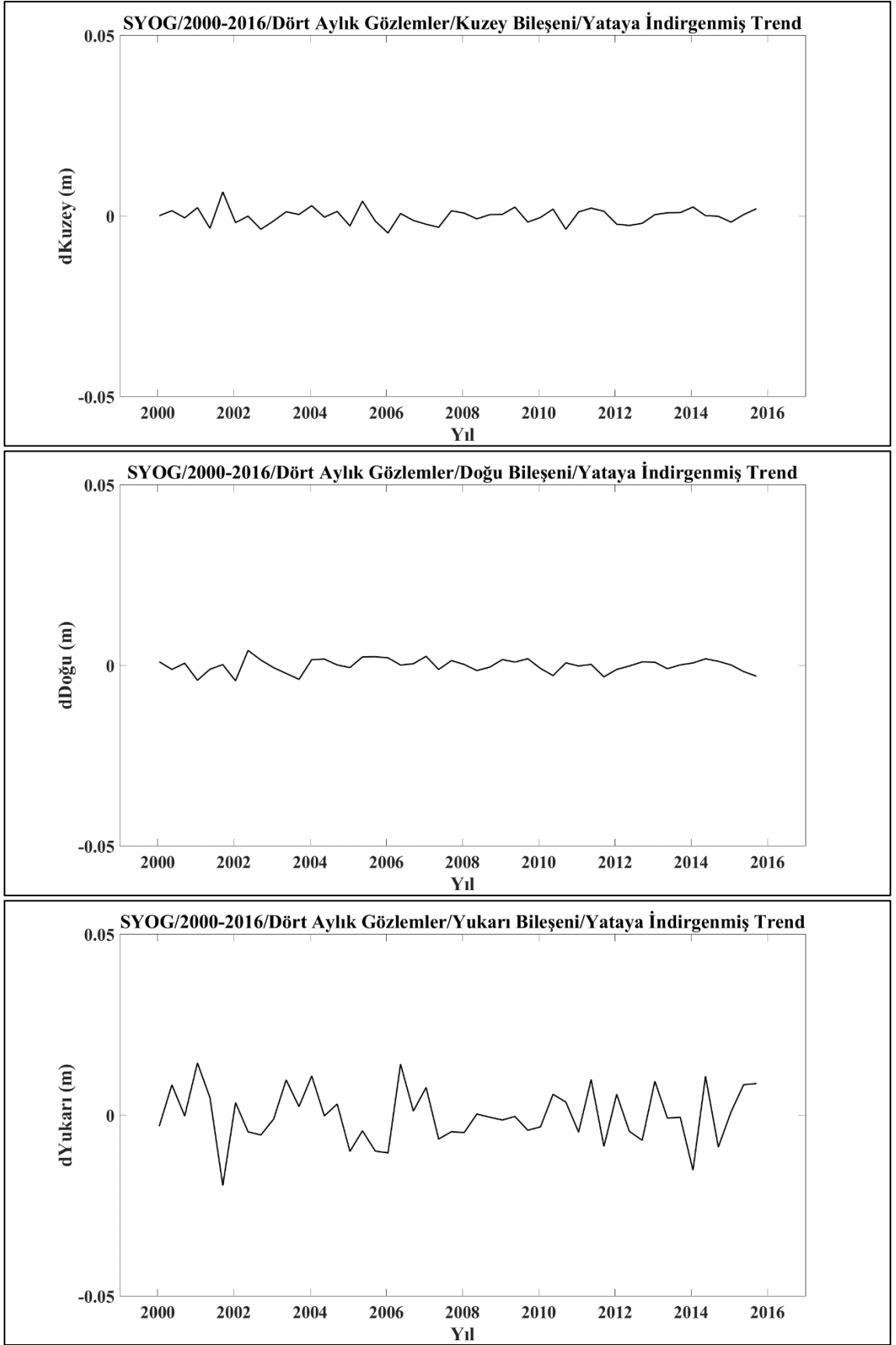




Şekil B. 31 SYOG istasyonu ait sürekli gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



Şekil B. 32 SUTM istasyonu ait aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.



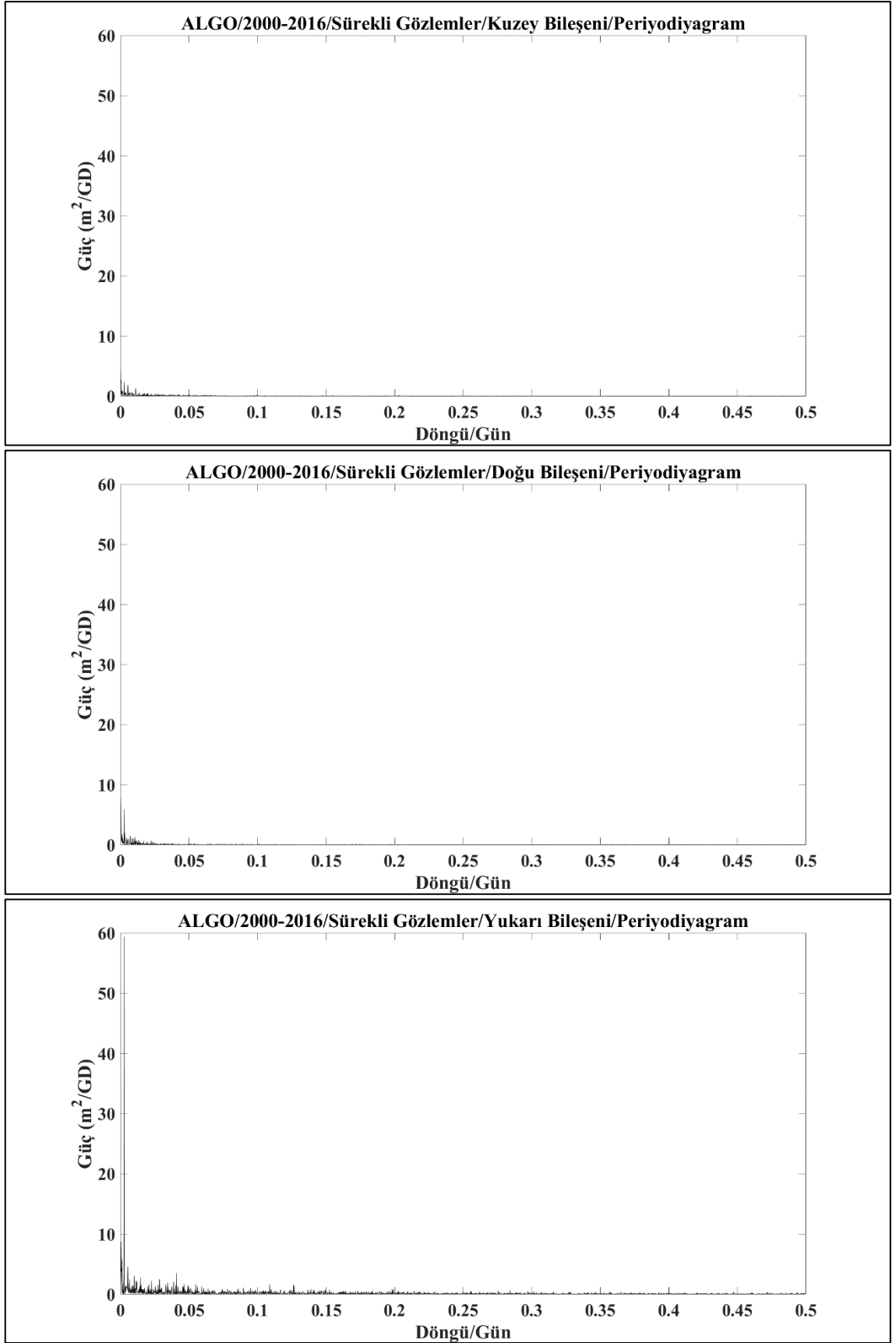
Şekil B. 33 SUTM istasyonu dört aylık gözlemler için yataya indirgenmiş trendler.

---

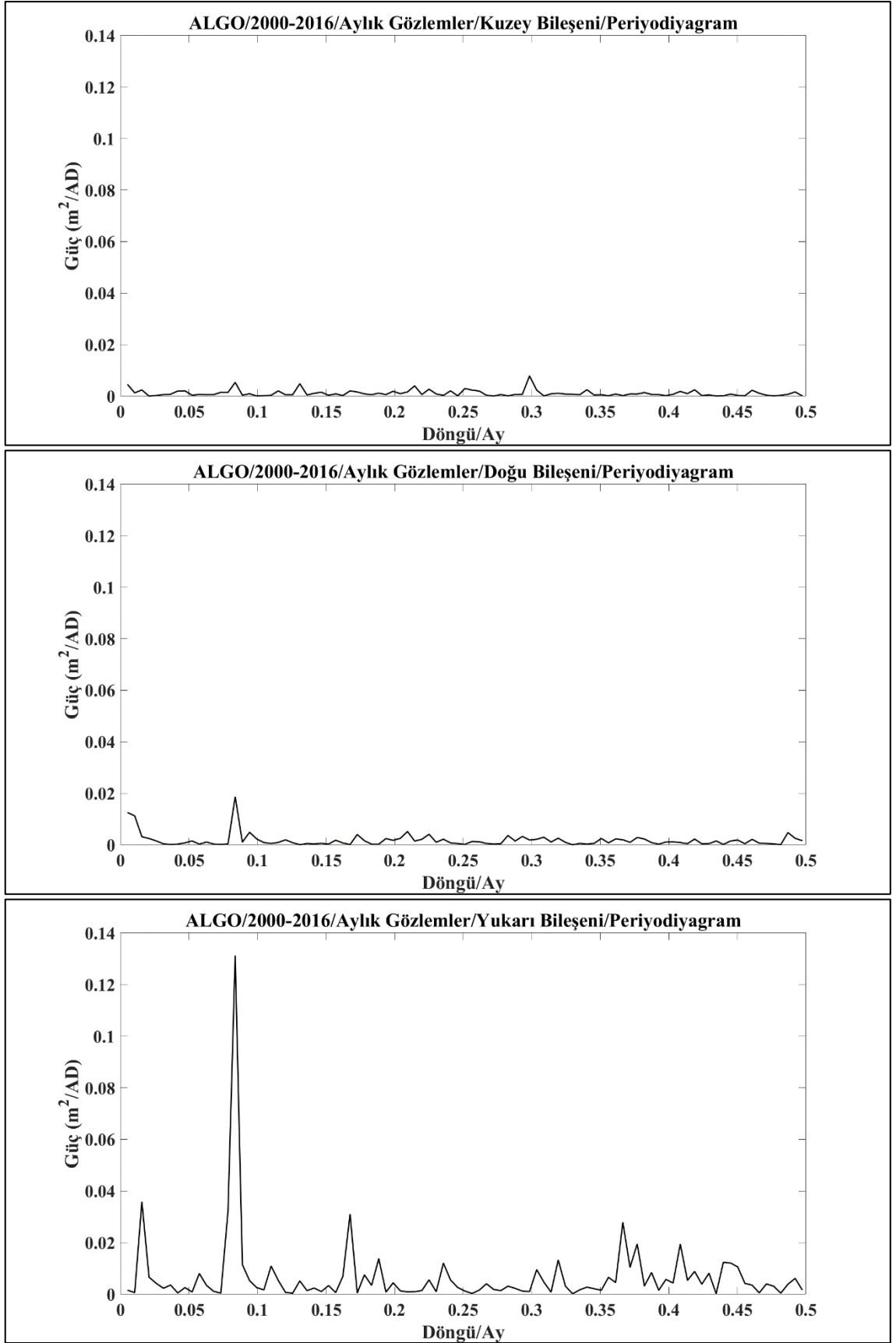
## 11 Adet İstasyon için 15 Yıllık Periyodiyagramlar

İstasyon Listesi;

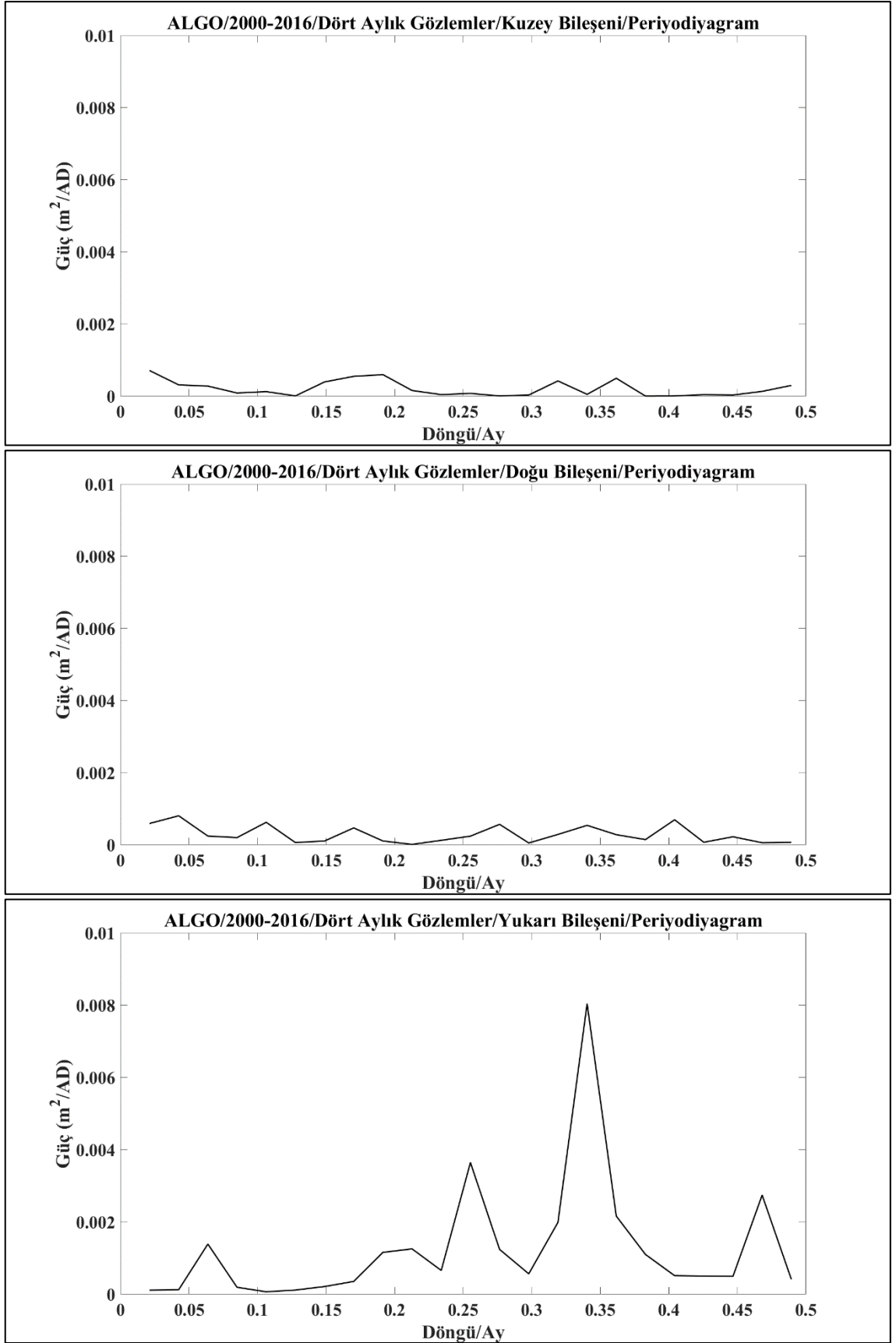
ALGO, BJFS, GOLD, KERG, NNOR, ONSA, PDEL, SANT, SELE, SUTM, SYOG.



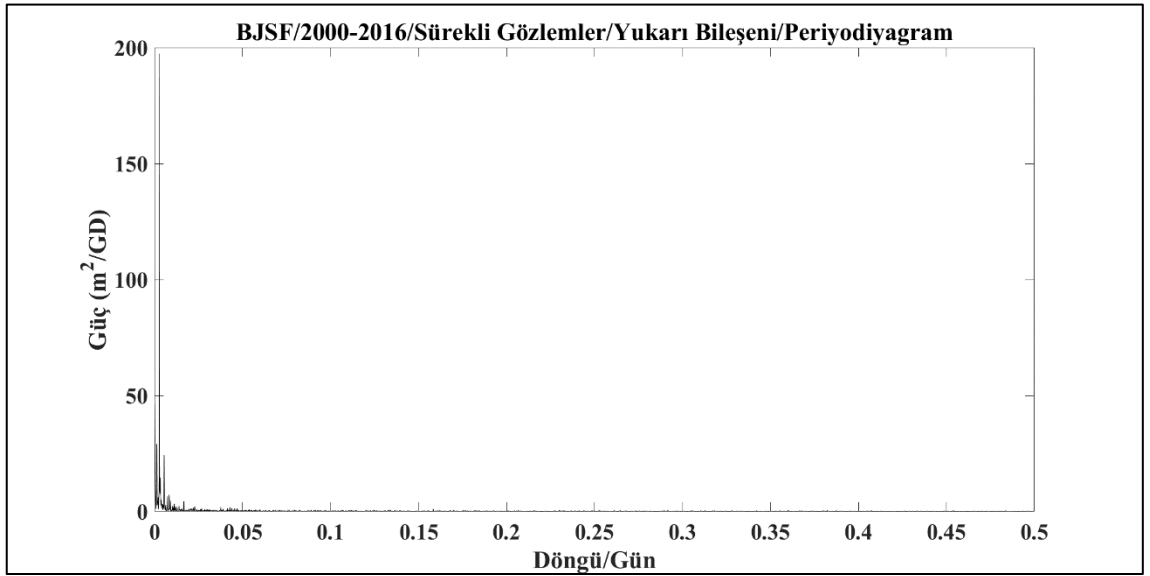
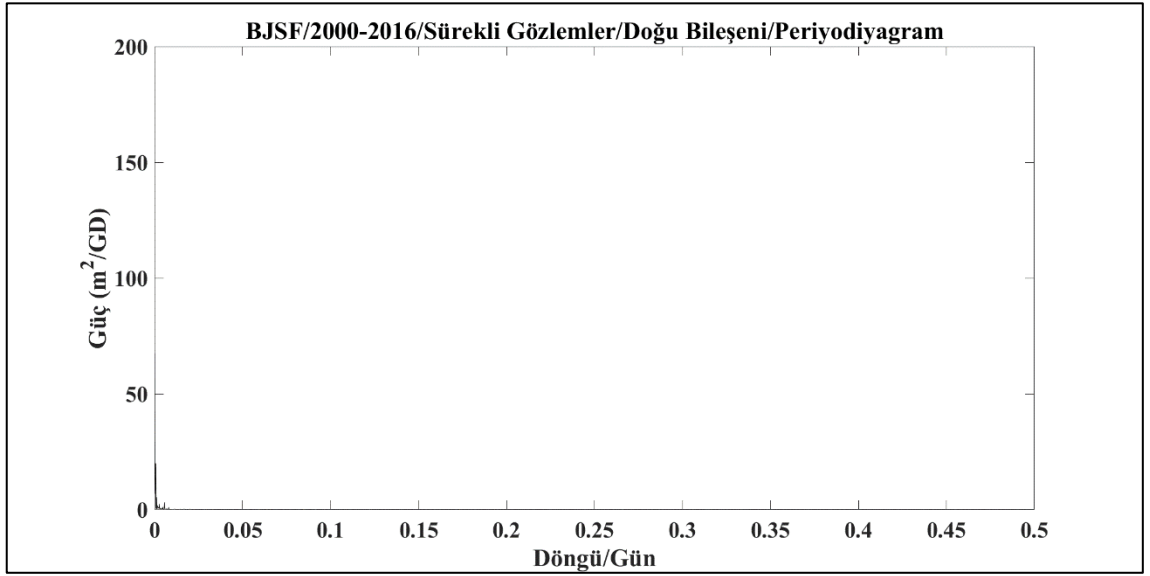
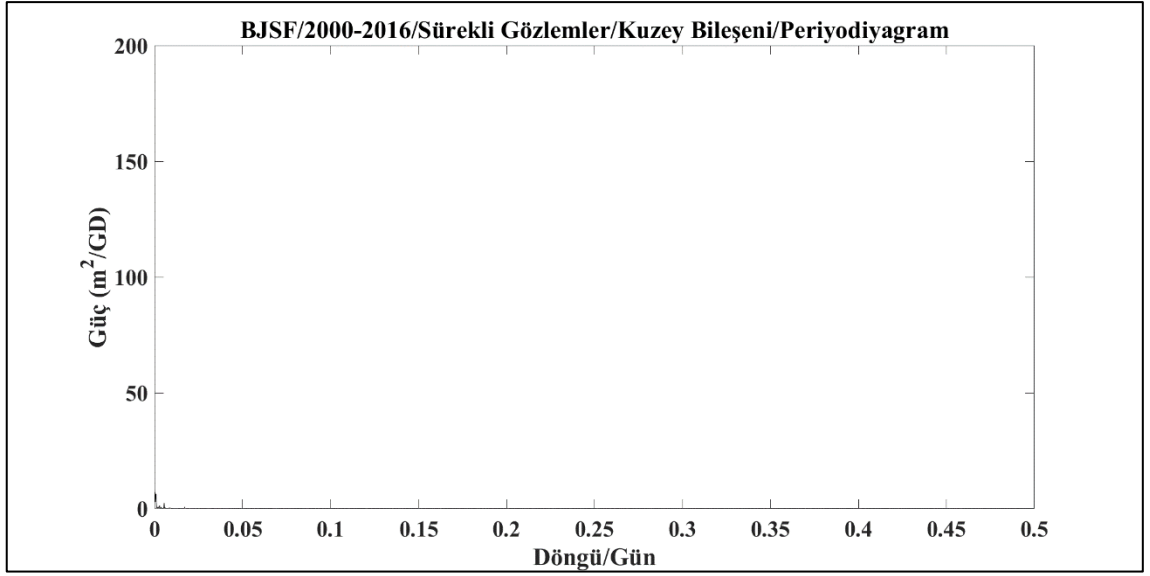
Şekil C. 1 ALGO istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.



Şekil C. 2 ALGO istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.

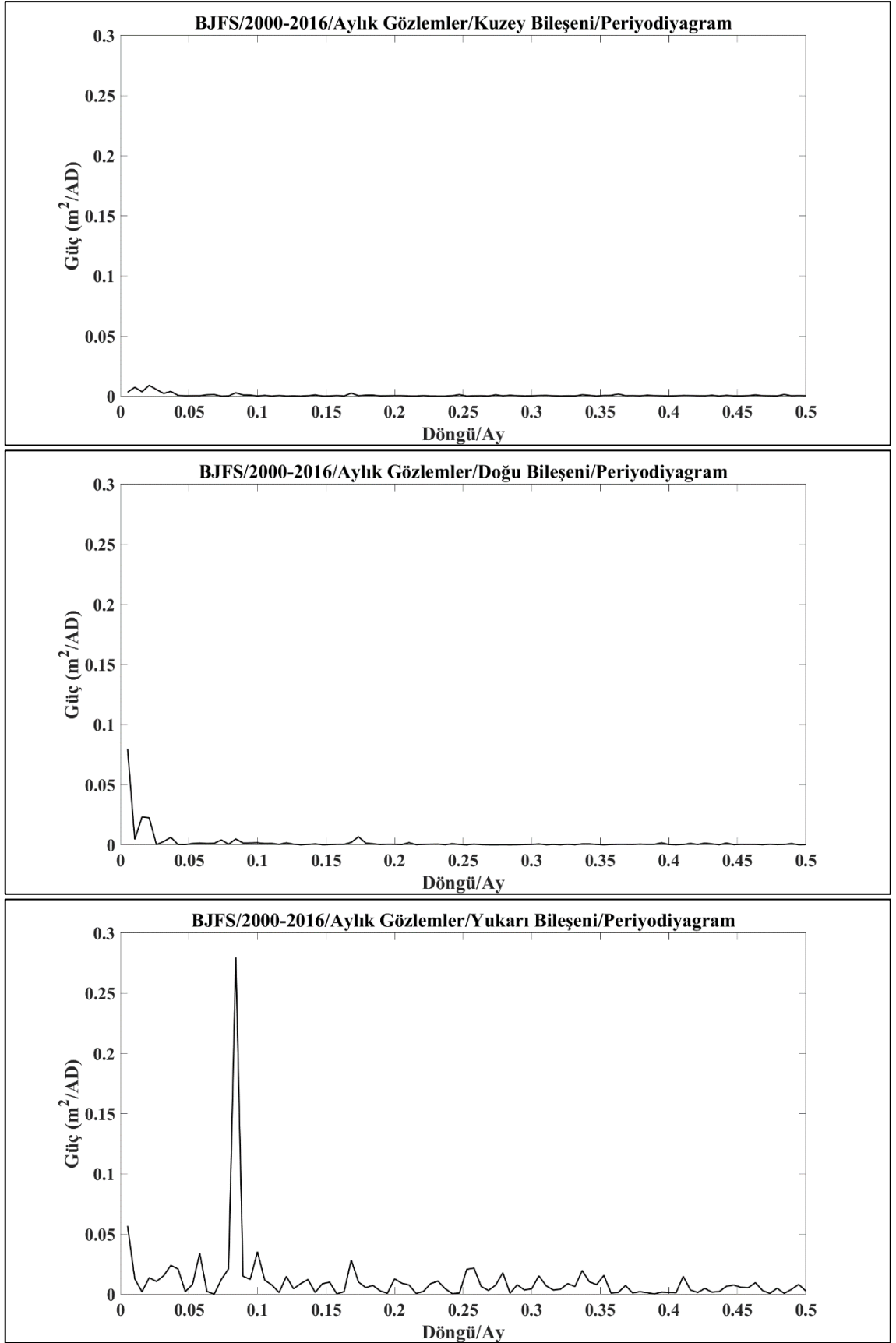


Şekil C. 3 ALGO istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.

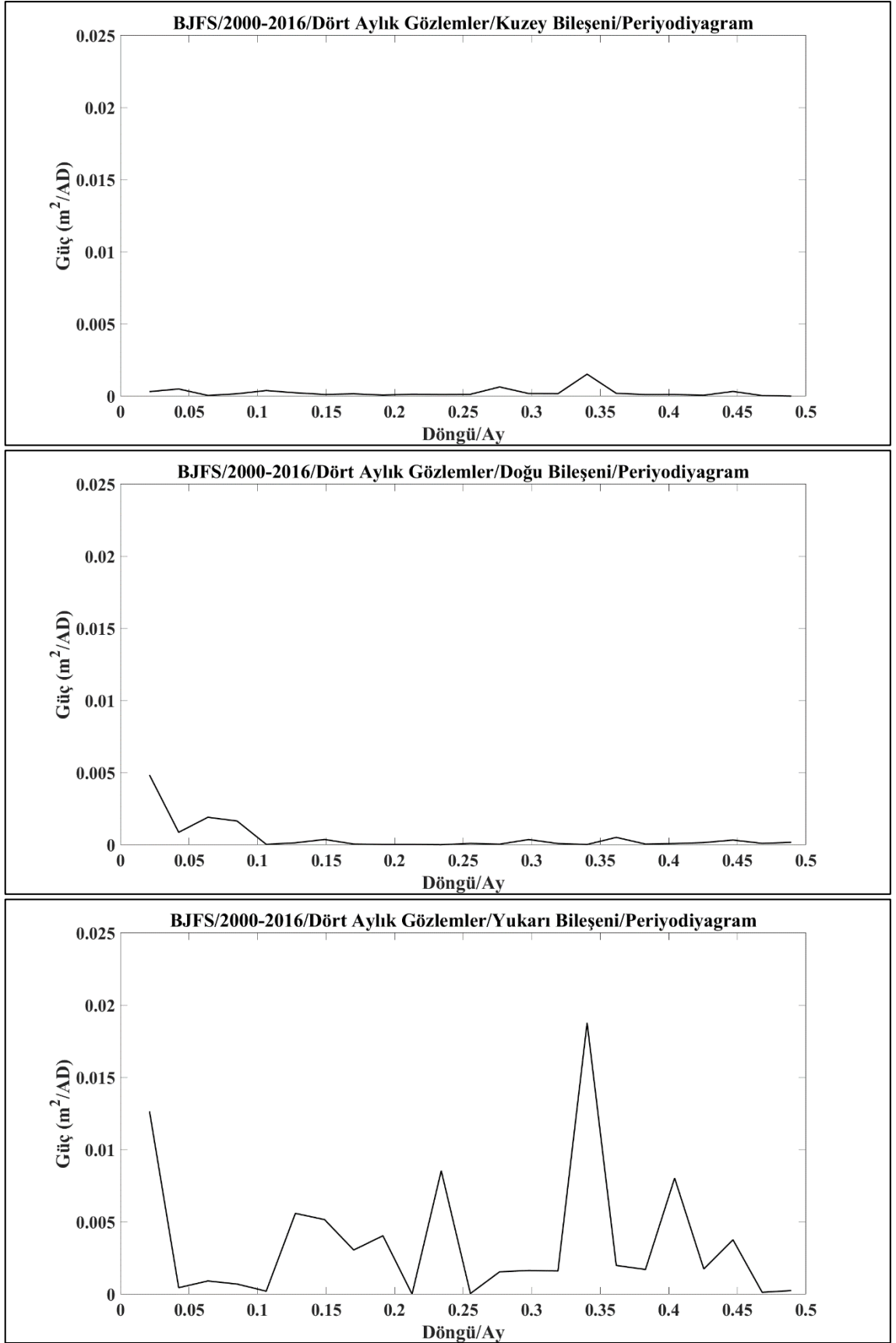


Şekil C. 4 ALGO istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.

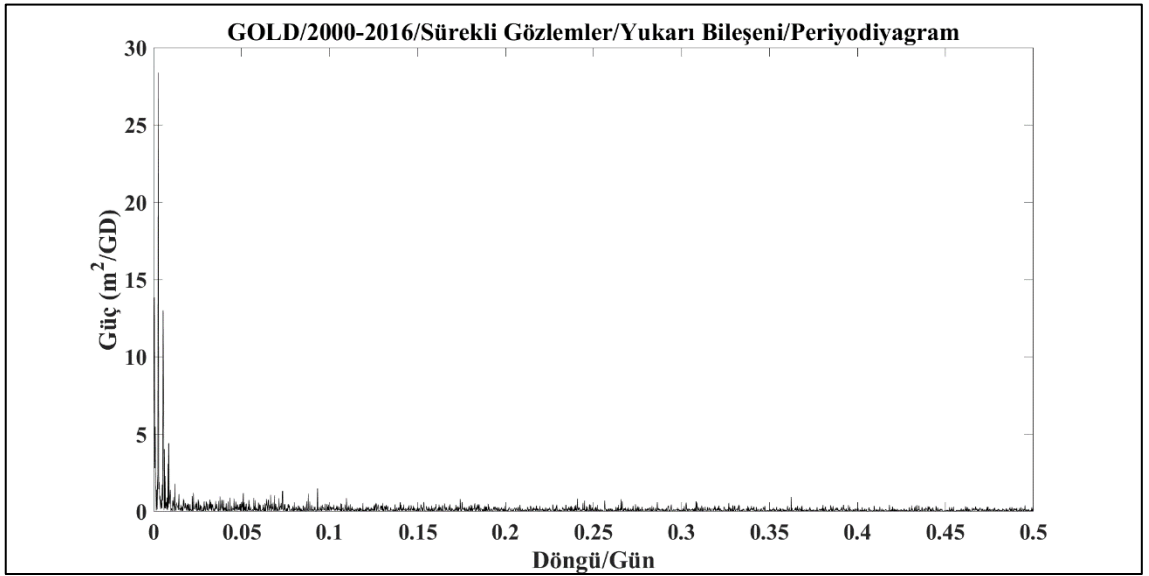
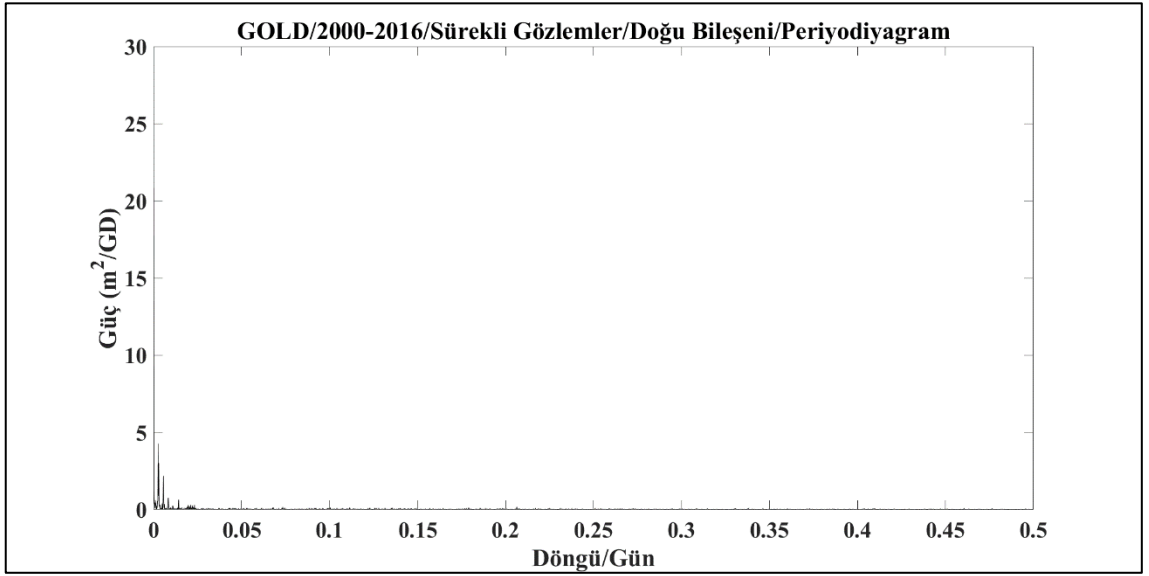
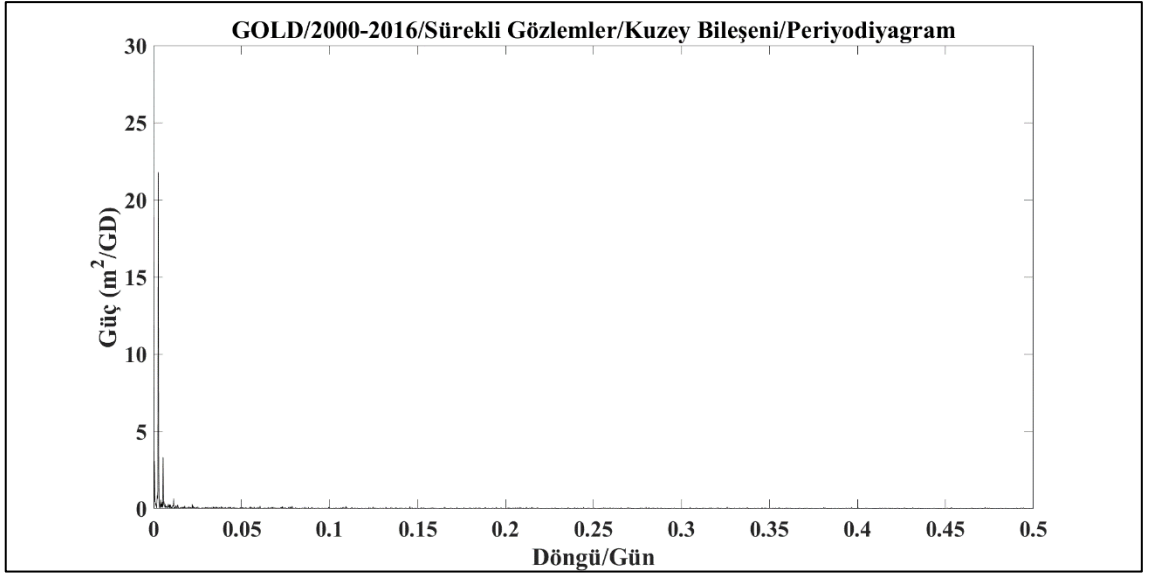




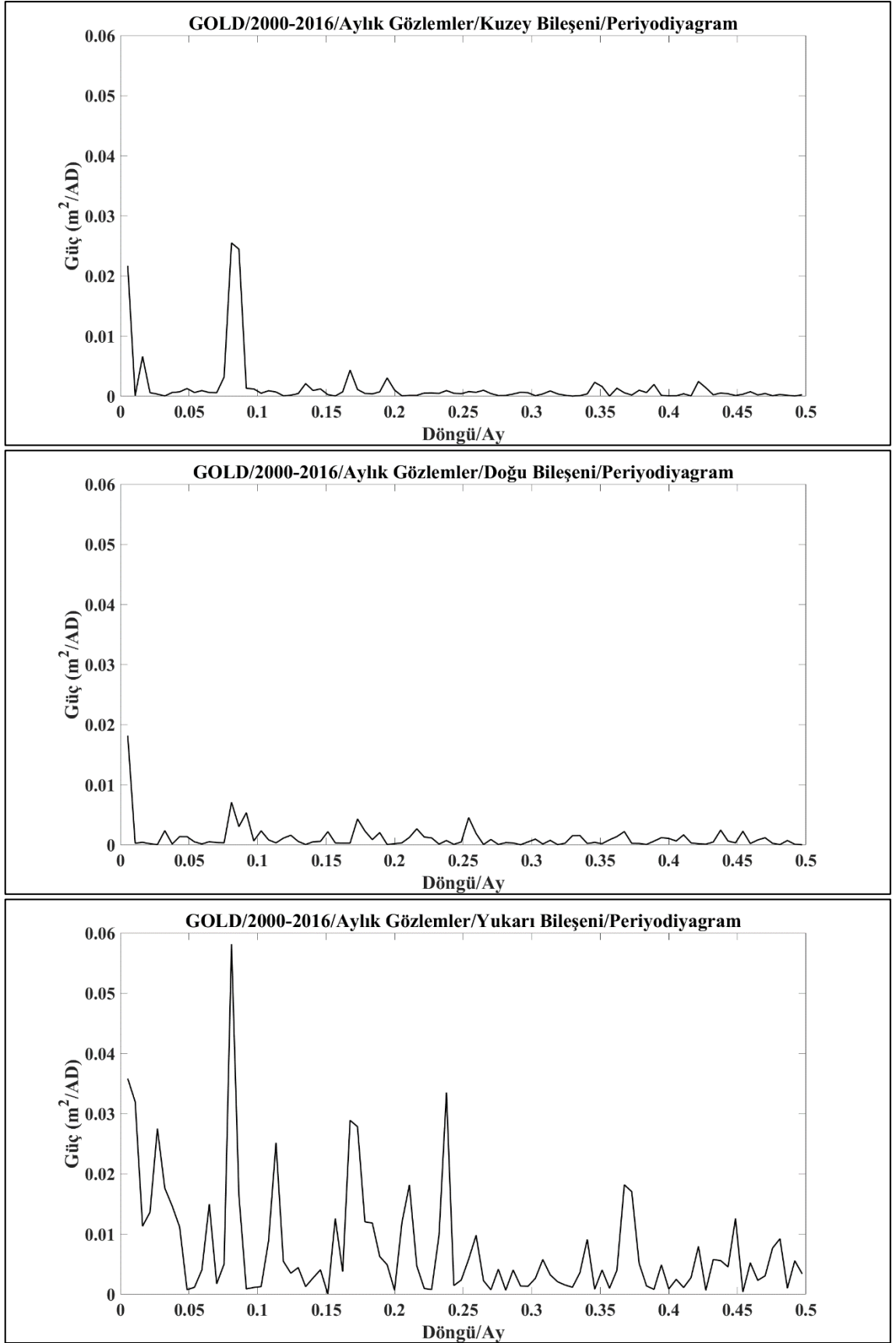
Şekil C. 5 ALGO istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



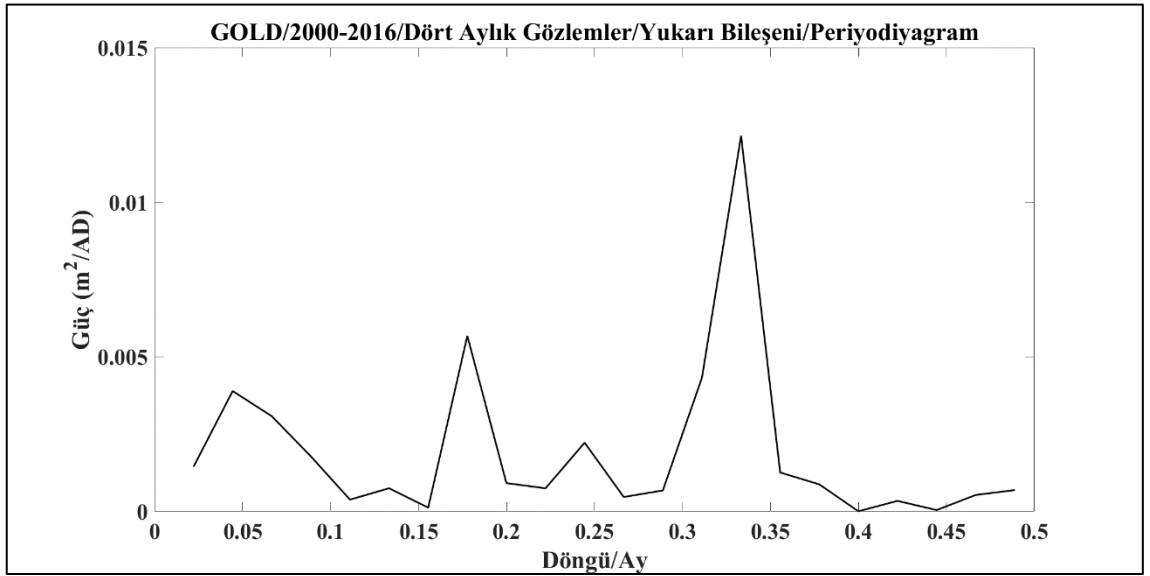
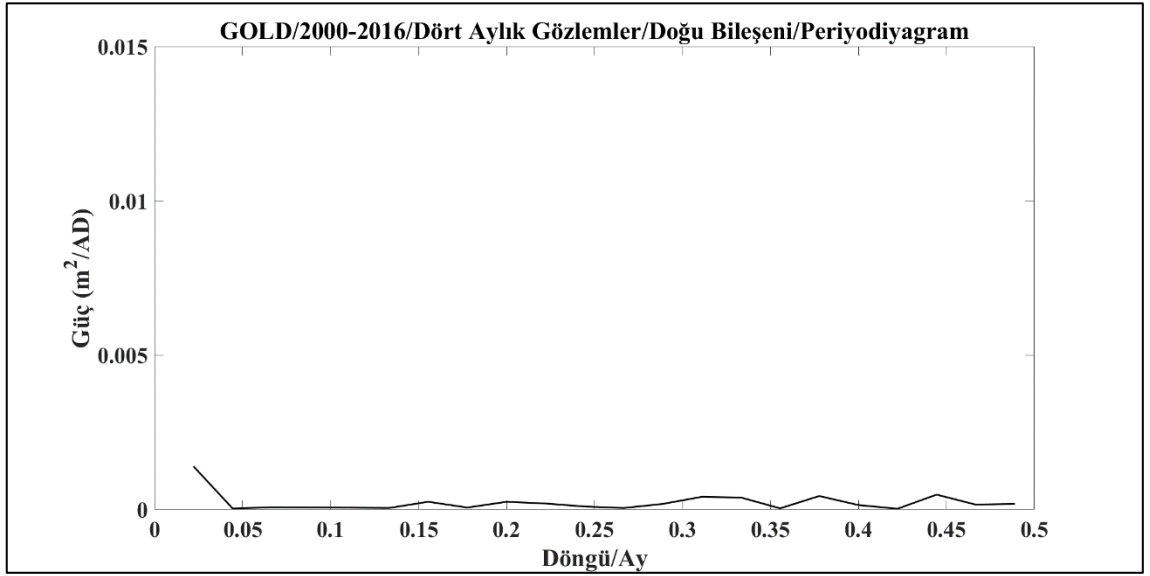
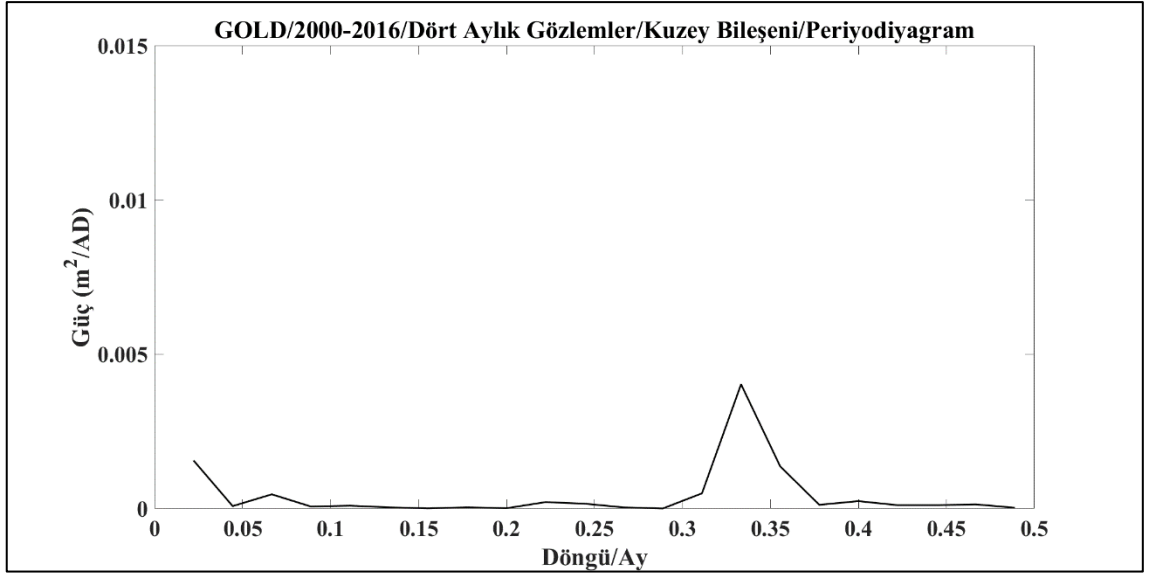
Şekil C. 6 ALGO istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



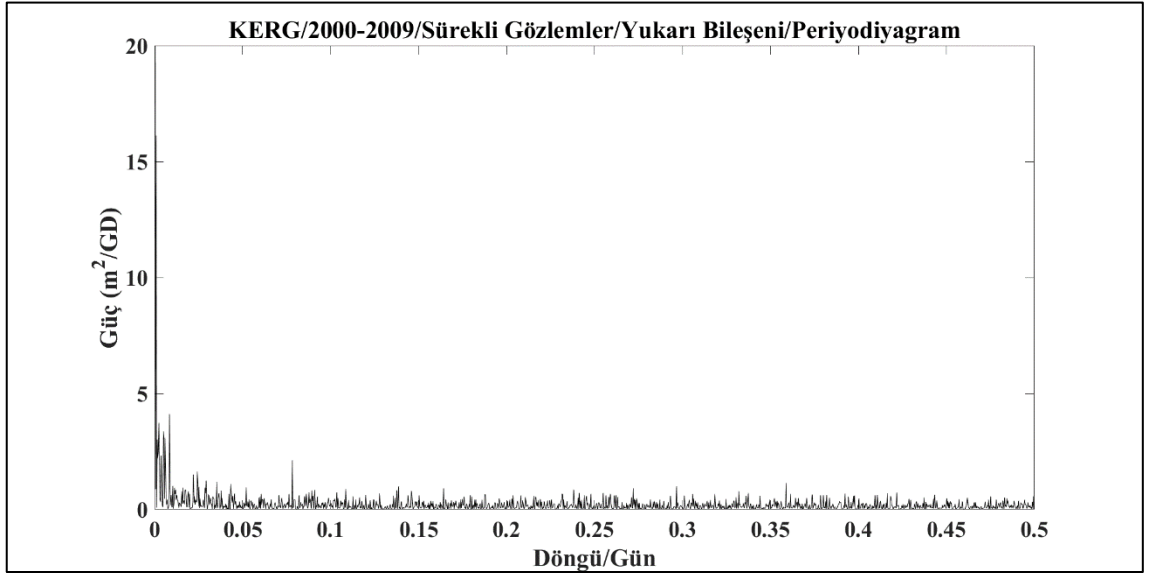
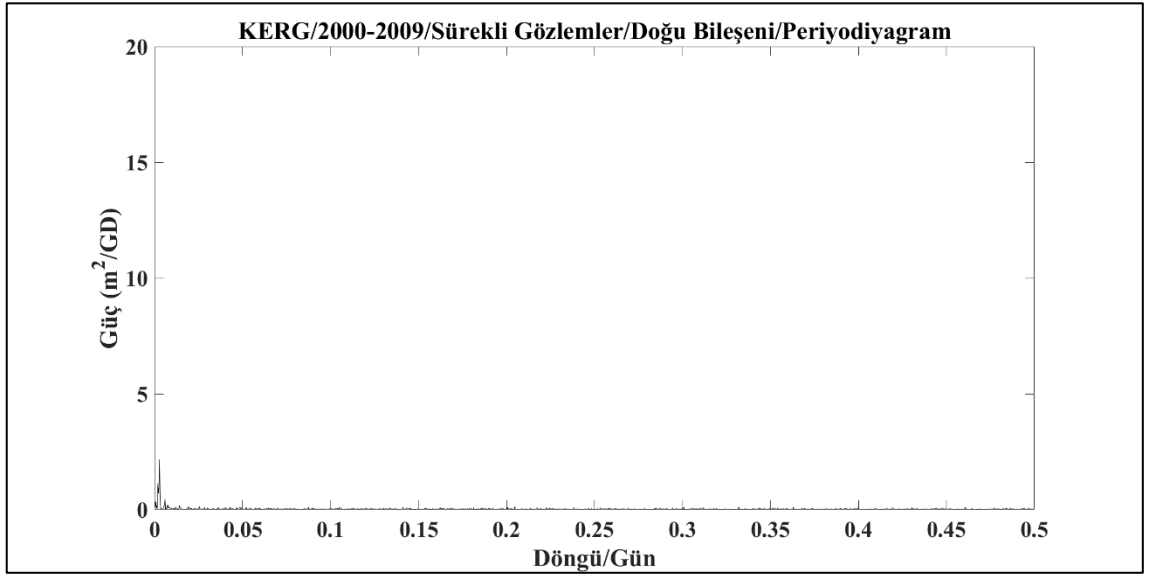
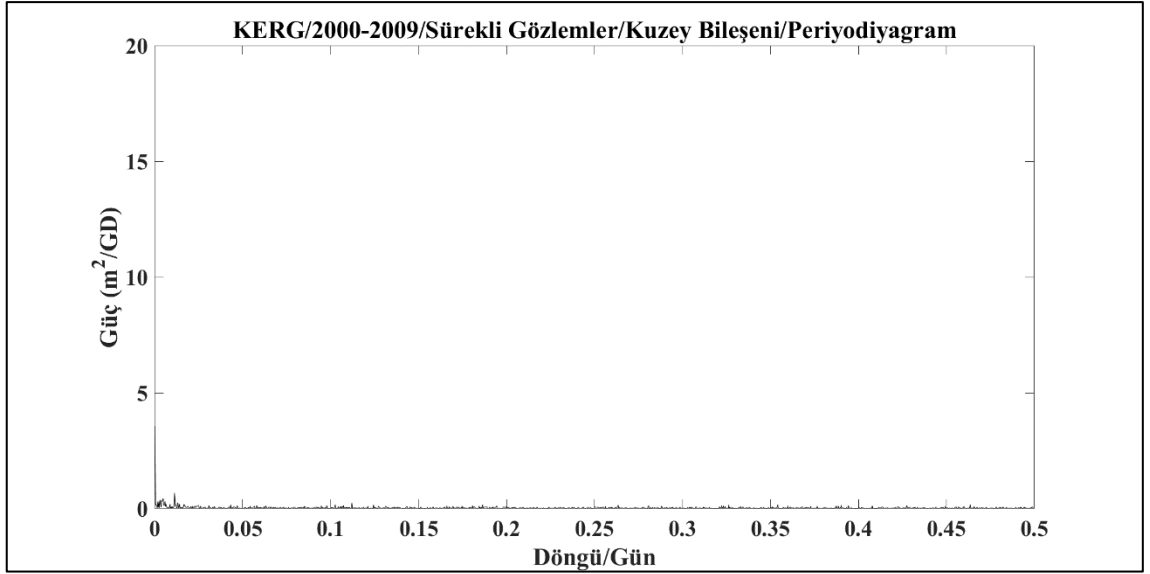
Şekil C. 7 GOLD istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.



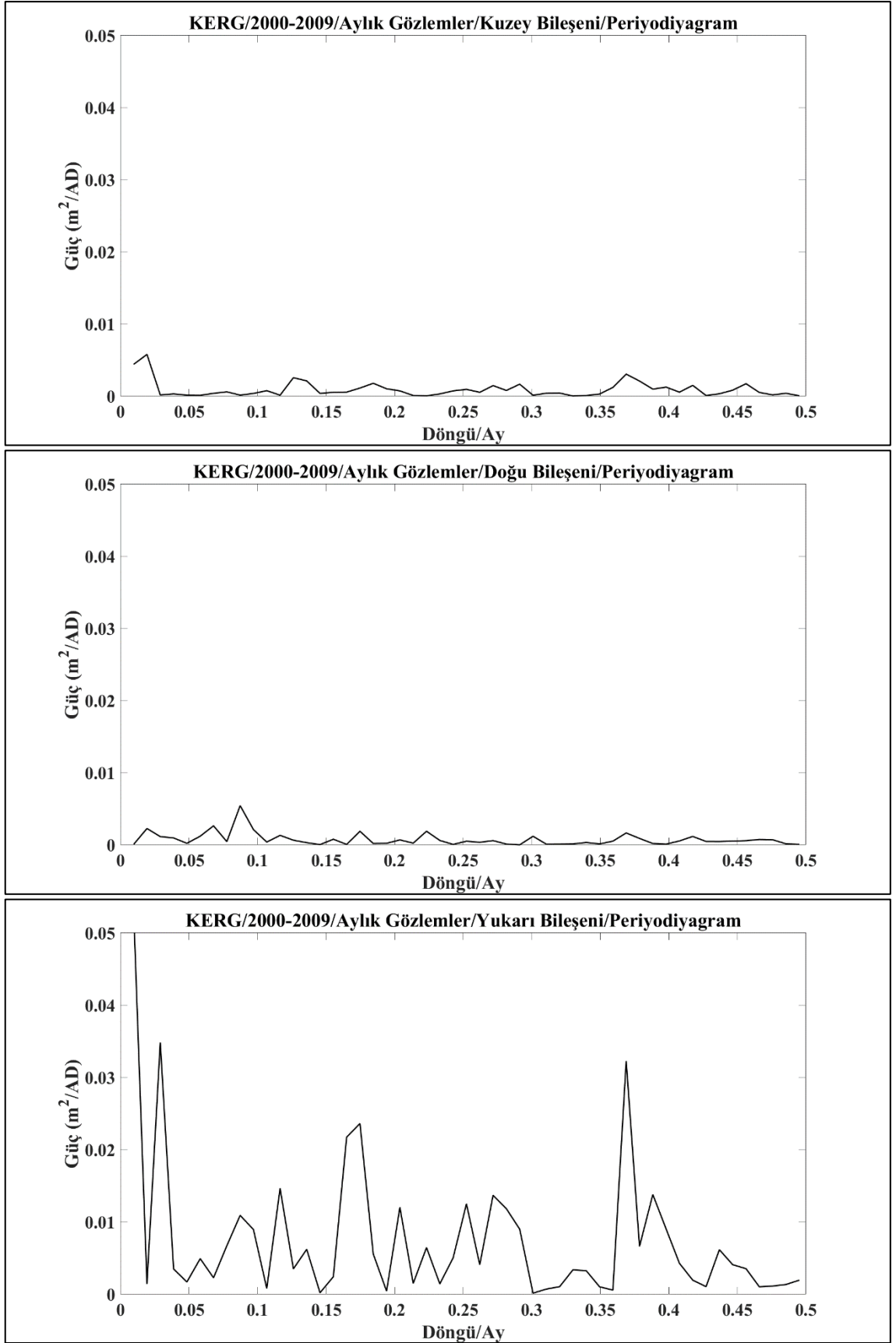
Şekil C. 8 GOLD istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



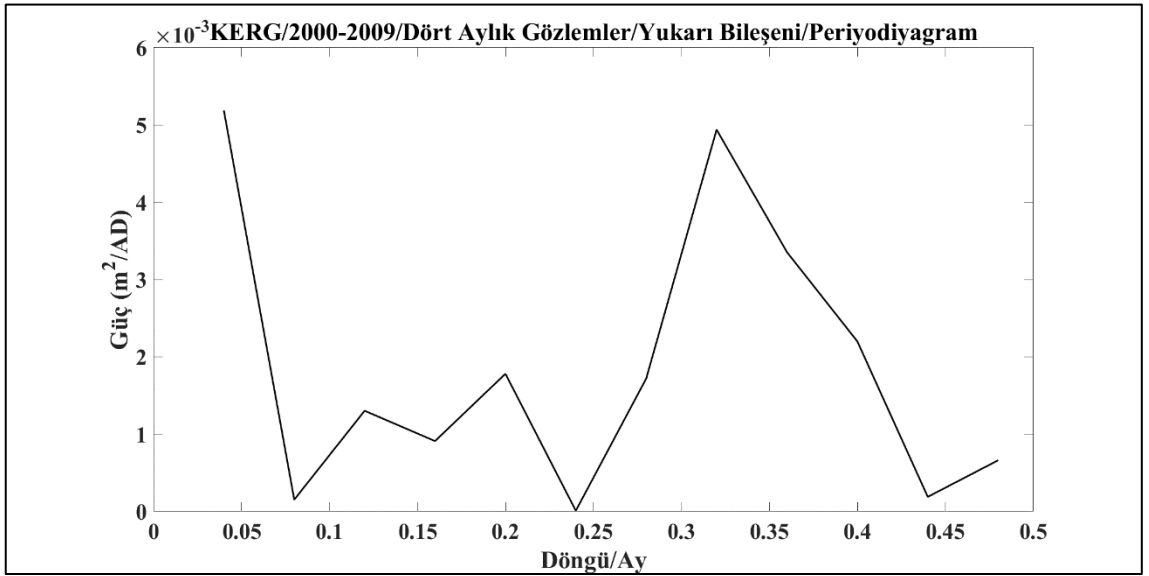
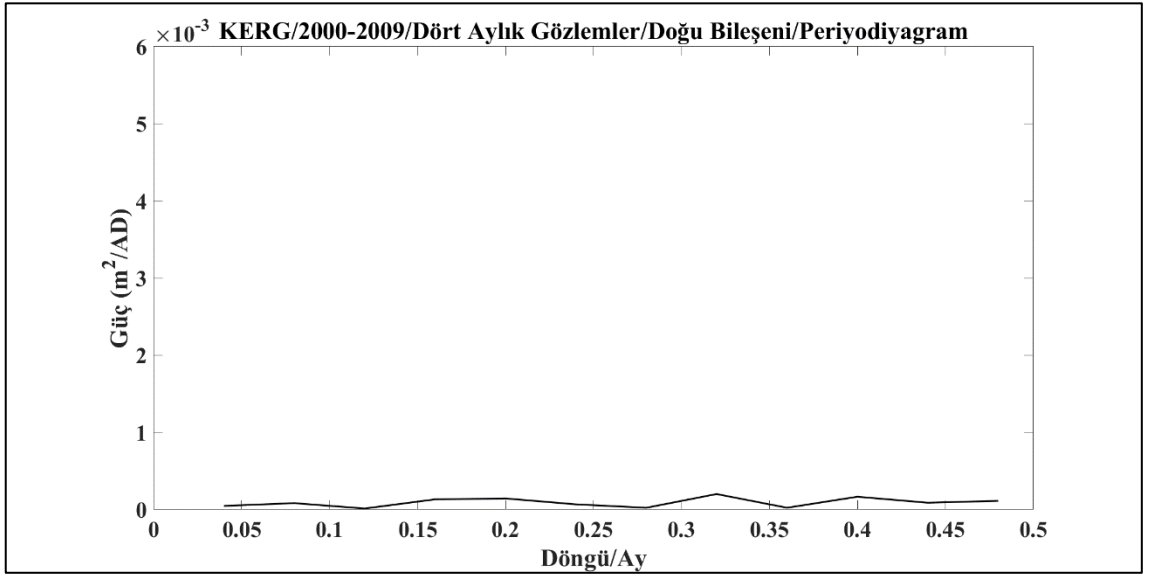
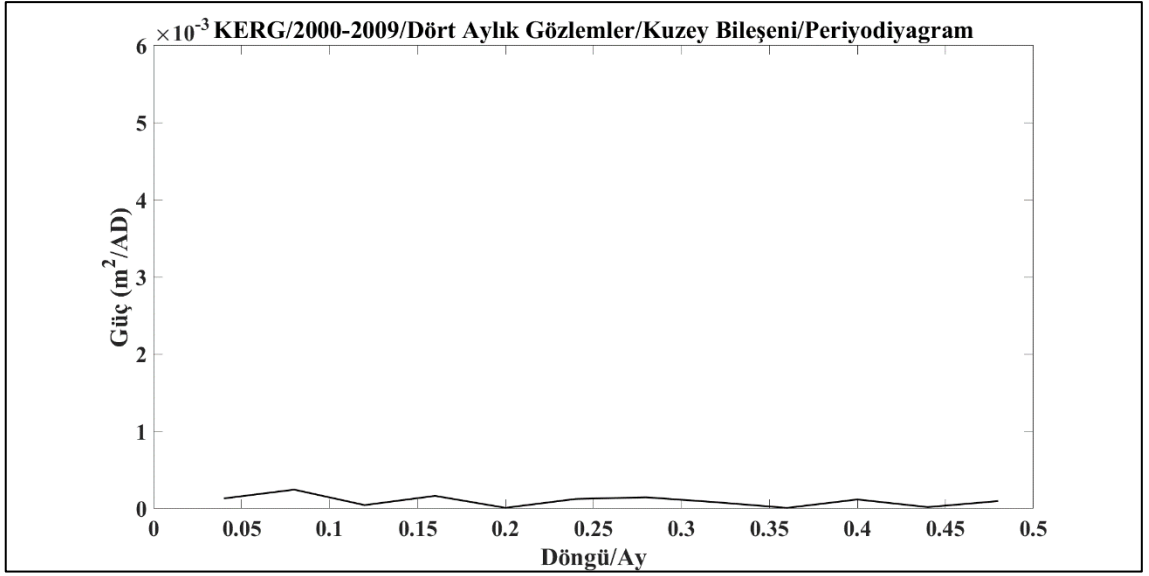
Şekil C. 9 GOLD istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



Şekil C. 10 KERG istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.

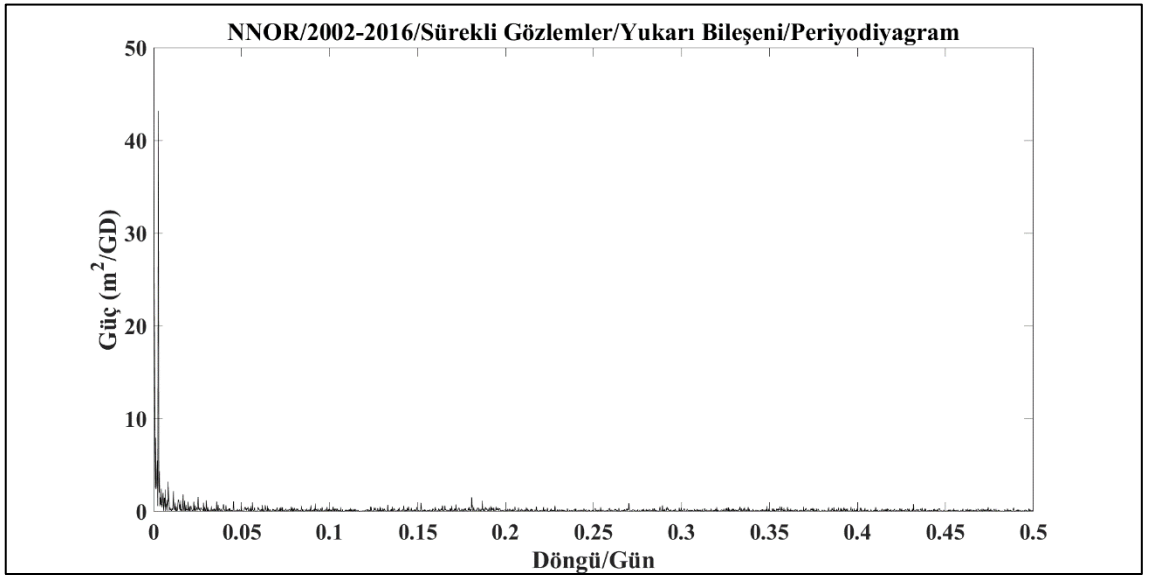
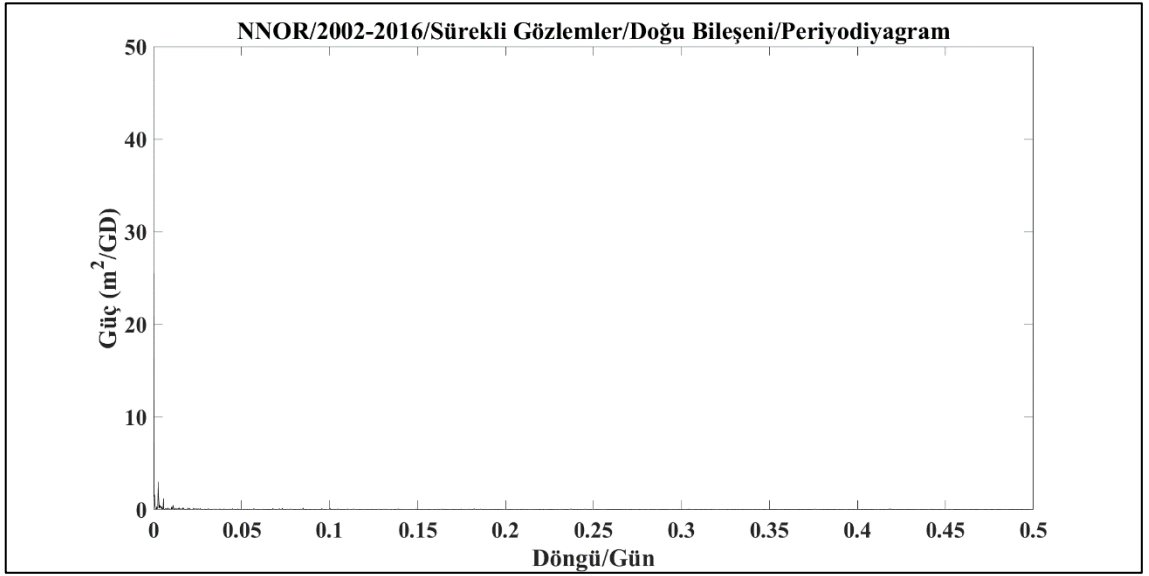
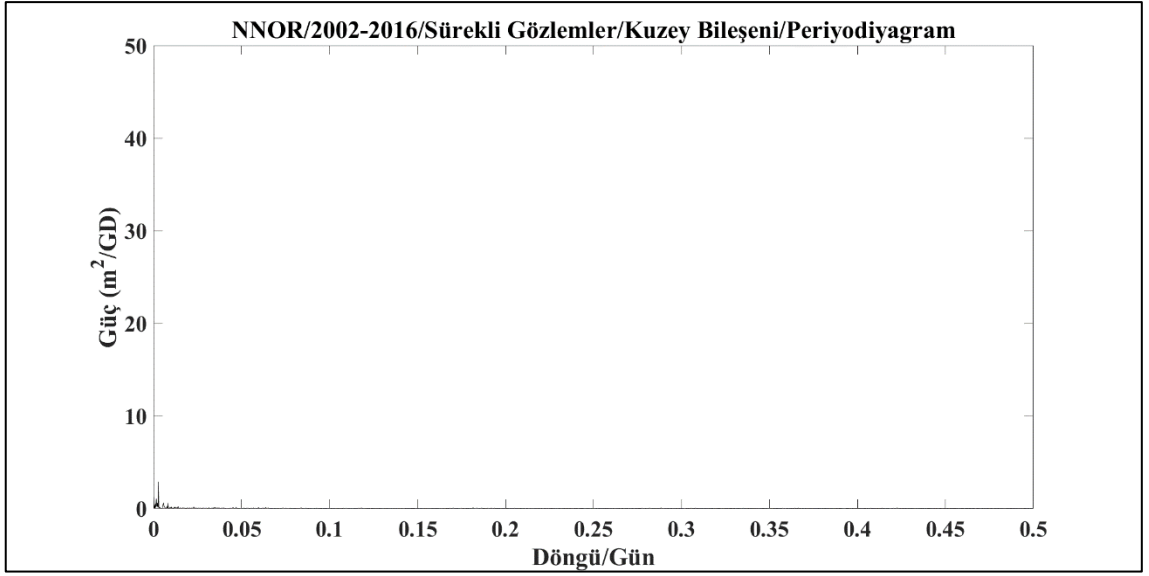


Şekil C. 11 KERG istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.

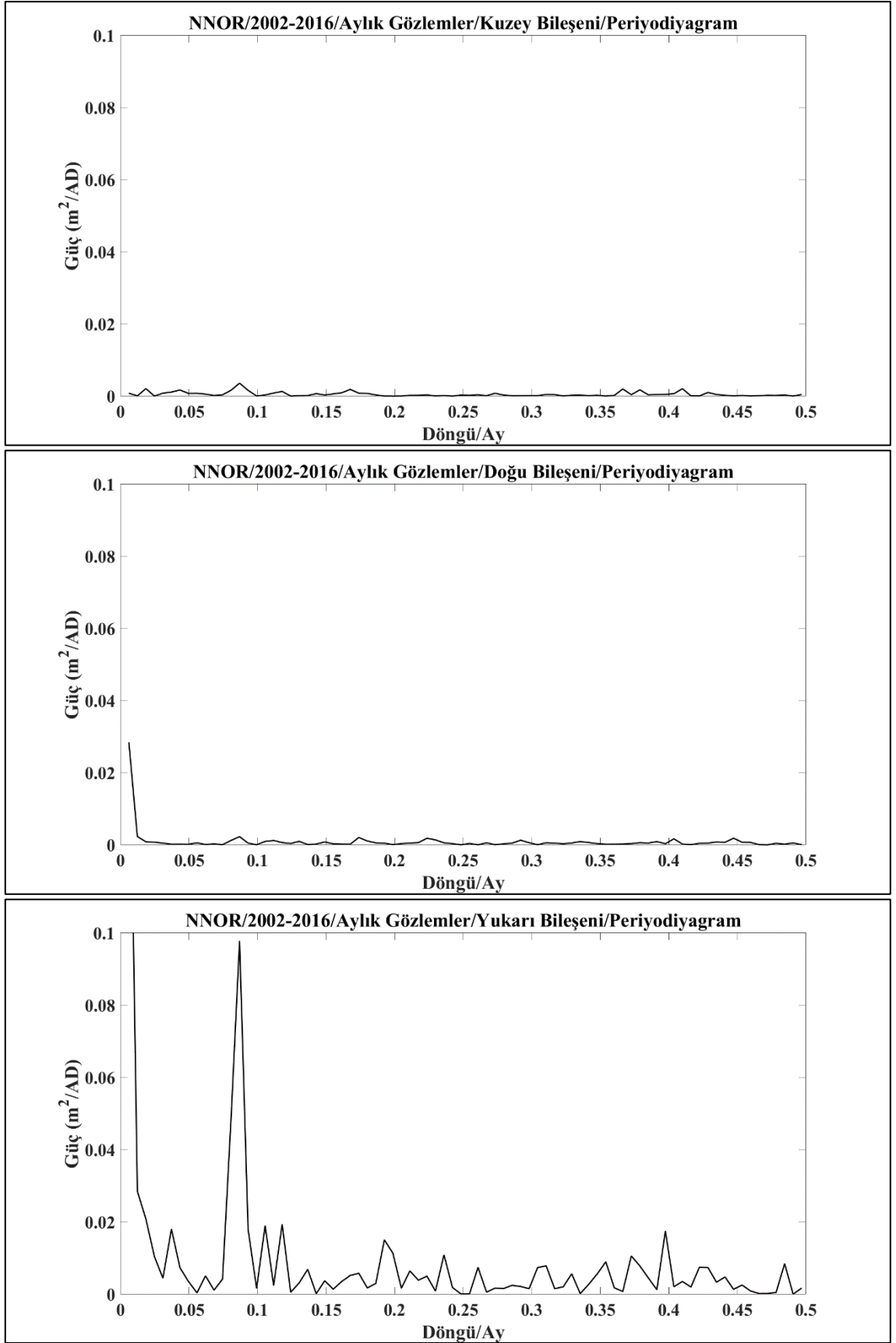


Şekil C. 12 KERG istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.

