

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

**MEVSİMSSEL DEĞİŞİMLERİN GNSS ÖLÇÜLERİYLE BELİRLENEN  
DEFORMASYON PARAMETRELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Recep Tayyib İRGÜREN**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Programı

Danışman

Prof. Dr. Uğur DOĞAN

Aralık, 2021

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

**Mevsimsel Değişimlerin GNSS Ölçüleriyle Belirlenen Deformasyon  
Parametreleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması**

Recep Tayyip İRGÜREN tarafından hazırlanan tez çalışması 16.12.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Geomatik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Uğur DOĞAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
Danışman

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Uğur DOĞAN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Semih ERGİNTAV, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nihat ERSOY, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Danışmanım Prof. Dr. Uğur DOĞAN sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “Mevsimsel Değişimlerin GNSS Ölçüleriyle Belirlenen Deformasyon Parametreleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Recep Tayyib İRGÜREN

İmza



*Aileme*

## TEŞEKKÜR

---

Bu tezin konusunun belirlenmesinden itibaren tezin tüm süreçlerinde yoğun programına rağmen engin bilgileriyle beni motive eden, yol gösteren, herhangi bir konuda benden desteğini esirgemeyen ve bilim dünyasında her zaman örnek alacağım sayın danışmanım Prof. Dr. Uğur Doğan hocama sonsuz saygılarımı sunarım. Tez çalışma sürem boyunca yazılım kullanımında, tezin içeriği hakkında ve tezimle ilgili birçok konuda bana yardımcı olan çok değerli hocam Arş. Gör. Alpay Özdemir'e teşekkür ederim. Yine tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Seda Özarpacı, Arş. Gör. Efe Turan Ayruk ve Yüksek Lisans öğrencisi İlay Farımaz'a teşekkür ederim.

Bu zamana kadar maddi ve manevi olarak her zaman yanımda olup hayatımı güzelleştiren sevgili babam Mehmet İrgüren'e, sevgili annem Pakize İrgüren'e ve ablalarım Emine Bilge ile Vildan Gündoğdu'ya sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Recep Tayyib İRGÜREN

# İÇİNDEKİLER

|  |             |
|--|-------------|
| <b>SİMGE LİSTESİ</b>   | <b>vi</b>   |
| <b>KISALTMA LİSTESİ</b>                                      | <b>vii</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>   | <b>viii</b> |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>   | <b>x</b>    |
| <b>ÖZET</b>  | <b>xi</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>  | <b>xiii</b> |
| <b>GİRİŞ</b>   | <b>1</b>    |
| 1.1 Literatür Özeti .....                                    | 1           |
| 1.2 Tezin Amacı .....  | 5           |
| 1.3 Hipotez .....  | 5           |
| <b>GNSS VE HATA KAYNAKLARI</b>                               | <b>7</b>    |
| 2.1 Küresel Konum Belirleme Sistemleri .....                 | 7           |
| 2.2 GNSS Sinyal Yayılma Süresinin Ölçülmesi .....            | 8           |
| 2.3 GNSS Ölçme Prensipleri ve Sinyal Yapısı .....            | 10          |
| 2.4 Geleneksel Hata Kaynakları .....                         | 11          |
| 2.4.1 Uydu Saat Hatası .....                                 | 11          |
| 2.4.2 Uydu Yörünge Hataları .....                            | 11          |
| 2.4.3 Atmosferik Etkiler .....                               | 12          |
| 2.5 Çok Yolluluk (Multipath) Etkisi .....                    | 15          |
| <b>DEFORMASYON PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ</b>             | <b>17</b>   |
| 3.1 Global Eşdeğerlilik Testi .....                          | 18          |
| 3.2 Deformasyon Büyüklüklerinin Belirlenmesi .....           | 19          |
| 3.3 Gerinim Analizi .....                                    | 20          |
| <b>UYGULAMA</b>  | <b>24</b>   |
| 4.1 GNSS Ölçmeleri .....                                     | 24          |
| 4.2 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi .....                 | 27          |
| 4.3 Hız Alanlarının Belirlenmesi .....                       | 42          |
| 4.3.1 Koordinatlara Göre Hız Modeli .....                    | 42          |
| 4.3.2 Koordinat Farklarına Göre Oluşturulan Hız Modeli ..... | 43          |
| 4.3.3 Çalışmada Kullanılan Hız Modeli .....                  | 44          |
| 4.4 Gerinim Miktarlarının Belirlenmesi .....                 | 54          |
| <b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b>                                     | <b>60</b>   |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| <b>KAYNAKÇA</b>                  | <b>62</b>  |
| <b>A GÜNLÜK TEKRARLILIKLAR</b>   | <b>66</b>  |
| <b>B ZAMAN SERİLERİ</b>          | <b>82</b>  |
| <b>C TSVIEW ÇİZİMLERİ</b>        | <b>94</b>  |
| <b>TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR</b> | <b>106</b> |



## SİMGE LİSTESİ

---

|                  |   |
|------------------|---|
| $\alpha$         | Anlamlılık düzeyi   |
| $u$              | Bilinmeyen Sayısı   |
| $\omega$         | Dönüklük  |
| $v$              | Düzeltilmeler vektörü   |
| $\Omega$         | Düzeltilmelerin kareleri toplamı                                  |
| L1, L2           | GPS Uydu sinyalleri   |
| $c$              | Işık hızı   |
| $H_K$            | Karşıt hipotez  |
| $H_K$            | Karşıt hipotez  |
| $A$              | Katsayılar Matrisi  |
| $d$              | Konum değişim vektörü   |
| $Q_{dd}$         | Konum değişim vektörünün ağırlık katsayılar matrisi               |
| $\epsilon_{max}$ | Maksimum asal gerinim   |
| $\Phi$           | Maksimum gerinim yönü   |
| $\epsilon_{min}$ | Minimum asal gerinim  |
| $\gamma_2$       | Mühendislik kayması   |
| $dN, dE, dU$     | N,E,U yönündeki koordinat değişimleri                             |
| $n$              | Ölçü sayısı   |
| $l$              | Ölçüler vektörü   |
| $P$              | Pseudo uzaklık kod gözlemi  |
| $\gamma_1$       | Saf kayma   |
| $H_0$            | Sıfır hipotezi  |
| $\Delta t$       | Sinyalin alıcıya vardığı zaman ile alıcıdan çıktığı zamanın farkı |
| $T$              | Test büyüklüğü  |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|        |   |
|--------|---|
| CDMA   | Kod Ayrımlı Çoklu Erişim  |
| D-B    | Doğu-Batı   |
| EPN    | Avrupa Sürekli GNSS Ağı (EUREF Permanent GNSS Network)          |
| FDMA   | Faz Ayrımlı Çoklu Erişim  |
| GMT    | Genel Haritalama Araçları Programı (General Mapping Tools)      |
| GNSS   | Küresel Navigasyon Sistemi (Global Navigation Satellite System) |
| GPS    | Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)           |
| IGS    | Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service)          |
| ITRF   | International Terrestrial Reference Frame                       |
| KAF    | Kuzey Anadolu Fayı  |
| K-G    | Kuzey-Güney   |
| NEU    | North, East, Up   |
| PRN    | Pseudo Düzensiz Gürültü (Pseudo Random Noise)                   |
| RINEX  | Receiver Independent Exchange                                   |
| RMS    | Root Mean Square  |
| TEC    | Toplam Elektron Yoğunluğu                                       |
| TUSAGA | Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı                                   |

## ŞEKİL LİSTESİ

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Şekil 1.1  | Maksimum koordinat değişimleri olan istasyonlar .....  | 2  |
| Şekil 2.1  | GNSS konum belirleme mantığı .....   | 8  |
| Şekil 2.2  | Kısa tekrarlayan PRN kodu .....  | 8  |
| Şekil 2.3  | Mesafe ölçümü .....  | 9  |
| Şekil 2.4  | GNSS sinyal yapısı.....  | 10 |
| Şekil 2.5  | Uydu yörünge hatası .....  | 12 |
| Şekil 2.6  | 2009-2021 Yılları Arası Güneş Lekesi Aktivite Sayısı.....  | 14 |
| Şekil 2.7  | Atmosferin katmanları.....   | 15 |
| Şekil 2.8  | Çok yolluluk hatası .....  | 16 |
| Şekil 3.1  | Deformasyon öncesi ve sonrası durum.....   | 22 |
| Şekil 3.2  | Gerinim elipsoidi $\text{sign}\lambda_1 = \text{sign}\lambda_2$ , a) Genişleme, b) Sıkışma .....   | 22 |
| Şekil 3.3  | Gerinim hiperbolu $\text{sign}\lambda_1 \neq \text{sign}\lambda_2$ , a) Genişleme, b) Sıkışma..... | 23 |
| Şekil 3.4  | Gerinim tensörlerini hesaplama için bir üçgenleme modeli .....                                     | 23 |
| Şekil 4.1  | GNSS istasyonları.....   | 24 |
| Şekil 4.2  | GAMIT programı akış diyagramı .....  | 28 |
| Şekil 4.3  | Uygulamada kullanılan IGS ve GNSS istasyonları .....   | 29 |
| Şekil 4.4  | 2019 yılı Ocak ayına ait günlük tekrarlılıklar .....   | 31 |
| Şekil 4.5  | 2019 yılı Nisan ayına ait günlük tekrarlılıklar .....  | 32 |
| Şekil 4.6  | 2019 yılı Temmuz ayına ait günlük tekrarlılıklar .....   | 33 |
| Şekil 4.7  | 2019 yılı Ekim ayına ait günlük tekrarlılıklar .....   | 34 |
| Şekil 4.8  | 2015-2019 yılları Ocak ayına ait tekrarlılıklar .....  | 34 |
| Şekil 4.9  | 2015-2019 yılları Nisan ayına ait tekrarlılıklar.....  | 35 |
| Şekil 4.10 | 2015-2019 yılları Temmuz ayına ait tekrarlılıklar .....  | 35 |
| Şekil 4.11 | 2015-2019 yılları Ekim ayına ait tekrarlılıklar .....  | 36 |
| Şekil 4.12 | 2015-2019 yılları Ocak ayına ait tekrarlılıklar .....  | 36 |
| Şekil 4.13 | 2015-2019 yılları Nisan ayına ait tekrarlılıklar.....  | 37 |
| Şekil 4.14 | 2015-2019 yılları Temmuz ayına ait tekrarlılıklar .....  | 37 |
| Şekil 4.15 | 2015-2019 yılları Ekim ayına ait tekrarlılıklar .....  | 38 |
| Şekil 4.16 | ELAZ istasyonuna ait zaman serisi .....  | 39 |
| Şekil 4.17 | ELAZ istasyonuna ait mevsimsel değişime bağlı zaman serisi.....                                    | 39 |
| Şekil 4.18 | MUUS istasyonuna ait zaman serisi.....   | 40 |
| Şekil 4.19 | MUUS istasyonuna ait mevsimsel değişime bağlı zaman serisi .....                                   | 40 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Şekil 4.20</b> BING istasyonuna ait TSVIEW çizimleri.....   | 41 |
| <b>Şekil 4.21</b> RZE1 istasyonuna ait TSVIEW çizimleri .....  | 42 |
| <b>Şekil 4.22</b> Tüm istasyonlara ait hız vektörleri ve hata elipsleri .....  | 44 |
| <b>Şekil 4.23</b> Tüm verilerden elde edilen hızlar ile Ocak ayına ait hızlar .....  | 48 |
| <b>Şekil 4.24</b> Tüm verilerden elde edilen hızlar ile Nisan ayına ait hızlar.....  | 49 |
| <b>Şekil 4.25</b> Tüm verilerden elde edilen hızlar ile Temmuz ayına ait hızlar.....   | 50 |
| <b>Şekil 4.26</b> Tüm verilerden elde edilen hızlar ile Ekim ayına ait hızlar .....  | 51 |
| <b>Şekil 4.27</b> TUSAGA-Aktif istasyonlarının tüm veri ile Ocak ayına ait yatay hızlar<br>arasındaki farklar ve hata elipsleri .....  | 52 |
| <b>Şekil 4.28</b> TUSAGA-Aktif istasyonlarının tüm veri ile Nisan ayına ait yatay<br>hızlar arasındaki farklar ve hata elipsleri.....  | 52 |
| <b>Şekil 4.29</b> TUSAGA-Aktif istasyonlarının tüm veri ile Temmuz ayına ait yatay<br>hızlar arasındaki farklar ve hata elipsleri..... | 53 |
| <b>Şekil 4.30</b> TUSAGA-Aktif istasyonlarının tüm veri ile Ekim ayına ait yatay hızlar<br>arasındaki farklar ve hata elipsleri .....  | 53 |
| <b>Şekil 4.31</b> Tüm verilerden elde edilen gerinim parametreleri .....   | 55 |
| <b>Şekil 4.32</b> Ocak ayına ait gerinim parametreleri.....  | 56 |
| <b>Şekil 4.33</b> Nisan ayına ait gerinim parametreleri .....  | 56 |
| <b>Şekil 4.34</b> Temmuz ayına ait gerinim parametreleri .....   | 57 |
| <b>Şekil 4.35</b> Ekim ayına ait gerinim parametreleri .....   | 57 |

## TABLO LİSTESİ

---

|  |    |
|--|----|
| <b>Tablo 4.1</b> GNSS istasyonları ve ölçme zamanları .....  | 26 |
| <b>Tablo 4.2</b> IGS istasyonlarına ait ITRF14 koordinatları .....                                   | 30 |
| <b>Tablo 4.3</b> Hızların Karşılaştırılması .....  | 45 |
| <b>Tablo 4.4</b> TUSAGA-Aktif istasyonlarının tüm verilerden elde edilen gerinim parametreleri ..... | 58 |



## **Mevsimsel Değişimlerin GNSS Ölçüleriyle Belirlenen Deformasyon Parametreleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması**

Recep Tayyib İRGÜREN

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Uğur Doğan

Bu çalışmanın amacı, farklı mevsimlerde gerçekleştirilen GNSS (Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri) verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen deformasyon parametrelerinin (yer değiştirme, hız, gerinim) belirlenmesi ve mevsimsel değişimlerin belirlenen deformasyon parametreleri üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Bu amaç kapsamında, TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif) ağının 25 sürekli GNSS istasyonu ilişkin 2015 – 2019 yılları arasında her bir yıla ait Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarda gerçekleştirilen 3 günlük GNSS verileri kullanılmıştır. GNSS verileri, GAMIT/GLOBK 5.34 yazılımı ile ITRF-14 referans sisteminde değerlendirilerek istasyonlara ilişkin deformasyon parametreleri belirlenmiştir. Değerlendirme sonuçları analiz edilerek, mevsimsel değişimlerin GNSS konum doğruluğu ve deformasyon parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

GNSS konum doğruluğunu belirlemek amacıyla, ilgili veri seti üzerinde yıllık ve ilgili yıla ilişkin Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 1.07 mm düşey bileşende ise 3.98 mm olarak hesaplanmıştır.

Mevsimsel değişimin, deformasyon parametreleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi için ise, 25 TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait zaman serileri oluşturulmuş ve bu istasyonlara ilişkin hız ve gerinim parametreleri tüm veri seti (2015-2019) ve farklı mevsim dönemleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca, ilgili GNSS istasyonlarına ilişkin yatay deformasyonlar kullanılarak çalışma bölgesi için iki boyutlu gerinim analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, istasyonlara ilişkin koordinat zaman serilerinde yıllık etkilerin yanında mevsimsel değişimlerin etkileri de saptanmış ve mevsimsel değişimlerin deformasyon parametreleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye neden olduğu görülmüştür. Özellikle yaz döneminde düşey bileşenin yatay bileşene göre doğruluğunun daha düşük olduğu saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** GNSS, yer kabuğu hareketi, mevsimsel deformasyonlar, hız alanı, gerinim analizi.

**Investigation of the Effects of Seasonal Changes on  
Deformation Parameters Determined by GNSS  
Measurements**

Recep Tayyib İRGÜREN

Department of Topographical Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Uğur Doğan

The aim of this study is to determine the deformation parameters (displacement, velocity, strain) obtained by evaluating the GNSS (Global Navigation Satellite System) data performed in different seasons and to investigate the effects of seasonal changes on the determined deformation parameters. For this purpose, 3-day GNSS data of the 25 continuous GNSS stations of the TUSAGA-Aktif (Turkey National Steady GNSS Network-Active) network, performed in January, April, July and October of each year between 2015 and 2019, were used. The deformation parameters of the stations were determined by evaluating the GNSS data in the ITRF-14 reference system with the GAMIT/GLOBK 5.34 software. By analyzing the evaluation results, the effects of seasonal changes on the accuracy of GNSS position and deformation parameters were examined.

In order to determine the accuracy of GNSS position, annual repeatability values of January, April, July and October for the relevant year were determined on the relevant data set and it was calculated as 1.07 mm in the horizontal component and 3.98 mm in the vertical component on average.

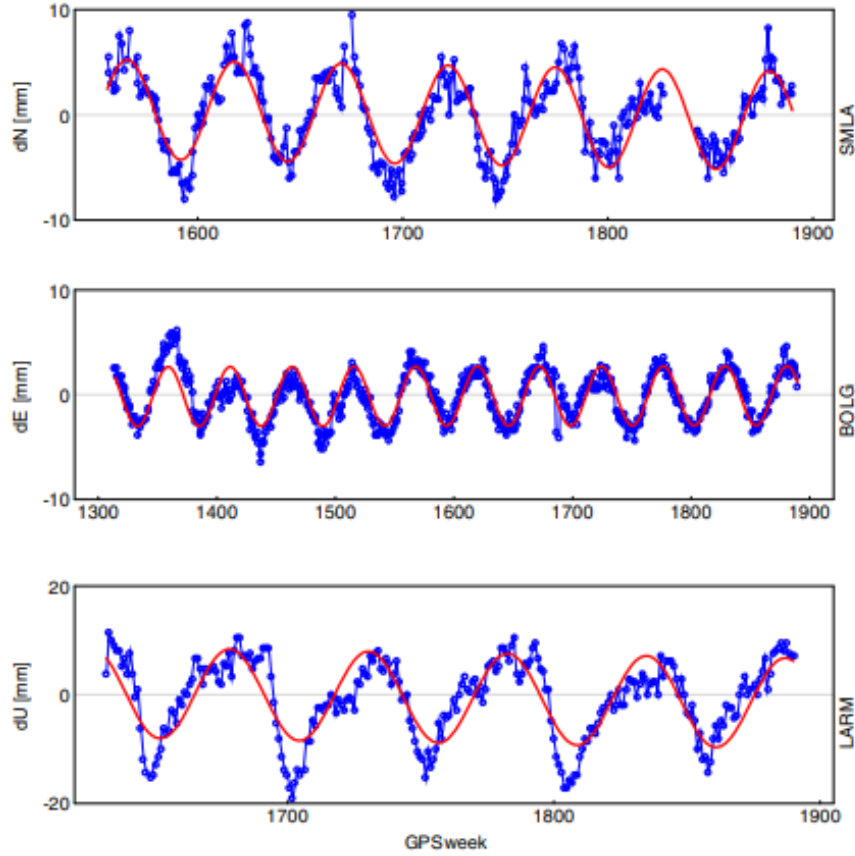
In order to determine the effect of seasonal change on the deformation parameters, time series of 25 CORS-TR stations were determined and the velocity and strain parameters of these stations were calculated separately for the whole data set (2015-2019) and for different seasonal periods. In addition, two-dimensional strain analysis was performed for the study area using the horizontal deformations of the relevant GNSS stations. According to the results obtained, the effects of seasonal changes as well as annual effects were determined in the coordinate time series of the stations, and it was seen that seasonal changes had a statistically significant effect on the deformation parameters. It has been determined that the accuracy of the vertical component is lower than the horizontal component, especially in the summer period.

**Keywords:** GNSS, earth's crustal motion, seasonal deformations, velocity field, strain analysis

## 1.1 Literatür Özeti

Son yıllarda, yapılan bilimsel çalışmalar ile Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS – Global Navigation Satellite System) kullanılarak araştırmacılar tarafından konum belirleme üzerine birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalarda GNSS'in doğruluğunu etkileyen birçok parametre tartışılmıştır. Bu çalışmalarda sadece bölgesel olarak değil, aynı zamanda küresel ölçekte de santimetre altında hassasiyetle çalışılmıştır. Bu çalışmalara bağlı olarak zaman içinde GNSS ölçülerine etki eden uydu alıcı saat hataları, uydu yörünge hataları, iyonosferik ve troposferik gecikme sinyal yansımaları, multipath etkisi gibi ana hata kaynakları büyük ölçüde azaltılmıştır [1]. Kullanıcılar ise, gelişen bu yöntemlerle bir noktanın konumunu yüksek doğrulukla 3 boyutlu olarak belirlemektedir. Ayrıca, günümüze kadar yapılan bu çalışmalarla sabit bir noktada meydana gelen deformasyonlara GNSS kaynaklı olmayan etkilerin tespit edilmesi için birçok bilimsel çalışma yürütülmüştür [2], [3], [4], [5], [6], [24]. Maciuk ve Szombara [2], 2018'de yaptıkları çalışmada bir noktanın zaman serisinde mevsimsel etkinin belirlenmesi için GNSS'den elde edilen verilerin koordinat değişimlerini gözlemlemişlerdir. Çok sayıda istasyona ait 1996-2016 yılları arasındaki EPN (EUREF Permanent GNSS Network) çözümlerine dayanarak NEU (North-East-Up) bileşenlerinin zaman içindeki değişimlerini belirlemişler ve genlik ve RMS (Root Mean Square) değerlerini analiz etmişlerdir. Uygun mevsimsel değişim tahmini için en az %90 kapsama sahip (istasyon başına >180 sonuç), minimum 4 yıllık veri aralığı kriterine uygun şekilde veriler kullanılmıştır. Genel olarak zaman serisi genliği bir istasyonda kış sonunda zeminin düşey yönde yükseldiğini, yaz sonunda ise düşey yönde çöktüğünü görmüşlerdir. Bu sonucun, muhtemelen yeraltı suyuyla veya kışın kar erimesinden sonra yükselmeye bağlantılı olabileceğini düşünmüşlerdir. Bu çalışmada düşey ve yatay koordinatlar arasında her bir yön için ( > 1 mm dN, dE ve > 3 mm dU ) genlik değerlerini bulmuşlardır. Her bir yatay koordinatın genliklerinin düşey olanlardan 2-3 kat daha küçük olduğu açıkça tespit edilmiş ve bu sonuç birkaç sebeple açıklanmıştır:

Öncelikle, GNSS'in düşey konum doğruluğunun yatay konum doğruluğundan üç kat daha düşük olmasıdır. Ayrıca, düşey bileşenlerin kabuk deformasyonları daha büyük genlikler göstermesidir (Şekil 1.1).



**Şekil 1.1** Maksimum koordinat değişimleri olan istasyonlar [2]

Rajner ve Liwosz [24], 2017 yılında yerçekimi geri kazanımı ve iklim deneyi verilerine dayanarak, kabuk deformasyonlarının modellenmiş değerleri ile haftalık GNSS konum zaman serilerini karşılaştırmıştır. Çalışma kapsamında 2,5 ile 13 yıl arasında verilere sahip olan 8 GNSS istasyonu seçilmiştir. Çalışma yapılan alan, kıtasal su depolama yükünün mevsimsel dönemde baskın olduğu ve etkisinin büyük olduğu bir bölge olduğu belirtilmiştir. Seçilen iklim deneyi verilerine göre hesaplanan kabuk deformasyonu modelini, 8 GNSS istasyon ile karşılaştırmışlardır. GNSS zaman serilerinin sonuçları, kuzey, doğu ve düşey bileşenler için deformasyonlarla birlikte sunulmuştur. Yatay karşılaştırmalarda anlamlı bir mevsimsel etki görülmemiştir. Fakat yükseklik değişimi sonucu için, Polonya iklim bölgesi su depolama döngüsünü yansıttığı tespit edilmiştir. Yani ilkbaharda daha fazla su depolanır, kabağa daha fazla yüklenir, bu nedenle yükseklikler

minimumdur, yaz sonunda / sonbaharın başında ise daha az su depolanır, kabuğa daha az yüklenilir ve yükseklik maksimuma ulaşır. Bu değişim 10 mm'ye kadar ulaşmakta ve mevsimsel etkinin yükseklik değişiminin ana kaynağı olduğu saptanmıştır.

Doğan ve arkadaşları [3], 2014 yılında yapmış oldukları bir çalışmada mevsimsel değişimlerin GPS'in konum doğruluğuna etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma için, Marmara Sürekli GPS Ağı'na ait GPS istasyonlarının 2009 yılının her ayına ilişkin 3 günlük veri setleri kullanılmıştır. 6 ile 238 km aralığında değişen 13 temel baz uzunluğuna ait bir ağ yapısı göz önüne alınmıştır. Bu baz uzunluğuna ait veri setlerinde ki 24 saatlik GPS ölçüleri 4, 6, 8 ve 12 saatlik veri setlerine ayrılarak Bernese GNSS değerlendirme yazılımıyla değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda gözlenen istasyonların konum doğruluklarının kuzey-güney, doğu-batı ve yükseklik yönünde her ay değişebileceğini ve GPS konum doğruluğunun yaz mevsiminde (Temmuz) en düşük, kış mevsiminde (Ocak ve Aralık) ise en yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Wang ve Liou [42], 2004 yılında yaptıkları çalışmada Tayvan'da bulunan farklı ağlara ait sürekli ölçme yapan istasyonlardan GPS' nin yükseklik bileşenini analiz etmişlerdir. 2003 yılına ait Temmuz ve Aralık verileriyle mevsimsel değişim ile yükseklik bileşeni arasındaki bağlantıyı incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda, Temmuz ayının ortalama değerlerinin Aralık ayının ortalama değerlerinden daha yüksek olduğu ve bu farkın 2 cm'ye ulaştığı, standart sapma değerlerinin ise Aralık ayında daha az değiştiği gözlemlenmiştir. Günlük ortalamalarda ise 6 cm'ye varan farkların olduğu belirlenmiştir. Bu veri setine ait dönemlerde gerçekleşen ani hava değişimleri ve atmosferde bulunan su buharı yükseklik değerlerinde dalgalanmalara sebep olduğu belirtilmiştir. Bunun haricinde hava sıcaklığındaki değişimlere karşı yükseklik bileşeninin daha hassas olduğunu saptamışlardır.

Eckl ve arkadaşları [6], 1998 yılına ait 10 günlük Ulusal CORS ağında bulunan GPS noktalarının verilerini kullanarak GNSS ile konumlama doğruluğunun baz uzunluğu (L) ve oturum süresi (T) arasındaki korelasyonu incelemiştir. 2001 yılında yapılan bu çalışma için, 11 baz olacak şekilde veri seti oluşturmuştur. Kullanılan bu veri seti için oturum süreleri 4 ile 24 saat arasında sınırlandırılmıştır. Aynı zamanda, 26 km

ile 300 km arasında değişen baz uzunlukları kullanılmıştır. Bu alışma sonucunda Eckl ve arkadaşları [6] baz mesafesinin konum doğruluğuna istatistiksel olarak anlamlı etki etmediği, fakat doğruluğun oturum süresine bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Doğan [4], 2007 yılında gerçekleştirdiği çalışmada ITRF 2000 (International Terrestrial Reference Frame 2000) referans çerçevesinde Bernese 4.2 GPS değerlendirme yazılımını kullanarak Marmara Sürekli GPS Ağı'nda bulunan 7 adet GPS istasyonu ve IGS ağında bulunan 2 adet istasyonun 2002 yılına ait verilerini kullanarak GPS'in konum belirleme doğruluğunun analizini yapmıştır. Doğan [4], bu çalışmada uzunlukları 6 km ile 340 km aralığında değişkenlik gösteren bazlar ile, kampanya oturum sürelerini ise 4 ile 24 saat aralığında sınırlandırmıştır. Yapılan bu çalışma ile GPS' in konum belirleme doğruluğunun baz uzunluğuna ve kampanya oturum süresine bağlı olduğu belirlenmiştir.

şanlı ve Kurumahmut [5], 2008 yılında yürüttükleri çalışmada ise, Kaliforniya'da bulunan, baz uzunlukları 10 km ile 15 km arasında farklılık gösteren 26 adet baz oluşturarak, 47 adet sürekli ölçme yapan GNSS referans istasyonlarını kullanarak konum doğruluğunu oturum süresine ve bu GNSS istasyonlarının yükseklik farkına bağlı olarak analizlerini yürütmüşlerdir. Bu çalışmada referans alınan noktaların yükseklikleri 50 m ile 150 m arasında değişkenlik göstermektedir. Elde edilen verileri NASA'nın GIPSY OASIS II yazılımında analiz edilmiştir. Bu alışmayla GNSS konum doğruluğunu istasyonlar arası yükseklik farkının ve oturum süresinin etkilediği gösterilmiştir. GNSS sinyalini etkileyecek alanlarda oturum süresinin uzatılması tavsiye edilmiştir.

GNSS konum belirleme doğruluğuna etki eden birçok hata kaynağı bulunmaktadır. Uzun yıllardan beri devam eden çalışmalar sonucunda bu hata kaynaklarının etkisi önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu hata kaynaklarının oluşması sebep olan farklı etkenler vardır. Hata kaynaklarına sebep olan en önemli faktörlerden biriside mevsimsel değişimlerdir. Örneğin, GNSS mikrodalga sinyalleri atmosferden geçerek alıcıya ulaşmaktadır ve atmosfer GNSS'in her iki sinyalini de (L1-L2) etkilemektedir. Bundan dolayı düzeltmeler yapılırken atmosferin etkilerini hesaba katan düzeltmeleri ölçmelere uygulanmalıdır. İyonosfer saçıcıdır (dispersif) ve nötr moleküllerin solar radyasyondan dolayı iyonlaşmasından kaynaklanan serbest

elektronlar içerir. İyonosferin GNSS sinyallerine olan gecikme etkisi elektron yoğunluğuna bağlıdır [6]. İyonosferde ki kırılmanın neden olduğu değişim, toplam elektron sayısının belirlenmesiyle sınırlandırılabilir. Ancak elektron sayısı oldukça karmaşık bir büyüklüktür çünkü mevsimsel ve günlük değişimler bağlı bir değişkendir.

## **1.2 Tezin Amacı**

Bu tez çalışmasının amacı, farklı mevsimlerde gerçekleştirilen GNSS (Global Navigation Satellite System) verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen deformasyon parametrelerinin (yer değiştirme, hız, gerinim) belirlenmesi ve mevsimsel değişimlerin belirlenen deformasyon parametreleri üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Bu amaç kapsamında, TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif) ağının 25 sürekli GNSS istasyonuna ilişkin 2015 – 2019 yılları arasında her bir yıla ait Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarda gerçekleştirilen 3 günlük GNSS verileri kullanılmıştır. GNSS verileri, GAMIT/GLOBK 5.34 yazılımı ile ITRF-14 referans sisteminde değerlendirilerek istasyonlara ilişkin deformasyon parametreleri belirlenmiştir. Değerlendirme sonuçları analiz edilerek, mevsimsel değişimlerin GNSS konum doğruluğu ve deformasyon parametreleri üzerindeki etkileri incelenmektedir.

## **1.3 Hipotez**

GNSS'in konum doğruluğu üzerinde etkili olan birçok parametre bulunmaktadır. Bu faktörler oturum süresinin arttırılması, kaba hataların elimine edilmesi, indirgemelerin GNSS gününe ve saatine uygun yapılması, kullanılan akademik yazılımlar, ölçüme etki edebilecek olan çevresel faktörlerin iyileştirilmesi, sürekli GNSS istasyonlarının kullanılması gibi uygulamalarla hata kaynaklarının etkileri önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Ancak en iyi ölçüm şartları hazırlanmış olsa bile ölçmelerin yapıldığı mevsimin, normalin dışında seyreden mevsimsel süreçler, baz uzunluğu, oturum süresi, analizler sonucunda istenen GNSS konum doğruluğunu olumlu veya olumsuz etkileyebileceği öngörülmektedir. Bu kapsamda bu çalışma için 2 hipotez ortaya konmuştur:

- Mevsimsel değişimler, GNSS konum doğruluğunu etkilemektedir.

- GNSS verileri ile elde edilen deformasyon parametreleri mevsimsel değişime bağlı olarak etkilenmektedir.



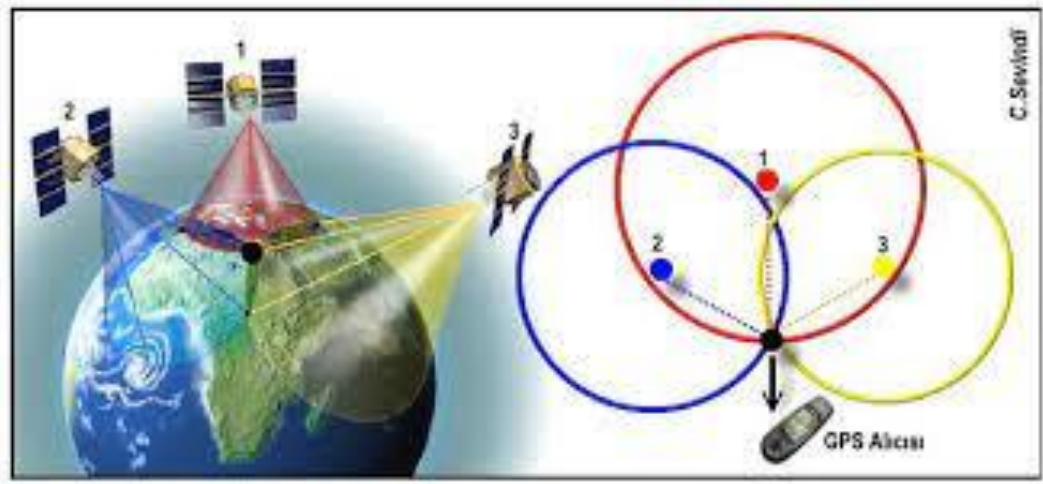
## GNSS VE HATA KAYNAKLARI

---

### 2.1 Küresel Konum Belirleme Sistemleri

Günümüzde hayatın çoğu alanında kullanma ihtiyacı duyduğumuz konum belirleme yöntemlerinden en gelişmiş uydu tekniği olan GNSS, sivil ve askeri amaçla kullanmak için hedeflenirken, bilimsel ve sosyal hayatın bir gerekliliği olarak hızla gelişmiştir. Birçok mühendislik alanında kullanılan GNSS ile konum belirleme tekniği özellikle Harita mühendisliğinde klasik ölçme tekniklerinin yerini almış bulunmaktadır [7]. Günümüzde uydularla küresel konum belirleme sistemlerinden global olarak GPS (ABD), GLONASS (Rusya) ve Galileo (Avrupa Birliği) olmak üzere 3 ana servis hizmet vermektedir. GNSS bu uydulardan alınan sinyaller aracılığıyla dünyanın herhangi bir yerinde, tüm hava koşullarında hem yüksek doğrulukta hem de anlık olarak konumu, hızı ve zamanı tespit etmek için kullanılan bir küresel uydu konum belirleme sistemidir.