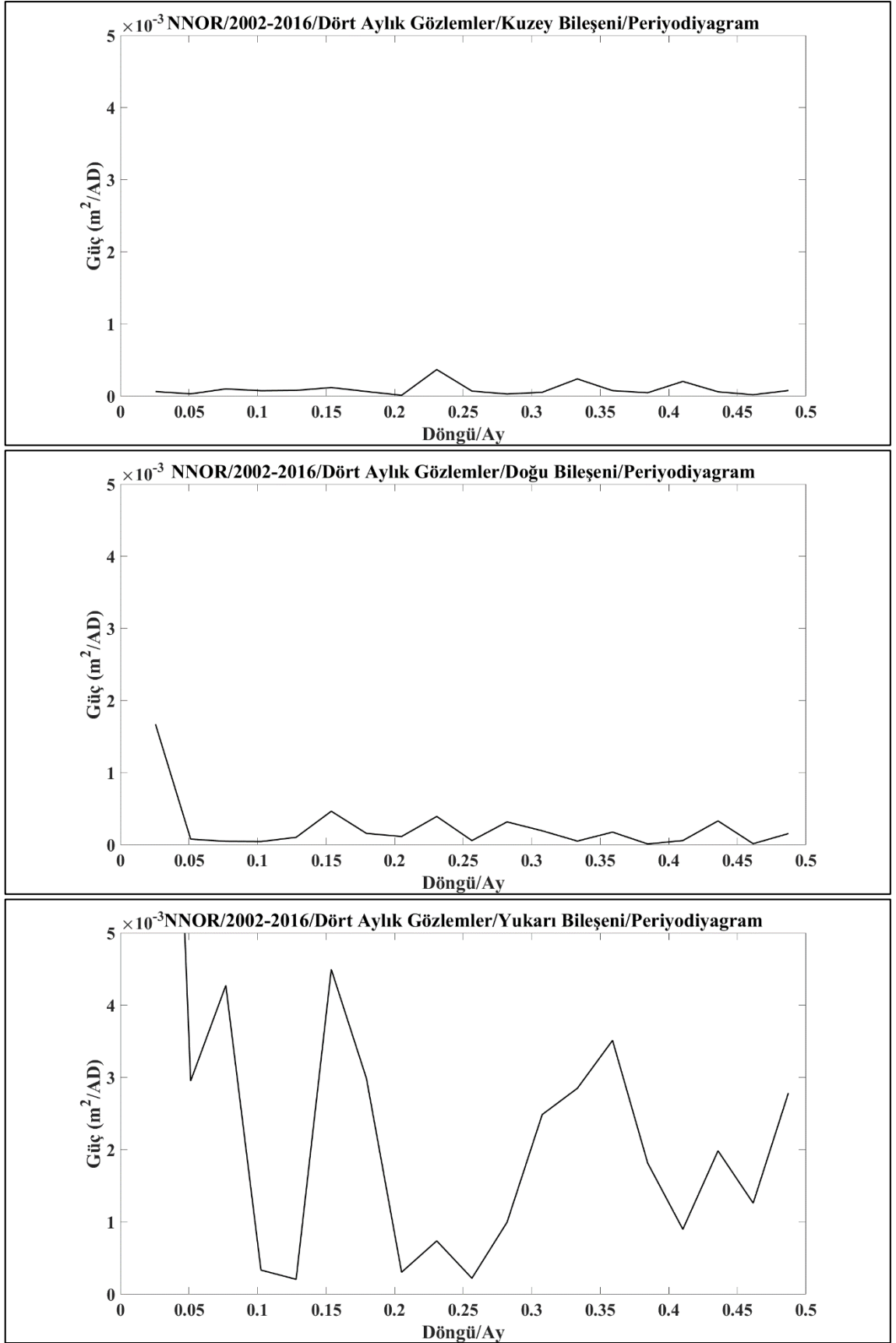




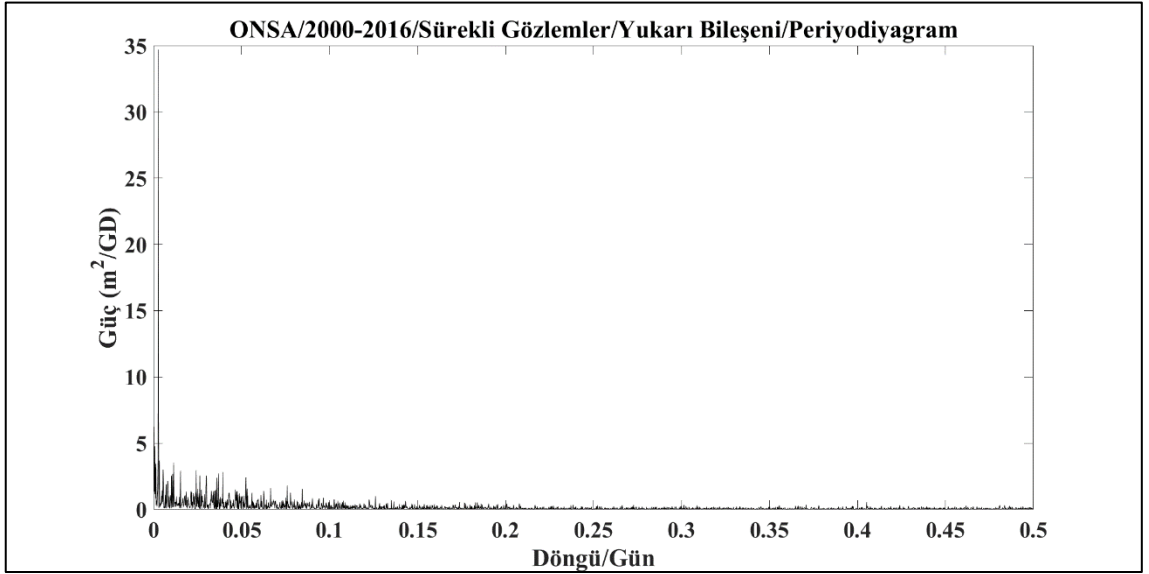
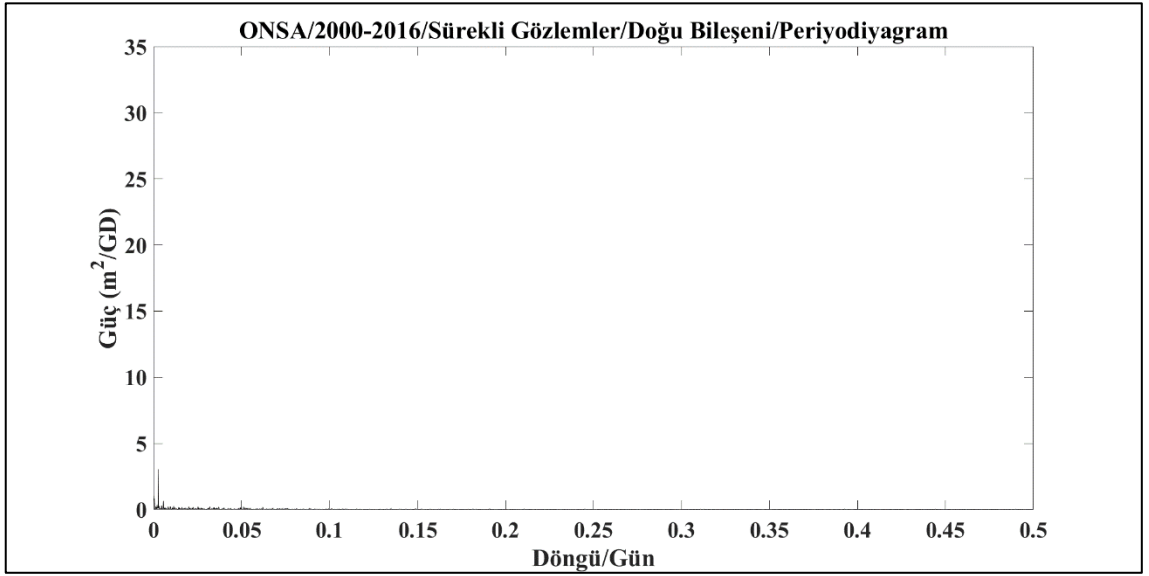
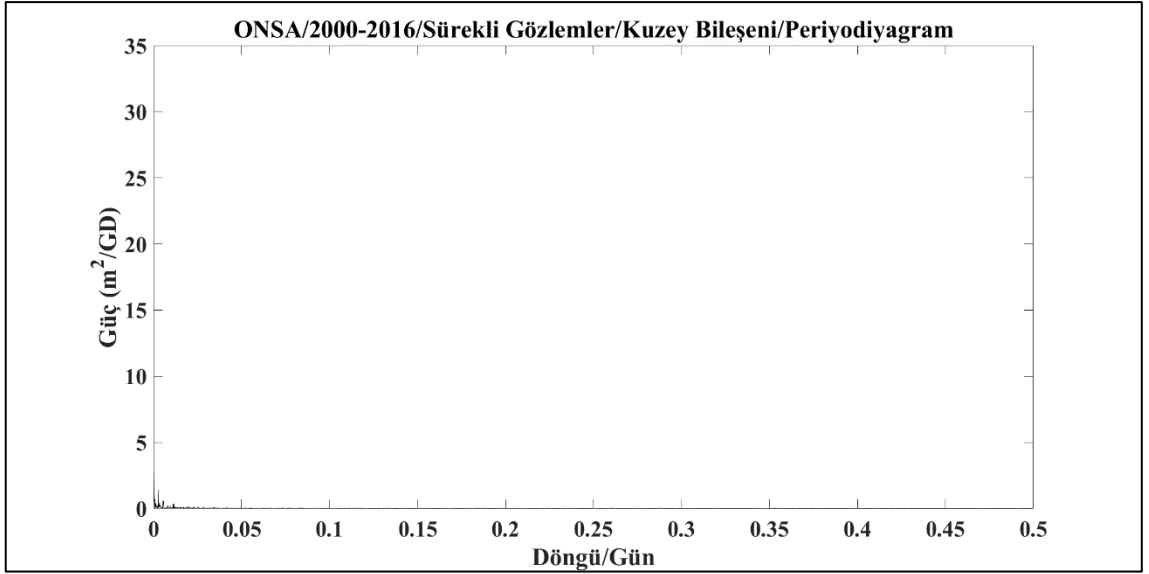
Şekil C. 13 NNOR istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.



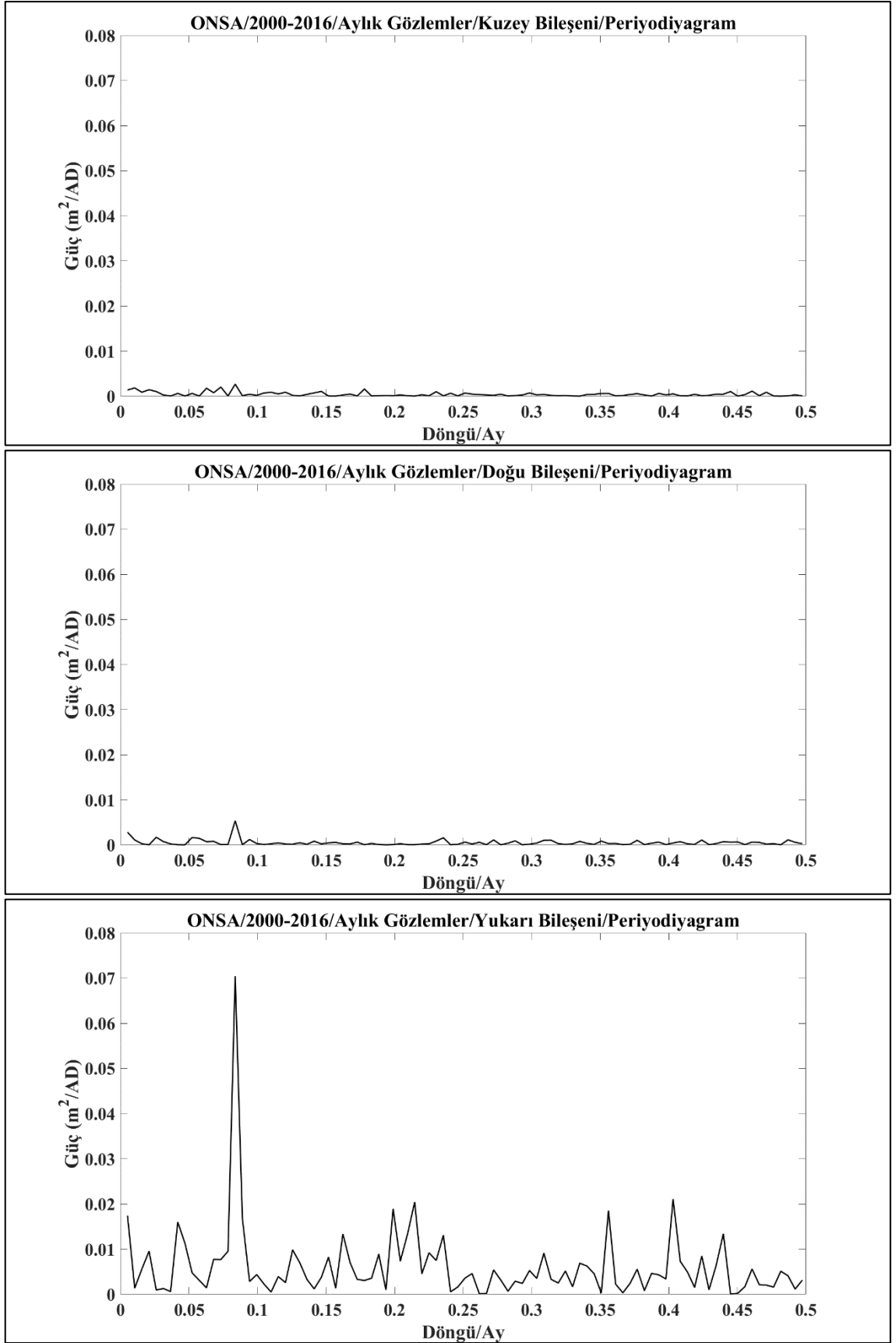
Şekil C. 14 NNOR istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



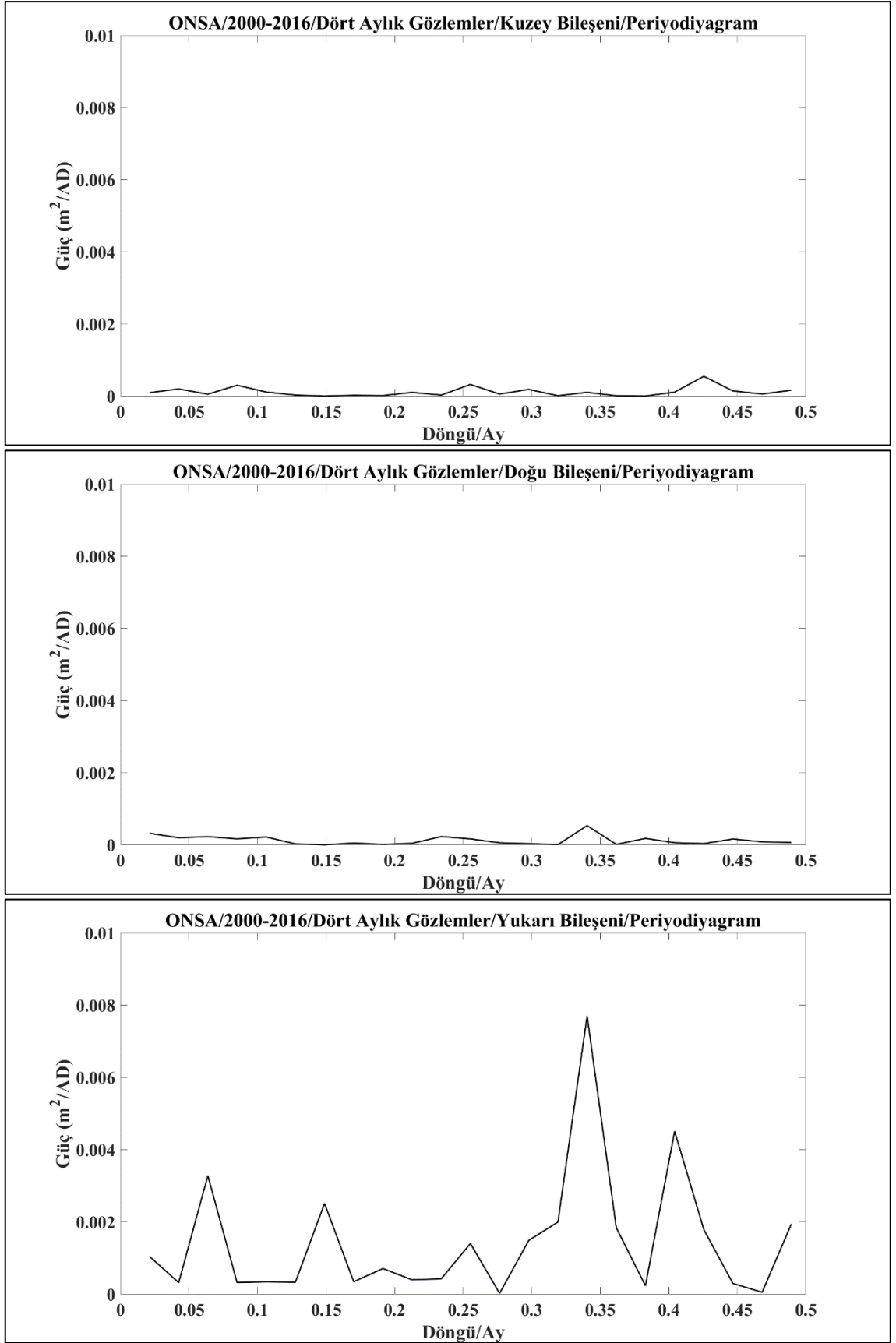
Şekil C. 15 NNOR istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



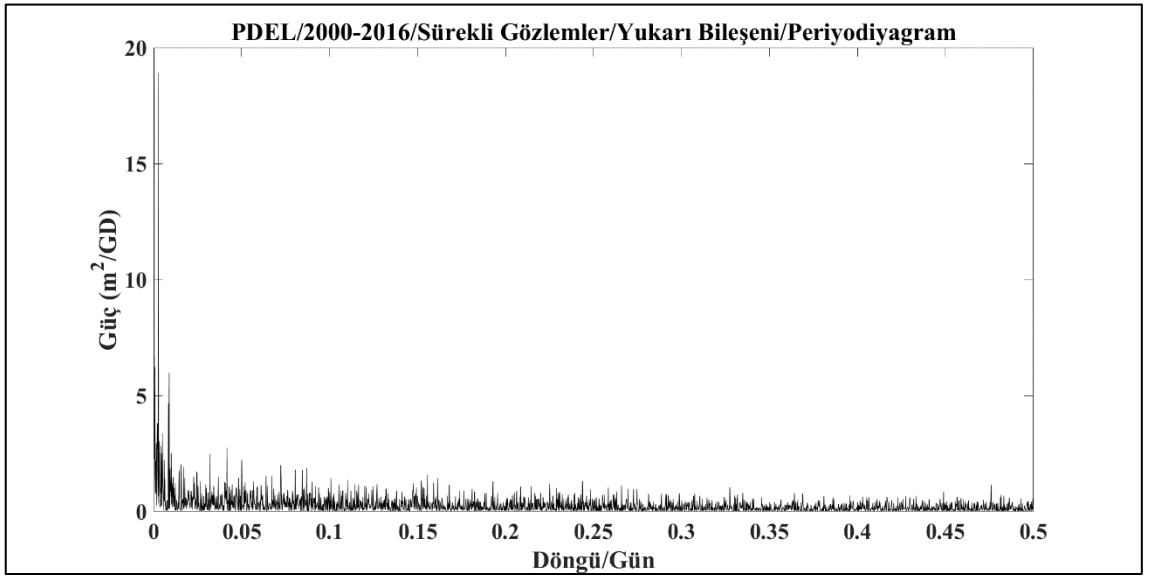
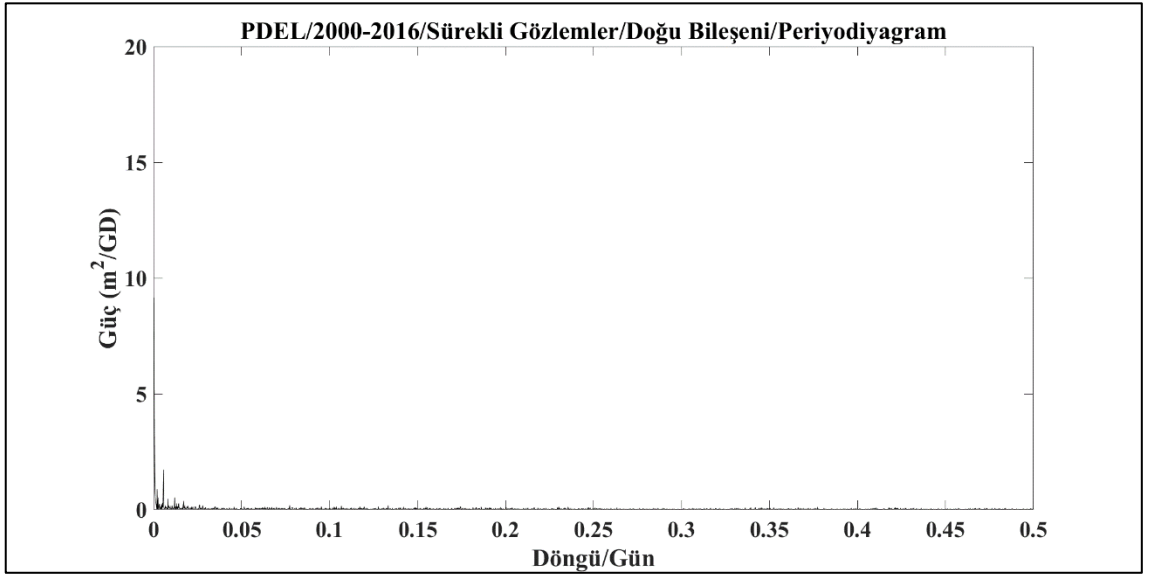
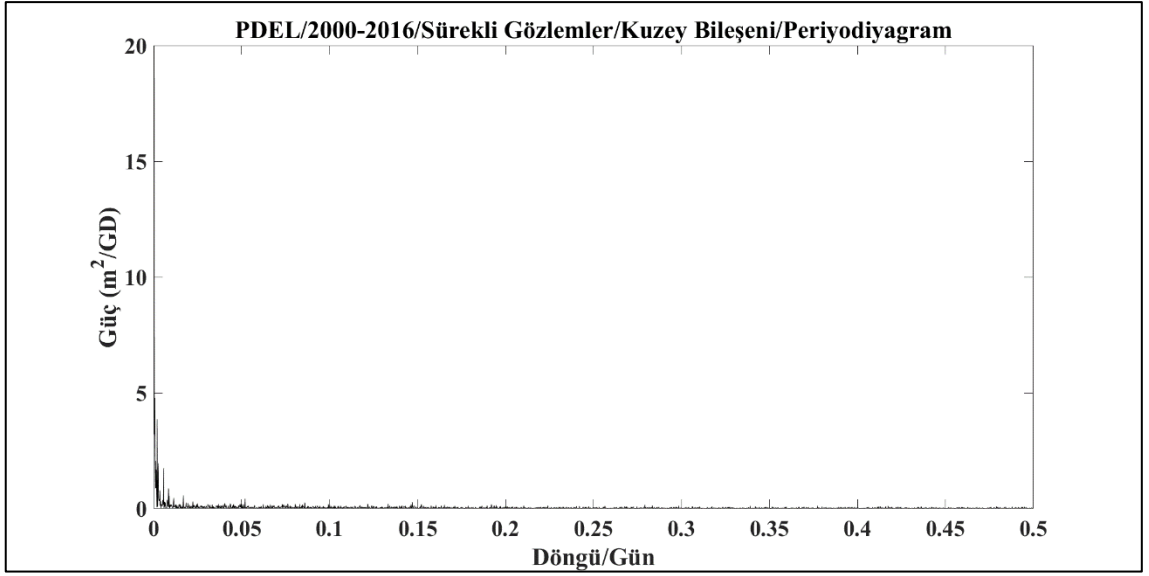
Şekil C. 16 ONSA istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.



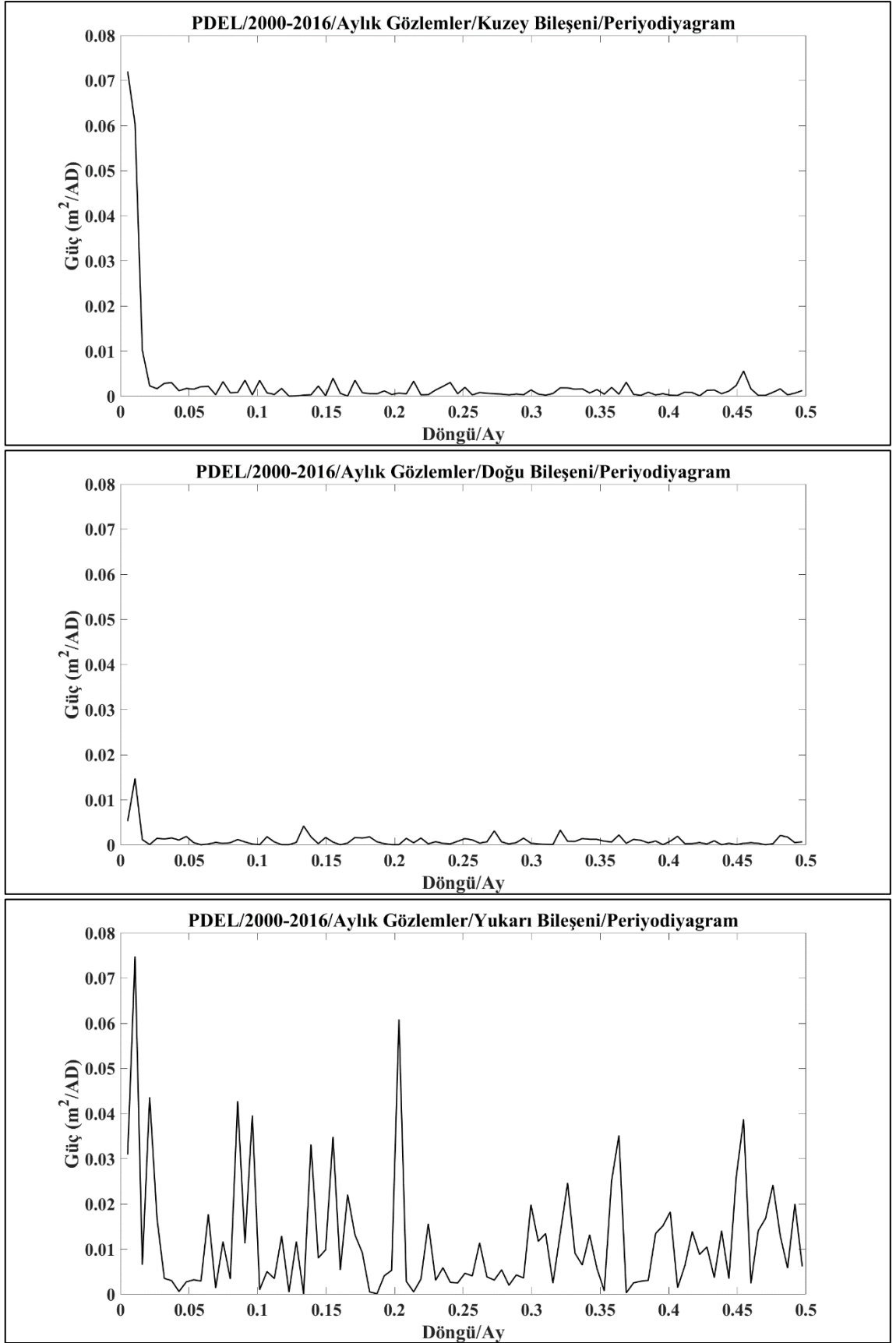
Şekil C. 17 ONSA istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



Şekil C. 18 ONSA istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.

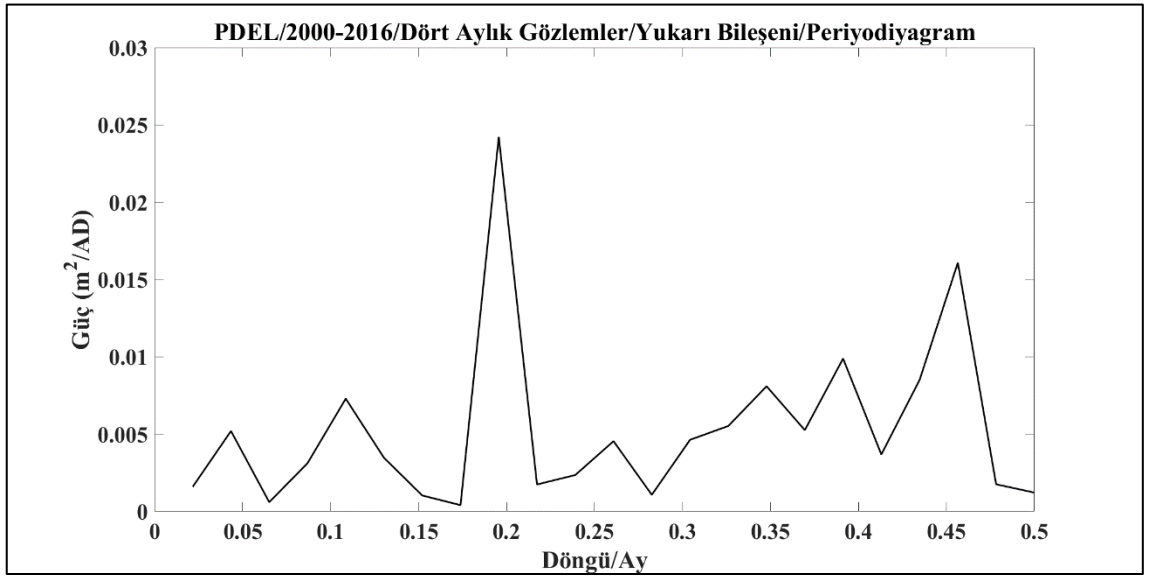
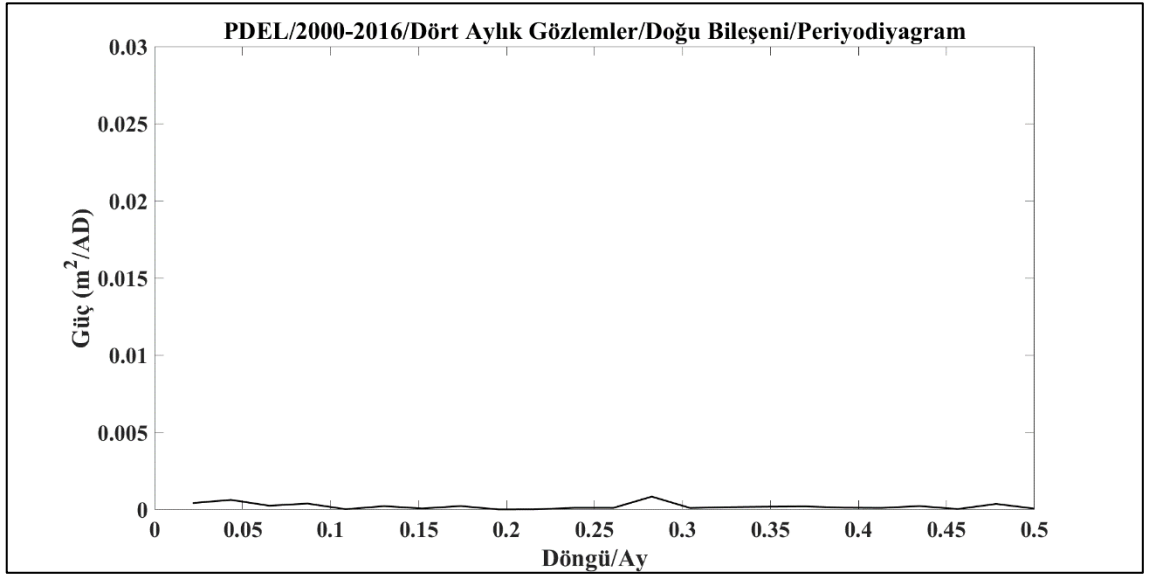
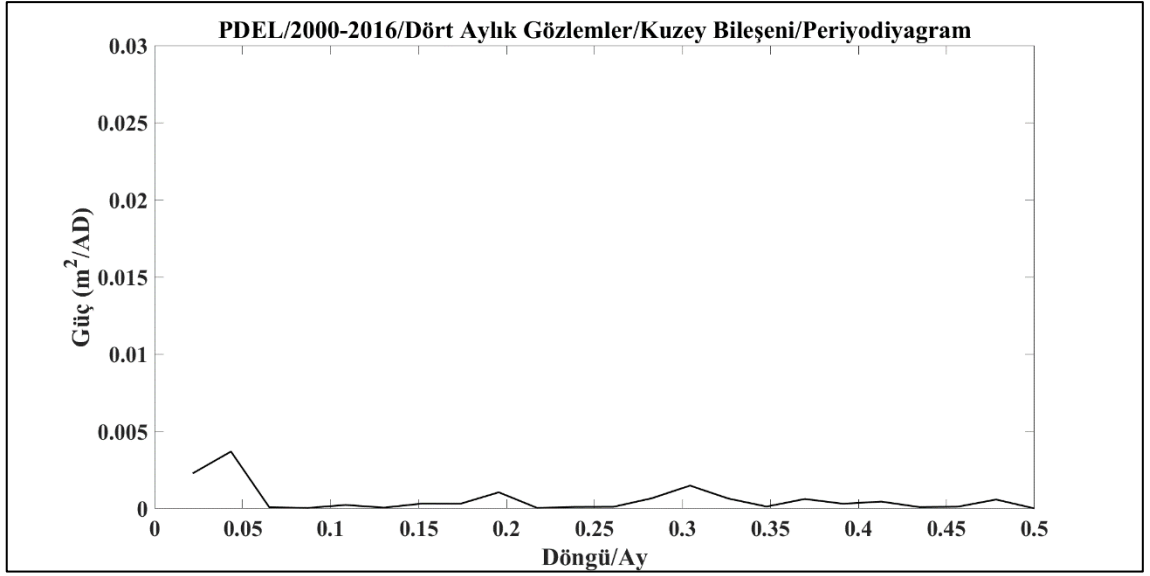


Şekil C. 19 PDEL istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.

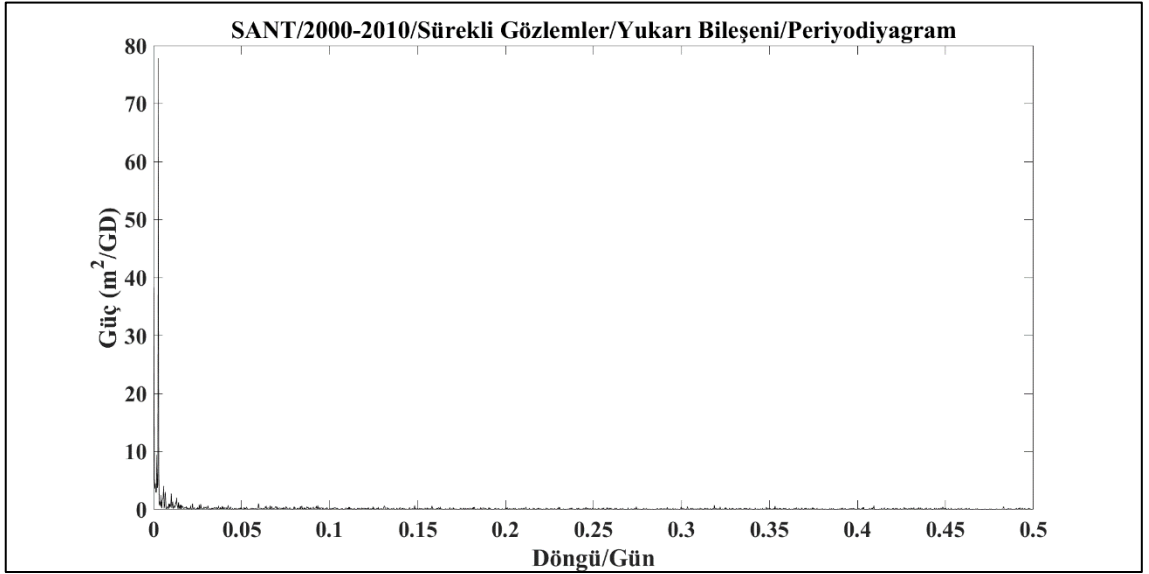
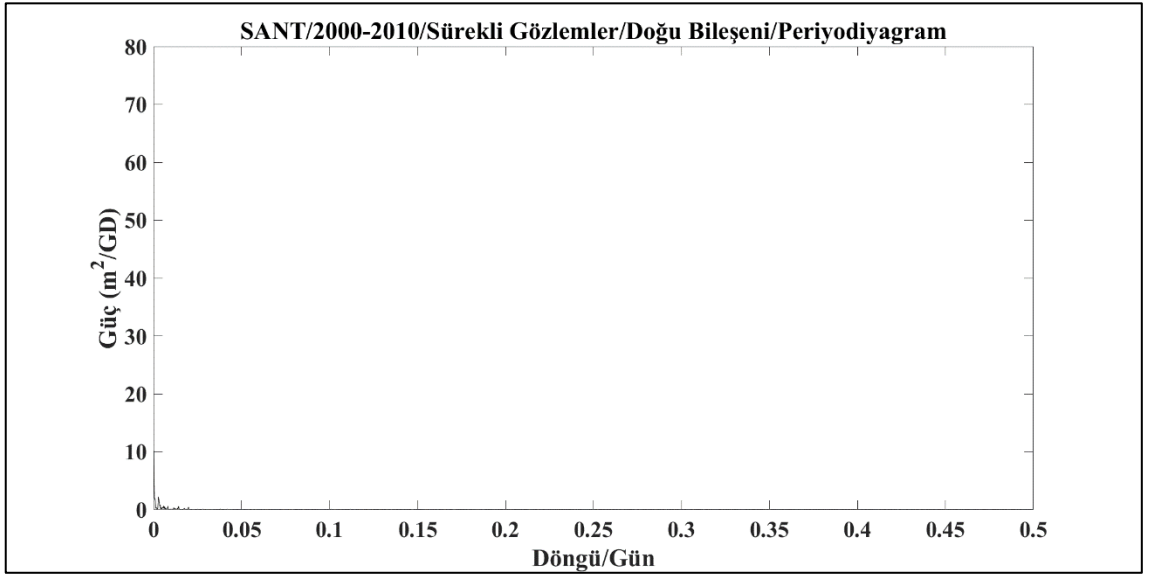
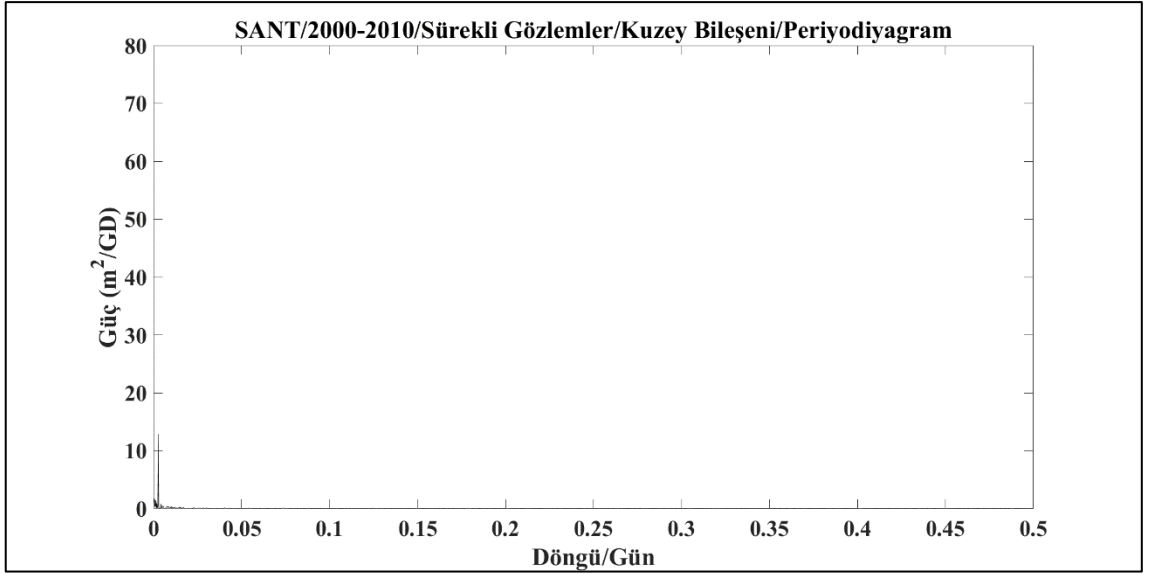


Şekil C. 20 PDEL istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.

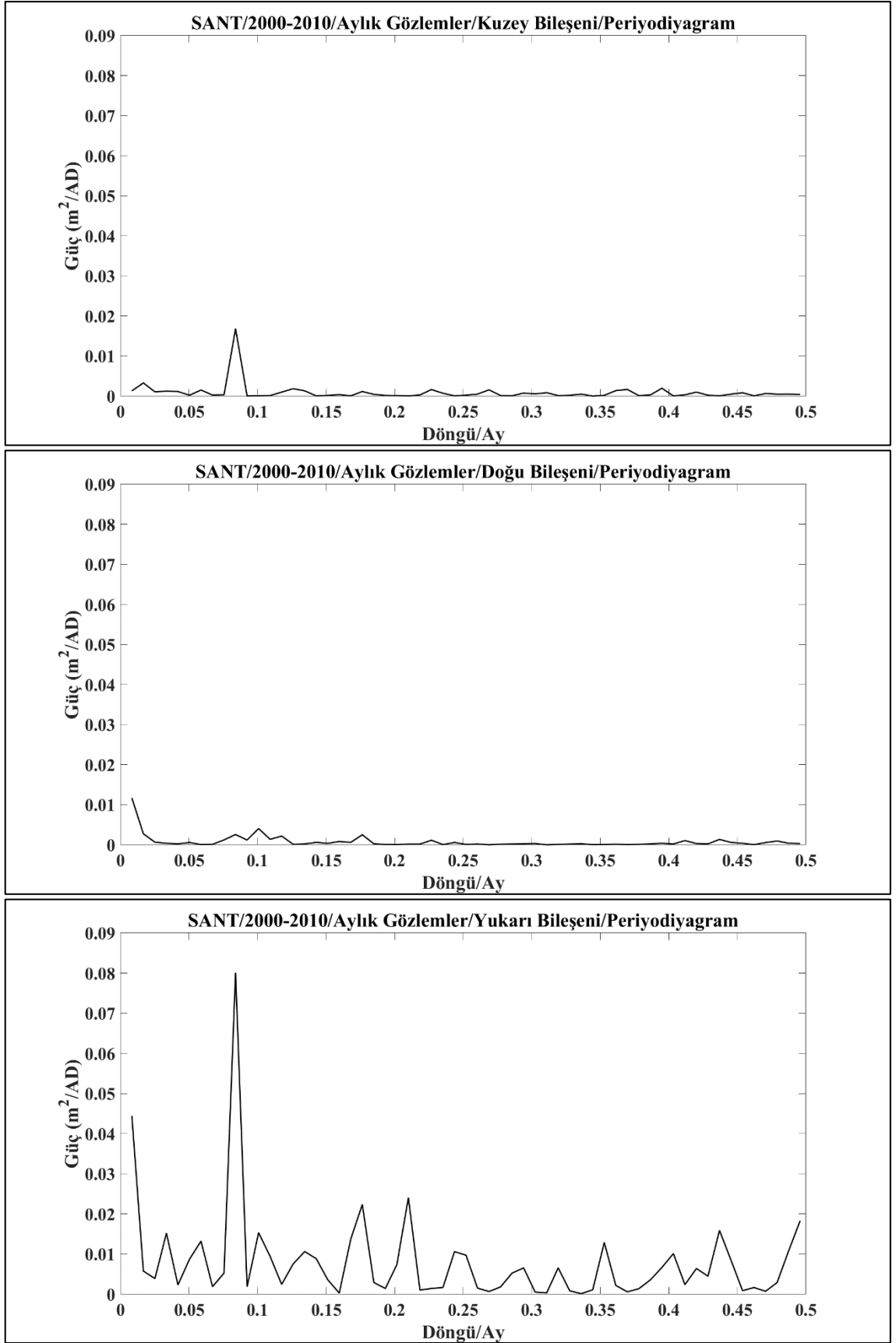




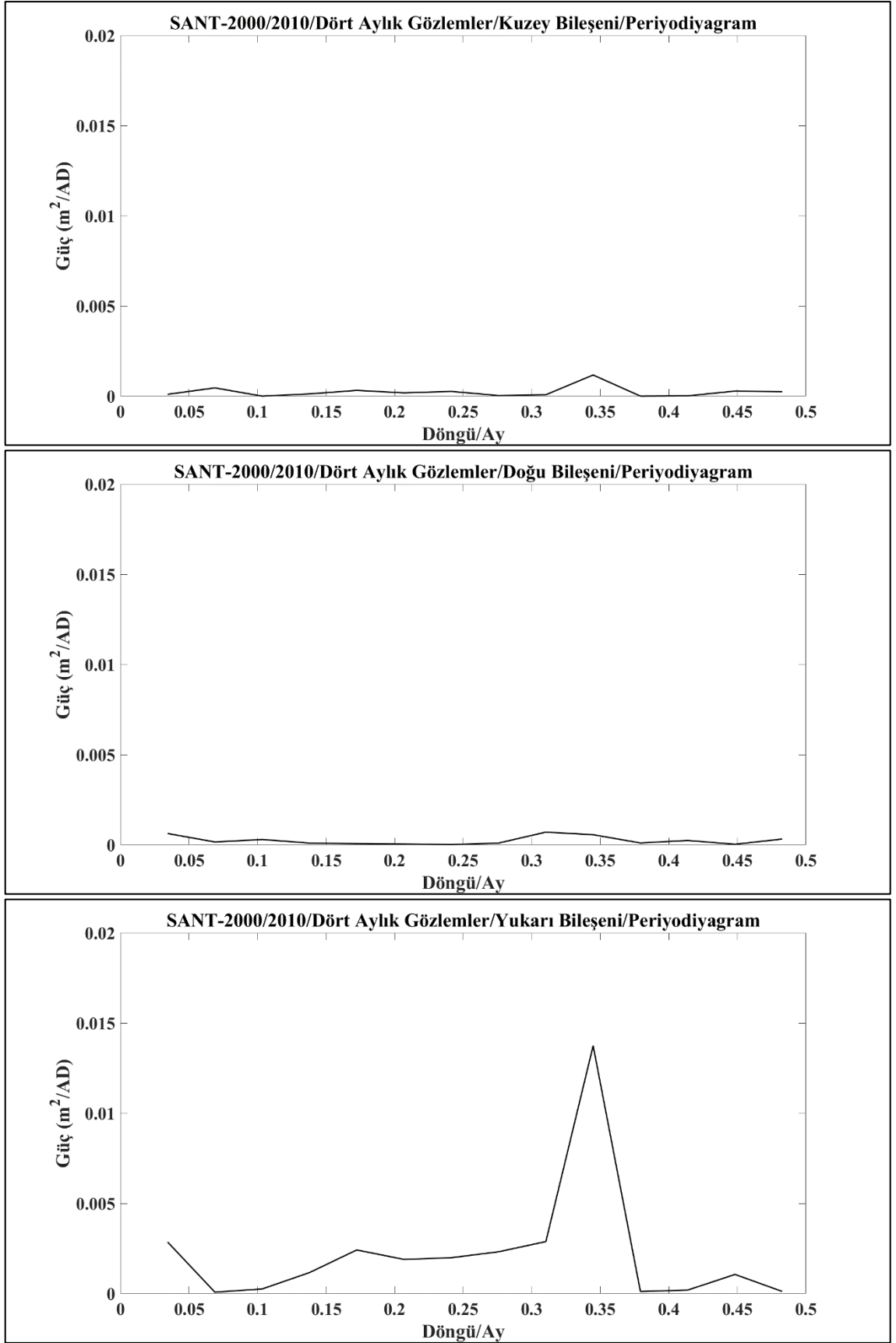
Şekil C. 21 PDEL istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



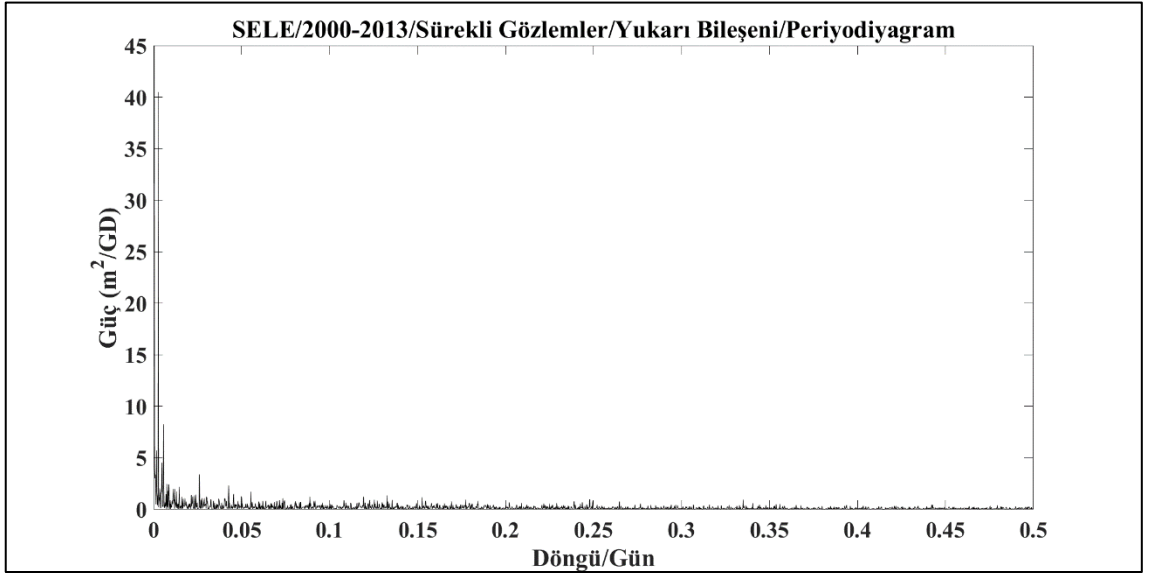
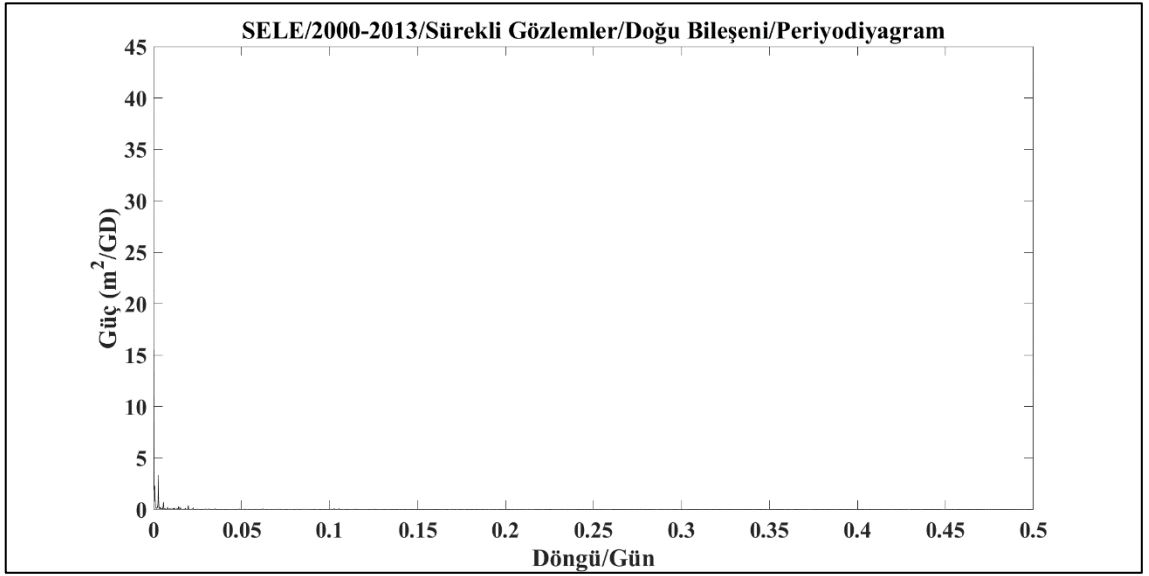
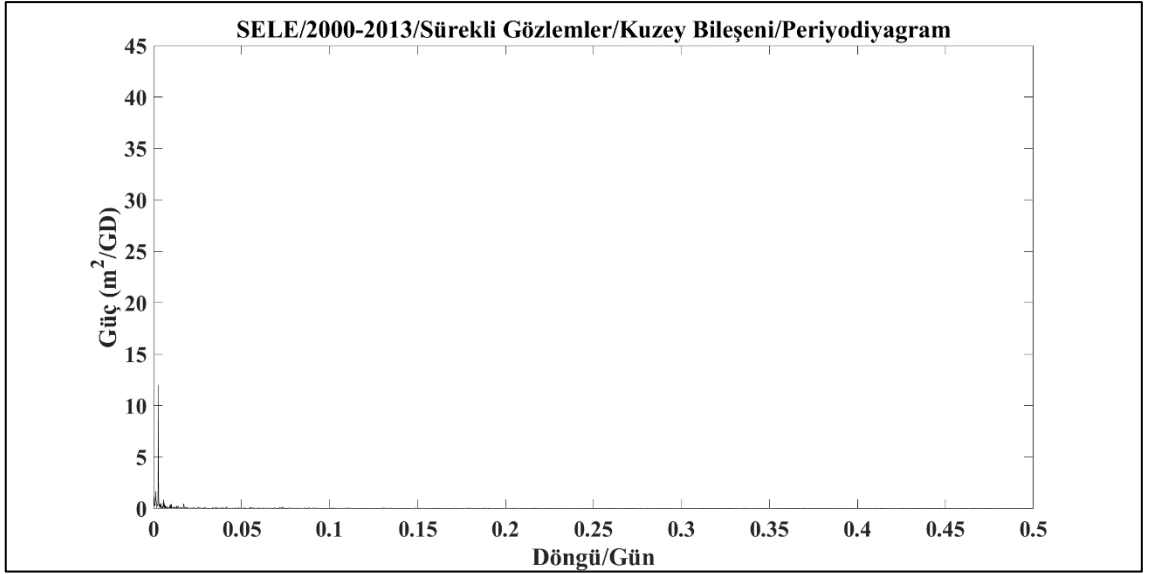
Şekil C. 22 SANT istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.



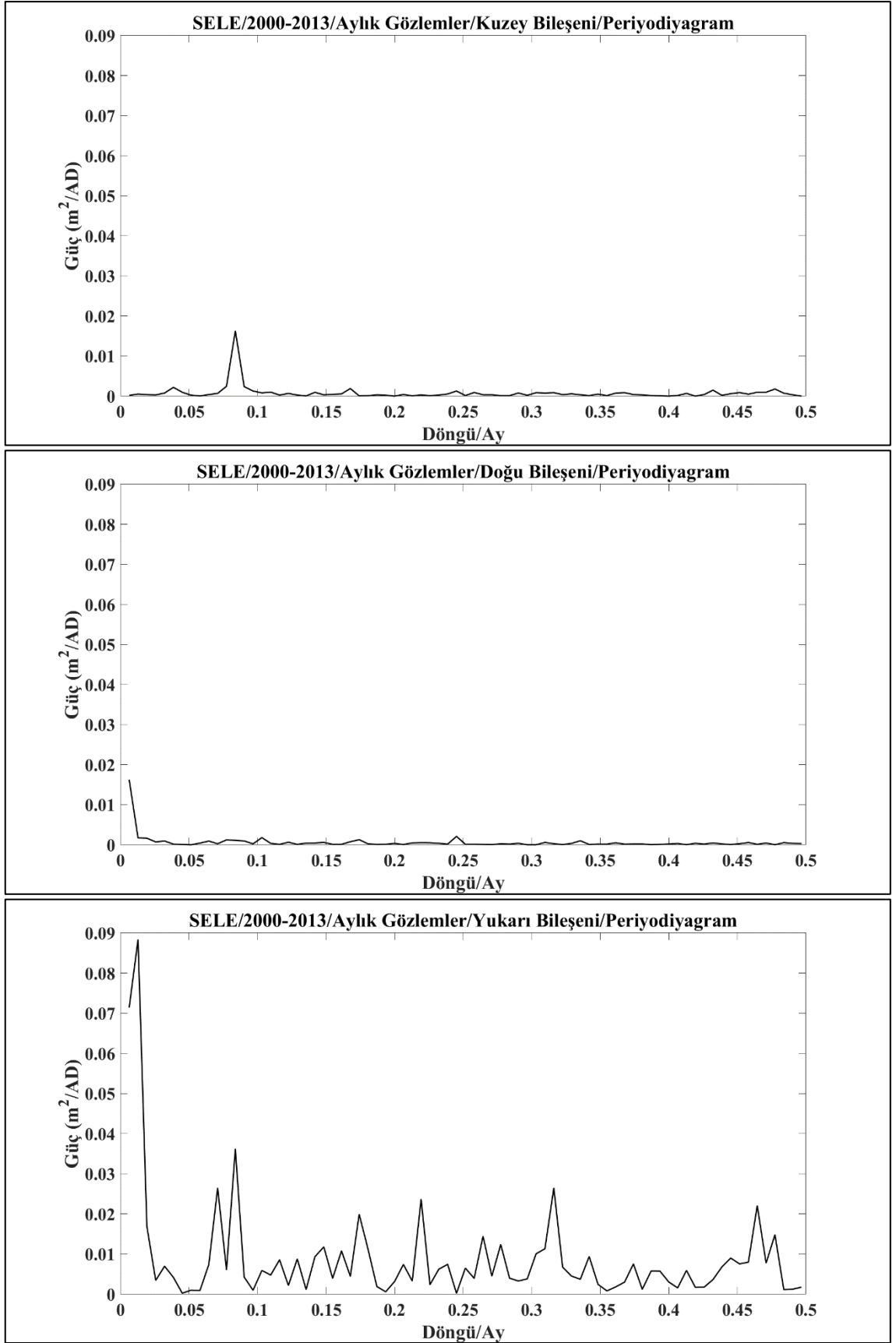
Şekil C. 23 SANT istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



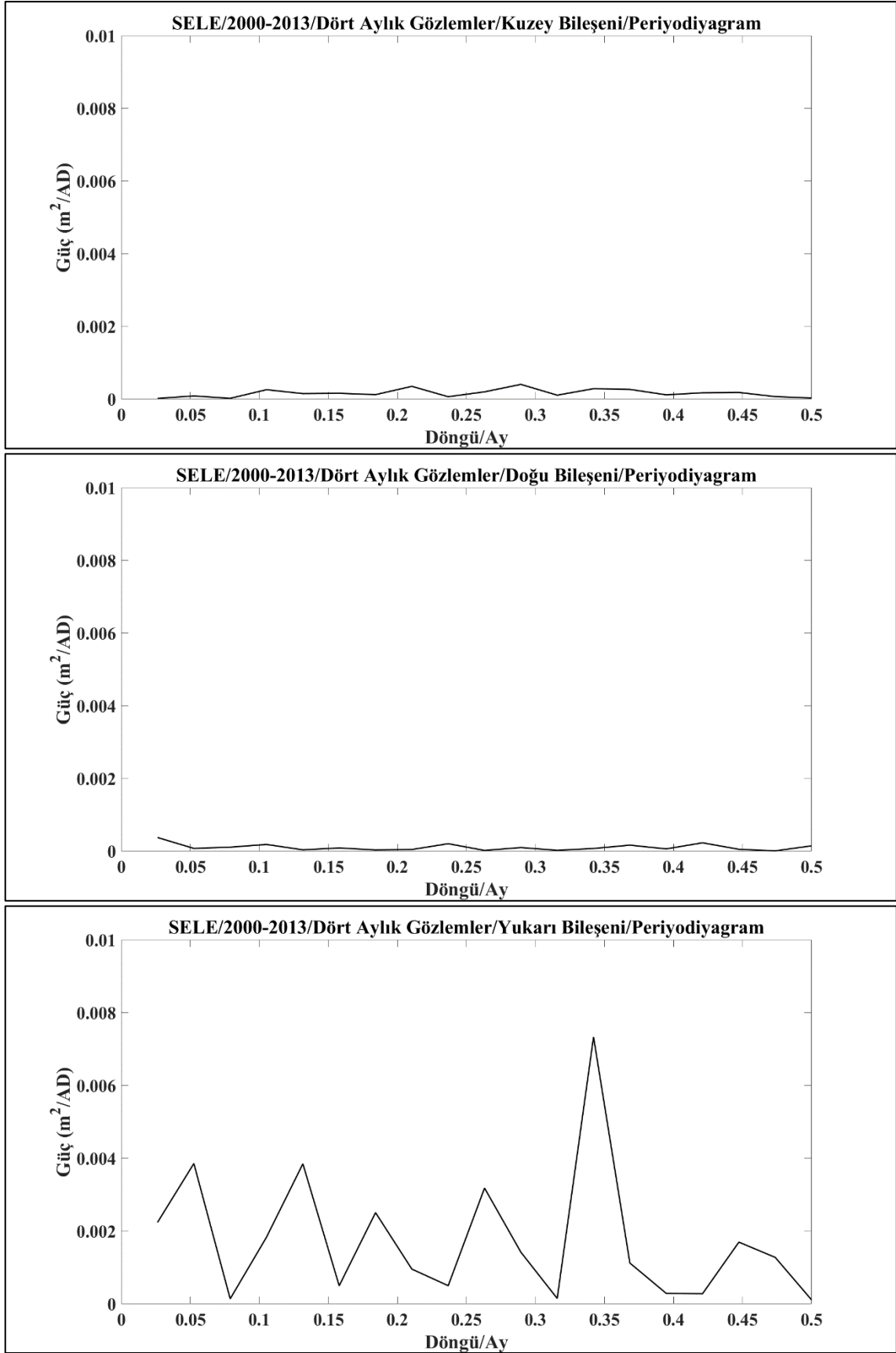
Şekil C. 24 SANT istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



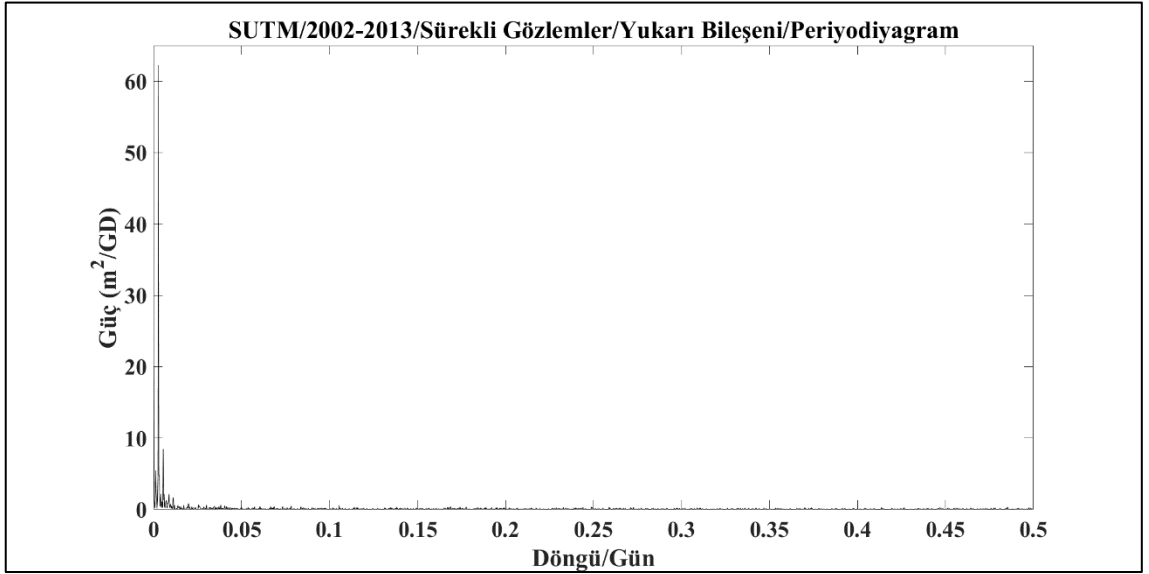
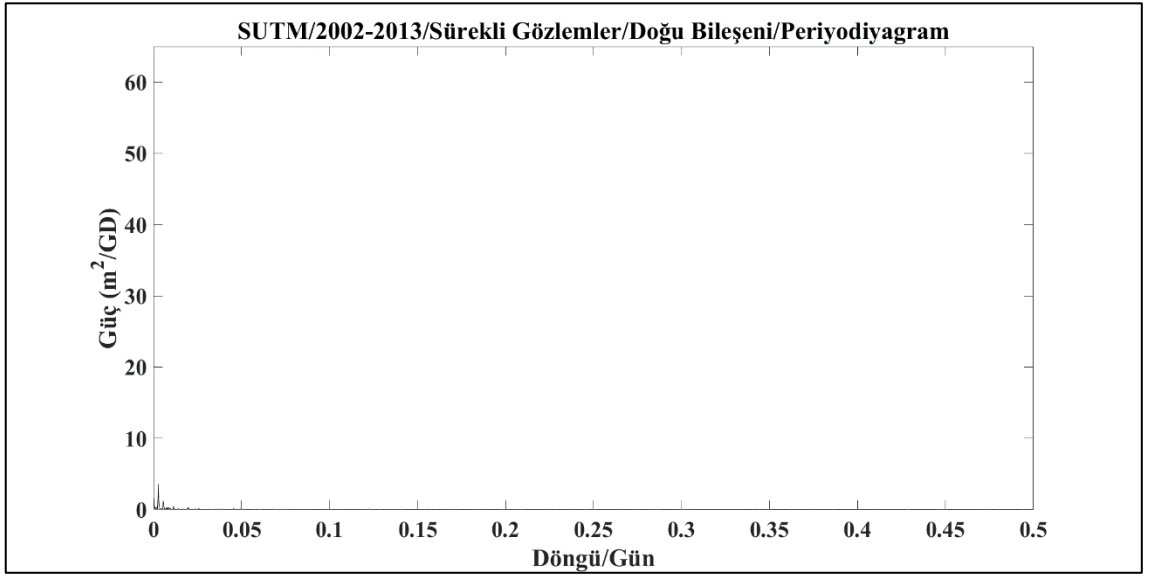
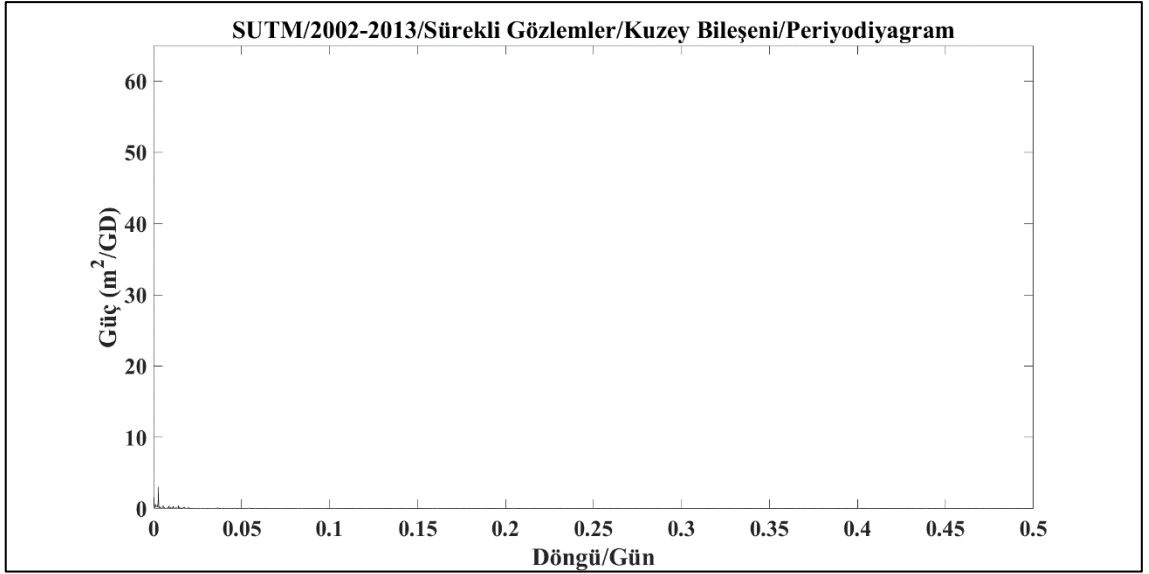
Şekil C. 25 SELE istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.



Şekil C. 26 SELE istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.

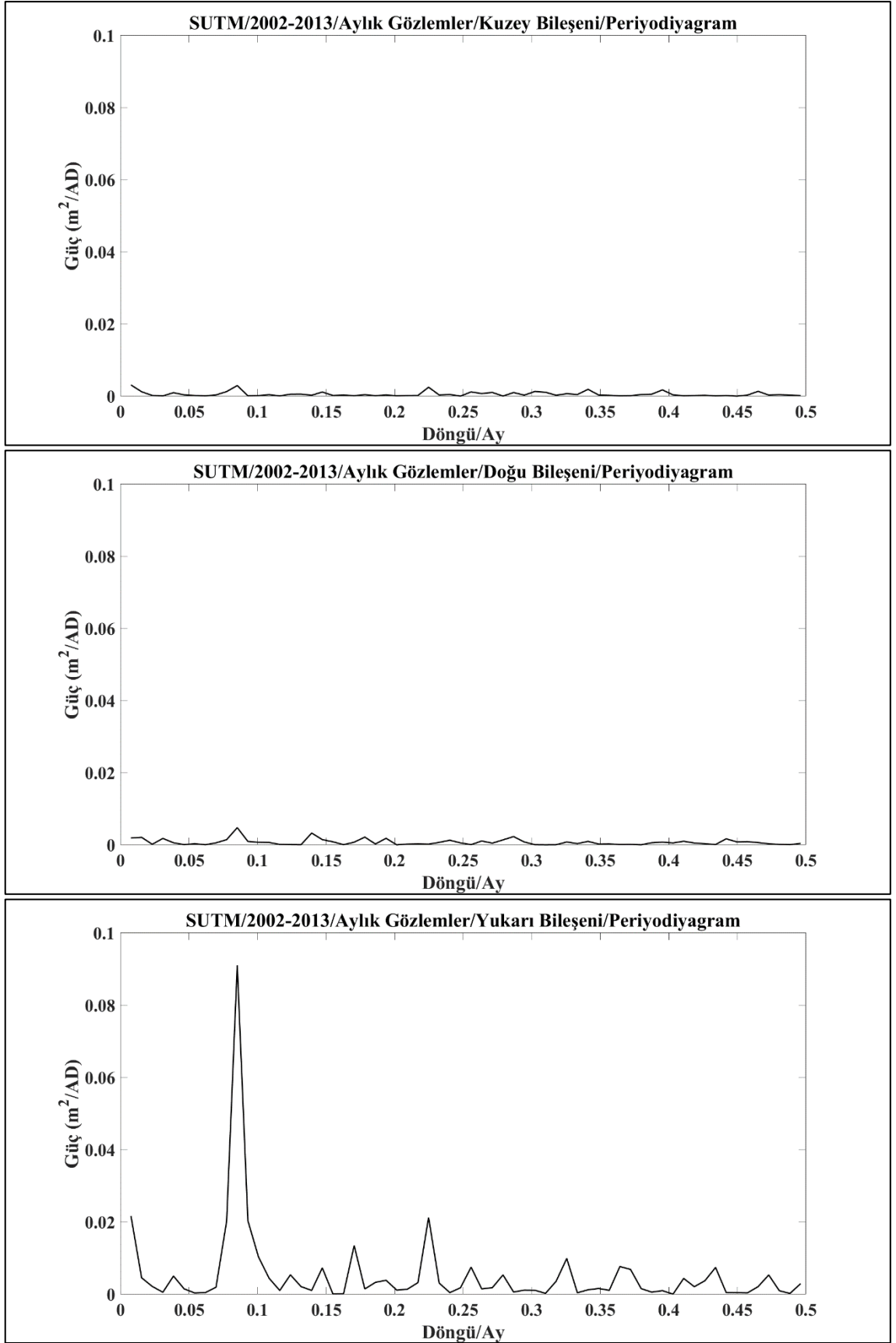


Şekil C. 27 SELE istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.

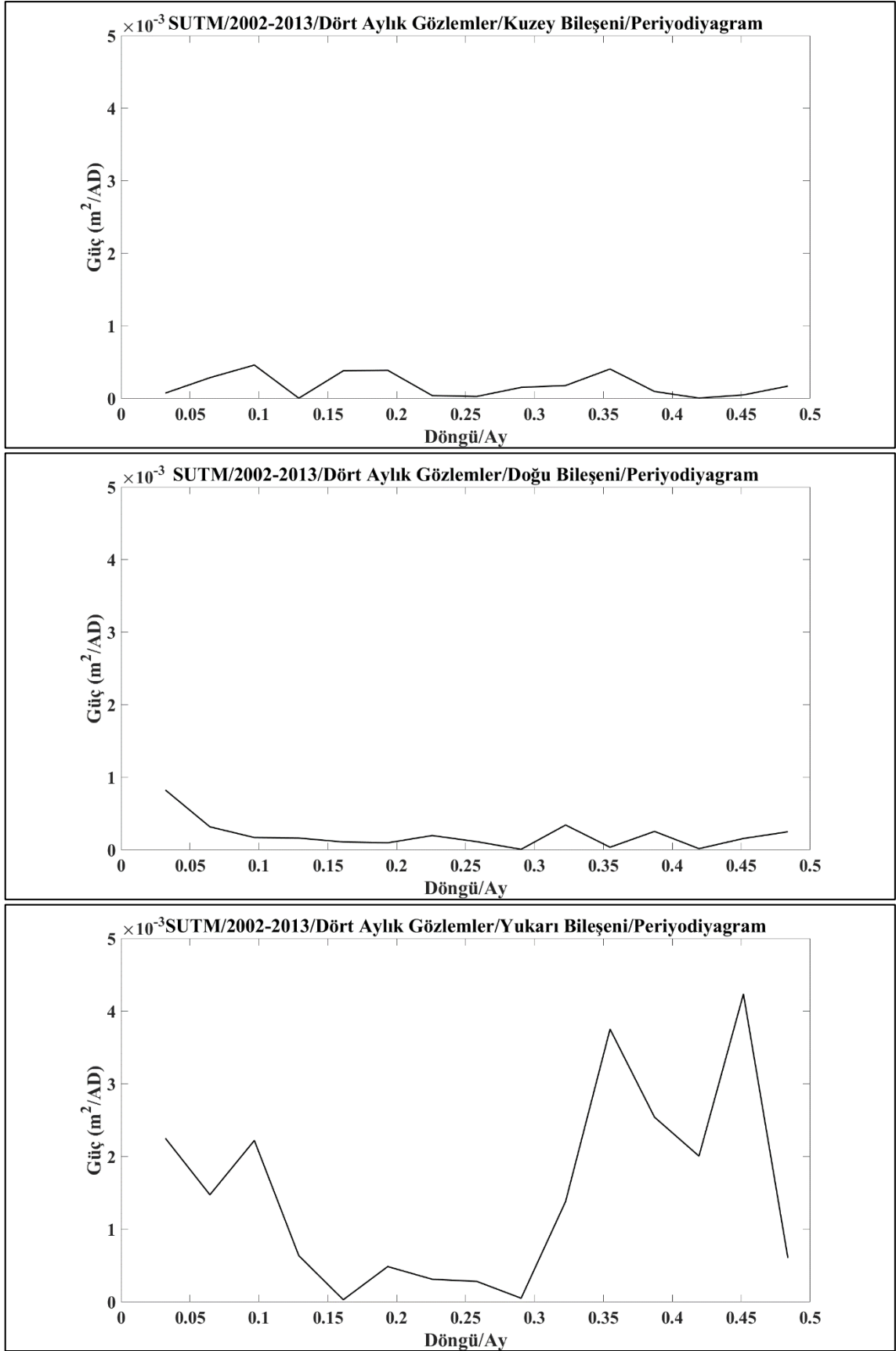


Şekil C. 28 SUTM istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.

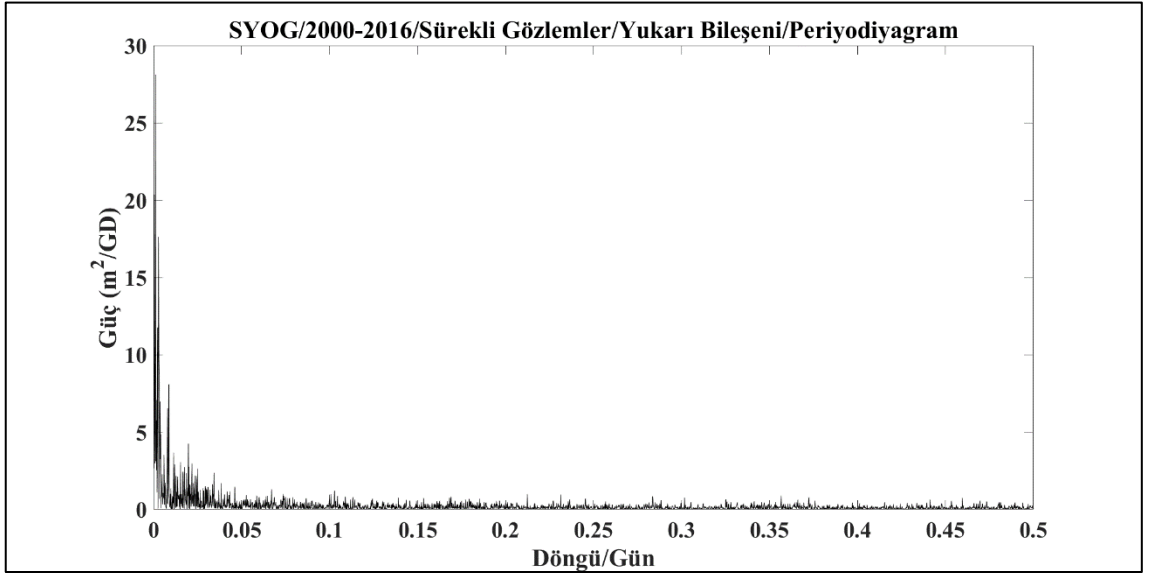
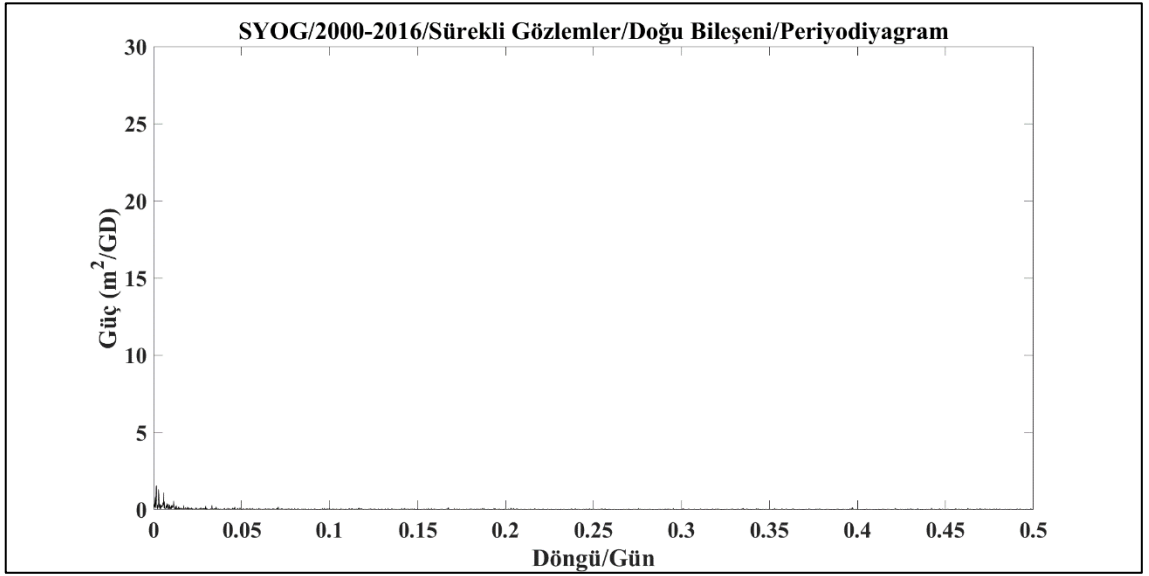
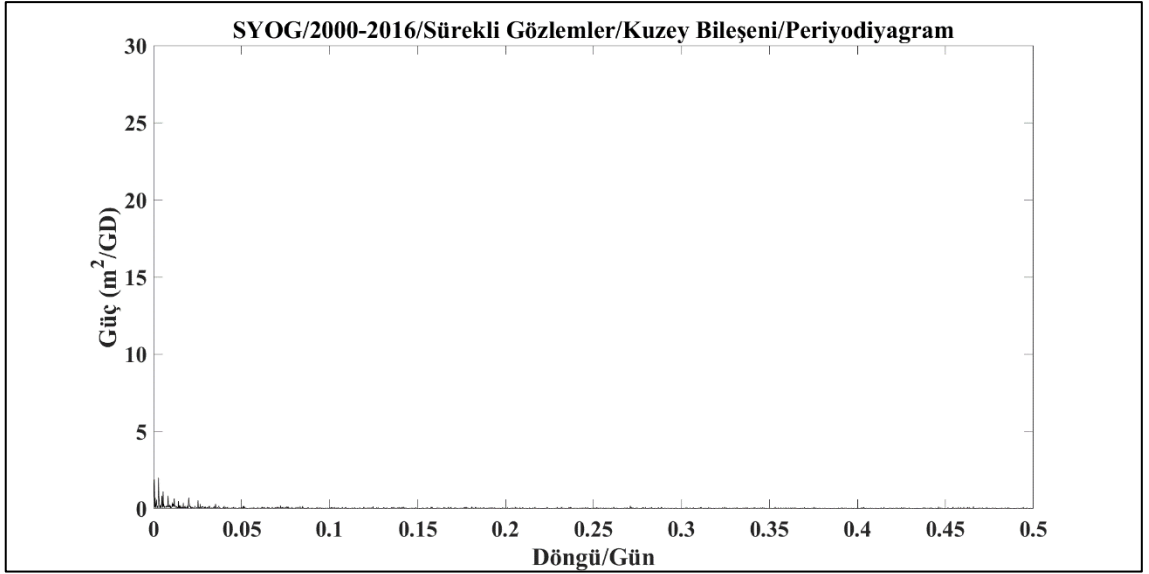




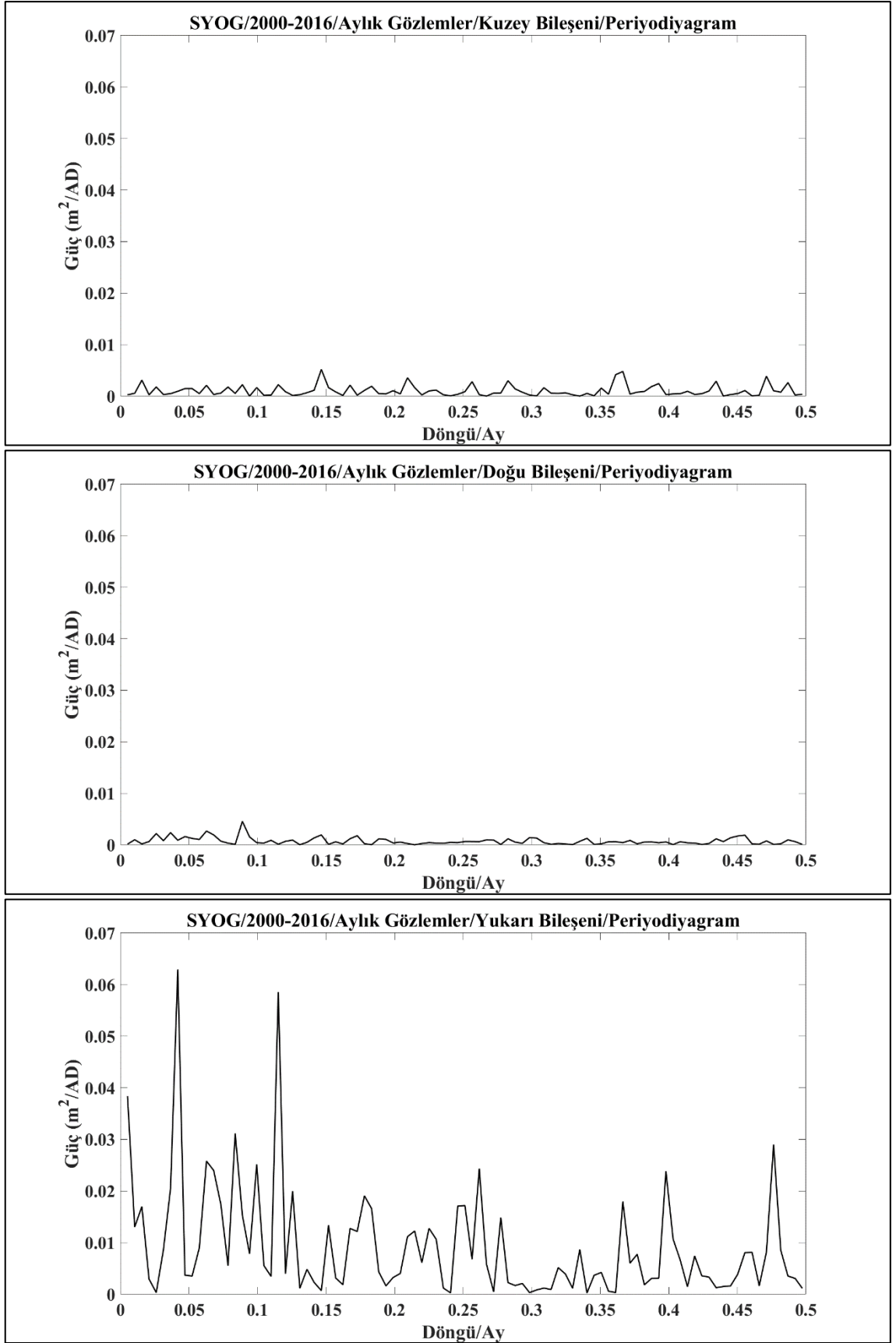
Şekil C. 29 SUTM istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



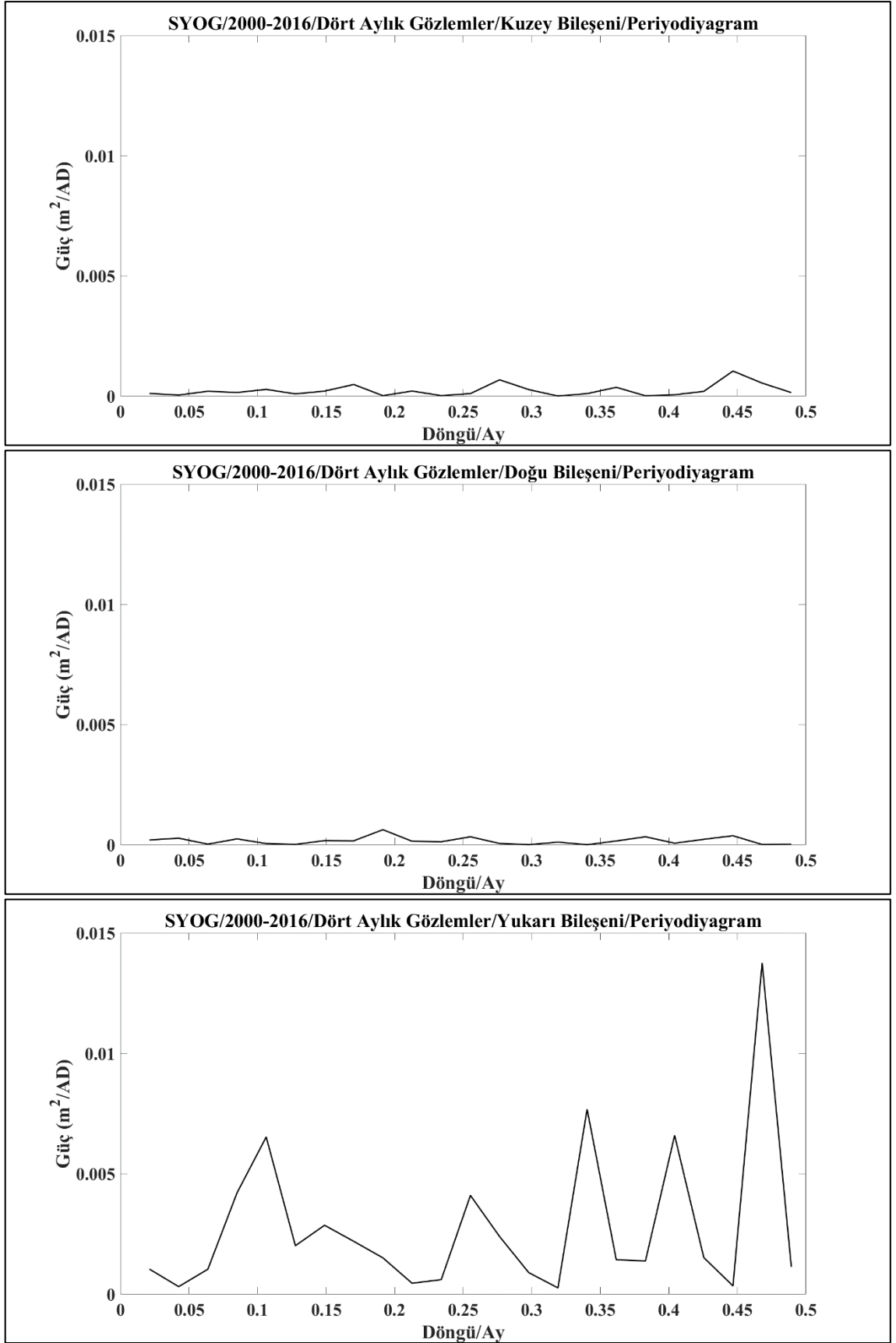
Şekil C. 30 SUTM istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.



Şekil C. 31 SYOG istasyonu sürekli gözlemler için periyodiyagramlar.



Şekil C. 32 SYOG istasyonu aylık gözlemler için periyodiyagramlar.

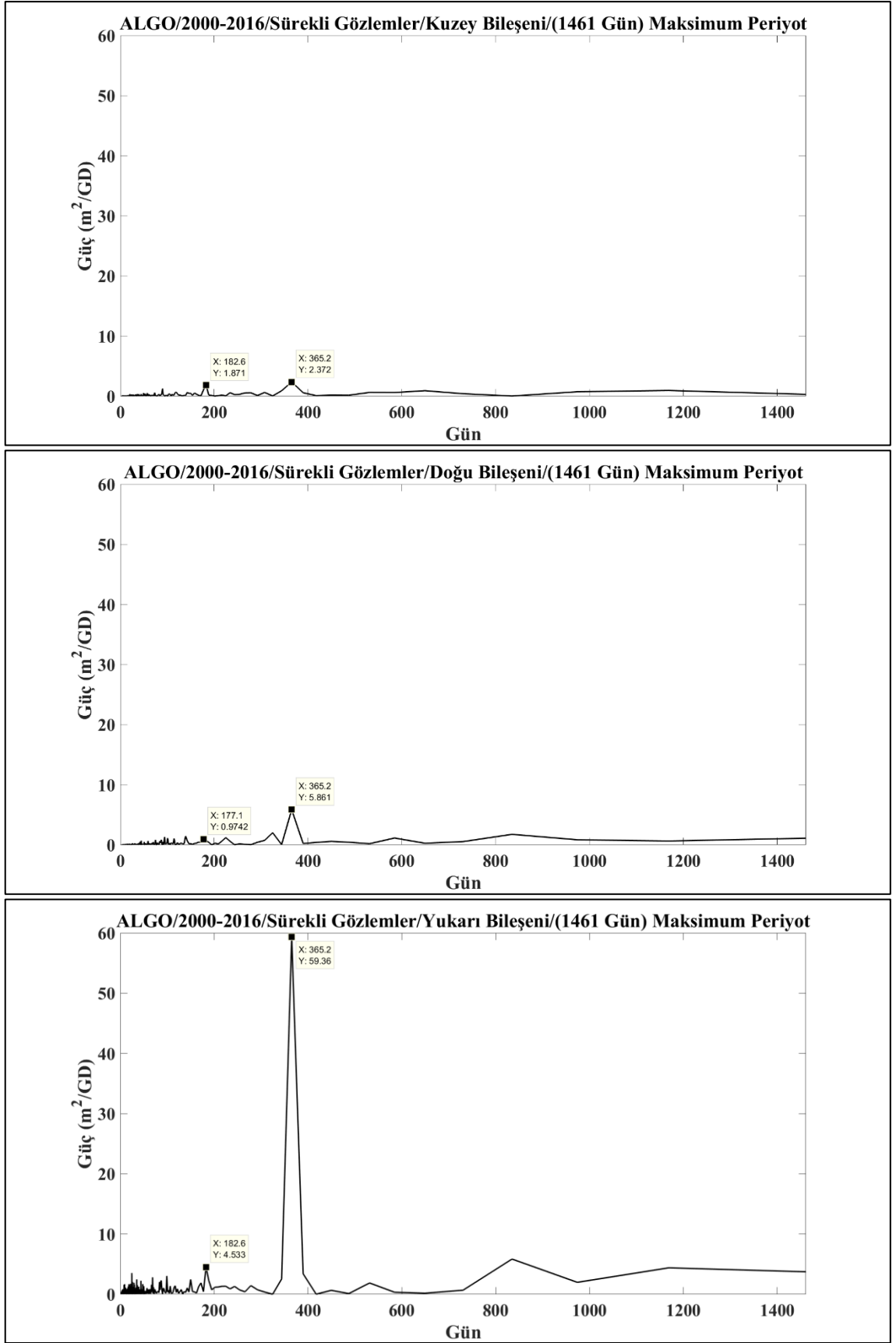


Şekil C. 33 SYOG istasyonu dört aylık gözlemler için periyodiyagramlar.

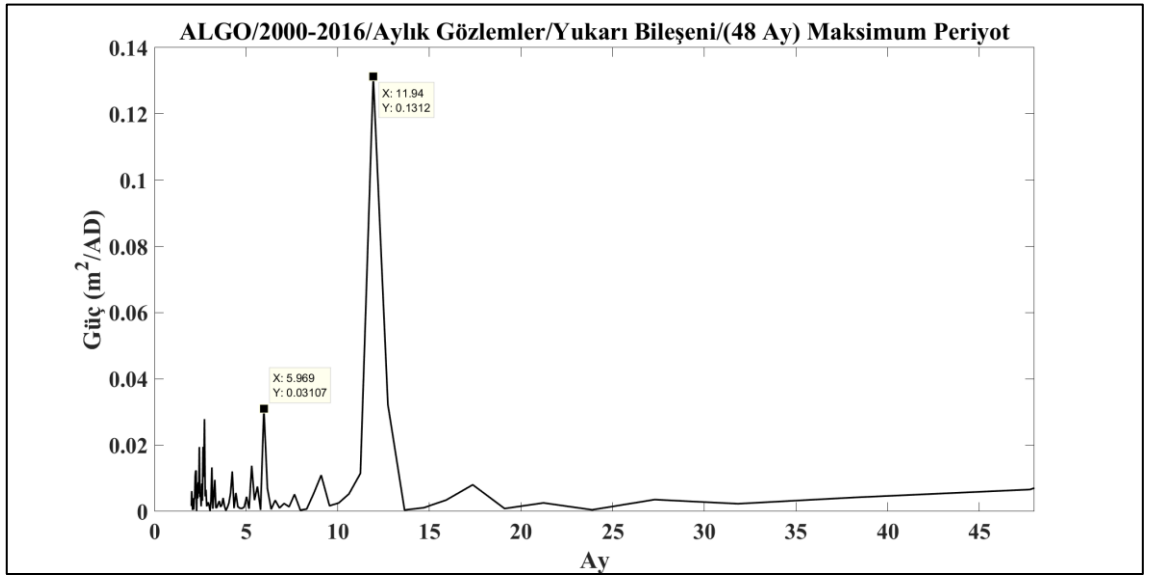
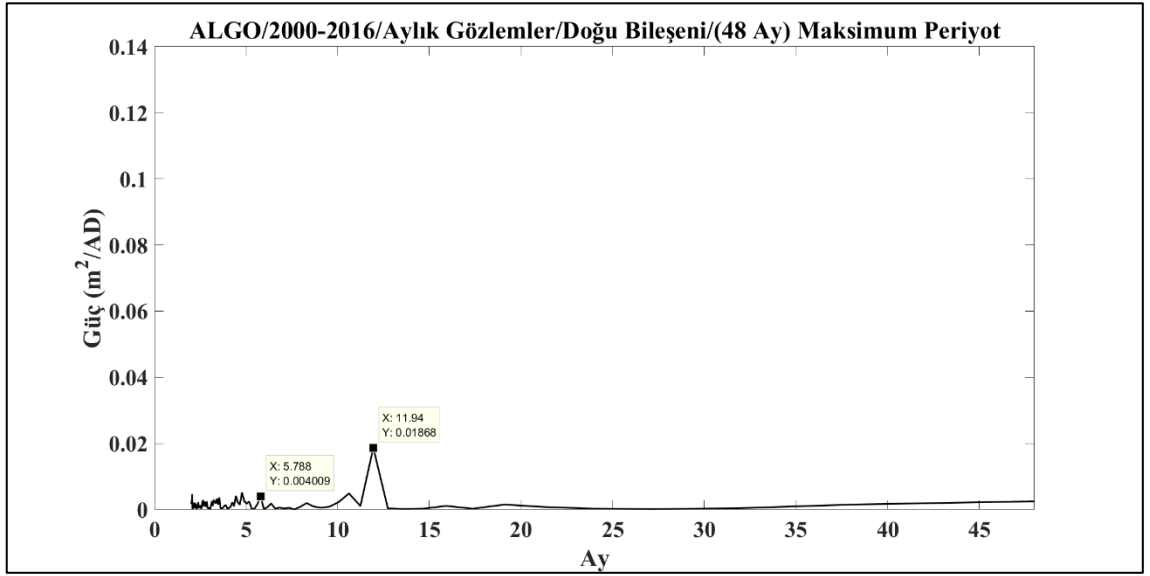
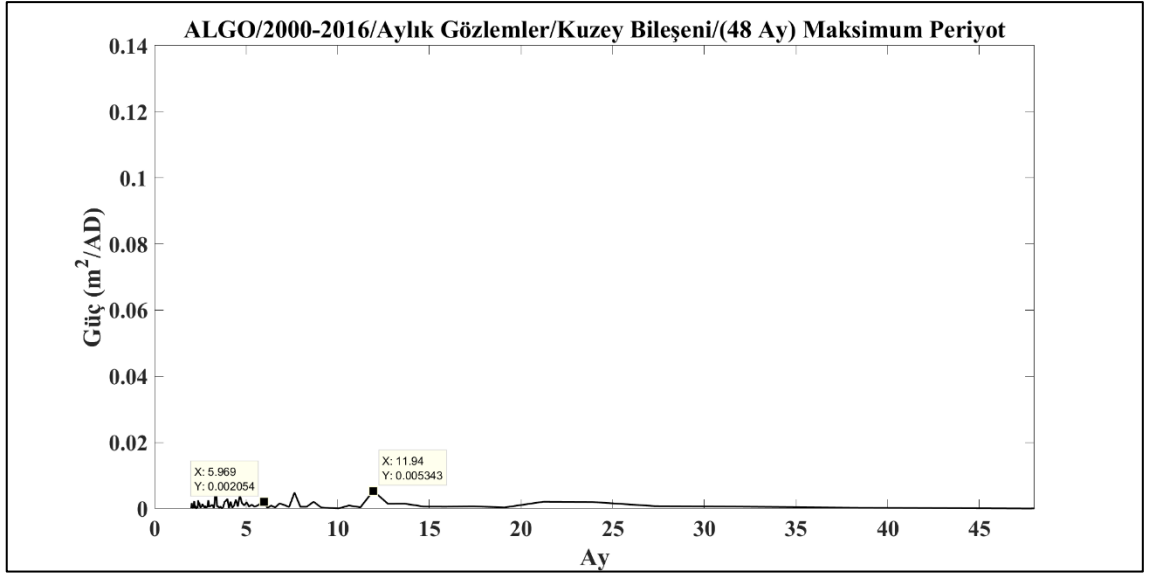
### **11 Adet İstasyon için 15 Yıllık Maksimum Periyot Değerleri**

İstasyon Listesi;

ALGO, BJFS, GOLD, KERG, NNOR, ONSA, PDEL, SANT, SELE, SUTM, SYOG.

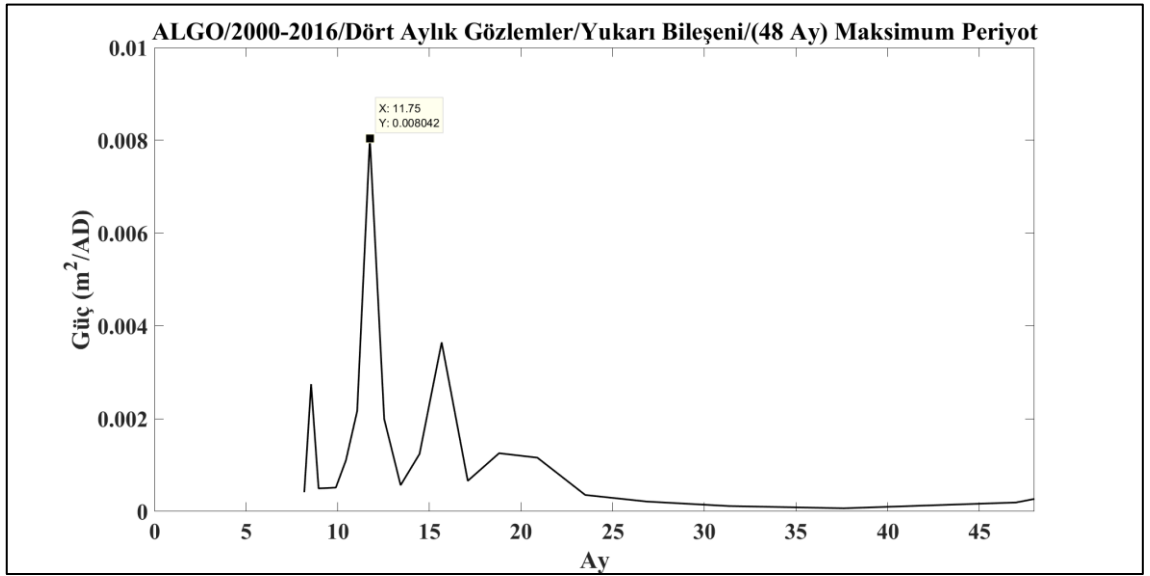
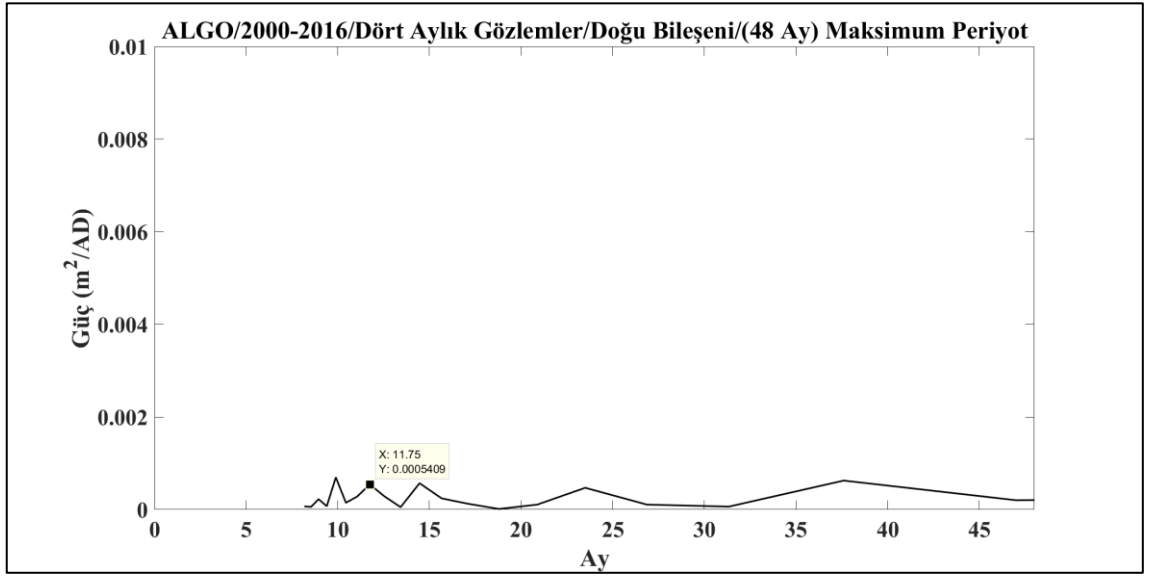
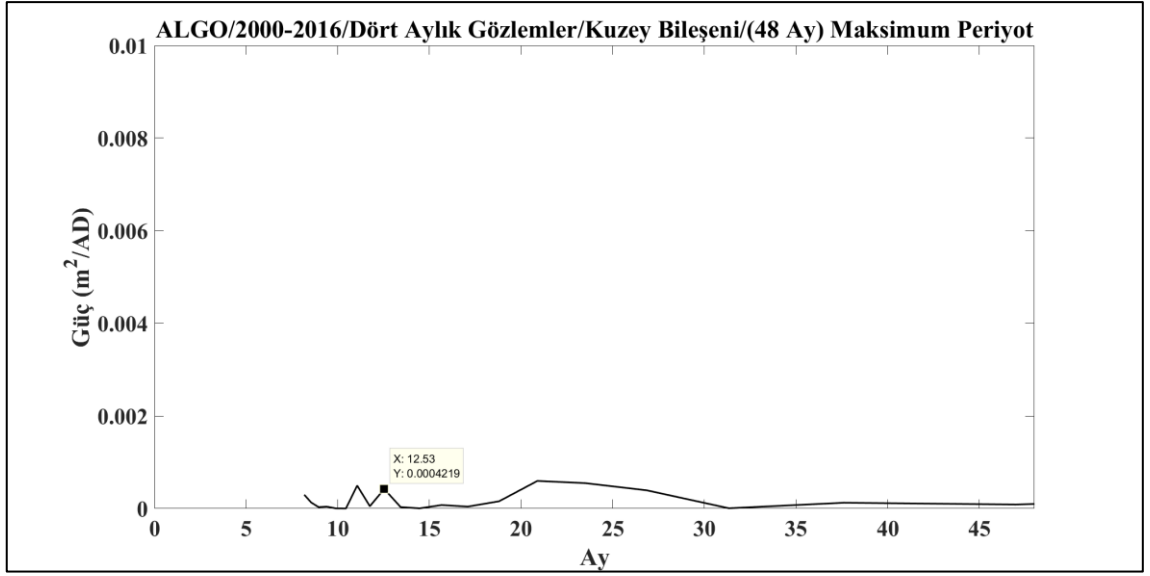


Şekil Ç. 1 ALGO istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.

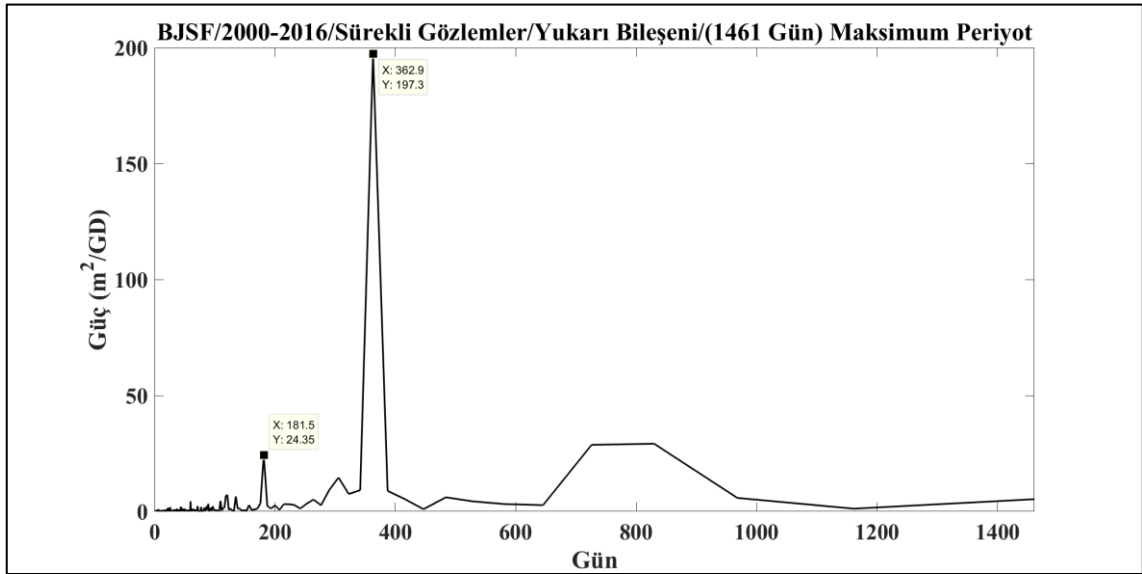
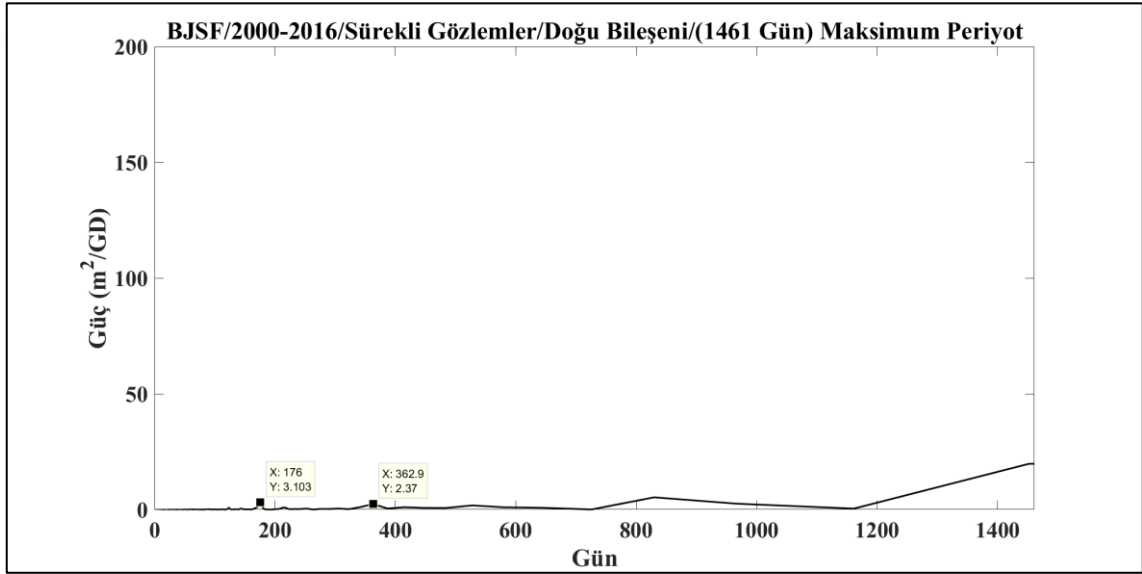
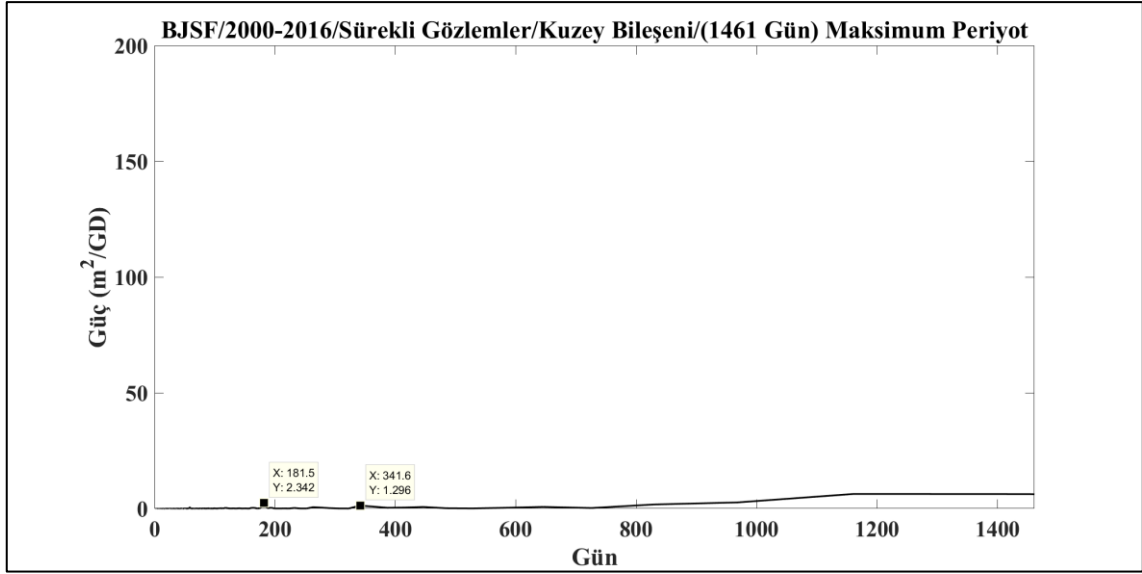


Şekil Ç. 2 ALGO istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.

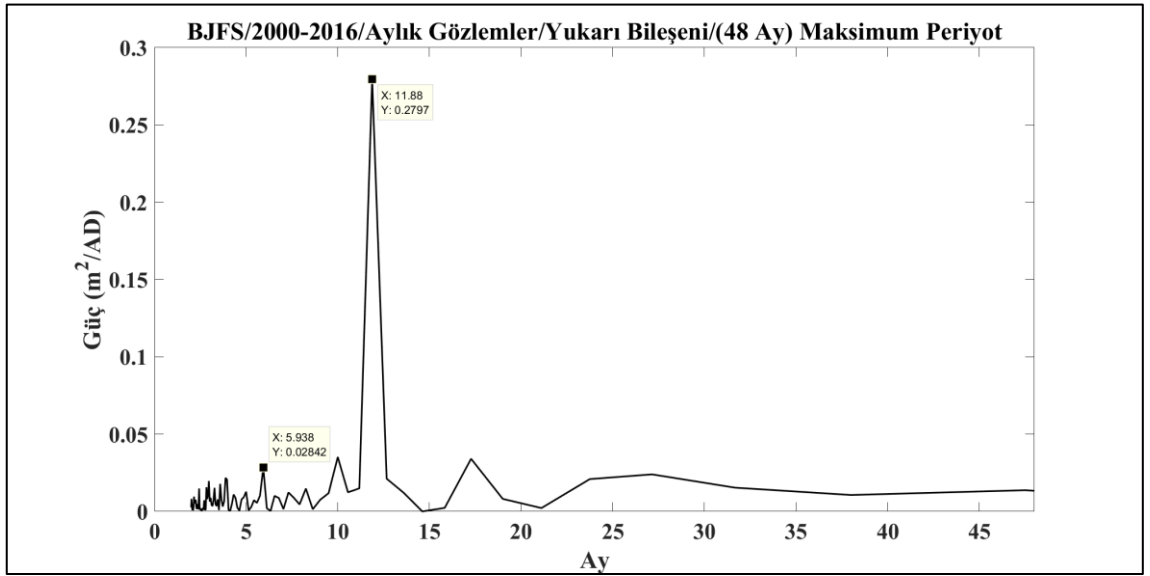
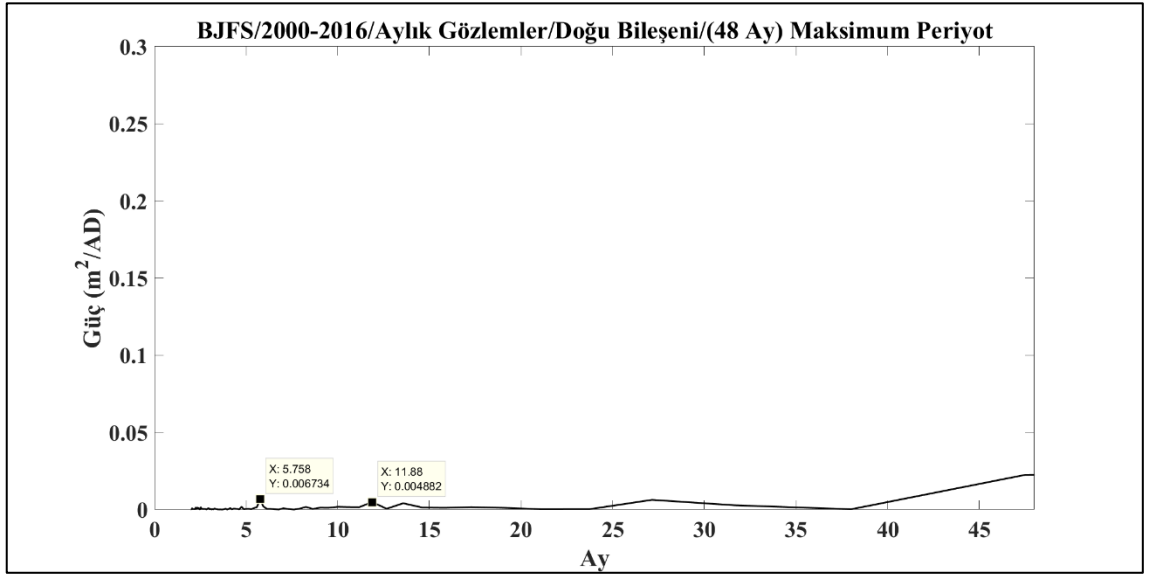
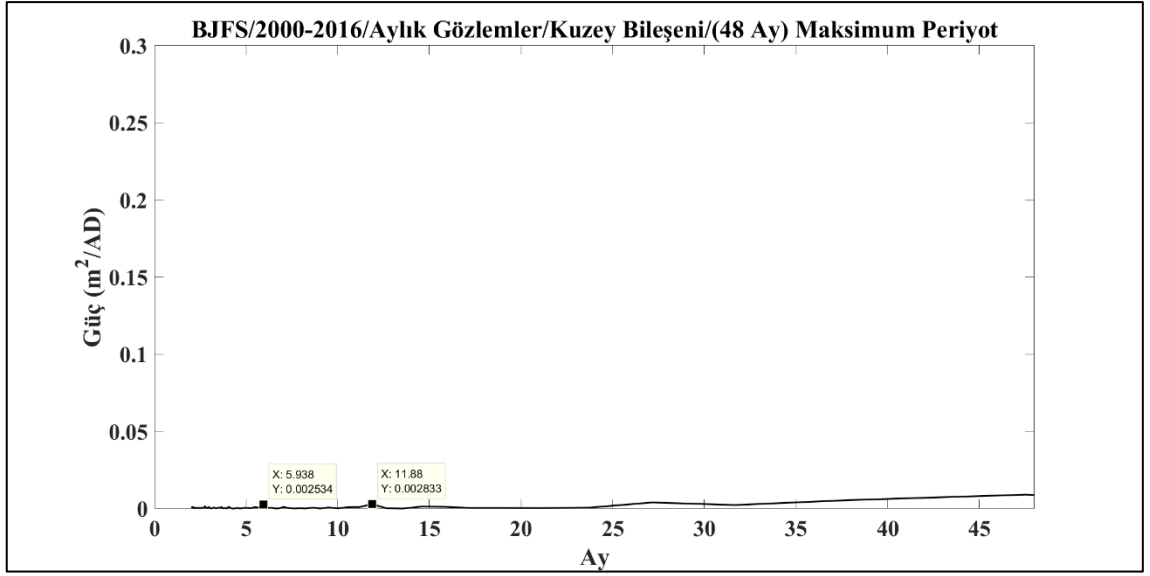




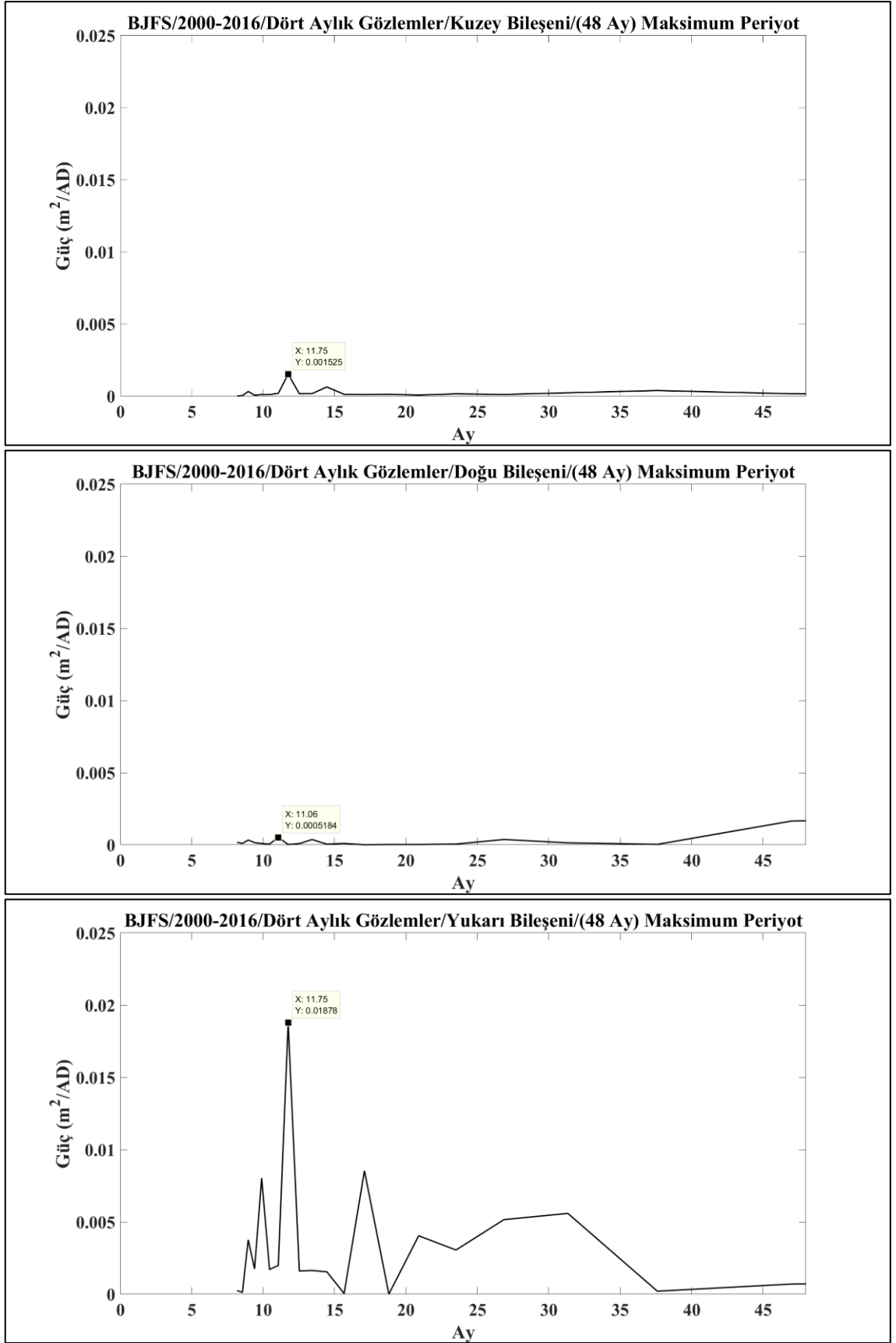
Şekil Ç. 3 ALGO istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



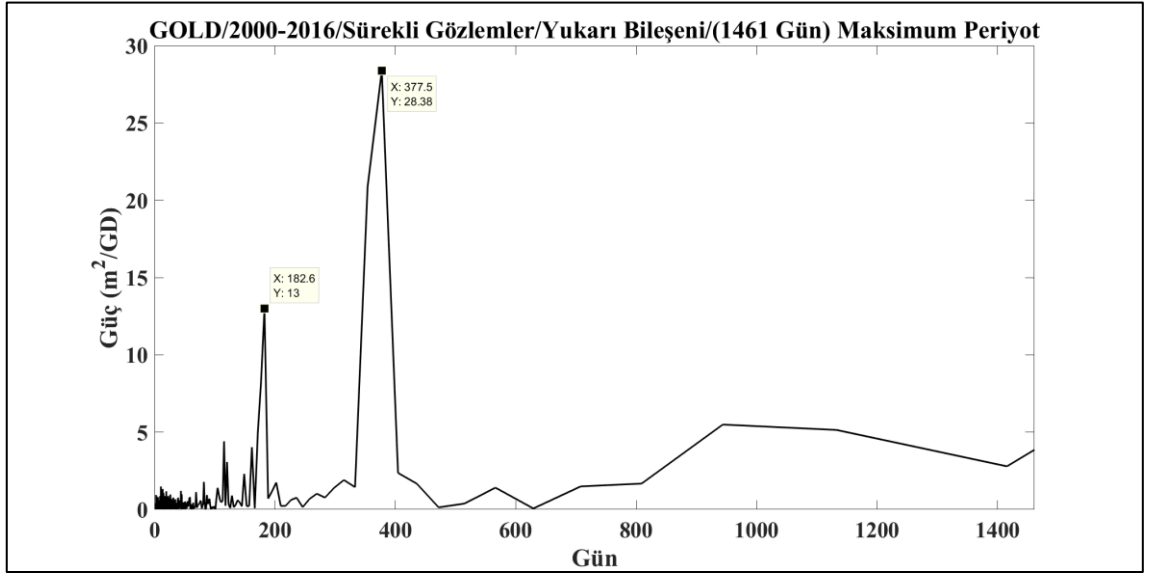
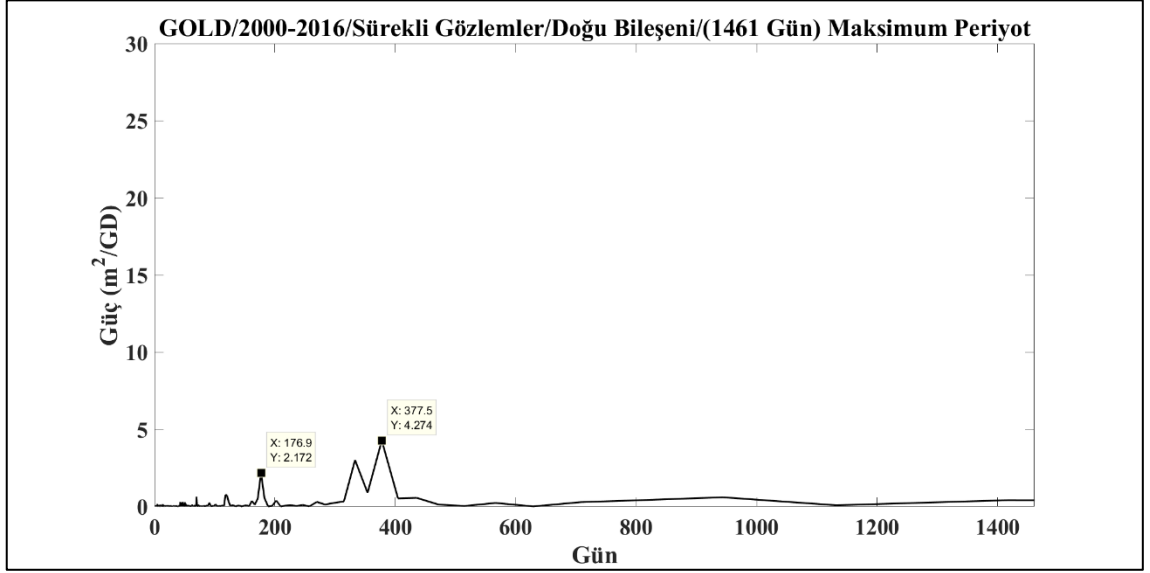
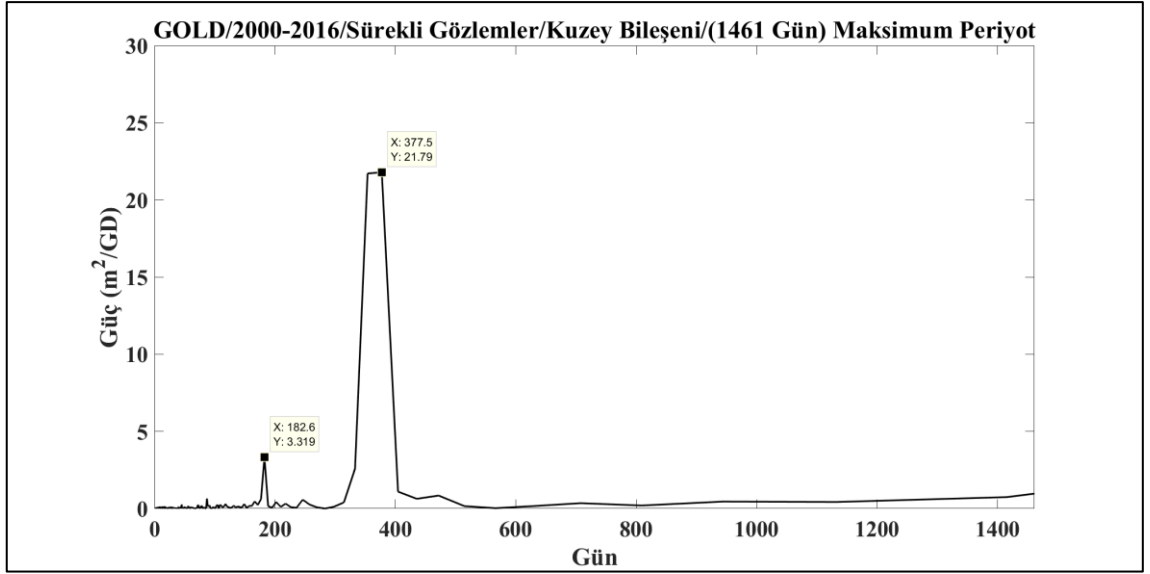
Şekil Ç. 4 BJFS istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.



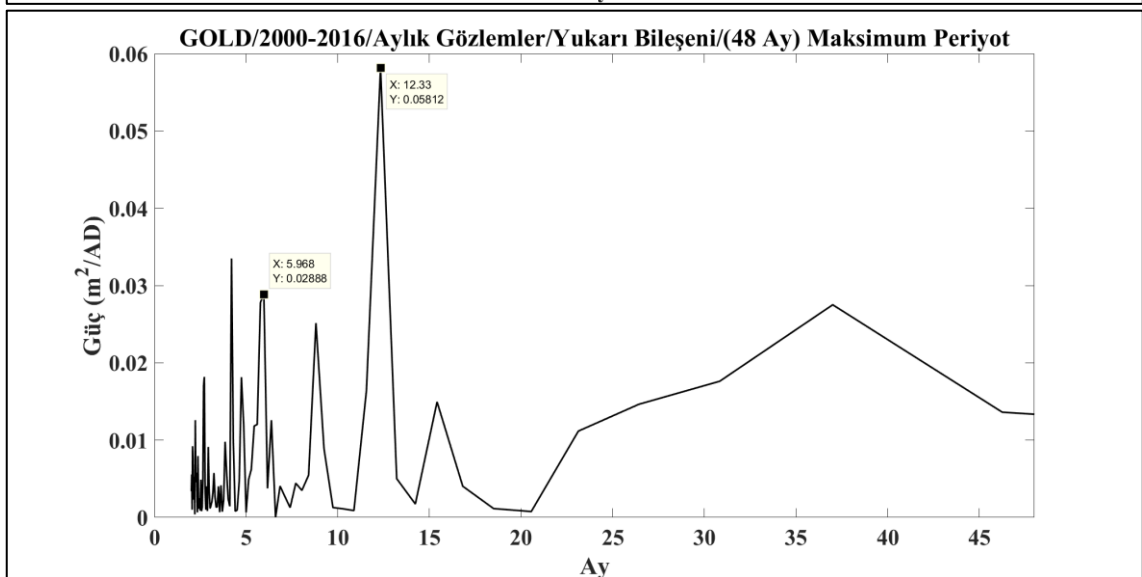
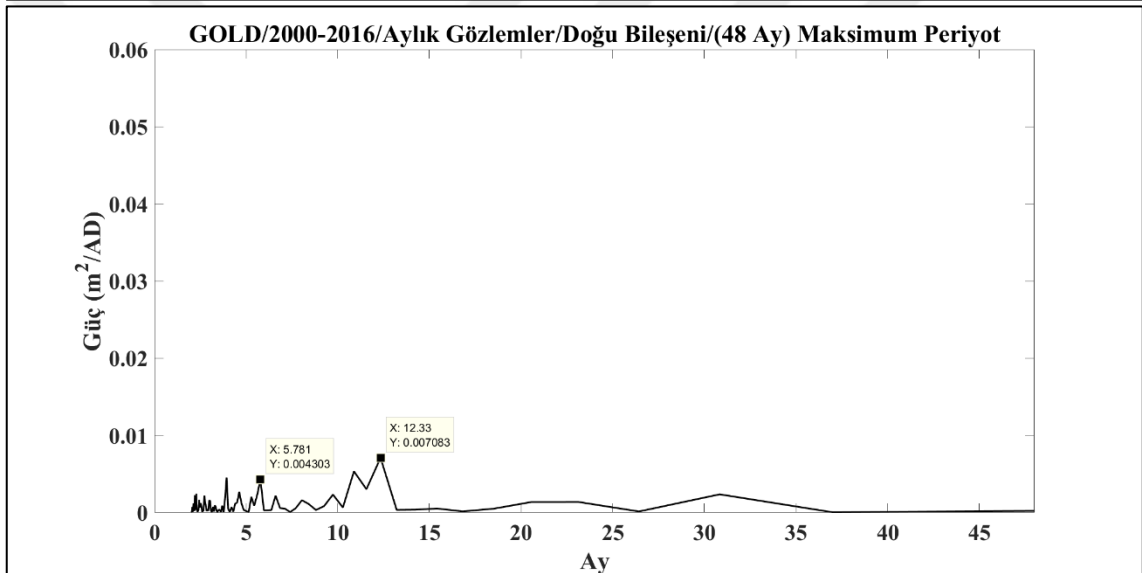
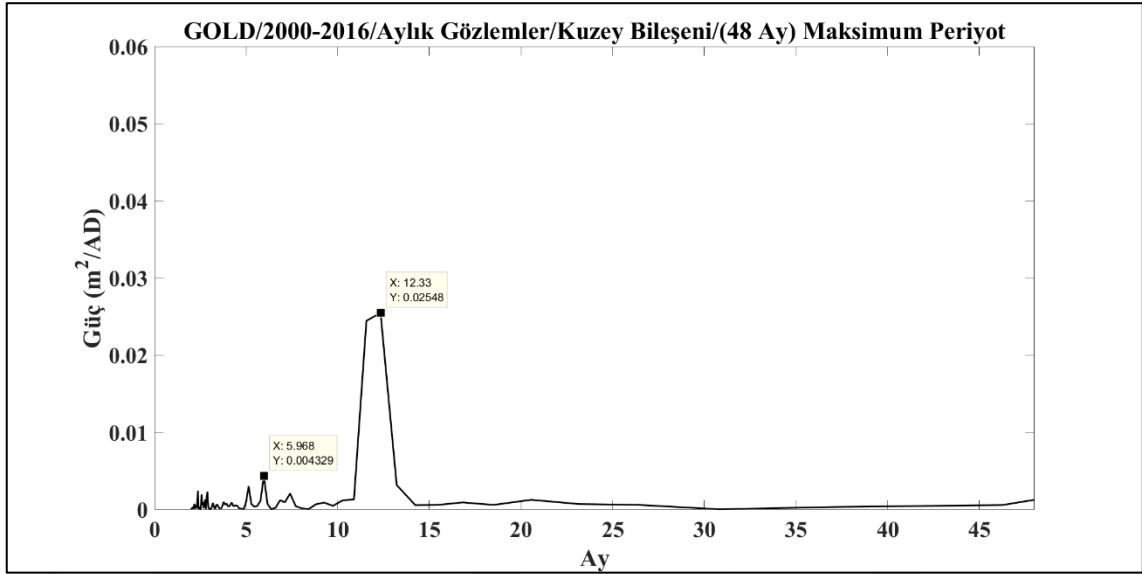
Şekil Ç. 5 ALGO istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



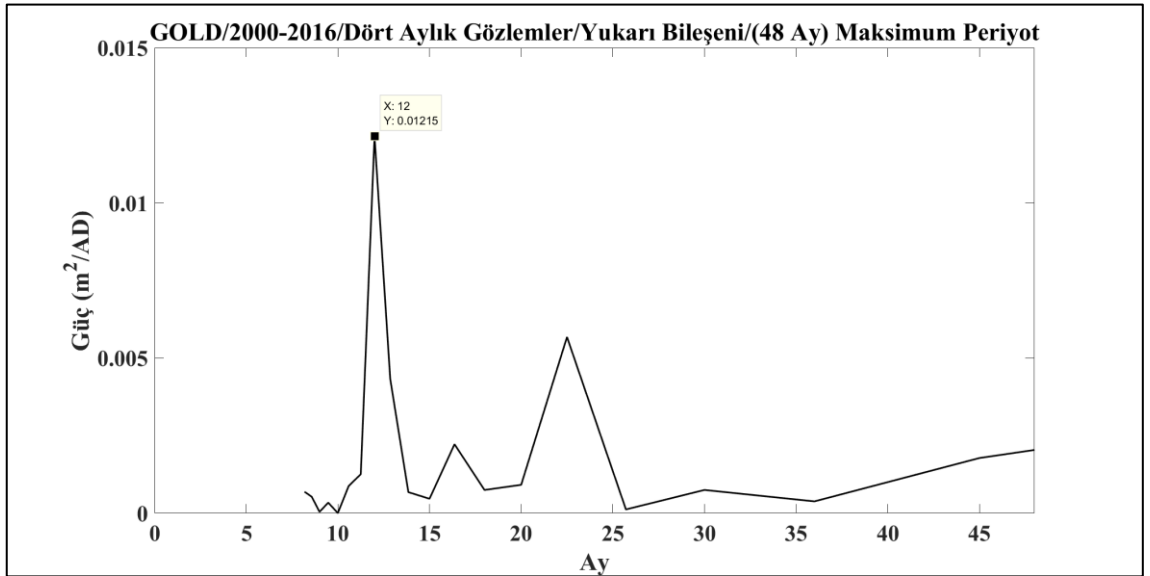
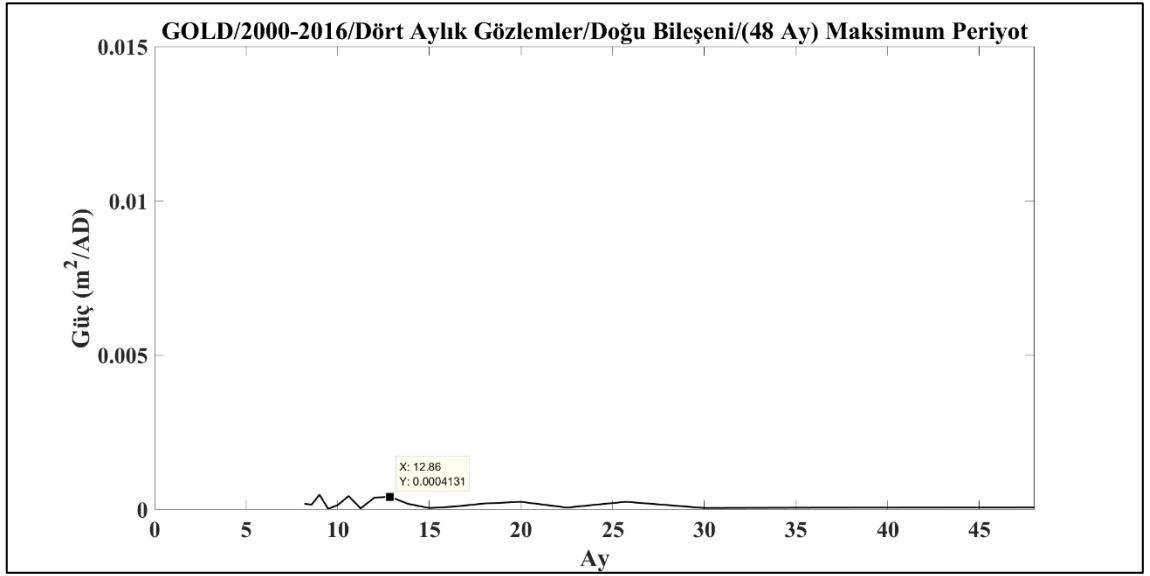
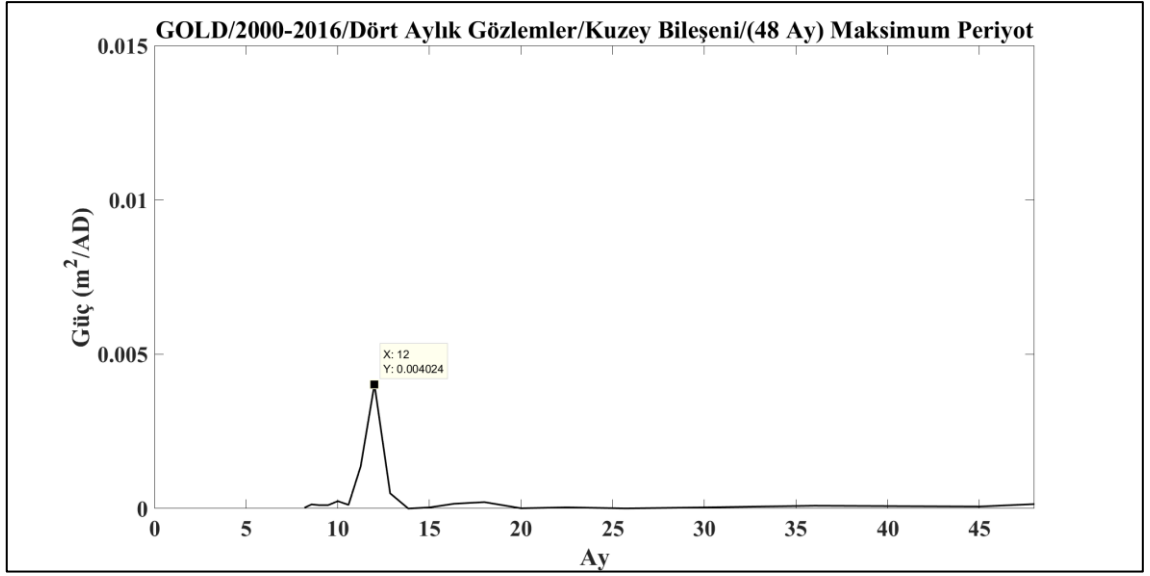
Şekil Ç. 6 ALGO istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



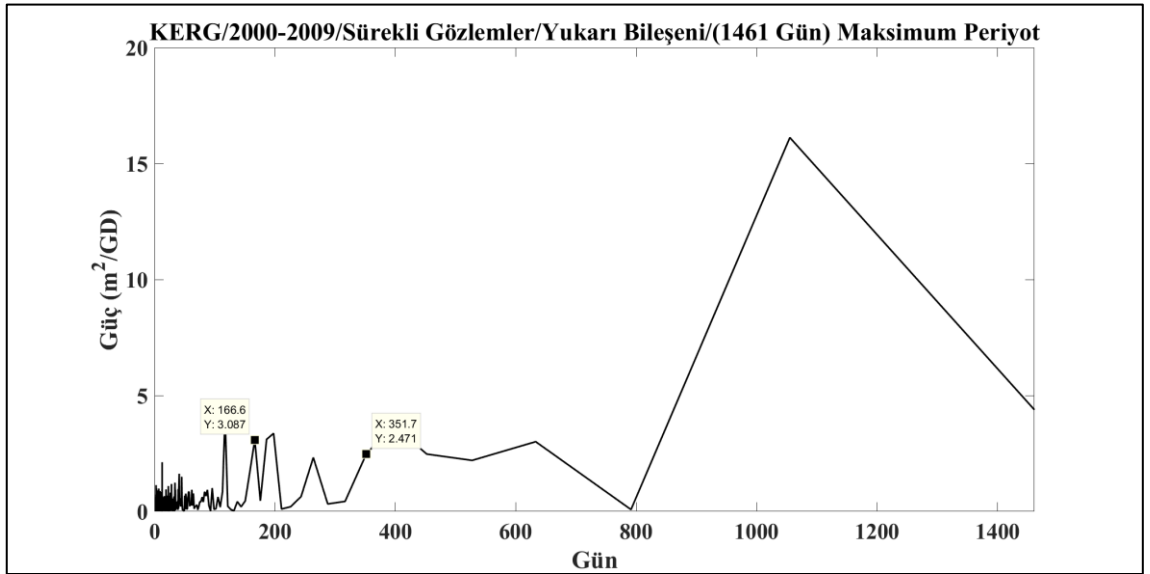
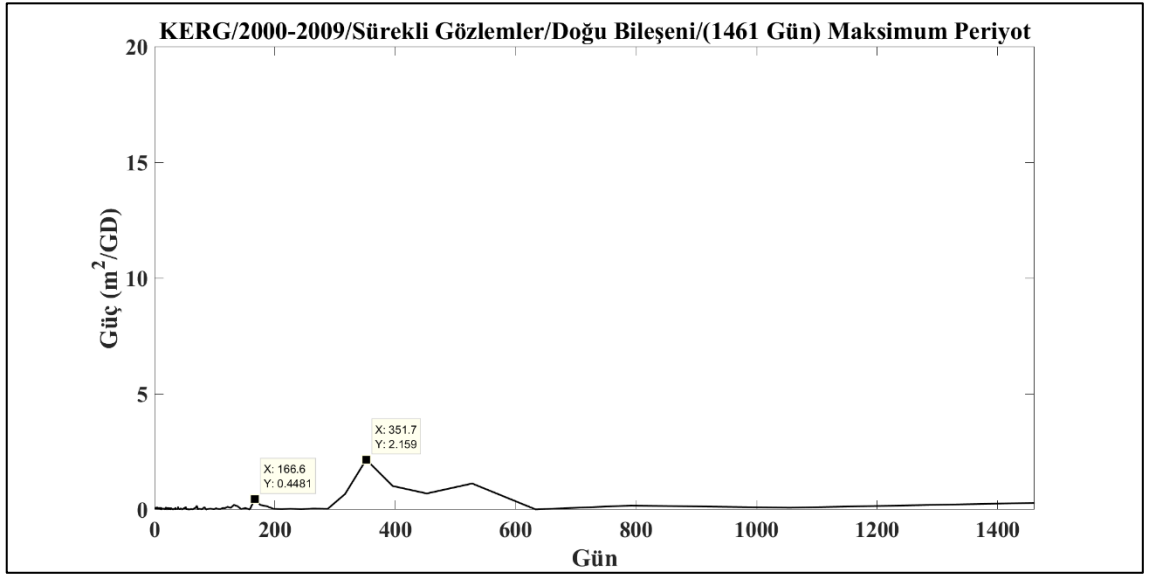
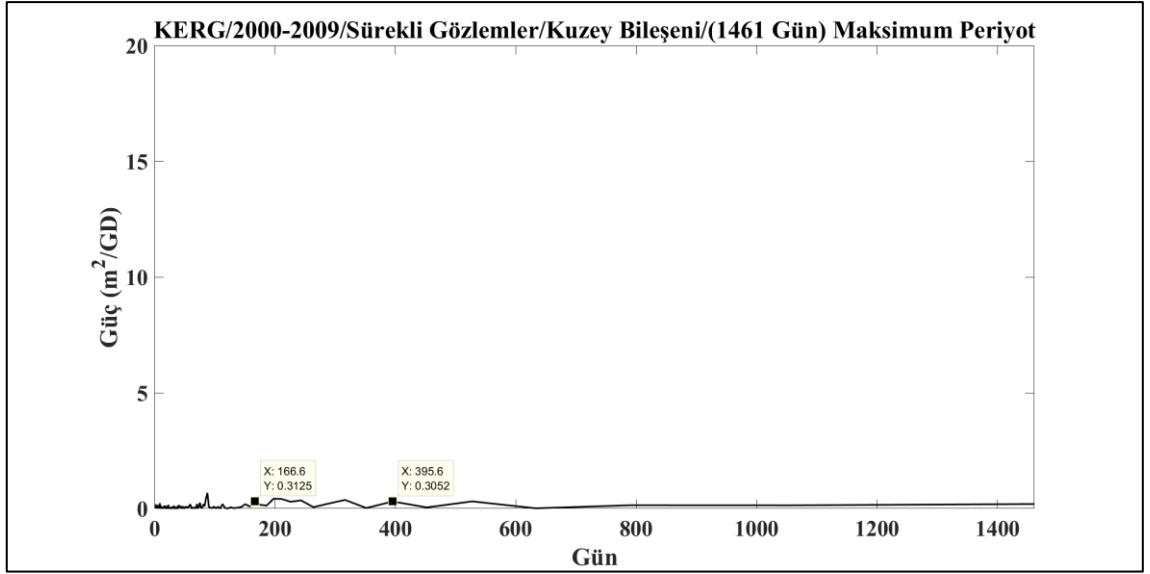
Şekil Ç. 7 GOLD istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.