GNSS tekniği ile en az 4 uydudan alınan verilerle kod-faz varış zamanının ölçülmesi ve uzaydan geriden kestirme metoduyla herhangi bir zamanda ve herhangi bir mekanda var olan bir noktanın konumunun belirlenmesi temeline dayanan bir uydu ölçme sistemidir (Şekil 2.1) [8]. Ülke jeodezik ağlarının ölçülmesi ve sıklaştırılması, detay ölçmeleri, aplikasyon uygulamalarında, yer deformasyon ölçmeleri, deprem ölçümleri gibi özel amaçlı mühendislik uygulamalarında kolaylık sağlayan çalışmalara hız ve ekonomi getiren bir yöntemdir. Yüksek duyarlılık gerektiren ölçmelerde hata kaynaklarının nedenlerinin bilinmesi ve bunların elimine edilmesi için en uygun ölçme ve hesaplama modelleri belirlenmelidir [7].



Şekil 2.1 GNSS konum belirleme mantığı [9]

## 2.2 GNSS Sinyal Yayılma Süresinin Ölçülmesi

GNSS uyduları yayımladıkları sinyallerle konumlarını ve yerleşik saat zamanlarını, yerküreye aktarırlar. GNSS sinyalleri ışık hızında hareket etmektedir ve bu temel ölçü uydu ile alıcı cihaz antenleri arasında varış süresidir. Uydu saati ile alıcı saatinin uyuşmaması durumunda sinyal varış süresi sistematik hata içerir ve buda eşzamanlılık hatası (time bias) olarak tanımlanır.

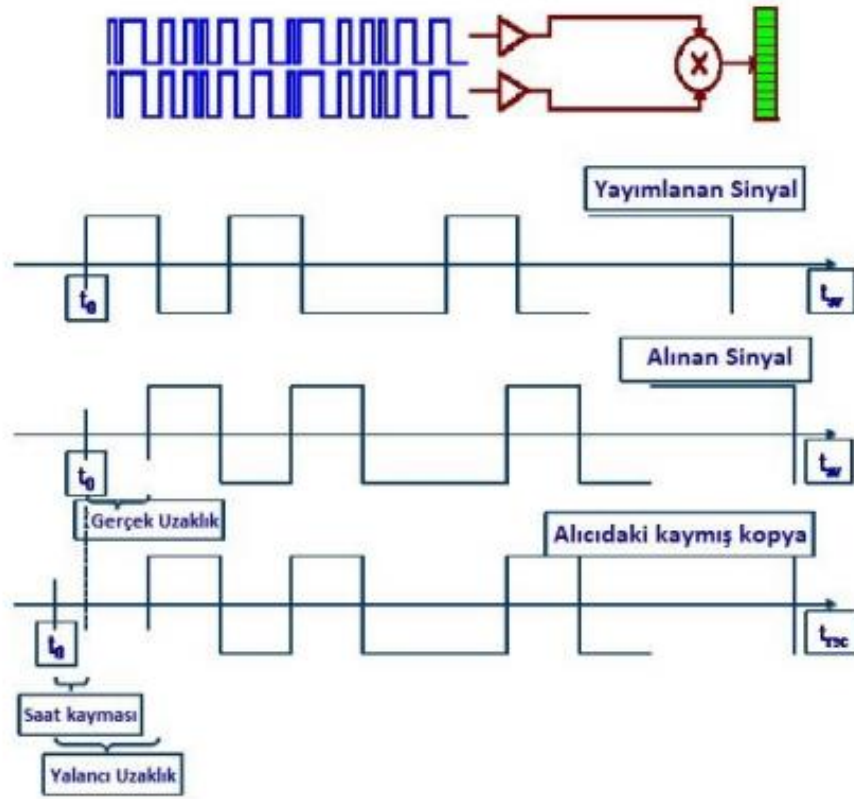
Tüm konumlama uyduları, belli bir matematik modele göre konumlama zaman referansı ile eşzamanlı bir yalancı düzensiz gürültü (PRN- Pseudo Random Noise) kodu yayımlar (Şekil 2.2). Bu PRN kodları 0 ve 1 den oluşan uzun bir algoritmadır. En önemli özelliği, sinyallerin tam olarak kesiştikleri durumlar haricinde tüm gecikmeler veya duraklamalar için düşük bir otokorelasyon değeridir [10].



Şekil 2.2 Kısa tekrarlayan PRN kodu [10]

Tüm uydular, alıcıların hangi uydudan sinyalin geldiğini ayırt etmek için kendine özgü PNR kodları üretirler. Tüm alıcılar, uydular tarafından iletilen her kodun kendi zaman referansına göre senkronize edilmiş bir kopyasını üretir. Bu işlemin asıl

sebebi kod diziliminde ki mevcut kaymaları saptayabilmek ve sinyalin varış süresini saptamaktır. Burada uydudan gelen kod ile alıcı kodu karşılaştırılır ve aradaki kayma miktarı bize sinyal yayılma süresini verir. Bu yayılma süresi ile ışık hızı çarpıldığında (300.000 km/s) uydu-alıcı arası yalancı mesafe değeri bulunmuş olur (Şekil 2.3). Burada kullanılan iki farklı teknoloji vardır: CDMA (Kod ayrımlı çoklu erişim) ve FDMA (Frekans ayrımlı çoklu erişim) teknolojileridir. Bunların arasında ki temel fark ise, her uyduya ait sinyal yayma frekansı bulunur, fakat FDMA teknolojisinin kullanıldığı sistemlerde sinyal içeriğinde bulunan PRN kodları aynıdır uydudan uyduya değişmez. Sinyalin ait olduğu uyduyu tespit etmek için sahip olduğu frekansa bakılır. CDMA teknolojisinde ise bu PRN kodları farklıdır, bu sayede sinyalin hangi uyduya ait olduğu bu kod aracılığıyla tespit edilebilir [11].



**Şekil 2.3** Mesafe ölçümü [10]

Her ne kadar teoride her şey mükemmel olsa bile uydu-alıcı zaman hataları kaçınılmazdır. Bunun birçok sebebi vardır; ucuz saat kullanımı, tam olarak uydular arası senkronizasyonun gerçekleşmemiş olması, ucuz atomik saat kullanımı, uydu ve alıcı saatleri arası zaman kaymaları gibi hata kaynakları vardır.

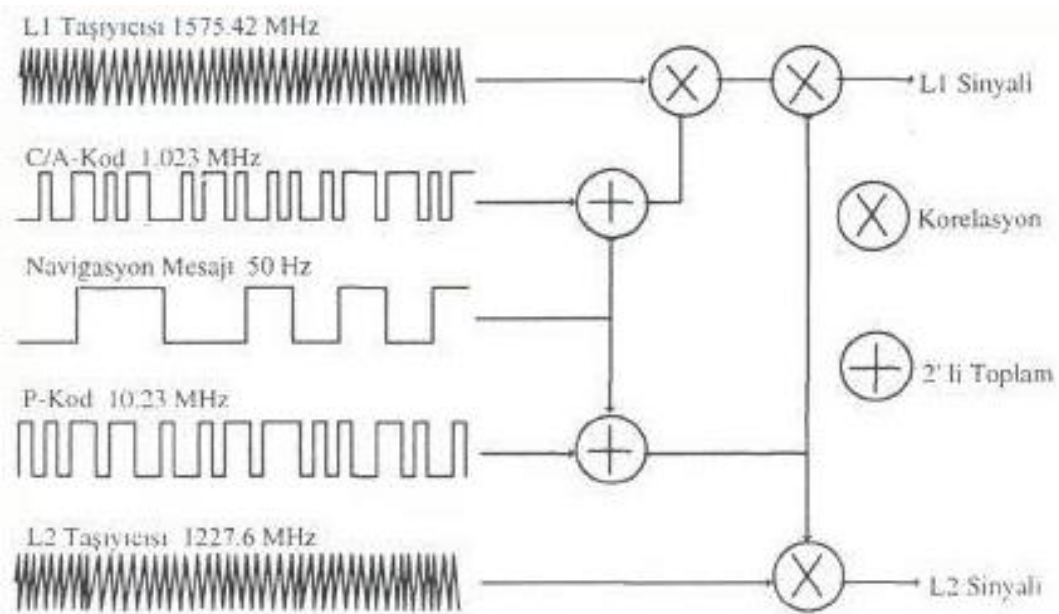
## 2.3 GNSS Ölçme Prensipleri ve Sinyal Yapısı

GNSS'in temel ölçme prensibi uydudan çıkan sinyal ile alıcı anten arasında ki geçen süredir. GNSS ile ölçme tekniği jeodezide alanında kullanılan en eski tekniklerden biri olan geriden kestirme temeline dayanmaktadır. Geriden kestirme yönteminin temel prensibi konumu bilinmeyen bir noktadan konumu bilinen noktalara yapılan gözlem ve hesapları kapsar. GNSS ile konum belirleme tekniği uydu-alıcı arasındaki mesafeye dayalı uzaydan geriden kestirme probleminin çözümüdür. Sinyalin yol aldığı süre ile ışık hızı kullanılarak uydu ile alıcı arasındaki mesafe hesaplanır.

Pseudorange olarak tanımlanan P kodu gözlemi, sinyalin alıcıya vardığı zaman " $t_k$ " ile sinyalin uydudan çıktığı zaman " $t_i$ " arasındaki farkın ışık hızıyla çarpılması sonucu elde edilir [11].

$$P = c * \Delta t \quad (2.1)$$

Uydu osilatöründen çıkış yapan sinyaller  $f_0$  temel frekansından türetilir ve  $L_1$  ve  $L_2$  taşıyıcı sinyaller üretilir (Şekil 2.4). Uydu bazlı konumlu sistemler için üretilen L bandının altında  $L_1$  ve  $L_2$  özel alt bantları ayarlanmıştır. İyonosferin uydudan gelen sinyallerle etkileşimini modellemek veya bunları elimine edebilmek için  $L_1$  ve  $L_2$  alt bantları ayarlanmıştır. Bu sayede iyonosferde meydana gelen farklı tepkiler anlamlandırılmış olur [7].



Şekil 2.4 GNSS sinyal yapısı

## 2.4 Geleneksel Hata Kaynakları

Farklı disiplinlerde veya disiplinler arası yapılan çalışmalarda GNSS ile konum doğrulama yöntemi sıkça kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen bu ölçümlerde GNSS sinyallerinin birçok farklı nedenle hatalı bilgiler içerebildiği gözlemlenmiştir. Uzun yıllardan beri devam eden bilimsel çalışmalarla bu hata kaynaklarının etkisi önemli ölçüde azaltılmıştır. GPS/GNSS kampanyalarında uzun süreli oturum yapılarak hata kaynakları daha rahat tespit edilip elimine edilebilirken, kısa süreli oturumlarda sisteme dahil edilemeyen hata kaynakları nokta konum doğruluğunu anlamlı ölçüde etkilemektedir.

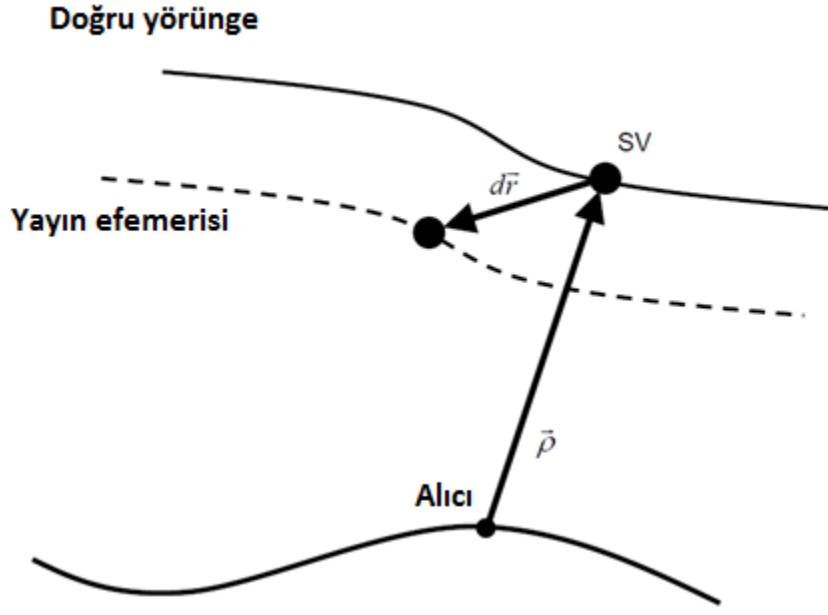
Genel olarak geçmişten bugüne kadar gelen temel hata kaynakları uydu saat hatası, uydu yörünge hatası, atmosferik etkiler (iyonosferik ve troposferik kırılma), sinyal çok yolluluk (Multipath) hatasıdır.

### 2.4.1 Uydu Saat Hatası

GNSS ile konum belirleme sisteminde 3 boyutlu koordinatlara (X,Y,Z) ek olarak zaman bileşenini de (T) içeren 4 boyutlu bir ölçme sistemidir. Zaman bileşeni konum belirleme için büyük önem arz etmektedir. Bundan dolayı uydularda atomik saatler kullanılmaktadır. Atomik saatler sayesinde bu hata kaynağı minimize edilmiştir. Alıcıyla uydu arasındaki saat uyumsuzlukları olarak bilinen uydu saat hataları, uydudan gelen sinyalin alıcıya varış süresinin doğru tespit edilememesinden kaynaklanıyor. Bunun temel sebeplerinden biri alıcılarda kullanılan kuvars saatlerinden dolayı senkronizasyon farkı yaşanmasıdır. Bu hata kaynağı en az 4 veya daha fazla uyduyla gözlem yapılarak giderilebilir.

### 2.4.2 Uydu Yörünge Hataları

Konum belirlemenin temel prensibi uydu ile alıcı arasında ki mesafeye bağlıdır. Uyduların uzayda ki konumunu bize sunan efemeris bilgisidir. Uydular belirli bir yörünge doğrultusunda hareket etmektedir ve bunların sahip olduğu efemeris bilgisi konum belirleme açısından oldukça önemlidir (Şekil 2.5). Almanak verisi, yayın efemerisi ve hassas efemeris olmak üzere 3 çeşit efemeris vardır. Bu efemerisler uydu konum bilgisi için oldukça önemlidir. Periyodik aralıklarla IGS tarafından yörünge bilgileri araştırmacılarla paylaşılmaktadır [12].



Şekil 2.5 Uydu yörünge hatası [12]

### 2.4.3 Atmosferik Etkiler

Dünyamızı kapsayan Atmosfer tabakası birçok katmandan oluşmasına rağmen içinde bulunan elektronlardan dolayı genel olarak 2 ana bölümden oluşur; yeryüzünden 100 km yüksekliğe kadar elektrik yükü nötr olan bölüme troposfer, 100 km'den 1000 km'ye kadar elektriksel yüke sahip bölüme ise iyonosfer denir [13]. Uydulardan çıkan elektromagnetik sinyaller en kısa yol boyunca seyahat ederek alıcı istasyona ulaşır. Bu seyahat sırasında atmosfer tabakasına giren elektromagnetik sinyaller atmosferdeki serbest elektronlar ve pozitif yüklü atomlarla karşılaşmaktadır. Atmosferin sahip olduğu bu elektron yükleri sinyaller üzerinde yayılım gecikmelerine sebep olabilir. Bundan dolayı uydu-alıcı arasında geometrik mesafe sapmaları olur. Bu sapmalar sinyal yolu eğriliği ve yayılım gecikmesi olarak gerçekleşir. Atmosferik etkiler, 20 km'ye kadar baz uzunluğuna sahip ağlarda eşit olarak kabul edilir.

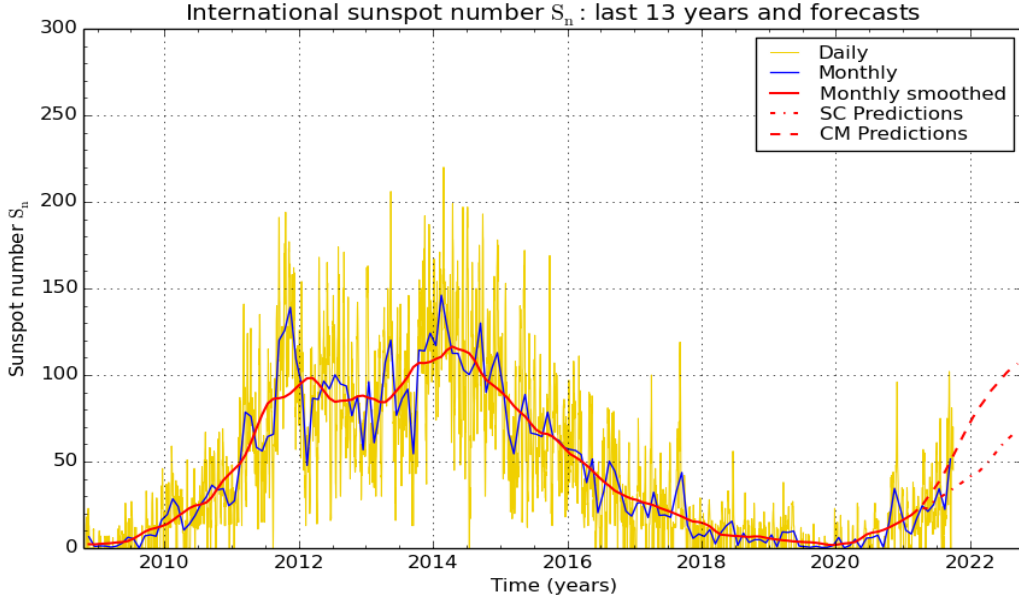
#### 2.4.3.1 İyonosferik Etki

İyonosfer, atmosfer içerisinde dünya yüzeyinden 100 km ile 1000 km aralığında bulunan, içerisinde elektron yüklü atom ve molekülleri bulunduran bir katmandır. GNSS uydularından yayımlanan sinyaller atmosfere ulaşmadan önce uzay boşluğunda seyir etmektedir ve atmosfere girdikten sonra ilk olarak iyonosfer

tabakasıyla karşılaşır [16]. GNSS gibi uzay tabanlı sistemlerin kullanımında ana kısıtlama, bağlı oldukları yayılma ortamlarından özellikle iyonosferden kaynaklanmaktadır. Uydulardan gelen sinyaller 2 şekilde bozulur; sinyalin grup gecikmesi ile tahmin edilen aralıkta bir hatanın ortaya çıkması ve iyonosferin elektron yoğunluğu dağılımındaki düzensizliklerin neden olduğu sinyal özelliklerinde ki dalgalanmalardır [14].

İyonosfer tabakasının sahip olduğu serbest elektron yoğunluğu elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyebilir ve iyonlaşma ve serbest elektron yoğunluğu direkt olarak radyasyon yoğunluğuna (güneş ışınmasına) bağlıdır. Bu serbest elektronlar iyonosfer tabakasına giren sinyallerin yayılma hızını, yönünü ve kutuplaşmasını etkiler. Burada en çok etki sinyallerin hızında olur ve buda GNSS'in temel ölçme prensibinde ki mesafe faktörünü etkiler [15]. Güneşten gelen ultraviyole ışınları radyasyonun etkisiyle iyonosferde bulunan elektronları tutar ve bu elektronları serbest yüklü negatif elektronlar haline dönüşür. Bundan dolayı negatif yüklü serbest elektronlar hem GNSS uydularından gelen sinyalleri hem de elektromanyetik dalgaların hızını etkilemektedir. Bu durum toplam elektron yoğunluğunun (TEC) artmasına sebep olmaktadır. Güneşten dolayı iyonosfer gündüz daha çok etkiye sahip olmasına rağmen, güneş battıktan sonra pozitif iyonlar ve negatif yüklü elektronlar birleşme eğilimine girdiği için toplam elektron yoğunluğu düşmektedir [14]. Toplam elektron yoğunluğu (TEC) 1 metrekairelik elektron sayısını göstermektedir. TEC'in değişimini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bunlardan bazıları mevsimler, güneş ışınlarına bağlı iyon değişimleri, alıcı ve uydunun mevcut konumu gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir [18],[19]. İyonosferik etki, çift frekanslı alıcılara L1 ve L2 ölçülerinin kombinasyonuyla büyük ölçüde giderilebilmektedir.

Şekil 2.6'da, 2009-2021 arasında günlük, aylık ve aylık yumuşatılmış güneş lekeleri sayısı verilmektedir. Bu çalışmada verilerin alındığı yıllarda 2014 yılında güneş seviyesi aktivitesinin maksimum seviyede olduğu, 2020 yılında ise minimum seviyede olduğu gözlemlenmektedir [17].

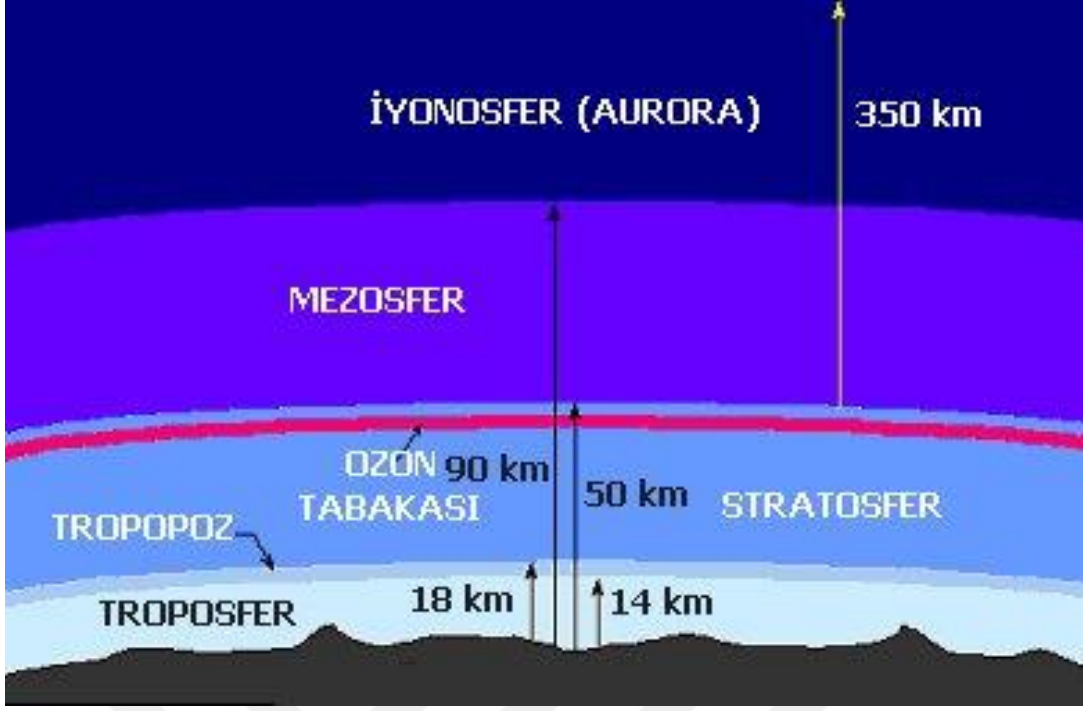


**Şekil 2.6** 2009-2021 yılları arası güneş lekeli aktivite sayısı [17]

#### 2.4.3.2. Troposferik Etki

Troposfer, yeryüzünü saran atmosferin en alt tabakasıdır. Atmosfer içerisindeki düşey sıcaklık değişimlerden dolayı hava olaylarının büyük bölümü troposfer katmanında meydana gelir. Atmosferi oluşturan gazların büyük kısmını içine alan troposferin yapısı yer radyasyonuna bağlı olarak değişiklik gösterir (Şekil 2.7).

Troposferde elektrik yükü nötr olduğundan dolayı saçıcı olmayan bir ortamdır. Troposferik gecikme sinyalin frekansına bağlı olmayıp, her iki taşıyıcı L1 ve L2 dalgasına da aynı oranda etki etmektedir. Bunun sonucunda gerçek mesafe ile ölçülen mesafe arasında fark oluşmaktadır. Troposfer katmanında meydana gelen hataların temel sebebi; nem değişimleri, sıcaklık ve atmosfer basıncından kaynaklanmaktadır [20]. Troposferik kırılmanın iki bileşeni vardır, bunlardan ilki ve çoğunluğunu kuru hava bileşeni, geri kalan kısmında sulu hava bileşeni oluşturmaktadır. Troposferik gecikmeyi hesaplayabilmek için ticari veya akademik yazılımlar aracılığıyla troposferik modelleme yapılmalıdır. Troposfer katmanı yatay bileşenden ziyade düşey bileşeni daha çok etkilemektedir. Uydudan gelen sinyaller troposferde seyahat ederken basınç, sıcaklık ve nem gibi hava koşullarından etkilenir [21].

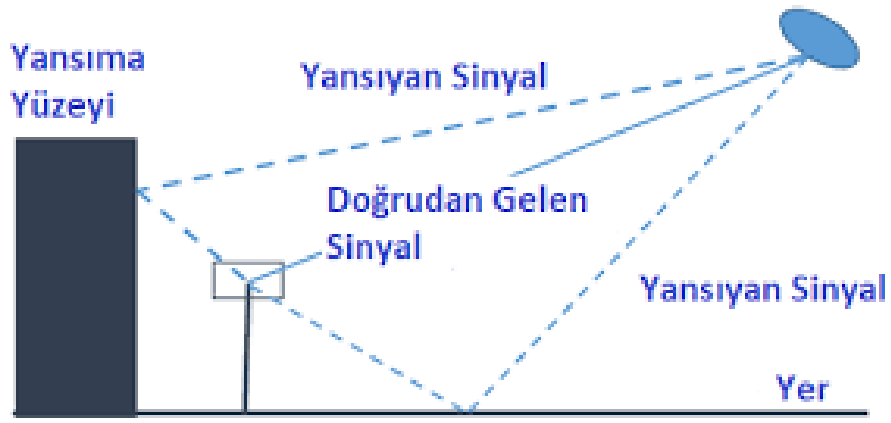


Şekil 2.7 Atmosferin katmanları [22]

## 2.5 Çok Yolluluk (Multipath) Etkisi

Genellikle uydular tarafından gönderilen elektromanyetik sinyallerin birden fazla yoldan zayıflayıp kırılarak veya yansiyarak alıcı antenine ulaşmasından kaynaklanır. Bu hatanın temel kaynağı alıcı etrafında bulunan yansıtıcı yüzeylerin sinyali kırma özelliğine sahip olmasıdır ve genellikle yapılaşmış alanlara, ormanlık alanlara, su kütlesi gibi yüzeylere yakın alıcılarda bu hata kaynağı görülebilmektedir (Şekil 2.8).

Bu hata kaynağını giderebilmek için kullanılan anten tipi çok önemlidir. Fark gözlemleriyle veya modellenerek giderilemeyen bir hata kaynağı olmasına rağmen, uydu sayısının fazla olduğu günlerde ölçümleri gerçekleştirmek hata kaynağını azaltır [12].



Şekil 2.8 Çok yolluluk hatası [23]



## DEFORMASYON PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

---

Jeodezinin temel amaçlarından biri yer kabuğunda meydana gelen depremler, gerilmeler, su seviyesi değişimleri, tektonik hareketler vb. sebeplerle belirli bir zaman aralığında hem yatayda hem de düşeyde oluşan deformasyonların belirlenmesidir. Yer kabuğunda bu tür deformasyonlara neden olan minimal seviyedeki yer kabuğu hareketlerinin saptanması için yapılan jeodezik ölçmelere deformasyon ölçmeleri, yapılan bu ölçmeler sonucunda meydana gelen deformasyonların yorumlanması ve değerlendirilmesine de deformasyon analizi denilmektedir. Günümüz teknolojisinde ki gelişmelerle beraber deformasyon ölçme ve analizinde yeni bir dönem başlamıştır. Bu yeniliklerle beraber sadece deformasyon büyüklüğü değil, aynı zamanda hızı, ivmesi ve bu deformasyonların zaman içindeki değişimi de hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Deformasyonların belirlenmesi, çalışma yapılan bölgede zamanın ve/veya diğer etkiyen kuvvetlerin bir sonucu olarak meydana gelen hareketlerin anlamlı olup olmadığına bakılmasıdır [25].

Çalışma yapılacak bölgede deformasyona uğradığı düşünülen nesne ya da noktalarda bir koordinat sistemini oluşturan elemanlarda meydana gelen değişimleri inceleyerek bir deformasyonun var olup olmadığına bakılır. Deformasyon analizi genel olarak birkaç aşamadan oluşur. Bu aşamaların ilki çalışma yapılacak alanda jeodezik deformasyon ağlarının kurulmasıdır. Bu jeodezik deformasyon ağları kurulduktan sonra farklı zamanlarda ölçmeler yapılarak elde edilen veriler En Küçük Kareler (EKK) yöntemiyle dengelenir. Bu iki aşama yapıldıktan sonra jeodezik deformasyon ağlarında dengeleme yapılır. Bu dengeleme sonrasında sonuçlar analiz edilir ve çalışmanın amacı olan deformasyonun anlamlı olup olmadığı araştırılır [26].

### 3.1 Global Eşdeğerlilik Testi

Bu testin amacı, jeodezik ağın bütününde veya bir kısmında iki ölçme periyodu arasında belli bir nokta grubunda anlamlı bir deformasyon olup olmadığını belirlemektir. Eğer bu nokta grubunda öteleme veya dönüklük varsa bu durum global test ile cevaplanamaz. Bundan dolayı global test nokta grubunda anlam ifade eden bir konum değişiminin olup olmadığını gösteren bir test olarak ifade edilir [27].

İki farklı ölçü için serbest dengeleme ile aynı datumda ki bilinmeyenleri  $x_1$  ve  $x_2$  seçilirse,

- konum değişim vektörü

$$d = x_2 - x_1 \quad (3.1)$$

- ağırlık katsayıları matrisi

$$Q_{dd} = Q_{x_1 \times 1} + Q_{x_2 \times 2} \quad (3.2)$$

olur.

Periyotlar arasında 2 farklı hipotez kurulur. İlki periyotlar arası anlamlı bir değişim olmadığını ileri süren sıfır hipotezi ( $H_0$ ), diğeri ise anlamlı bir değişim olduğunu ileri süren karşıt hipotezidir ( $H_K$ ).

$$H_0 : E(d) = 0 \quad (3.3)$$

$$H_K : E(d) \neq 0 \quad (3.4)$$

$$R = d^t Q_{dd}^+ d \quad (3.5)$$

olur ve  $Q_{dd}^+$  pseudo inversidir.

Sıfır hipotezi geçerliyse  $H_0$  test büyüklüğü;

$$T = \frac{R/h}{\Omega/f} \sim F(h, f) \quad (3.6)$$

olur. Bu denklemde  $h$   $R$ 'nin serbestlik derecesi;  $f$  ise,  $\Omega$ 'nin serbestlik derecesidir.

F : F dağılımı

$T > F_{h, f, 1-\alpha}$  denklemi sağlanıyorsa anlamlı bir hareket olduğu

$T < F_{h, f, 1-\alpha}$  denklemi sağlanıyorsa anlamlı bir hareket olmadığı

anlaşılır [26].

### 3.2 Deformasyon Büyüklüklerinin Belirlenmesi

Deformasyon büyüklüklerini tespit etmeye yönelik bir çalışma yapılabilmesi için öncelikle d konum değişim vektörü oluşturulmalıdır. Bir istasyonun farklı zamanlarda yapılan ölçümlerdeki ( $t_1$  ve  $t_2$ ) yatay konum değişim vektörü,

$$d = \begin{bmatrix} x_{t2} - x_{t1} \\ y_{t2} - y_{t1} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Bu vektörün uzunluğu;

$$d = \sqrt{d^T d} \quad (3.8)$$

olur.

Bu eşikliklerle hesaplanan hareket vektörlerinin anlamlı olup olmadığını tespit etmek için  $H_0$  hipotezi kurulur.

$$H_0: d = 0 \quad (3.9)$$

Test büyüklüğü,

$$T = \frac{d^T Q_{dd}^{-1} d}{2S_0^2} \quad (3.10)$$

Eşitliği ile hesaplanan bu test değeri  $F_{2, f, 1-\alpha}$  ile karşılaştırılır.

Eğer bu karşılaştırmada;

$T > F_{2, f, 1-\alpha}$  ise noktanın hareketi anlamlıdır,

$T < F_{2, f, 1-\alpha}$  ise noktanın hareketi anlamlı değildir ( $1-\alpha$  güven düzeyi ile), denir.

### 3.3 Gerinim Analizi

Yeryuvarını çeşitli plakalardan oluşmaktadır ve bu plakalar sürekli bir etkileşim halindedir. Bundan dolayı yer kabuğunda deformasyonlar oluşmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber zaman içinde meydana gelen bu deformasyonları gözlemlemek oldukça kolaylaşmıştır. Özellikle GNSS ile uzun süreli ve belli periyotlarla yapılan tekrarlı GNSS ölçüleri sayesinde bir istasyonda meydana gelen deformasyonlar yüksek doğrulukla hesaplanabilmektedir. Epoklar arasındaki koordinat farklarına sebep olan deformasyon kuvvetleri de incelenmektedir. Bu kuvvetlerin belirlenmesi için öncelikle gerinim parametreleri belirlenmelidir [28].

İki boyutlu gerinim parametrelerini hesaplamak için farklı zamanlarda aynı noktada yapılan ölçülere ait koordinatların farkları kullanılarak gerinim parametreleri hesaplanabilir. Homojen gerinim teorisine göre bağıl konum değişim vektörü:

$$du = dFr + u_0 \quad (3.11)$$

olarak verilmektedir [29], [30]. Bu denklemde;

$u_0 = [t_1 \ t_2]^T$ , tüm istasyonlar için öteleme hareketi,  $t_1$  ve  $t_2$  öteleme parametreleri,  $dF$  bağıl konum değişim gradyent tensörü ve  $r = [x \ y]^T$  koordinatlarını temsil eder. Bağıl konum değişim gradyent tensörü  $dF$  denklemi ise;

$$dF = dR + E \quad (3.12)$$

Bu denklemde  $E$  simetrik gerinim tensörü,

$$E = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{xy} & e_{yy} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Diğer denklem elamanımız  $dR$  ise ters simetrik dönme tensörüdür:

$$dR = \begin{bmatrix} 0 & \omega \\ -\omega & 0 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Gerinim tensörü  $E$  için,

- $e_{xx}, e_{yy}$  = x ve y eksenleri boyunca birim uzunlukta oluşan ölçek değişimini
- $e_{xy}$  = deformasyon sonucu ortaya çıkan küçük açısız bozulmaları

olarak tanımlar [29].