Şekil Ç. 8 GOLD istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.

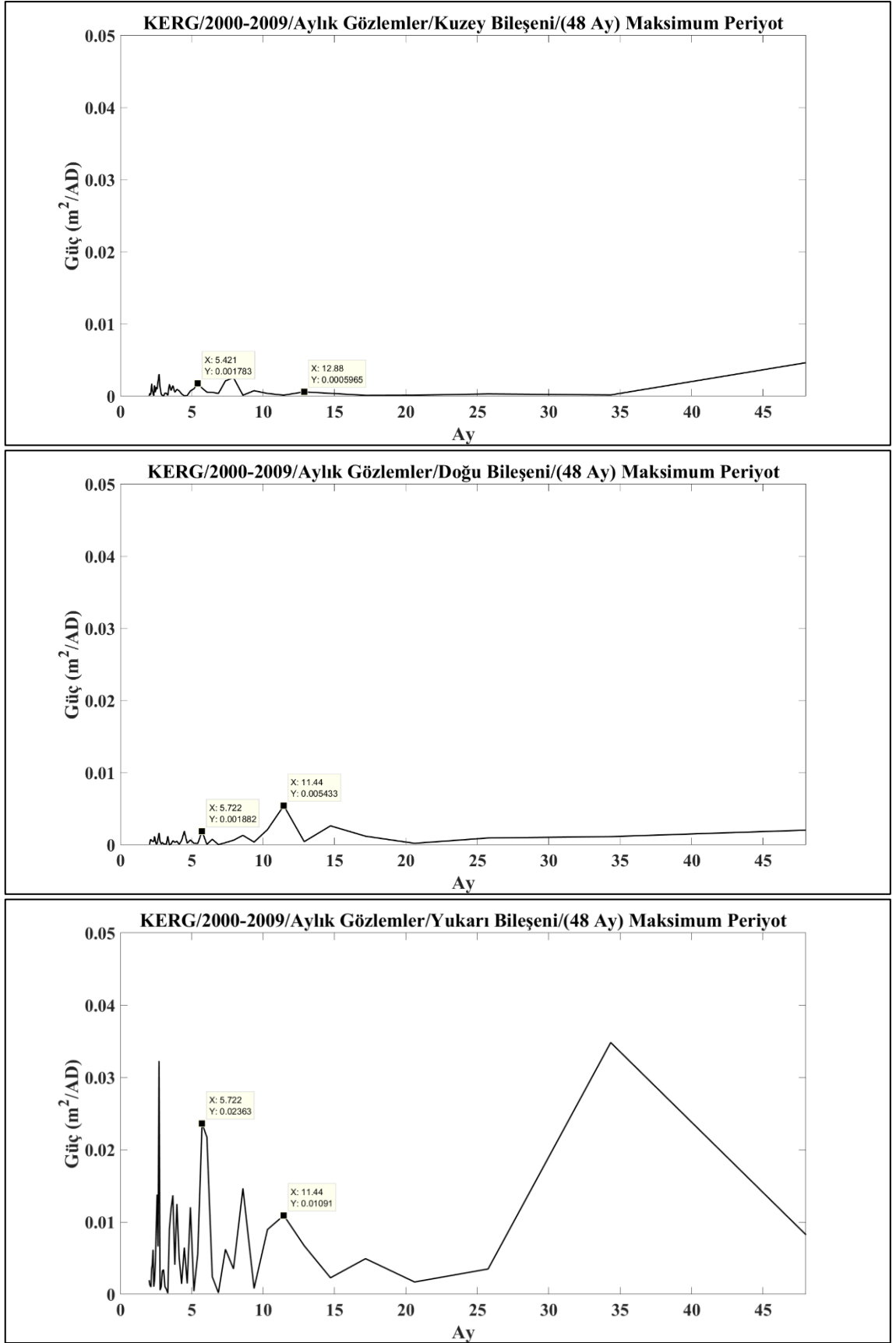


Şekil Ç. 9 GOLD istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.

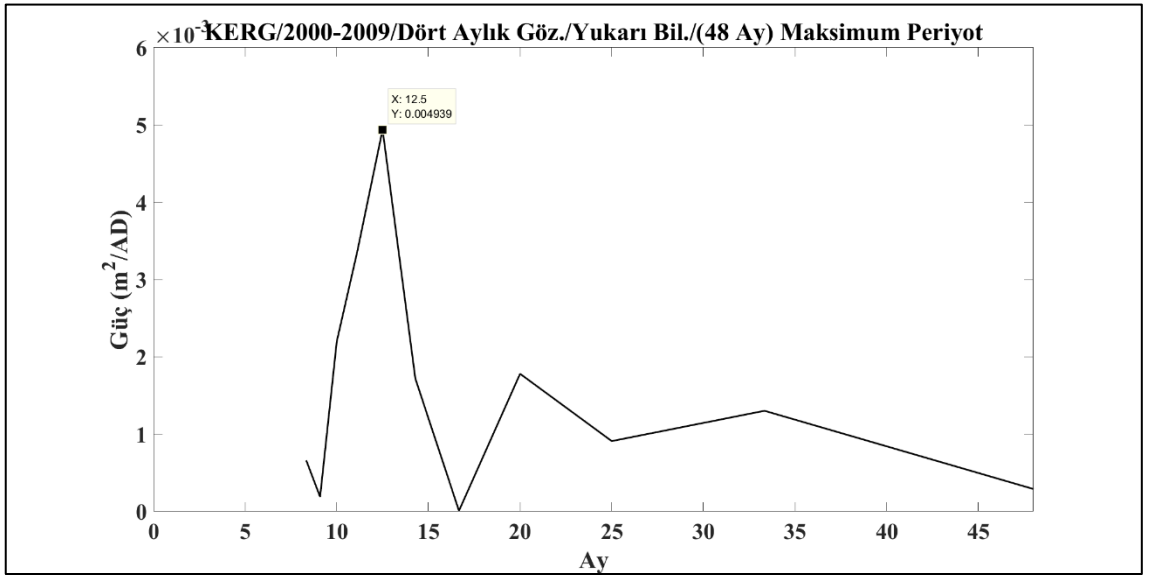
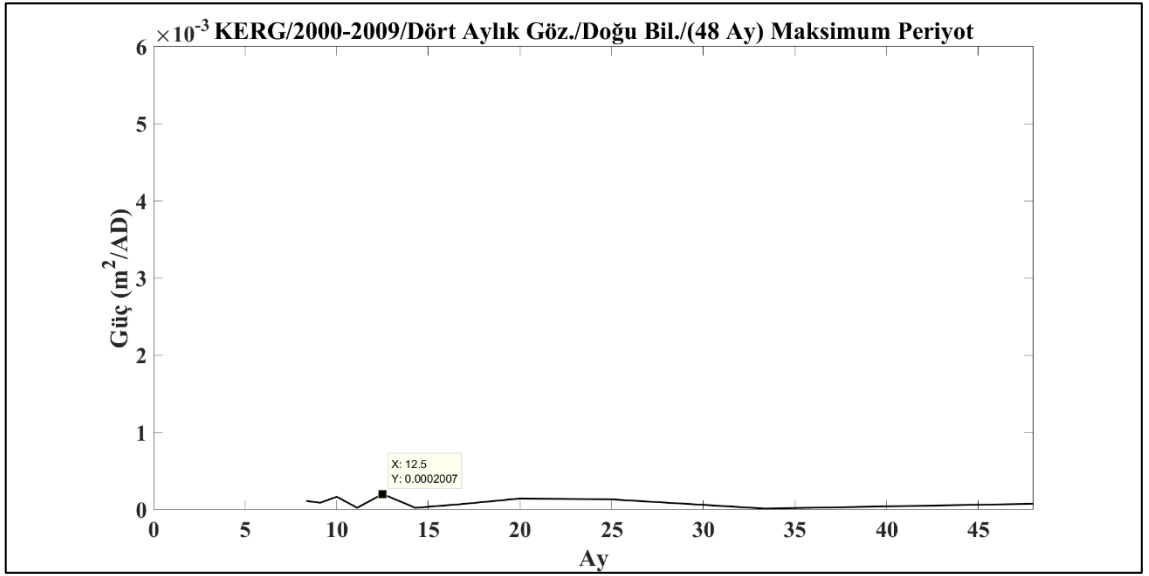
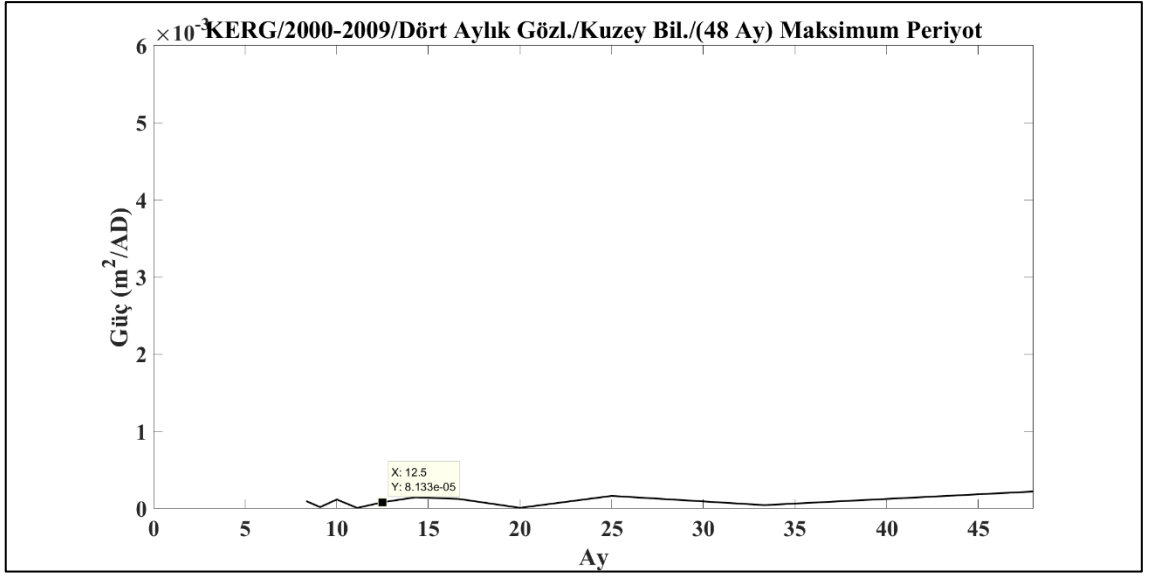


Şekil Ç. 10 KERG istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.

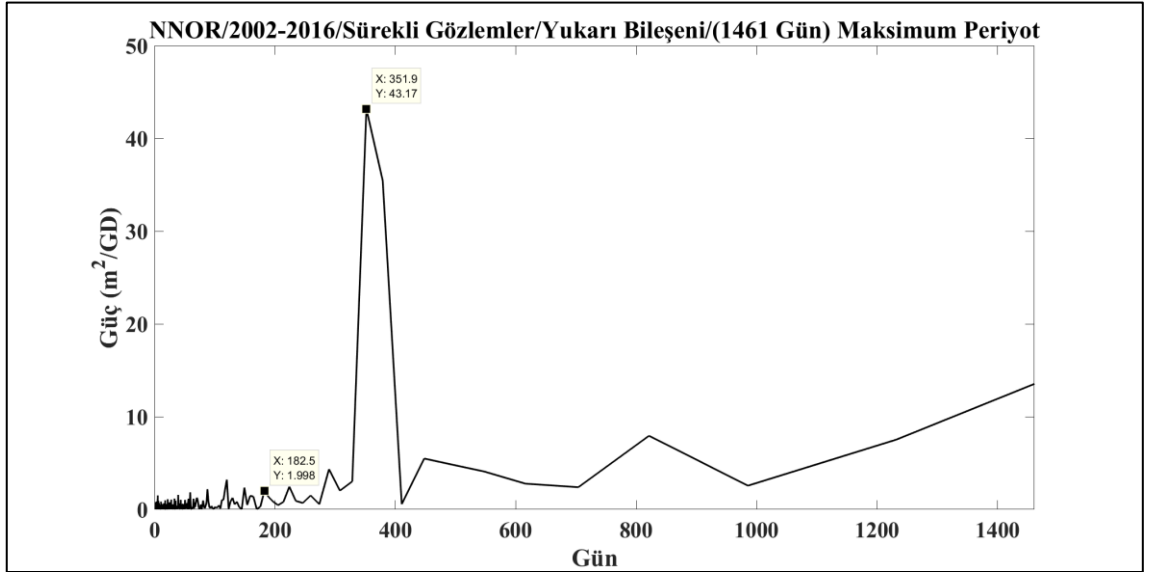
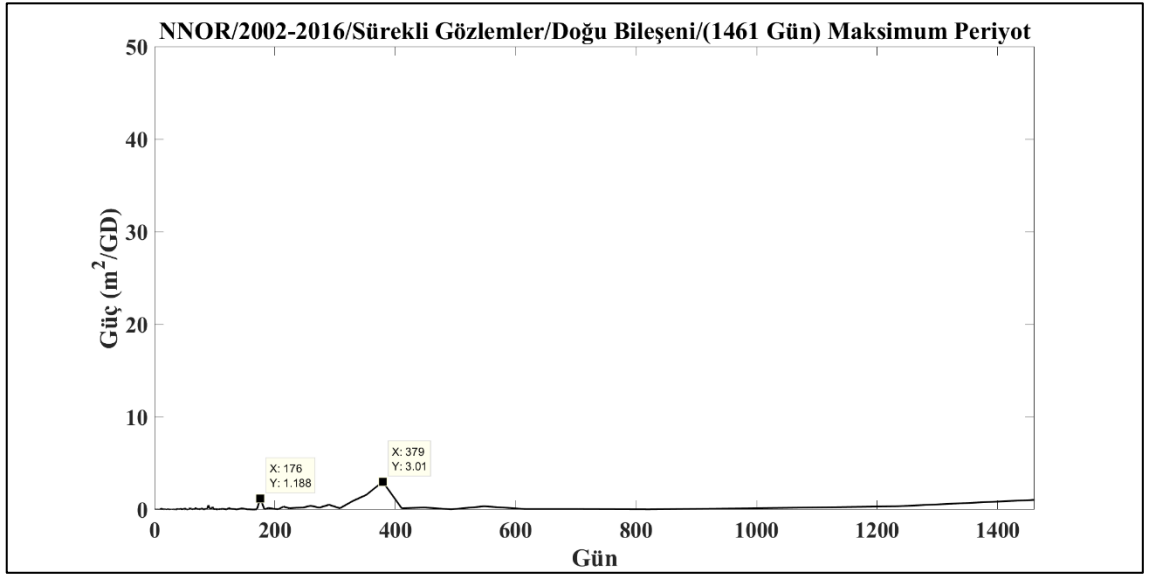
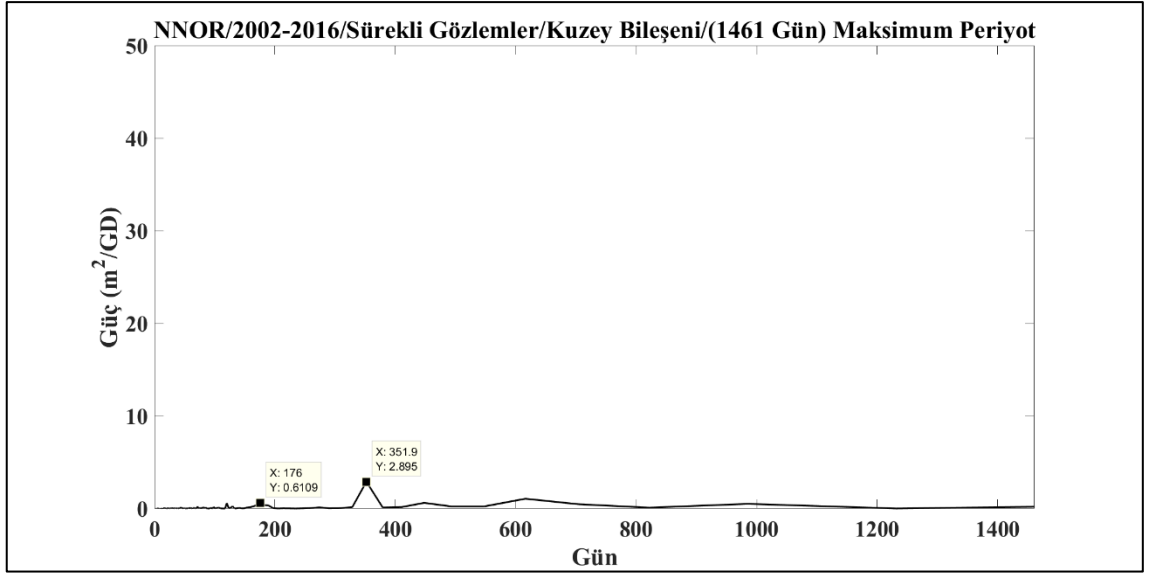




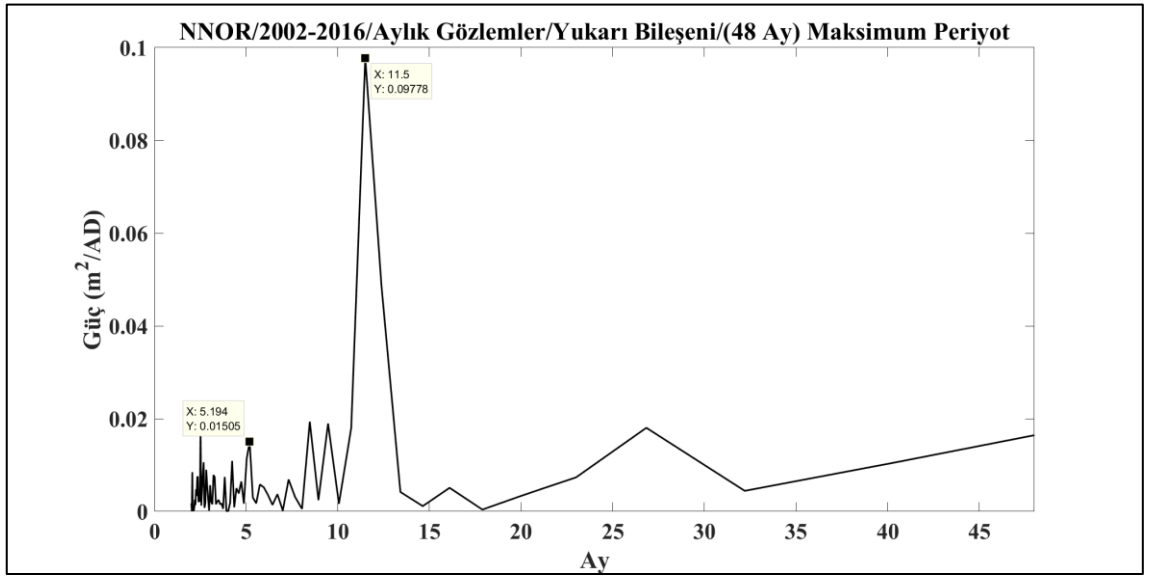
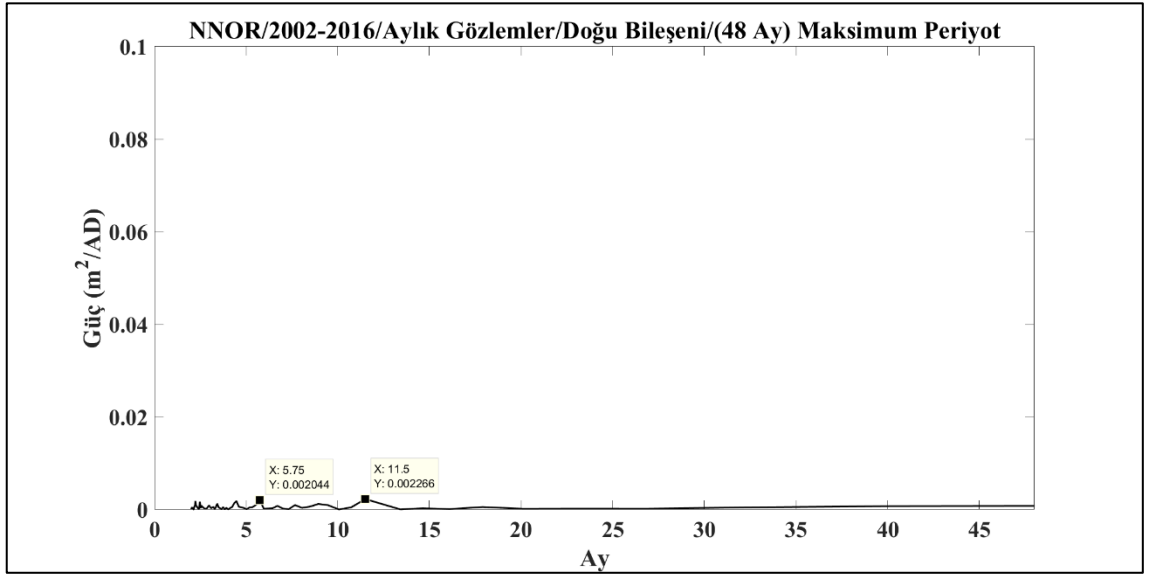
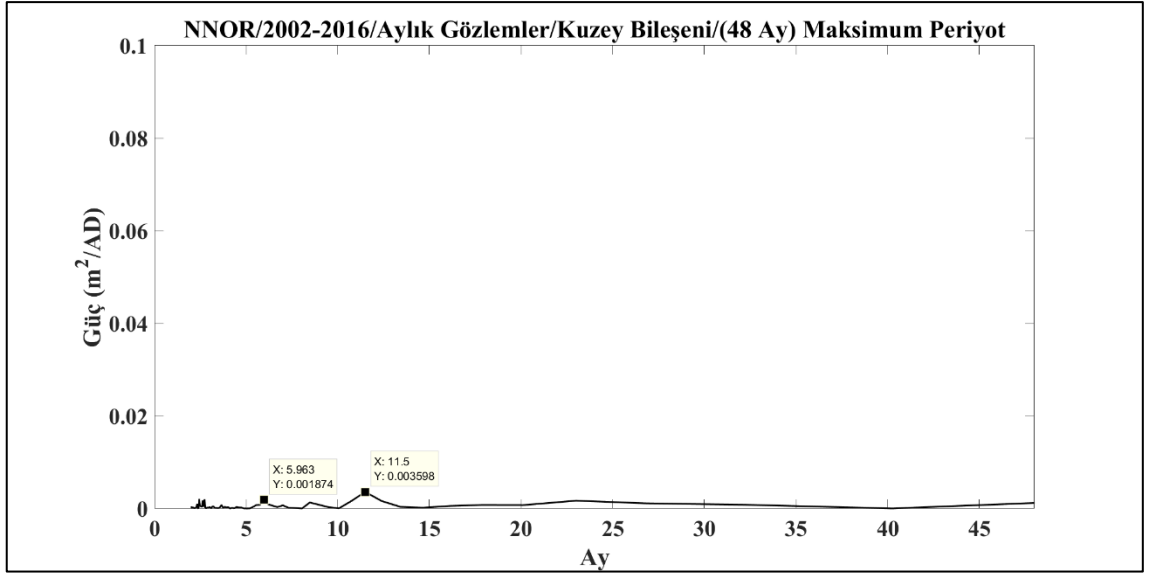
Şekil Ç. 11 KERG istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



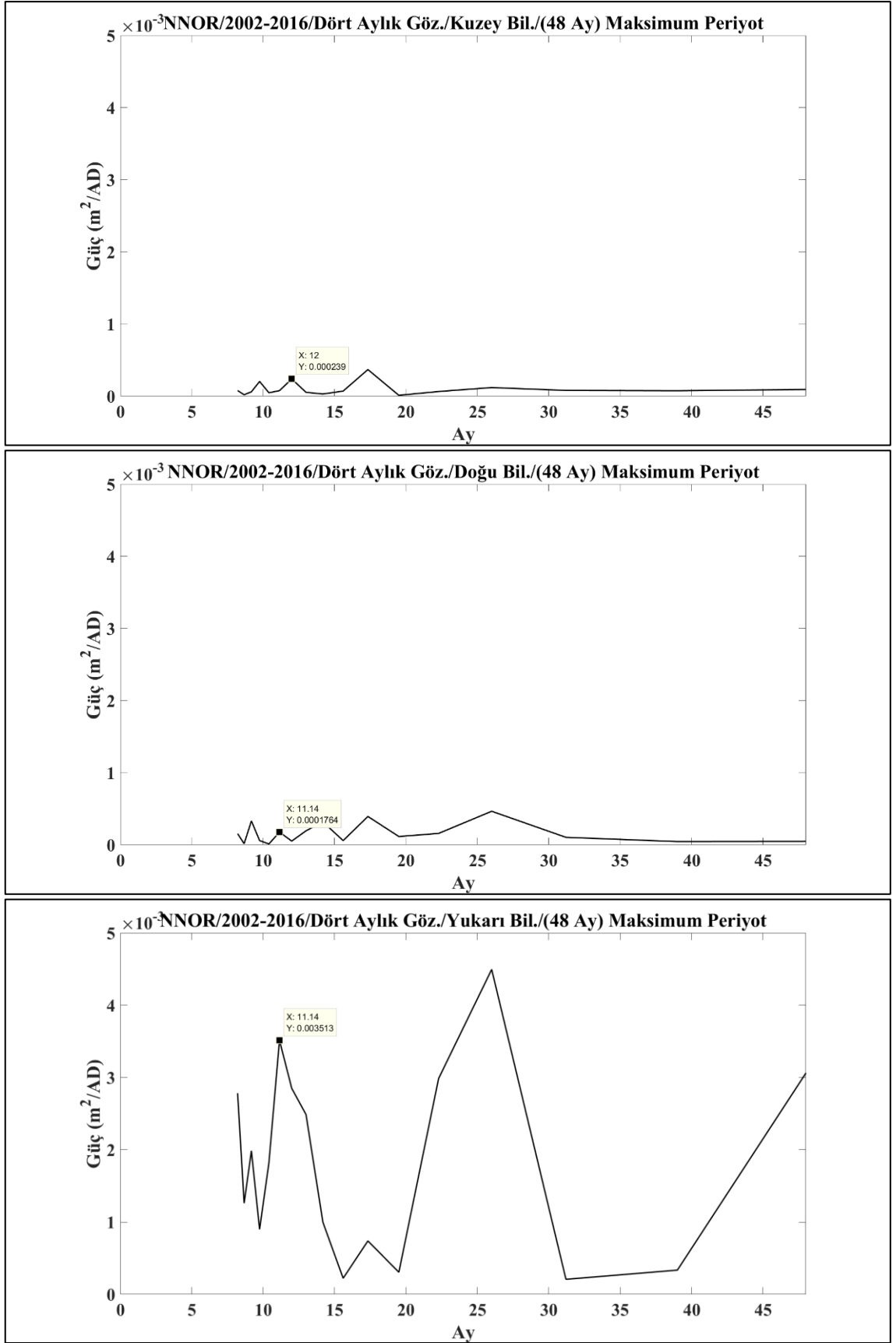
Şekil Ç. 12 KERG istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



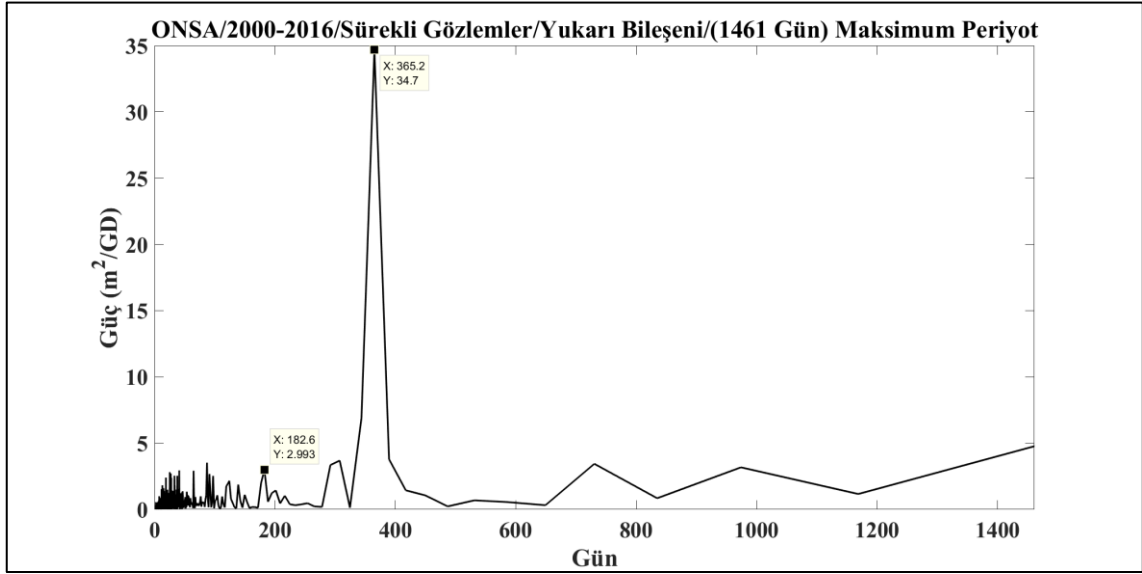
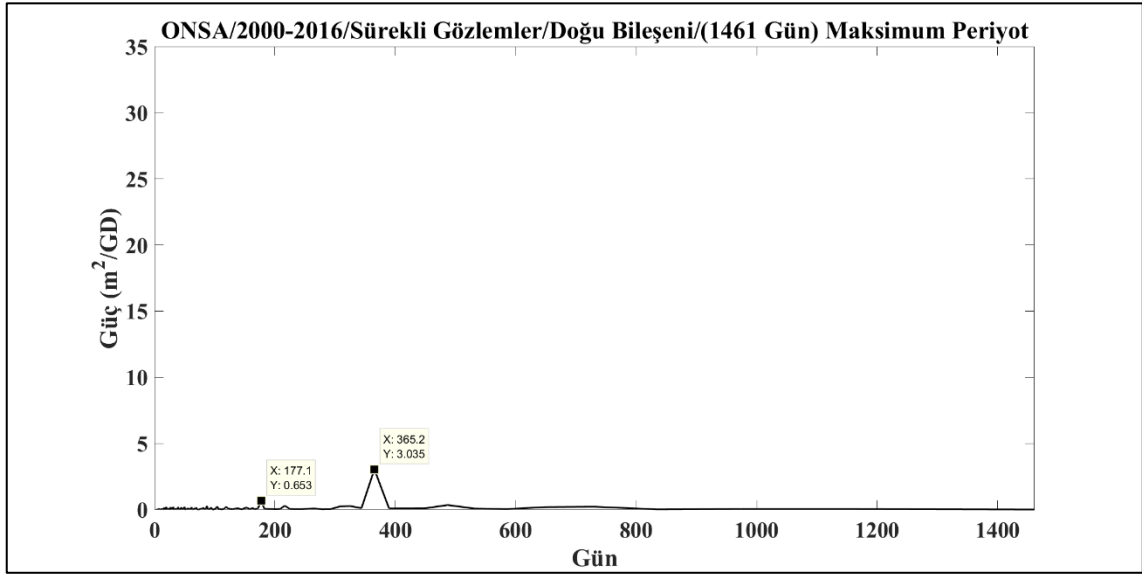
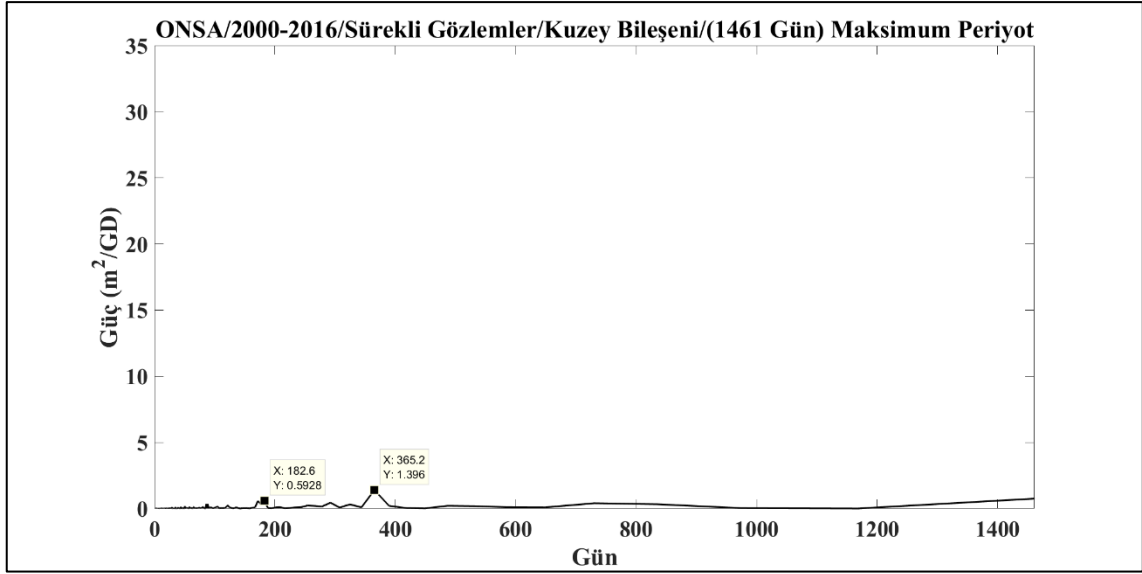
Şekil Ç. 13 NNOR istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.



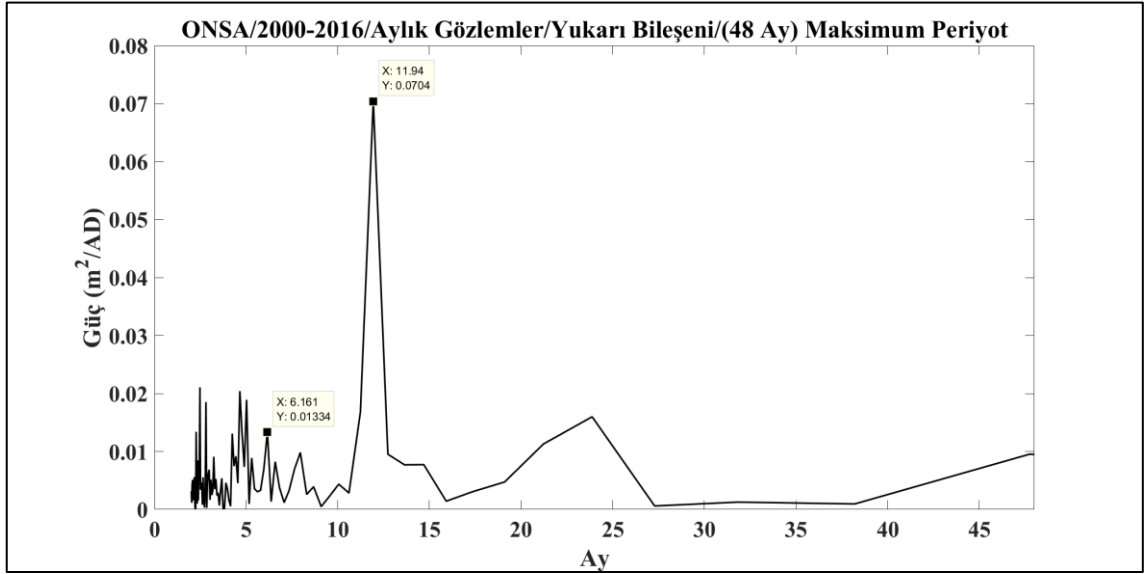
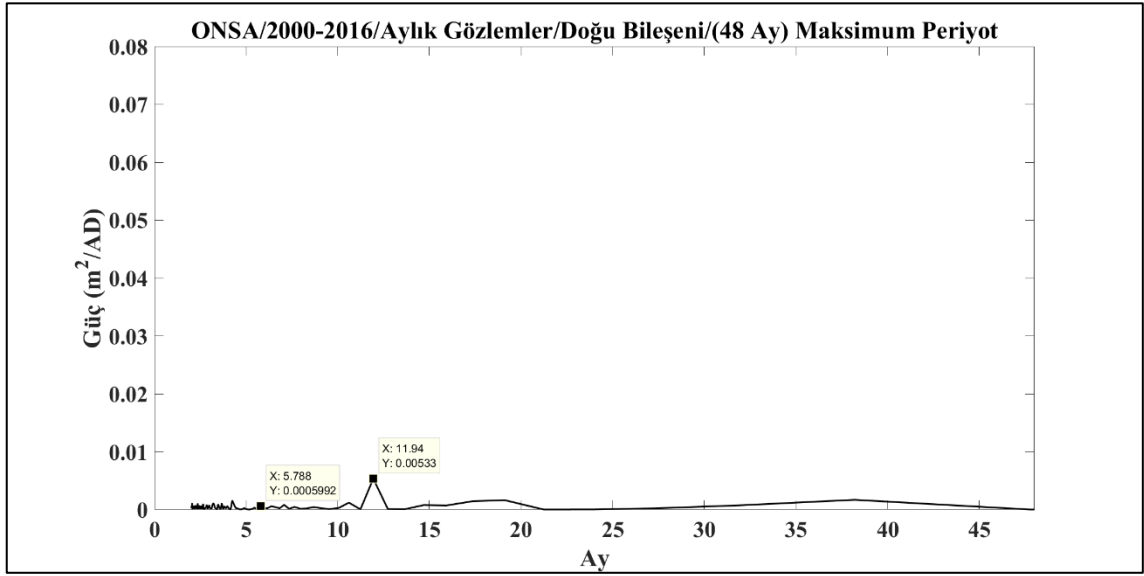
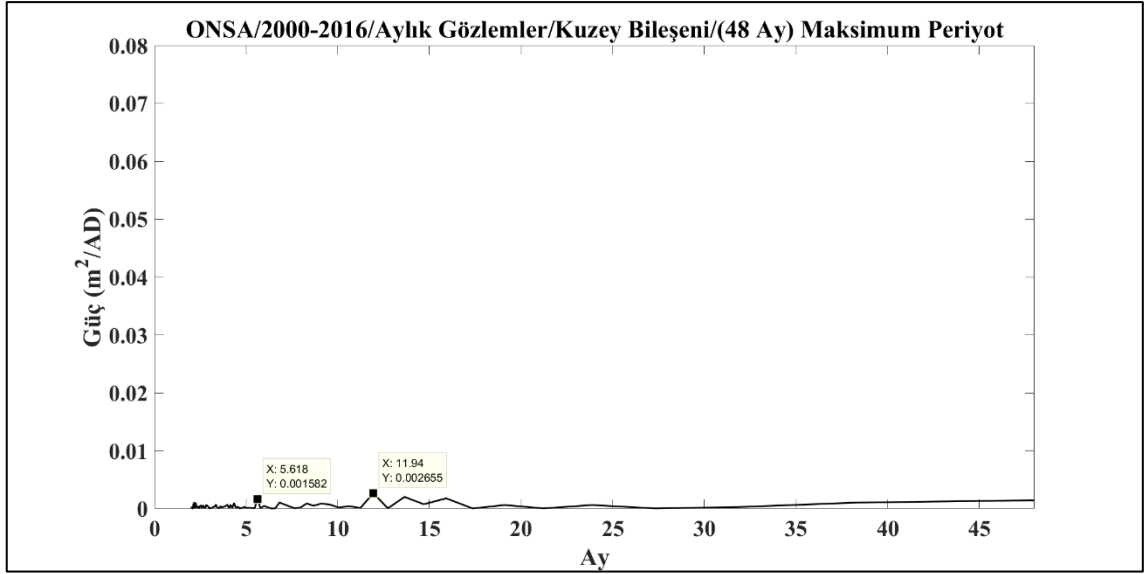
Şekil Ç. 14 NNOR istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



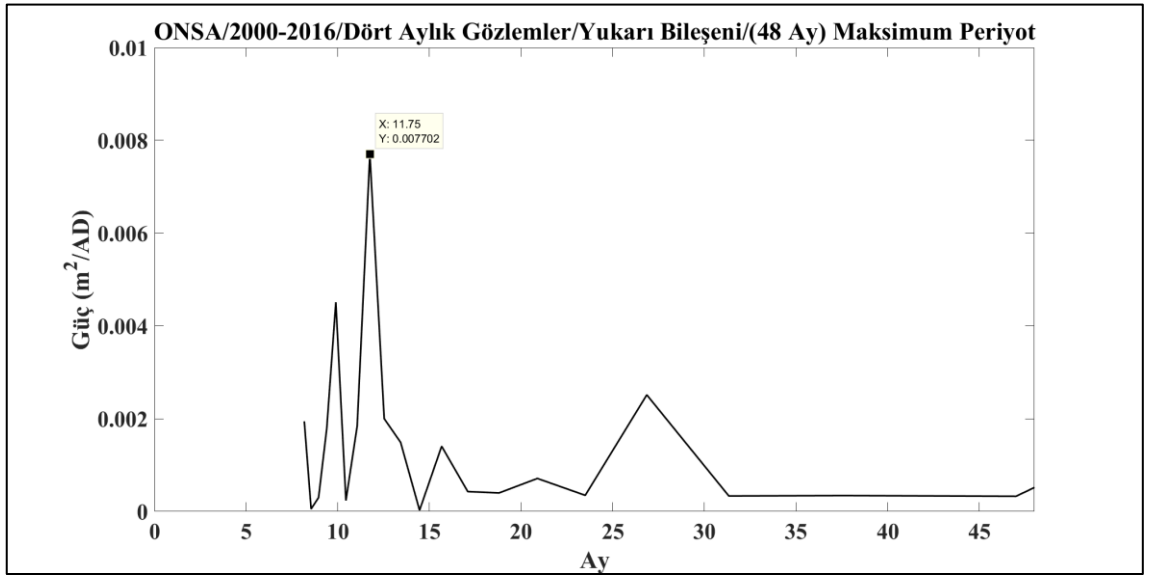
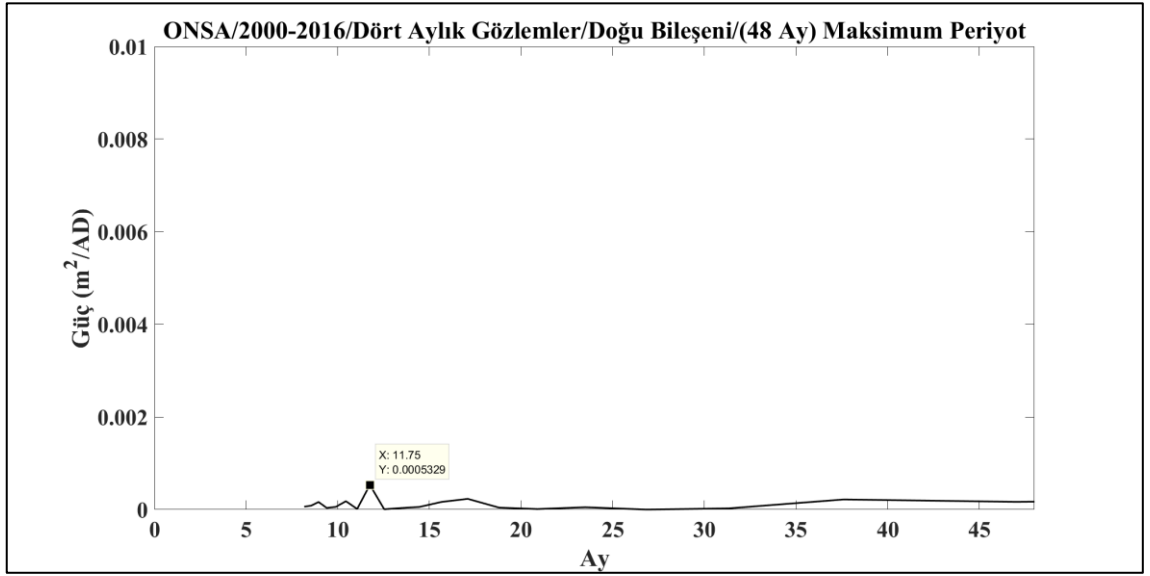
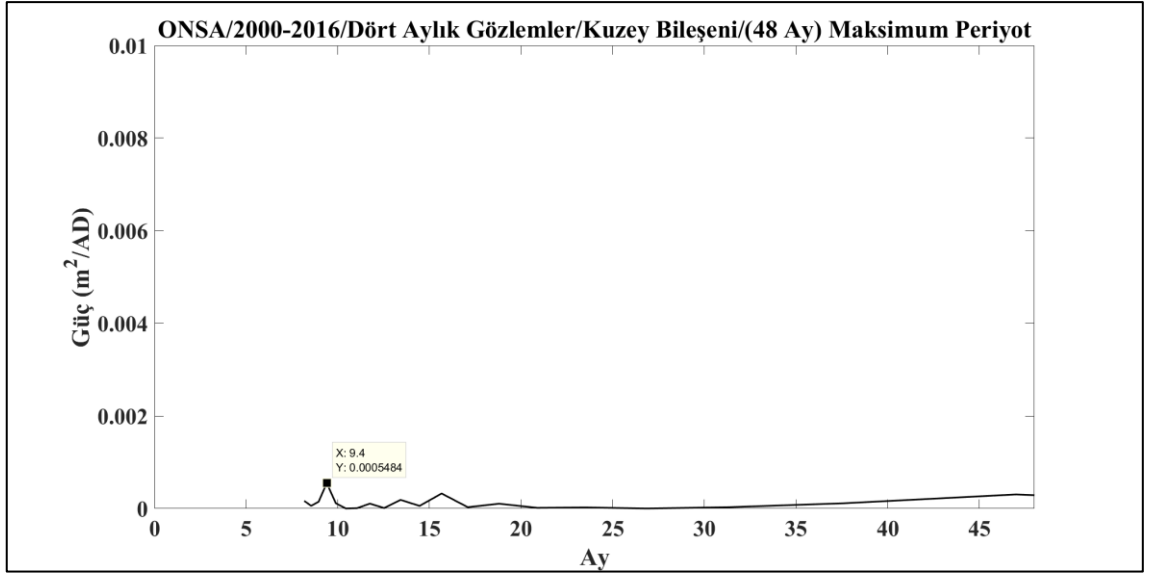
Şekil Ç. 15 NNOR istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



Şekil Ç. 16 ONSA istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.

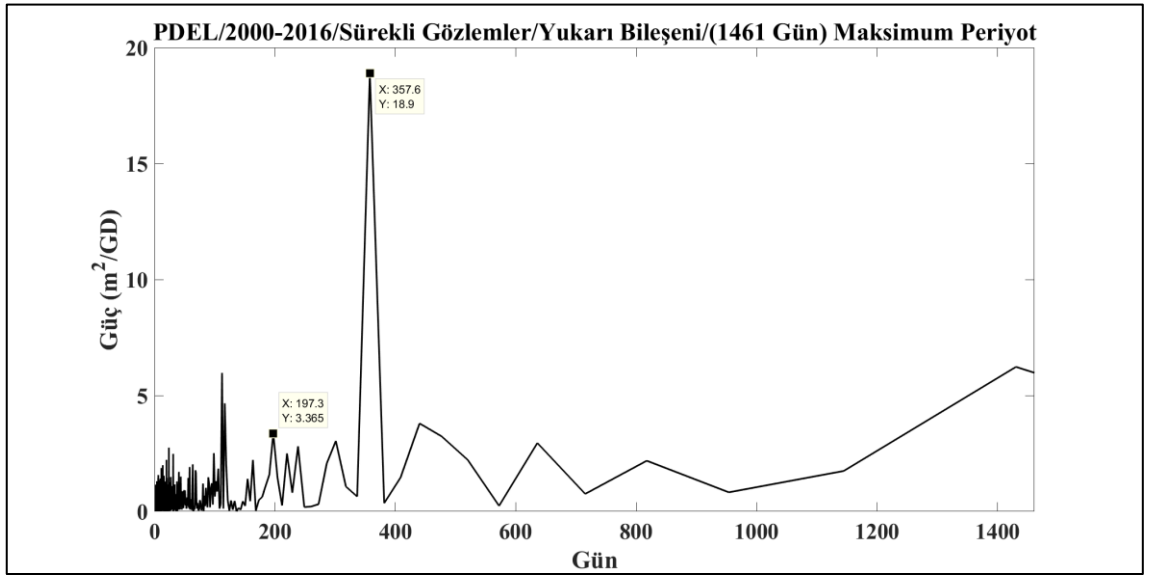
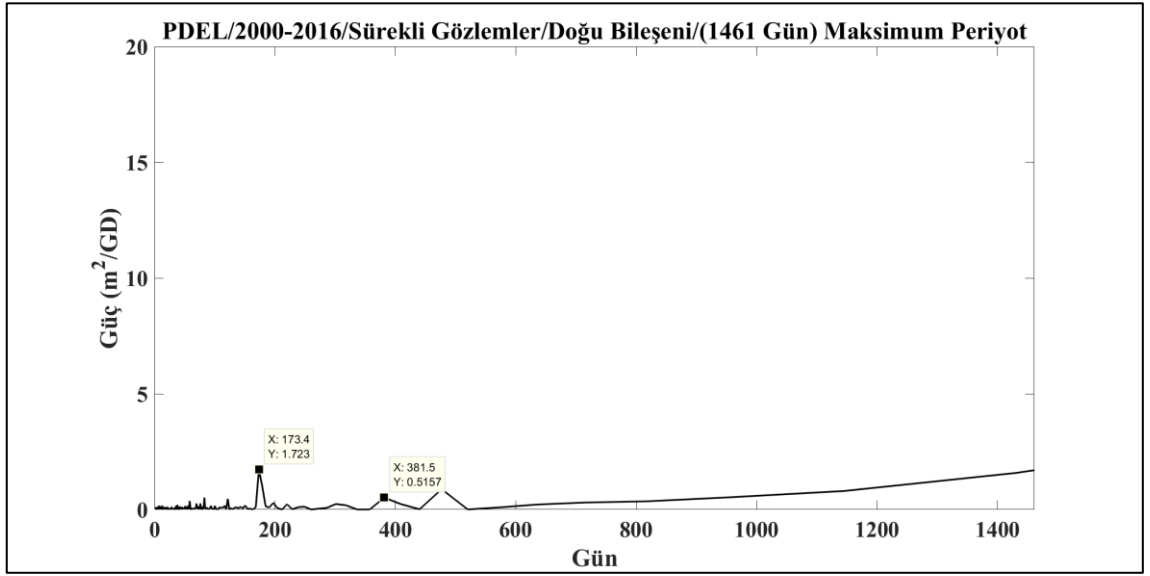
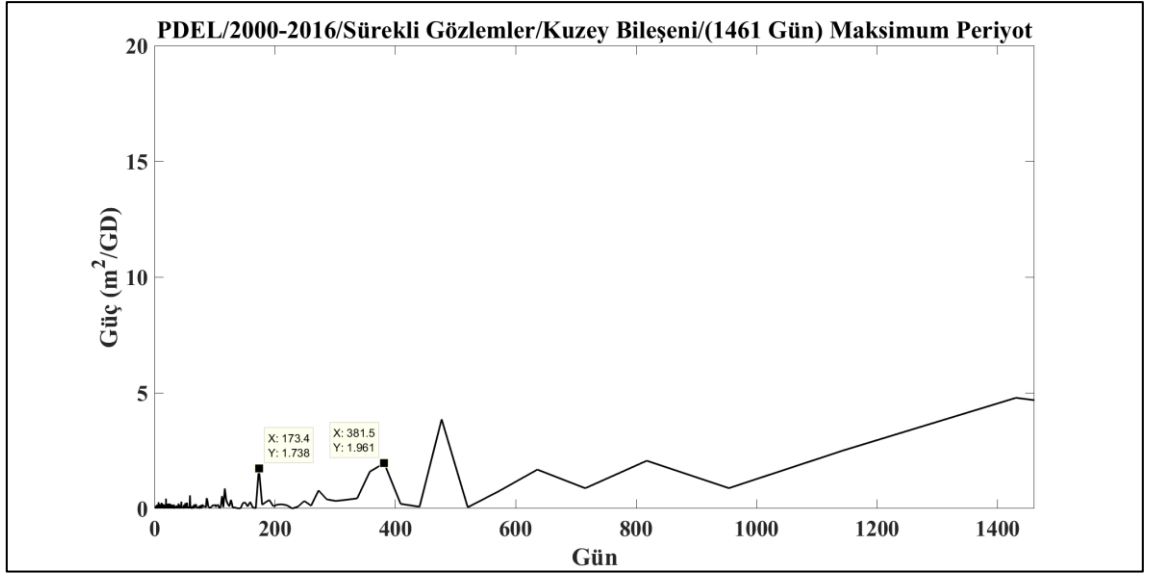


Şekil Ç. 17 ONSA istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.

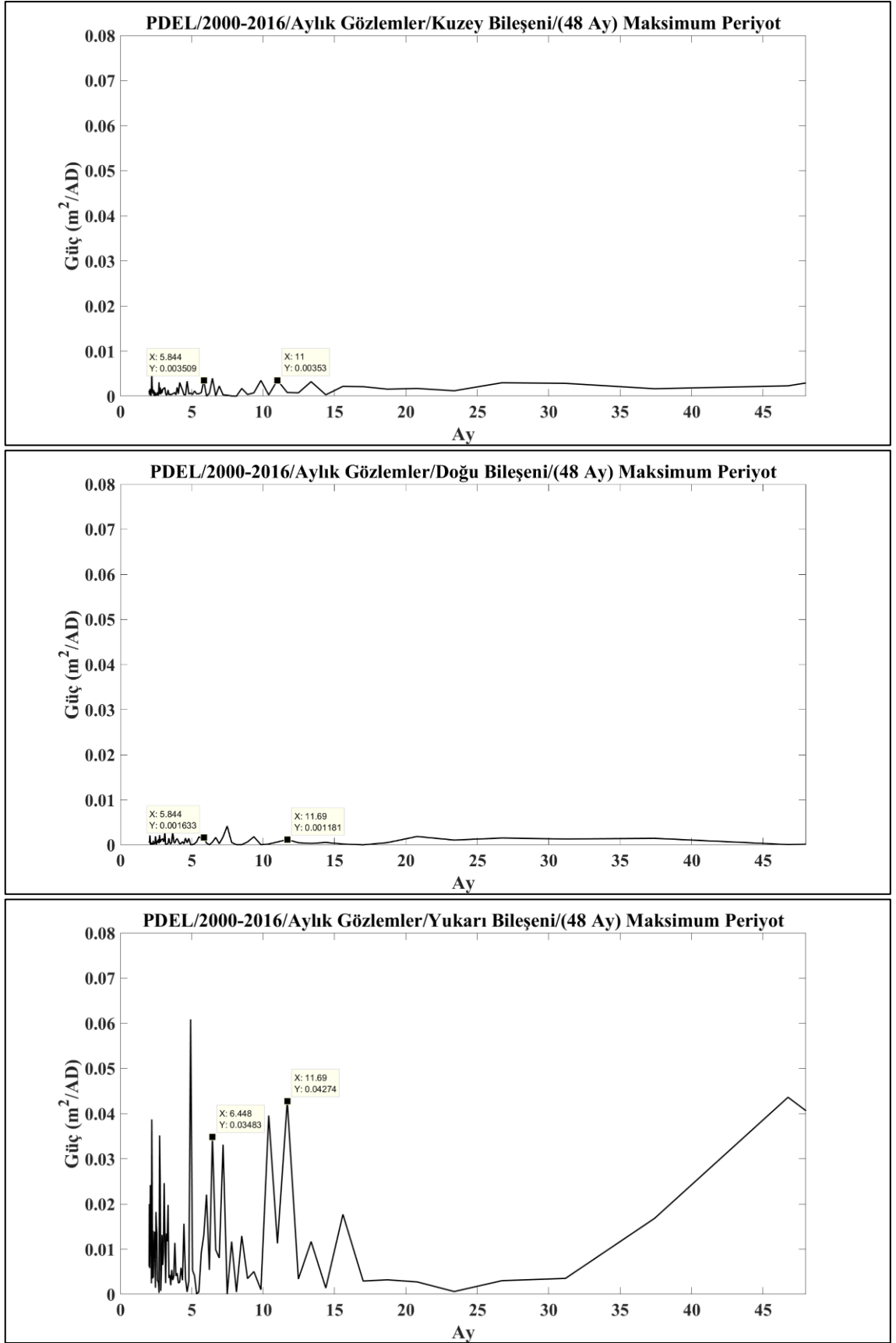


Şekil Ç. 18 ONSA istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.

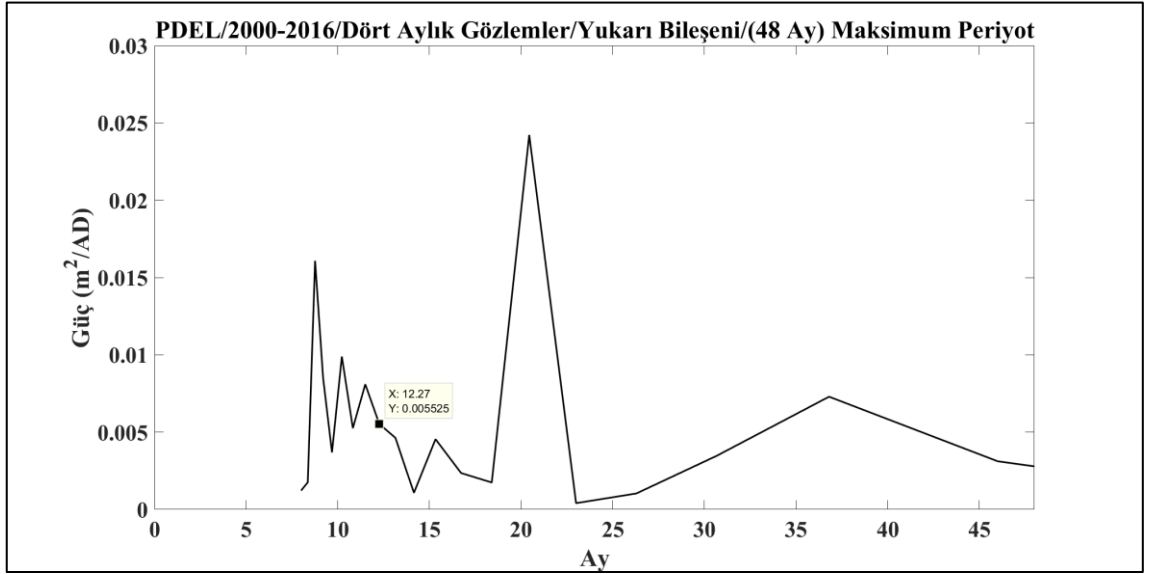
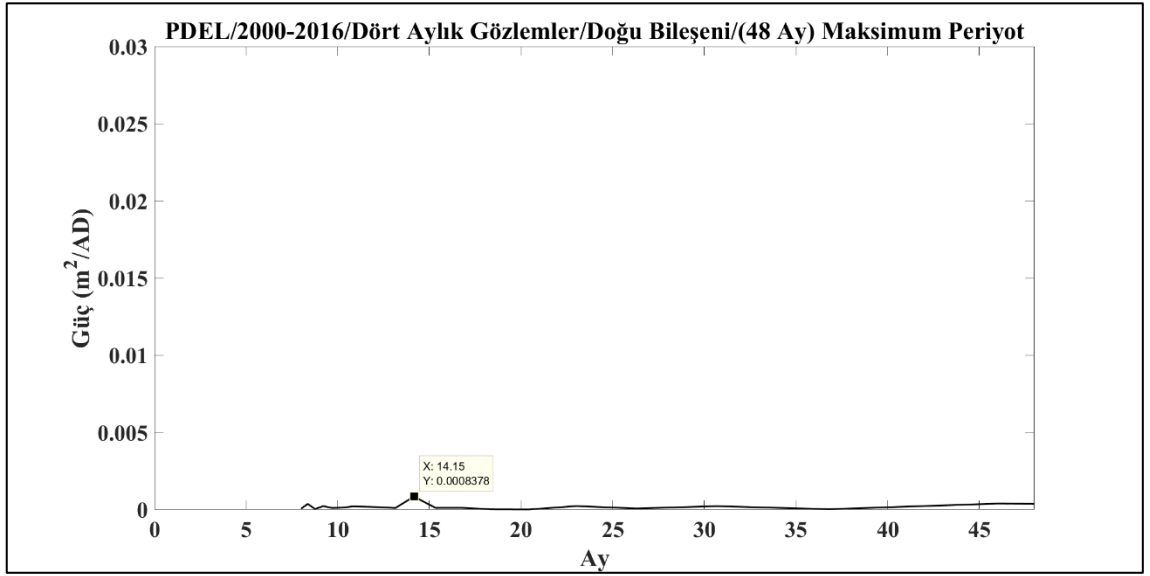
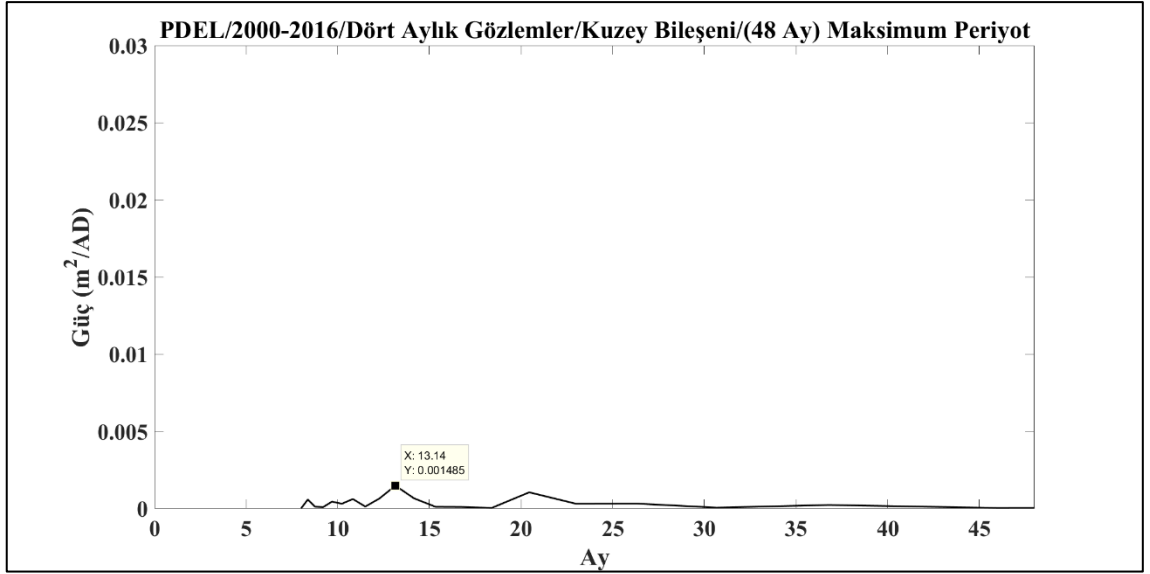




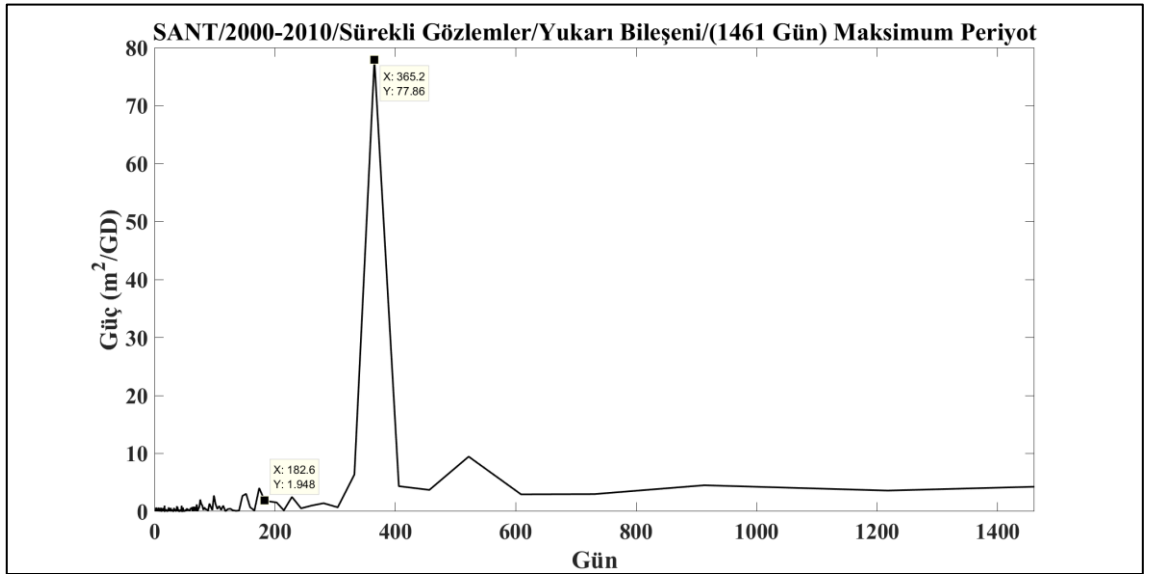
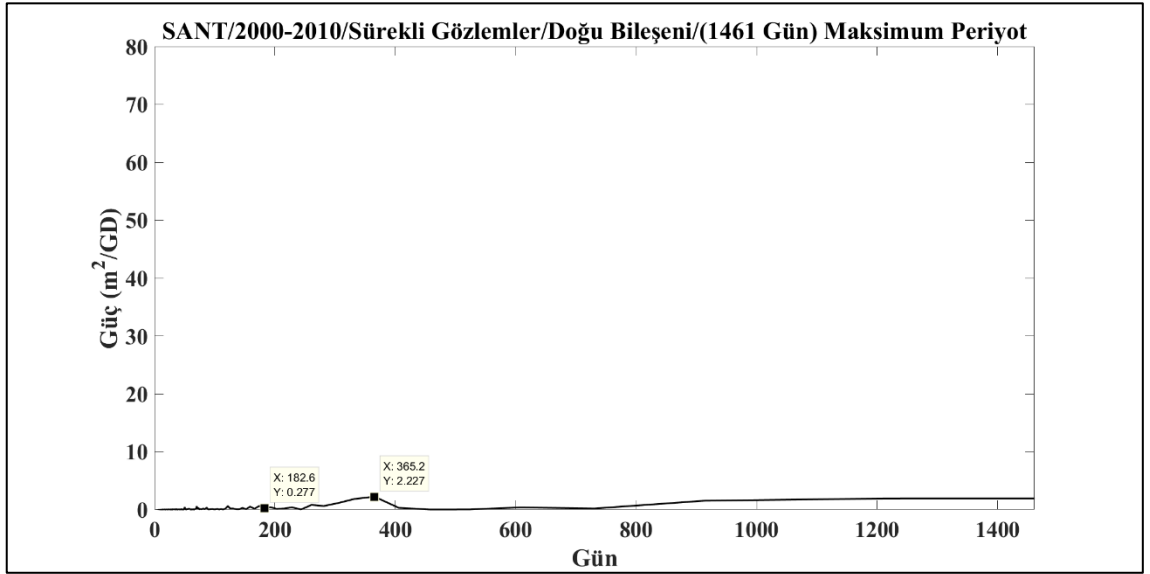
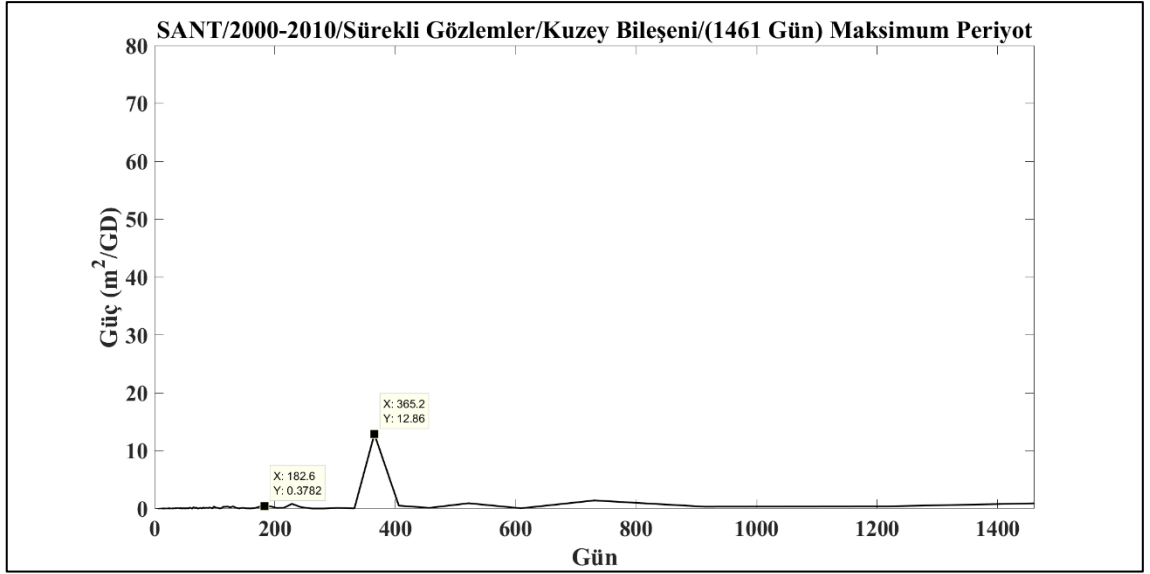
Şekil Ç. 19 PDEL istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.



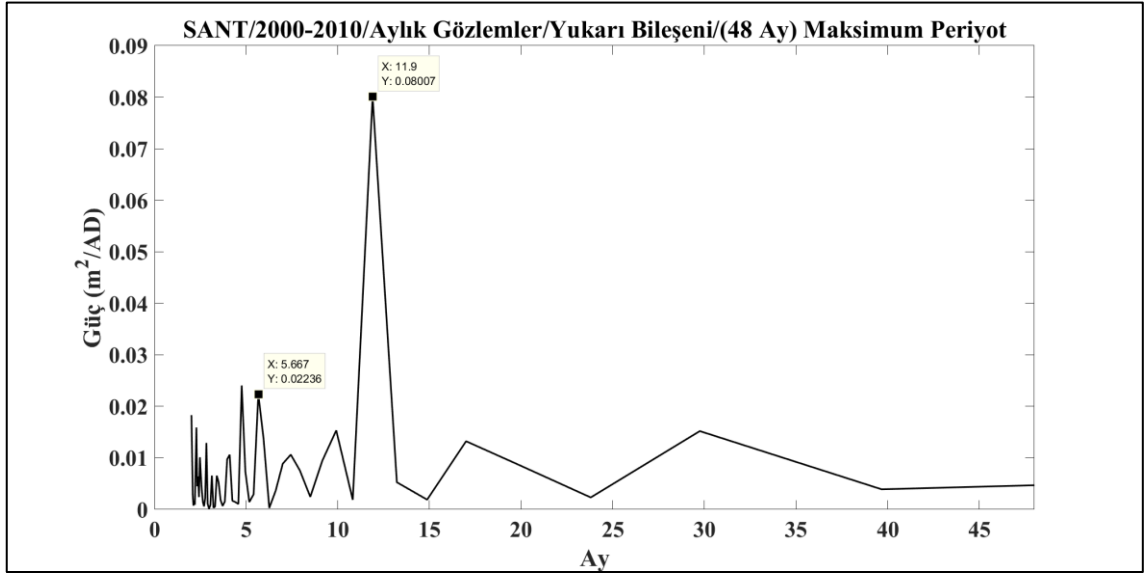
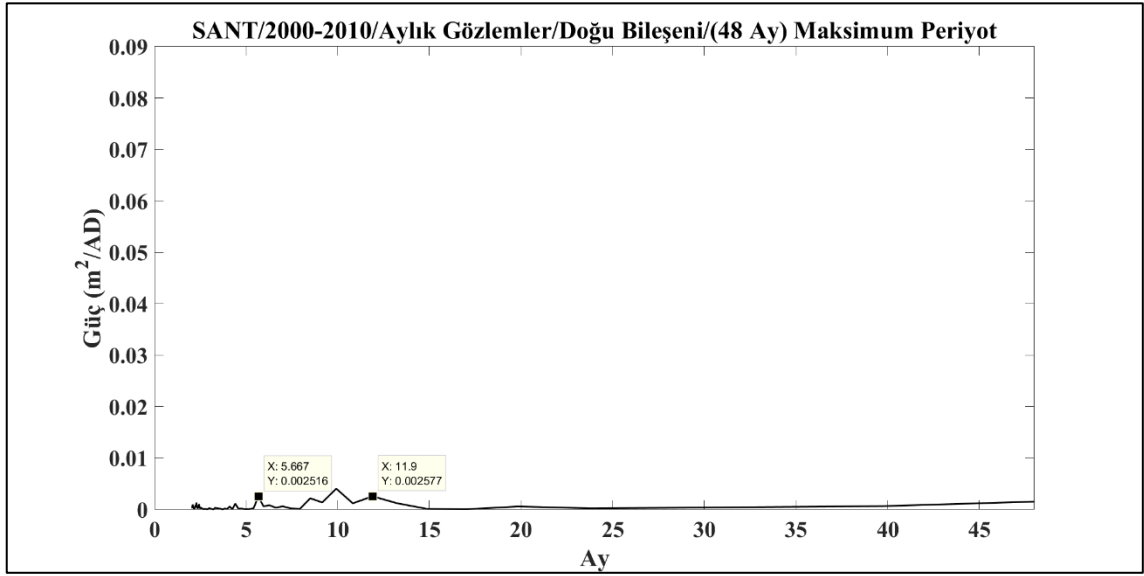
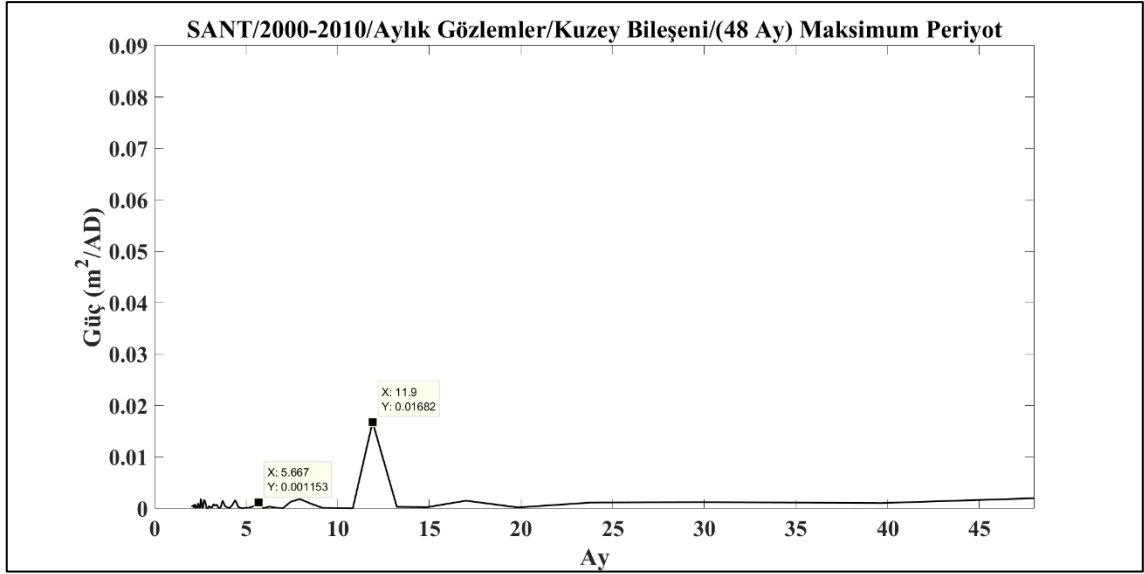
Şekil Ç. 20 PDEL istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



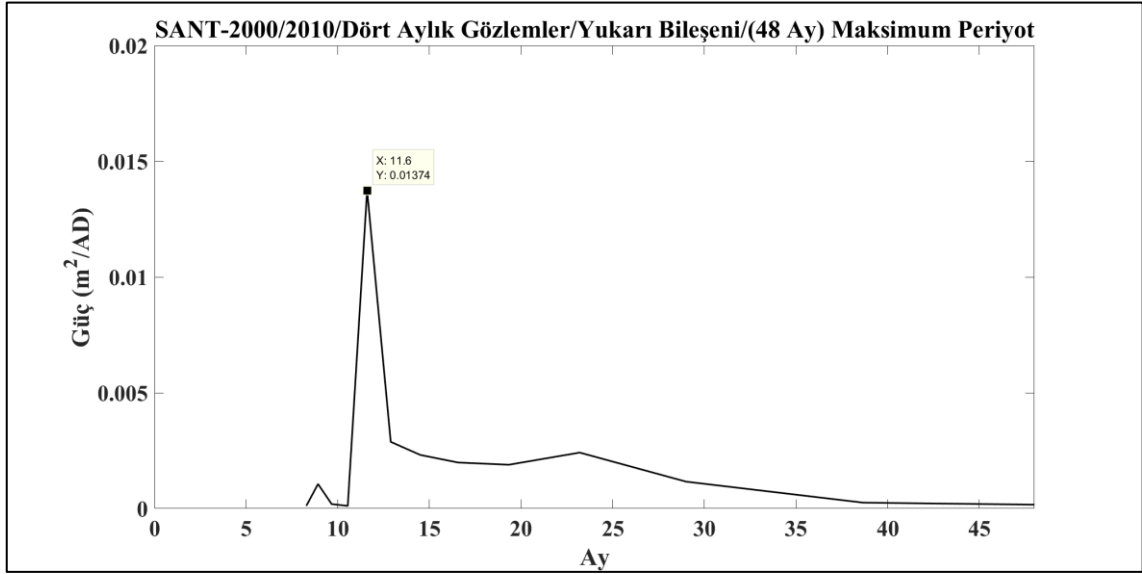
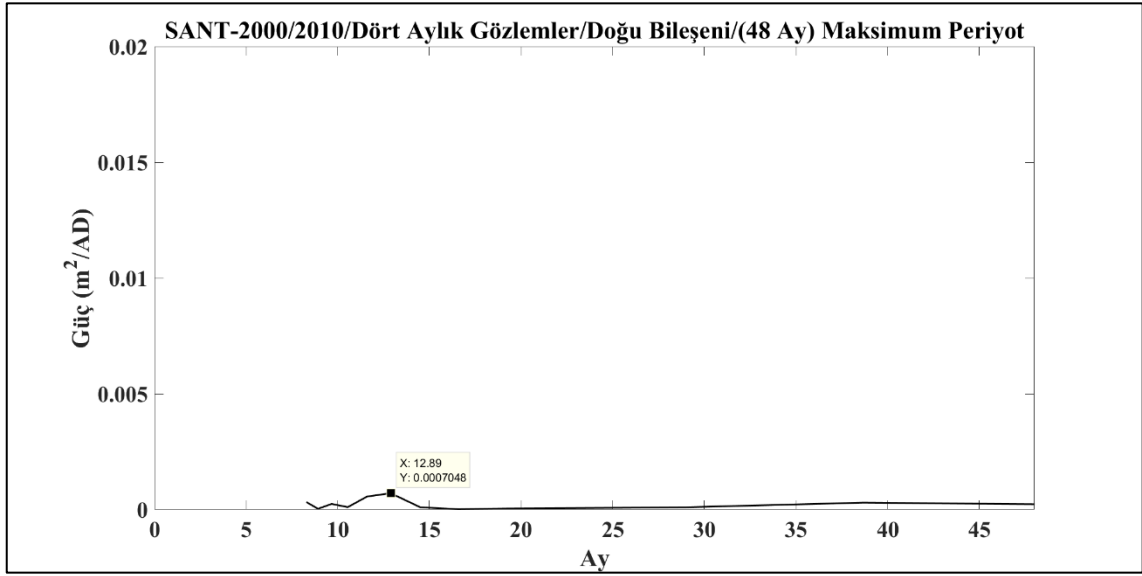
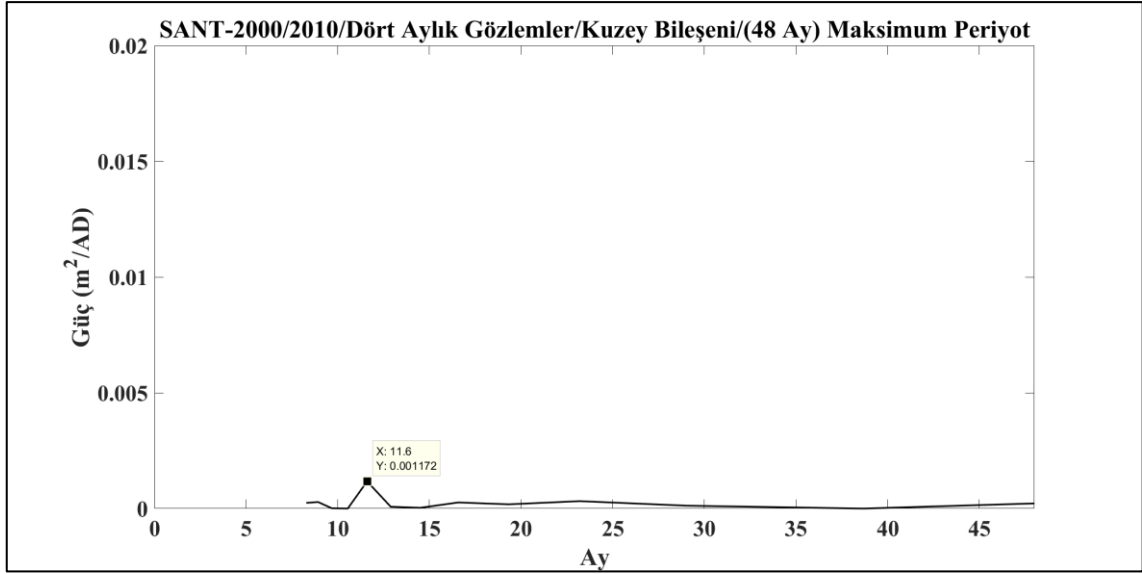
Şekil Ç. 21 PDEL istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



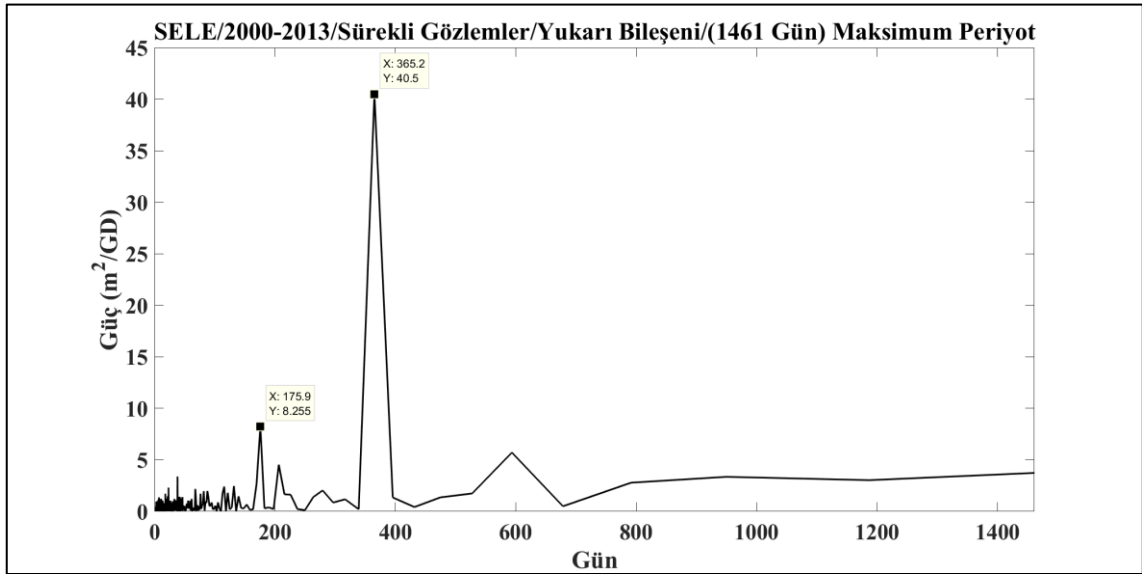
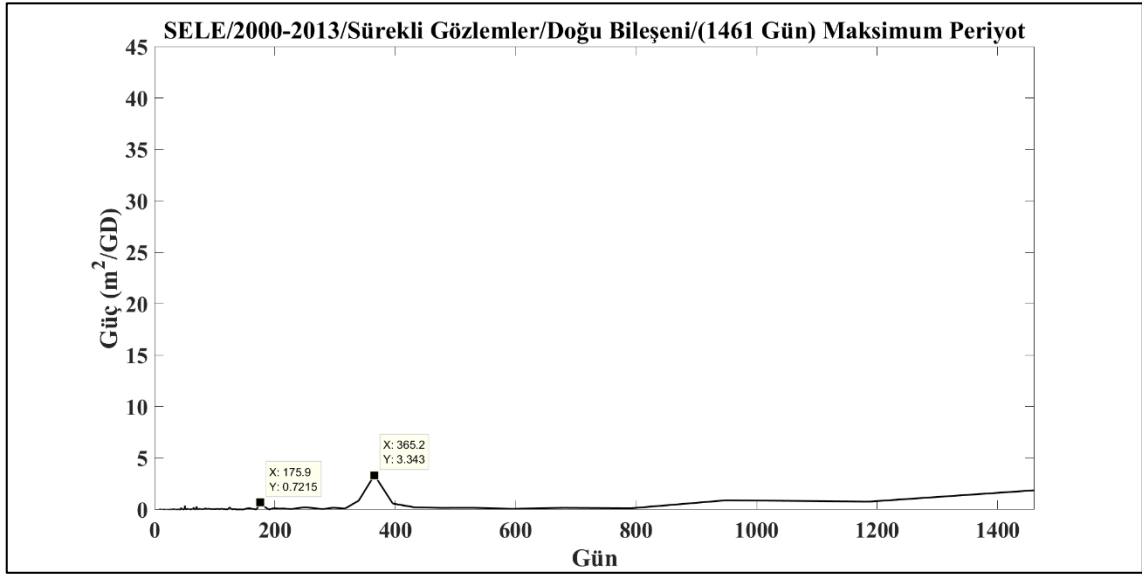
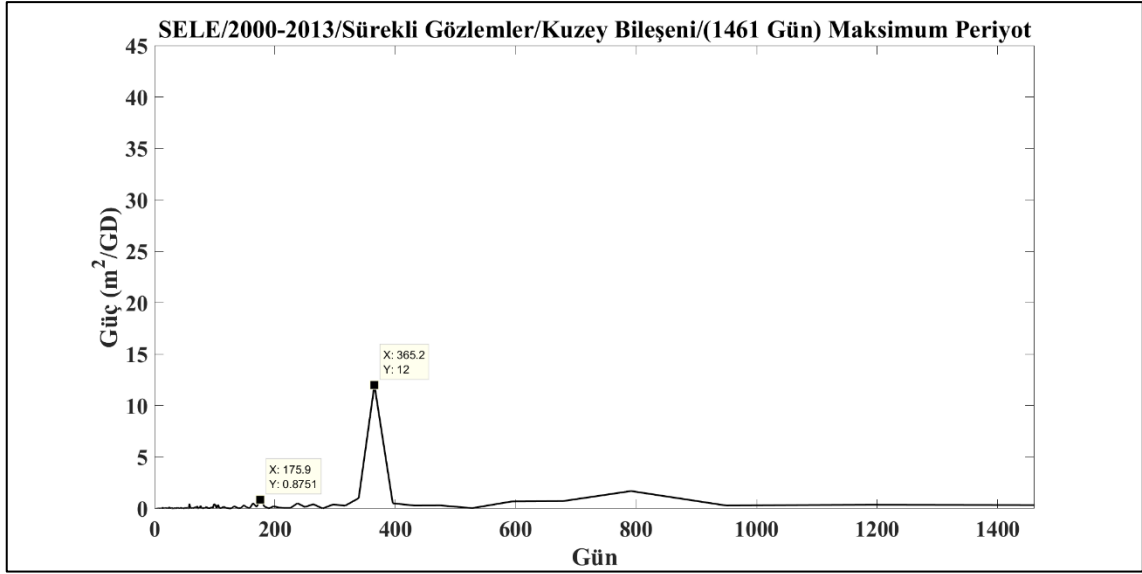
Şekil Ç. 22 SANT istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.



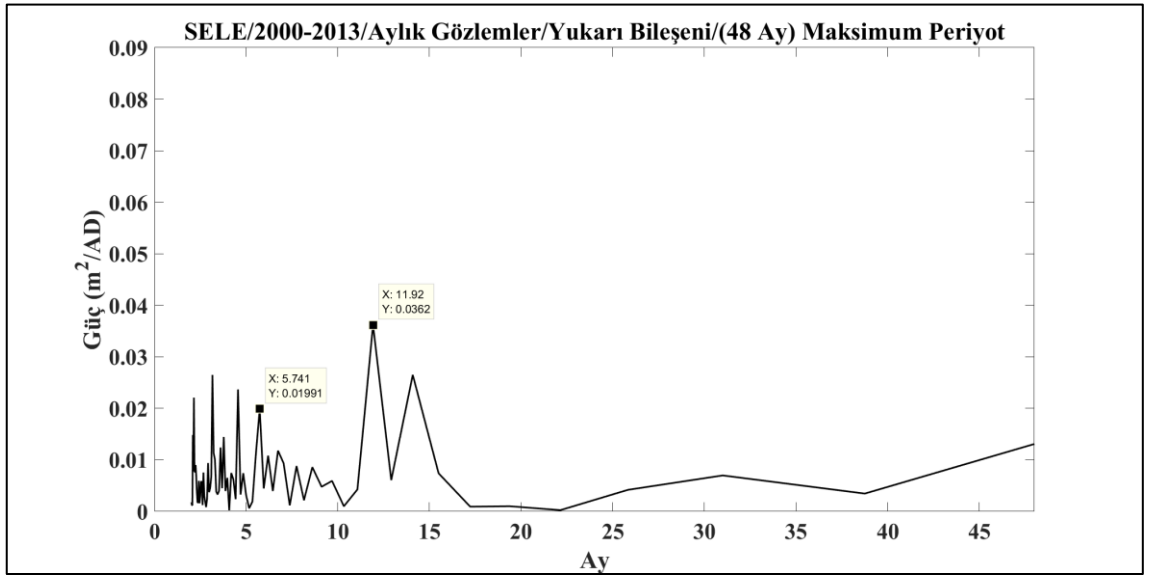
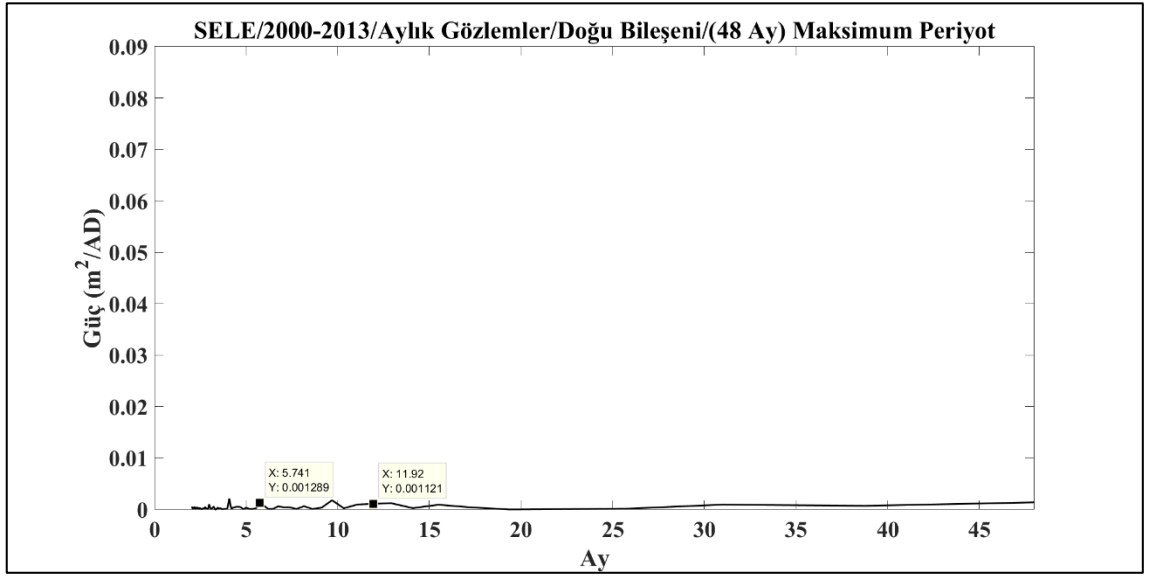
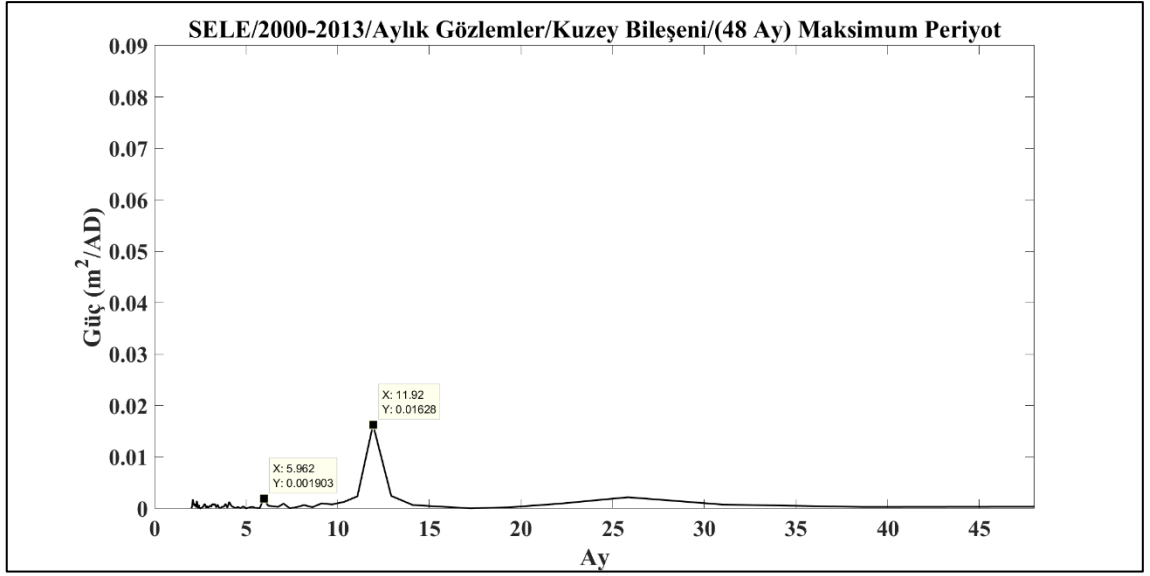
Şekil Ç. 23 SANT istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



Şekil Ç. 24 SANT istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.

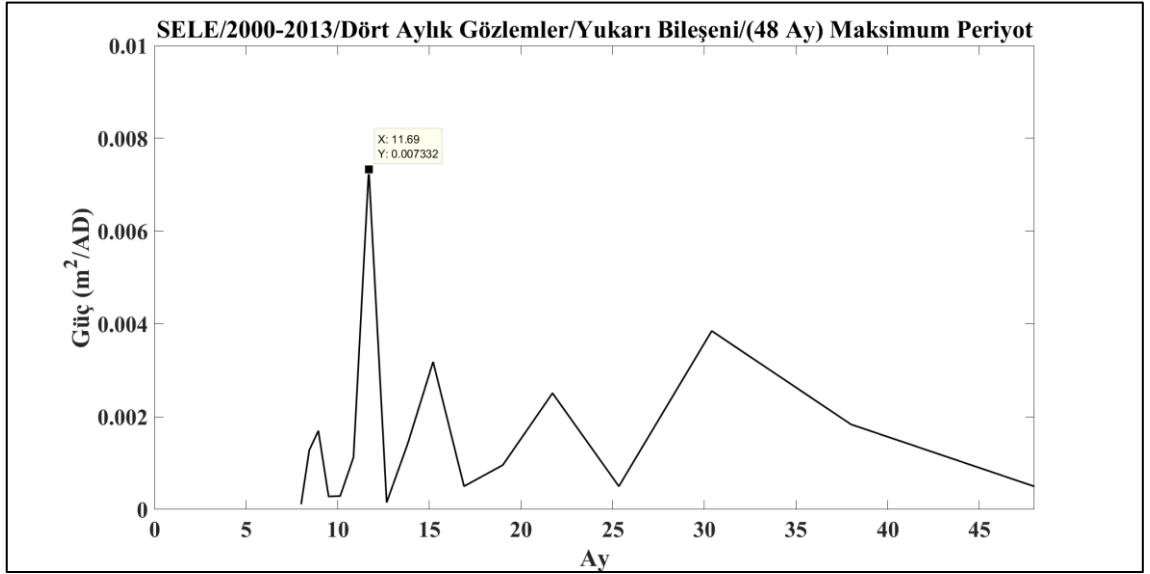
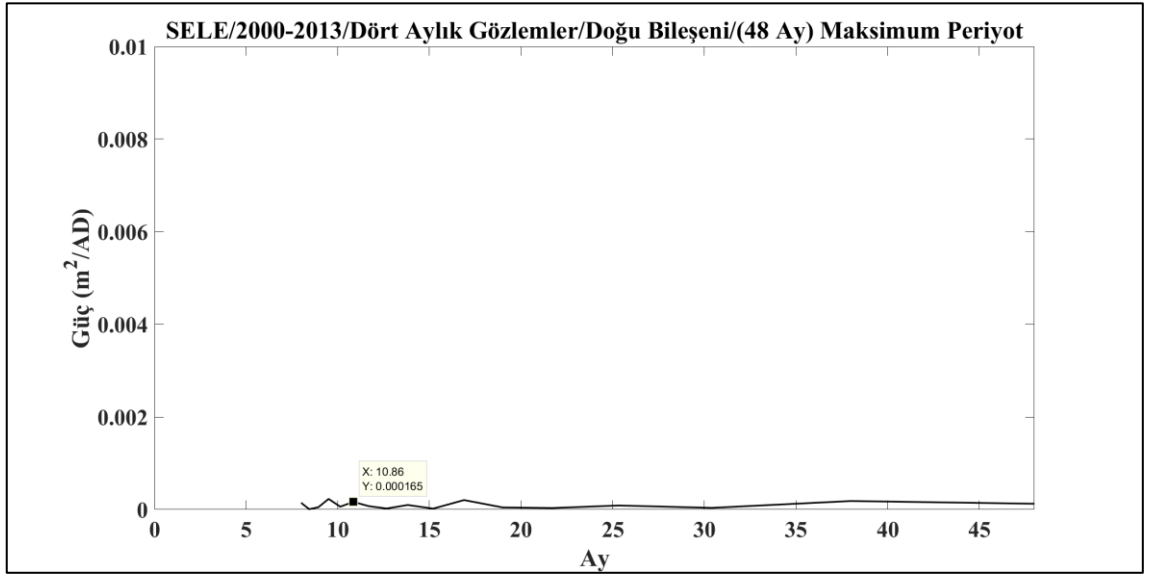
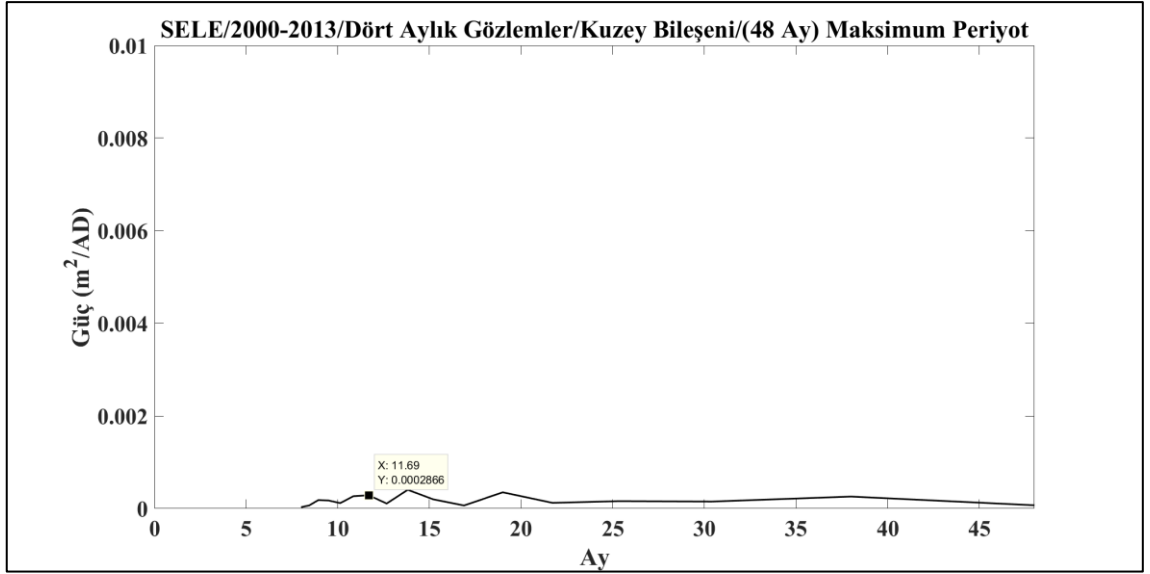


Şekil Ç. 25 SELE istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.

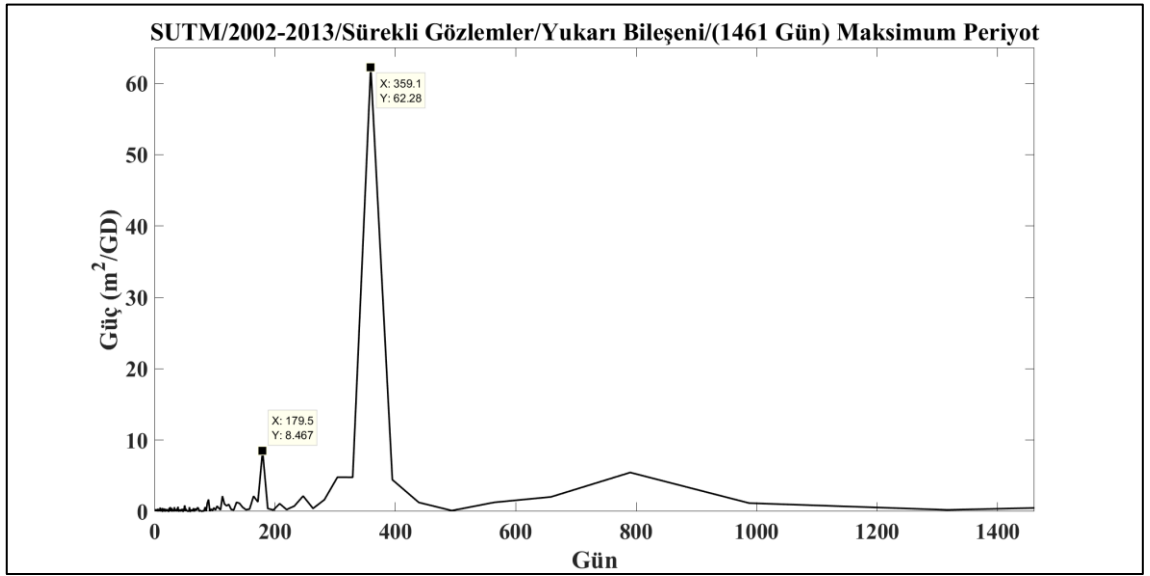
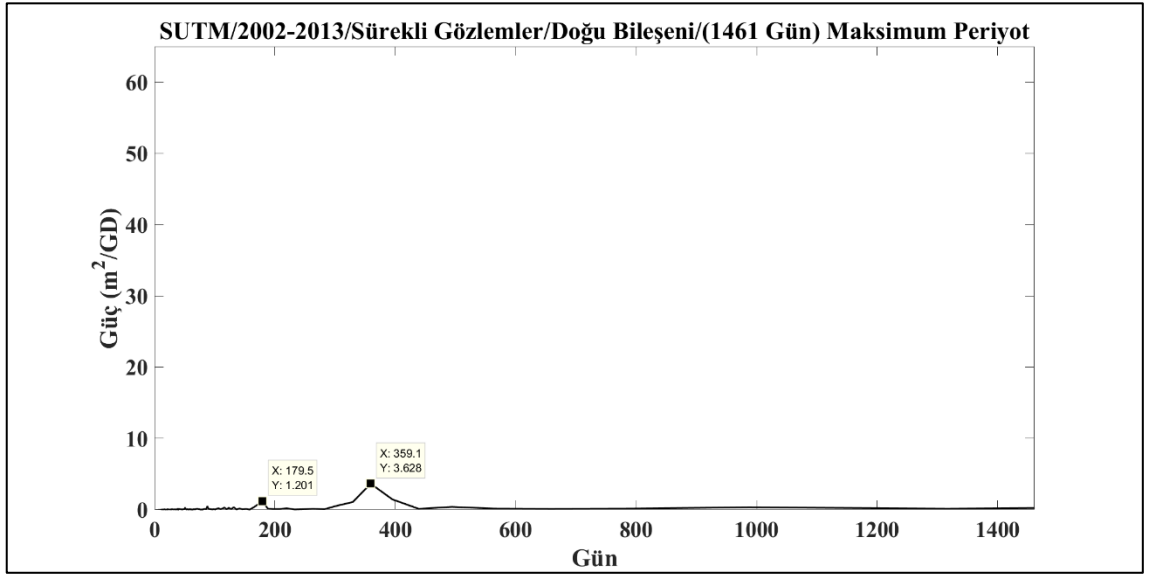
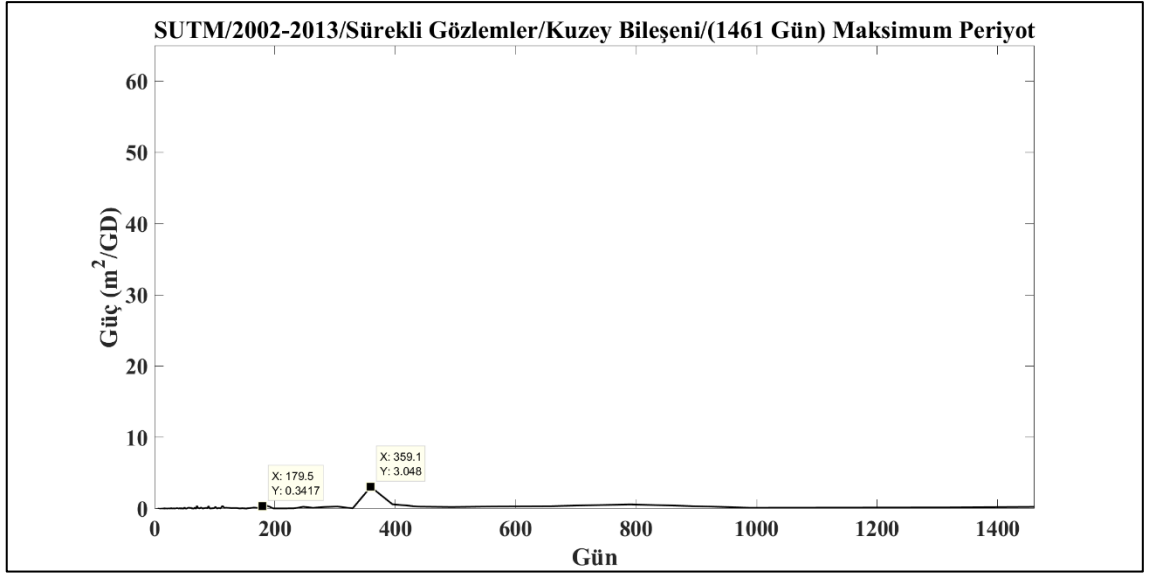


Şekil Ç. 26 SELE istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.

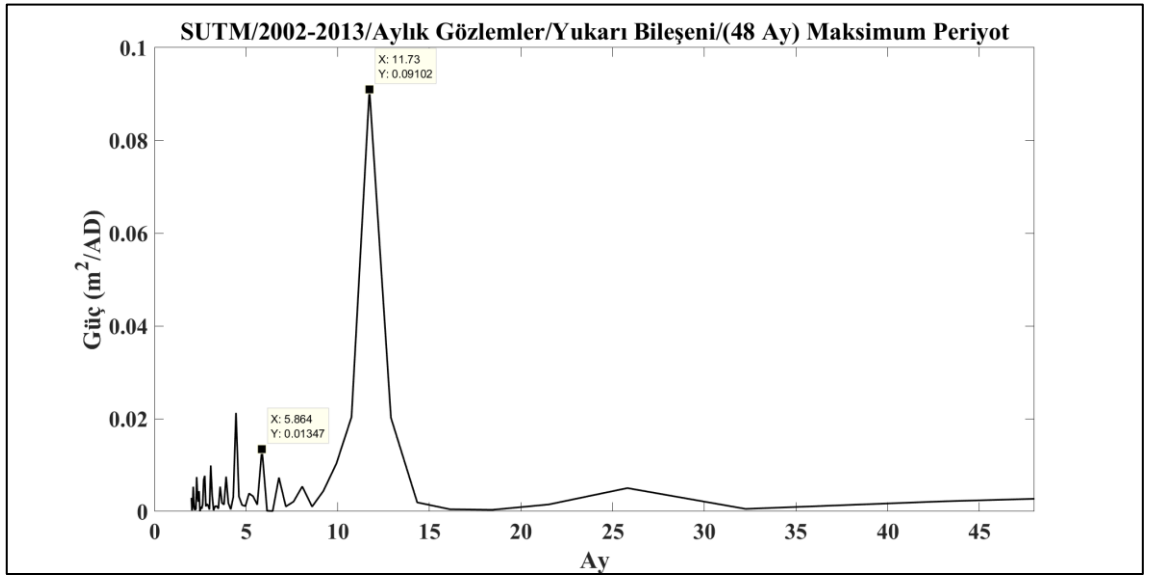
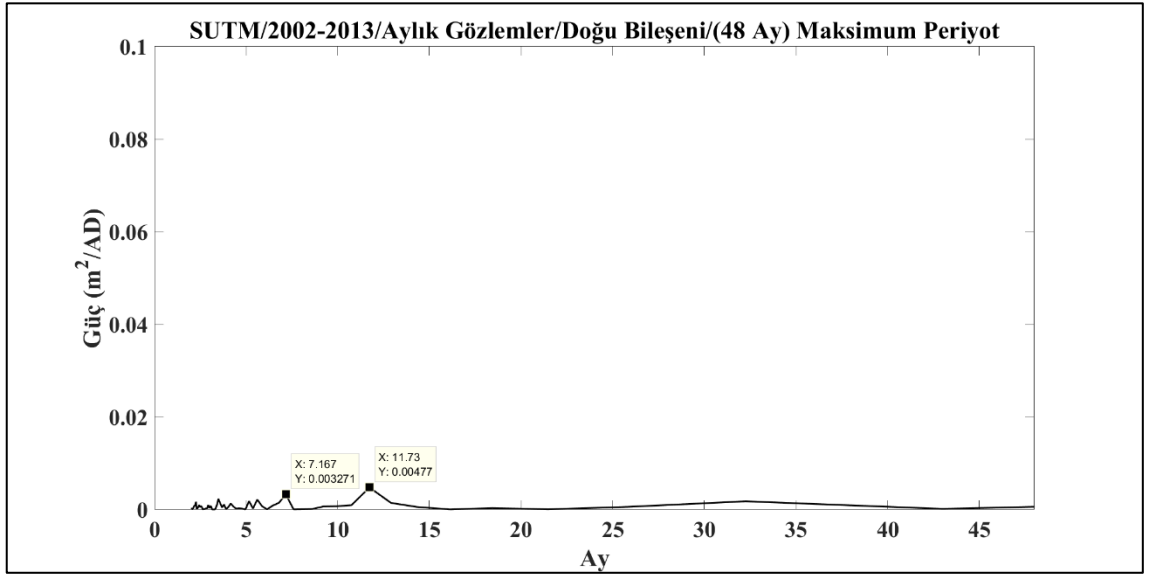
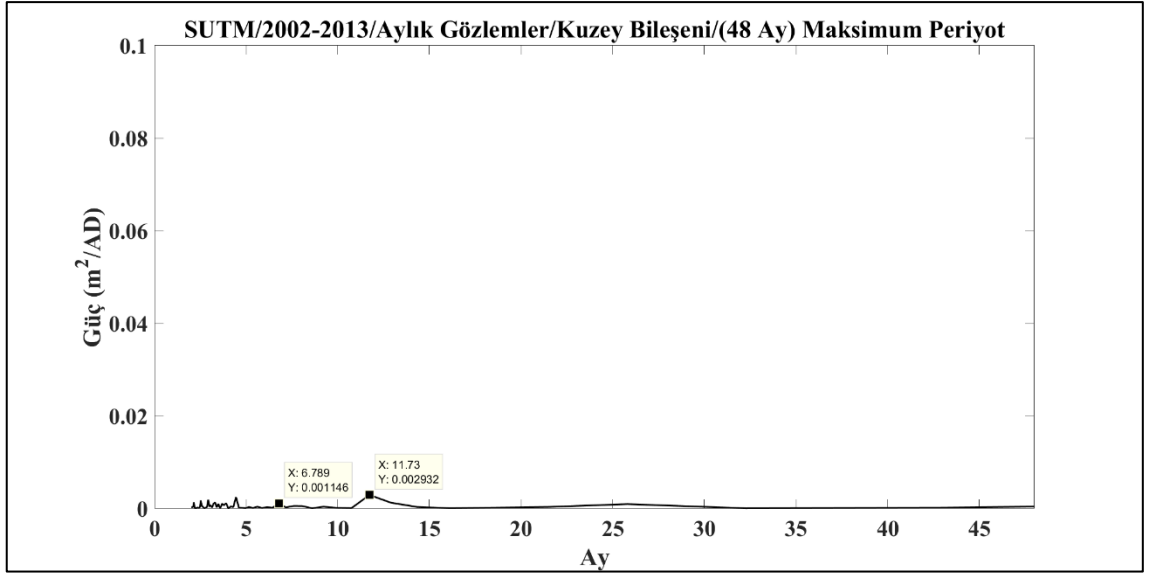




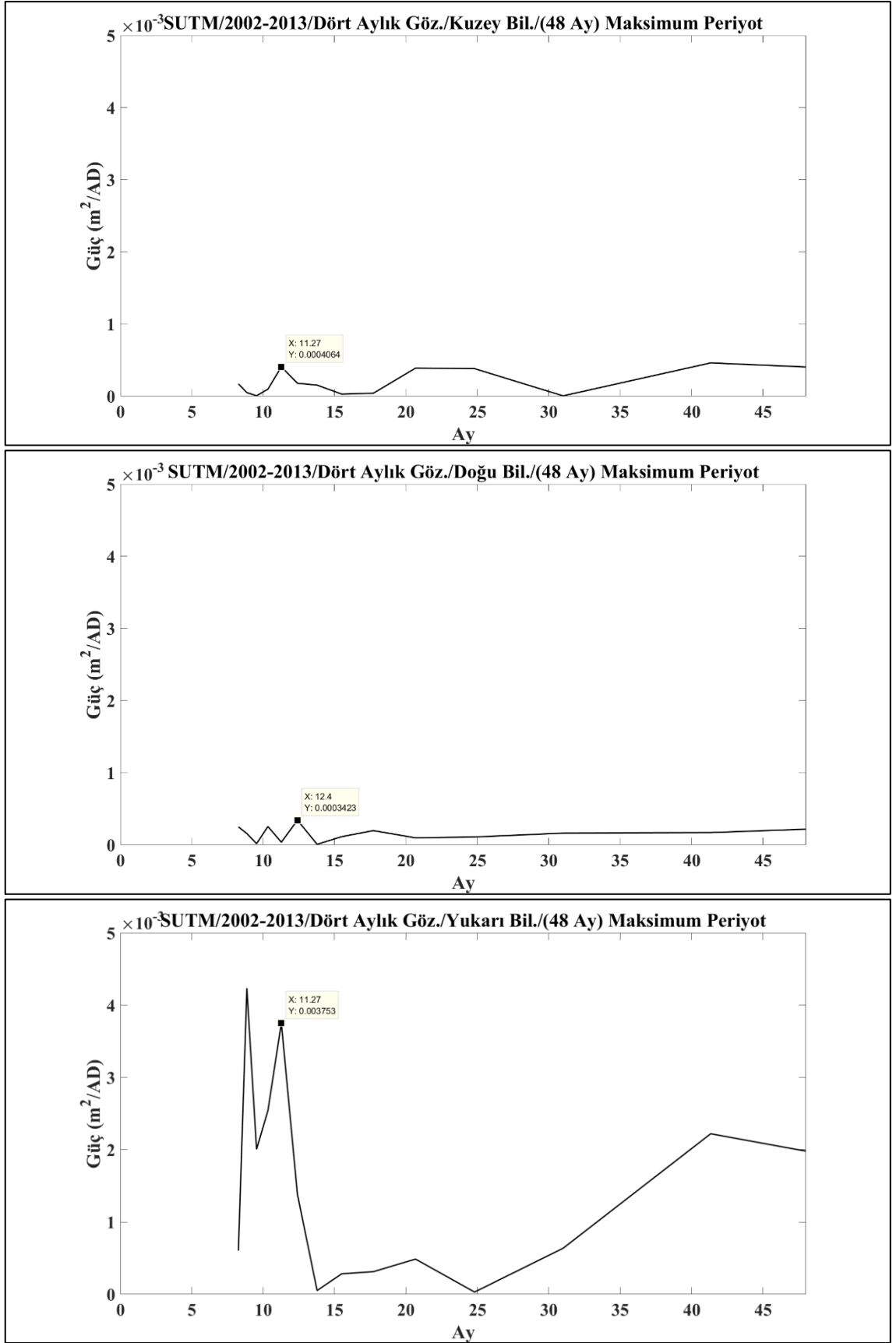
Şekil Ç. 27 SELE istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



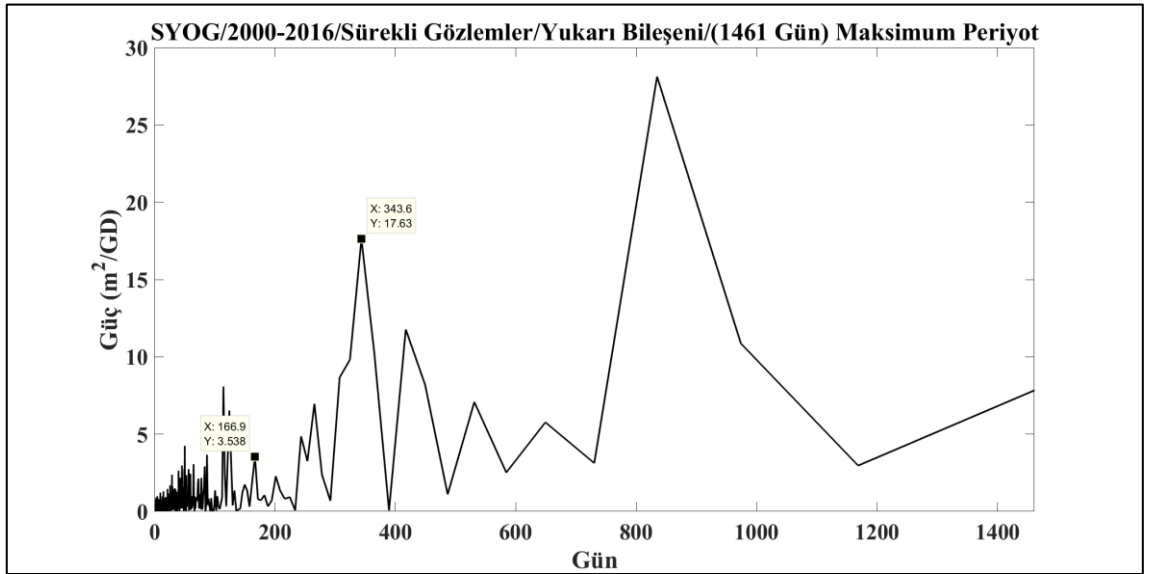
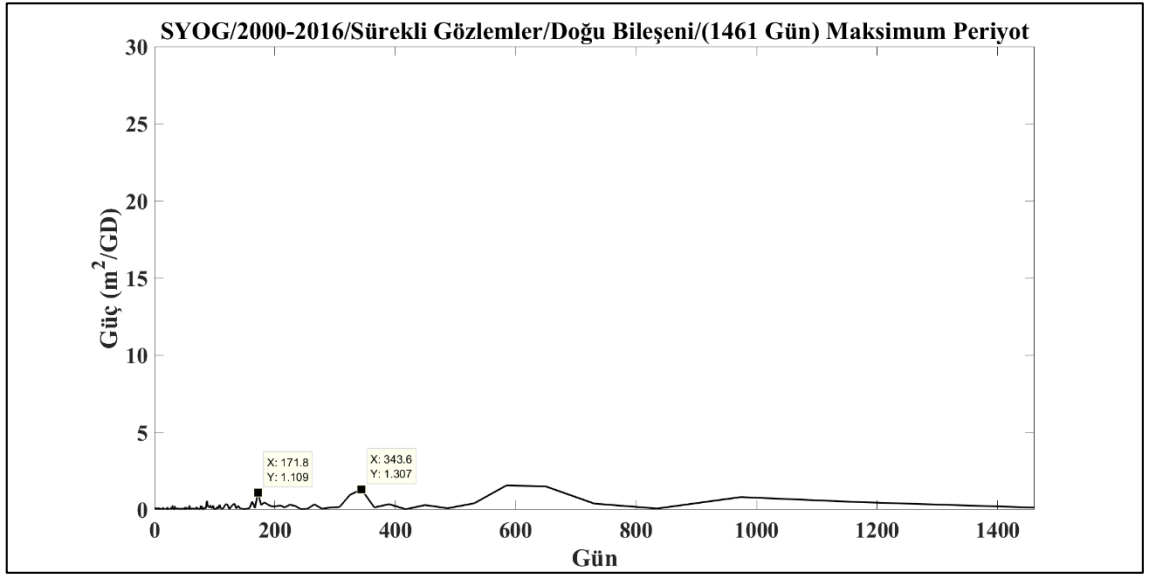
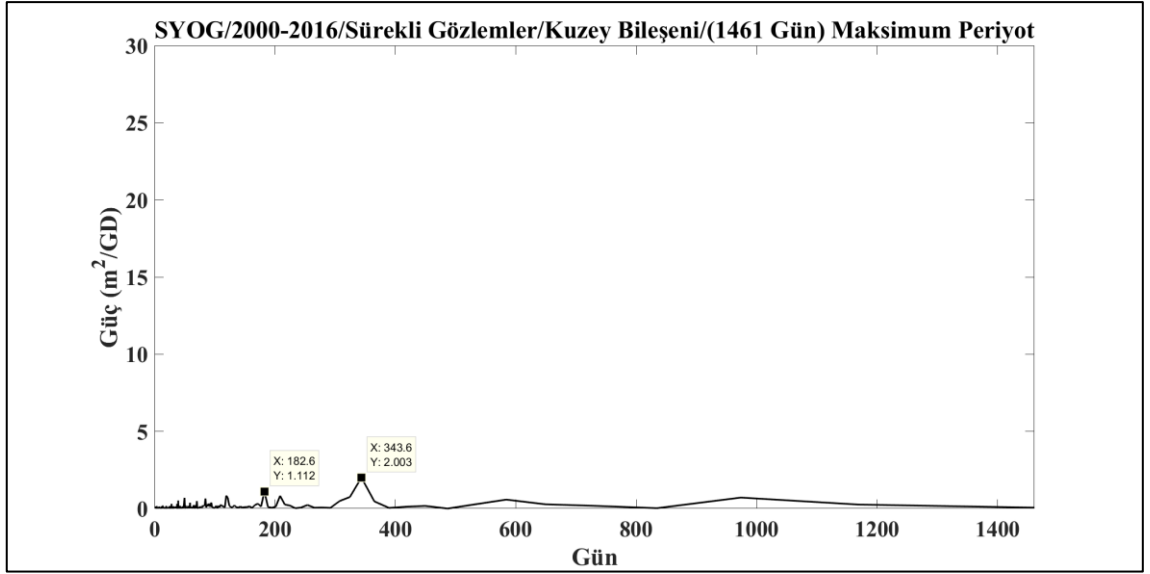
Şekil Ç. 28 SUTM istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.



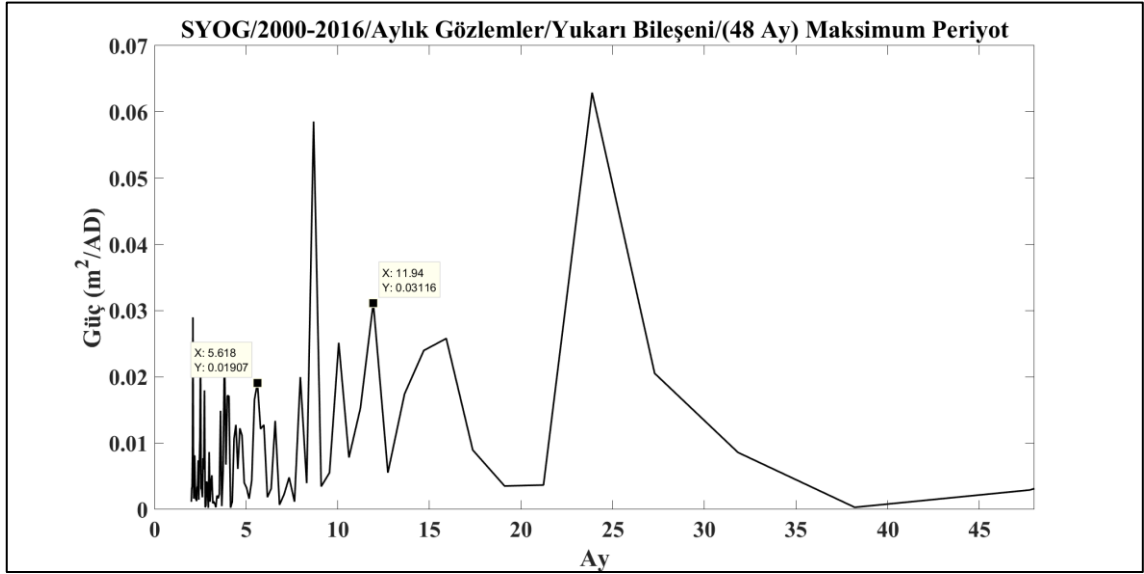
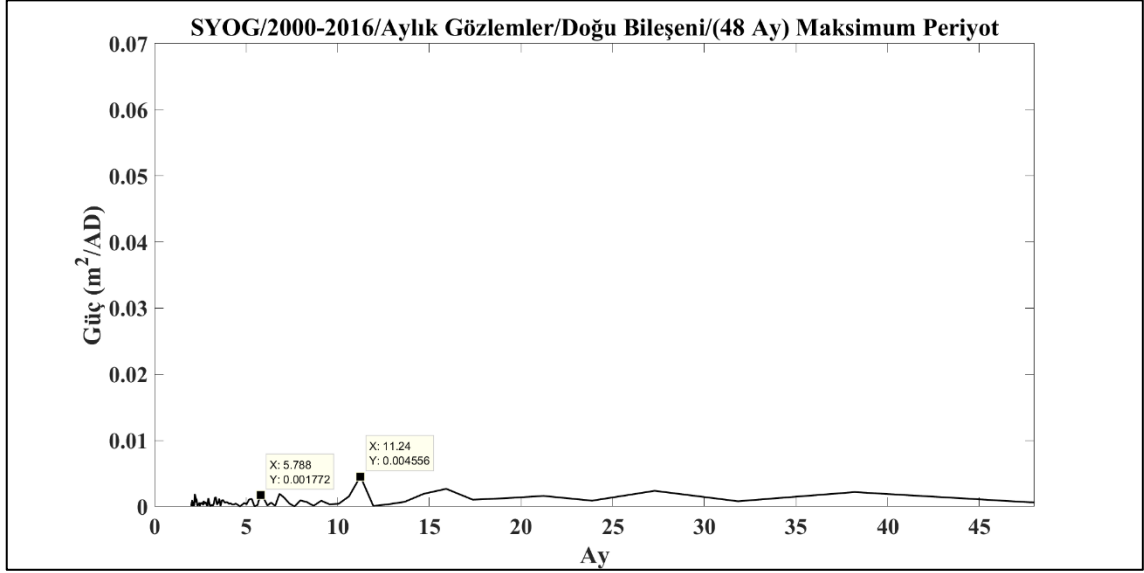
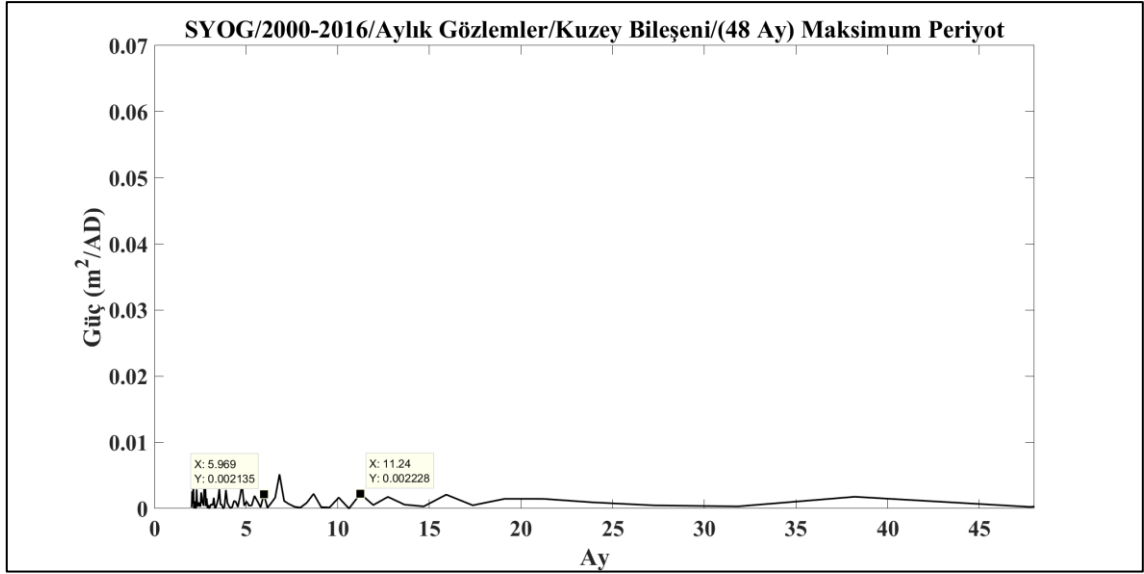
Şekil Ç. 29 SUTM istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



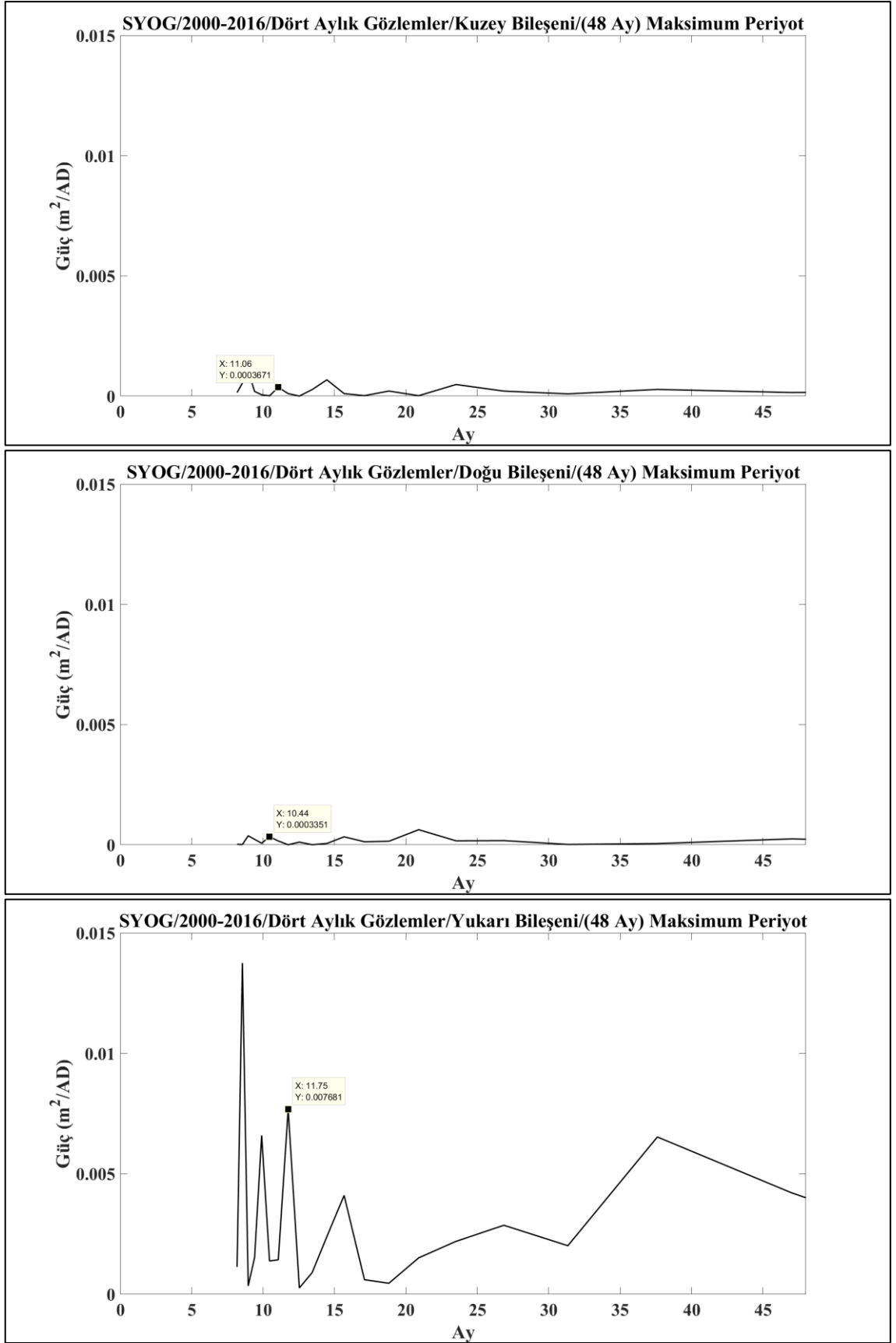
Şekil Ç. 30 SUTM istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



Şekil Ç. 31 SYOG istasyonu sürekli gözlemler için maksimum periyotlar.



Şekil Ç. 32 SYOG istasyonu aylık gözlemler için maksimum periyotlar.