(3.13) ve (3.14) eşitliklerinde ki denklemlere göre (3.11) eşitliği tekrardan düzenlenirse,

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 0 & y & 1 & 0 \\ 0 & x & y & -x & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{xx} \\ e_{xy} \\ e_{yy} \\ \omega \\ t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

şeklinde bir eşitlik olur [29],[31].

En Küçük Kareler yöntemiyle gerinim tensör parametreleri belirlenir. İki boyutlu gerinim parametreleri için aşağıdaki eşitlikler geçerlidir [32],[33]:

- Maksimum asal gerinim;

$$\varepsilon_{max} = \frac{1}{2} [(e_{xx} + e_{yy}) + \sqrt{(e_{xx} - e_{yy})^2 + 4e_{xy}^2}] \quad (3.16)$$

- Minimum asal gerinim;

$$\varepsilon_{min} = \frac{1}{2} [(e_{xx} - e_{yy}) + \sqrt{(e_{xx} - e_{yy})^2 + 4e_{xy}^2}] \quad (3.17)$$

- Saf kesme gerinimi;

$$\gamma_1 = e_{xx} - e_{yy} \quad (3.18)$$

- Mühendislik kesme gerinimi;

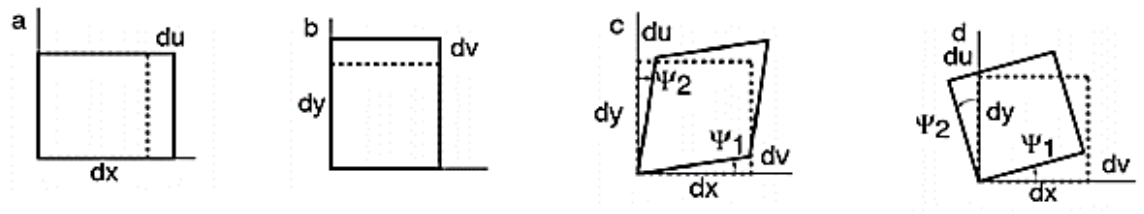
$$\gamma_2 = 2e_{xy} \quad (3.19)$$

- Maksimum gerinim yönü;

$$\Phi = \frac{1}{2} \tan^{-1}(\gamma_1 / \gamma_2) \quad (3.20)$$



Deformasyon yok



Normal gerinim  
 $e_{xx} = du_x / dx$

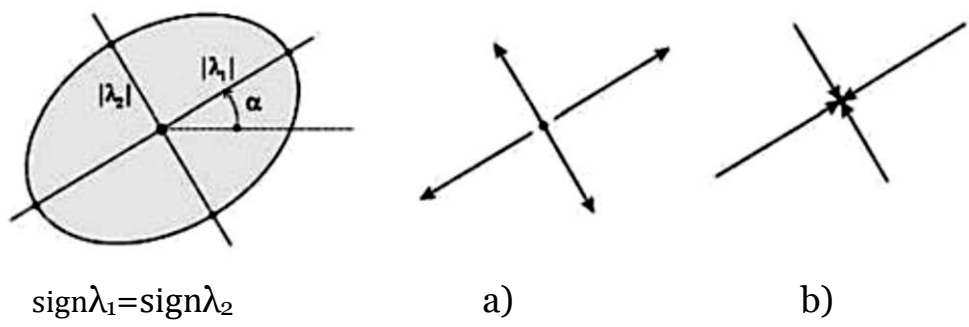
Normal gerinim  
 $e_{yy} = du_y / dy$

Saf kesme gerinimi  
 $e_{xy} = e_{yx}$

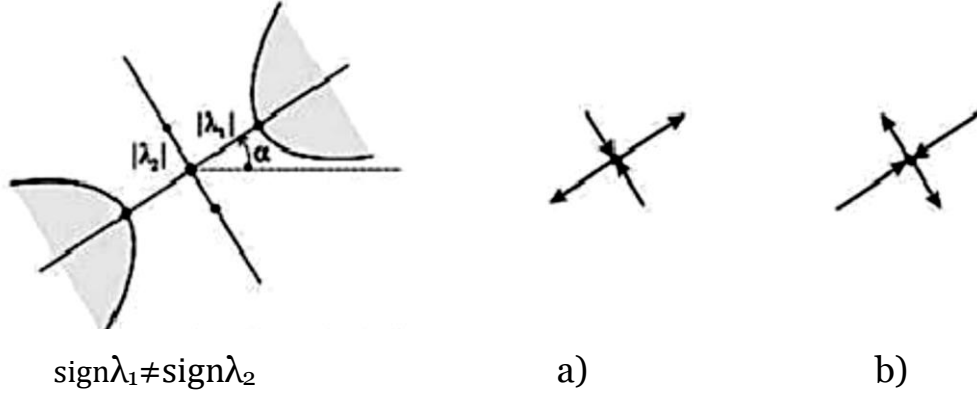
Dönüklükler  
 $\omega_{xy} = \omega_{yx}$

**Şekil 3.1** Deformasyon öncesi ve sonrası durum [34]

Gerinim parametreleri hesaplandıktan sonra minimum ve maksimum asal gerinim işaretlerine bakılır. Bu işaretler aynı olması durumunda deformasyon gerinim elipsi (Şekil 3.2), aynı olmamaları durumunda ise hiperbol şeklinde görünür (Şekil 3.3). Asal gerinim parametreleri pozitif ise genişleme, negatif ise sıkışma vardır.

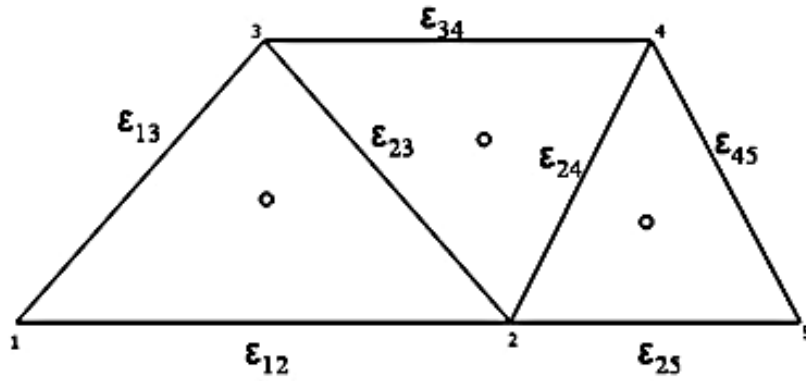


**Şekil 3.2** Gerinim elipsoidi  $\text{sign} \lambda_1 = \text{sign} \lambda_2$ , a) Genişleme, b) Sıkışma [33],[35]



**Şekil 3.3** Gerinim hiperbolu  $\text{sign}\lambda_1 \neq \text{sign}\lambda_2$ , a) Genişleme, b) Sıkışma [29]

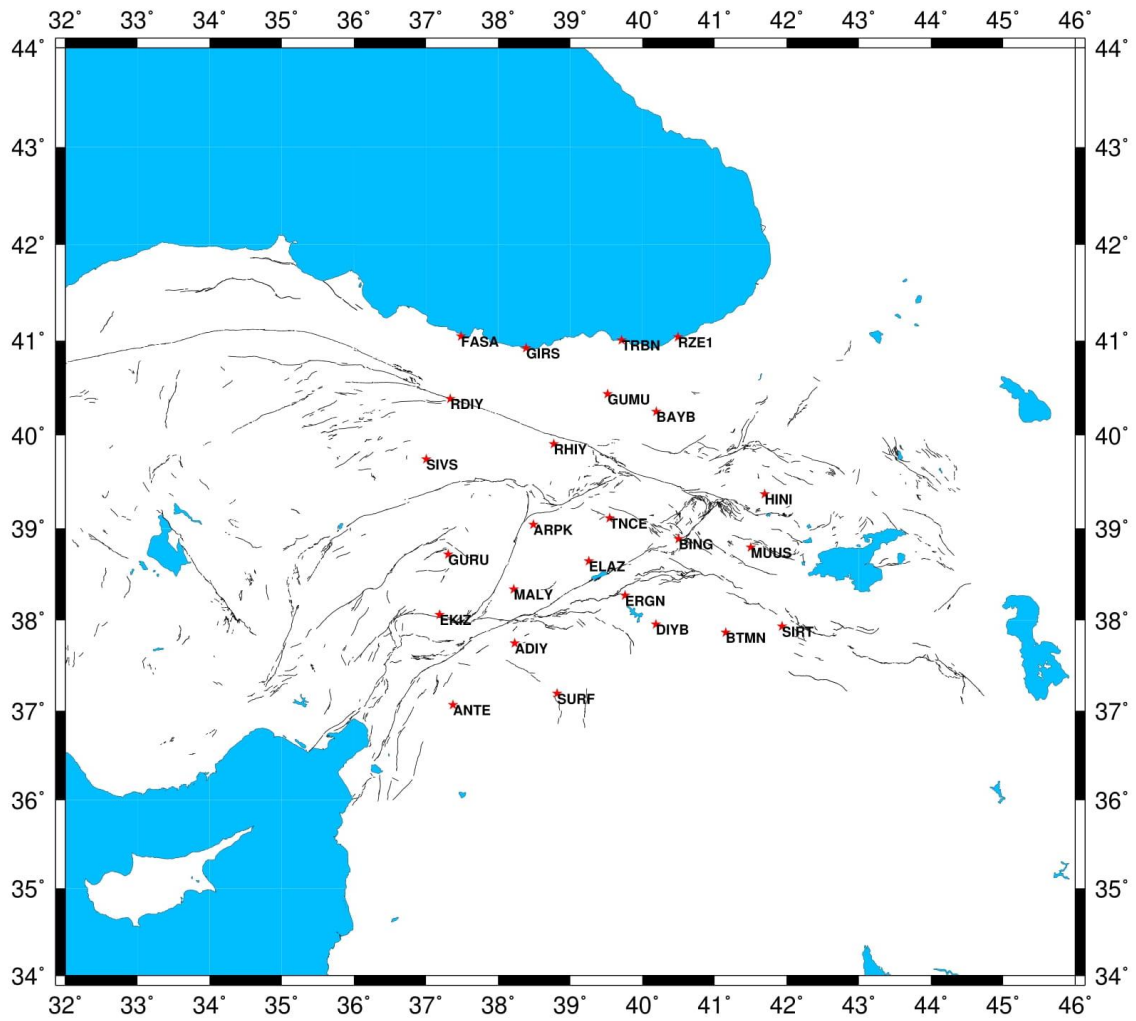
Deformasyon analizi çalışmalarında çalışma yapılacak nokta grubunun koordinatları alındıktan sonra bu noktalarda meydana gelen değişim ilişkileri kurulabilmesi için üçgenleme yapılması gerekir (Şekil 3.4).



**Şekil 3.4** Gerinim tensörlerini hesaplama için bir üçgenleme modeli [28]

### 4.1 GNSS Ölçmeleri

Bu çalışmada GNSS verilerinin değerlendirilmesi ile mevsimsel değişimlerin bir jeodezik ağıdaki deformasyon parametrelerini (yer değiştirme, hız, gerinim) nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla TUSAGA-Aktif ağına ait 25 sürekli GNSS istasyonunun ve 12 adet IGS (International GNSS Service) istasyonunun 2015-2019 yılları arasında dört mevsim ve her bir mevsim için üçer günlük verisi kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 GNSS istasyonları

Bu çalışmada kullanılan 25 adet sürekli GNSS istasyonunun 2015, 2016, 2017, 2018 ve 2019 yıllarında Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarına ait 3'er günlük verisi TUSAGA-Aktif web sitesinden elde edilmiştir. GNSS istasyonlarına ait gözlem günleri her yılın aynı GNSS günü dikkate alınarak belirlenmiştir (Tablo 4.1).





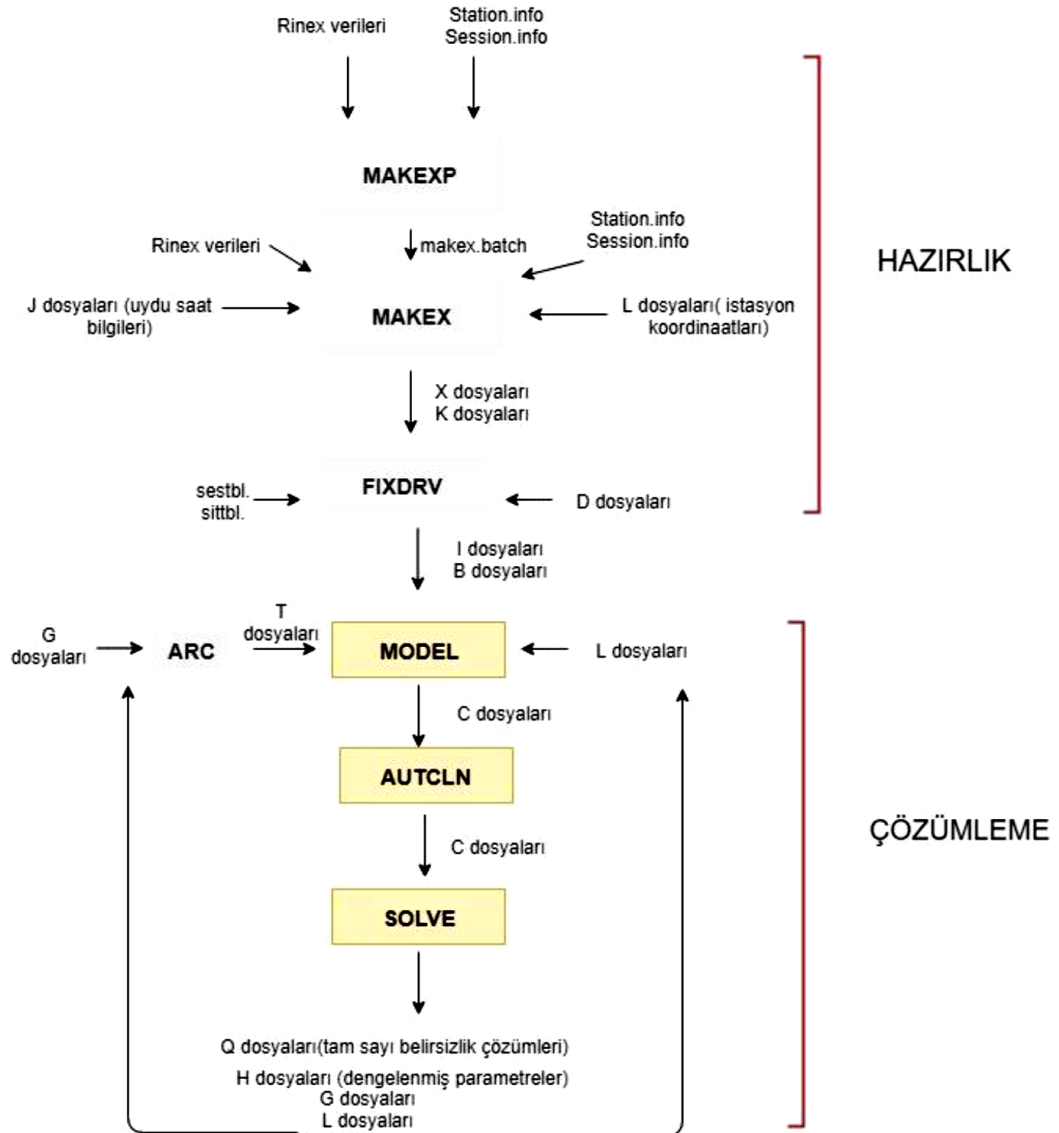
## 4.2 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Bu aşamada GNSS verilerinin değerlendirilmesi öncesi izlenen yöntem, değerlendirme esnasında takip edilen aşamalar ve stratejiler, değerlendirme sonrası sonuçlar hakkında bilgiler verilecektir.

Mühendislik çalışmalarında ticari yazılımların dışında kabuk deformasyonları, plaka hızları, deformasyon parametrelerinin belirlenmesi gibi bilimsel çalışmalarda veri analizi yapmamızı sağlayan akademik yazılımlarda vardır. Bu yazılımlar içinde en çok öne çıkanlardan bazıları GAMIT/GLOBK (Massachusetts Institute of Technology, ABD), BERNESE (Astronomical Institute University of Berne, İsviçre) ve GIPSY (NASA Jet Propulsion Laboratory, ABD) olarak söylenebilir [36].

Bu çalışma için, GAMIT/GLOBK 5.34 akademik yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım iki temel alt bileşenden oluşur. Bunlardan ilki ve en önemlisi GAMIT yazılımıdır ve bu programda Şekil 4.2'de görüldüğü gibi kendi içinde alt programlar içermektedir. Şekil 4.2'de, alt programlardan MAKEXP ve MAKEX programlarına girdi olarak RINEX dosya formatı yüklenmelidir. Bundan dolayı verilerin değerlendirilmesi için öncelikle RINEX formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. RINEX dosya formatı programlar tarafından okunabilen ortak bir dil gibidir. Oluşturulan veri setine ait her istasyonda tüm GNSS günleri için anten ve alıcı bilgileri, yaklaşık koordinatları, gözlem yapılan uydu numaraları ve zaman bilgileri girilerek X ve K dosyaları çıktı olarak oluşturulur. X dosyaları gözlem dosyalarını oluştururken, K dosyaları alıcı saat bilgilerini oluşturmaktadır. Bu iki dosyada GAMIT yazılımında ikinci aşamada kullanılacak girdi olacak formattadır. Diyagramda da görüldüğü üzere FIXDRV girdilerini X ve K dosyaları oluşturmaktadır. FIXDRV çıktıları ise saat farkını ve oranını gösteren I dosyası ile sürekli kontrol sağlayacak B dosyalarıdır. MODEL programı ise gözlenen ile hesaplanan değerler arasında ki farka göre düzeltme (residual) yaparak yeni gözlem dosyası olan C dosyalarını oluşturmaktadır. AUTCLN aşamasında ise C dosyasında bulunan kaba hatalar, faz kesiklikleri gibi hataları otomatik olarak elimine eder. Temizlenen C dosyaları SOLVE kısmına gelir ve en küçük kareler yöntemi sayesinde istasyonlarda dengeleme yapıldıktan sonra dengeleme öncesi değerlere düzeltmeler gelir. Dengeleme getirilmiş bu değerler için akış diyagramı iteratif olarak çalışır ve son değerlere ulaşır [36], [37].

GAMIT sonucunda elde edilen iki adet dosya vardır. Bunlar Q ve H sonuç dosyalarıdır. Q dosyasında sadece tamsayı belirsizliklerinin çözümü değil, aynı zamanda sonuçların hatalarında bulunur. Q dosyalarında veri işleme sırasında izlenen adımlar görülebilmektedir. H dosyalarında ise türetilmiş ölçülerle beraber kovaryans matrisleri bulunmaktadır. Bu dosyalar GLOBK kısmı için girdi dosyalarını oluşturmaktadır. GAMIT bu diyagram akışı sırasında atmosferik gecikmeleri, uydu hareketlerini ve yörüngelere etkiyen kuvvetleri hesaba katmak için farklı modeller kullanmaktadır.

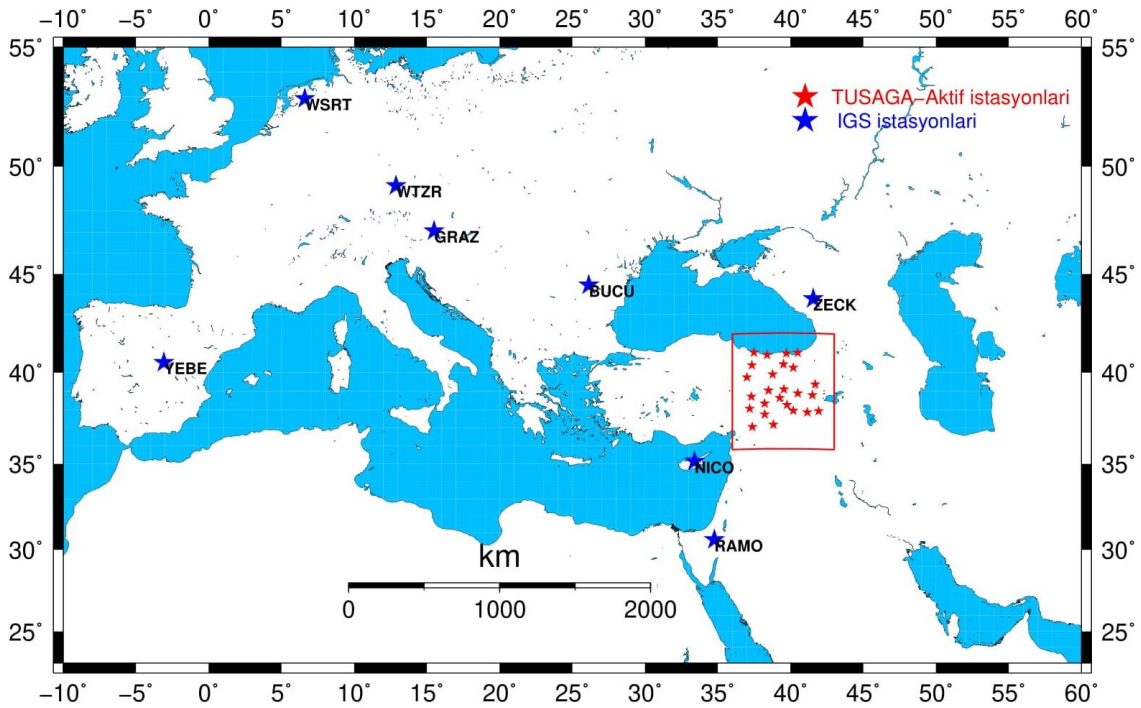


**Şekil 4.2** GAMIT programı akış diyagramı [37]

GLOBK aşamasında ise genel olarak uydu jeodezisi yardımı ile elde edilmiş verilerin GAMIT uygulamasında değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkan çözümlere Kalman

Filtrelemesi uygulama işlem adımını içermektedir [38]. GAMIT ile her bir oturum için elde edilen H dosyaları GLOBK aşamasında analiz edilmekte ve her bir GPS günü için istasyonlarda zaman serileri oluşturulmaktadır. Bu zaman serilerinde kuzey-güney, doğu-batı ve yükseklik koordinat bileşenlerinde zamana bağlı mevsimsel değişimleri gözlemlenebilmektedir [38].

Bu çalışmada, 12 adet IGS istasyonu seçilmiştir. Bu istasyonlar seçilirken bölgeye homojen dağılması, zaman serilerinin kesilmemiş olması, dış faktörlerden etkilenmemiş olması gibi etkenler dikkate alınmıştır (Şekil 4.3). Bu istasyonlara ait koordinat verileri Tablo 4.2 de verilmiştir.

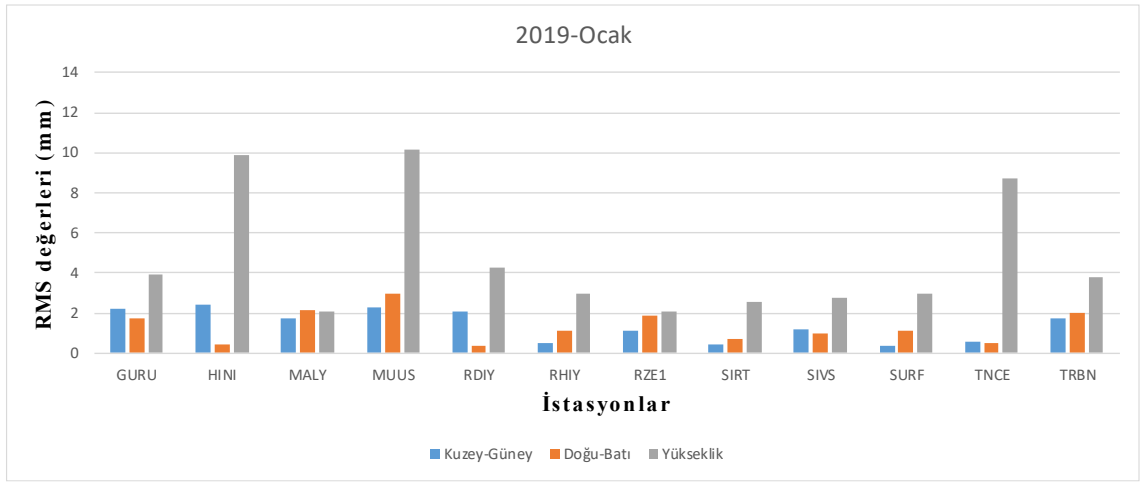
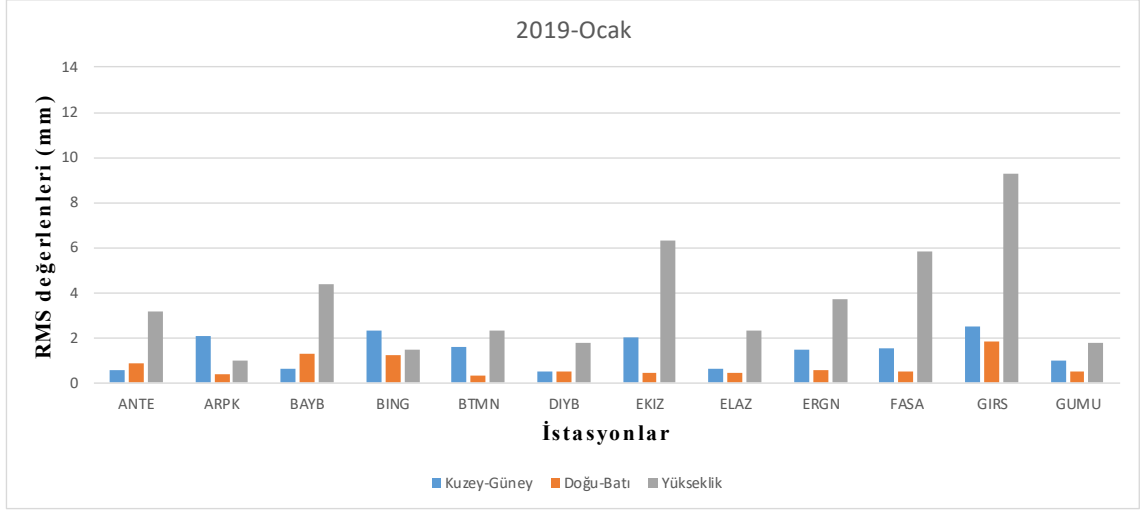


Şekil 4.3 Uygulamada kullanılan IGS ve GNSS istasyonları

**Tablo 4.2** IGS istasyonlarına ait ITRF14 koordinatları ve hızları

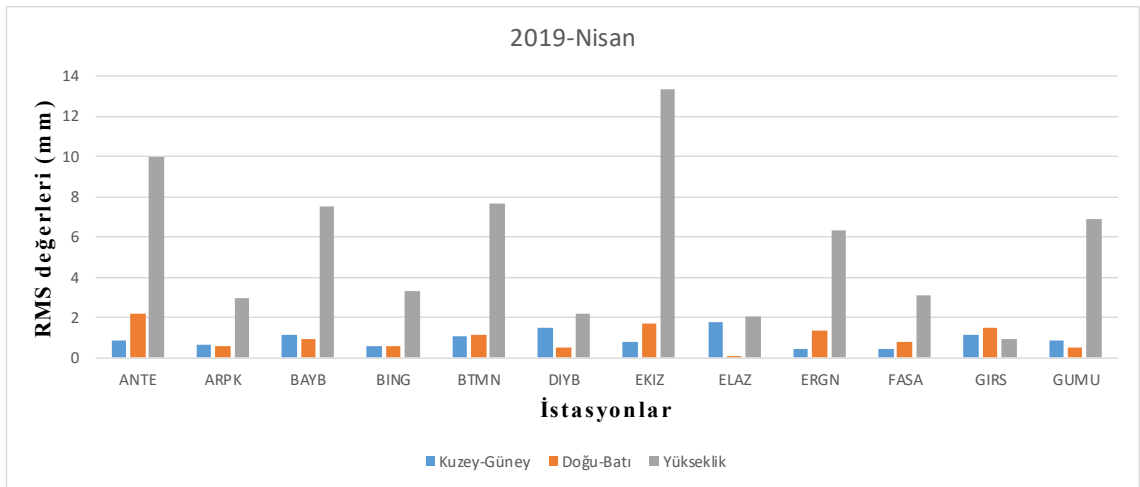
| <b>İstasyon Adı</b> | <b>X (m)</b>  | <b>Y (m)</b>  | <b>Z (m)</b>  | <b>vx (m/y)</b> | <b>vy (m/y)</b> | <b>vz (m/y)</b> |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>BUCU</b>         | 4093760.78561 | 2007793.89256 | 4445130.02513 | 0.0018          | 0.0002          | -0.0001         |
| <b>GRAZ</b>         | 4194423.73070 | 1162702.78191 | 4647245.46413 | -0.0008         | 0.0004          | 0.0002          |
| <b>ISTA</b>         | 4208830.21472 | 2334850.33411 | 4171267.31575 | 0.0020          | -0.0025         | -0.0006         |
| <b>KABR</b>         | 4377282.95867 | 3081551.66549 | 3456136.96680 | -0.0010         | -0.0060         | 0.0071          |
| <b>NICO</b>         | 4359415.61969 | 2874117.11901 | 3650777.88798 | 0.0020          | -0.0065         | 0.0026          |
| <b>RAMO</b>         | 4514721.74762 | 3133507.90874 | 3228024.79463 | -0.0011         | -0.0042         | 0.0069          |
| <b>TUBI</b>         | 4211317.30745 | 2377865.87646 | 4144663.34052 | 0.0045          | -0.0081         | -0.0017         |
| <b>WSRT</b>         | 3828735.78937 | 443305.03669  | 5064884.76954 | -0.0008         | -0.0004         | -0.0001         |
| <b>WTZR</b>         | 4075580.46343 | 931853.88137  | 4801568.17389 | -0.0003         | -0.0000         | 0.0000          |
| <b>YEBE</b>         | 4848724.65658 | -261632.11412 | 4123094.21287 | -0.0002         | -0.0004         | -0.0002         |
| <b>ZECK</b>         | 3451174.59165 | 3060335.50729 | 4391955.69420 | 0.0004          | -0.0007         | 0.0012          |

GAMIT yazılımı ile gerçekleştirilen analizler sonucunda öncelikle 2015-2019 yılları arasındaki tüm mevsime ait 3 günlük verilerin çözümü için günlük serbest çözümlerin birleştirilmesi sonucunda istasyonların birleştirilmiş koordinatlarından olan farkların yardımıyla tek bir koordinat ve kovaryans verileri elde edilmiştir. Bu koordinat bileşenlerine ait standart sapma değerleri hesaplandı ve bu işlemler tüm istasyonlar için uygulanmıştır. Bu işlem adımlarının sonucunda istasyonlara ait kuzey-güney bileşeni, doğu-batı bileşeni ve yükseklik bileşen değerleri ile istasyonların koordinat bileşenlerine ait standart sapma değerleri bulunmaktadır. Hesaplanan tekrarlılıklara ait tüm istasyonları kapsayan mevsimsel değerler Şekil 4.4 - 4.7'de verilmektedir.

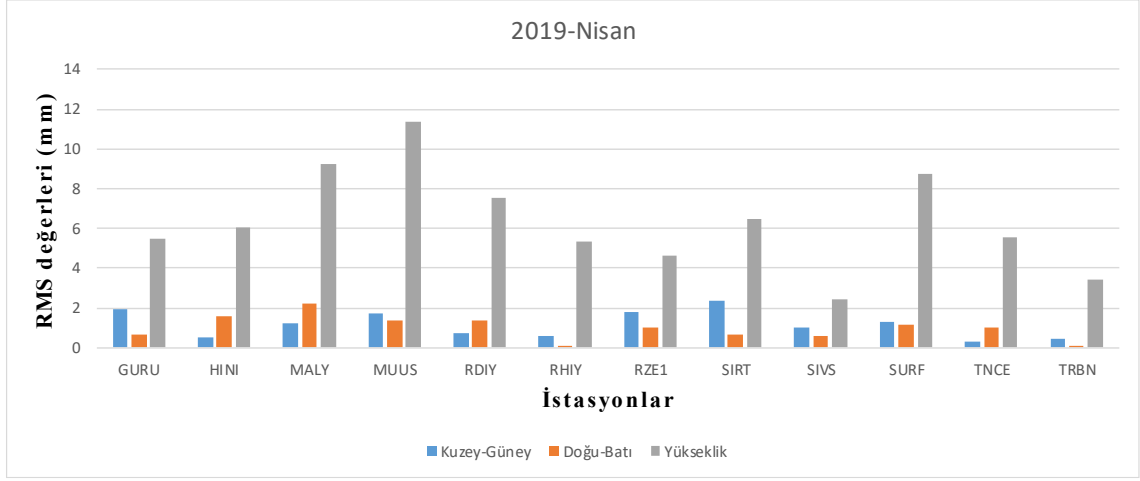


**Şekil 4.4** 2019 yılı Ocak ayına ait günlük tekrarlılıklar

Şekil 4.4'e göre 2019 yılı Ocak ayına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 1.22 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 4.15 mm olarak hesaplanmıştır.

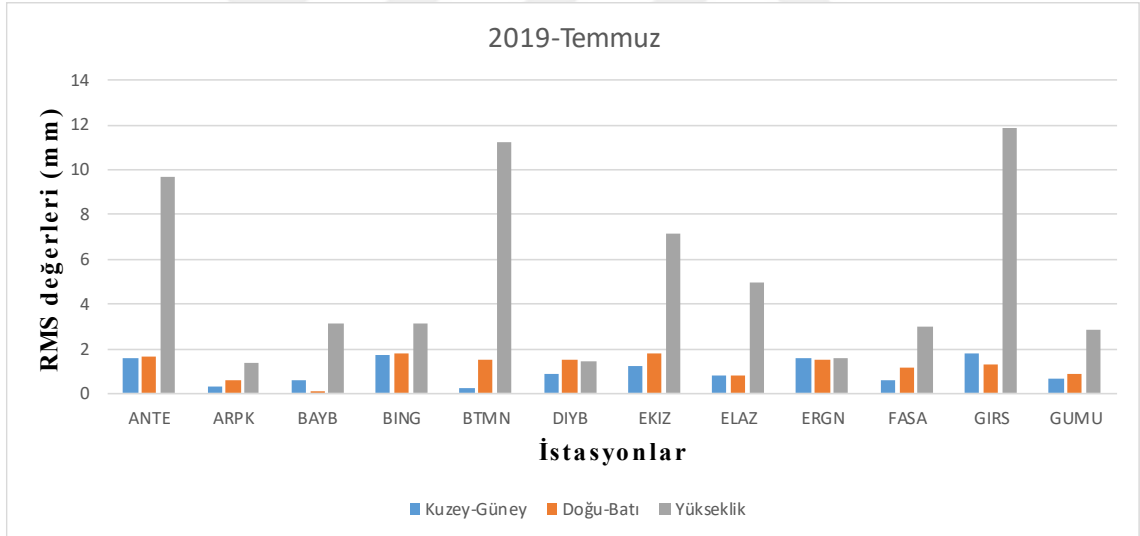


**Şekil 4.5** 2019 yılı Nisan ayına ait günlük tekrarlılıklar

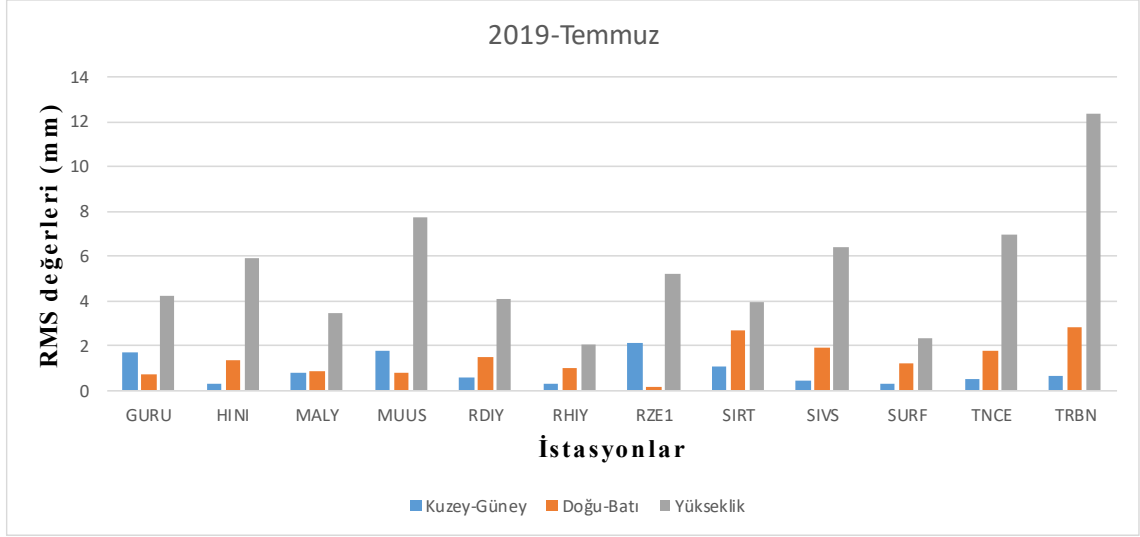


**Şekil 4.5** 2019 yılı Nisan ayına ait günlük tekrarlılıklar (devamı)

Şekil 4.5'e göre 2019 yılı Nisan ayına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 1.02 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 5.94 mm olarak hesaplanmıştır.

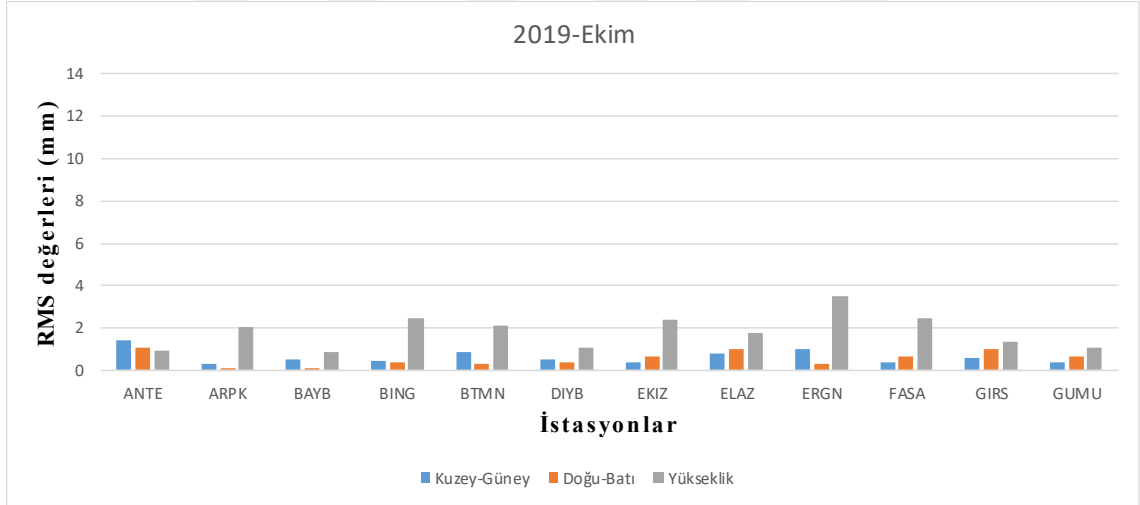


**Şekil 4.6** 2019 yılı Temmuz ayına ait günlük tekrarlılıklar

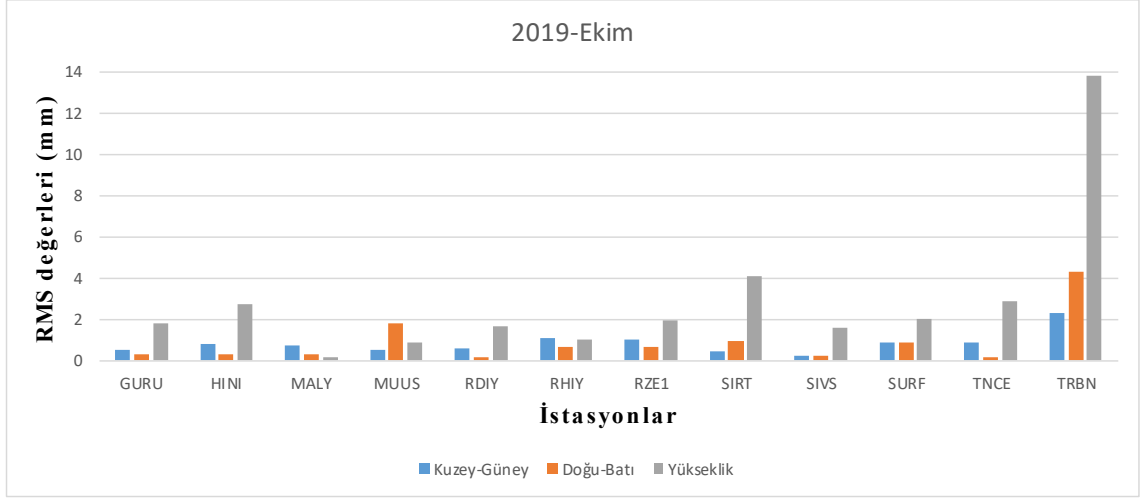


**Şekil 4.6** 2019 yılı Temmuz ayına ait günlük tekrarlılıklar (devamı)

Şekil 4.6'e göre 2019 yılı Temmuz ayına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 1.12 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 5.26 mm olarak hesaplanmıştır.

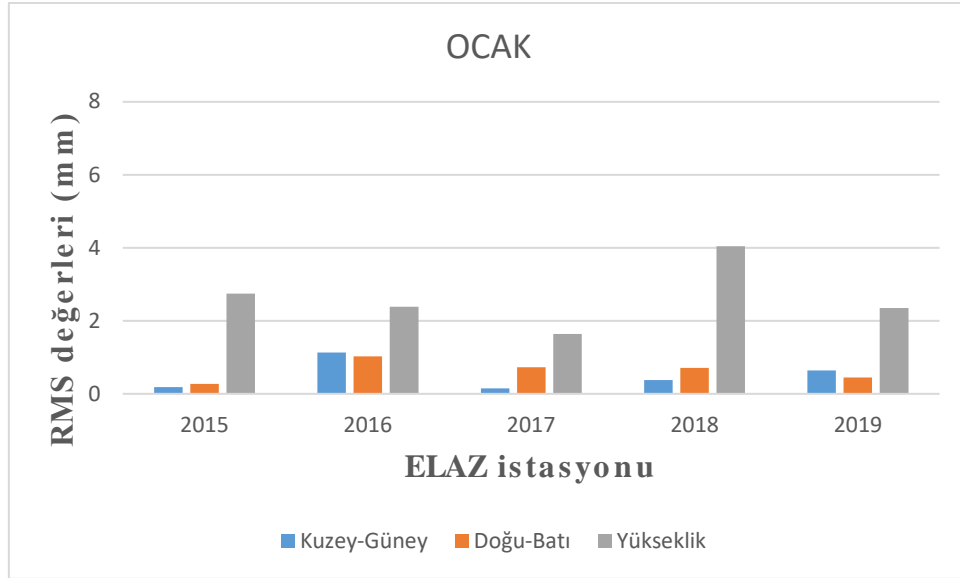


**Şekil 4.7** 2019 yılı Ekim ayına ait günlük tekrarlılıklar



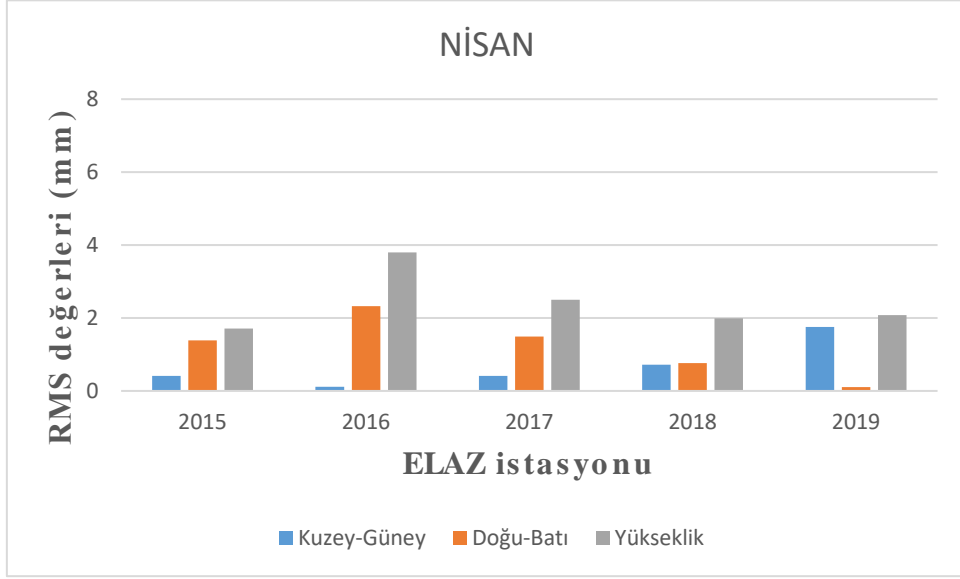
**Şekil 4.7** 2019 yılı Ekim ayına ait günlük tekrarlılıklar (devamı)

Şekil 4.7'e göre 2019 yılı Ekim ayına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 0.73 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 2.37 mm olarak hesaplanmıştır. Diğer yıllar için istasyonlara ait tekrarlılıklar ise EK-A' da sunulmuştur. Bu çalışmada ELAZ istasyonu ile RZE1 noktasının yıllık tekrarlılık örnek olarak verilmiştir. Seçilen bu istasyonların farklı iklim tipine ait bölgelerden olmasına dikkat edilmiştir. Bu sayede mevsimsel etkinin istasyonlar üzerindeki etkisi daha net gözlemlenmektedir.



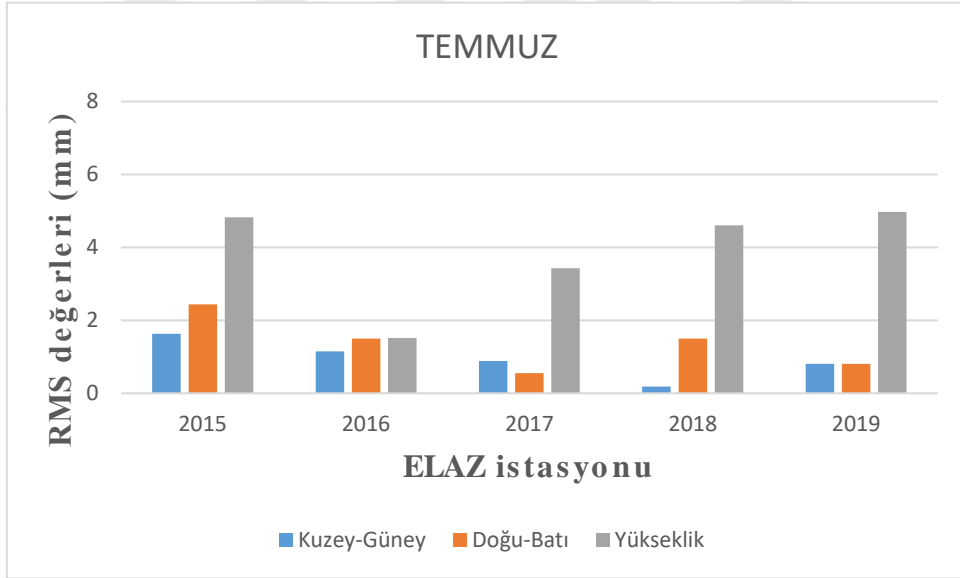
**Şekil 4.8** 2015-2019 yılları Ocak ayına ait tekrarlılıklar

Şekil 4.8'e göre kış mevsiminde gerçekleştirilen GNSS ölçülerinde 2015-2019 yılına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 0.56 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 2.63 mm olarak hesaplanmıştır.



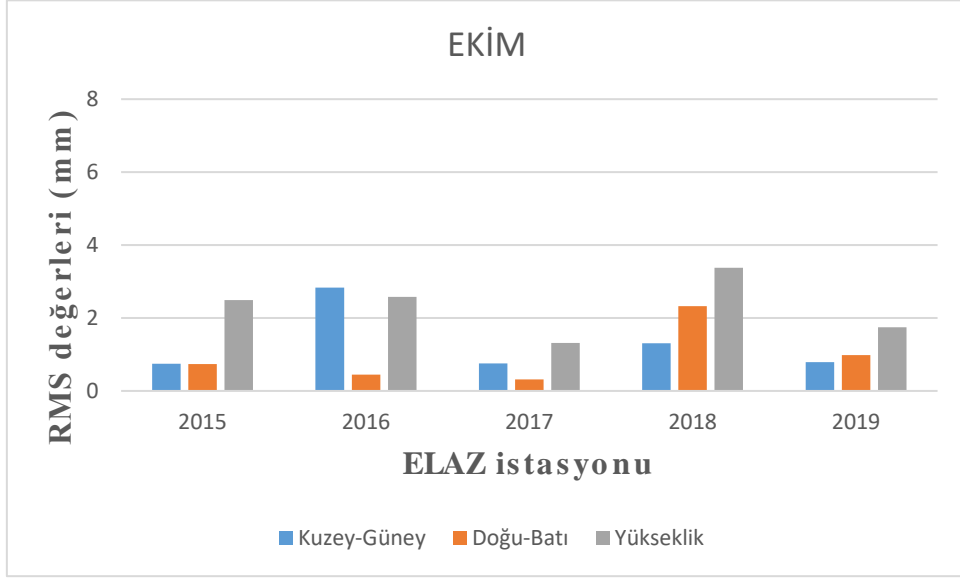
**Şekil 4.9** 2015-2019 yılları Nisan ayına ait tekrarlılıklar

Şekil 4.9'e göre ilkbahar mevsiminde gerçekleştirilen GNSS ölçülerinde 2015-2019 yılına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 0.95 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 2.42 mm olarak hesaplanmıştır.



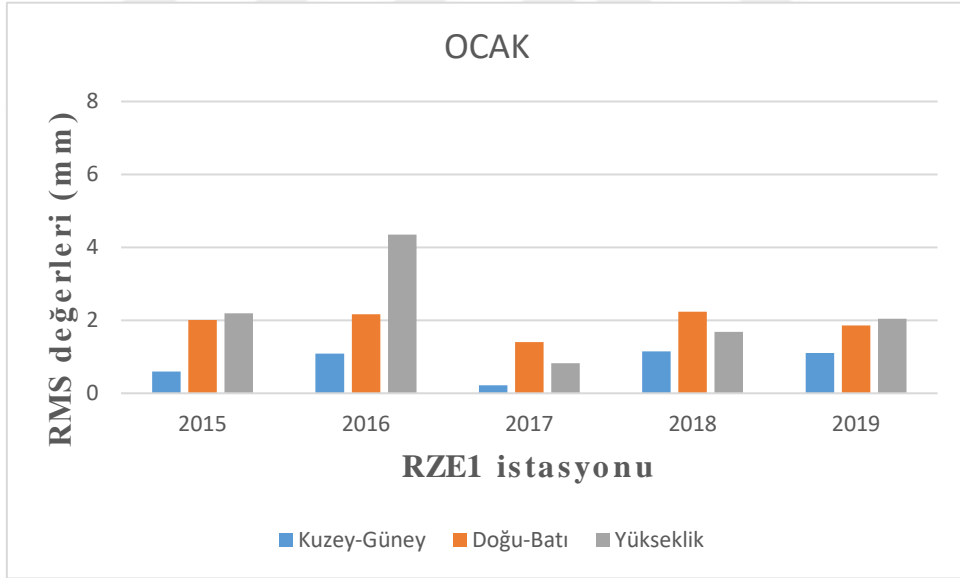
**Şekil 4.10** 2015-2019 yılları Temmuz ayına ait tekrarlılıklar

Şekil 4.10'a göre yaz mevsiminde gerçekleştirilen GNSS ölçülerinde 2015-2019 yılına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 1.15 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 3.87 mm olarak hesaplanmıştır.



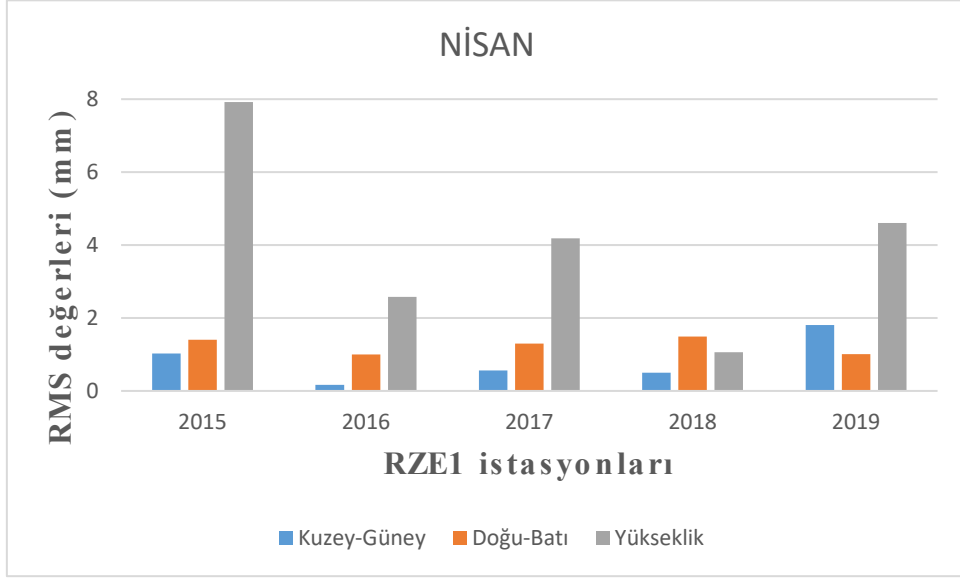
**Şekil 4.11** 2015-2019 yılları Ekim ayına ait tekrarlılıklar

Şekil 4.11'e göre sonbahar mevsiminde gerçekleştirilen GNSS ölçülerinde 2015-2019 yılına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 1.13 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 2.30 mm olarak hesaplanmıştır.



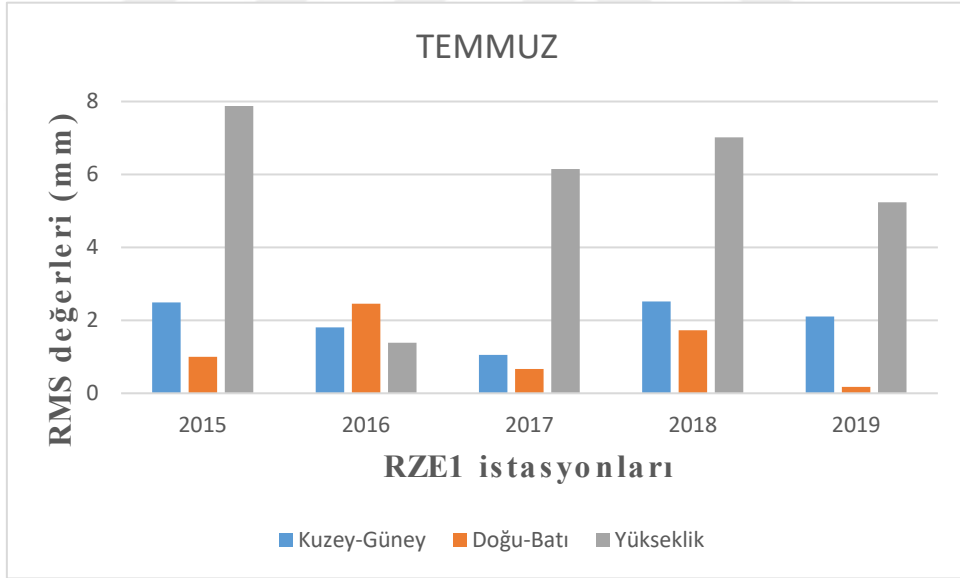
**Şekil 4.12** 2015-2019 yılları Ocak ayına ait tekrarlılıklar

Şekil 4.12'e göre kış mevsiminde gerçekleştirilen GNSS ölçülerinde 2015-2019 yılına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 1.39 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 2.22 mm olarak hesaplanmıştır.



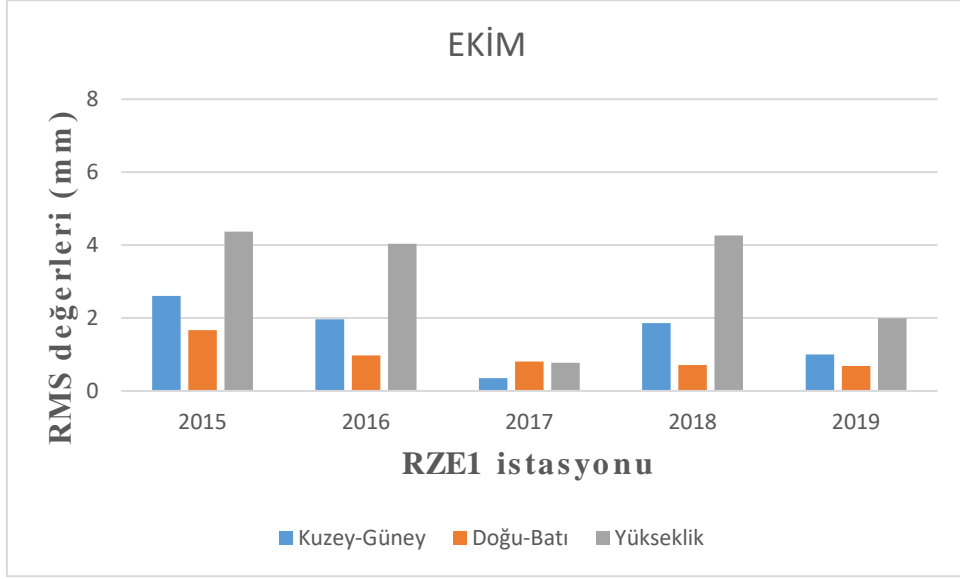
**Şekil 4.13** 2015-2019 yılları Nisan ayına ait tekrarlılıklar

Şekil 4.13'e göre ilkbahar mevsiminde gerçekleştirilen GNSS ölçülerinde 2015-2019 yılına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 1.02 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 4.07 mm olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.14** 2015-2019 yılları Temmuz ayına ait tekrarlılıklar

Şekil 4.14'e göre yaz mevsiminde gerçekleştirilen GNSS ölçülerinde 2015-2019 yılına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 1.60 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 5.54 mm olarak hesaplanmıştır.

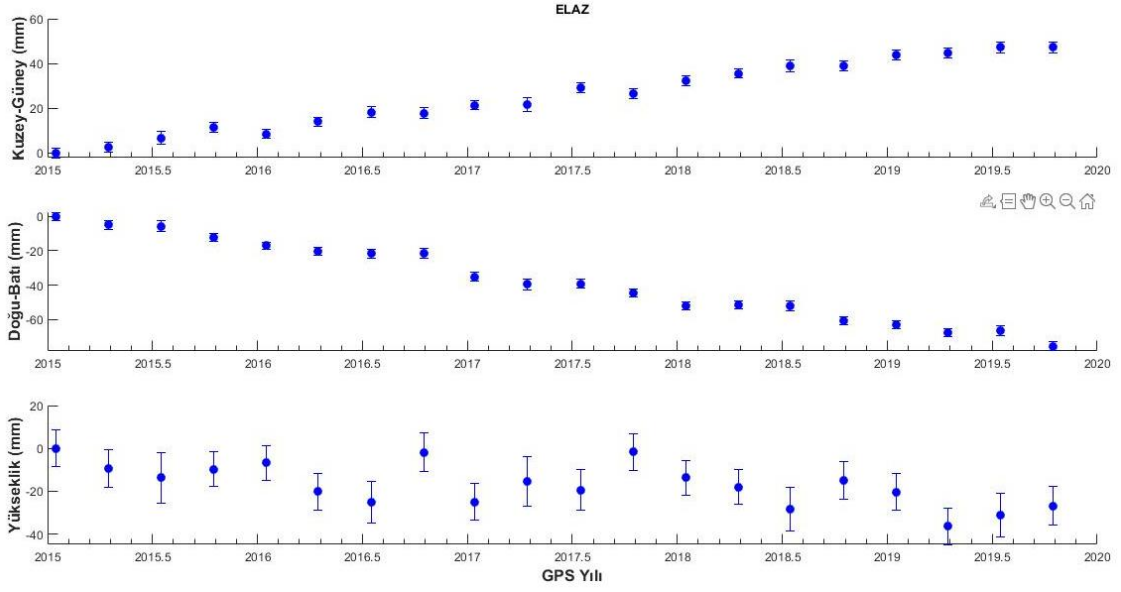


**Şekil 4.15** 2015-2019 yılları Ekim ayına ait tekrarlılıklar

Şekil 4.15'e göre sonbahar mevsiminde gerçekleştirilen GNSS ölçülerinde 2015-2019 yılına ait tekrarlılık değerleri belirlenmiş ve ortalama olarak yatay bileşende 1.26 mm, düşey bileşende ise yaklaşık 3.08 mm olarak hesaplanmıştır.

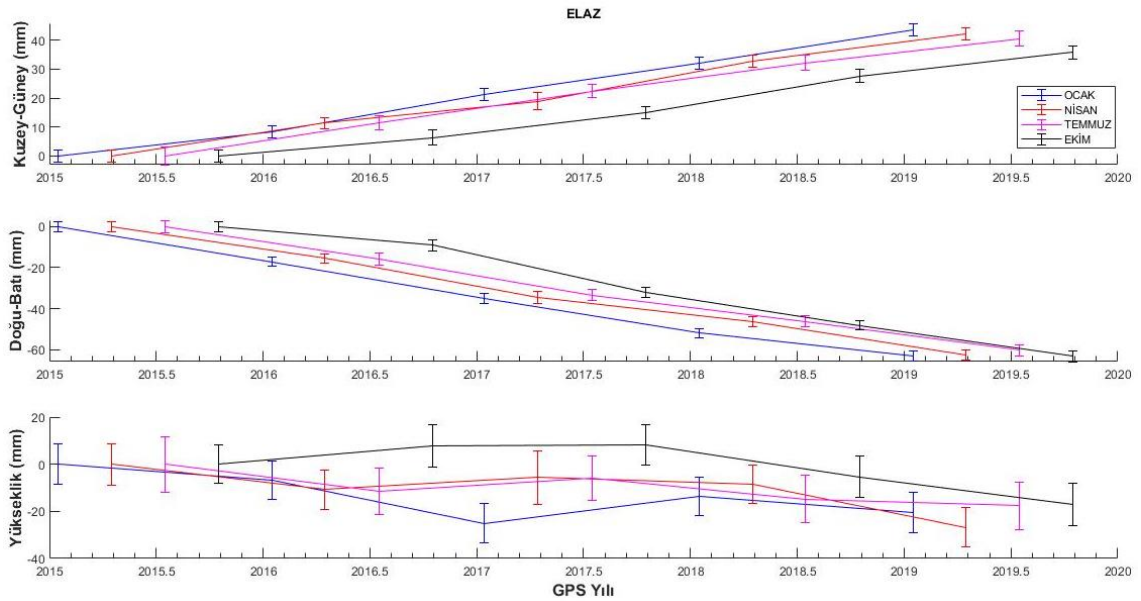
2015-2019 yıllarında gerçekleşen GNSS istasyonlarında ki ölçülere göre genel olarak yatay bileşende 1-3 mm, düşey bileşende ise 4-14 mm arasında değişen ortalama tekrarlılık değerleri gözlemlenmiştir. Yaz mevsiminde ve yıllık yağış miktarının fazla olduğu yerlerde düşey bileşende doğruluğun yataya göre 3 katından daha fazla düşük olduğu görülmektedir. Genel olarak yatay ve düşey bileşenlerde en düşük doğruluğun yaz mevsiminde olduğu görülmüştür.

Bütün istasyonlara ilişkin tüm yıllar (2015-2019) göz önüne alınarak 3-boyutlu zaman serileri oluşturulmuş ve tüm mevsimlere göre yatay ve düşey koordinat değişimleri belirlenmiştir. Bu analize ilişkin sonuçlardan örnek olarak ELAZ ve MUUS istasyonları için belirlenen zaman serileri verilmiştir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de ELAZ istasyonuna ait zaman serisi ile mevsimsel değişime ait zaman serisi, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da MUUS istasyonuna ait zaman serisi ile mevsimsel değişime ait zaman serisi gösterilmiştir. Tüm istasyonlara ait zaman serileri ise EK-B'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.16** ELAZ istasyonuna ait zaman serisi

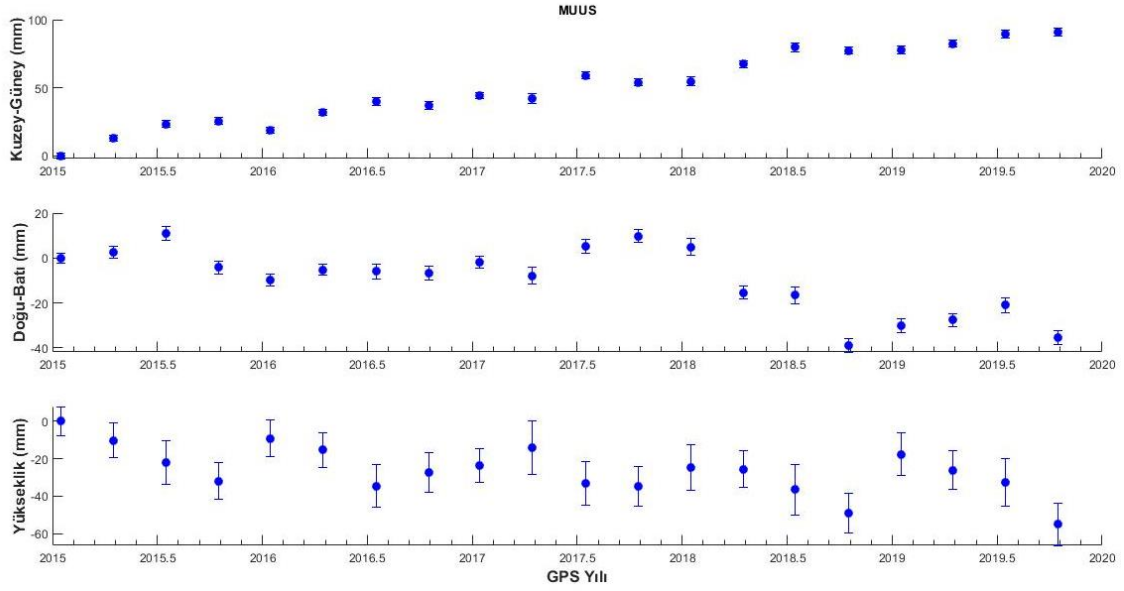
Şekil 4.16'ya göre 2015-2019 yıllarına ait gözlemler için ELAZ istasyonu Kuzey-Güney bileşeninde kuzeye doğru yaklaşık olarak 50 mm, Doğu-Batı bileşeninde batıya doğru yaklaşık olarak 70 mm ve yükseklik bileşeninde ise 2 cm'lik yer değiştirme değeri belirlenmiştir. Belirlenen yer değiştirmeleri istatistiksel olarak %95 güven aralığında anlamlı olarak değerlendirilmiştir.



**Şekil 4.17** ELAZ istasyonuna ait mevsimsel değişime bağlı zaman serisi

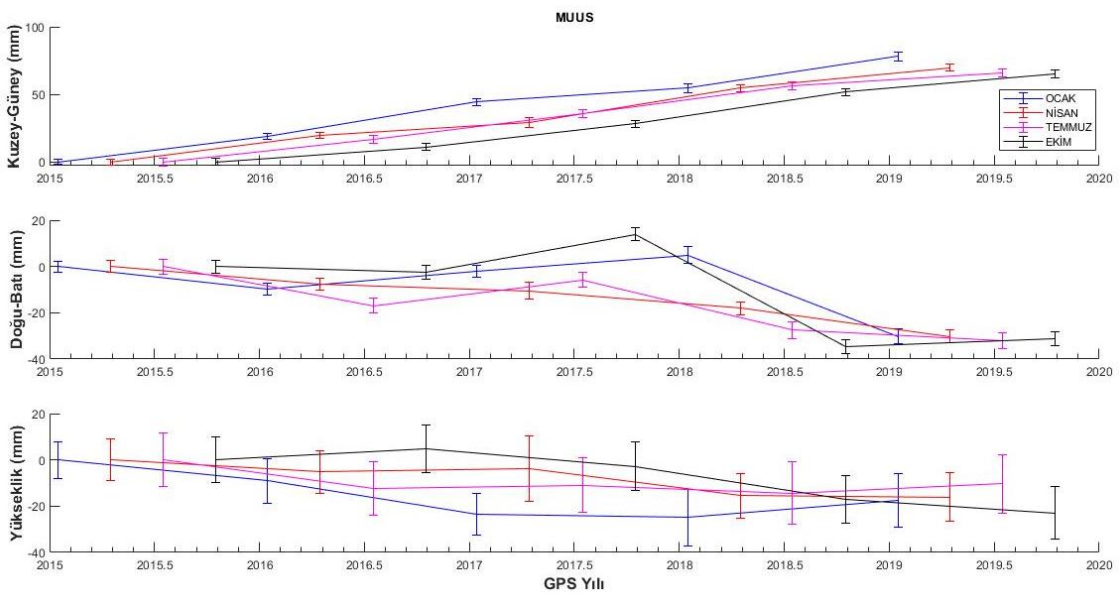
Şekil 4.17'de ELAZ istasyonu için mevsimsel değişime bağlı zaman serisi oluşturulmuştur. Burada tüm mevsimlere ait 2015-2019 yılları arasındaki veri seti

ayrı ayrı değerlendirilerek aralarındaki farklar gözlemlenmiştir. Farklı mevsimlerde ki yer değiştirmeler trend olarak benzerlik göstermelerine rağmen, yer değiştirme miktarlarında farklılıklar görülmektedir.