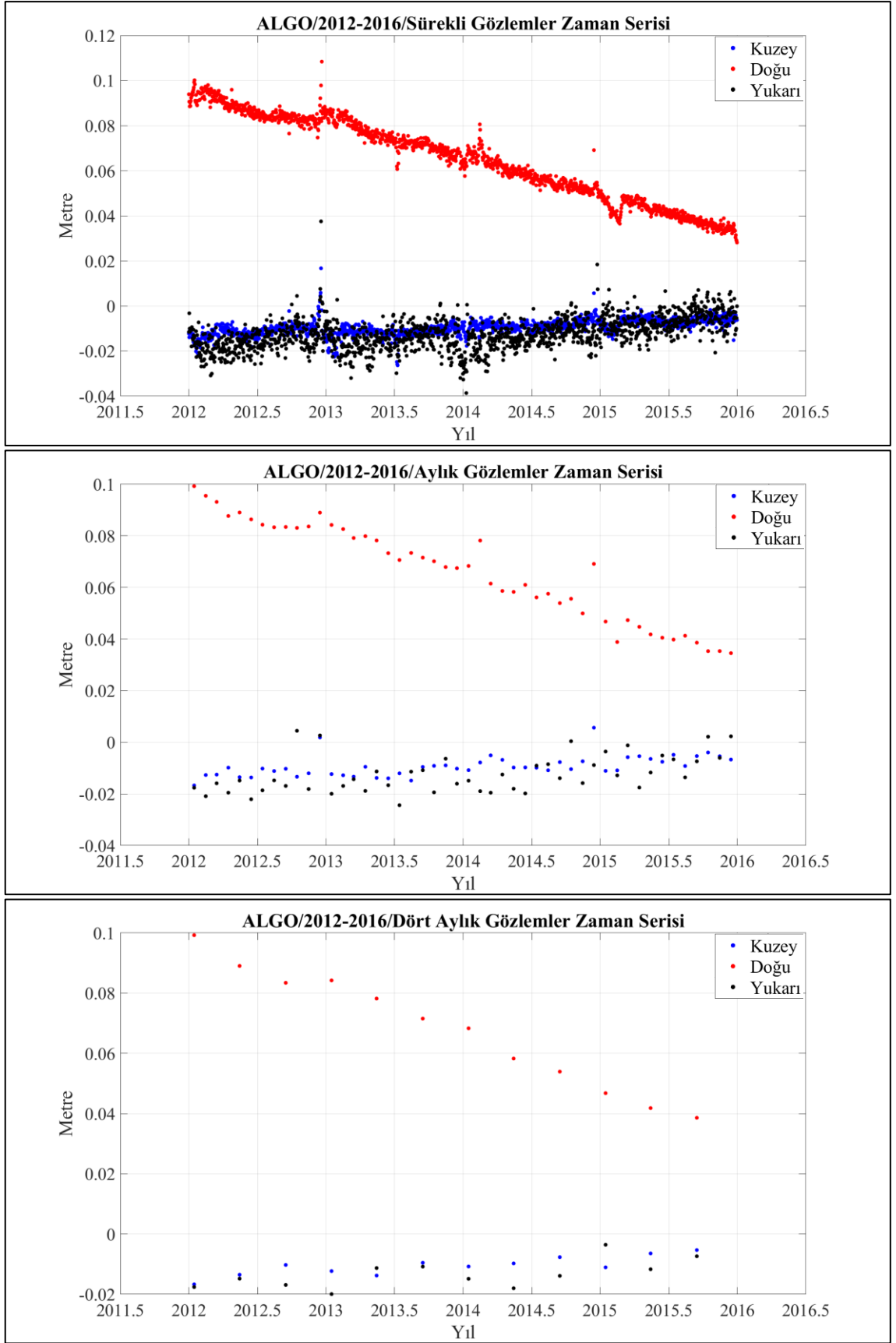
Şekil Ç. 33 SYOG istasyonu dört aylık gözlemler için maksimum periyotlar.

### 40 Adet İstasyon için 4 Yıllık Zaman Serileri

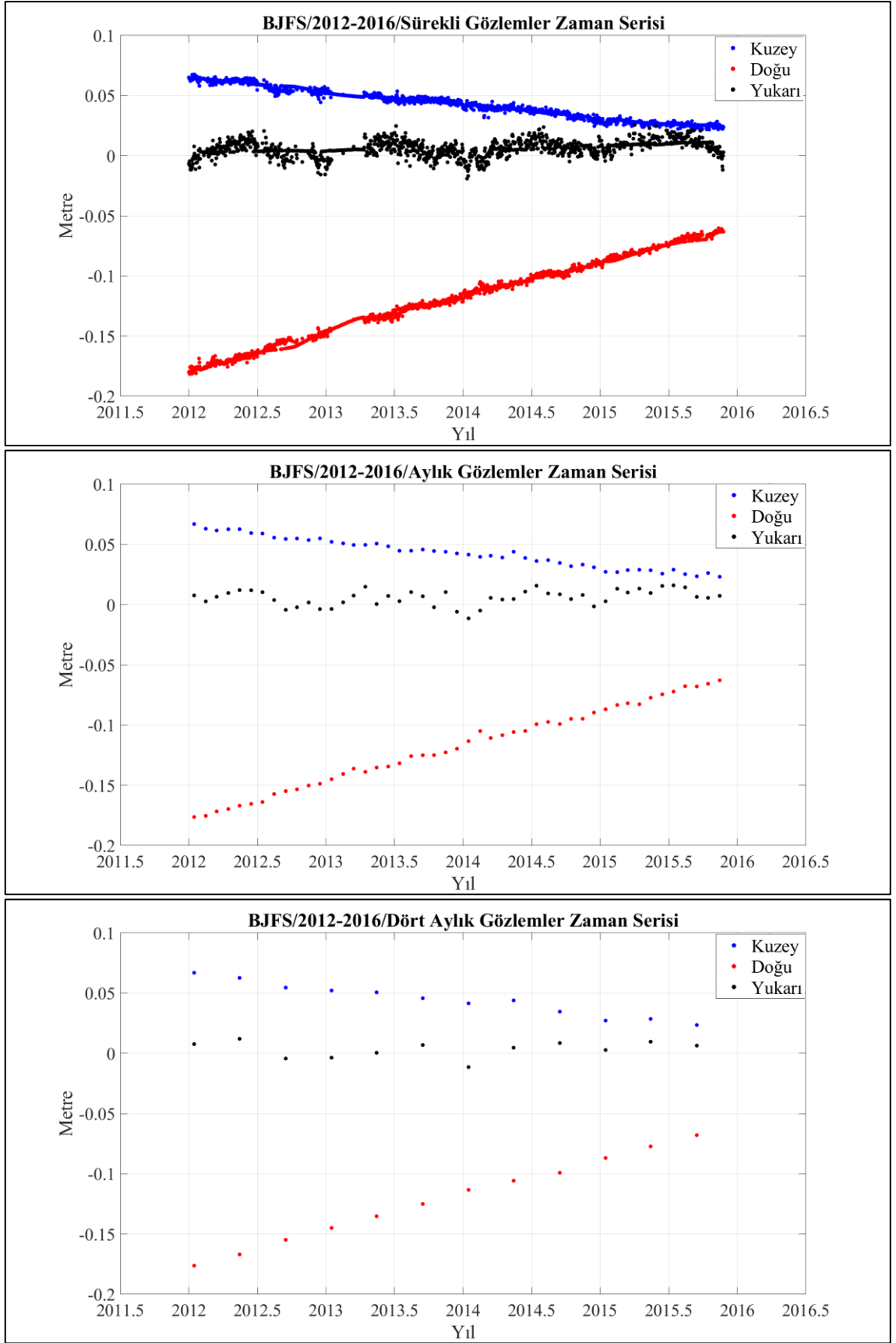
İstasyon Listesi;

ALGO, BJFS, GOLD, KERG, NNOR, ONSA, PDEL, SANT, SELE, SUTM, SYOG, FAIR, TIXI, NKGL, YAKT, NRIL, NYAL, MAL2, YELL, BAKO, ALIC, SYDN, GRAZ, ARTU, POHN, SFER, BOGT, UFPR, NIST, MORP, HYDE, KIRO, BREW, IQAL, SALU, REYK, THU2, KIT3, PETS, ANKR.

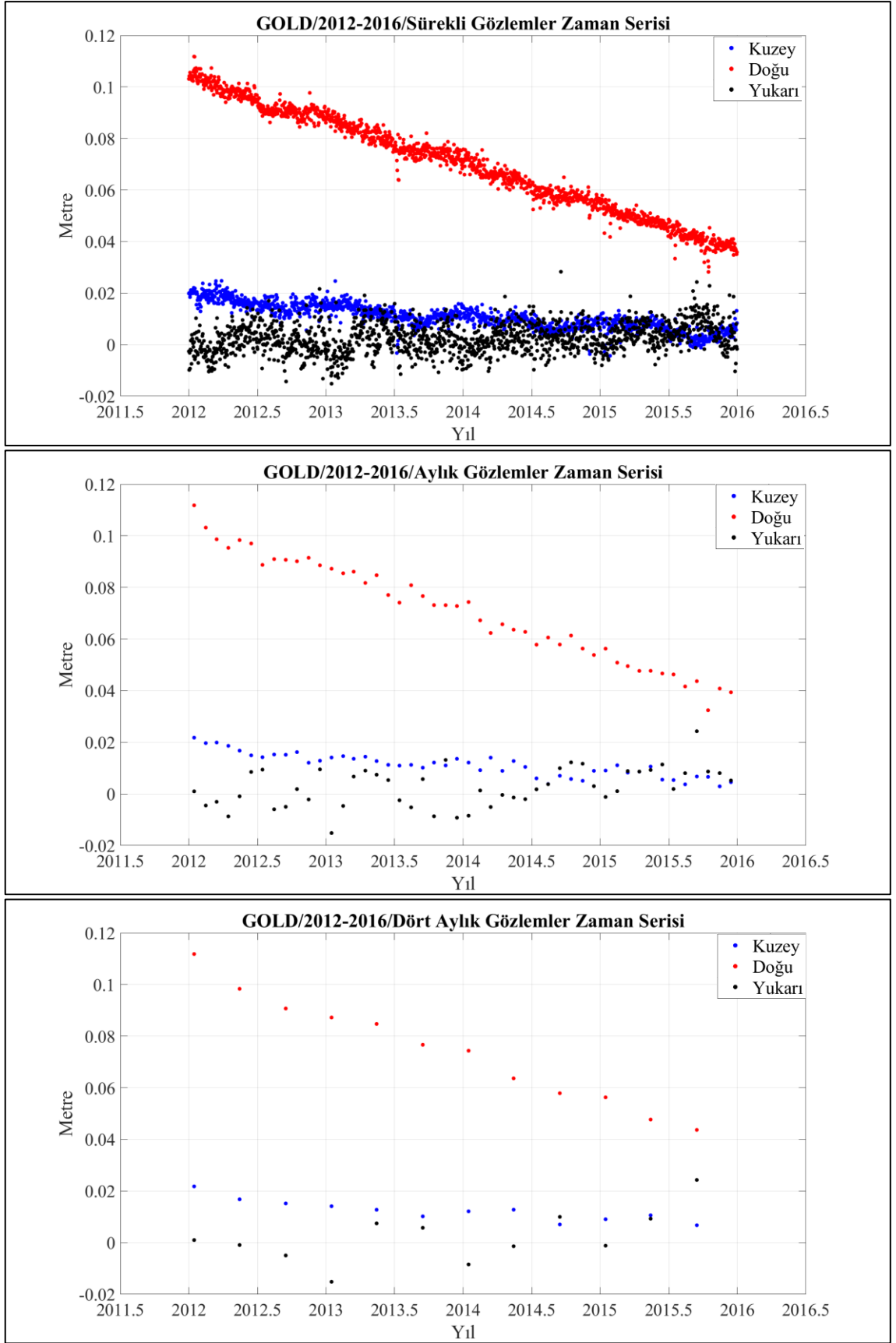




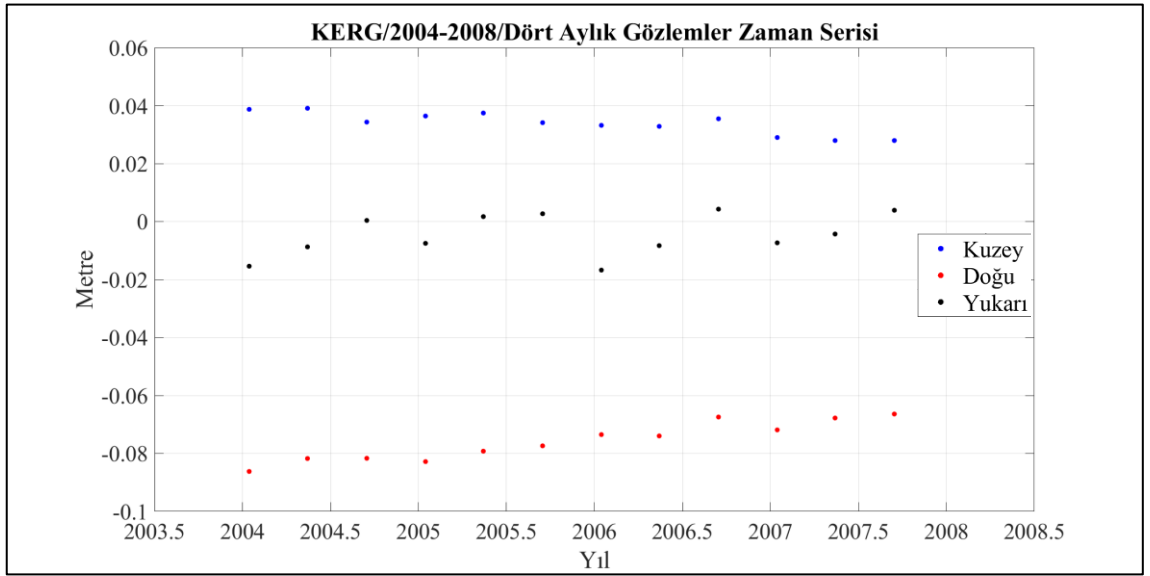
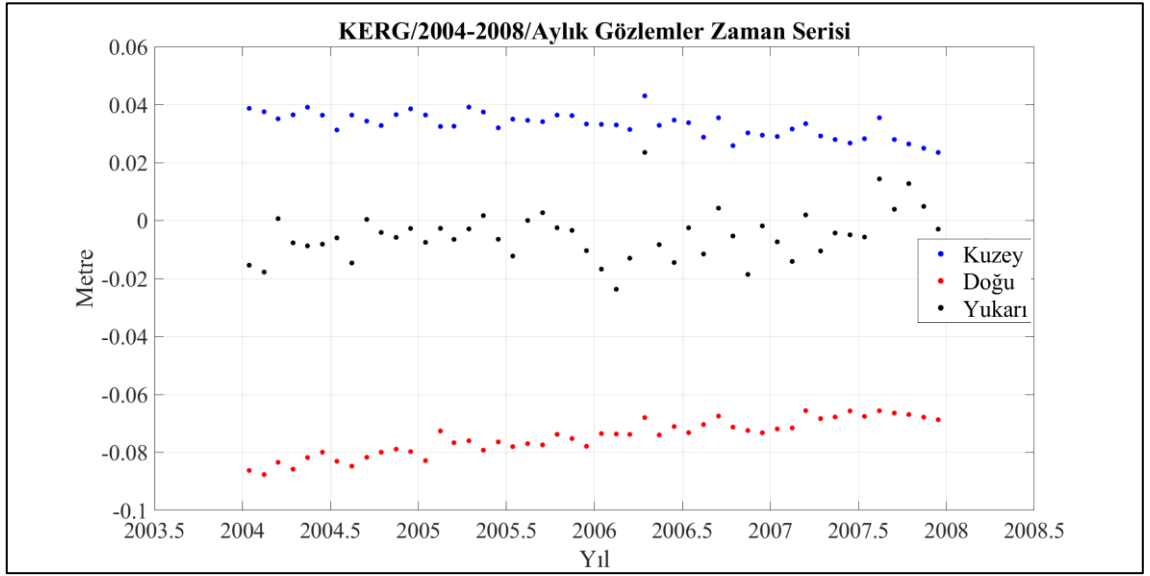
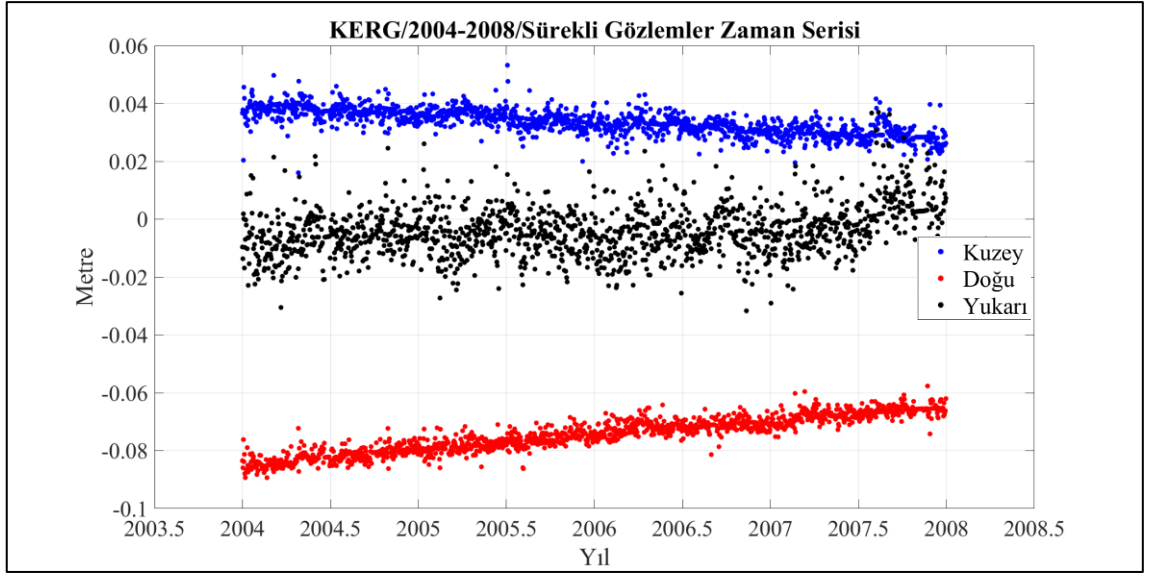
Şekil D. 1 ALGO istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



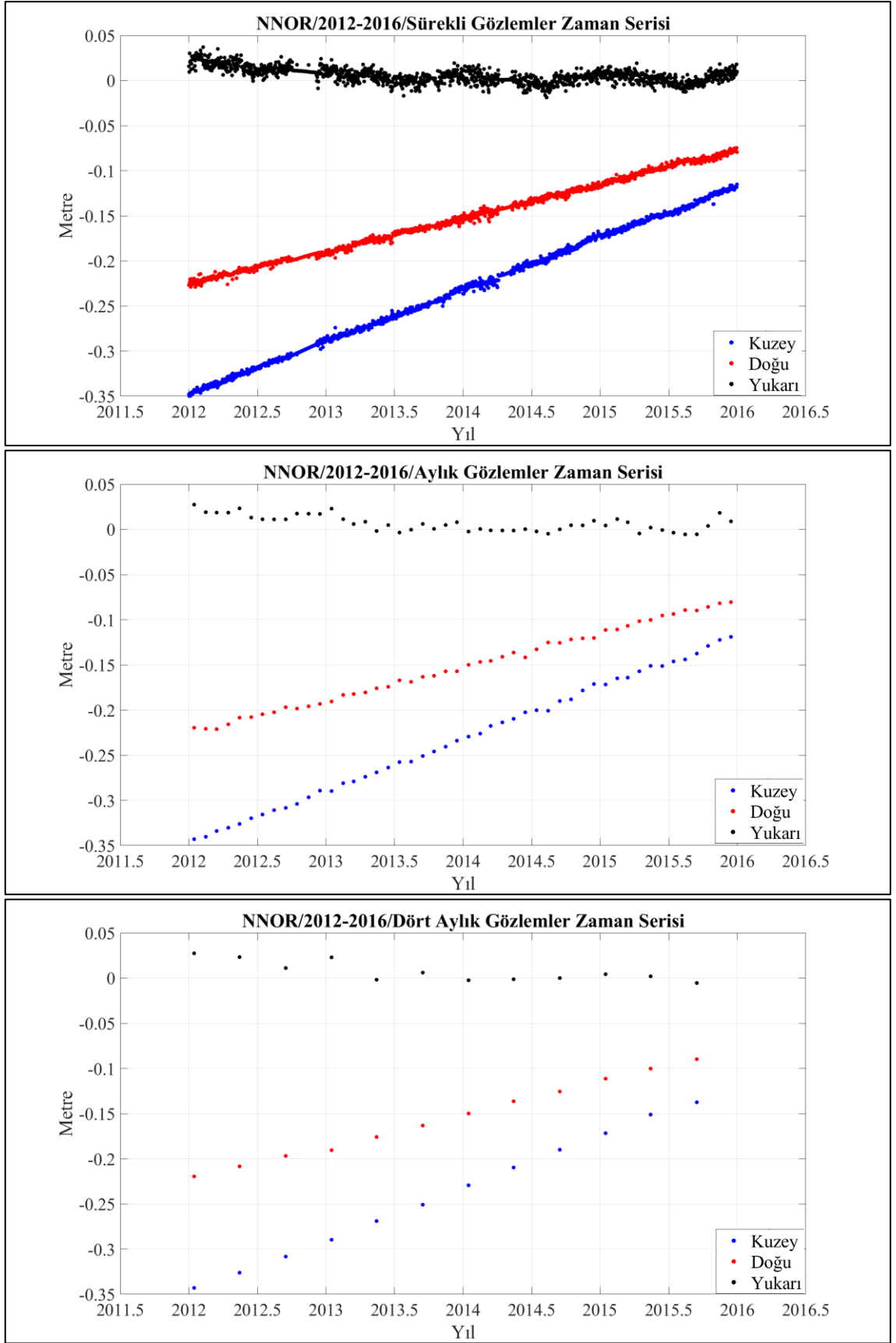
Şekil D. 2 BJFS istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



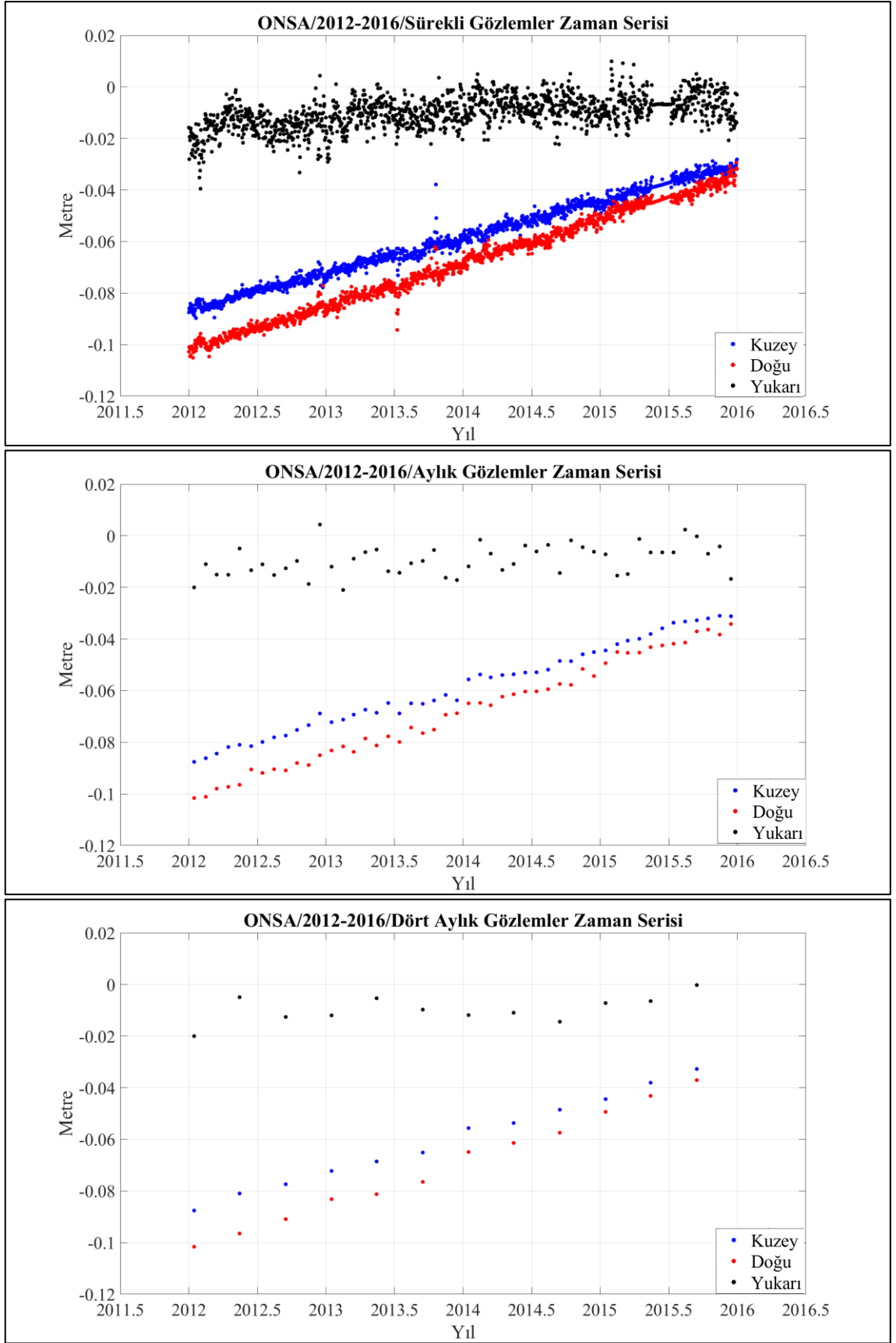
Şekil D. 3 GOLD istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



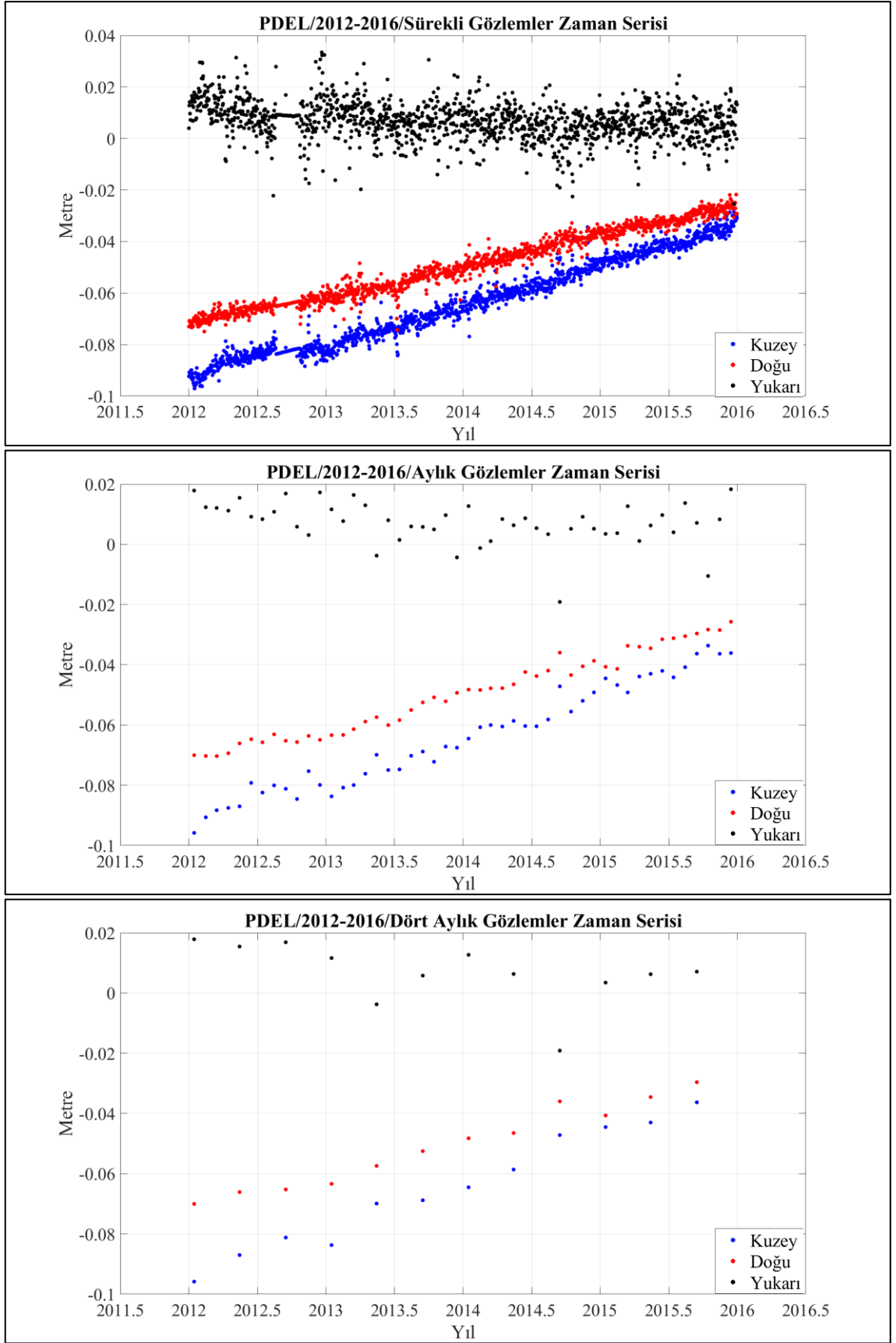
Şekil D. 4 KERG istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2004-2008).



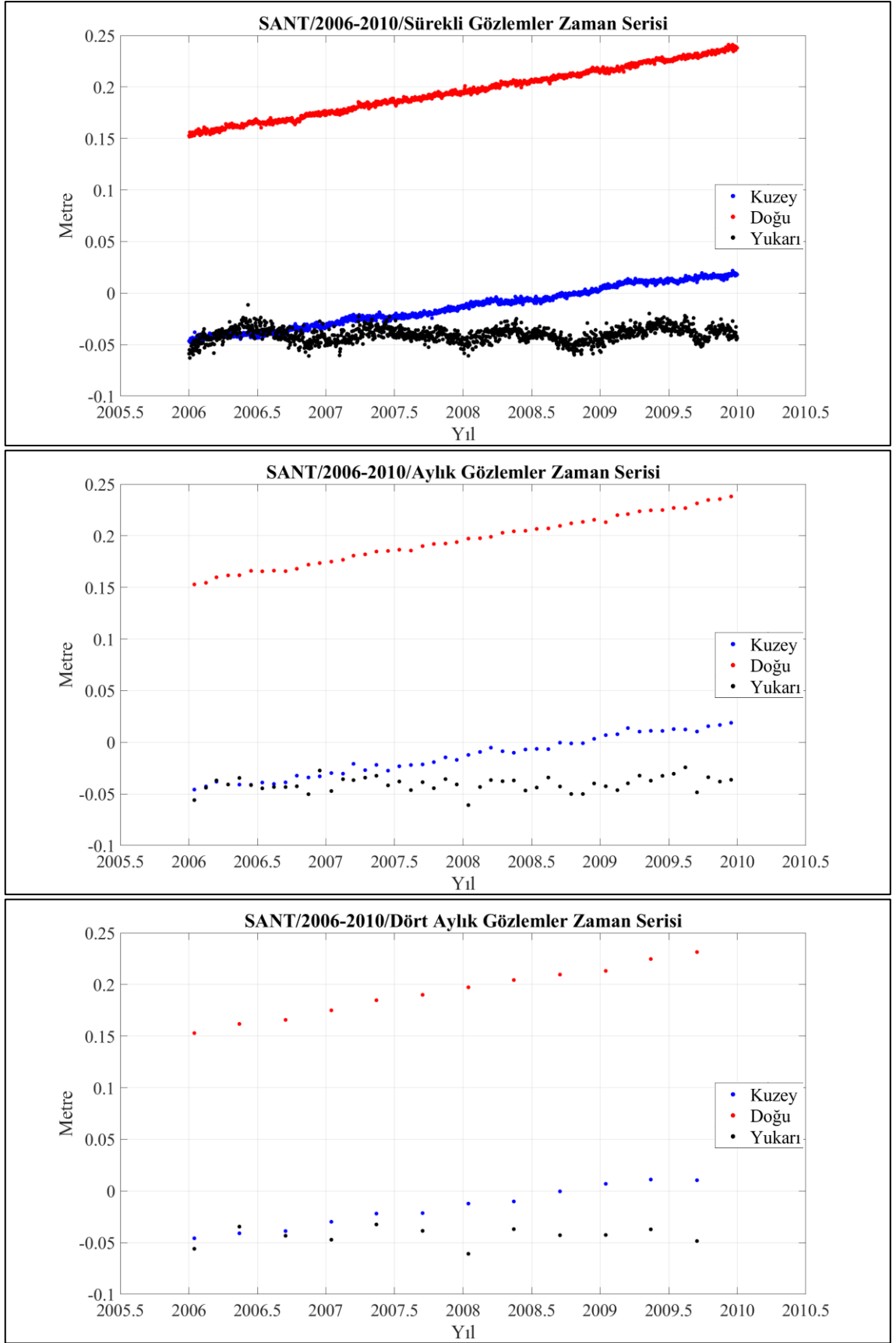
Şekil D. 5 NNOR istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



Şekil D. 6 ONSA istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).

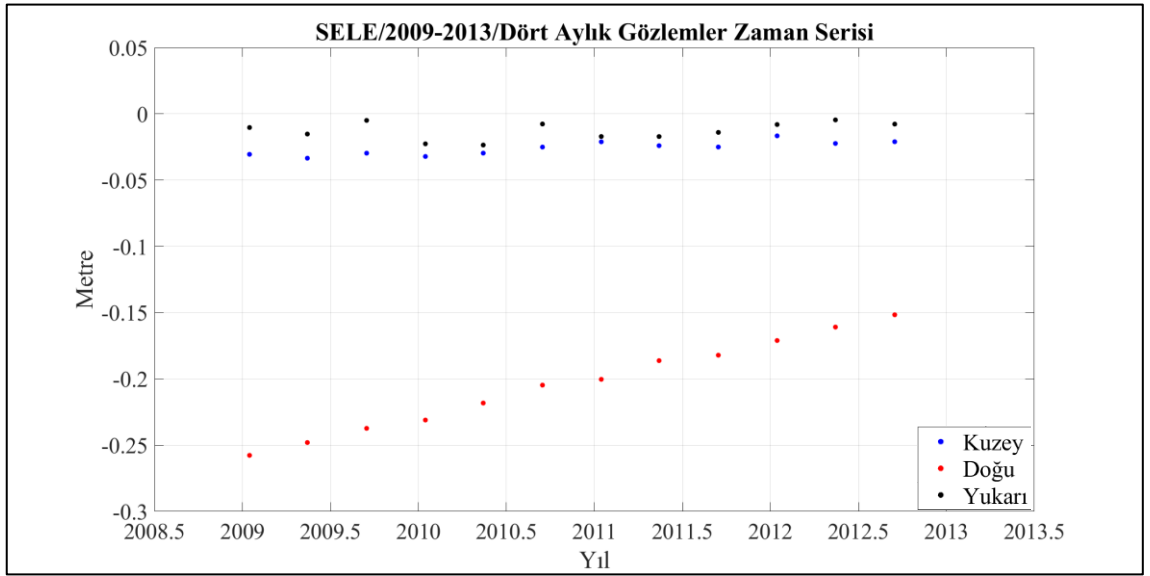
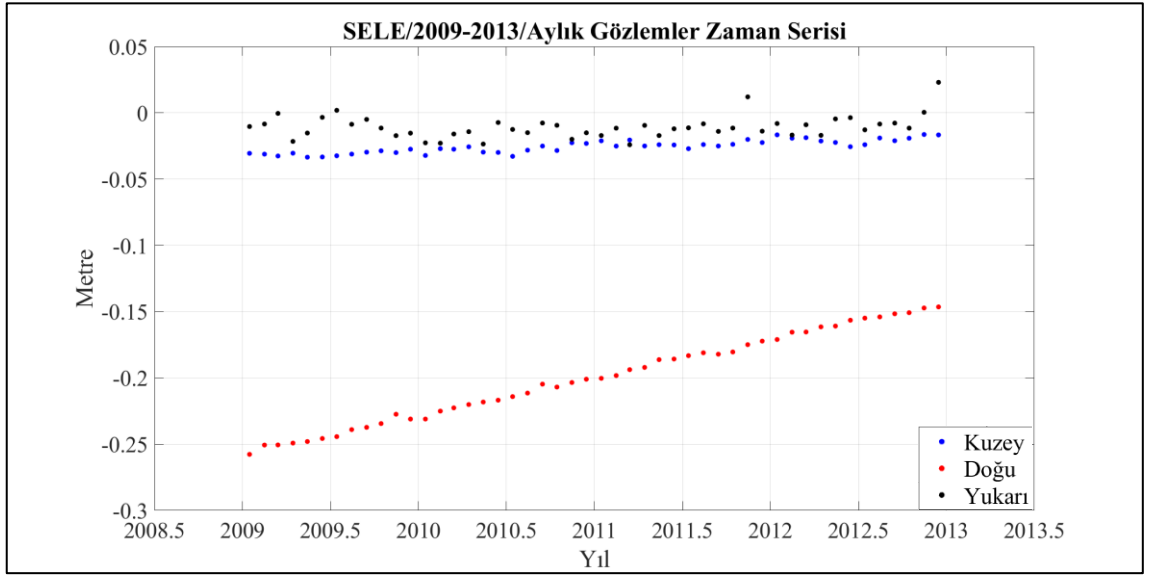
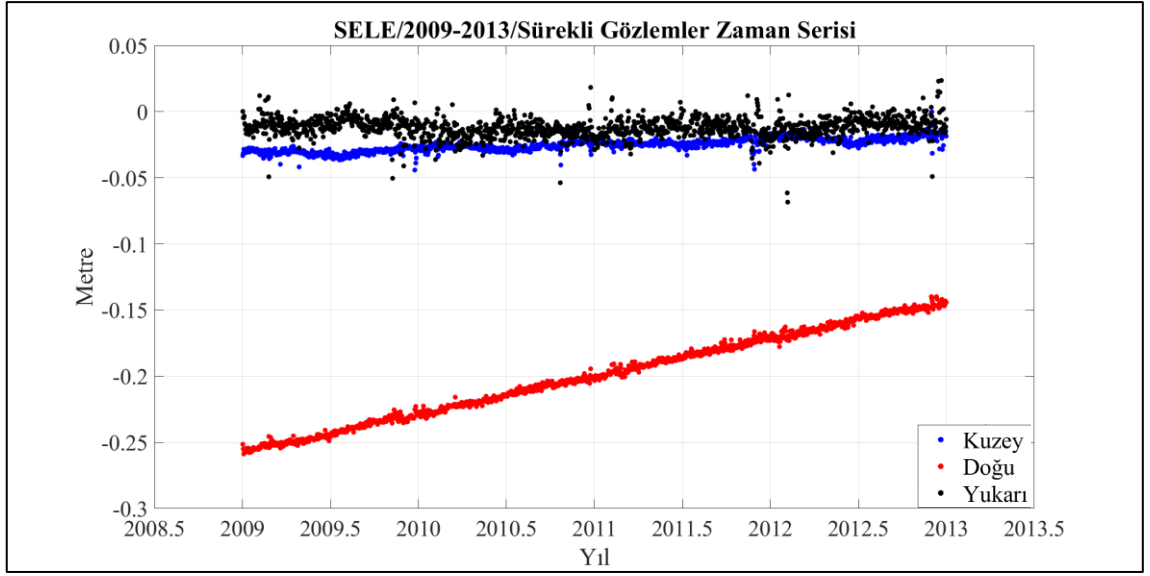


Şekil D. 7 PDEL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).

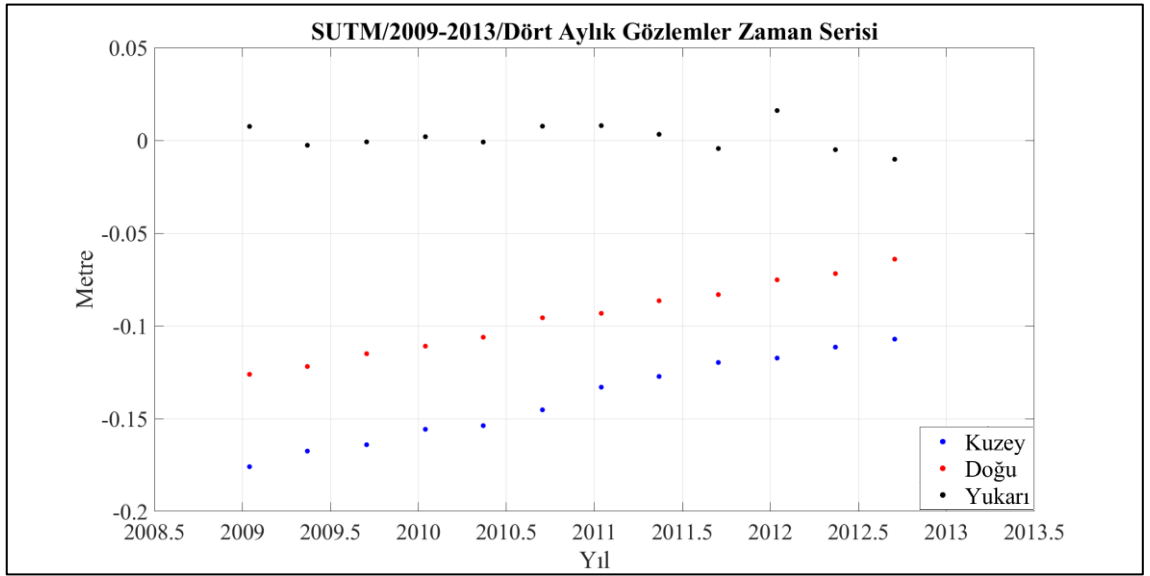
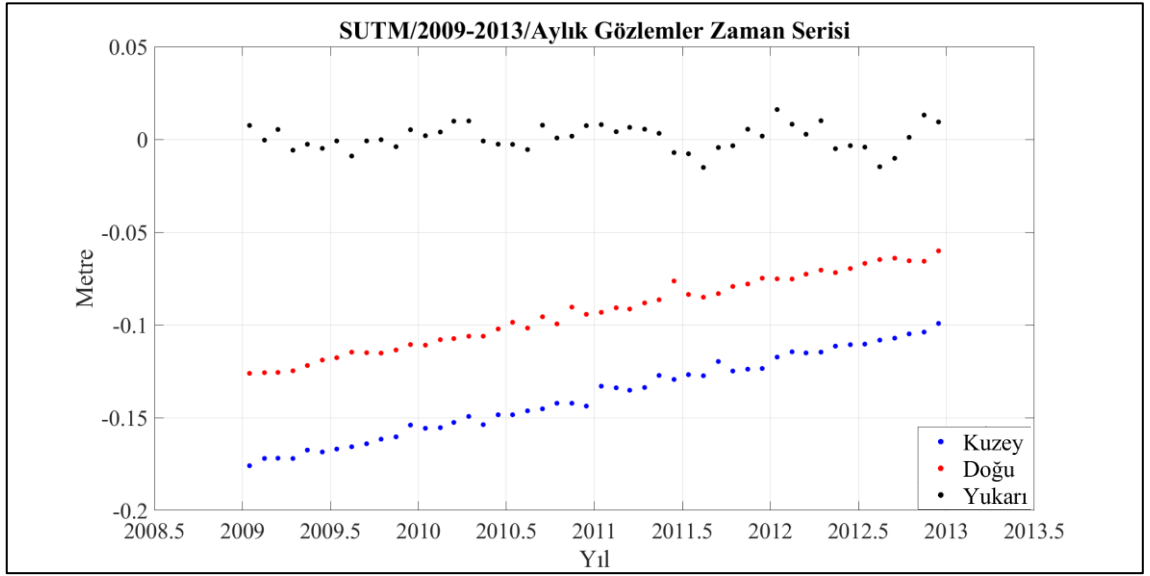
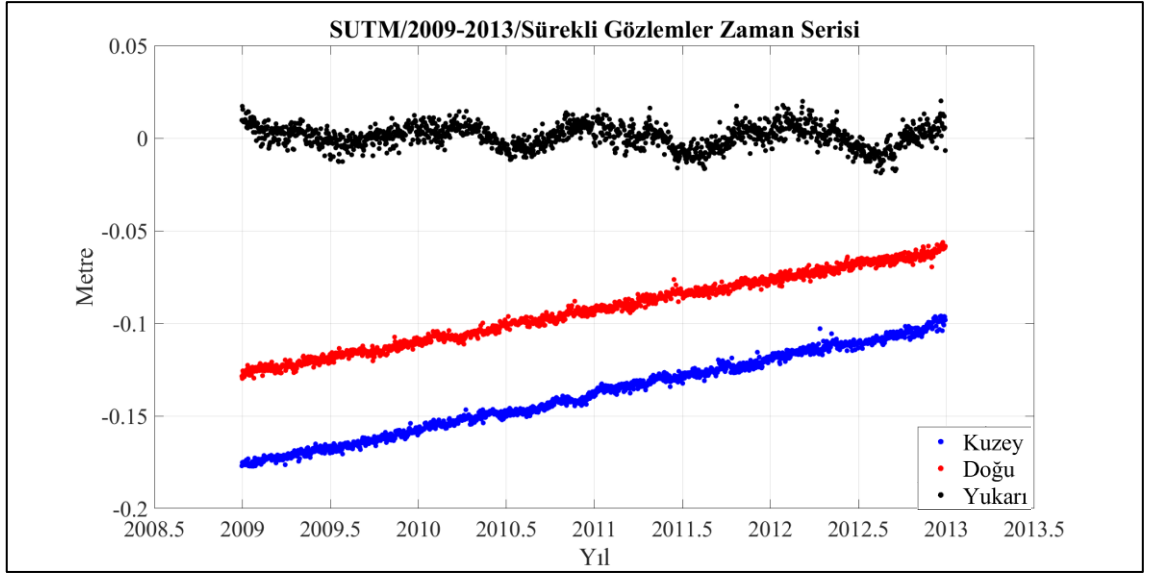


Şekil D. 8 SANT istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2006-2010).

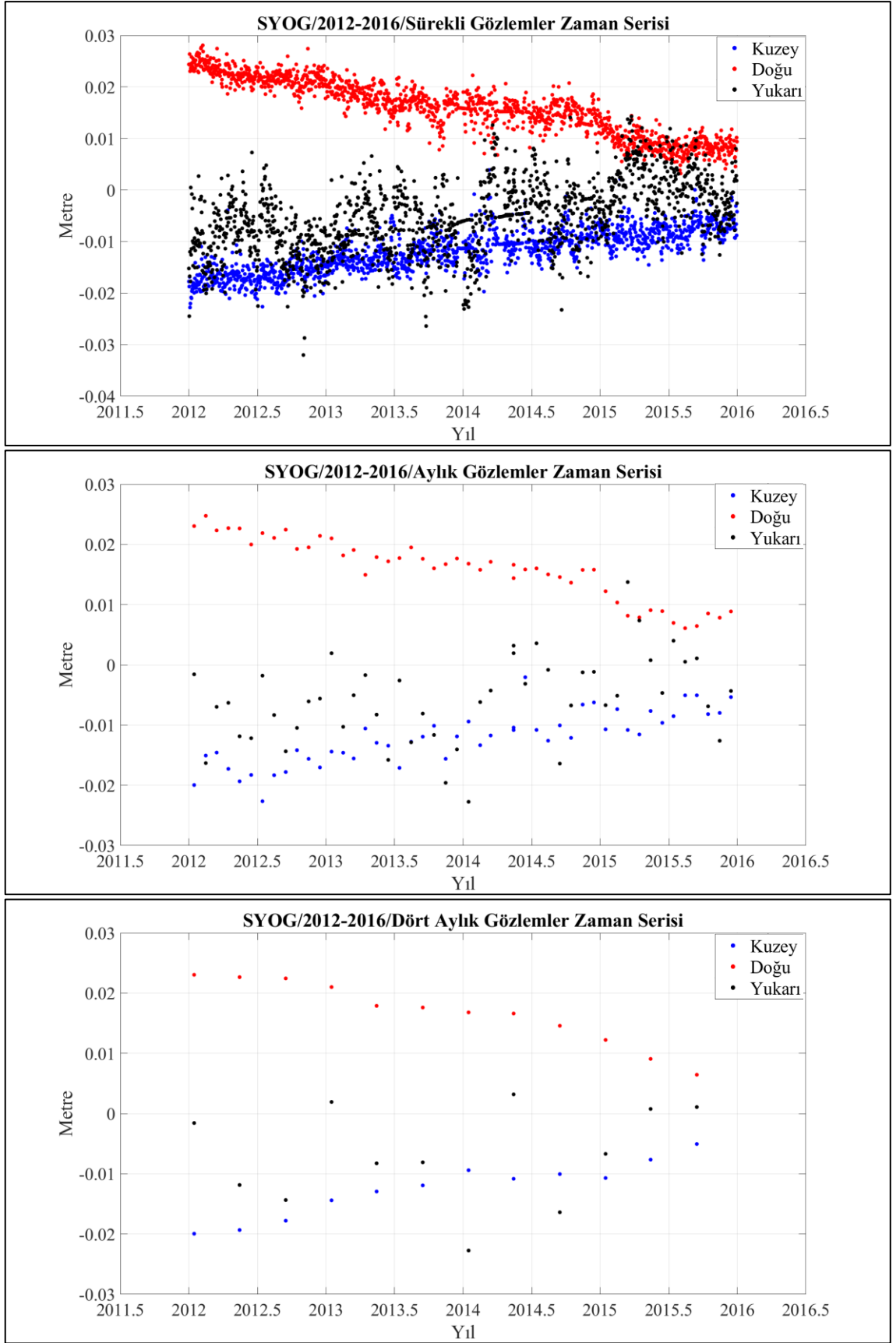




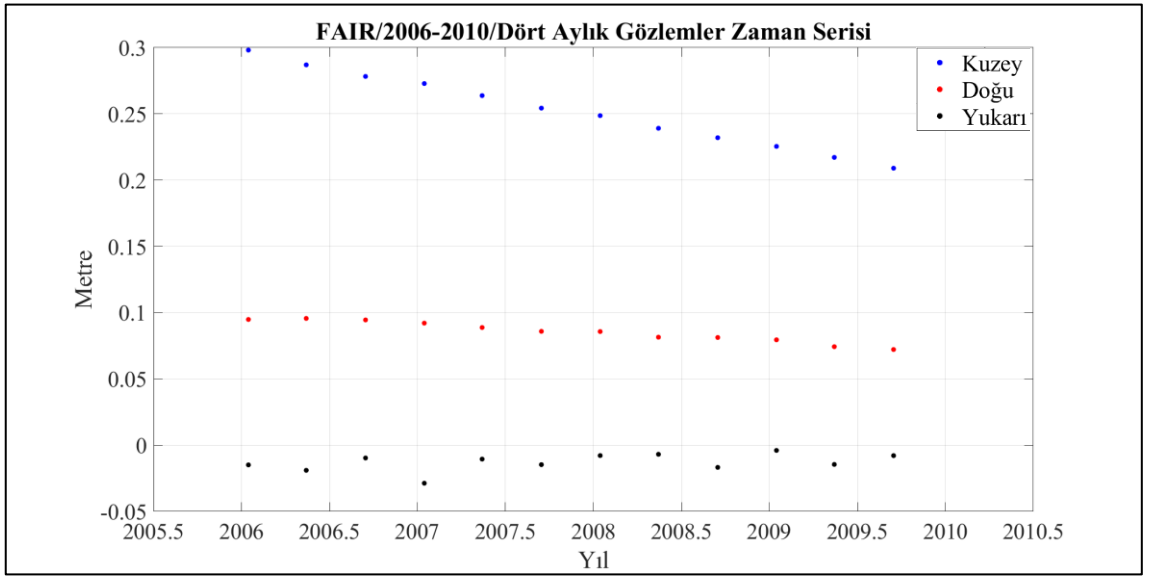
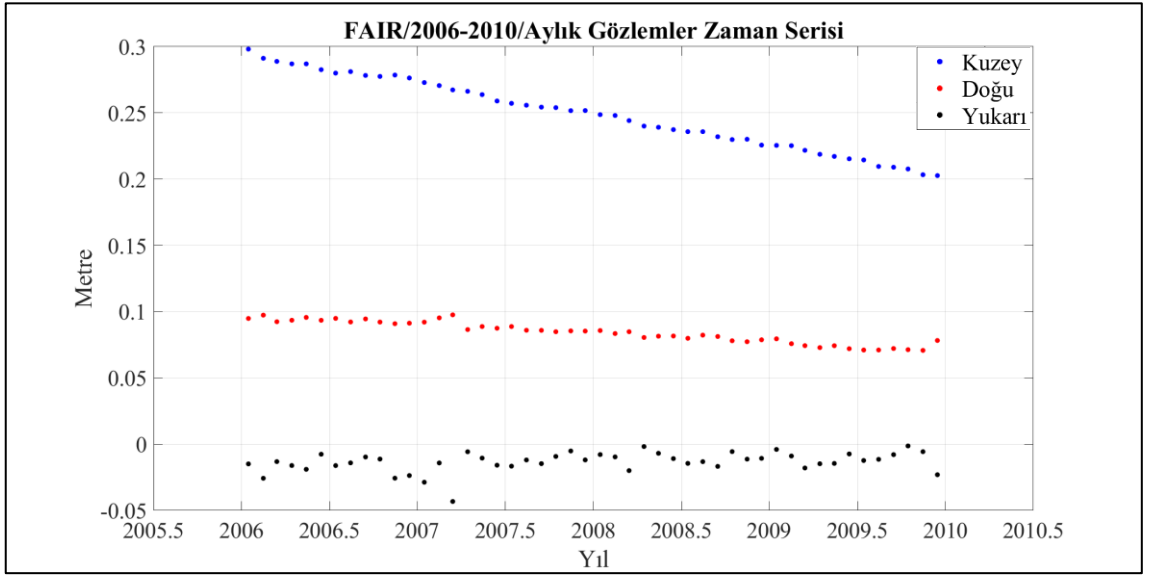
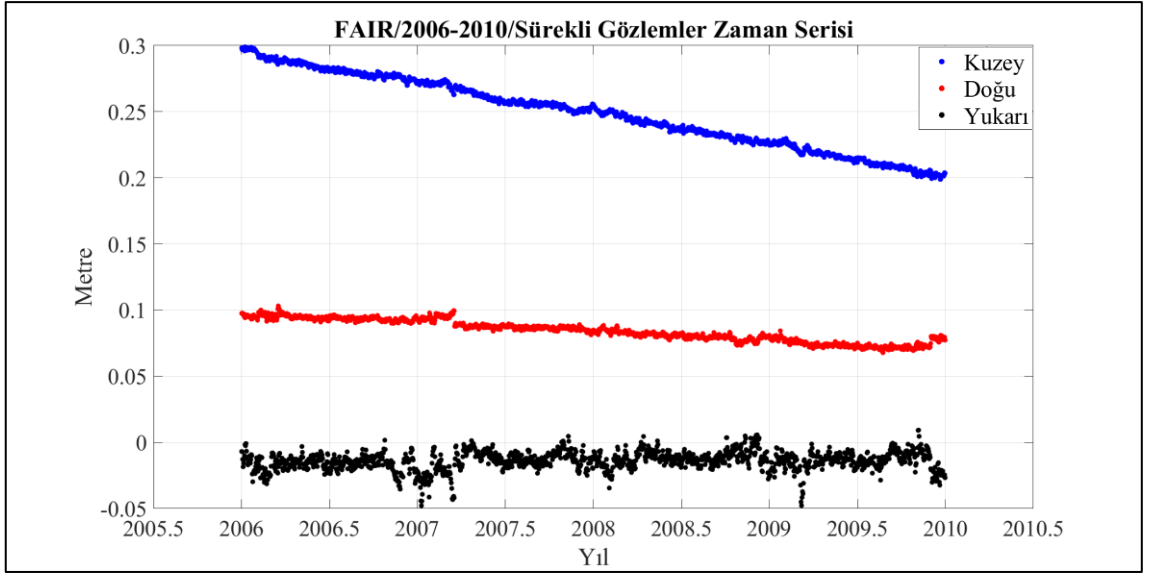
Şekil D. 9 SELE istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2009-2013).



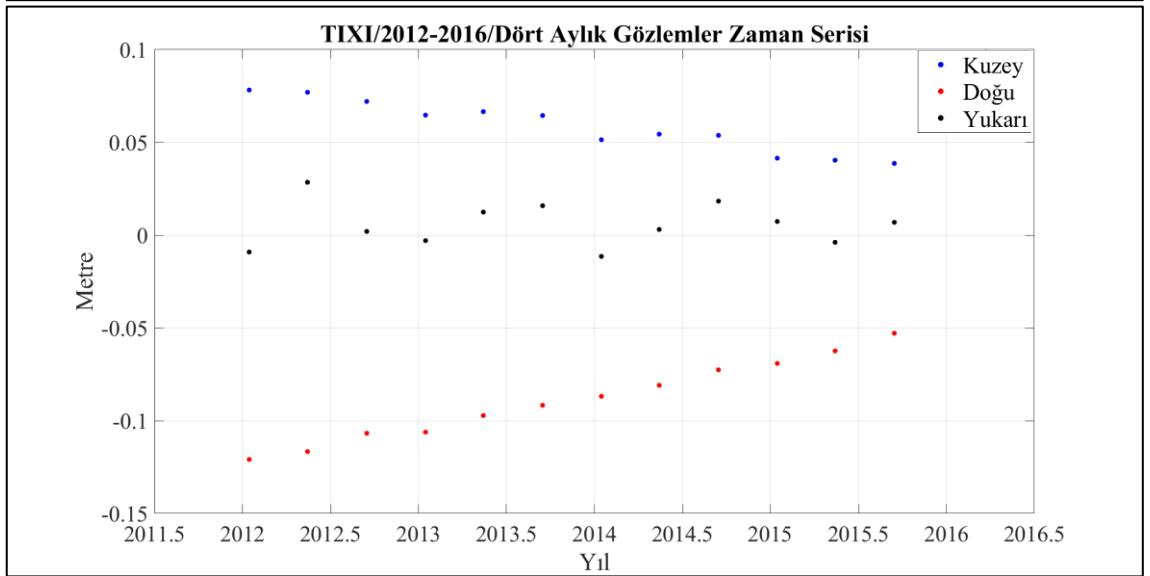
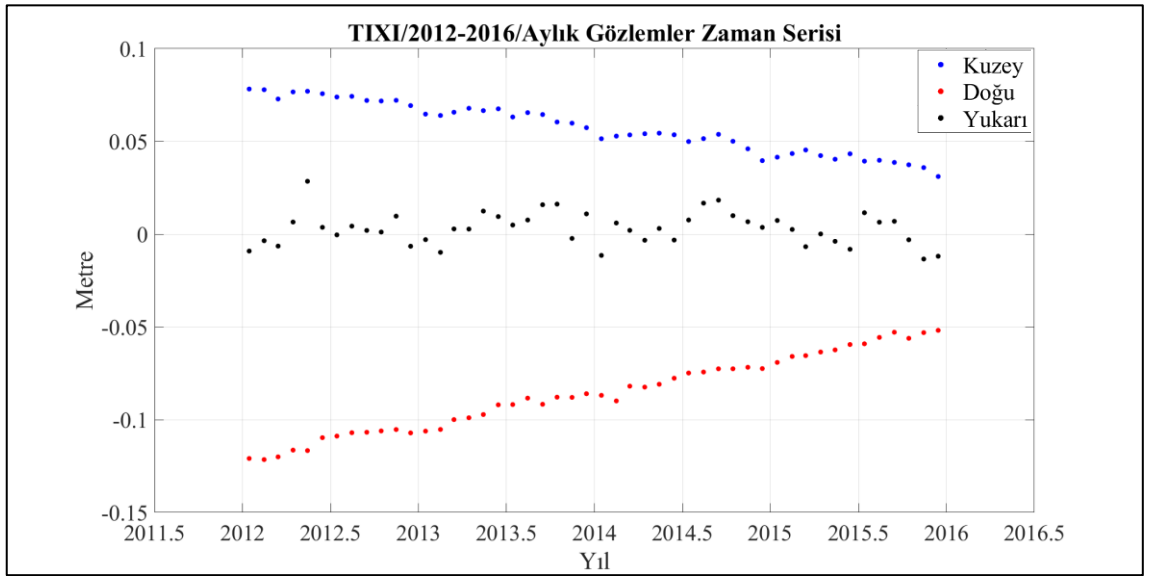
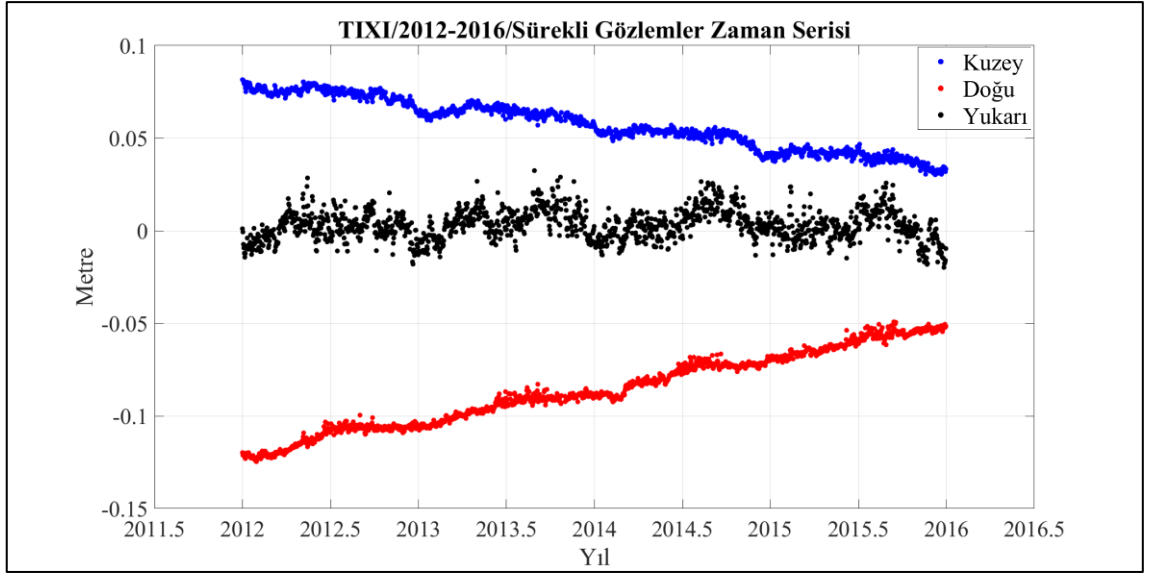
Şekil D. 10 SUTM istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2009-2013).



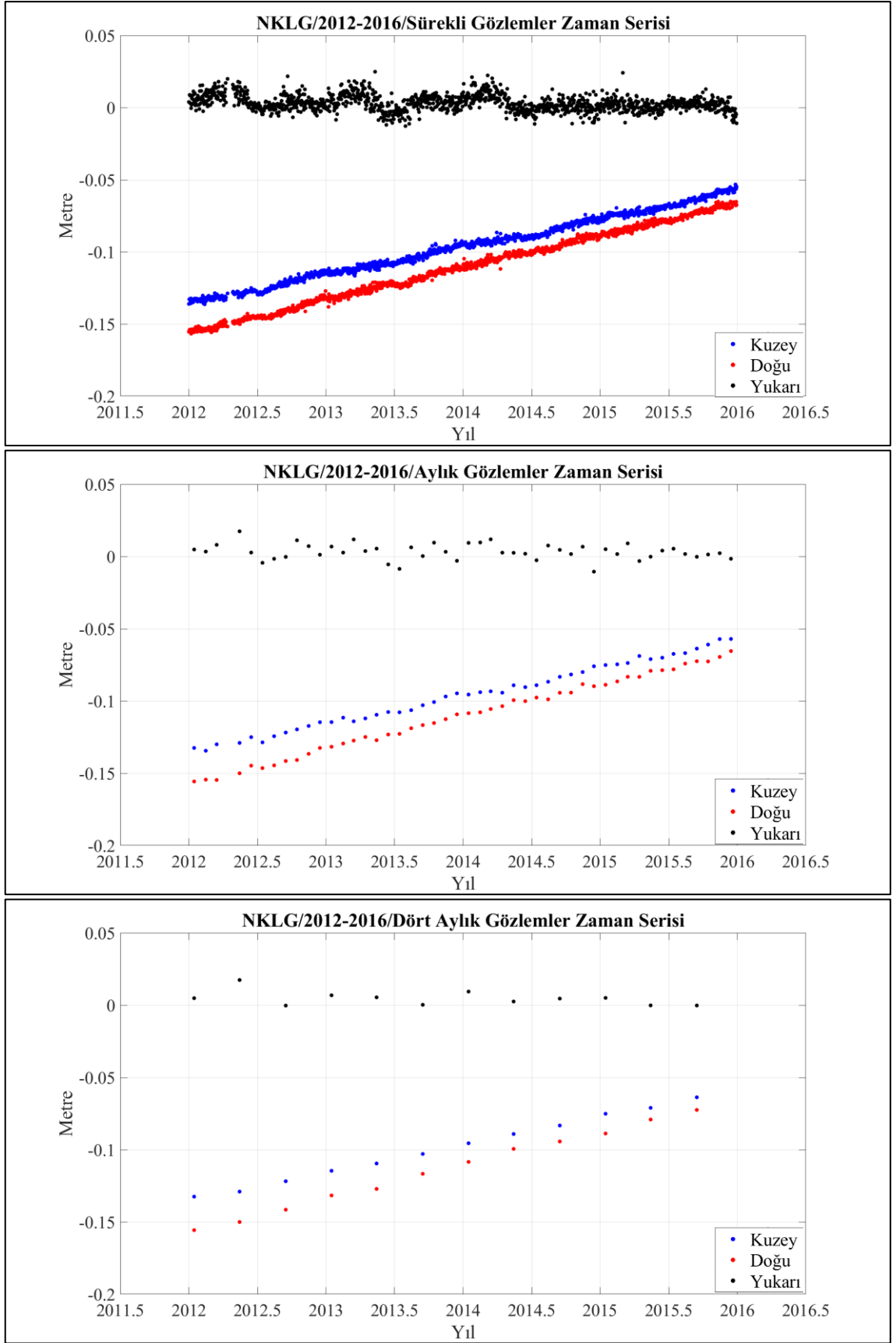
Şekil D. 11 SYOG istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



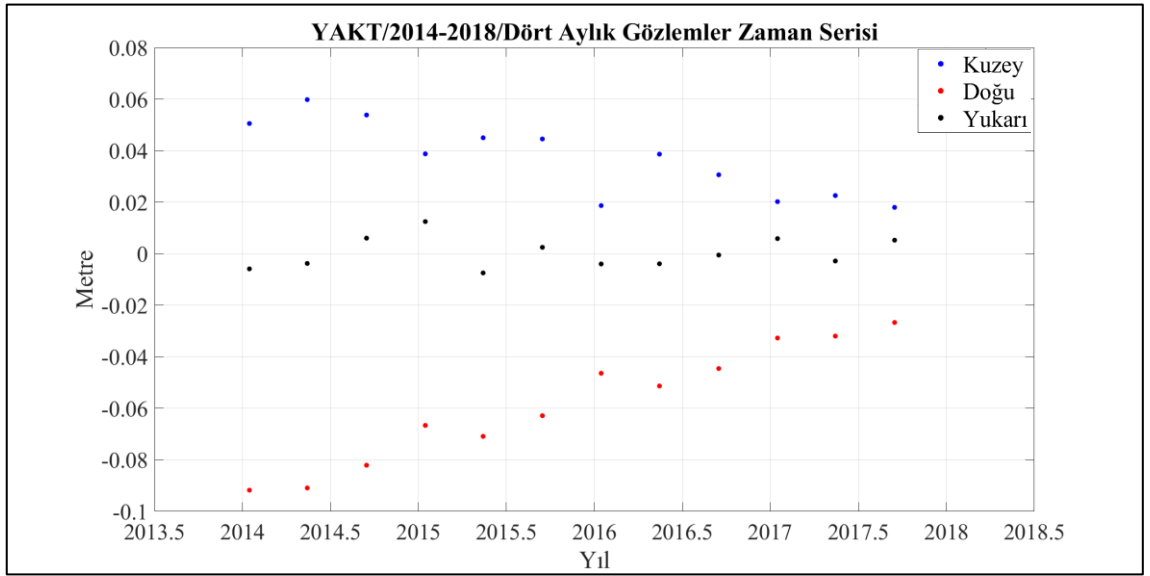
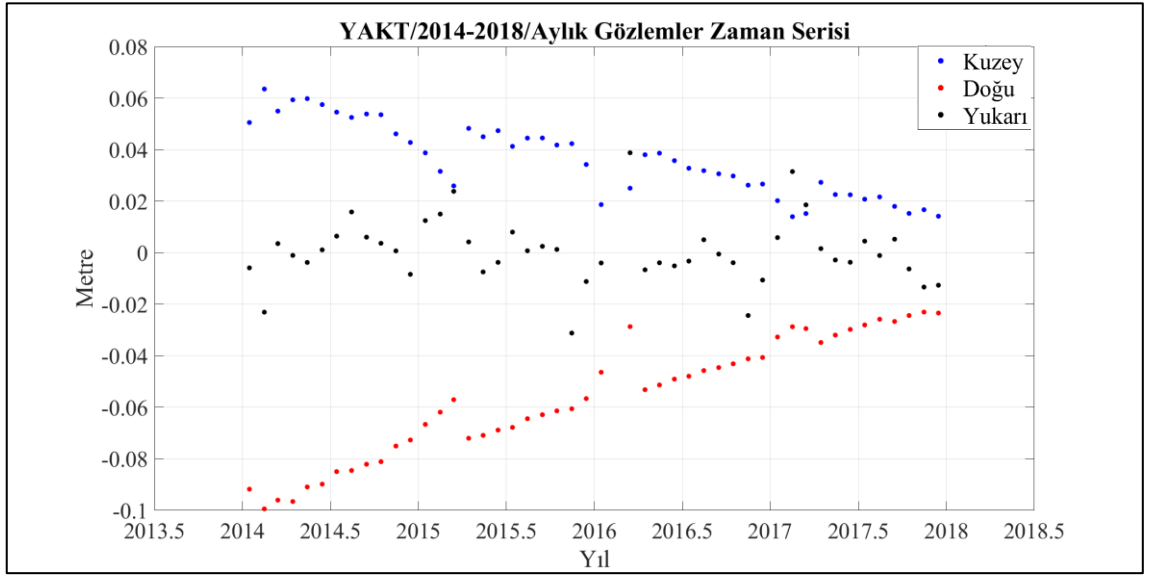
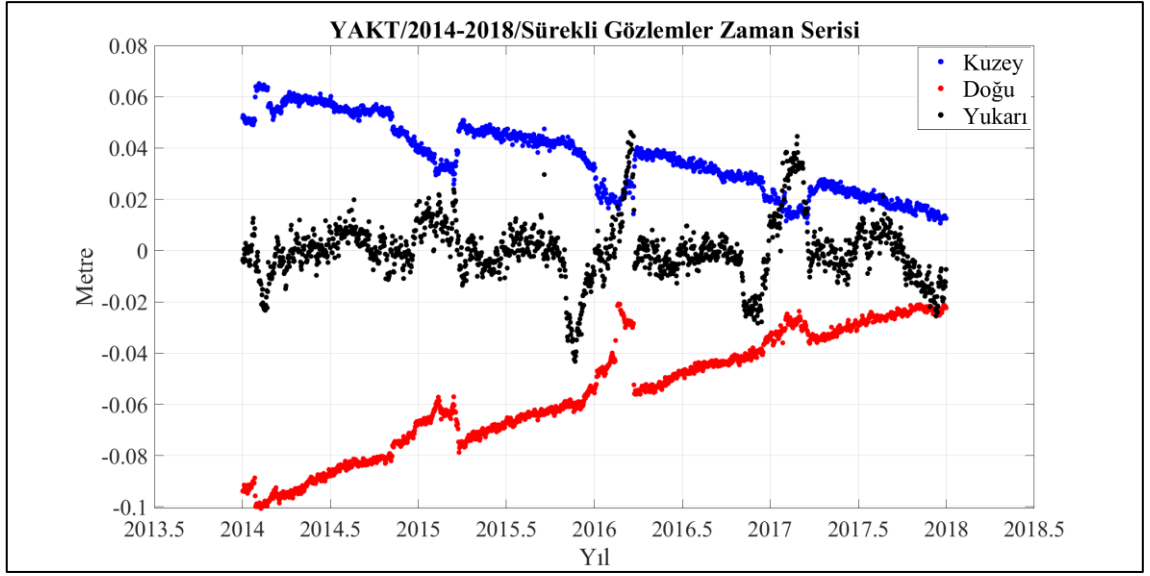
Şekil D. 12 FAIR istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2006-2010).



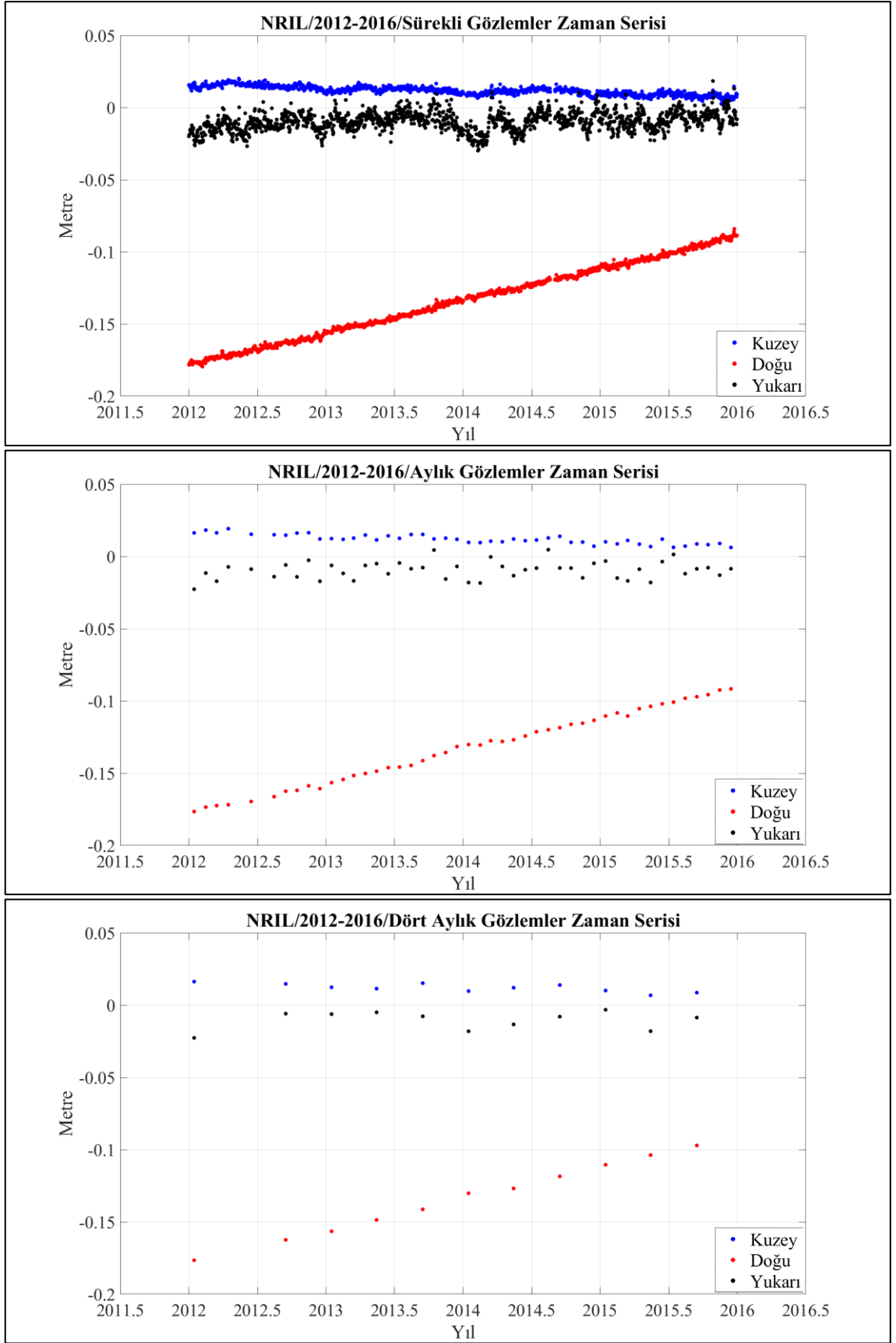
Şekil D. 13 TIXI istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



Şekil D. 14 NKLK istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).

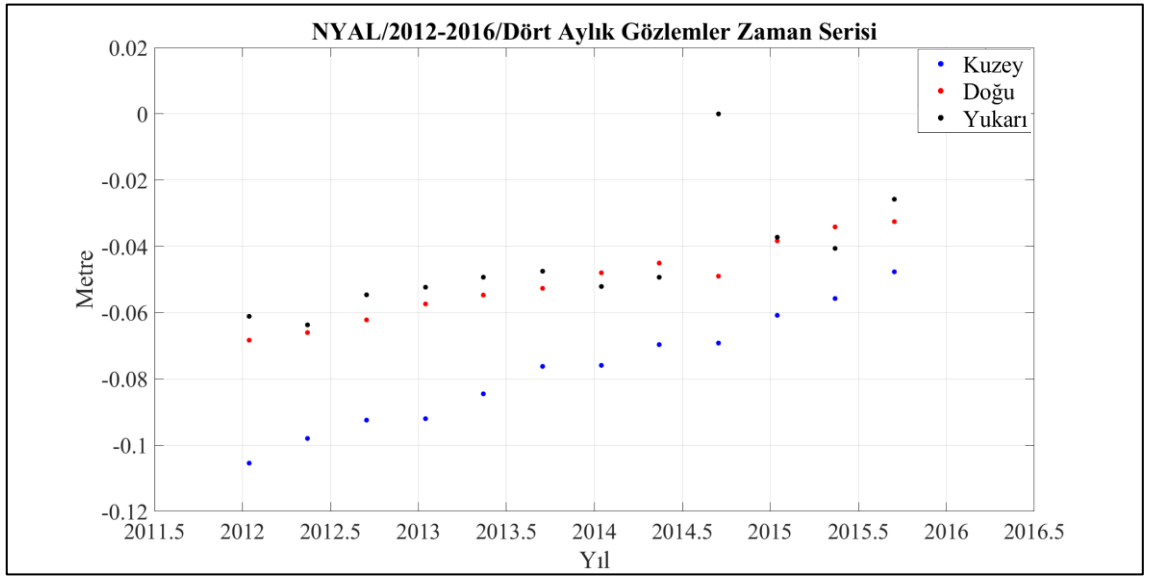
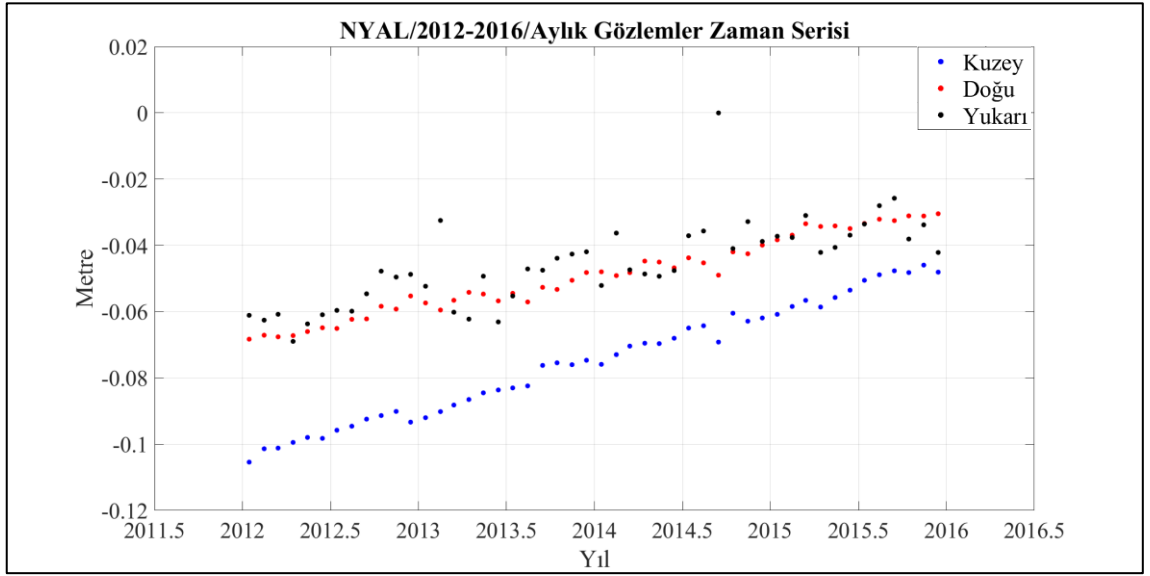
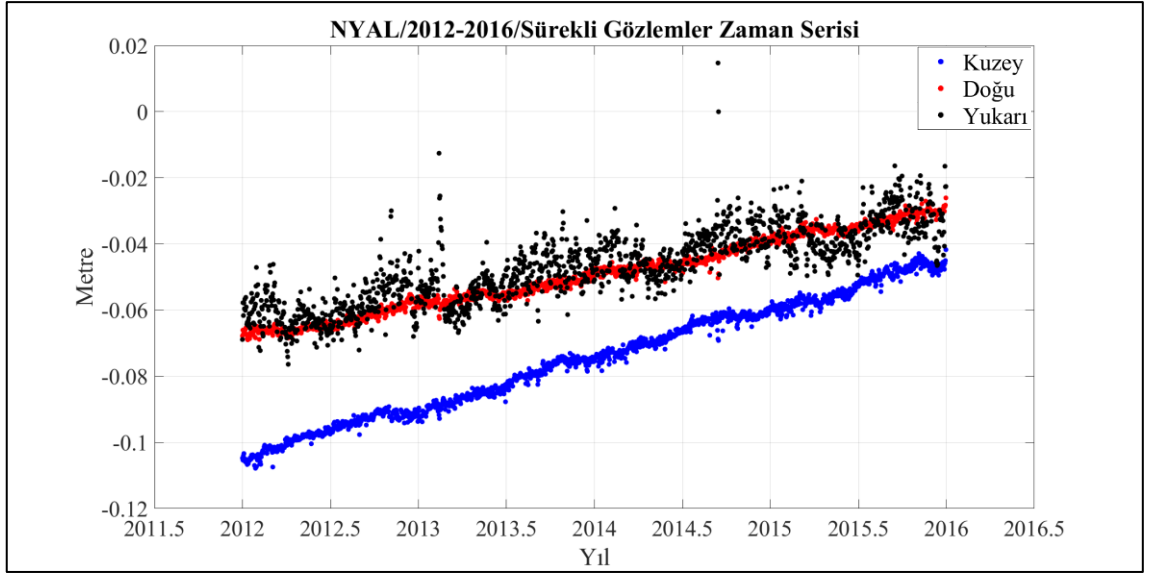


Şekil D. 15 YAKT istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2014-2018).

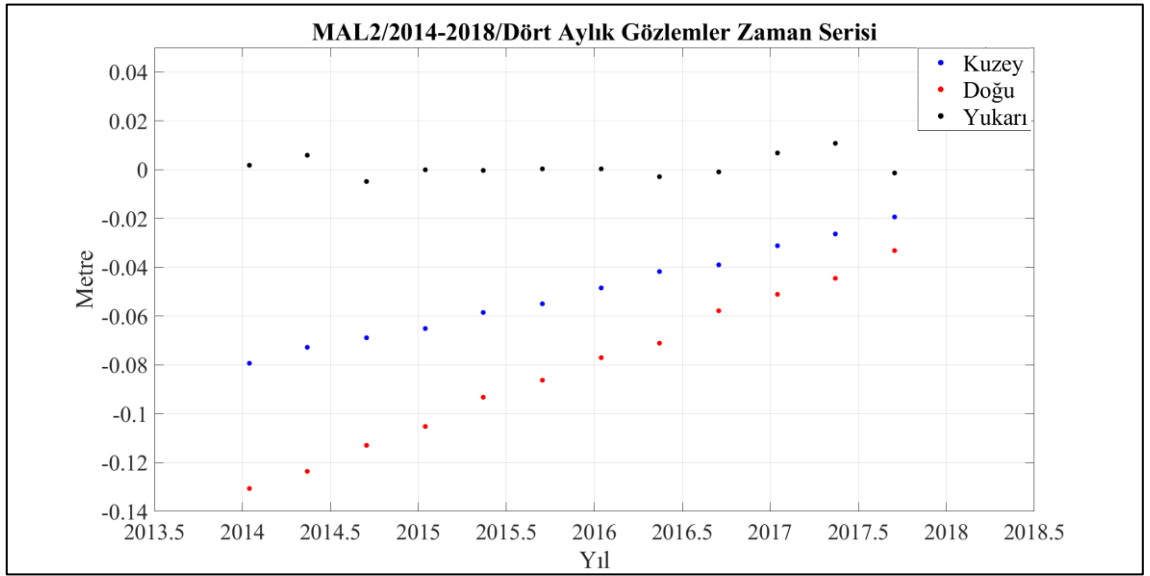
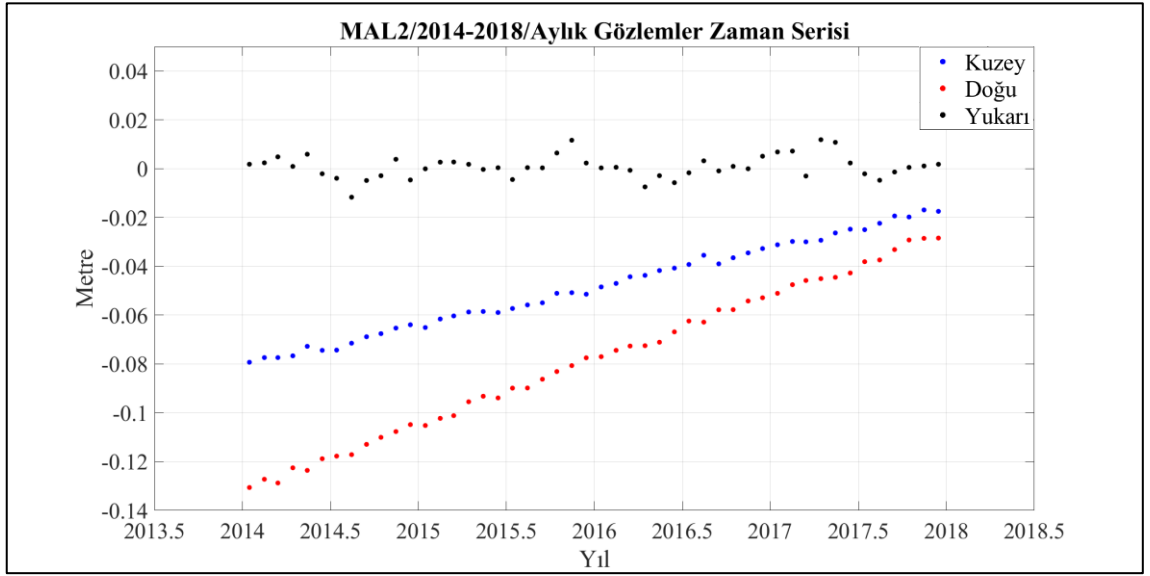
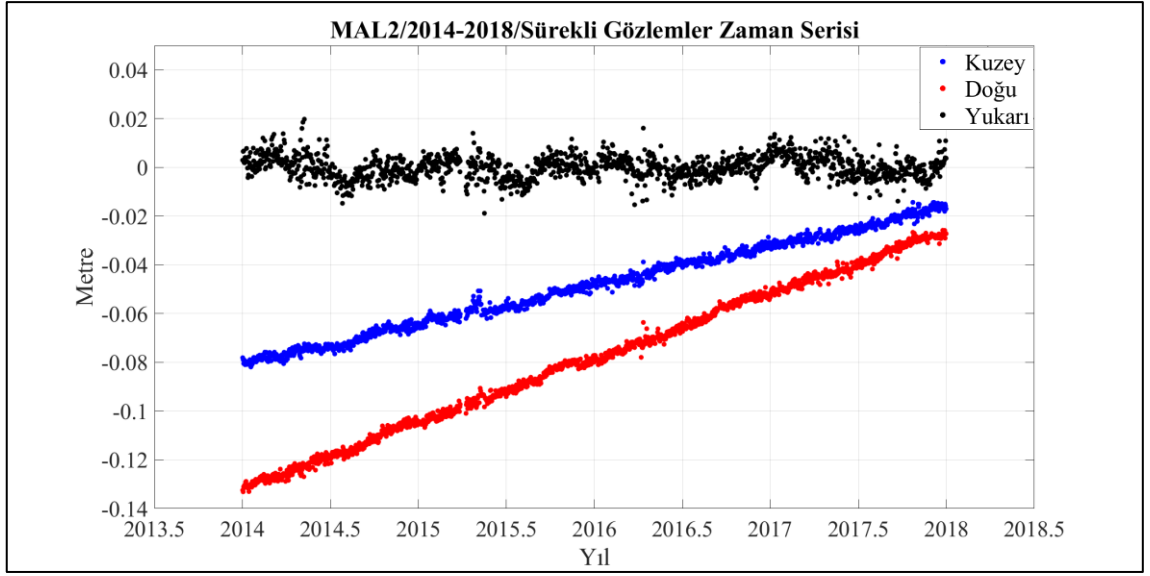


Şekil D. 16 NRIL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).

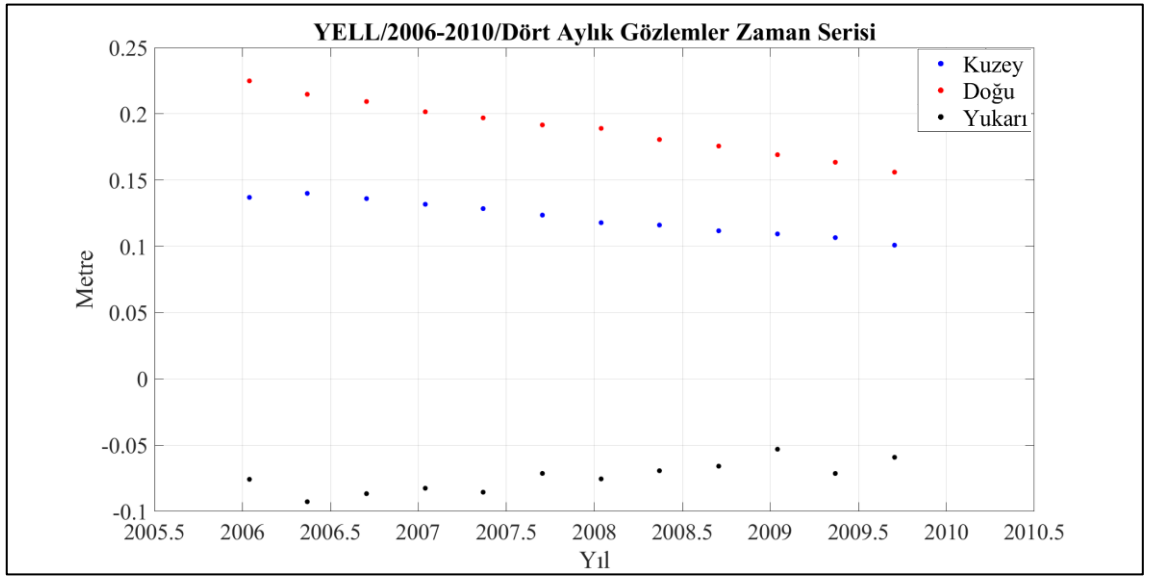
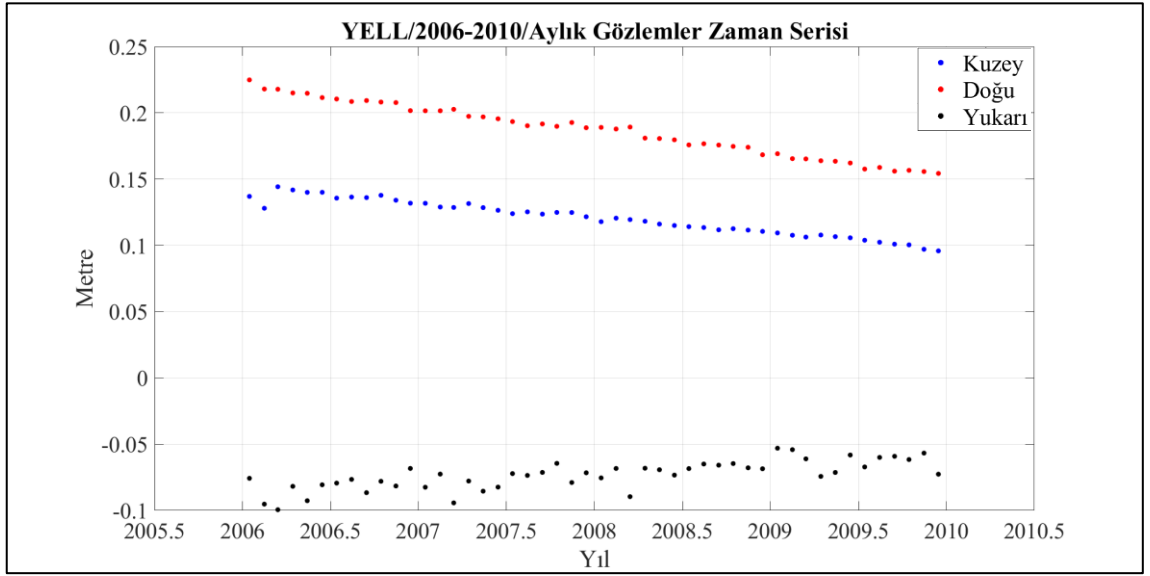
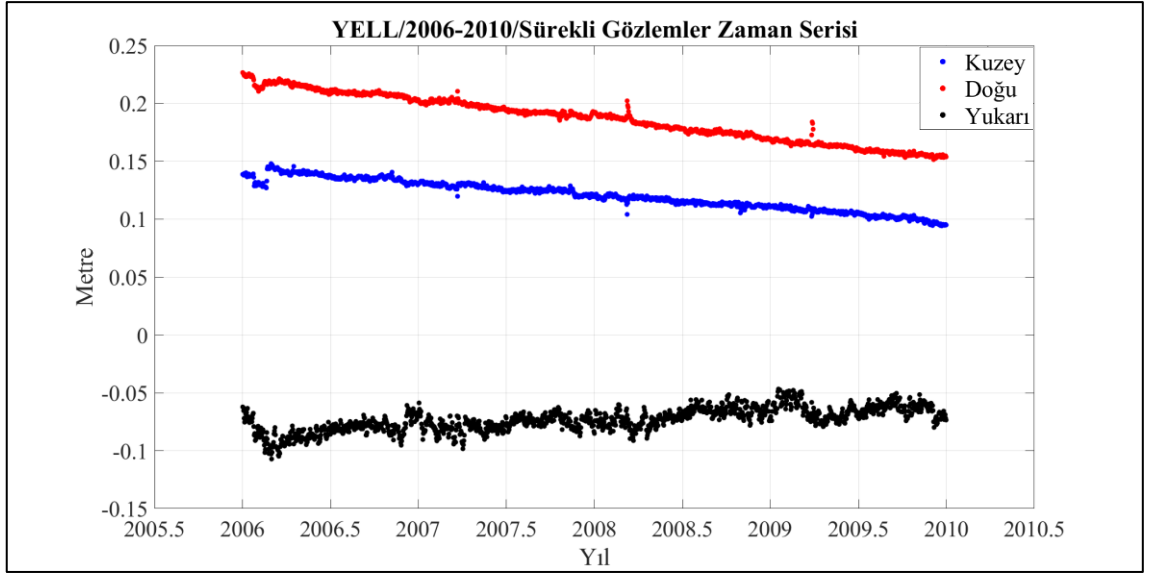




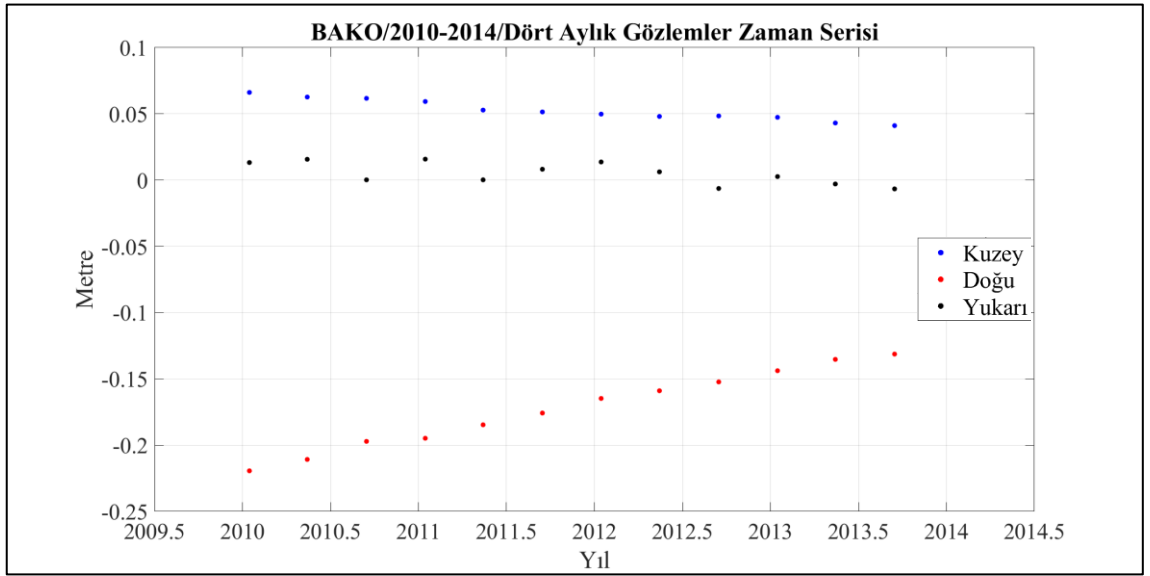
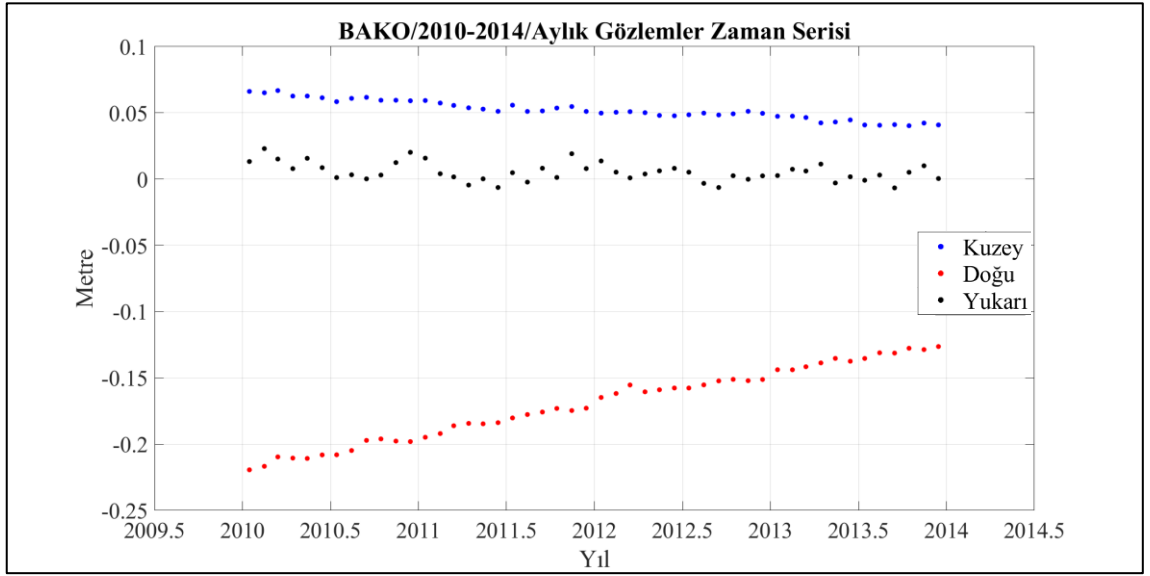
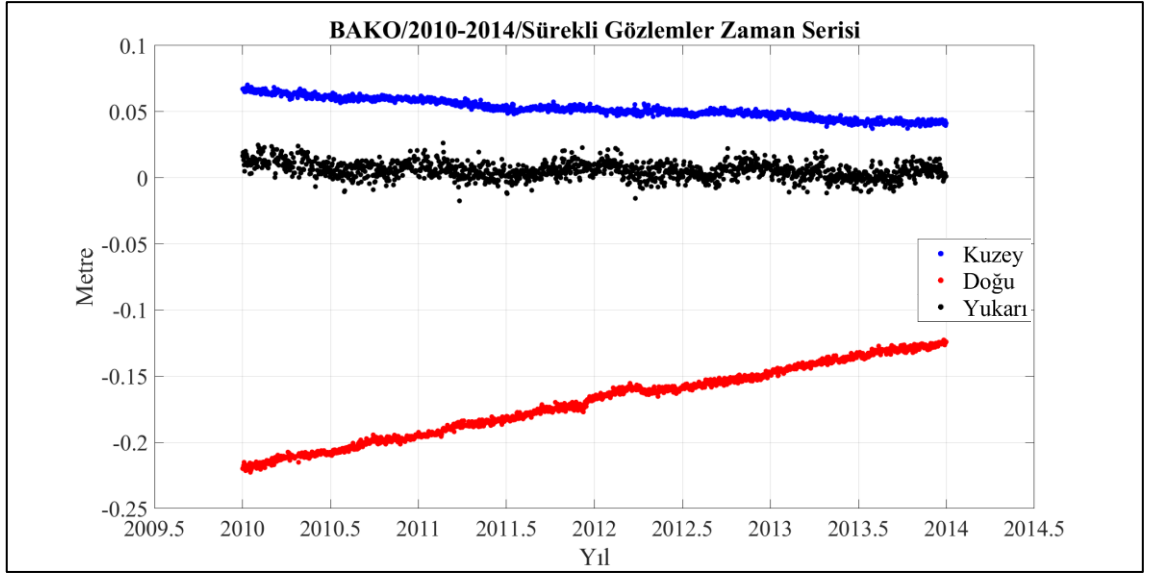
Şekil D. 17 NYAL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



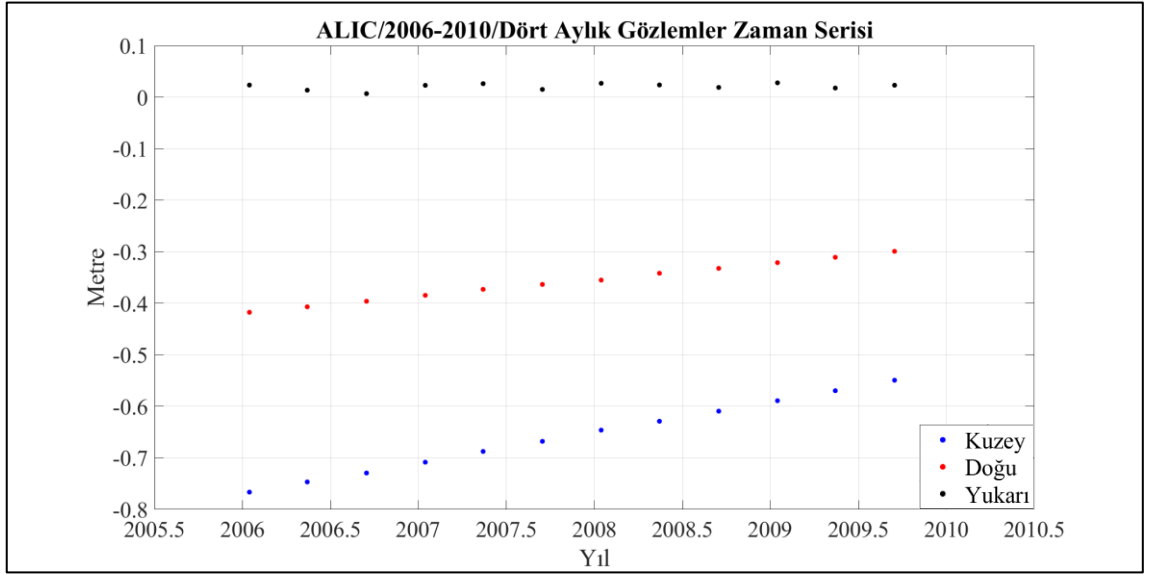
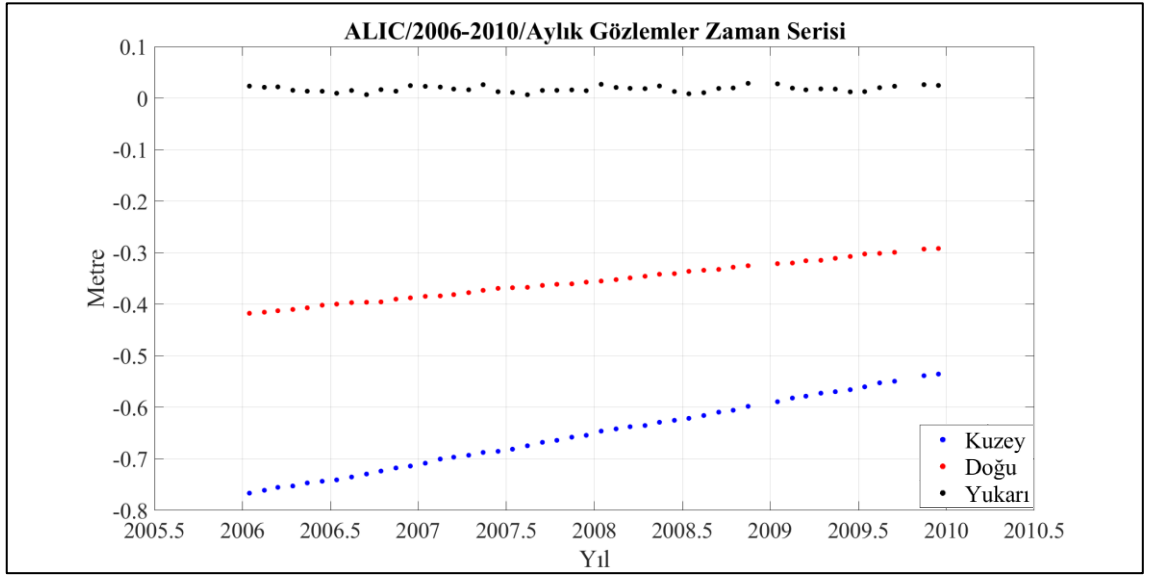
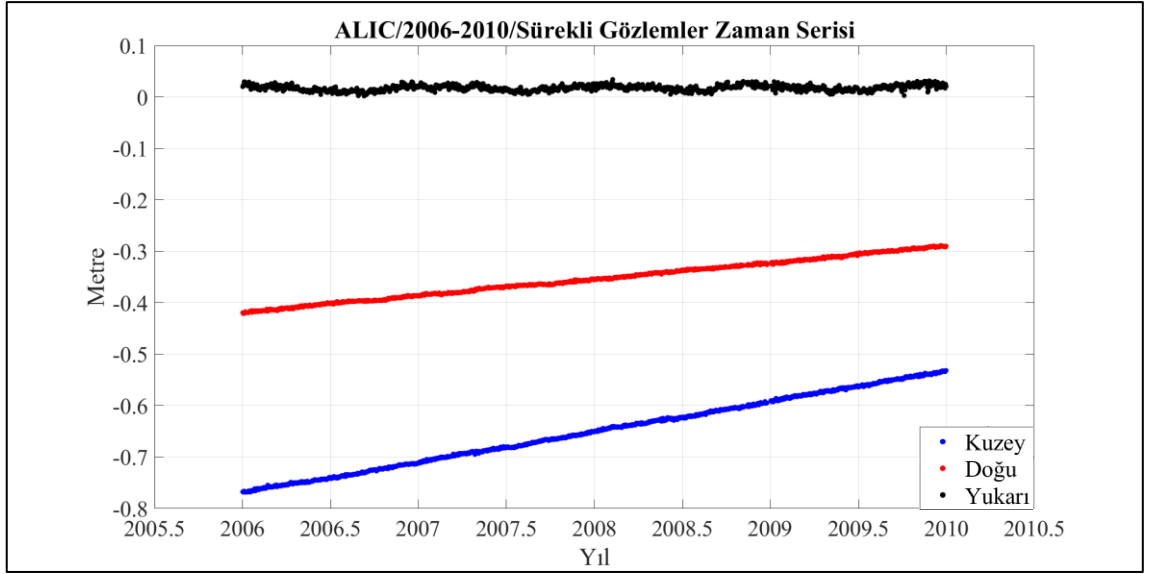
Şekil D. 18 MAL2 istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2014-2018).



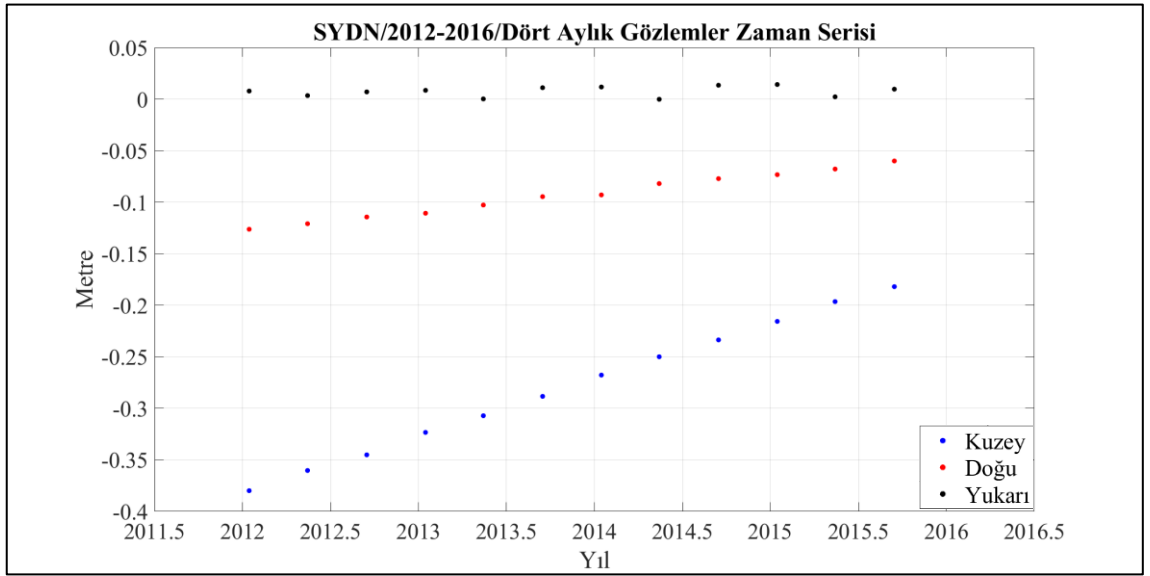
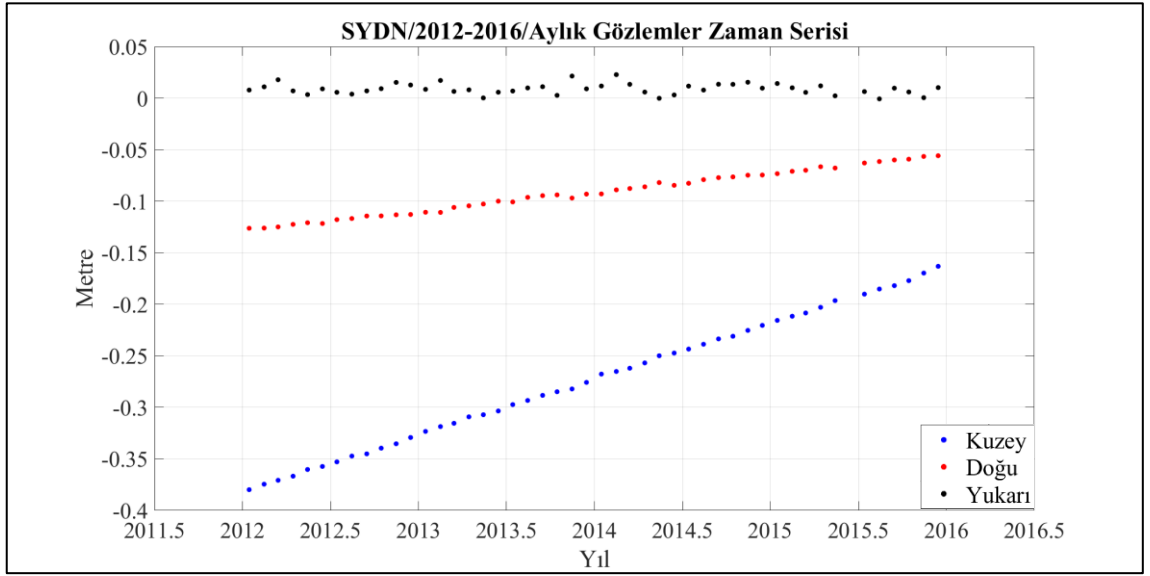
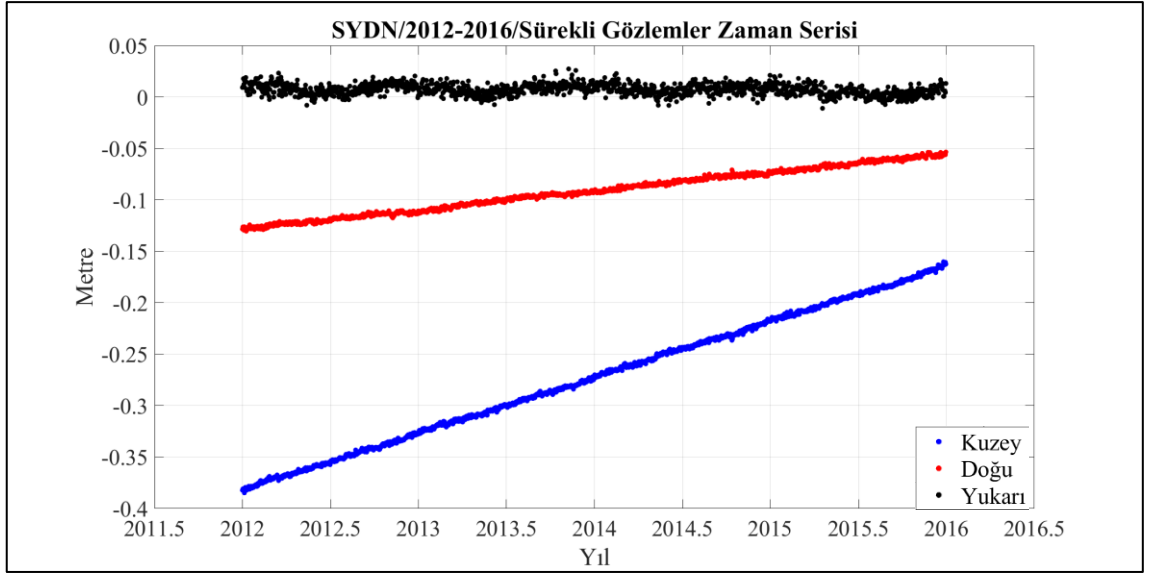
Şekil D. 19 YELL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2006-2010).



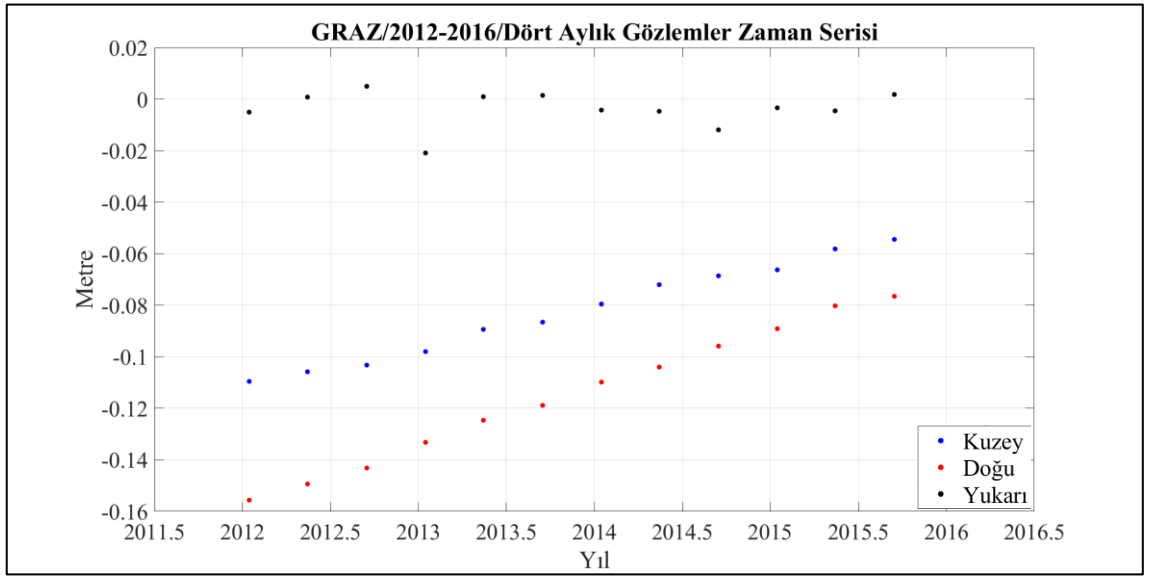
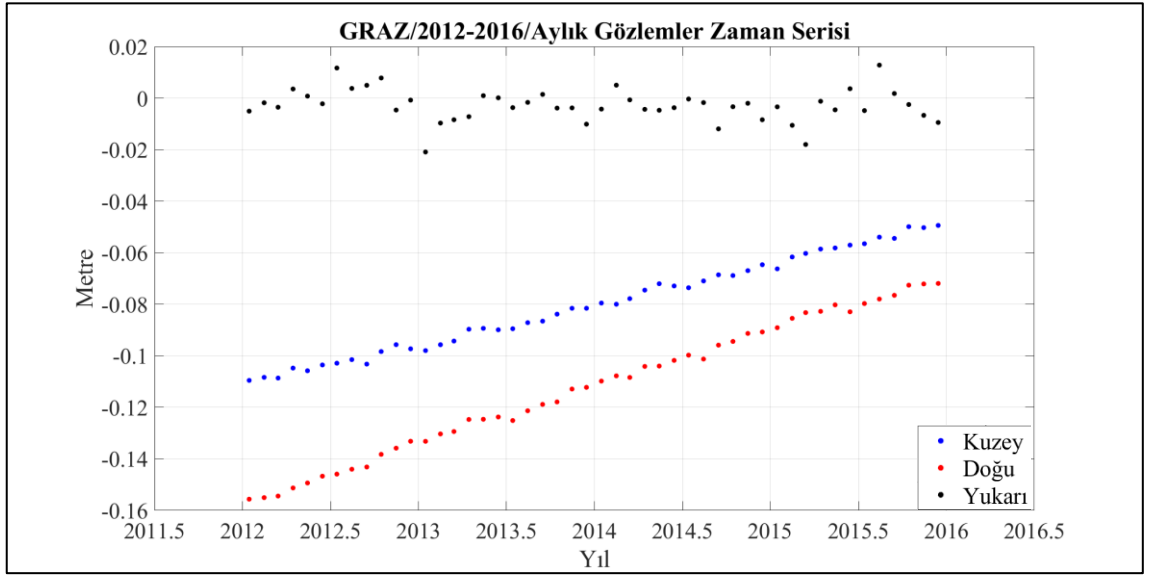
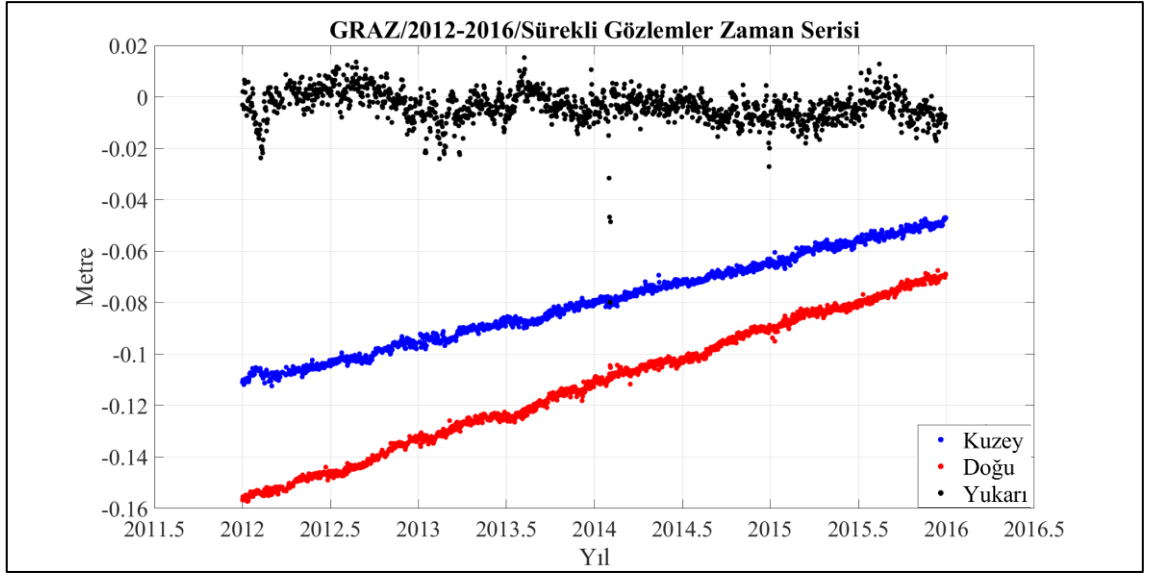
Şekil D. 20 BAKO istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2010-2014).



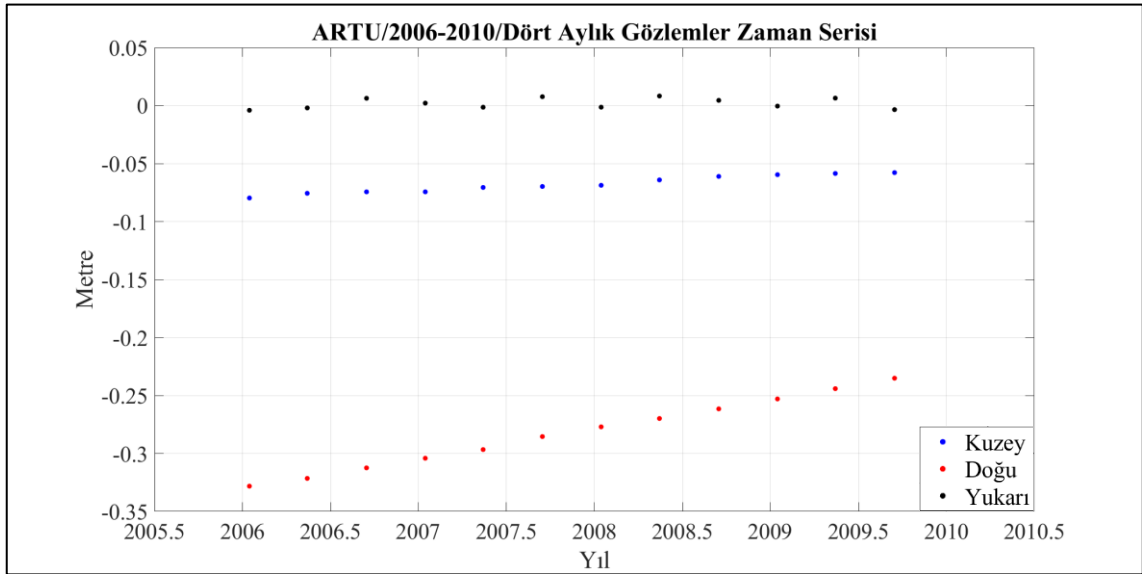
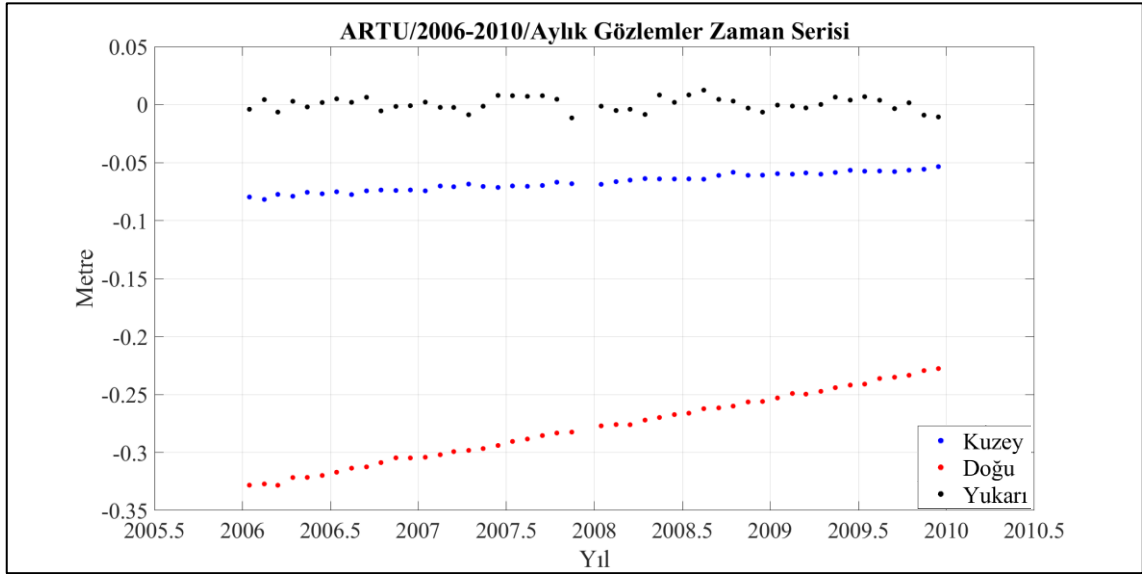
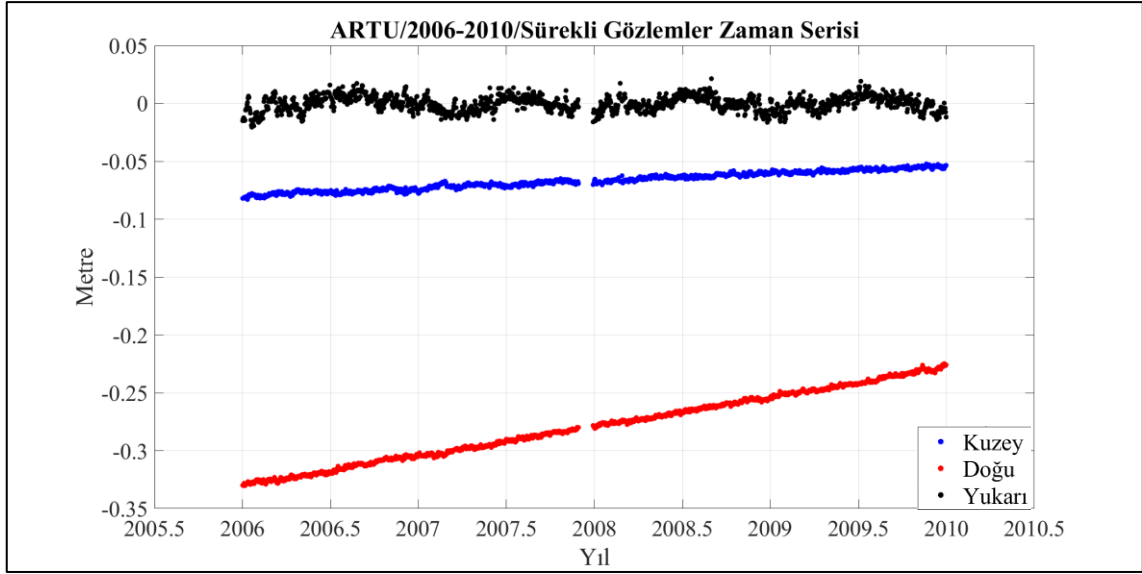
Şekil D. 21 ALIC istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2006-2010).



Şekil D. 22 SYDN istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).

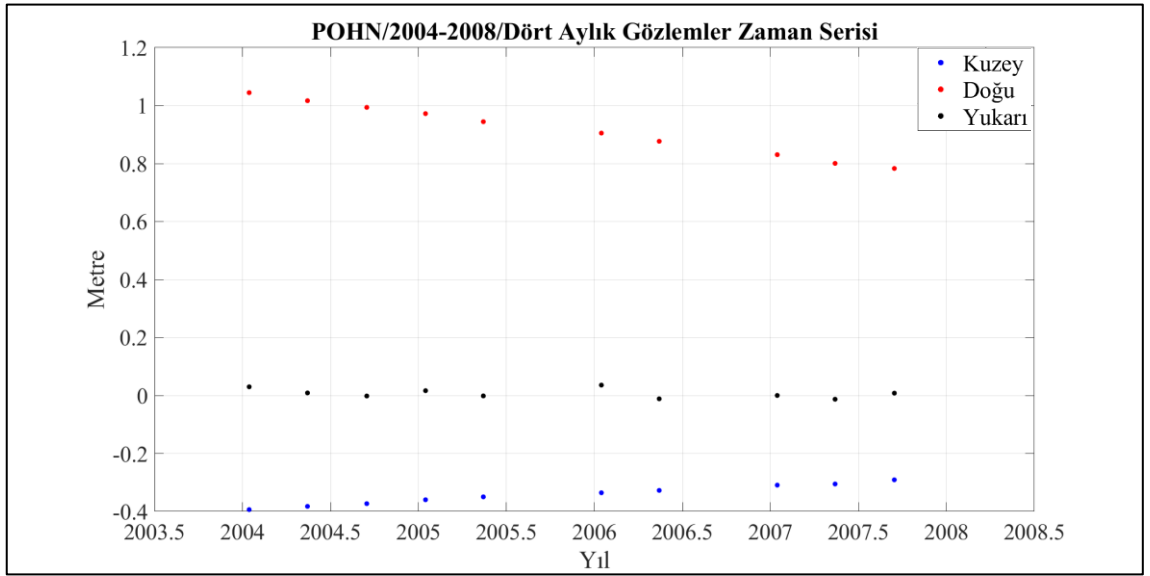
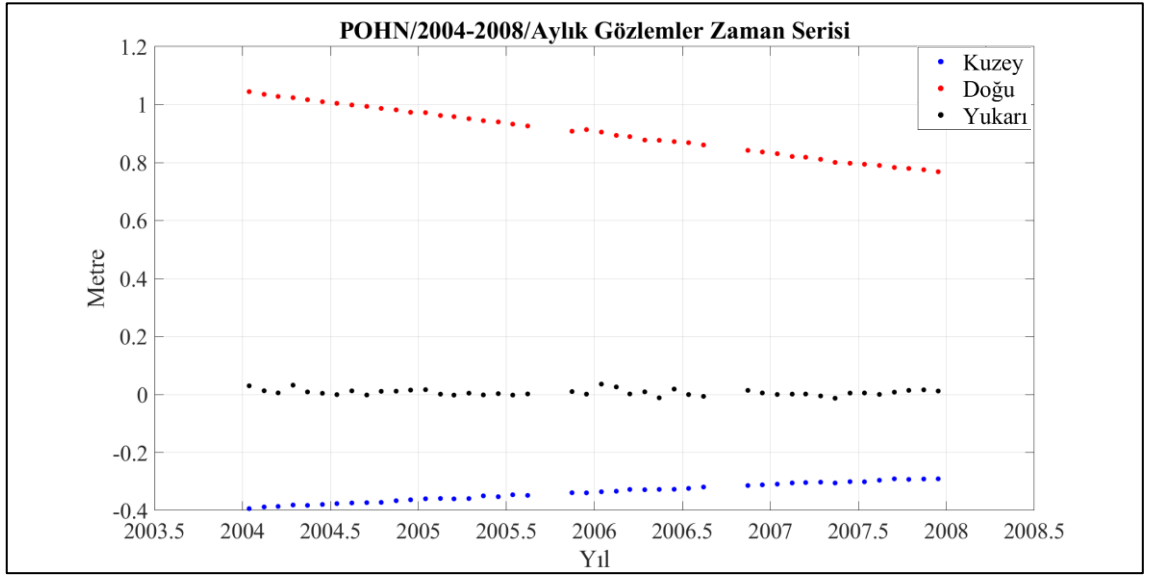
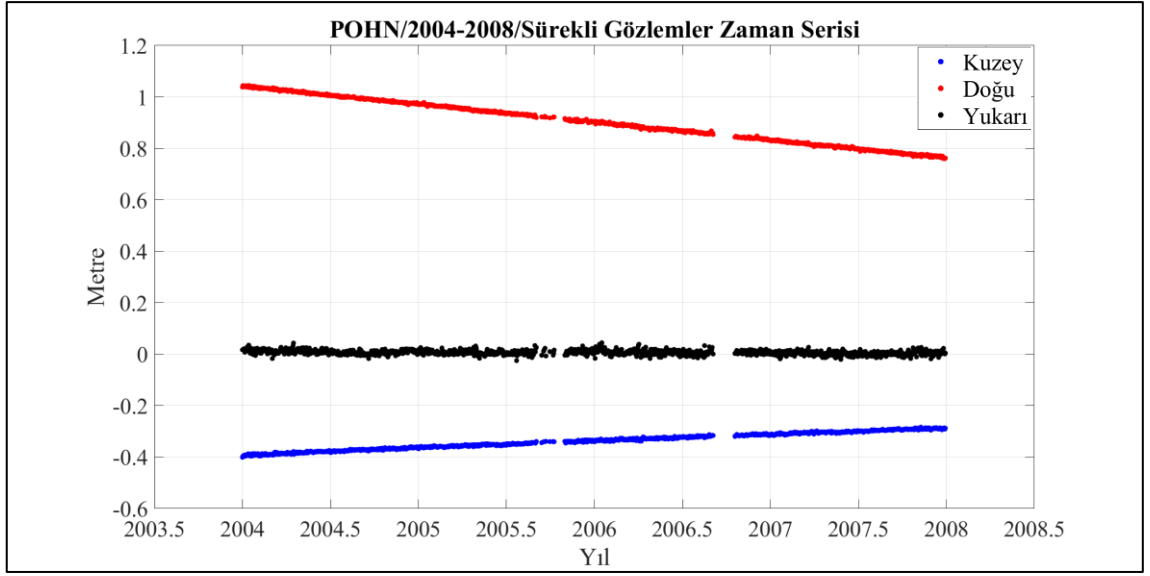


Şekil D. 23 GRAZ istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).

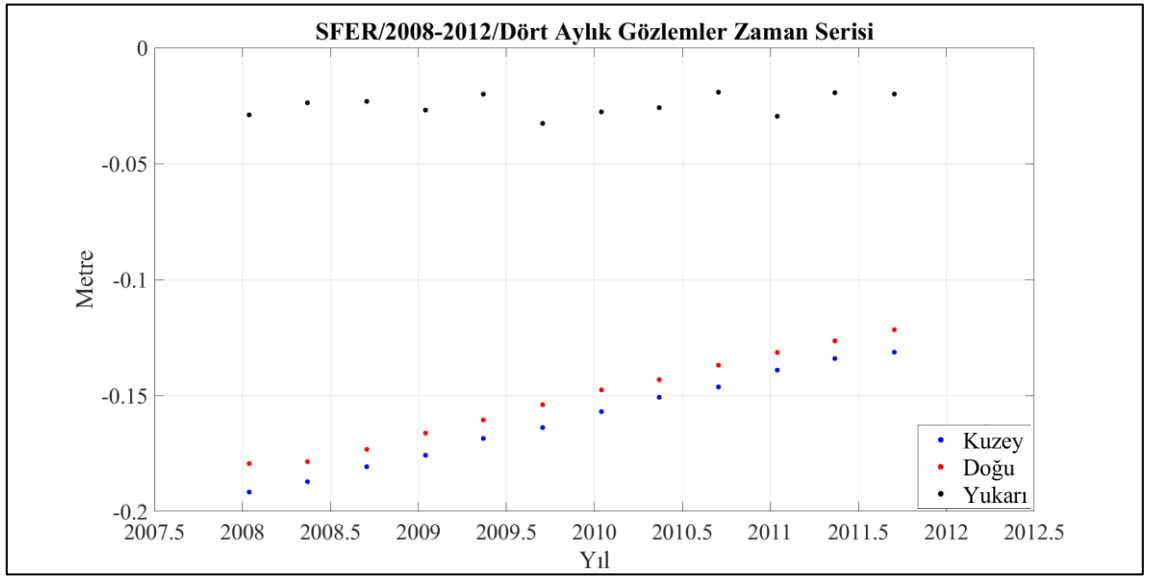
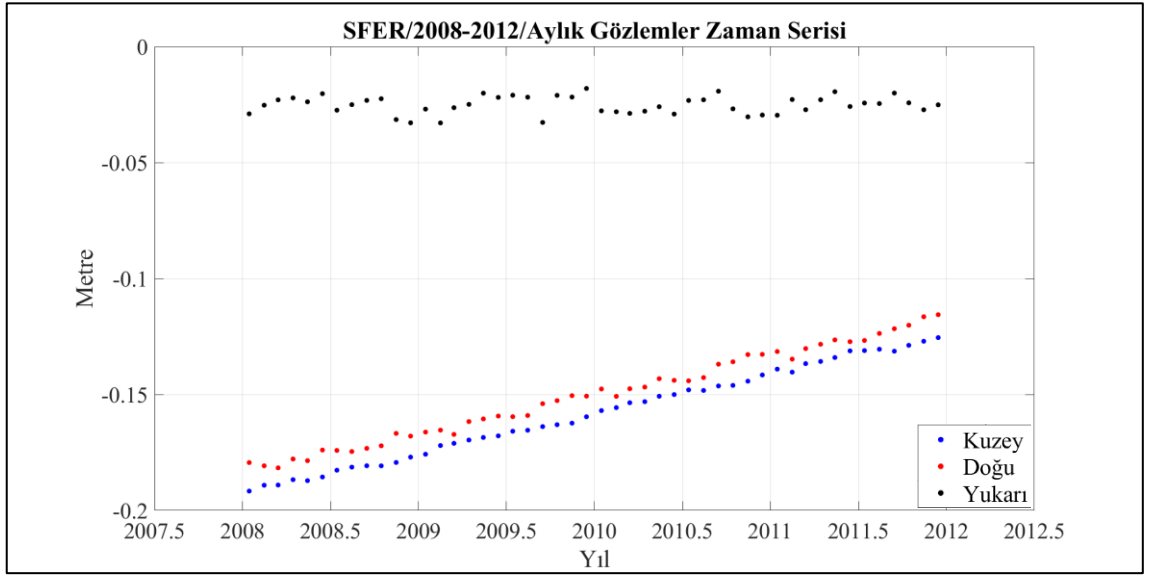
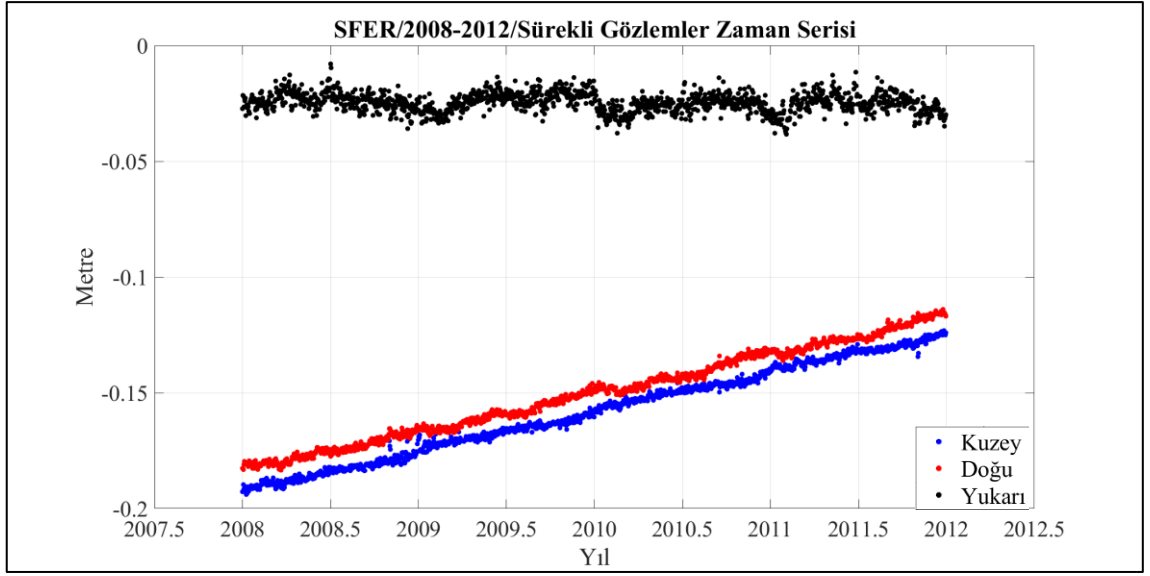


Şekil D. 24 ARTU istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2006-2010).