**Şekil 4.18** MUUS istasyonuna ait zaman serisi

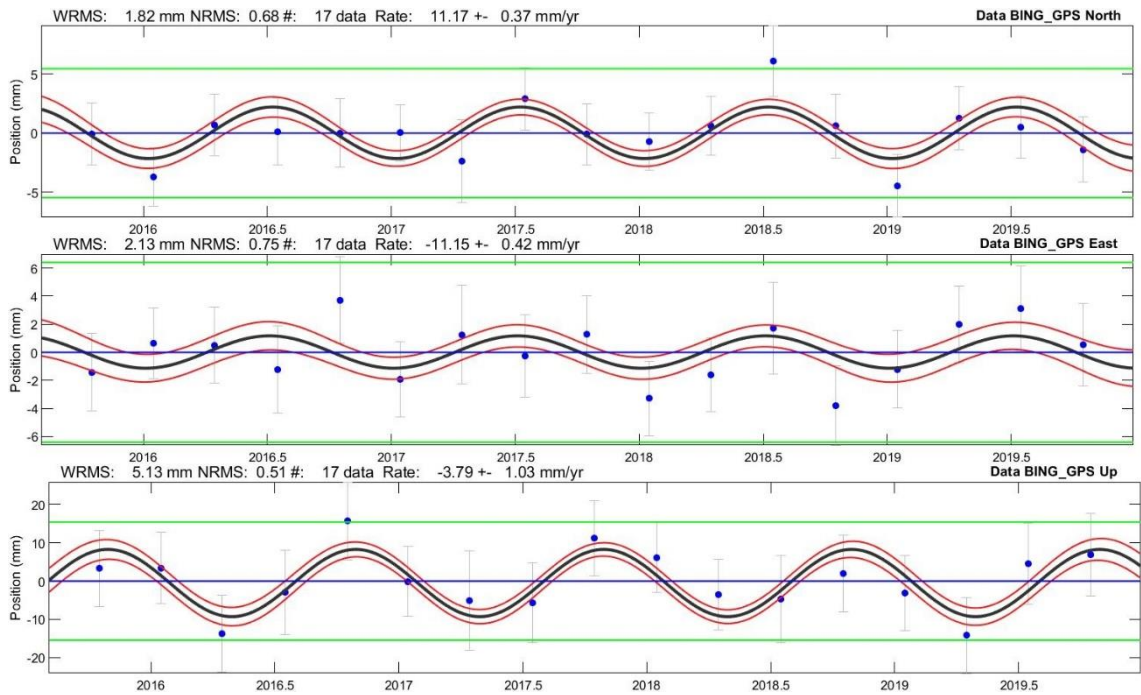
Şekil 4.18'e göre 2015-2019 yıllarına ait gözlemler için MUUS istasyonu kuzey-güney bileşeninde kuzeye doğru yaklaşık olarak 100 mm, doğu-batı bileşeninde batıya doğru yaklaşık olarak 40 mm ve yükseklik bileşeninde ise 5 cm'lik yer değiştirme değeri belirlenmiştir. Belirlenen yer değiştirmeleri istatistiksel olarak %95 güven aralığında anlamlı olarak değerlendirilmiştir.



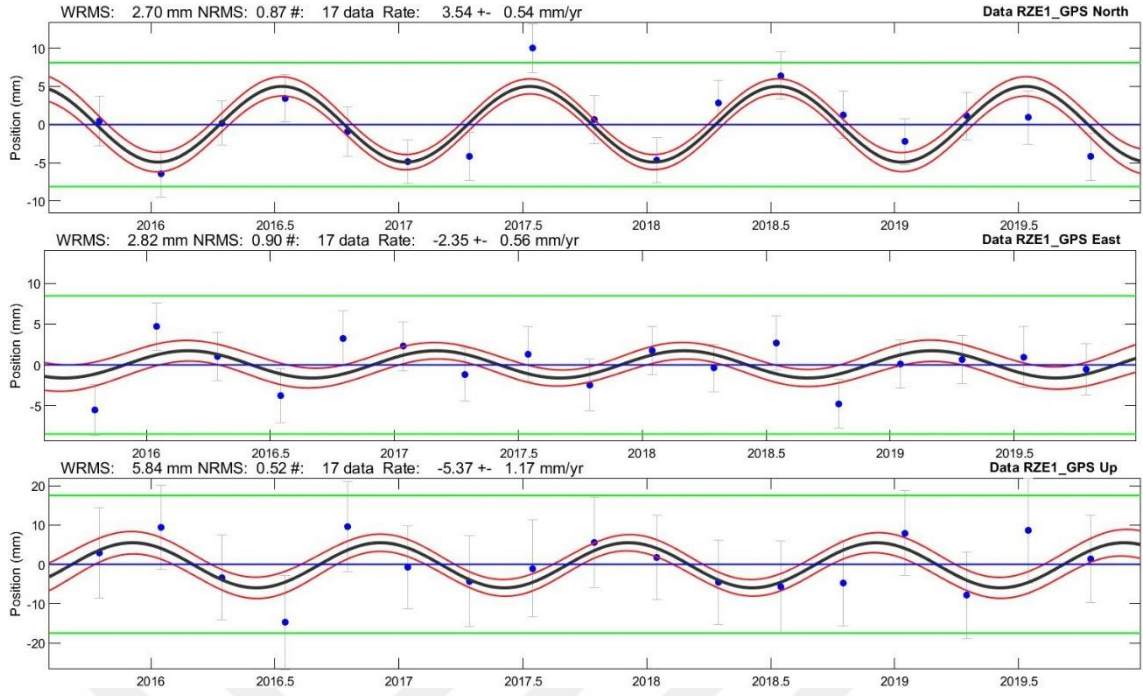
**Şekil 4.19** MUUS istasyonuna ait mevsimsel değişime bağlı zaman serisi

Şekil 4.19'da MUUS istasyonu için mevsimsel değişime bağlı zaman serisi çizdirilmiştir. Burada tüm mevsimlere ait 2015-2019 yılları arasındaki veri seti ayrı ayrı değerlendirilerek aralarındaki farklar gözlemlenmiştir. ELAZ istasyonuna benzer olarak farklı mevsimlerdeki yer değiştirmeler trend olarak benzerlik gösterebilir, yer değiştirme miktarlarında farklılıklar görülmektedir.

TSVIEW, Massachusetts Institute of Technology tarafından geliştirilen bir matlab uygulamasıdır. Bu uygulama sayesinde GAMIT/GLOBK yazılımı tarafından oluşturulan zaman serilerini görüntüleyip, kalitesini değerlendirme, zaman serileri üzerinde düzeltmeler ve çeşitli modeller uygulayarak hız tahminleri ile gürültü analizleri yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında TSVIEW sayesinde analizlerimizi gerçekleştirdik. Bu analizler gerçekleştirilirken üretilen istasyon konum bileşenleri (kuzey-güney, doğu-batı, yükseklik) için parametre kestirim değerlerine ait karesel ortalama hata değerlerini içeren mb\_ dosyalarını bu hatalardan elimine edebilmek için "edit" ve/veya "block edit" modülleri sayesinde kaba hatalı ölçmeler dosyası analiz kısmından çıkarılmıştır. Bu adımdan sonra TSVIEW uygulaması içinde bulunan "+Annual", "Semiannual", "DisplayFit" gibi parametre setleriyle zaman serilerinin kalitesi üzerinde değişiklikler yapılabilir. Bu uygulama ile GNSS sinyalleri üzerindeki yıllık ve yarıyıllık mevsimsel etki ötelenerek hız trend tahmini üretilmiştir [43].



Şekil 4.20 BING istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



**Şekil 4.21** RZE1 istasyonuna ait TSVIEW çizimleri

GNSS istasyonlarına ait 2015-2019 yılları arasındaki mevsimsel etkiye ait zaman serileri Şekil 4.20 ile Şekil 4.21’de verilmiştir. Tüm istasyonlara ait TSVIEW çizimleri ise EK-C de verilmiştir.

### 4.3 Hız Alanlarının Belirlenmesi

Tektonik levha hareketleri, bölgesel deformasyonlar ve çevresel faktörler yer kontrol istasyonlarının (GPS/GNSS istasyonları vb.) yer değiştirmesine sebep olabilmektedir. Bir istasyonun zamana bağlı yer değişimlerini belirlemek ve çözüm sunmak için koordinatlara veya koordinatların farklarına göre 2 farklı hız modeli kullanılmaktadır [39].

#### 4.3.1 Koordinatlara Göre Hız Modeli

Bir jeodezik ağın herhangi bir P istasyonu için  $t_0$  zamandaki koordinatları  $x_0, y_0, z_0$  ve hız vektörü bileşenleri  $u_{x,0}, u_{y,0}, u_{z,0}$  olduğunu varsayarsak koordinatlara göre hız modeli  $t_k$  zamandaki koordinatları;

$$x_k = x_0 + (t_k - t_0) u_{x,0} \quad (4.1)$$

$$y_k = y_0 + (t_k - t_0) u_{y,0} \quad (4.2)$$

$$z_k = z_0 + (t_k - t_0) u_{z,0} \quad (4.3)$$

olur ve  $t_0$  zamandaki yaklaşık olarak koordinatlar  $x_{0,0}$  olduğunu varsayarsak,

$$v_k = \delta x_0 + (t_k - t_0) u_0 - l_k \quad (4.4)$$

hesaplanır ve düzeltme denklemleri çıkar. Bu durumda  $-l_k$ ,

$$-l_k = x_{0,0} - x_k \quad (4.5)$$

vektörüdür. Stokastik model denklemleri ise;

$$C_{xx} = \sigma_0^2 P^{-1} \quad (4.6)$$

olur.

### 4.3.2 Koordinat Farklarına Göre Oluşturulan Hız Modeli

Bu yöntemle belirlenen hız modelinde ölçüler,  $t_k$  zamanında  $i$  ve  $j$  noktaları arasında ortaya çıkan koordinat farkları vektörü;

$$\Delta X_k = [Dx \ Dy \ Dz]_k^T \quad (4.7)$$

olduğunu varsayarsak bu durumda  $t_0$  başlangıç zamanına ait fonksiyonel model;

$$\begin{bmatrix} V_{Dx} \\ V_{Dy} \\ V_{Dz} \end{bmatrix}_k = [A_D \ A_D(t_k - t_0)] \begin{bmatrix} dx \\ u \end{bmatrix}_0 - \begin{bmatrix} l_{Dx} \\ l_{Dy} \\ l_{Dz} \end{bmatrix}_k \quad (4.8)$$

olur ve burada  $-l_{\Delta,k}$  yalın terimler vektörü ise,

$$-l_{D,k} = \begin{bmatrix} -l_{Dx} \\ -l_{Dy} \\ -l_{Dz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Dx_{0,0} - Dx_k \\ Dy_{0,0} - Dy_k \\ Dz_{0,0} - Dz_k \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$A_{\Delta}$  katsayılar matrisi,

$$A_{\Delta} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

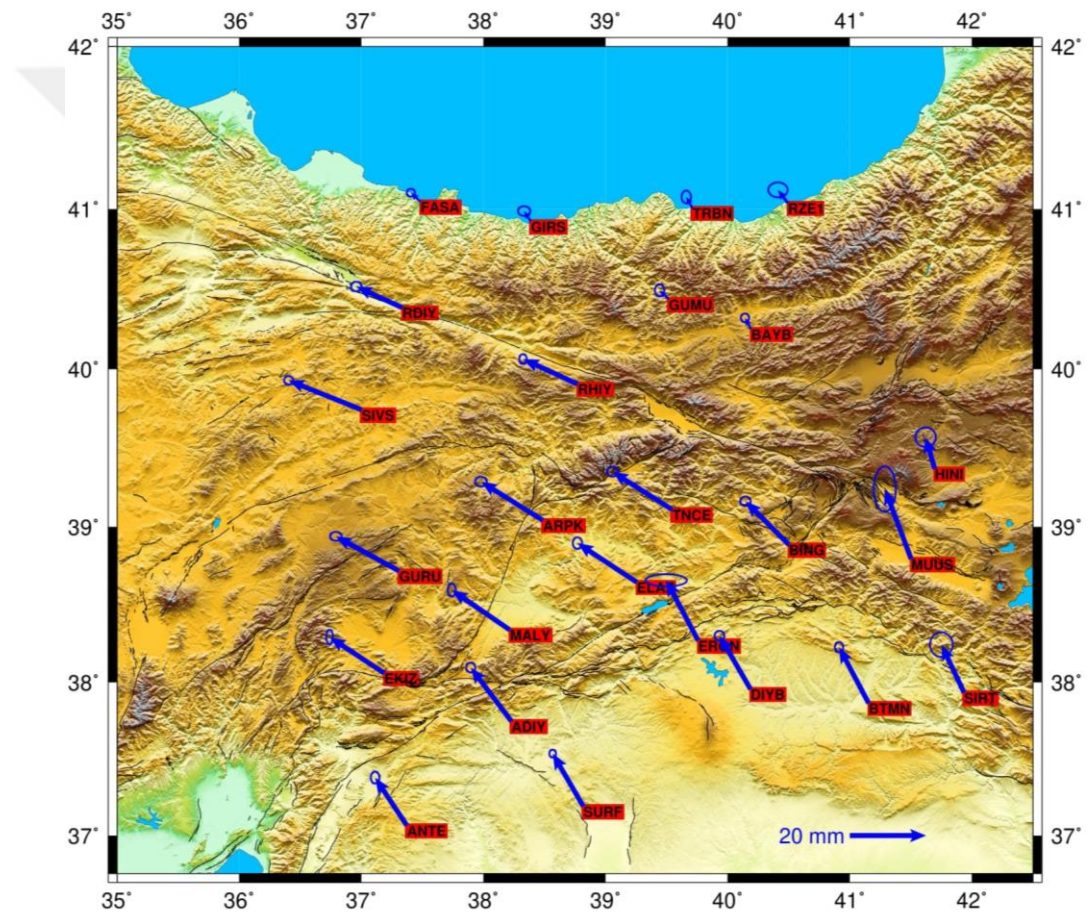
bu şekildedir. Bu eşitlikler sayesinde istasyonlara ait hız alanları hesaplanmıştır.

Bu modeli oluşturmadan önce izlenmesi gereken adımlar ise;

- Datum parametreleri koordinatlar ve hızlar için belirlenmeli
- Her bir epok için kullanılan ölçüler aynı doğrulukta olmalı,
- En az 3 periyotluk veri seti olmalı,
- Bu veri seti sayesinde dengelemeli çözüm elde edilir
- Periyotlara ait uyumsuz ölçüler elimine edilmeli,
- Stokastik modellerde ki önseziler gerçek uygun olmalıdır [40].

### 4.3.3 Çalışmada Kullanılan Hız Modeli

Bu çalışmada hız değerleri hesaplanırken koordinatlara göre oluşturulan hız modeli yöntemi ve Avrasya levhasına sabit alınarak tüm istasyonların hız değerleri farklı gözlem sürelerine göre hesaplanmıştır. Tüm verilerden elde edilen hız modeli ile mevsimsel değişimlere ait hız modeli belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.22 – 4.26’de gösterilmiştir. Tüm verilerden elde edilen hızlara göre (Şekil 4.22) istasyonların hızlarının kendi içinde tutarlı olduğu ve saat yönünün tersine doğudan batıya doğru yaklaşık olarak  $13.5 \pm 0,8$  mm/yıl’lık bir hızla hareket ettiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.22** Tüm istasyonlara ait hız vektörleri ve hata elipsleri

TUSAGA-Aktif ağlarına ait 5 yıllık (2015-2019) gözlem verilerine göre yapılan değerlendirme sonuçlarında (Şekil 4.22) maksimum yatay hız  $20.5 \pm 0.6$  mm/yıl ile SIVS istasyonudur (kuzey-güney doğrultuda  $7.9 \pm 0.3$  mm/yıl, doğu-batı doğrultusunda  $-18.91 \pm 0.5$  mm/yıl). Bölgede belirlenen minimum yatay hız ise  $3.0 \pm 0.5$  mm/yıl ile FASA istasyonudur (kuzey-güney doğrultuda  $2.0 \pm 0.2$  mm/yıl, doğu-

batı doğrultusunda  $-2.1 \pm 0.4$  mm/yıl). Avrasya plakası sabit alındığı için genel olarak Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) güneyinde hız vektörleri daha büyüktür. KAF'ın kuzeyine doğru hız vektör değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile Ozdemir vd. (2019)'un [41] yaptığı çalışmada ki sonuçlar karşılaştırılmıştır (Tablo 4.3). Her iki çalışmada ki sonuçlarında uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 4.3** Hızların Karşılaştırılması

| İSTASYON | VERİ ARALIĞI | Vn (mm/y)        | Ve (mm/y)         | Referans          |
|----------|--------------|------------------|-------------------|-------------------|
| ADİY     | 9,36 yıl     | 13.11 $\pm$ 0.09 | -7.54 $\pm$ 0.26  | Özdemir vd., 2019 |
|          | 4 yıl        | 13.88 $\pm$ 0.41 | -11.47 $\pm$ 0.53 | Bu çalışma        |
| ANTE     | 9,36 yıl     | 12.73 $\pm$ 0.09 | -6.89 $\pm$ 0.18  | Özdemir vd.,2019  |
|          | 5 yıl        | 12.55 $\pm$ 0.34 | -7.95 $\pm$ 0.58  | Bu çalışma        |
| ARPK     | 9,36 yıl     | 10.12 $\pm$ 0.19 | -15.04 $\pm$ 0.14 | Özdemir vd., 2019 |
|          | 5 yıl        | 9.73 $\pm$ 0.53  | -15.97 $\pm$ 0.57 | Bu çalışma        |
| BAYB     | 9,36 yıl     | 2.54 $\pm$ 0.10  | -0.05 $\pm$ 0.10  | Özdemir vd., 2019 |
|          | 5 yıl        | 2.91 $\pm$ 0.22  | -1.65 $\pm$ 0.45  | Bu çalışma        |
| BING     | 9,36 yıl     | 11.67 $\pm$ 0.17 | -10.23 $\pm$ 0.11 | Özdemir vd., 2019 |
|          | 5 yıl        | 11.09 $\pm$ 0.34 | -11.17 $\pm$ 0.46 | Bu çalışma        |
| BTMN     | 9,36 yıl     | 15.06 $\pm$ 0.10 | -6.23 $\pm$ 0.12  | Özdemir vd., 2019 |
|          | 5 yıl        | 14.53 $\pm$ 0.35 | -7.80 $\pm$ 0.57  | Bu çalışma        |
| DIYB     | 9,36 yıl     | 14.48 $\pm$ 0.13 | -7.12 $\pm$ 0.18  | Özdemir vd., 2019 |
|          | 5 yıl        | 13.95 $\pm$ 0.37 | -8.14 $\pm$ 0.51  | Bu çalışma        |
| EKIZ     | 9,36 yıl     | 8.99 $\pm$ 0.09  | -13.50 $\pm$ 0.16 | Özdemir vd., 2019 |
|          | 5 yıl        | 9.50 $\pm$ 0.32  | -14.10 $\pm$ 0.5  | Bu çalışma        |

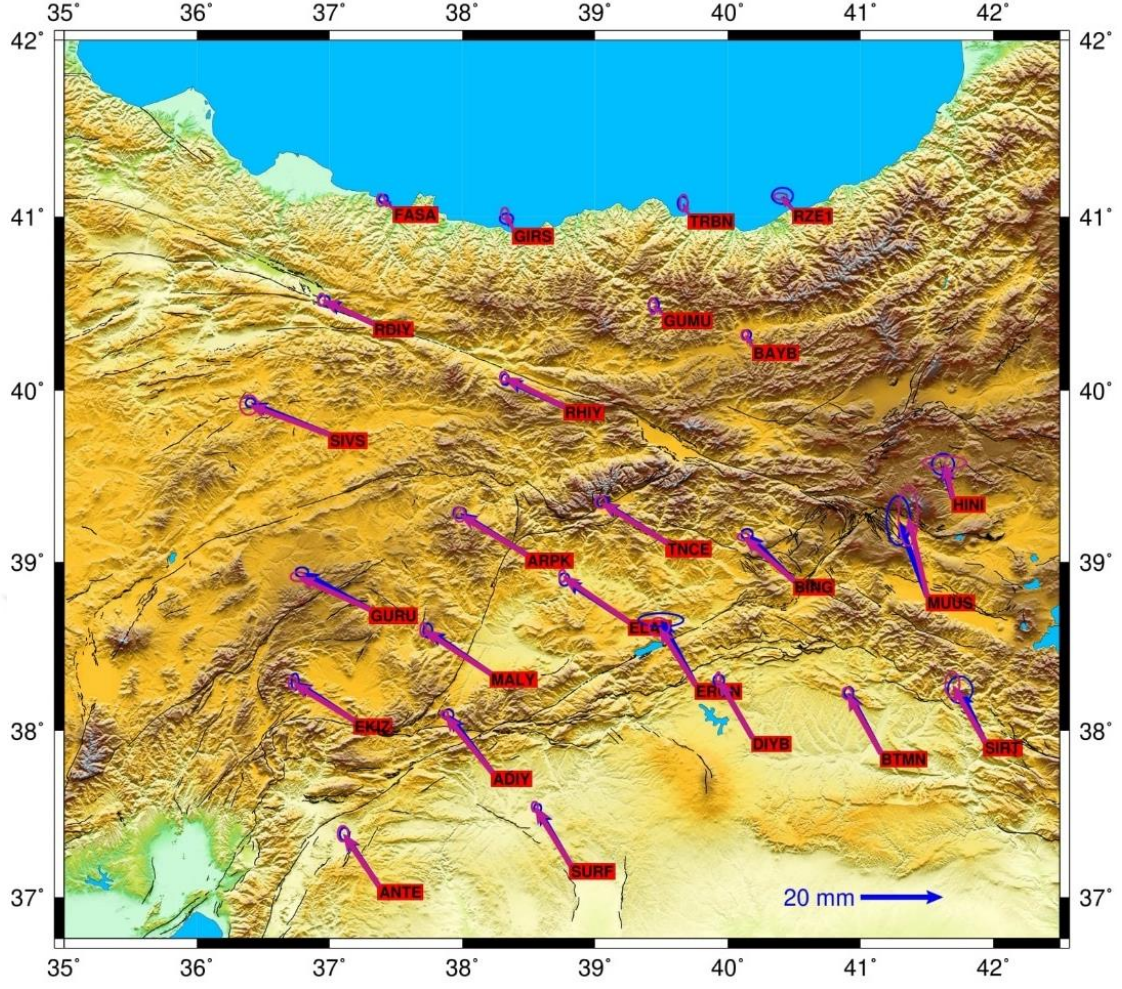
**Tablo 4.3** Hızların Karşılaştırılması (devamı)

|      |          |             |              |                   |
|------|----------|-------------|--------------|-------------------|
| ELAZ | 9,36 yıl | 10.42 ±0.12 | -15.22 ±0.20 | Özdemir vd.,2019  |
|      | 5 yıl    | 10.09 ±0.37 | -15.78 ±0.46 | Bu çalışma        |
| FASA | 9,36 yıl | 2.26 ±0.11  | -1.05 ±0.27  | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 2.10 ±0.21  | -2.15 ±0.42  | Bu çalışma        |
| GIRS | 9,36 yıl | 2.60 ±0.10  | -0.55 ±0.10  | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 2.74 ±0.45  | -2.06 ±0.48  | Bu çalışma        |
| GUMU | 9,36 yıl | 2.19 ±0.11  | -0.52 ±0.14  | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 2.17 ±0.36  | -2.34 ±0.58  | Bu çalışma        |
| GURU | 9,36 yıl | 8.62 ±0.10  | -15.35 ±0.27 | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 8.57 ±0.32  | -16.94 ±0.41 | Bu çalışma        |
| HINI | 9,36 yıl | 7.71 ±0.27  | 0.09 ±0.35   | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 7.93 ±1.11  | -3.00 ±0.61  | Bu çalışma        |
| MALY | 9,36 yıl | 10.60 ±0.10 | -13.76 ±0.21 | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 10.6 ±0.23  | -15.33 ±0.71 | Bu çalışma        |
| MUUS | 9,36 yıl | 15.12 ±0.60 | -7.73 ±1.69  | Özdemir vd.,2019  |
|      | 5 yıl    | 17.50 ±0.73 | -7.85 ±2.39  | Bu çalışma        |
| RDIY | 9,36 yıl | 5.73 ±0.11  | -10.75 ±0.09 | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 5.26 ±0.33  | -11.83 ±0.41 | Bu çalışma        |
| RHIY | 9,36 yıl | 6.52 ±0.09  | -13.05 ±0.10 | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 6.34 ±0.33  | -14.30 ±0.48 | Bu çalışma        |
| RZE1 | 9,36 yıl | 3.16 ±0.75  | -2.25 ±0.97  | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 3.48 ±0.57  | -2.42 ±0.51  | Bu çalışma        |
| SIRT | 9,36 yıl | 14.39 ±0.21 | -6.12 ±0.18  | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 12.63 ±0.99 | -5.8 ±1.24   | Bu çalışma        |

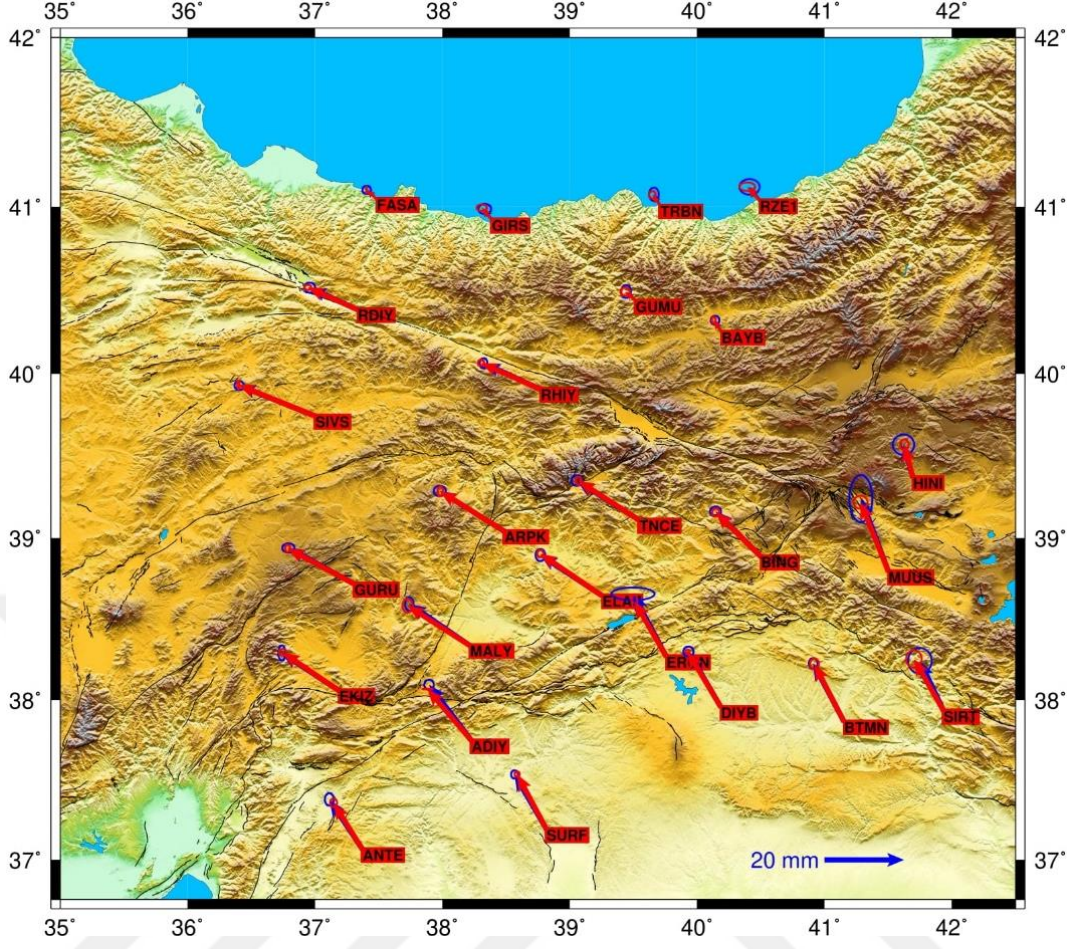
**Tablo 4.3** Hızların Karşılaştırılması (devamı)

|      |          |             |              |                   |
|------|----------|-------------|--------------|-------------------|
| SIVS | 9,36 yıl | 7.54 ±0.09  | -18.24 ±0.10 | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 7.93 ±0.35  | -18.91 ±0.46 | Bu çalışma        |
| SURF | 9,36 yıl | 13.99 ±0.12 | -7.82 ±0.29  | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 13.91 ±0.29 | -8.02 ±0.41  | Bu çalışma        |
| TNCE | 9,36 yıl | 9.57 ±0.16  | -14.72 ±0.10 | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 9.58 ±0.61  | -15.61 ±0.45 | Bu çalışma        |
| TRBN | 9,36 yıl | 2.41 ±0.09  | 0.1 ±0.1     | Özdemir vd., 2019 |
|      | 5 yıl    | 2.83 ±0.29  | -1.8 ±0.76   | Bu çalışma        |

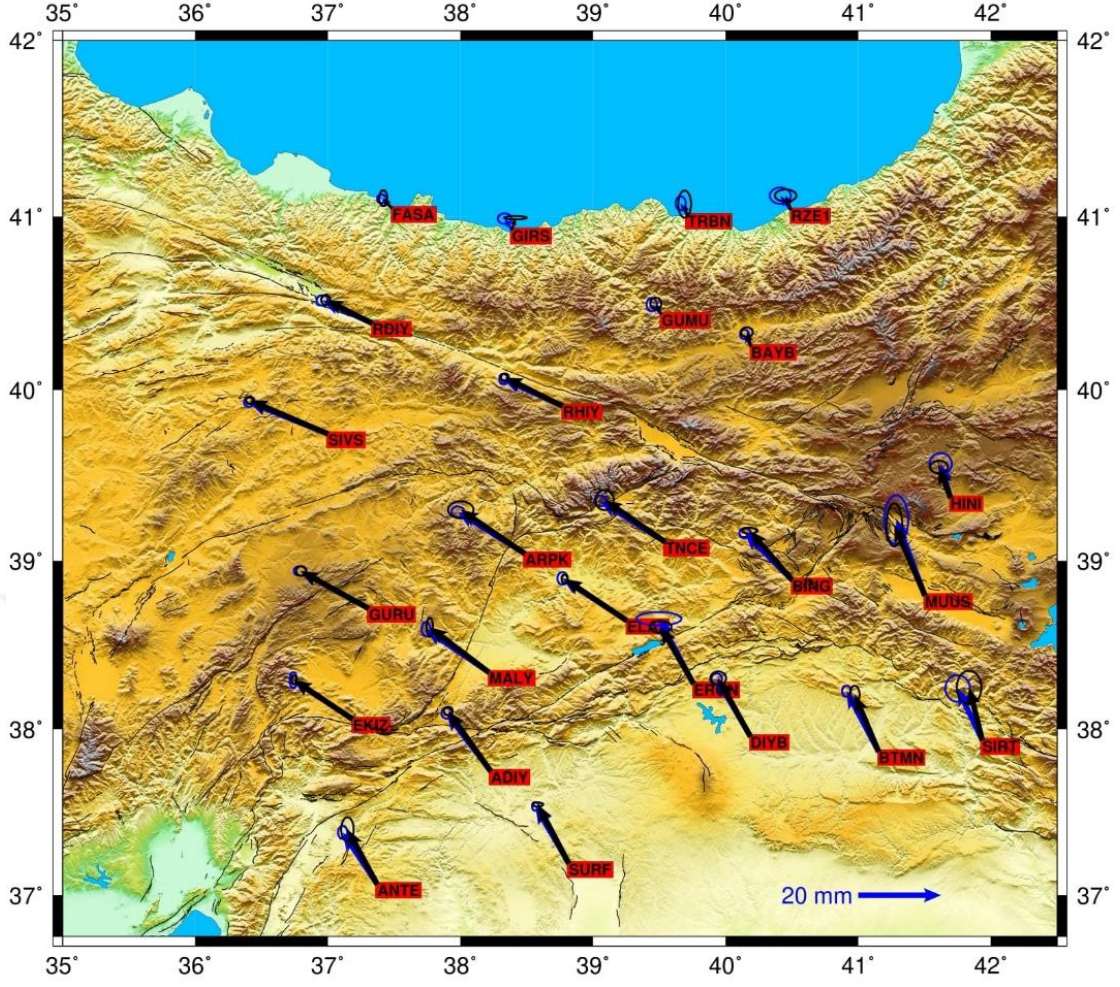
Gözlem sürelerine göre tüm verilerin kullanılmasıyla elde edilen yatay hızlar ile mevsimsel değişime bağlı yatay hızlar karşılaştırma amaçlı çizilmiştir (Şekil 4.23-Şekil 4.26). Şekil 4.23 – 4.26’de, mavi renkli oklar tüm verilerden elde edilen hızları, diğer renkler ile gösterilen oklar ise mevsimsel hızları göstermektedir.