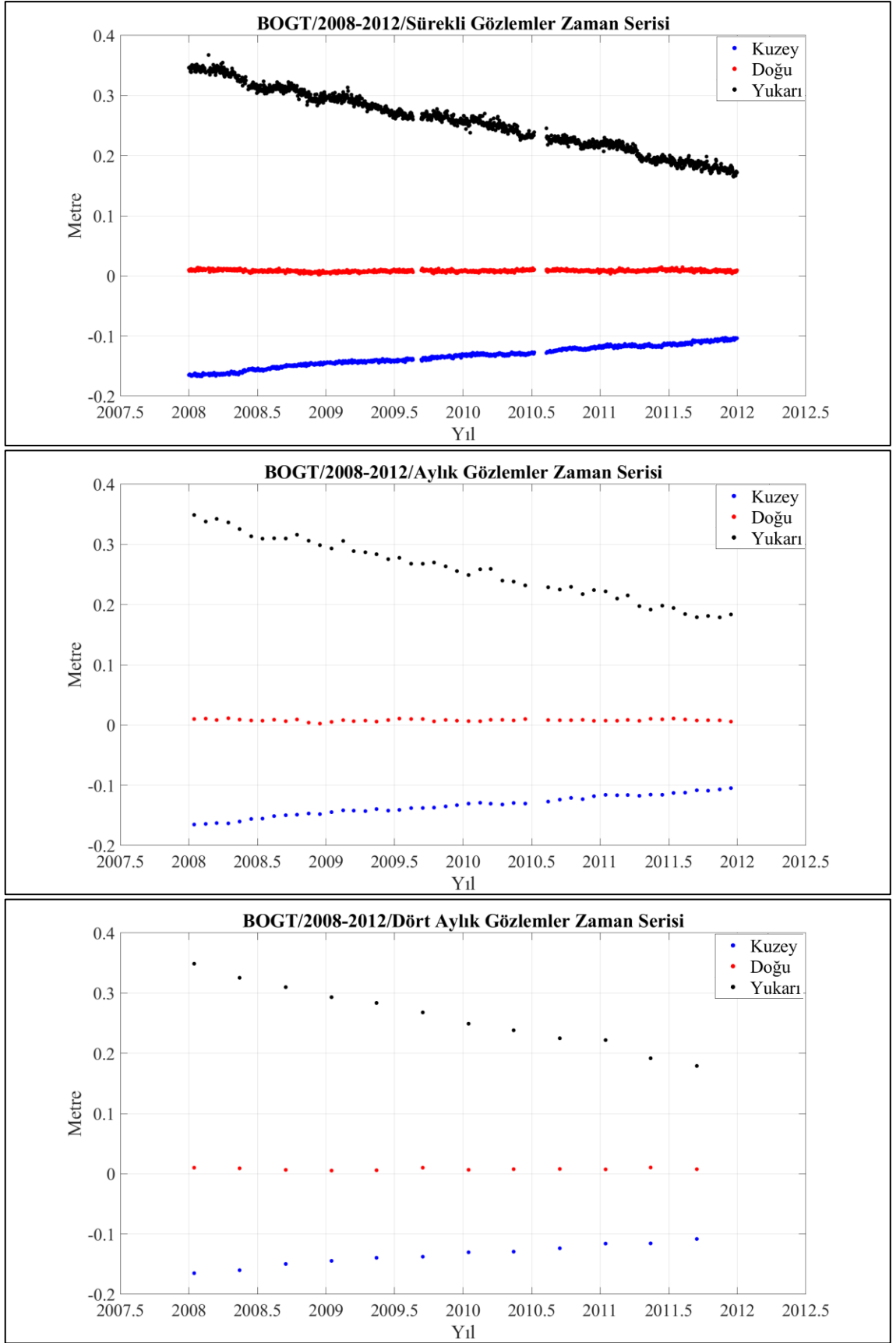




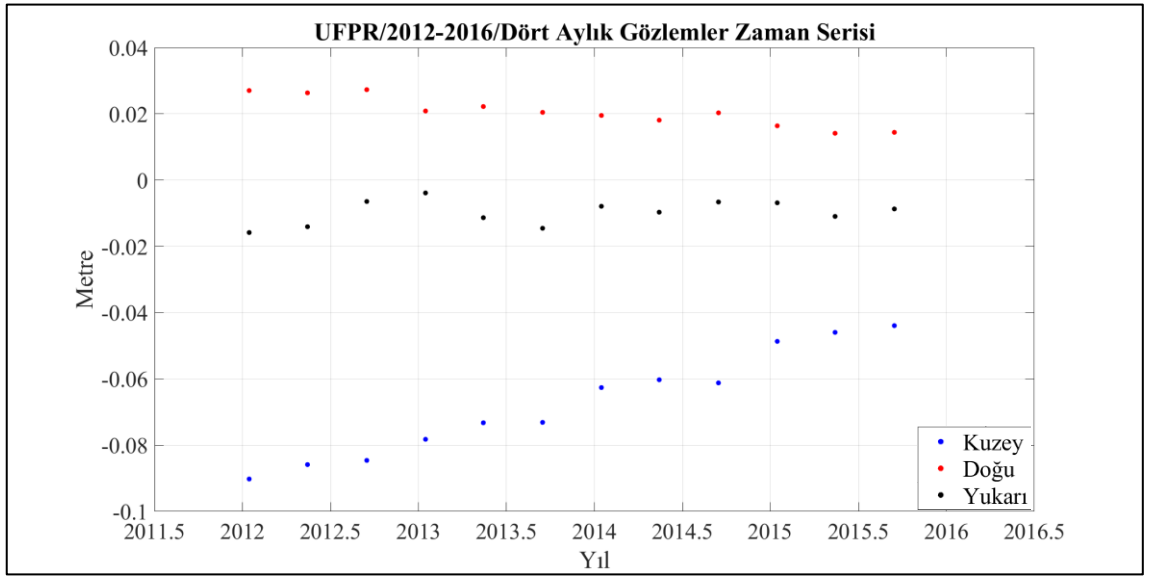
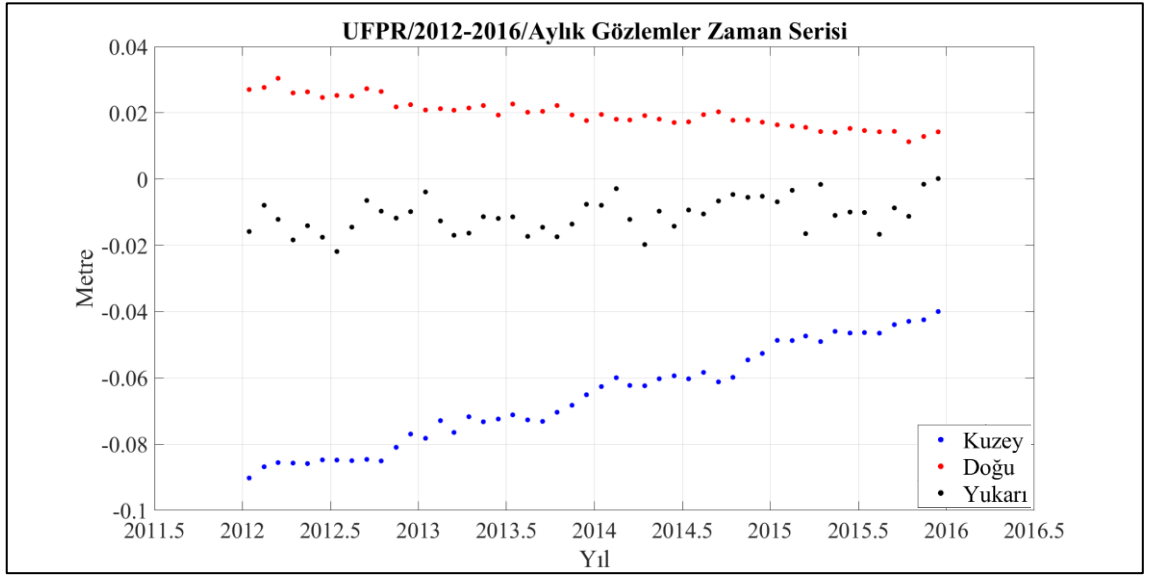
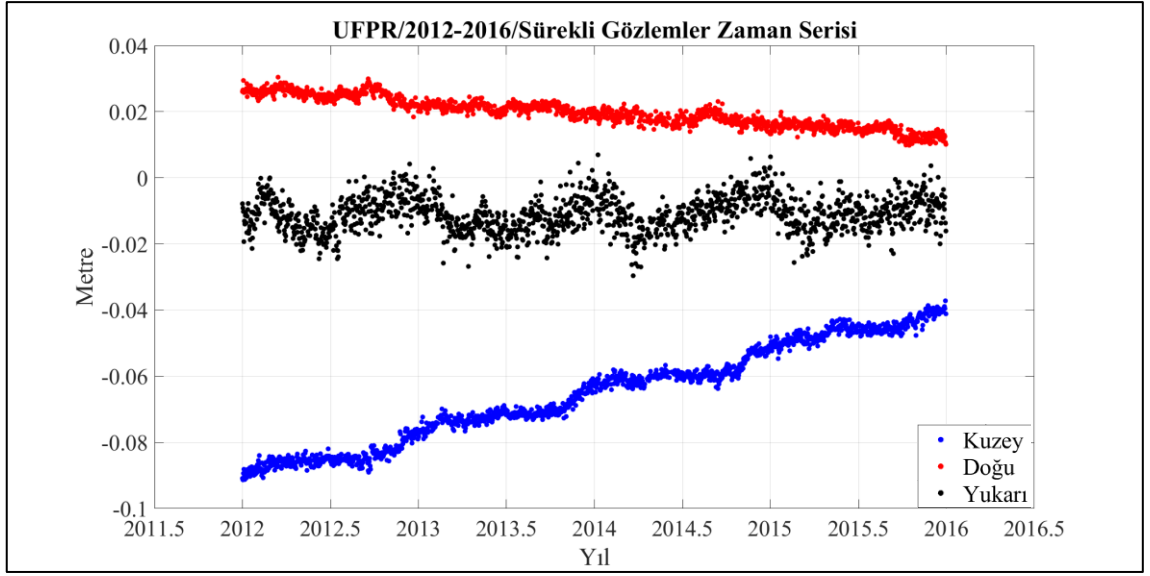
Şekil D. 25 POHN istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2004-2008).



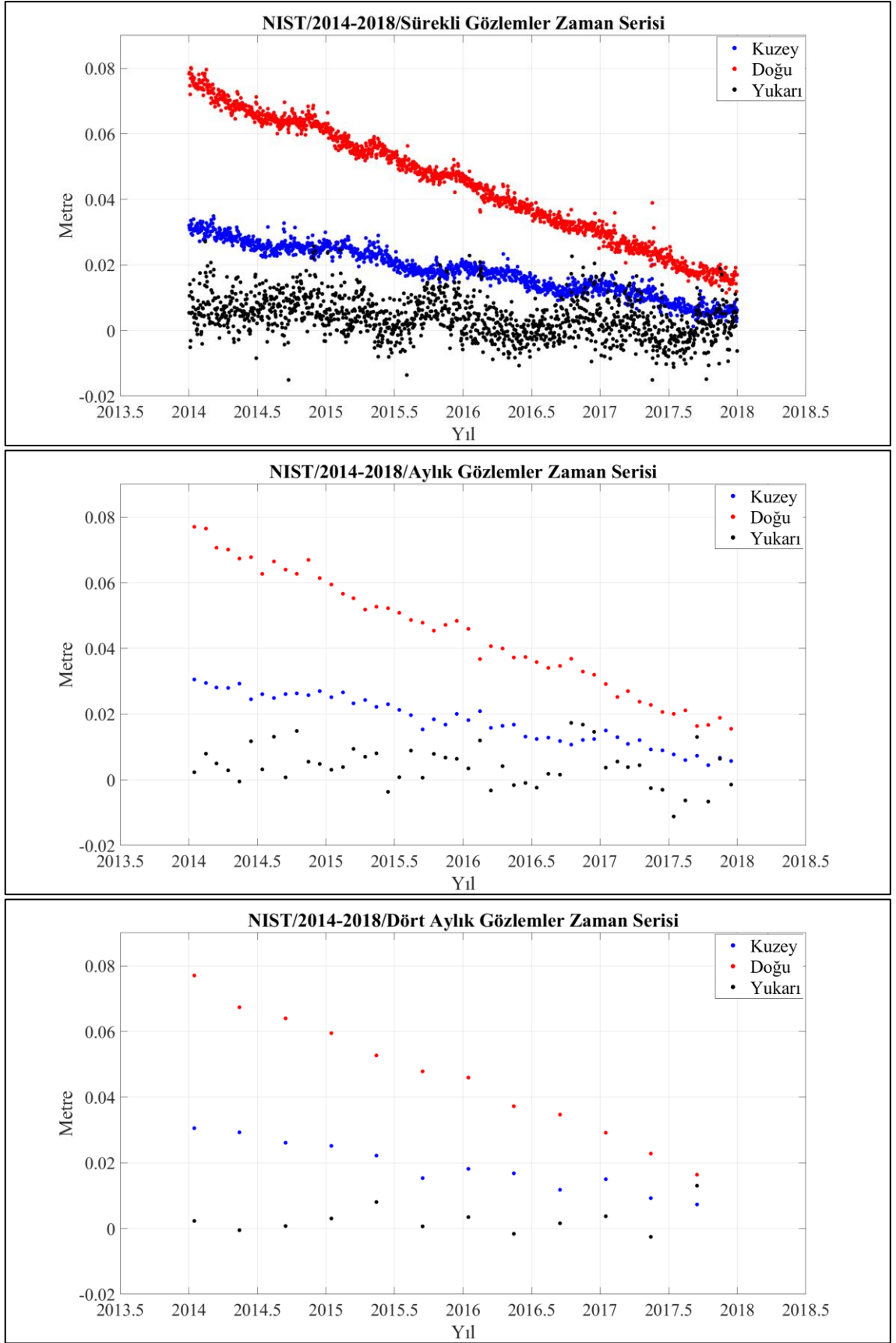
Şekil D. 26 SFER istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2008-2012).



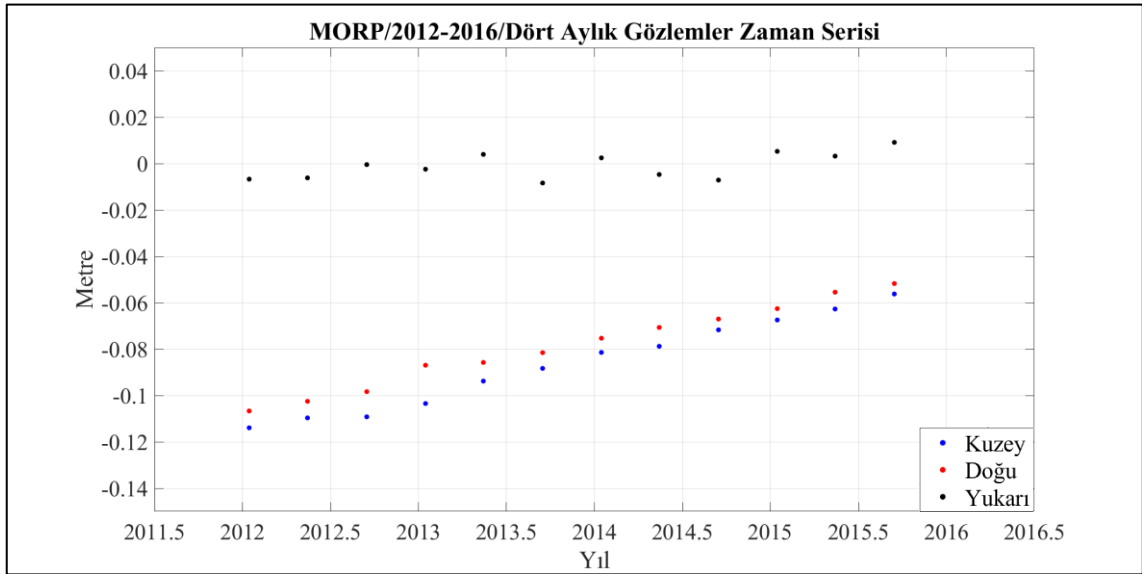
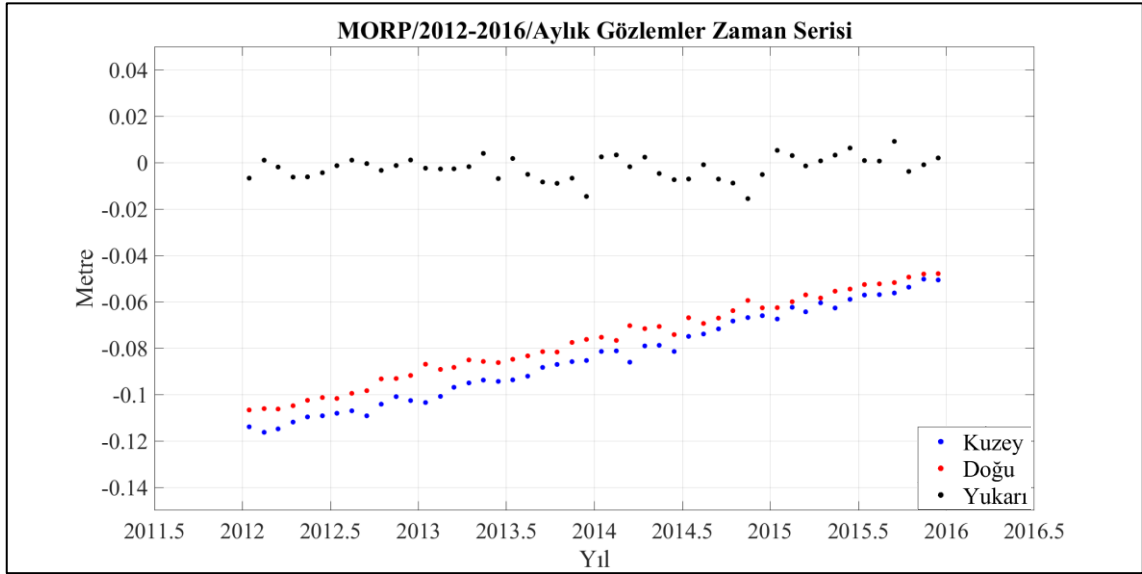
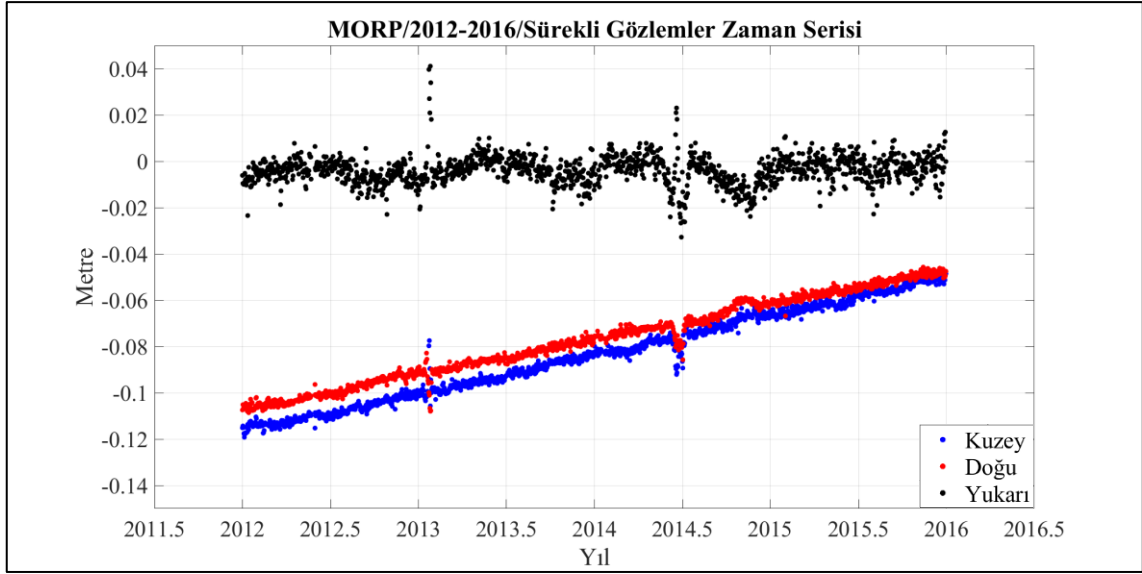
Şekil D. 27 BOGT istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2008-2012).



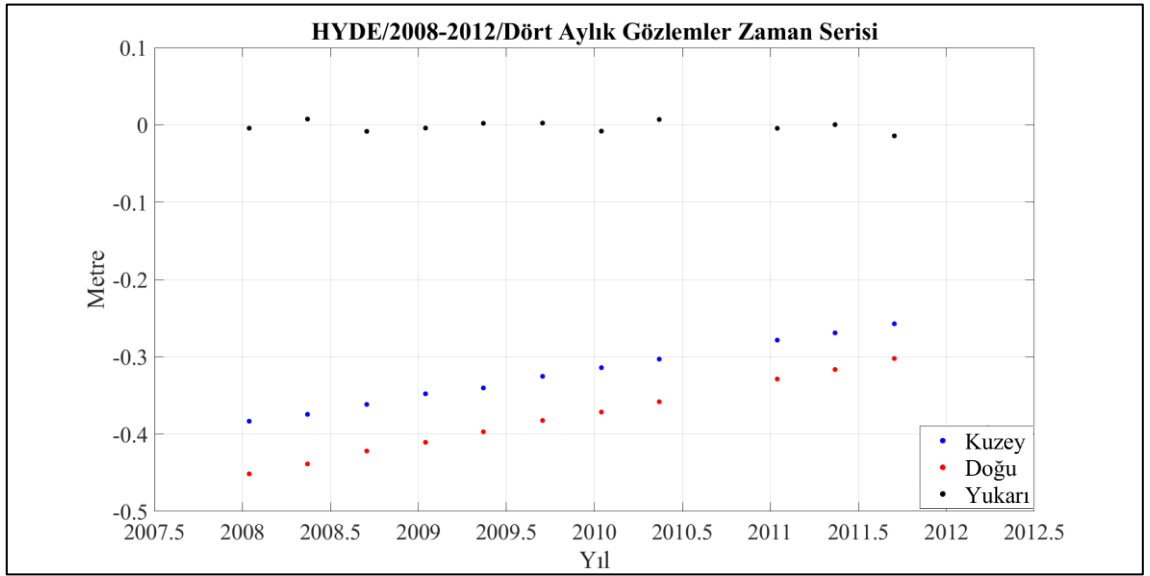
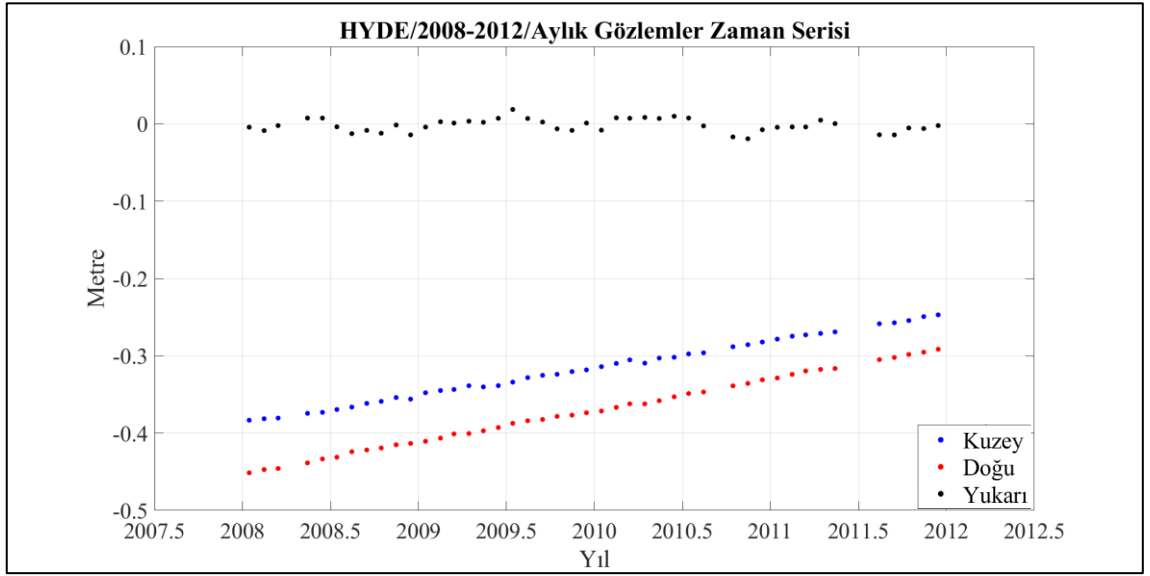
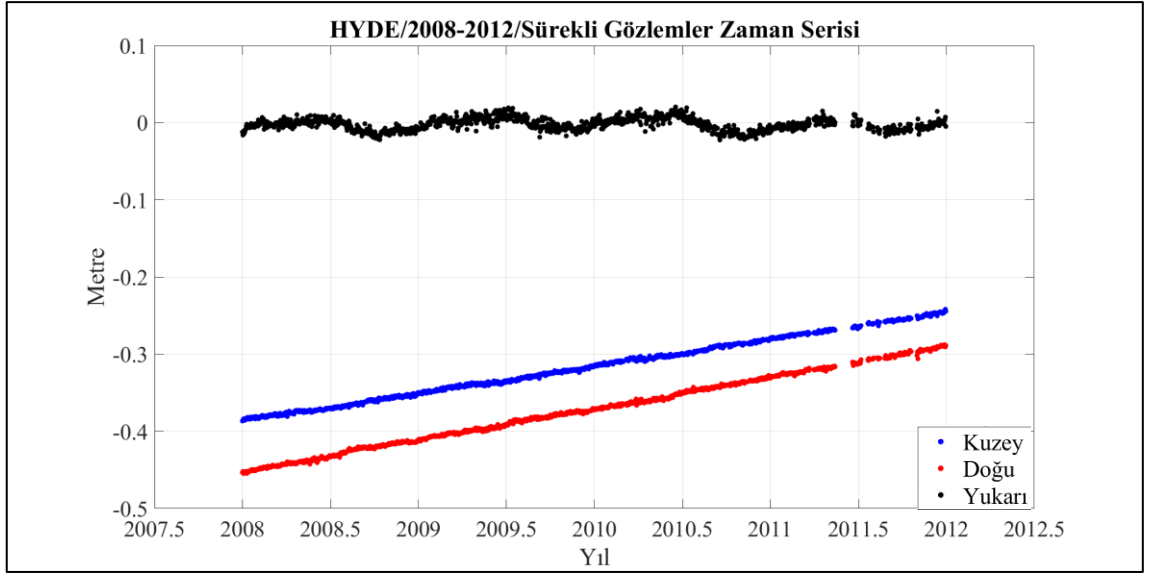
Şekil D. 28 UFPR istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



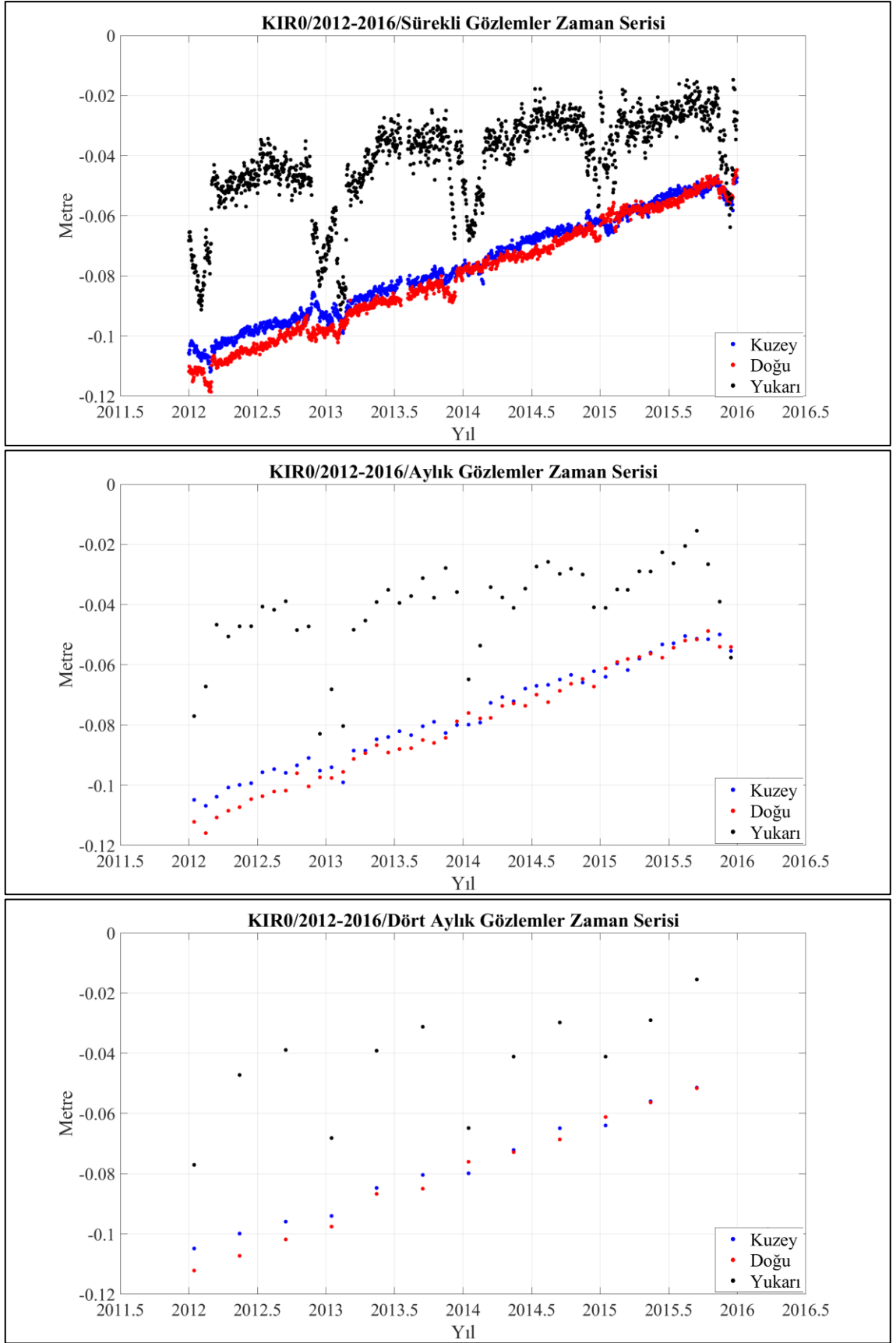
Şekil D. 29 NIST istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2014-2018).



Şekil D. 30 MORP istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).

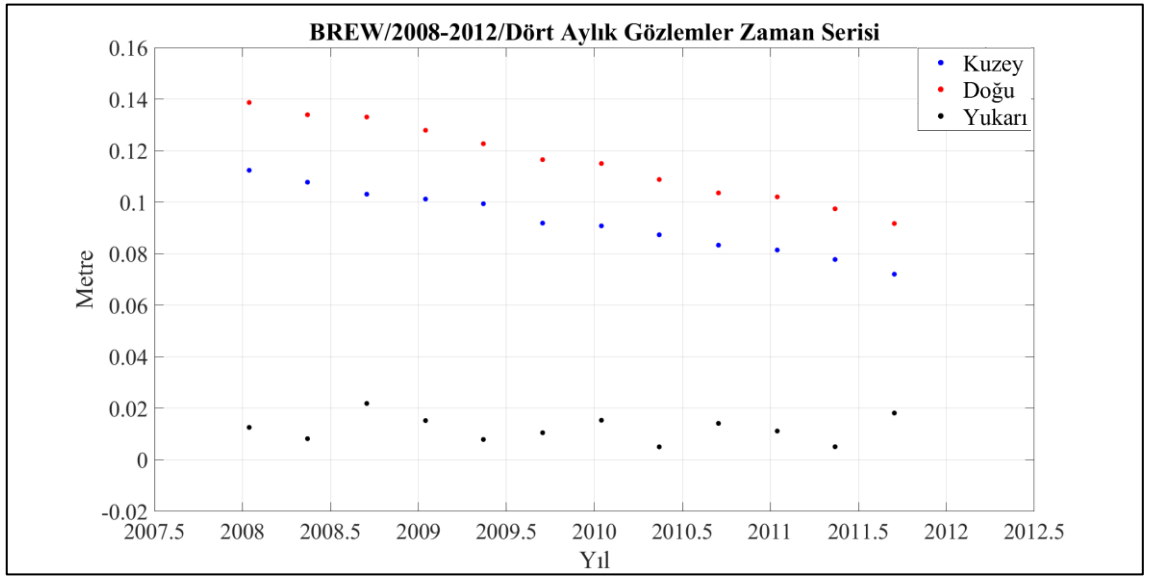
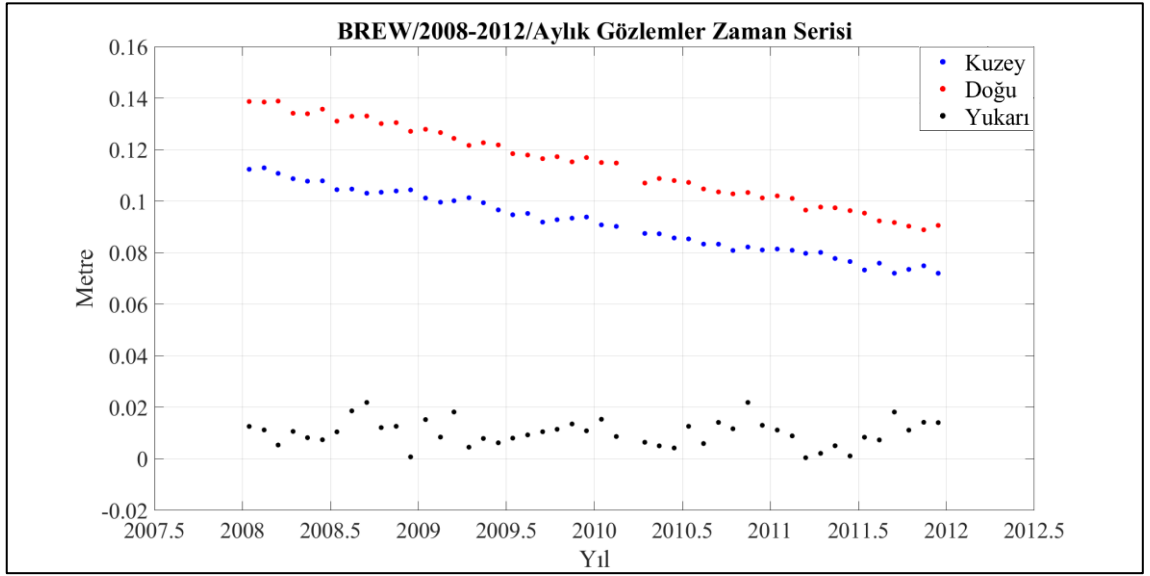
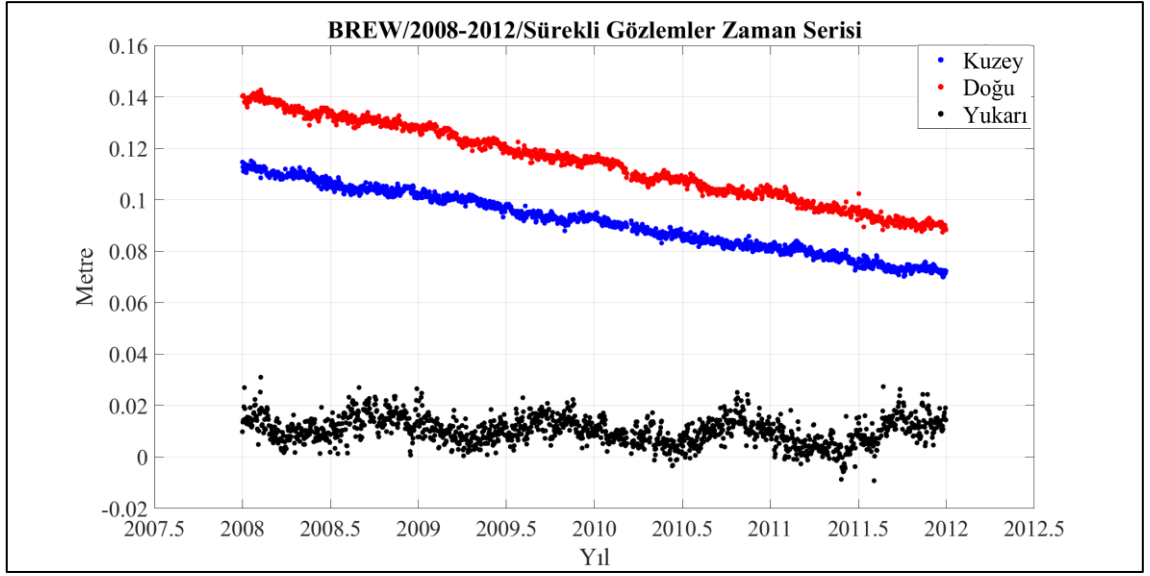


Şekil D. 31 HYDE istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2008-2012).

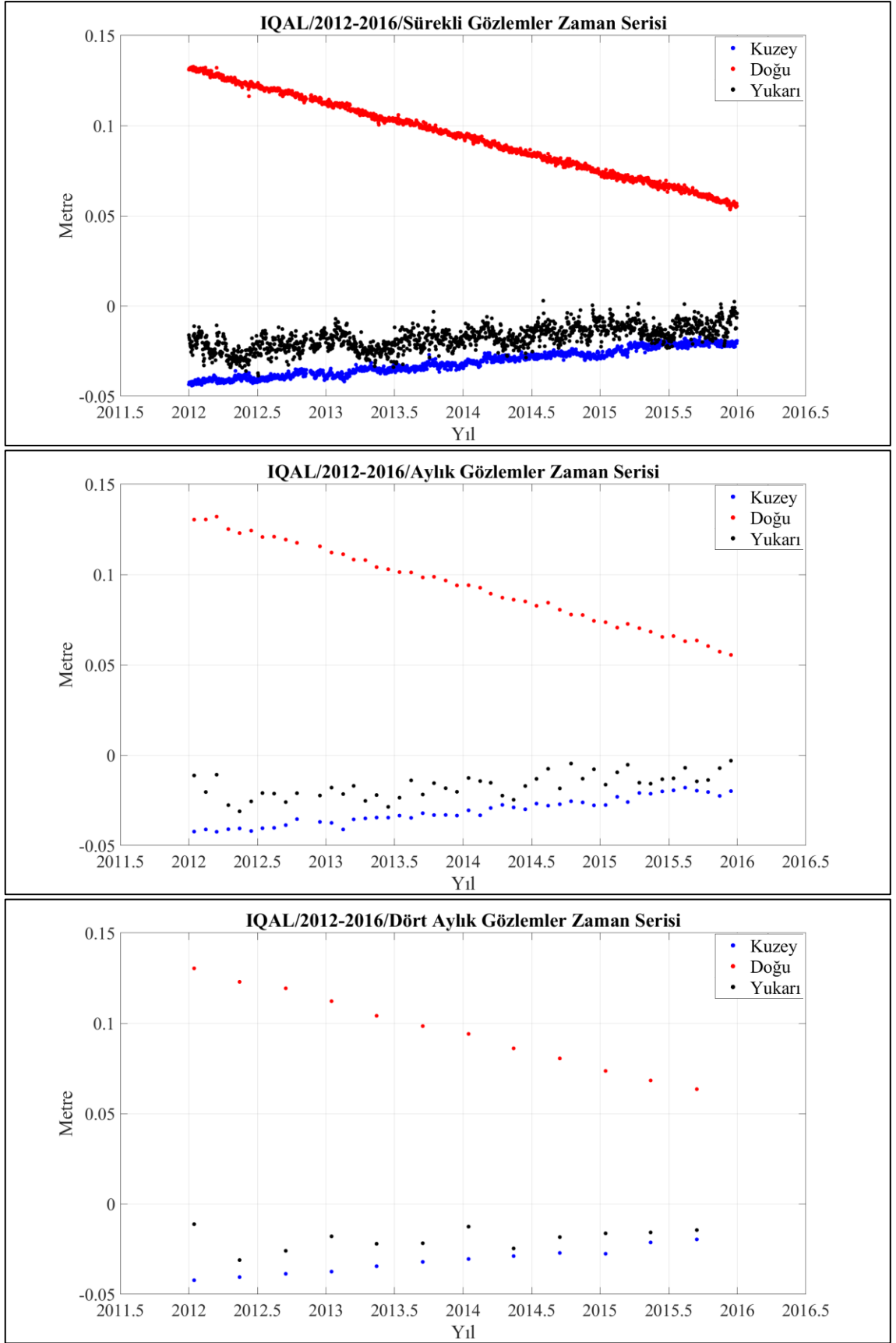


Şekil D. 32 KIRO istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).

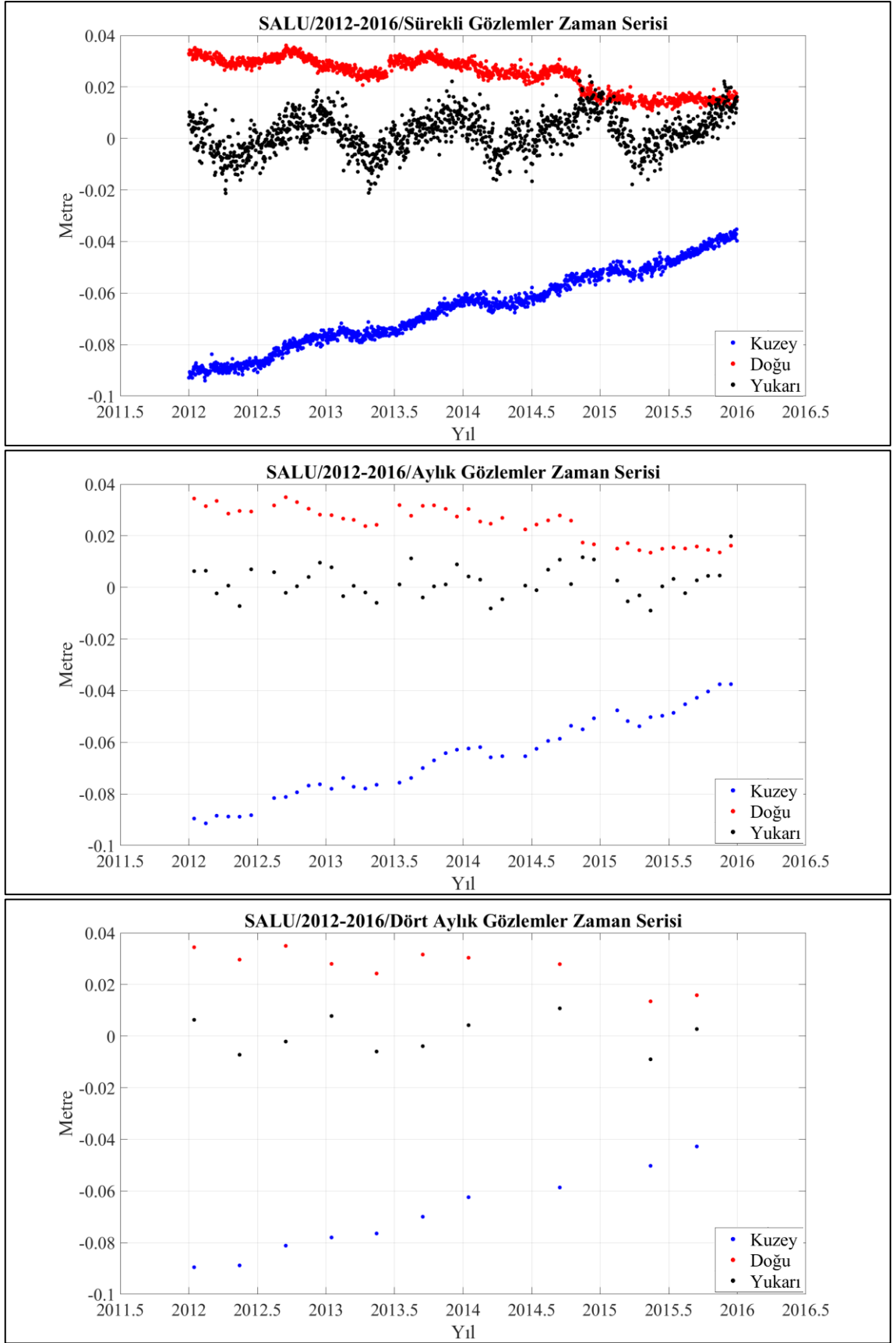




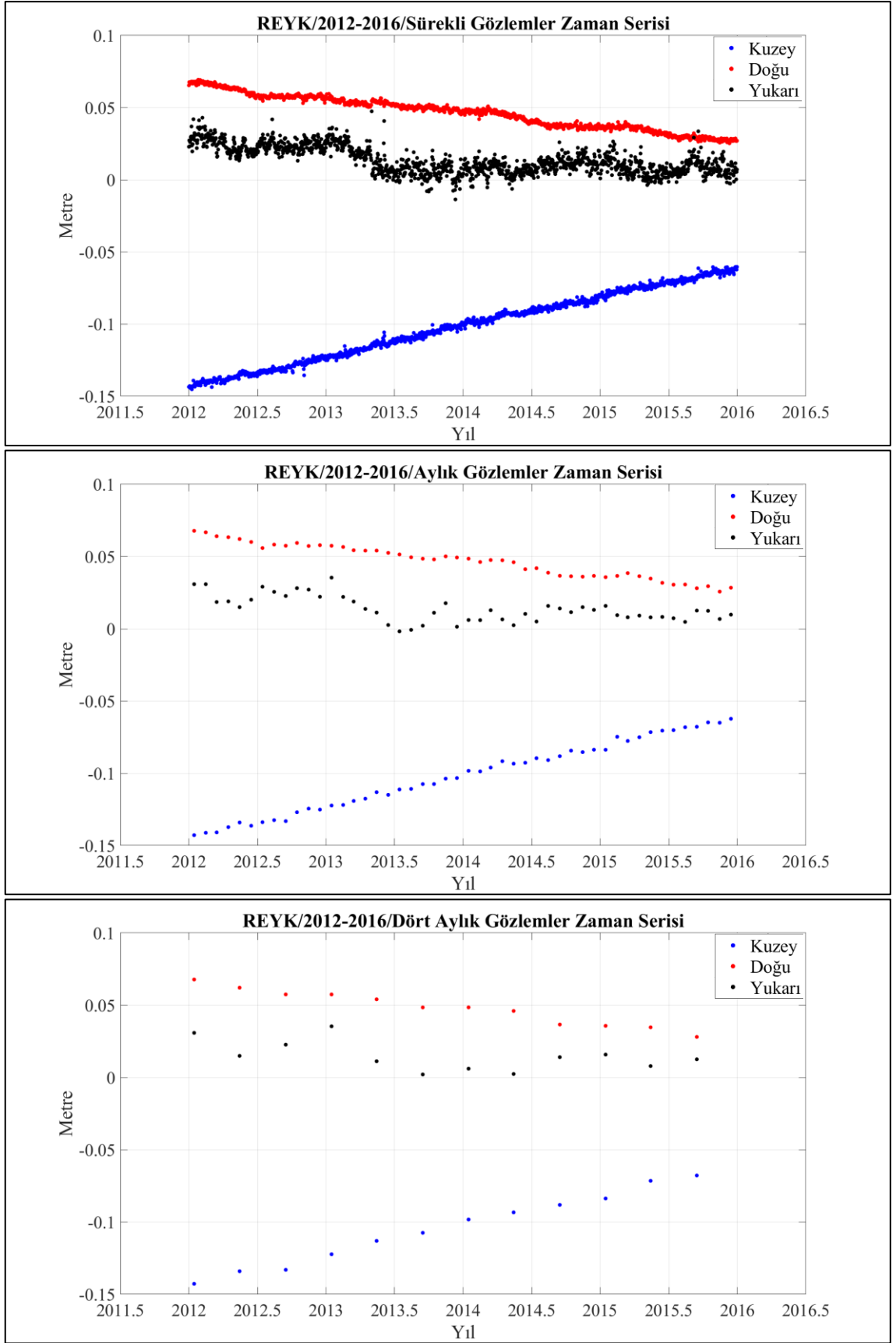
Şekil D. 33 BREW istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2008-2012).



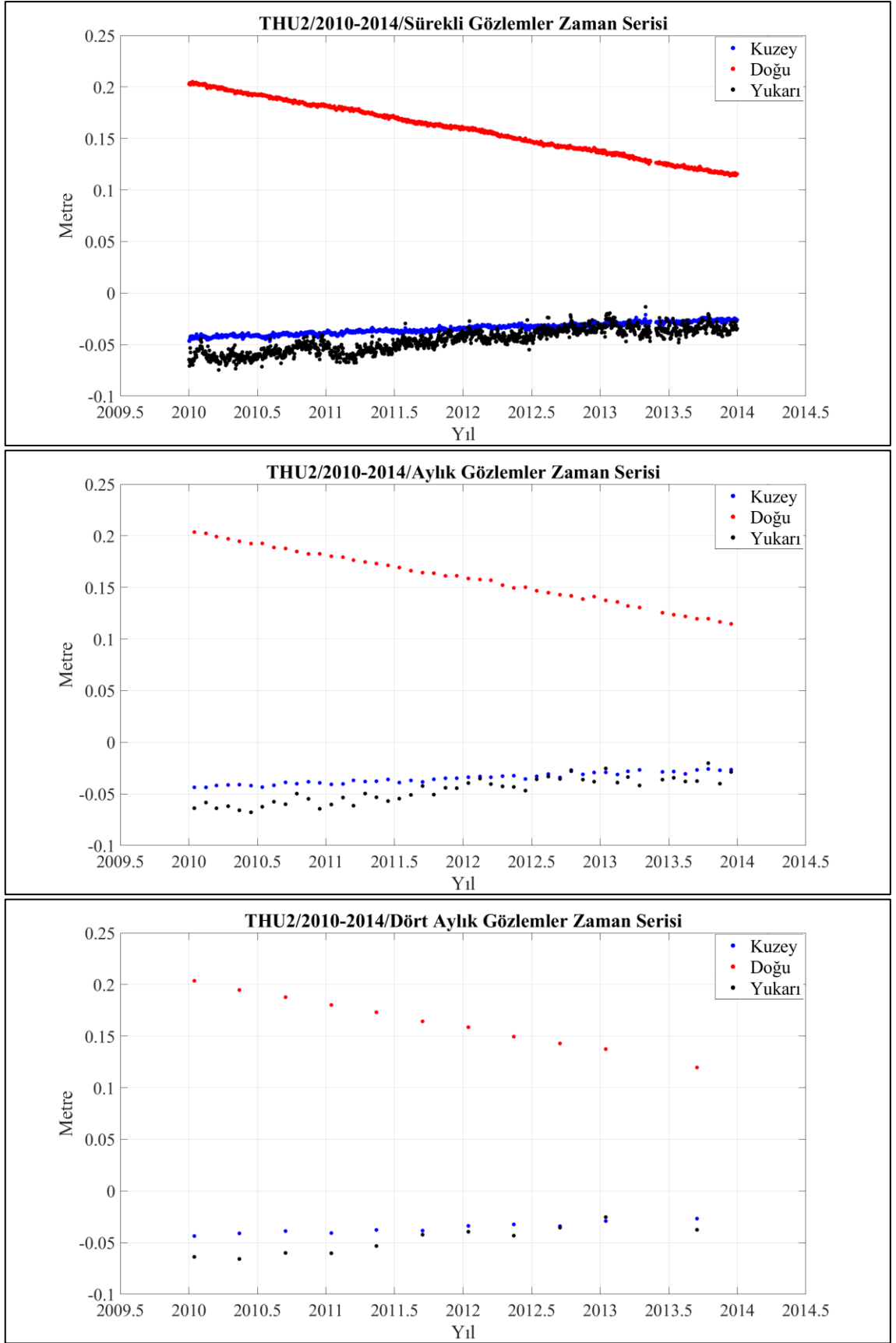
Şekil D. 34 IQAL istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



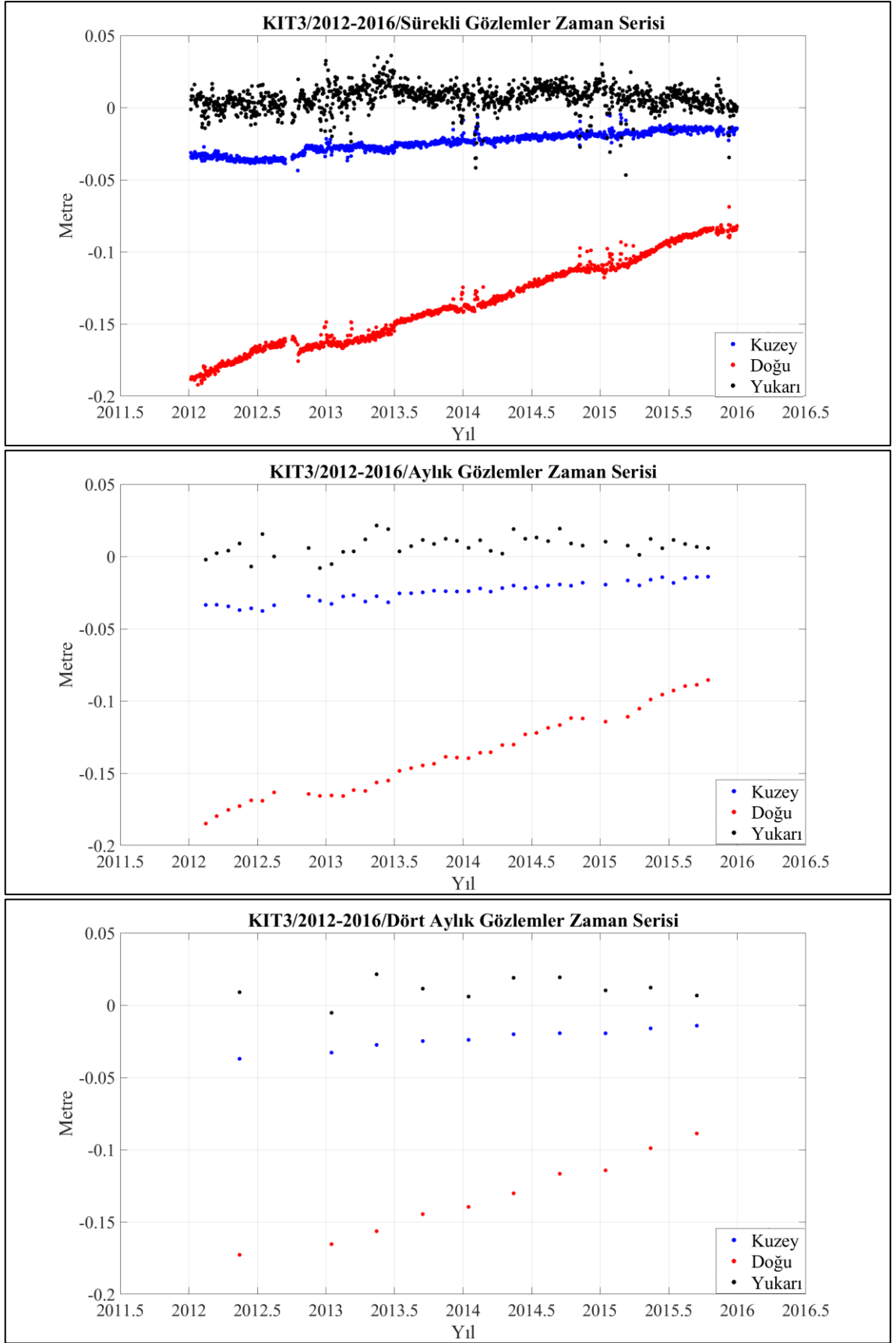
Şekil D. 35 SALU istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



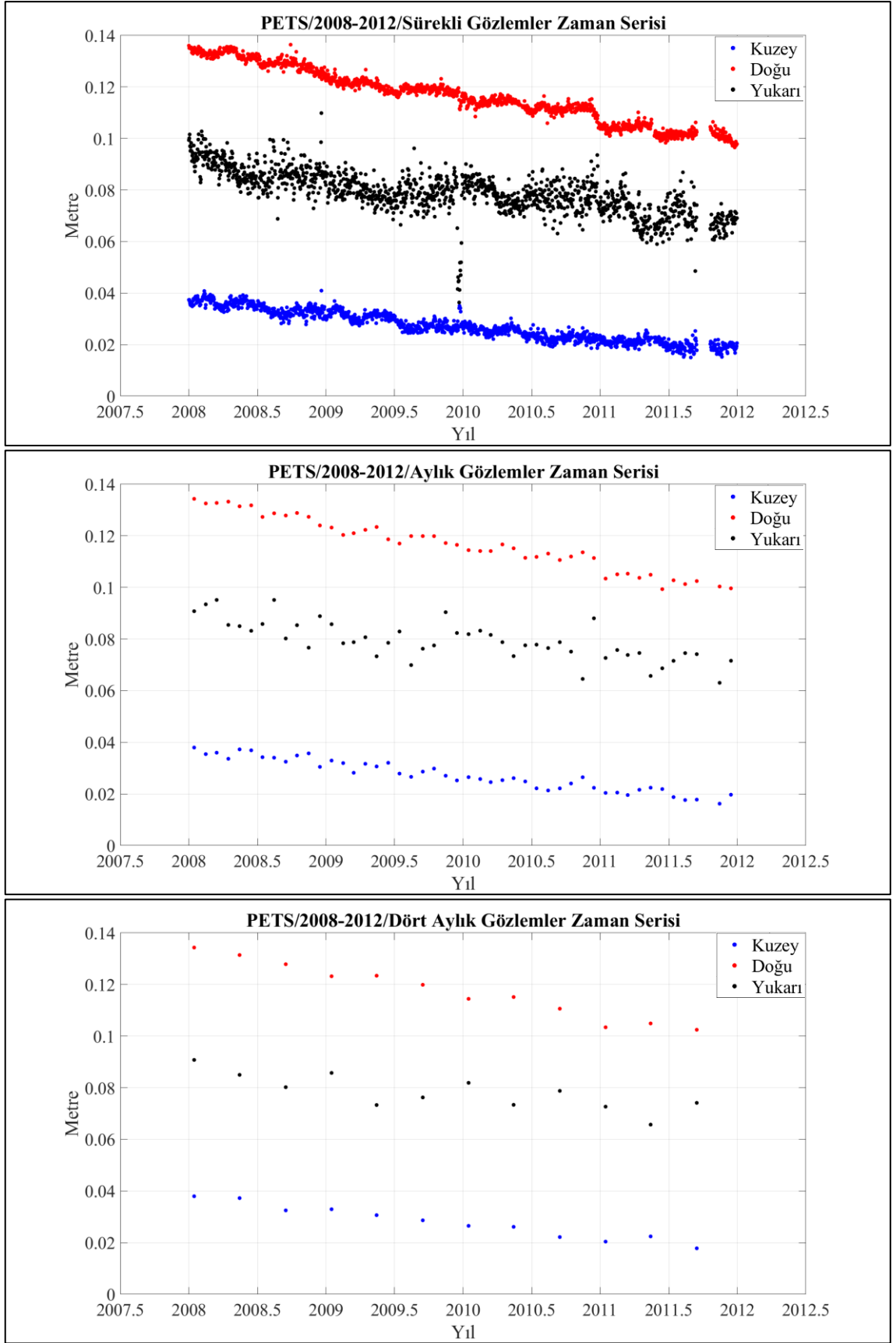
Şekil D. 36 REYK istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



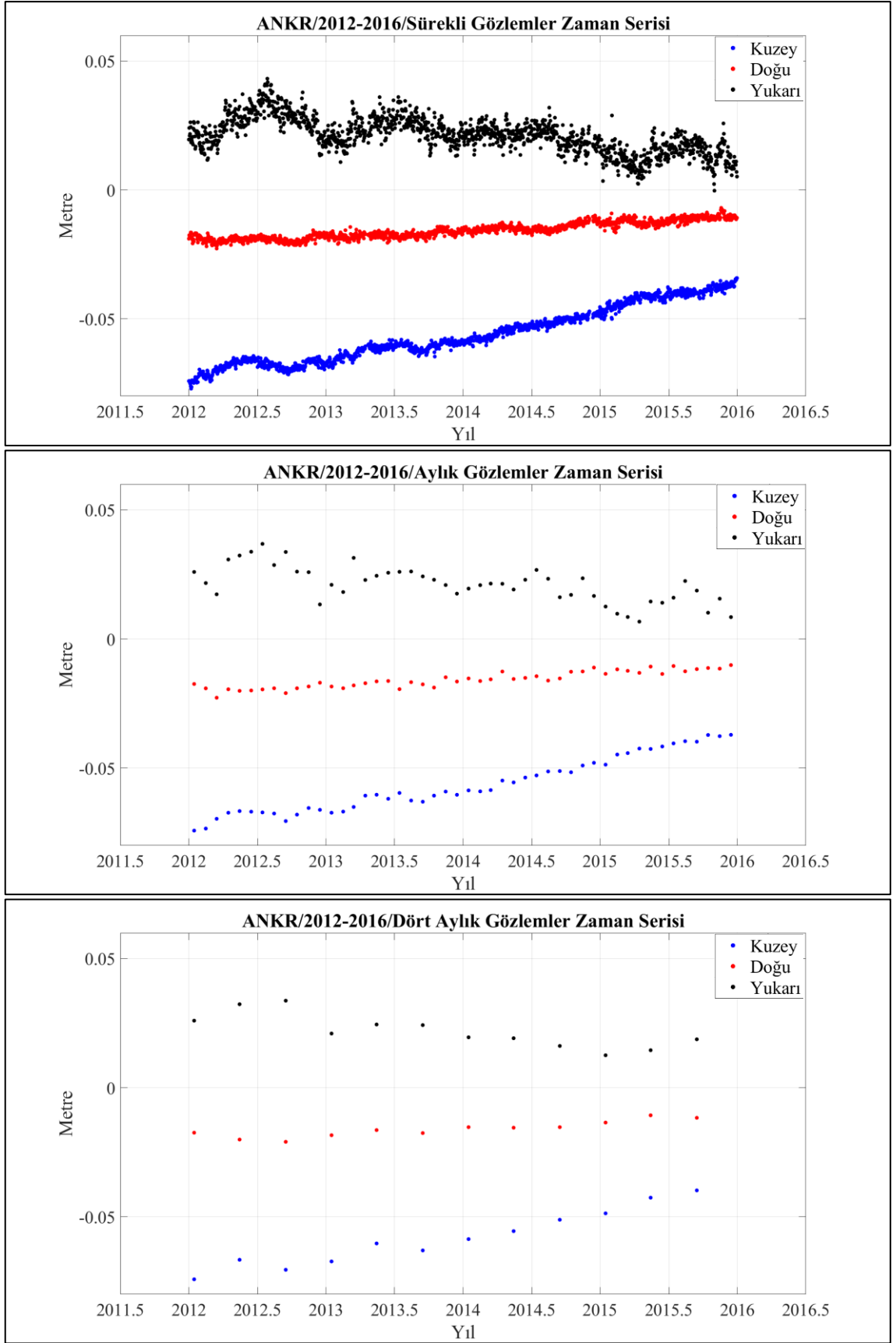
Şekil D. 37 THU2 istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2010-2014).



Şekil D. 38 KIT3 istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



Şekil D. 39 PETS istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2008-2012).



Şekil D. 40 ANKR istasyonu sürekli, aylık ve dört aylık zaman serileri (2012-2016).



## Örnek Kodlar

### Sürekli Gözlemler için North Bileşenine ait GPS gözlem dosyalarının GIPSY-OASIS II Yazılım Analizi Örnek Kodları:

```
gd2p.pl -i YnrO/algo3490.13o -n zeck -r 300 -type s -d 2013-12-15 -add_ocnId -OcnIdCpn
-tides WahrK1 PolTid FreqDepLove OctTid -trop_z_rw 5E-8 -wetzgrad 5E-9 -w_elmin 7
-post_wind 5.0E-3 5.0E-5 -orb_clk flinnR -arp -ion_2nd -amb_res 1 -stacov
```

### Sürekli Gözlemler için North Bileşenine ait Hızlı Fourier Dönüşümü ve Spektral Karakter Analizi Örnek Kodları:

```
load DALGO.txt
day= DALGO (:,1);
relNums= DALGO (:,2);
figure1 = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]);
axes1 = axes('Parent',figure1);
hold(axes1,'on');
plot(day,relNums,'Color',[0 0 0]);
xlabel('Year','FontWeight','bold','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
title('ALGO-2000/2016/Daily-North Component','FontSize',20);
ylabel('dNorth (m)','FontWeight','bold','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
xlim(axes1,[1999 2017]);
ylim(axes1,[-0.1 0.3]);
box(axes1,'on');
set(axes1,'FontName','Times New Roman','FontSize',20,'FontWeight','bold');
saveas(figure1,'1-ALGONorthDailyTimeSeries.png');
```

```
relNums=detrend(DALGO (:,2));
figure1 = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]);
axes1 = axes('Parent',figure1);
hold(axes1,'on');
plot(day,relNums,'Color',[0 0 0]);
xlabel('Year','FontWeight','bold','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
title('ALGO-2000/2016/Daily-North Detrend','FontSize',20);
```

```

ylabel('dNorth (m)','FontWeight','bold','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
xlim(axes1,[1999 2017]);
ylim(axes1,[-0.06 0.06]);
box(axes1,'on');
set(axes1,'FontName','Times New Roman','FontSize',20,'FontWeight','bold');
saveas(figure1,'2-ALGONorthDailyDetrend.png');

```

```

Y = fft(relNums);
Y(1)=[];

```

```

n=length(Y);
power = abs(Y(1:floor(n/2))).^2;
nyquist= 1/2;
freq= (1:n/2)/(n/2)*nyquist;
figure1 = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]);
axes1 = axes('Parent',figure1);
hold(axes1,'on');
plot(freq,power,'Color',[0 0 0]);
xlabel('Cycles/Day','FontWeight','bold','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
title('ALGO-2000/2016/Daily-North Component Periodogram','FontSize',20);
ylabel('Power (m^2/Cpd)','FontWeight','bold','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylim(axes1,[0 60]);
box(axes1,'on');
set(axes1,'FontName','Times New Roman','FontSize',20,'FontWeight','bold');
saveas(figure1,'3-ALGONorthDailyPeriodogram.png');

```

```

figure1 = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]);
axes1 = axes('Parent',figure1);
hold(axes1,'on');
plot(freq(1:1461),power(1:1461),'Color',[0 0 0]);
xlabel('Cycles/Day','FontWeight','bold','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
title('ALGO-2000/2016/Daily-North Component (1461 Day) Periodogram','FontSize',20);
ylabel('Power (m^2/Cpd)','FontWeight','bold','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylim(axes1,[0 60]);
box(axes1,'on');
set(axes1,'FontName','Times New Roman','FontSize',20,'FontWeight','bold');
saveas(figure1,'4-ALGONorthDailyPeriodogram1461Day.png');

```

```

period=1./freq;
figure1 = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]);
axes1 = axes('Parent',figure1);
hold(axes1,'on');

```

```

plot(period,power,'LineWidth',1.5,'Color',[0 0 0]);
axis([0 1461 0 60]);
xlabel('Day','FontWeight','bold','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
title('ALGO-2000/2016/Daily-North Componenet (1461 Day) Maximum
Period','FontSize',20);
ylabel('Power (m^2/Cpd)','FontWeight','bold','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylim(axes1,[0 60]);
box(axes1,'on');
set(axes1,'FontName','Times New Roman','FontSize',20,'FontWeight','bold');
saveas(figure1, '5-ALGONorthDailyMaxPeriod1461Day.png ');

```

```

close all;
clc;
clear;

```

### **Sürekli Gözlemler için North Bileşenine ait En Küçük Kareler Yaklaşımı ile Hız Kestirim Analizi Örnek Kodları:**

```

clear;
clc;
load DALGO.txt;
t0= DALGO(2922,1);
ti= DALGO(:,1);
t=ti-t0;
f=365.2/365.25;
w=2*pi*f;
l=ones(5844,1);
A=[l t sin(w*t) cos(w*t)];
fid = fopen('DALGOnA.txt','wt');
for ii = 1:size(A,1)
    fprintf(fid,'%5.12f\t',A(ii,:));
    fprintf(fid,'\n');
end
fclose(fid)

load DALGOnA.txt;
X=DALGOnA;
load DALGO.txt;
y=DALGO(:,2);
[b,bint,r,rint,stats]=regress(y,X);
[b,se_b,mse]=lscov(X,y);
t = b./se_b;

R=transpose(stats);
filename = 'ALGOLSE.xlsx';

```

```
xlswrite(filename,{'DAILY FFT'},'LSE','B2');  
xlswrite(filename,{'Estimated Parameters'},'LSE','B3');  
xlswrite(filename,b(:,1),'LSE','B4');  
xlswrite(filename,{'mse'},'LSE','B9');  
xlswrite(filename,mse(:,1),'LSE','B10');  
xlswrite(filename,{'Std.Er. of Est.Par.'},'LSE','B12');  
xlswrite(filename,se_b(:,1),'LSE','B13');  
xlswrite(filename,{'t-Statistics'},'LSE','B18');  
xlswrite(filename,t(:,1),'LSE','B19');  
xlswrite(filename,{'R-Square etc.'},'LSE','B24');  
xlswrite(filename,R(:,1),'LSE','B25');
```

```
close all;  
clc;  
clear;
```



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Yener TÜREN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 04.06.1983, Keşan  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : yenerturen@trakya.edu.tr – ynrrtrn@msn.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y.Lisans	Harita Mühendisliği	Selçuk Üniversitesi	2010
Lisans	Harita Mühendisliği	Selçuk Üniversitesi	2006
Lise	Fen	Edirne İlhami Ertem Lisesi	2001

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014-Halen	Trakya Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2011-2014	Düzce Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2006-2011	Özel Sektör	Harita Mühendisi

## **DOKTORA TEZİNDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLARI**

### **SCI-SCI Expanded İndeksli Uluslararası Makaleler**

1. Turen,Y., Sanli,D.U., (2019). "Accuracy of Deformation Rates from Campaign GPS Surveys Considering Extended Observation Session and Antenna Set-Up Errors", Remote Sensing, 11(10):1225.

### **Hakemli Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler**

1. Sanli,D.U., Turen,Y., (2019). "Optimizing the frequency of GNSS campaigns for cost effective and reliable site velocity estimation", General Assembly 2019 of the European Geosciences Union (EGU), 07-12 April 2019, Vienna/Austria.
2. Tekic,S., Turen,Y., Sanli,D.U., Arslan,E., (2018). "Spectral character of GNSS campaign measurements: impressions from an extended global network", General Assembly 2018 of the European Geosciences Union (EGU), 08-13 April 2018, Vienna/Austria.
3. Turen,Y., Sanli,D.U., (2017). "Spectral character of repeated GPS measurements", General Assembly 2017 of the European Geosciences Union (EGU), 23-28 April 2017, Vienna/Austria.

### **Hakemli Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler**

1. Turen,Y., Şanlı,D.U., (2017). "Kampanya GPS Ölçülerinin Spektral Karakteri", Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK-2017) Bilimsel Toplantısı, "Sabit GNSS İstasyonları Uygulamaları", 3-4 Kasım, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul/Türkiye.

## **DİĞER YAYINLARI**

### **Yazılan Ulusal Kitaplar veya Kitaplarda Bölümler**

1. İnce,H., Türen,Y., (2016) "Haritacılıkta Mesleki Hesaplamalar", ISBN No: 978-975-374-205-4, Yayın No: 183, Trakya Üniversitesi Matbaası, Edirne/Türkiye.

### **Yazılan Tez ve Seminerler**

1. Türen,Y., (2010). "Astrojeodezik Nivelman ile Yerel Jeoit Belirleme: Konya Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya/Türkiye.
2. Türen,Y., (2008). "Uluslararası Yersel Referans Sistemi ITRS ve Gerçekleşmesi", Yüksek Lisans Semineri, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya/Türkiye.
3. Türen,Y., vd., (2006) " Hassas Nivelman, GPS ve Global Jeopotansiyel Model Yardımıyla Gravite Alanı İle İlişkili Yükseklik Sistemlerinin Oluşturulması Üzerine Bir Uygulama ", Lisans Bitirme Ödevi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Harita Mühendisliği, Konya/Türkiye.

### **Hakemli Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler**

1. Turen,Y., Erol,T., (2018). "GPS Use in Sports Games ", I.International Congress of Physical Education, Sport, Recreation and Dance, 26-28 April, İstanbul/Turkey.
2. Erol,T., Turen,Y., (2018). "Geodesic Measurement Systems In Athletics", I.International Congress of Physical Education, Sport, Recreation and Dance, 26-28 April, İstanbul/Turkey.
3. Turen,Y., et.al, (2017). "Since Its Inception Analyses of CORS-TR Users on GIS Applications", International Symposium on GIS Applications in Geography & Geosciences , 18-21 October, Çanakkale/Turkey.

4. Turen,Y., Yonsel,M., (2017). "The Professional Behaviors of Exlibris Artists and Cartographers from Past to Present Day", XIII. European Conference on Social and Behavioral Sciences, 19-22 May, Sofia/Bulgaria.
5. Turen,Y., Yonsel,M, (2017). "A Different Approach to Impact of Garden of Eden Upon Humans and Its Geographical Position", XIII. European Conference on Social and Behavioral Sciences, 19-22 May, Sofia/Bulgaria.
6. Turen,Y., Ince,H., Turen,Z., (2017). "Neighbourhood Disputes in Graphical Map Sheet of Cadastre", 10th International Sinan Symposium, 27-28 April, Edirne/Turkey.
7. Turen,Y., Turen,Z., (2017). "Immovable Neighbourhood in Vertical Dimension & Necessity Of Cadastre in Three Dimension", 10th International Sinan Symposium, 27-28 April, Edirne/Turkey.
8. Turen,Y., et.al, (2016). "Determination of the Qiblah Direction in Closed Areas by Parallel Direction Method", International Scientific Conference On Applied Sciences, 27-30 September, Antalya/Turkey.

#### **Hakemli Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler**

1. Türen,Y., Üstün,A.,(2016). "Astrojeodezik Nivelmanda Astronomik Koordinatların Doğruluğunun Yerel Jeoit Belirlemeye Etkisi", Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu Çalıştayı, 3-4 Kasım, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul/Türkiye.
2. Türen,Y., İnce,H.,(2016). "Edirne Osmanlı Camilerinde Mobil ve Cors Uygulamalarıyla Kible Yönü Araştırması", TMMOB-HKMO 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 19-21 Ekim, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul/Türkiye.
3. Türen,Y., Üstün,A.,(2013). "Astrojeodezik Çekül Sapması Bileşenlerinin Kern DKM 3A ile Belirlenmesi: Konya Örneği", TMMOB-HKMO 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 14-17 Mayıs, Ankara/Türkiye.