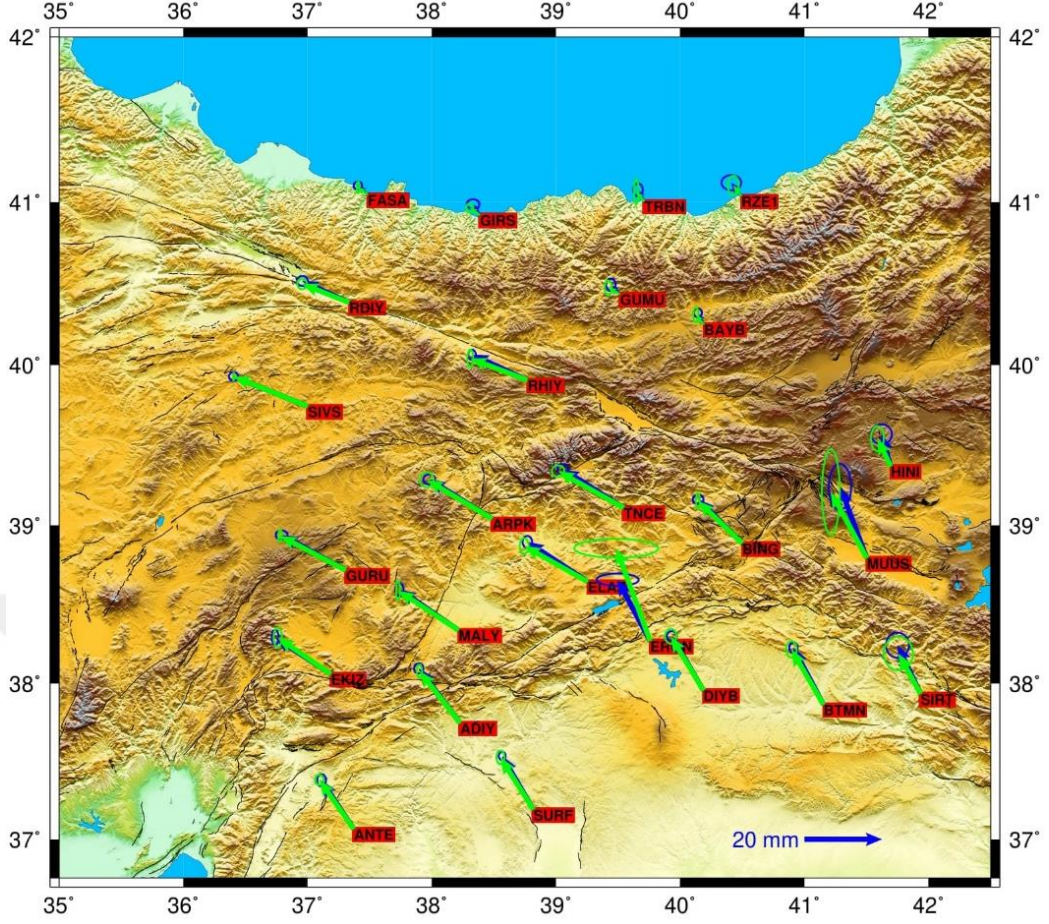
**Şekil 4.23** Tüm verilerden elde edilen hızlar ile Ocak ayına ait hızlar ve hata elipsleri



**Şekil 4.24** Tüm verilerden elde edilen hızlar ile Nisan ayına ait hızlar ve hata elipsleri

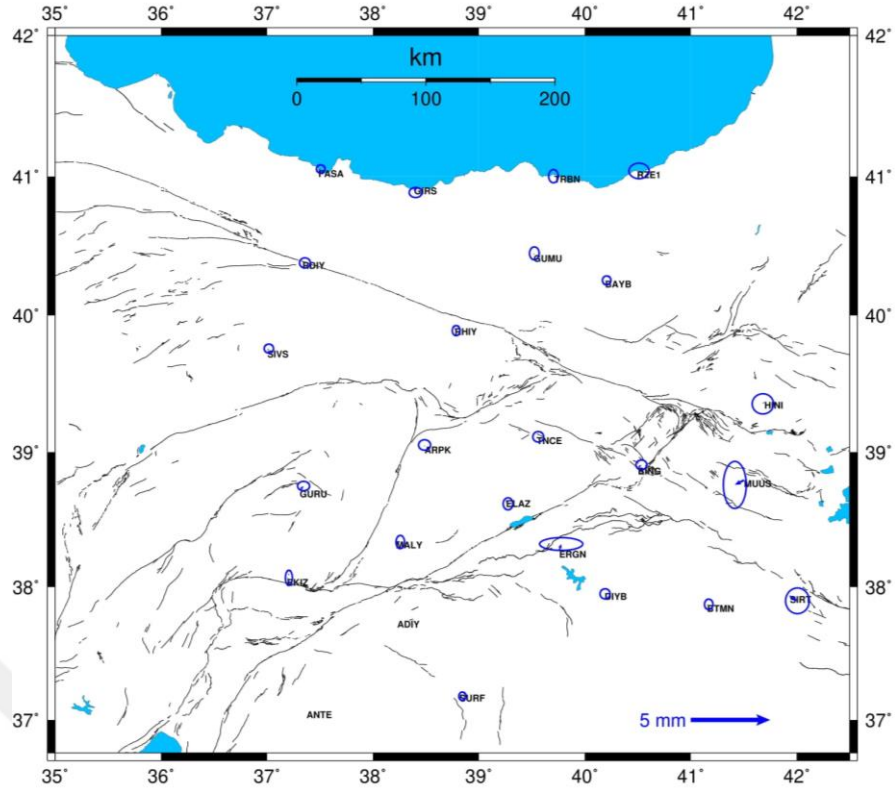


**Şekil 4.25** Tüm verilerden elde edilen hızlar ile Temmuz ayına ait hızlar ve hata elipsleri

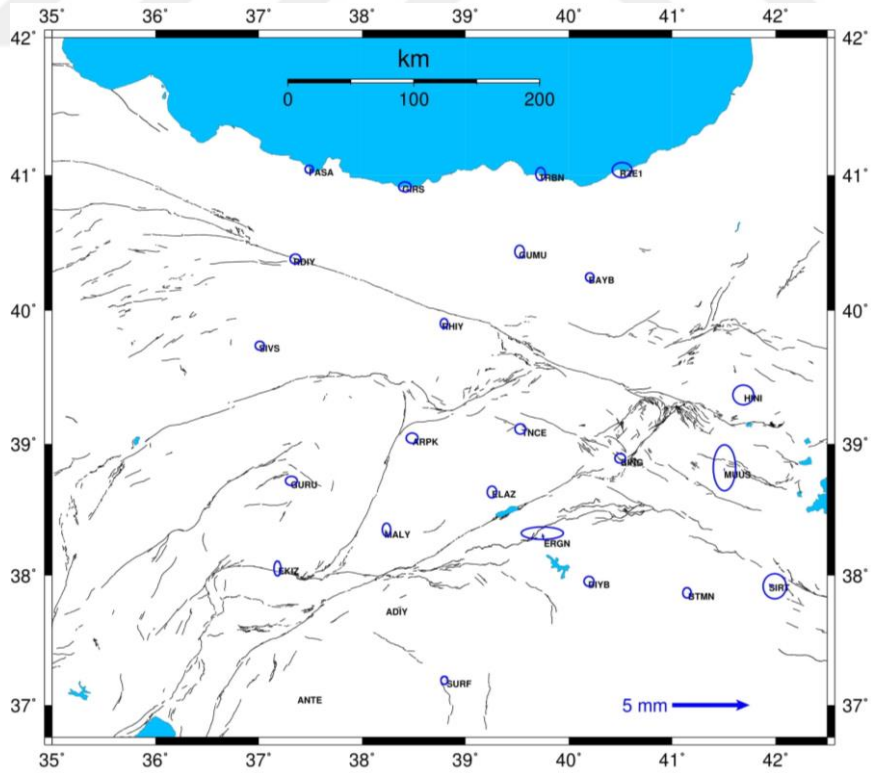


**Şekil 4.26** Tüm verilerden elde edilen hızlar ile Ekim ayına ait hızlar ve hata elipsleri

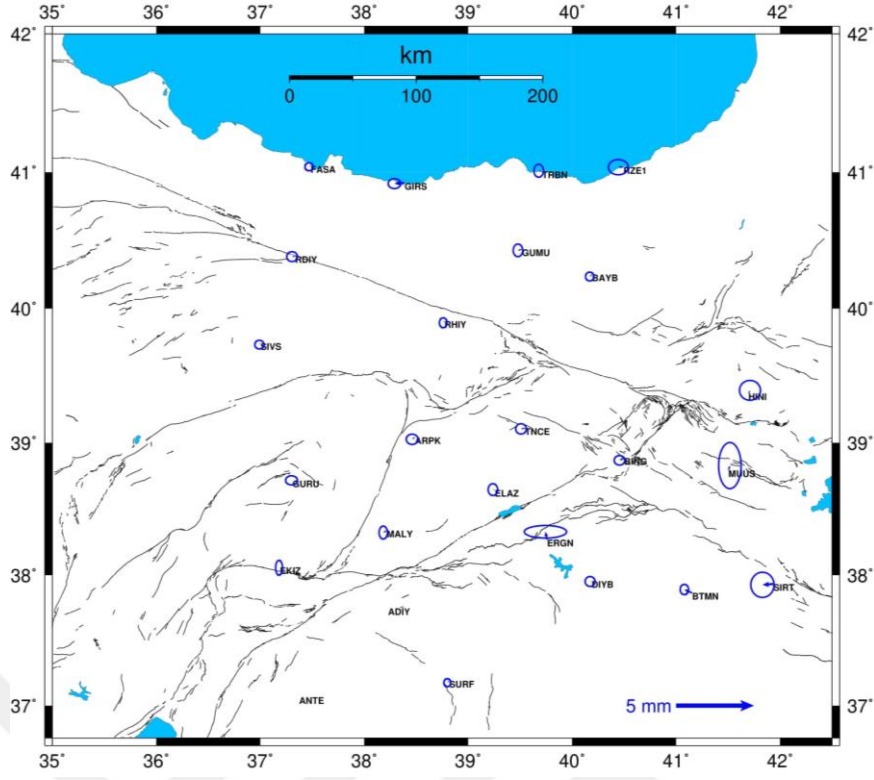
Gerçekleştirilen çözümlerden sonra tüm veriler ile Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim ayı verileri ile istasyonlara ait hız vektörleri arasında ki büyüklüklerin farkları Şekil 4.27-4.30'de gösterilmiştir. İki farklı çözümden elde edilen yatay hız vektörleri arasında ki farkın hata elipsi içinde kaldığı için istatistiksel olarak anlamsız olduğu görülmektedir.



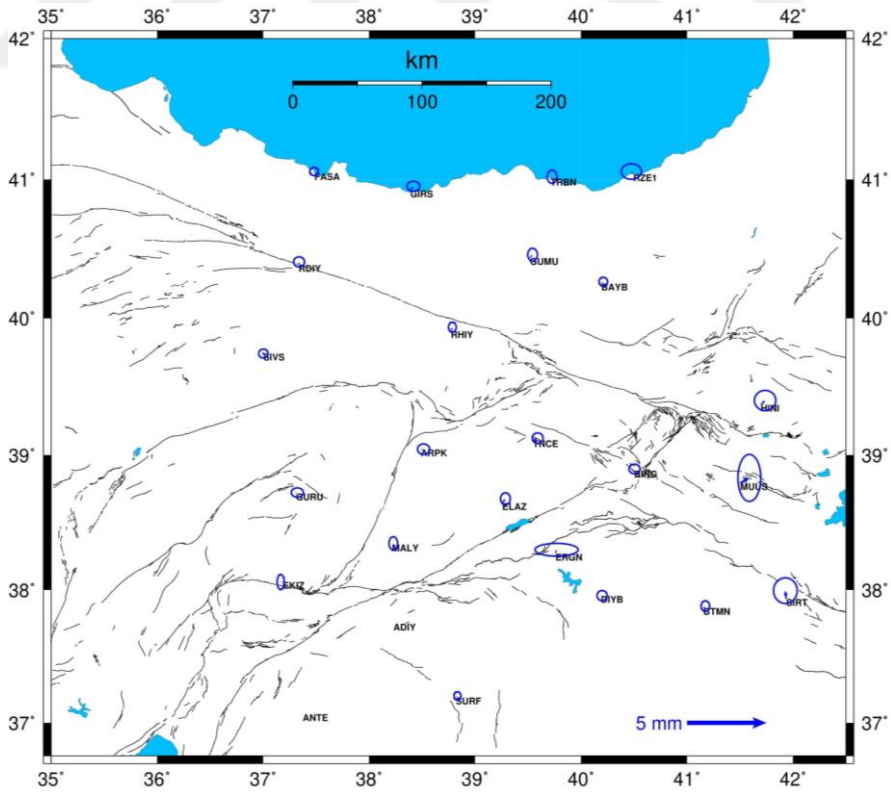
**Şekil 4.27** TUSAGA-Aktif istasyonlarının tüm veri ile Ocak ayına ait yatay hızlar arasındaki farklar ve hata elipsleri



**Şekil 4.28** TUSAGA-Aktif istasyonlarının tüm veri ile Nisan ayına ait yatay hızlar arasındaki farklar ve hata elipsleri



**Şekil 4.29** TUSAGA-Aktif istasyonlarının tüm veri ile Temmuz ayına ait yatay hızlar arasındaki farklar ve hata elipsleri



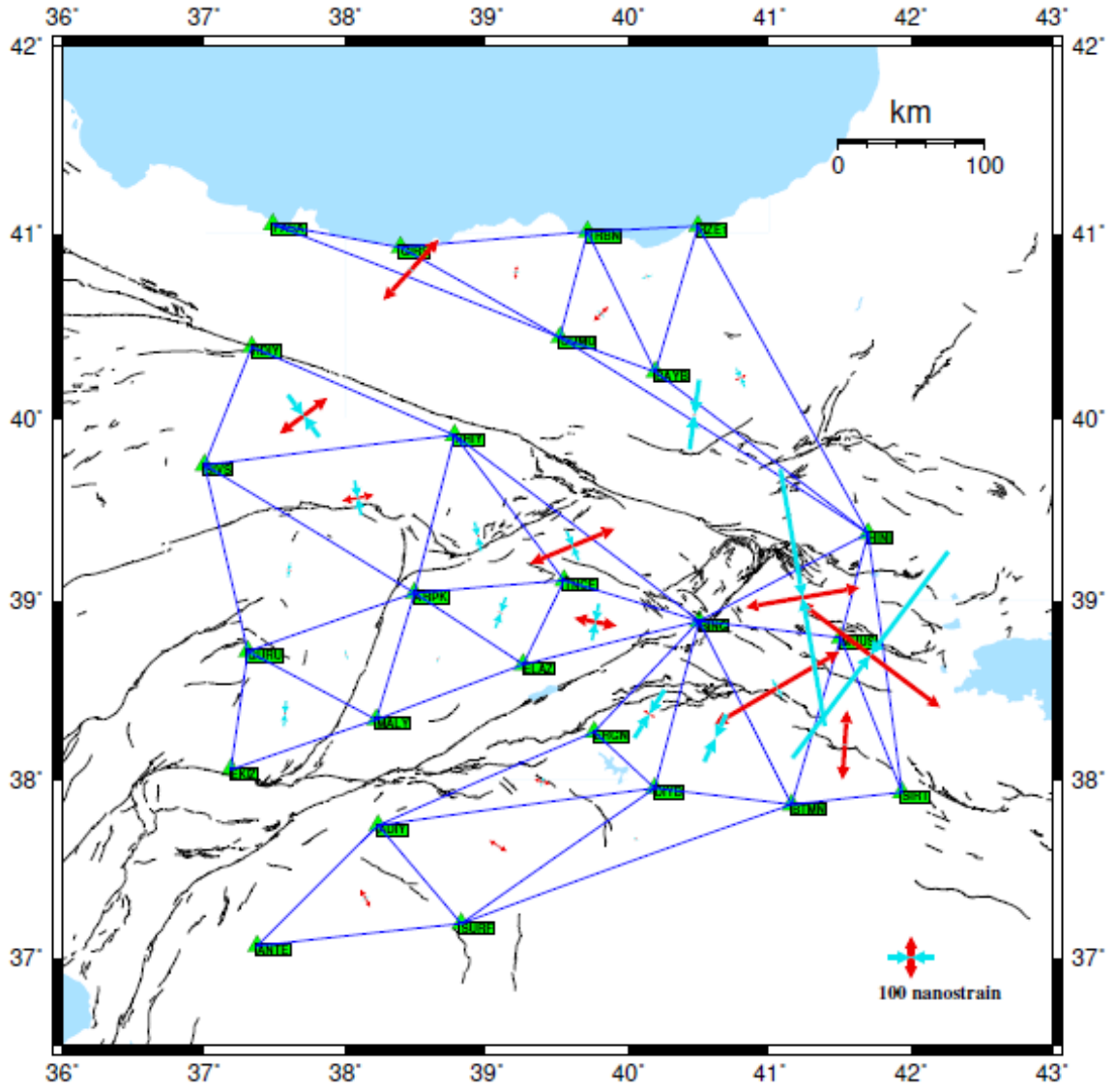
**Şekil 4.30** TUSAGA-Aktif istasyonlarının tüm veri ile Ekim ayına ait yatay hızlar arasındaki farklar ve hata elipsleri

#### 4.4 Gerinim Miktarlarının Belirlenmesi

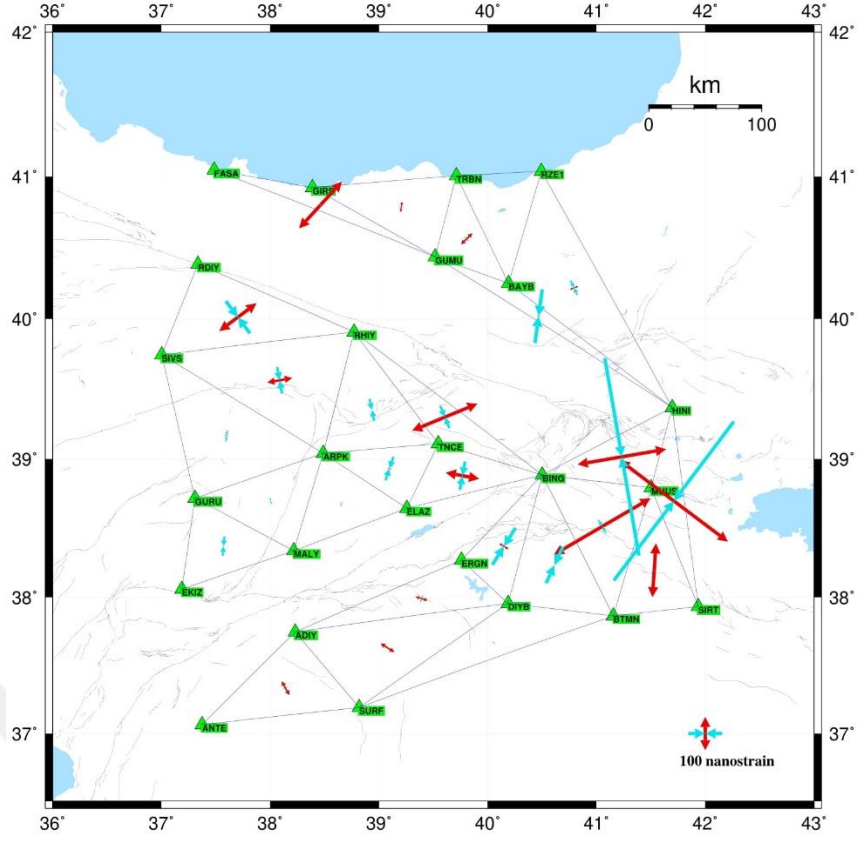
Bu çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait zamana bağlı hareketleri göstermek için yatay deformasyon değerleriyle 2-boyutlu gerinim analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan istasyonlar arası uzaklıklar ve fay hatları dikkate alınarak istasyonlar arası üçgenlemeler gerçekleştirilmiştir. Bölgeye ilişkin 2-boyutlu gerinim analizi için, tüm istasyonların yer değiştirme vektörleri ve doğruluk ölçütleri kullanılarak, delaunay yöntemine göre üçgenlerin ağırlık merkezi koordinatları yerel koordinat sistemine (kuzey-güney, doğu-batı) dönüştürüldükten sonra gerinim parametreleri hesaplanmıştır [37].

Gerinim parametreleri ile asal gerinim büyüklükleri hesaplanarak Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Şekil 4.31'e göre, fay hattına yakın yerlerde gerinimin arttığı, faydan uzaklaştıkça gerinimin azaldığı gözlemlenmiştir. Maksimum asal gerinimin HINI-MUUS-SIRT üçgeninde gözlemlenirken ( $\epsilon_{max}$  ( $\mu$  strain) = 4.1587,  $\epsilon_{min}$  ( $\mu$  strain) = -3.8241), minimum asal gerinim ise ARPK-GURU-MALY üçgeninde gözlemlenmiştir ( $\epsilon_{max}$  ( $\mu$  strain) = -0.0067,  $\epsilon_{min}$  ( $\mu$  strain) = -0.13).

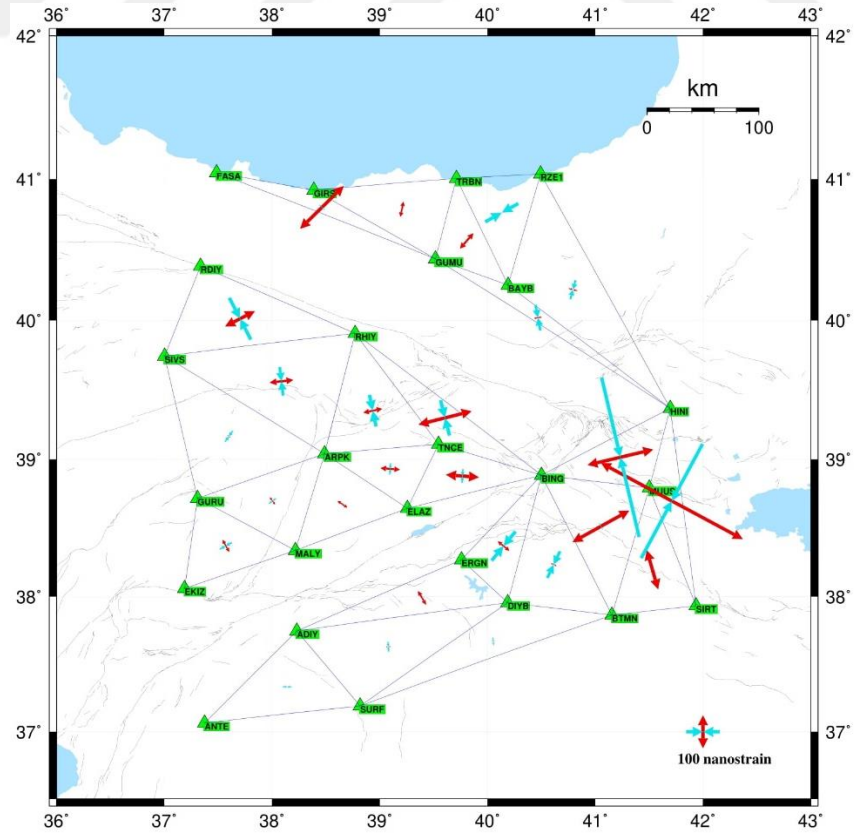
Yapılan bu çalışmada en büyük maksimum asal gerinim HINI-MUUS-SIRT istasyonlarından oluşan üçgende 4.1587  $\mu$ strain, en küçük maksimum asal gerinim ise ARPK-GURU-SIVS üçgeninde 0.0535  $\mu$ strain olarak hesaplanmıştır. En büyük minimum asal gerinim BING-HINI-MUUS istasyonlarından oluşan üçgende -4.5084  $\mu$ strain, en küçük maksimum asal gerinim ise ADIY-DIYB-SURF üçgeninde -0.0231  $\mu$ strain olarak hesaplanmıştır.



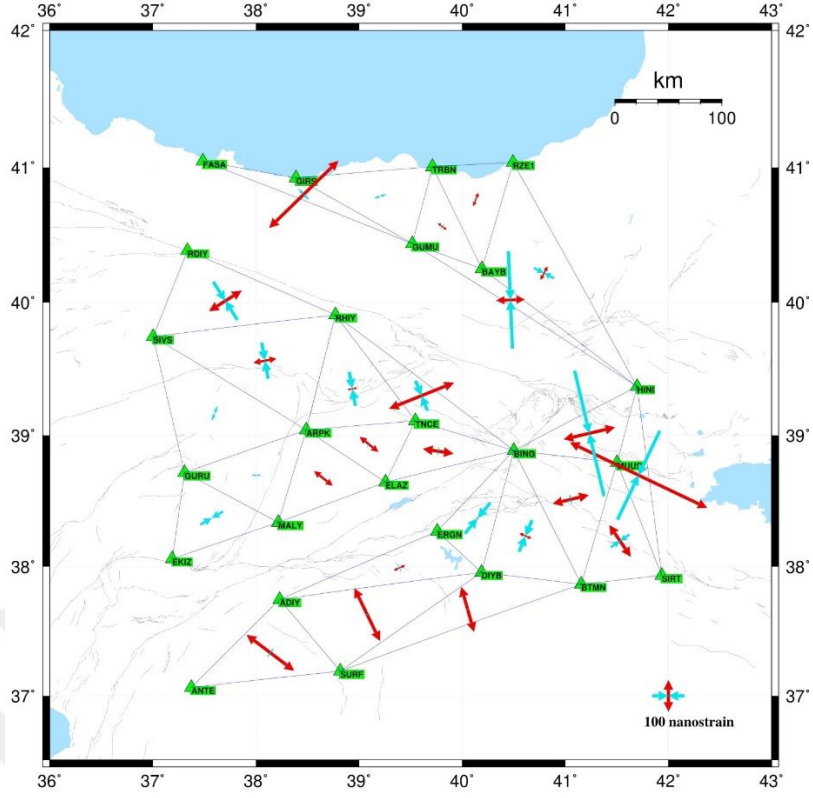
Şekil 4.31 Tüm verilerden elde edilen gerinim parametreleri



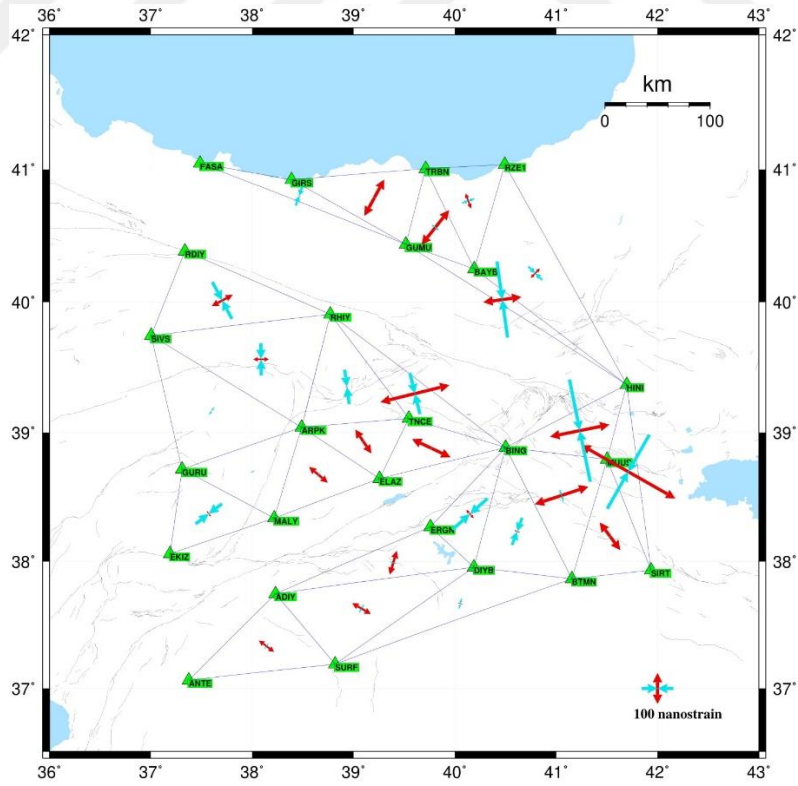
Şekil 4.32 Ocak ayına ait gerinim parametreleri



Şekil 4.33 Nisan ayına ait gerinim parametreleri



Şekil 4.34 Temmuz ayına ait gerinim parametreleri



Şekil 4.35 Ekim ayına ait gerinim parametreleri

Bu çalışmada tüm mevsimlere ait gerinim parametreleri incelendiğinde, asal gerinim parametrelerinin genel itibariyle benzerlik gösterdiğini fakat yaz mevsimine ait büyüklüklerin diğer mevsimlerden farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Özellikle Güneydoğu Anadolu bölgesinin gözlemlenen bu farklılıkların yaz aylarında ki aşırı sıcakların sebep olabileceği öngörülmektedir. Yapılan bu çalışmada mevsimsel etkinin GNSS istasyonları üzerindeki etkisi açık bir şekilde gözlemlenebilmektedir.

**Tablo 4.4** TUSAGA-Aktif istasyonlarının tüm verilerden elde edilen gerinim parametreleri

| <b>TÜM VERİLER</b> |                                   |                                   |                    |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| <b>Üçgenler</b>    | $\epsilon_{\max}$ ( $\mu$ strain) | $\epsilon_{\min}$ ( $\mu$ strain) | Maks. gerinim yönü |
| BAYB-RZE1-TRBN     | 0.1540                            | -0.3604                           | 162.2431           |
| BAYB-GUMU-TRBN     | 0.6188                            | 0.0657                            | 41.8201            |
| GIRS-GUMU-TRBN     | 0.5120                            | -0.1359                           | 17.5783            |
| GIRS-GUMU-FASA     | 1.6706                            | -0.2453                           | 45.2508            |
| HINI-BAYB-GUMU     | 0.5191                            | -1.9995                           | 88.3012            |
| BAYB-HINI-RZE1     | 0.1689                            | -0.4821                           | 48.0767            |
| BING-ELAZ-TNCE     | 1.0912                            | -0.3021                           | 102.6670           |
| ARPK-ELAZ-TNCE     | 0.4566                            | -0.2407                           | 123.2627           |
| RDIY-RHIY-SIVS     | 1.0740                            | -1.3315                           | 58.8040            |
| ARPK-GURU-SIVS     | 0.0535                            | -0.3480                           | 112.7338           |
| ARPK-GURU-MALY     | -0.0067                           | -0.1300                           | 150.9637           |
| ARPK-ELAZ-MALY     | 0.4583                            | -0.1395                           | 127.1456           |
| EKIZ-GURU-MALY     | 0.0961                            | -0.6038                           | 144.4618           |
| BING-RHIY-TNCE     | 2.0596                            | -1.0579                           | 72.5161            |
| ARPK-RHIY-SIVS     | 0.6671                            | -0.9542                           | 83.3880            |

**Tablo 4.4** TUSAGA-Aktif istasyonlarının tüm verilerden elde edilen gerinim parametreleri (devamı)

|                 |        |         |          |
|-----------------|--------|---------|----------|
| ARPK-RHIY-TNCE  | 0.2035 | -0.9586 | 79.5565  |
| BING-HINI-MUUS  | 2.0842 | -4.5084 | 78.2543  |
| BTMN-MUUS-SIRT  | 1.1755 | -0.1097 | 158.8480 |
| BING-BTMN-MUUS  | 2.0438 | -0.3021 | 65.5584  |
| BING-BTMN-DIYB  | 0.2135 | -0.9942 | 112.3727 |
| BING-DIYB-ERGN  | 0.2711 | -1.2747 | 130.9457 |
| ADIIY-ANTE-SURF | 0.4103 | -0.2735 | 116.3952 |
| ADIIY-DIYB-SURF | 0.3229 | -0.0231 | 124.6929 |
| BTMN-DIYB-SURF  | 0.2184 | 0.0259  | 138.8333 |
| ADIIY-ERGN-DIYB | 0.3848 | 0.1590  | 179.9142 |
| HINI-MUUS-SIRT  | 4.1587 | -3.8241 | 120.7117 |

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı mevsimlerde gerçekleştirilen GNSS (Global Navigation Satellite System) verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen deformasyon parametrelerinin (yer değiştirme, hız, gerinim) belirlenmesi ve mevsimsel değişimlerin belirlenen deformasyon parametreleri üzerindeki etkilerinin araştırılmıştır.

Bunun için TUSAGA-Aktif ağının 25 sürekli GNSS istasyonu ile 11 adet IGS istasyonundan oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. 2015 – 2019 yılları arasında her bir yıla ait Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarda gerçekleştirilen 3 günlük GNSS verileri kullanılmıştır. GAMIT/GLOBK 5.34 yazılımı ile ITRF-14 referans sisteminde değerlendirilip deformasyon parametreleri belirlenmiştir.

Genel olarak yaz mevsiminde konum doğruluğun diğer mevsimlere oranla azaldığı gözlemlenmiştir. Tüm verilerden elde edilen tekrarlılık değerlerine göre ortalama olarak yatay bileşende 1.07 mm düşey bileşende ise 3.98 mm olarak hesaplanmıştır.

Değerlendirme aşamasından sonra 2015-2020 periyotları arasında anlamlı bir hareket olup olmadığını incelemek için üç boyutlu kartezyen koordinat sistemindeki veriler yerel koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Global eşdeğerlik testi yapılarak kurulan hipotezlerden istasyon konumlarının değişmediğini varsayan  $H_0$  hipotezinin geçersiz olduğu anlaşılmıştır. 5 yıllık periyotlar arasında anlamlı bir hareket olduğu anlaşıldıktan sonra istasyonlara ait hareket vektörleri anlamlı olup olmadığı incelenmiştir ve bu çalışmada kullanılan GNSS istasyonlarının hepsinin anlamlı bir hareket vektörüne sahip olduğu görülmüştür.

Çalışma alanında ki hız değerlerini belirlemek için koordinatlara göre oluşturulan hız modeli yöntemi ve Avrasya levhası sabit alınarak tüm istasyonların hız değerleri farklı gözlem sürelerine göre hesaplanmıştır. Tüm verilerden elde edilen hız modeli ile mevsimsel değişimlere ait hız modeli belirlenmiştir. Tüm verilerden elde edilen hızlara göre istasyonların hızlarının kendi içinde tutarlı olduğu ve saat yönünün tersine doğudan batıya doğru yaklaşık olarak  $13.5 \pm 0,8$  mm/yıl'lık bir hızla hareket

ettiği gözlemlenmiş ve bu hareketin Arap plakasının Anadolu plakasını sıkıştırması sonucu oluştuğu öngörülmektedir. Tüm verilerden elde edilen hızlar ile mevsimsel verilerden elde edilen hızlar arasındaki farklar incelendiğinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir.

Oluşturulan veri setinde gerinim parametrelerinin belirlenmesi amacıyla TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait zamana bağlı hareketleri göstermek için yatay deformasyon değerleriyle 2-boyutlu gerinim analizi yapılmıştır. Tüm verilerden elde edilen gerinim modeli ile mevsimsel değişimlere ait gerinim modelleri oluşturulmuştur. Gerinim model vektörlerinin yaz mevsiminde özellikle Güneydoğu Anadolu bölgesinde diğer mevsimlere göre daha büyük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi yaz aylarındaki gündüz sürelerinin uzun olması ve iyonosferde ki toplam elektron yükünde meydana gelen değerlişimler ile aşırı sıcaklar sonucu yeraltı su kaynaklarının azalması sonucu bu farklılıkların ortaya çıkmış olabileceği öngörülmektedir.

Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bölgede bir gerinim birikiminin olduğu gözlemlenmiştir. Tüm verilerden elde edilen parametreler ile mevsimsel verilerden elde edilen parametreler incelendiğinde, mevsimsel değerlişimlerin GNSS ölçüleriyle belirlenen deformasyon parametreleri üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

- [1] Blewitt, G. (1993). Advances in Global Positioning System technology for geodynamics investigations: 1978–1992. *Contributions of space geodesy to geodynamics: Technology*, 25, 195-213.
- [2] Maciuk, K., & Szombara, S. (2018). Annual crustal deformation based on GNSS observations between 1996 and 2016. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(21), 1-12.
- [3] Dogan, U., Uludag, M. ve Demir, D.O., (2014) "Investigation of GPS positioning accuracy during the seasonal variation," *Measurement*, 53:91–100.
- [4] Doğan, U. (2007). Accuracy analysis of relative positions of permanent GPS stations in the Marmara region, Turkey. *Survey Review*, 39(304), 156-165.
- [5] Şanlı, U.D. ve Öztürk, D. (2011). "Accuracy of GPS Positioning From Local to Regional Scales: A Unified Prediction Model", *Survey Review*, 43(320):162-176(15).
- [6] Eckl, M. Snay, R. Soler, T. Cline, M. ve Mader, G., (2001). "Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration", *Journal of Geodesy*, 75: 633-640.
- [7] Kınık, İ. (1999). *GPS Ölçme ve Değerlendirmelerinde Hata Kaynakları Üzerine Bir İnceleme* (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).
- [8] Blewitt, G. (1997). Basics of the GPS technique: observation equations. *Geodetic applications of GPS*, 10-54.
- [9] SEVİNDİ, C. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS) ve COĞRAFYA ARAŞTIRMALARINDA KULLANIMI. *COĞRAFİ BİLİMLER DERGİSİ*, 101.
- [10] Dumesnil, N. (2007). All you need to know to do business with GNSS. In *Capital High Tech*.
- [11] Teunissen, P. J. G., & Kleusberg, A. (1998). GPS for Geodesy,(selected papers of International School lectures) Springer–Verlag. *Berlin Heidelberg New York*.
- [12] Gürtürk, M. (2016). *Hava GNSS verilerinin değerlendirilmesinde hassas kinematik nokta konumlama* (Doctoral dissertation).
- [13] Mekik, Ç. (1999). GPS'e Atmosferin Etkileri. *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi*, 86, 14-20.
- [14] Dubey, S., Wahi, R., & Gwal, A. K. (2006). Ionospheric effects on GPS positioning. *Advances in Space Research*, 38(11), 2478-2484.

- [15] Shen, X. (2002). *Improving ambiguity convergence in carrier phase-based precise point positioning*. University of Calgary, Department of Geomatics Engineering.
- [16] Kahveci, M., & Yıldız, F. (2005). *Global konum belirleme sistemi*. Nobel Yayın.
- [17] Berghmans, D., Clette, F., Cugnon, P., Foullon, C., Hochedez, J. F., Van der Linden, R. A. M., ... & Zhukov, A. (2004). THE SOLAR INFLUENCES DATA ANALYSIS CENTER (SIDC). *Copyright, 2005(2006), 2007*.
- [18] Bevis, M., Businger, S., Herring, T. A., Rocken, C., Anthes, R. A., & Ware, R. H. (1992). GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 97(D14), 15787-15801.
- [19] Klobuchar, J. A. (1987). Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users. *IEEE Transactions on aerospace and electronic systems*, (3), 325-331.
- [20] Jin, S., Cardellach, E., & Xie, F. (2014). *GNSS remote sensing* (Vol. 16). Dordrecht: Springer.
- [21] U. Doğan, "Uydu Verilerinin Değerlendirilmesi Ders Notları" Yıldız Teknik Üniversitesi, 2013, İstanbul.
- [22] "Sıkça Sorulan Sorular- Meteoroloji Genel Müdürlüğü". <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=atmosfer> (erişim Kas. 29, 2021).
- [23] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). *GNSS-global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media.
- [24] Rajner, M., & Liwosz, T. (2017). Analysis of seasonal position variation for selected GNSS sites in Poland using loading modelling and GRACE data. *Geodesy and Geodynamics*, 8(4), 253-259.
- [25] Gürkan, O., Özener, H., Doğru, A.G., Yılmaz, O. ve Turgut, B., (2005). "Tektonik Deformasyonların Jeodezik Ölçme Teknikleri İle İzlenmesi (KAFZ Batı Kesimi Çalışmaları)", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart-1 Nisan 2005, Ankara.
- [26] Aydın, C., Arslan, N., & Demirel, H. (2004). Deformasyon Analizinde Duyarlılık. *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 90, 12-18.
- [27] Aydın, C., (2013). Geodetic Deformation Analysis, YTÜ Lisansüstü Ders Notu, İstanbul.
- [28] F. Poyraz ve Ö. Aydın, "Jeodezik Verilerden Strain (Gerinim) Elemanlarının Belirlenmesi Üzerine Bir İnceleme," TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri

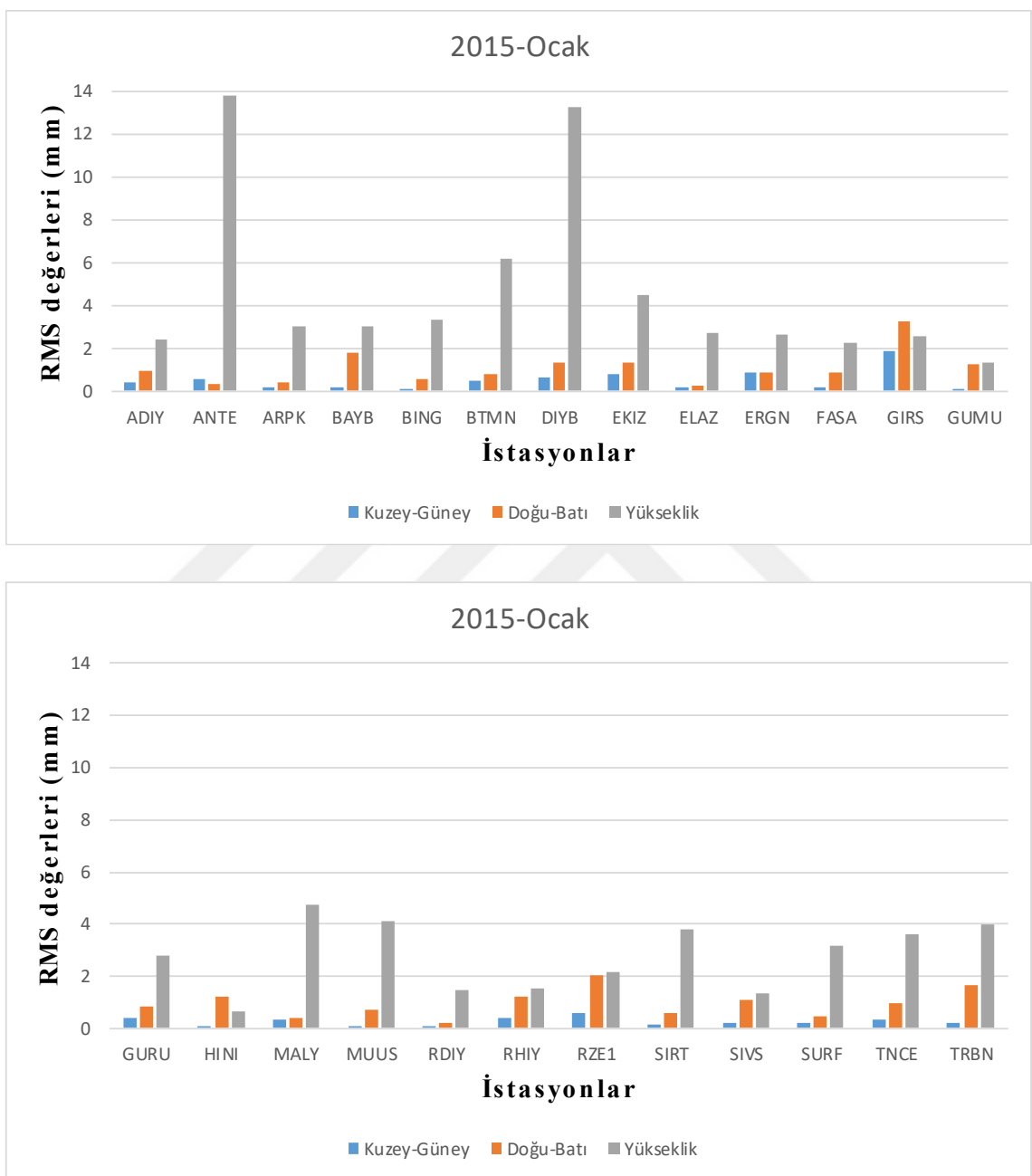
Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11 – 15 Mayıs 2009, Ankara.

- [29] A. Selendi, “Marmara Bölgesi’ndeki yer kabuğu hareketlerinin GPS ve gravite ölçmeleri (2006-2010) ile belirlenmesi”, 2011, Erişim: Kas. 29, 2021. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/2826>
- [30] Kakkuri, J. ve Chen, R., (1990). “Four Dimensional Adjustment of the FinishFirst Order Triangulation: Results of a Test Computation”, Lecture Notes in Earth Sciences, 29, Springer Verlag.
- [31] B. Aktuğ, “Jeodezik Ölçüler İle Deprem Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006. Erişim: Kas. 29, 2021.
- [32] U. Doğan, “17 Ağustos 1999 İzmit depreminden kaynaklanan deformasyonların kinematik modellerle araştırılması”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2002.
- [33] Frank, F. G., (1966), “Detection of Earth Strain from Survey Data”, Bull. Seismol. Soc. Am., 56:35-42.
- [34] Martel, S., (2003), Lecture 15: Finite Strain and Infinitesimal Strain, University of Hawaii.
- [35] Niemeier, W., (1985), “Deformations Analyse”, Geodatische Netzein Landesund Ingenieurvermessung, 559-623.
- [36] R. Çakmak, “Jeodezik Çalışmalarla Marmara Bölgesinde Deprem Döngüsünün Belirlenmesi Ve Modellerle Açıklanması”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011. Erişim: Kas. 29, 2021.
- [37] M. Şimşek, “Yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde internet tabanlı GPS servislerinin doğruluk analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Türkiye, 2019.
- [38] Herring, T. A., King, R. W., & McClusky, S. C. (2015). GLOBK reference manual. *Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release, 10.*
- [39] Çolak, B. (2010). Marmara bölgesinin doğu kesiminde yatay yer kabuğu hareketleri ve gerinim birikiminin araştırılması.
- [40] Doğan U., (2006), “Hız Vektörlerinin Hesabı ve Problemler”, Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı 2, TUJK, İstanbul.
- [41] Özdemir, S., & Karşlıoğlu, M. O. (2019). Soft clustering of GPS velocities from a homogeneous permanent network in Turkey. *Journal of Geodesy*, 93(8), 1171-1195.

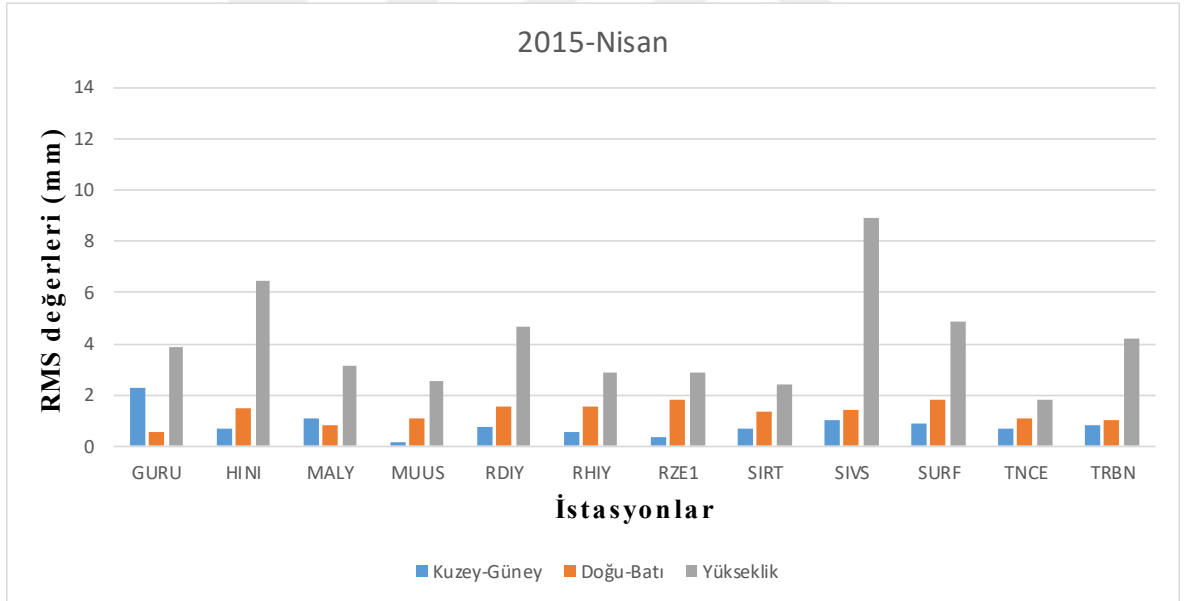
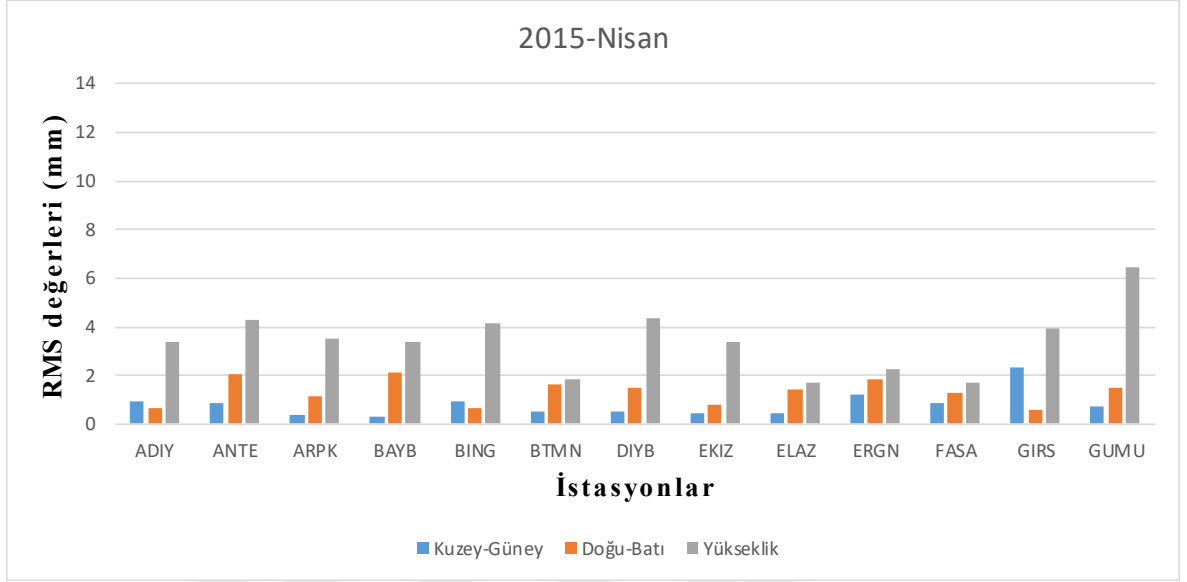
- [42] Wang, C.S. ve Liou, Y.A., (2004). "Seasonal Variation of GPS Height Determination In Taiwan", American Geophysical Union, Fall Meeting 2004, 13-17 December 2004, San Francisco.
- [43] Özkan, A., Tarı, E., Çakmak, R., & Ergintav, S. (2010). MAGNET Marmara Sürekli GPS Ağı İstasyonlarının Dönemsel Etkiler Açısından Kampanya GPS Ölçmelerine Katkıları. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (101).



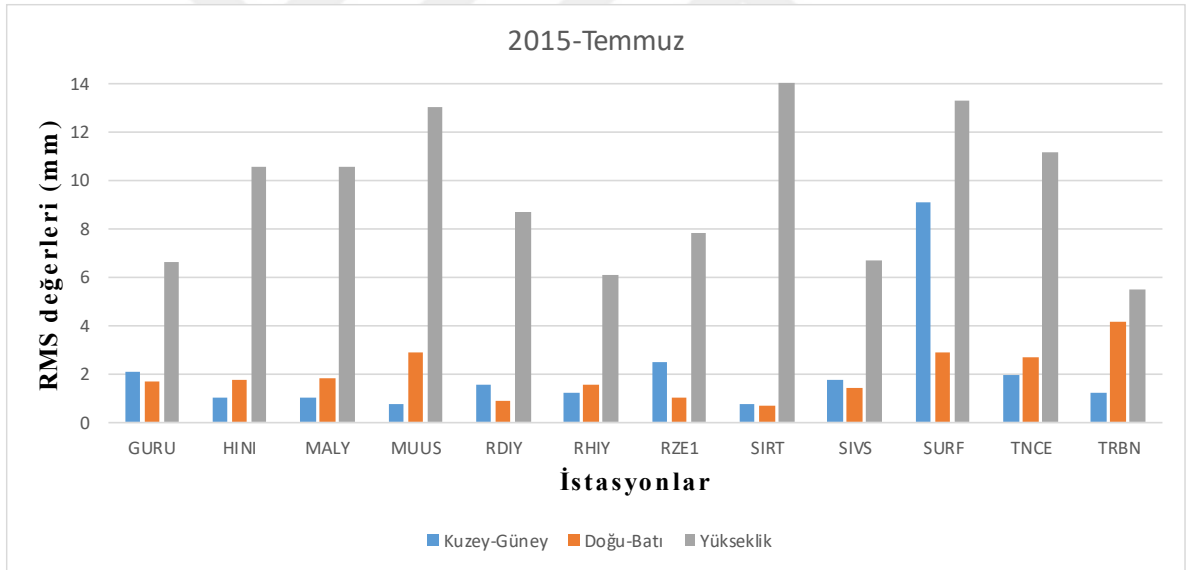
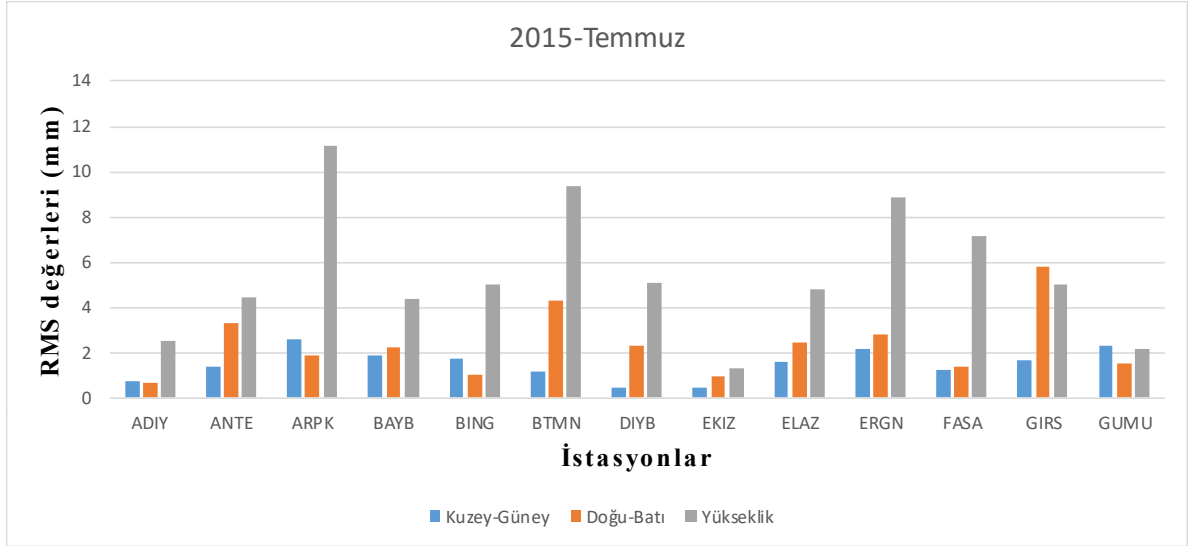
## GÜNLÜK TEKRARLILIKLAR



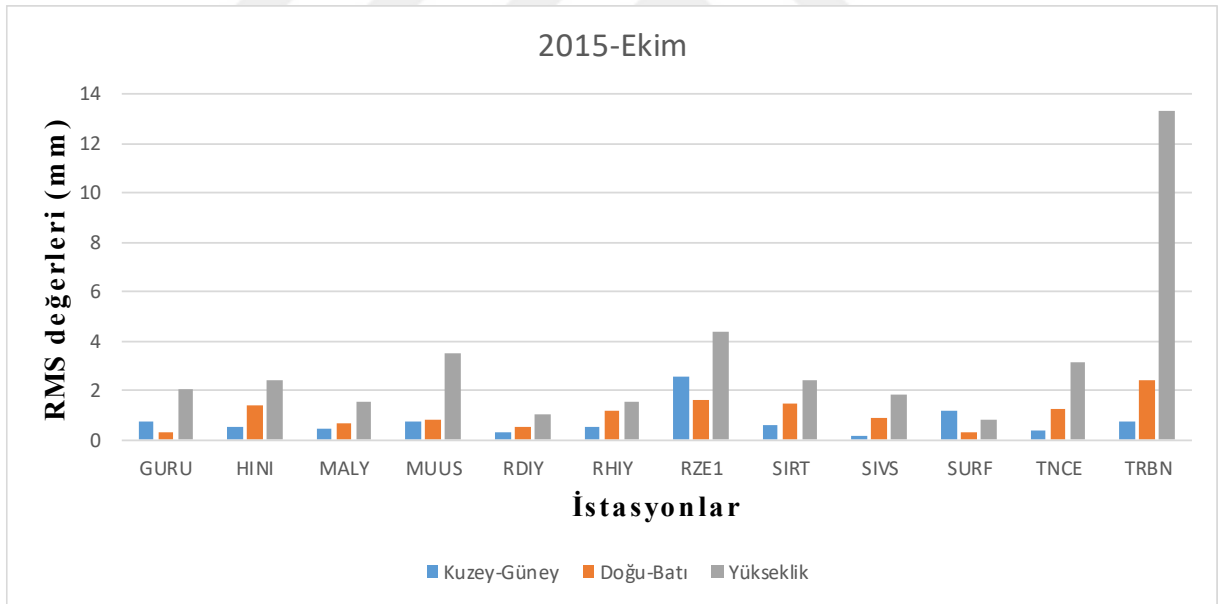
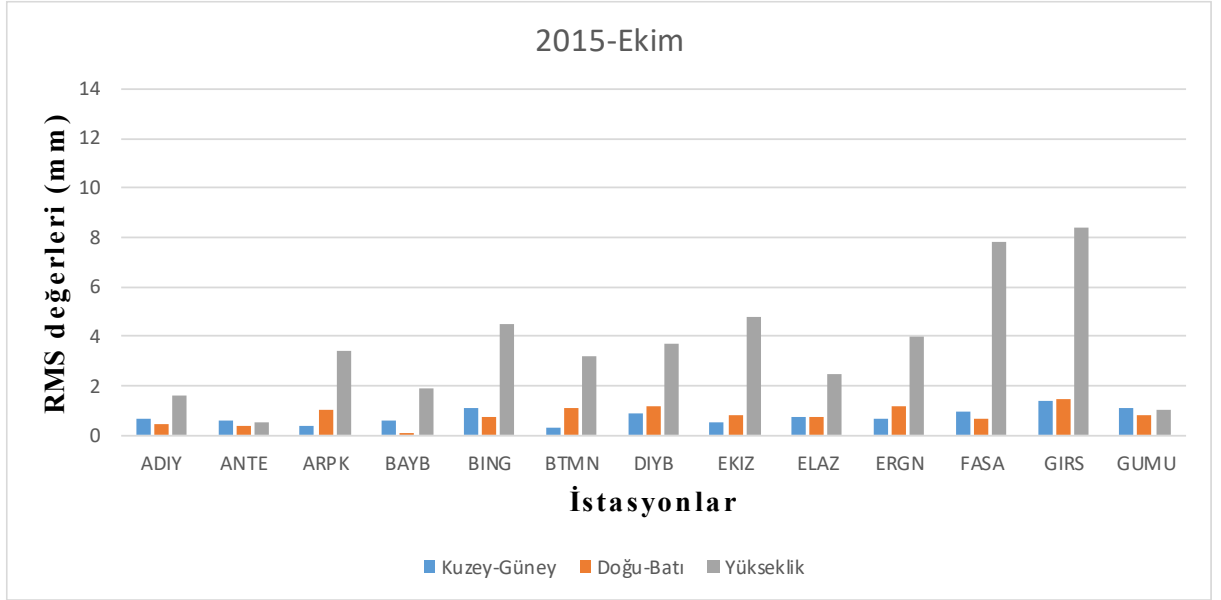
Şekil A.1 2015 yılı Ocak ayına ait günlük tekrarlılıklar



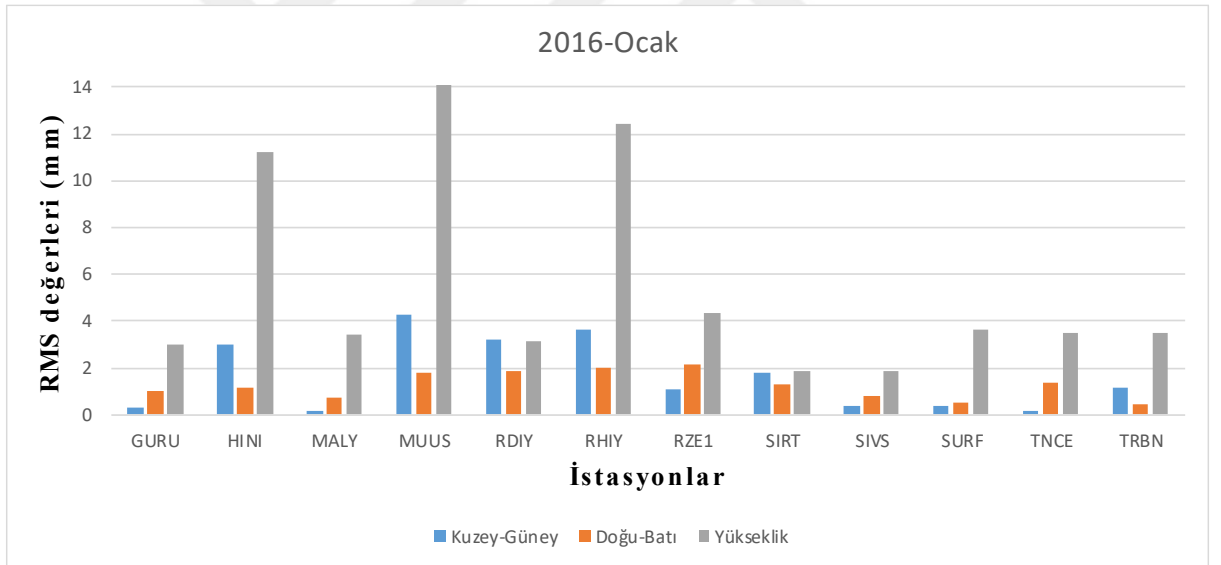
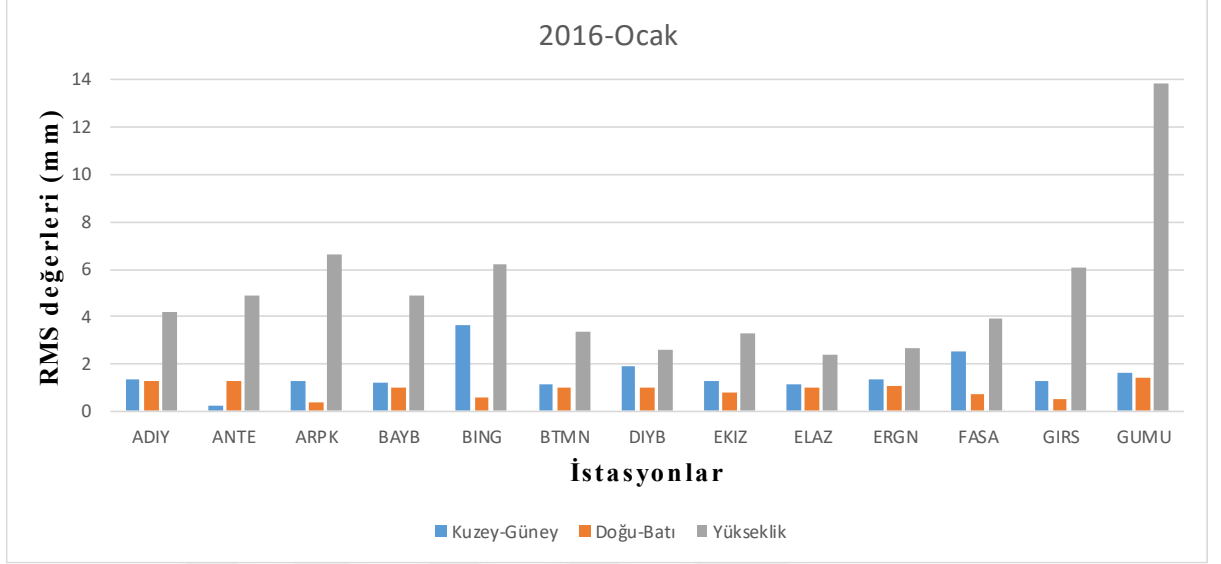
Şekil A.2 2015 yılı Nisan ayına ait günlük tekrarlılıklar



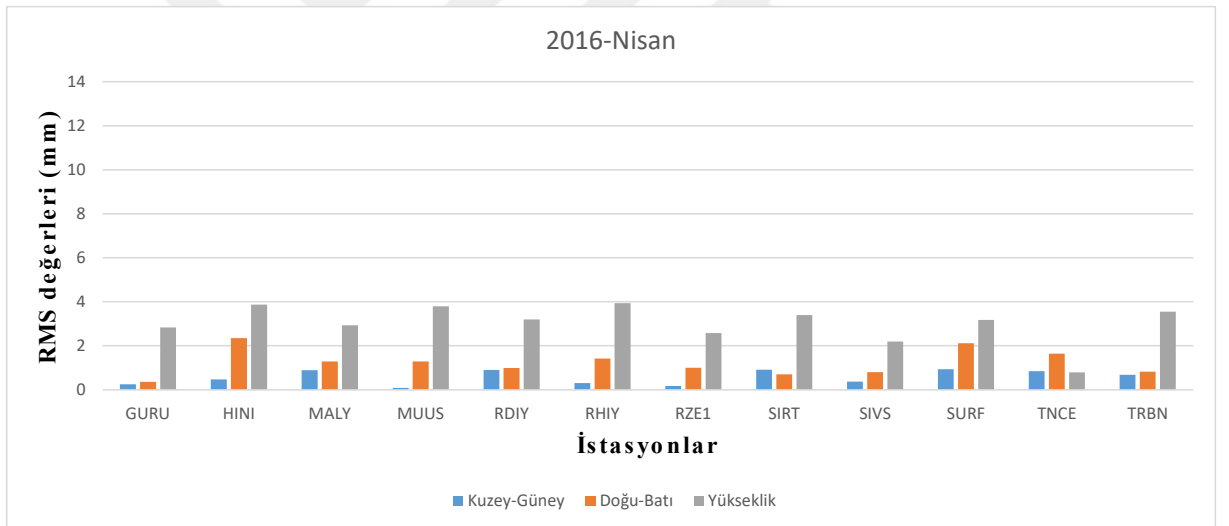
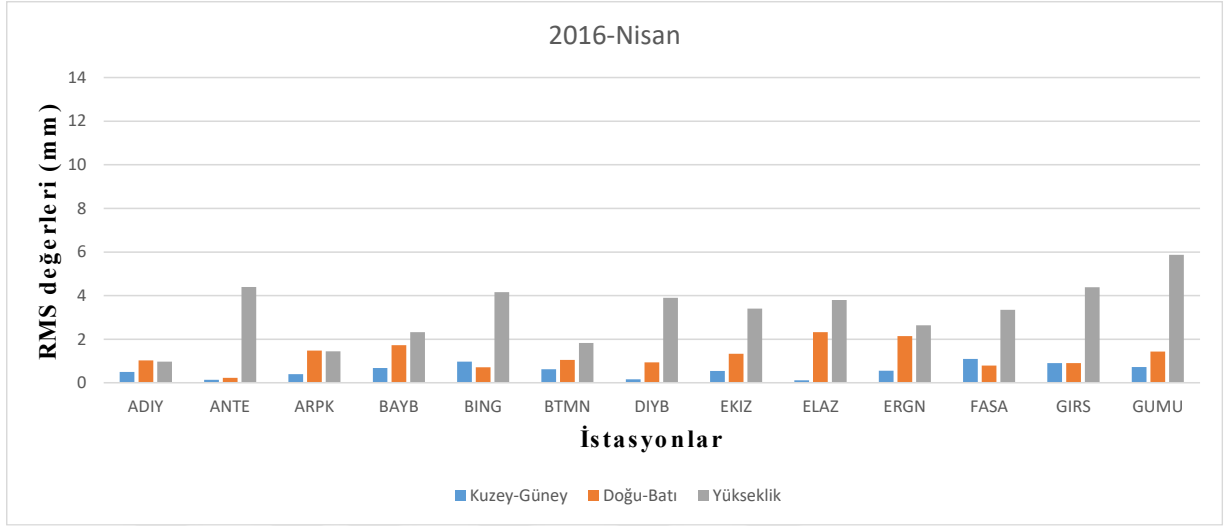
Şekil A.3 2015 yılı Temmuz ayına ait günlük tekrarlılıklar



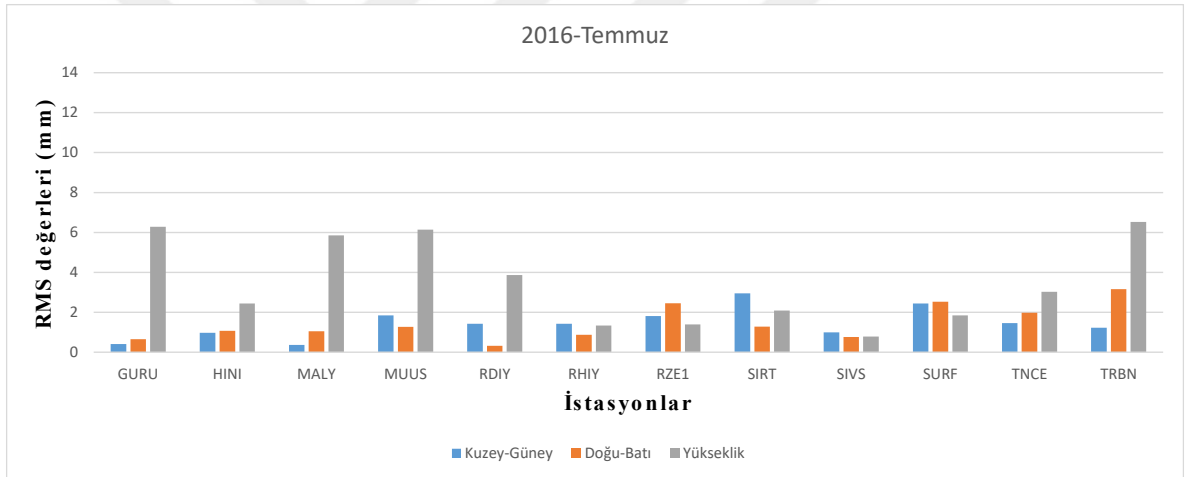
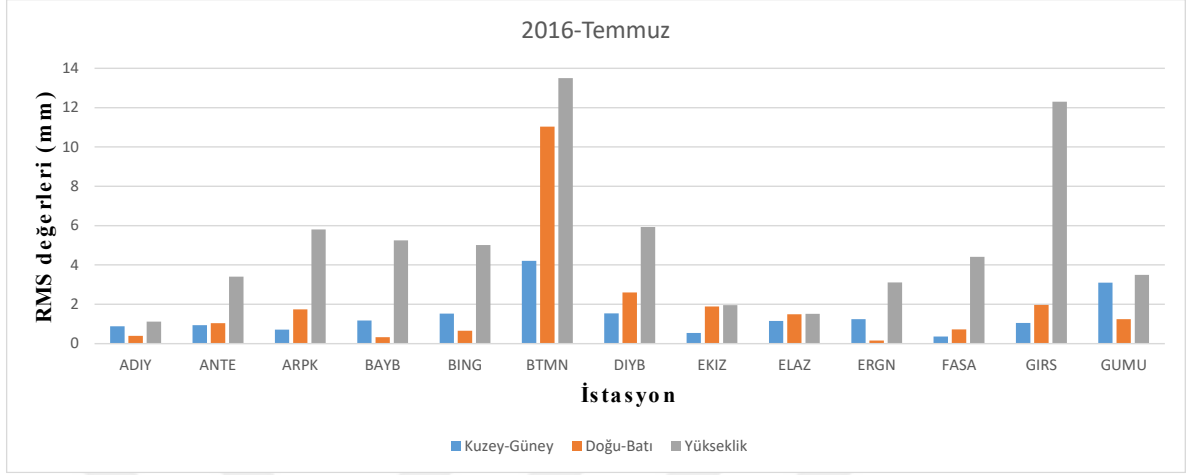
Şekil A.4 2015 yılı Ekim ayına ait günlük tekrarlılıklar



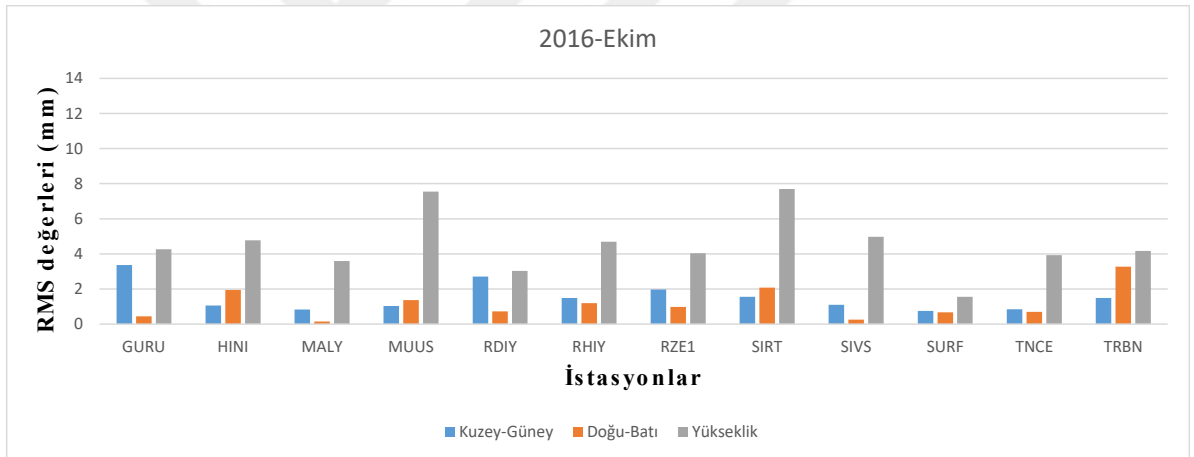
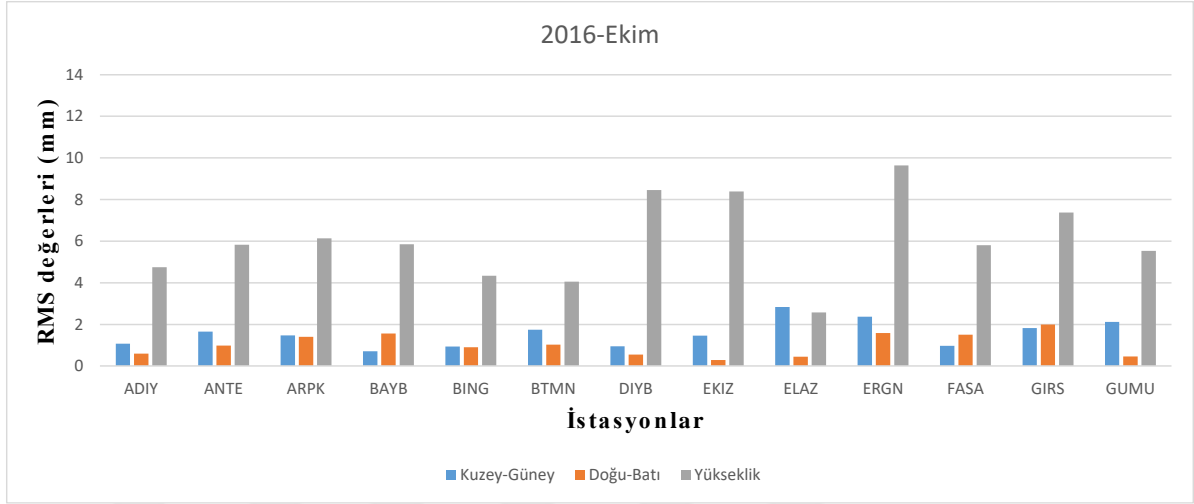
Şekil A.5 2016 yılı Ocak ayına ait günlük tekrarlılıklar



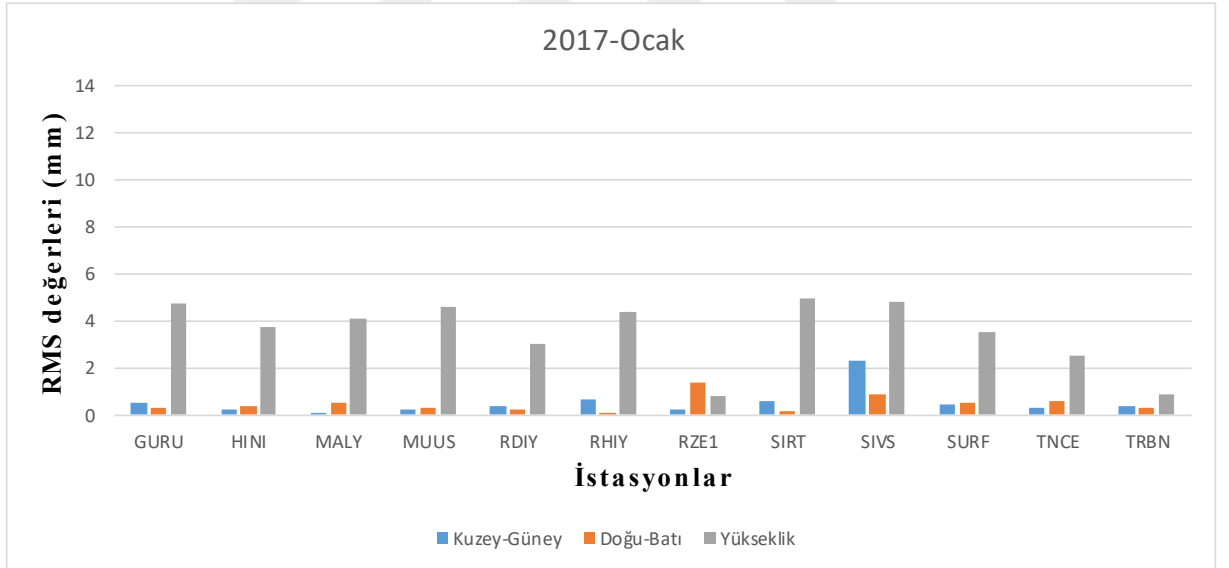
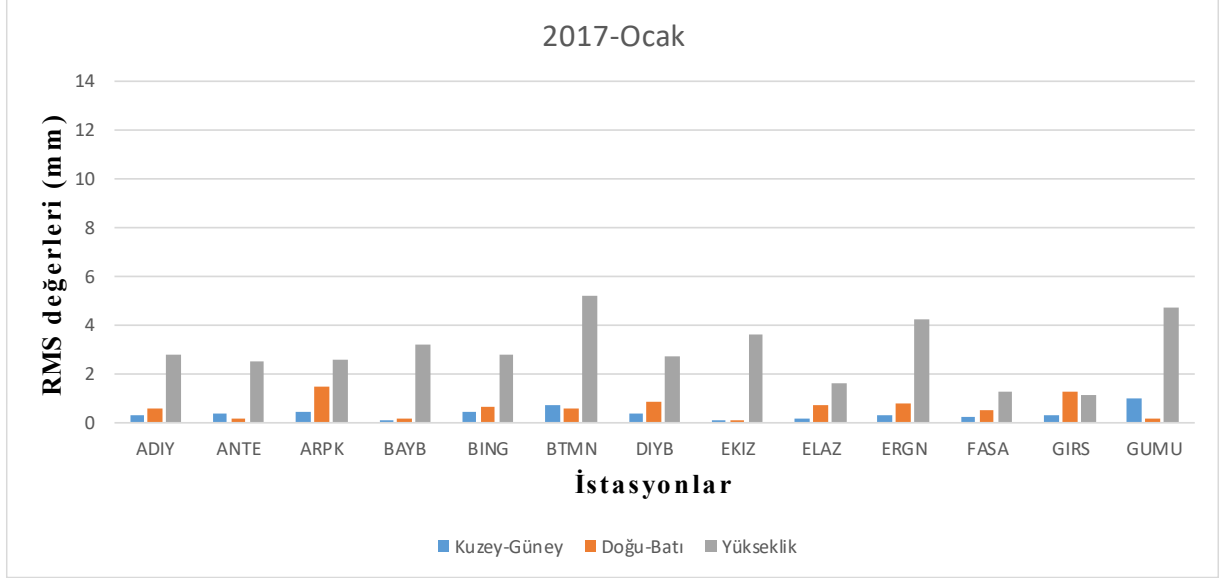
**Şekil A.6** 2016 yılı Nisan ayına ait günlük tekrarlılıklar,



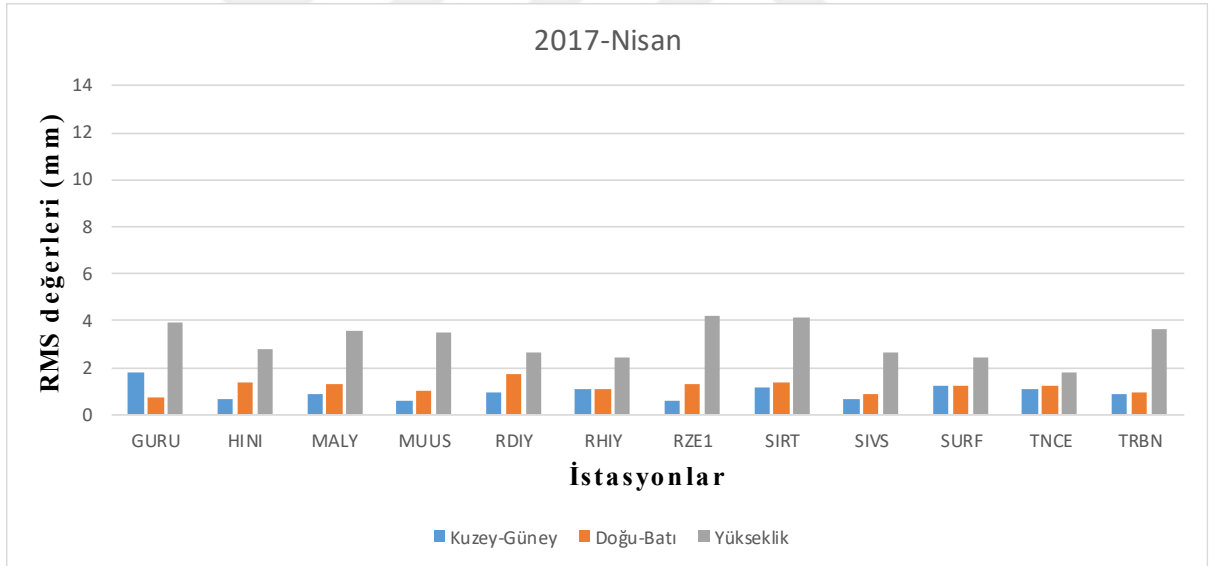
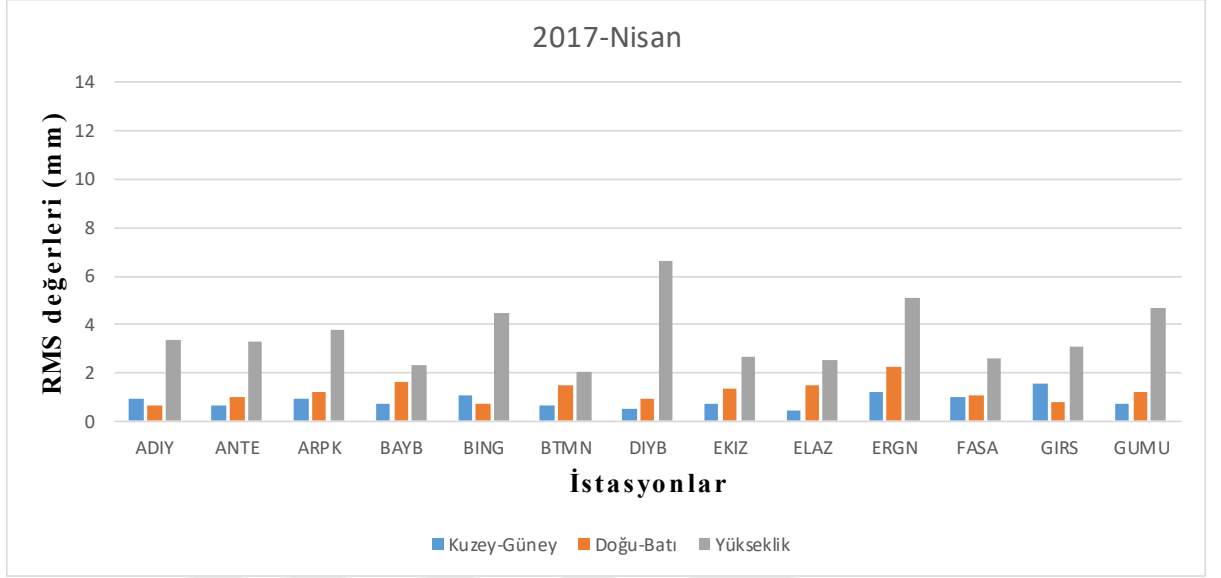
Şekil A.7 2016 yılı Temmuz ayına ait günlük tekrarlılıklar



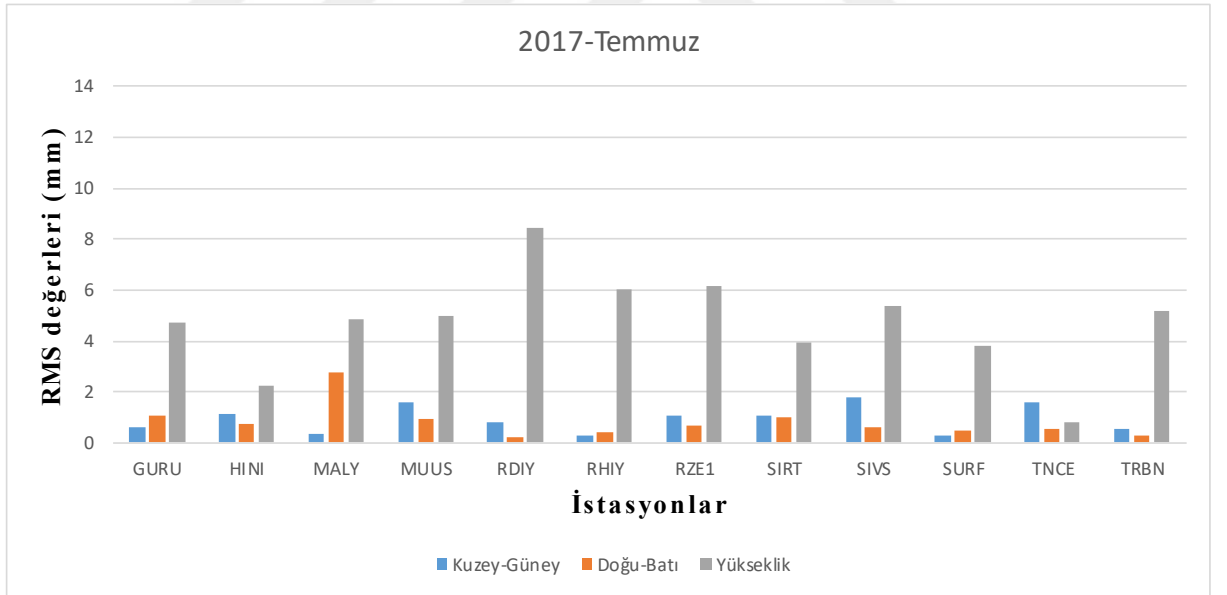
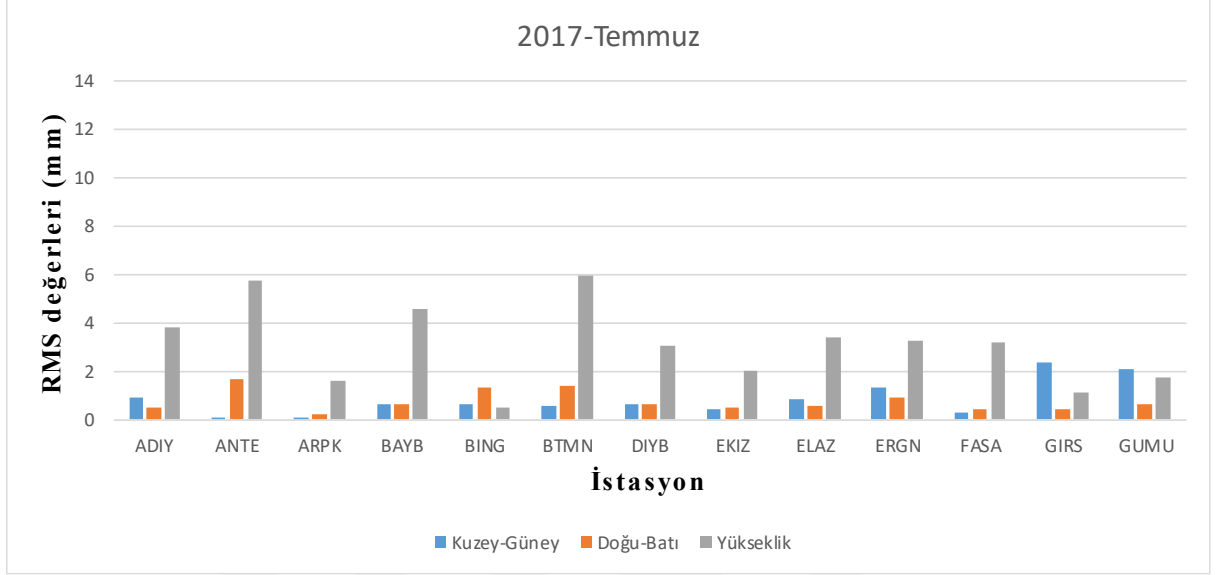
**Şekil A.8** 2016 yılı Ekim ayına ait günlük tekrarlılıklar



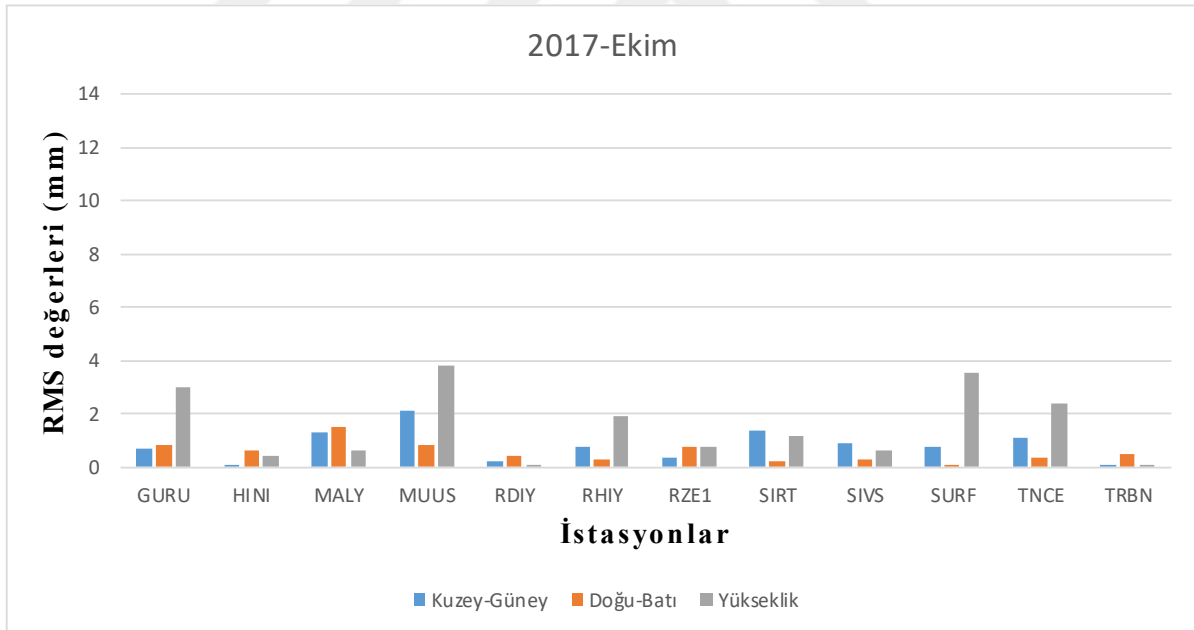
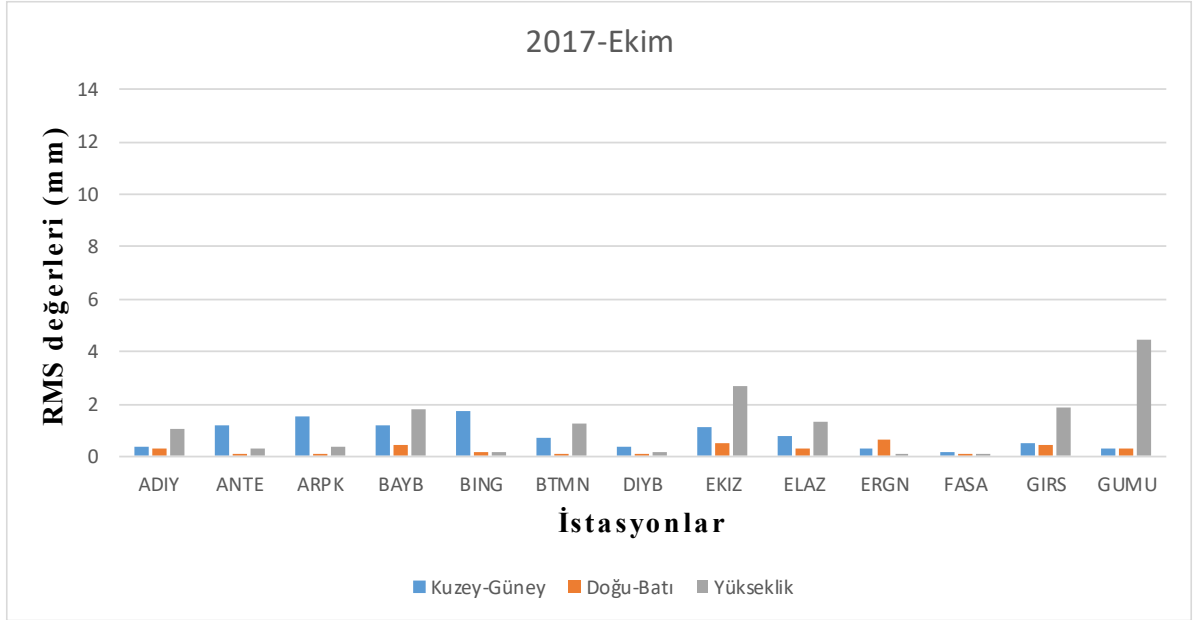
Şekil A.9 2017 yılı Ocak ayına ait günlük tekrarlılıklar



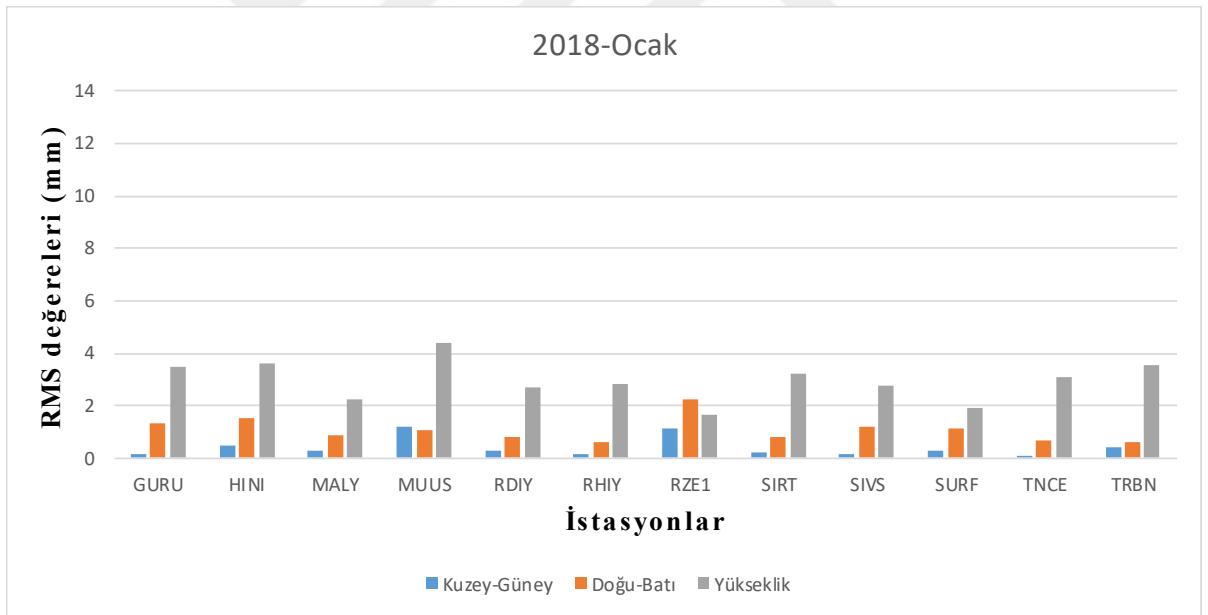
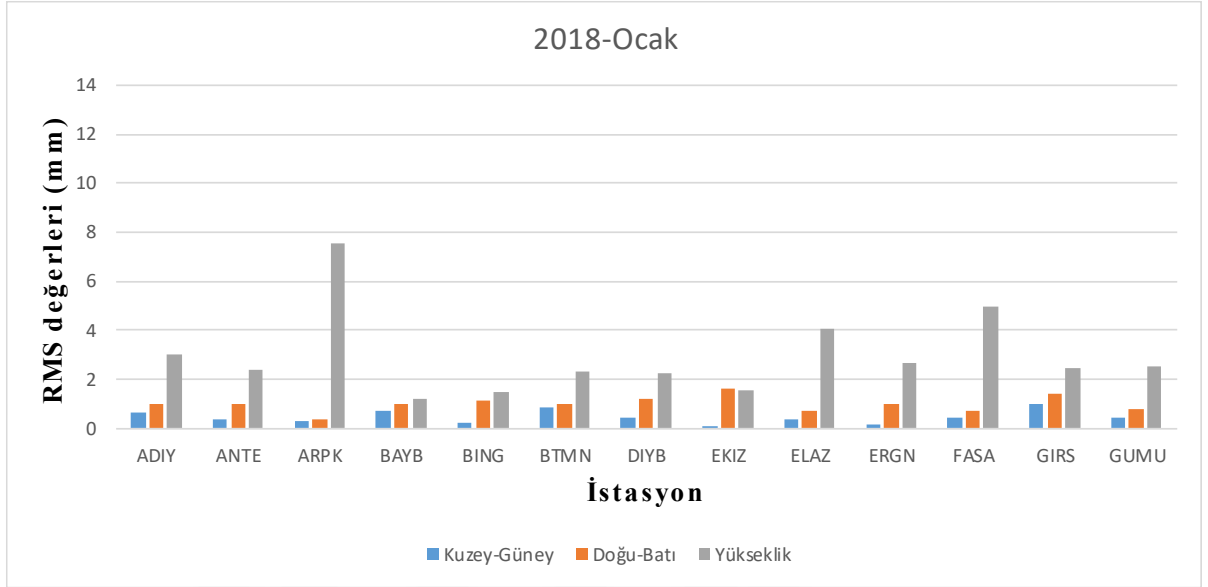
Şekil A.10 2017 yılı Nisan ayına ait günlük tekrarlılıklar



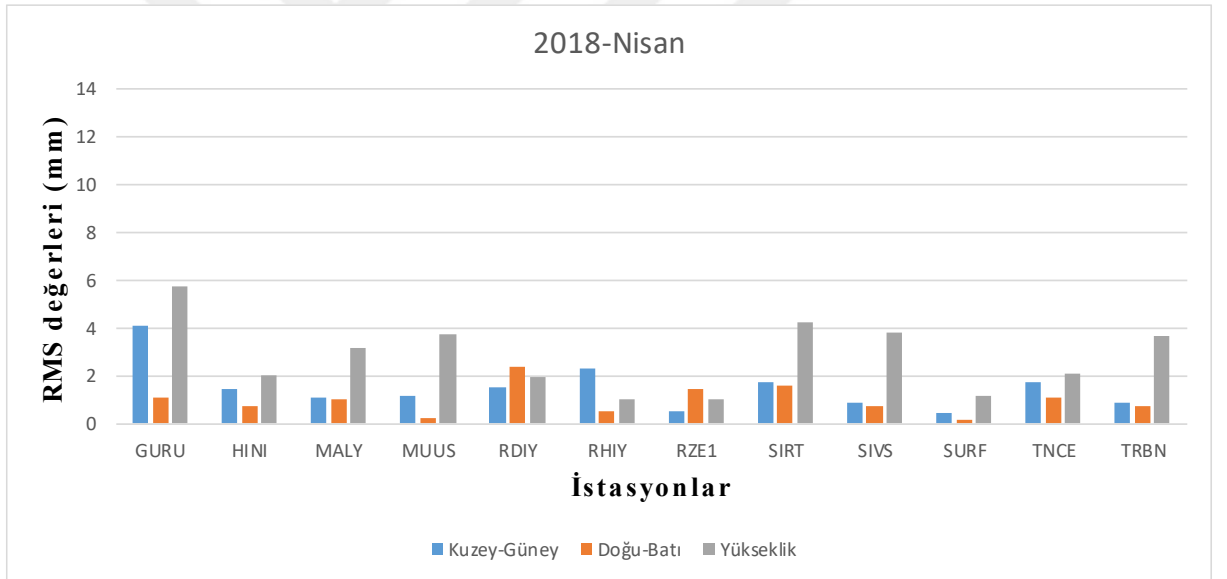
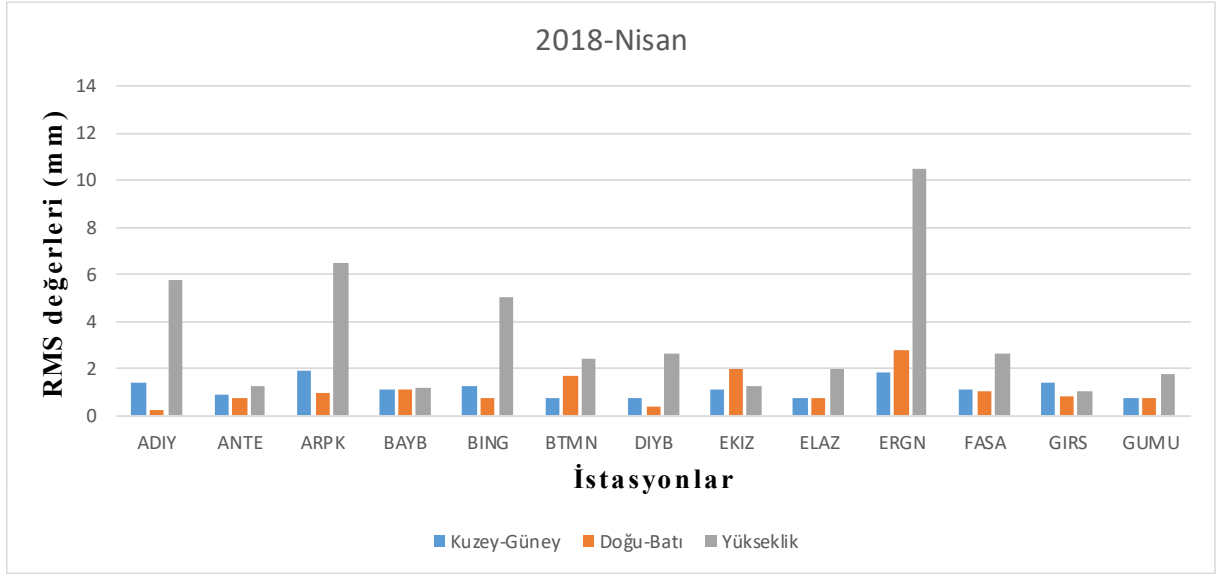
Şekil A.11 2017 yılı Temmuz ayına ait günlük tekrarlılıklar



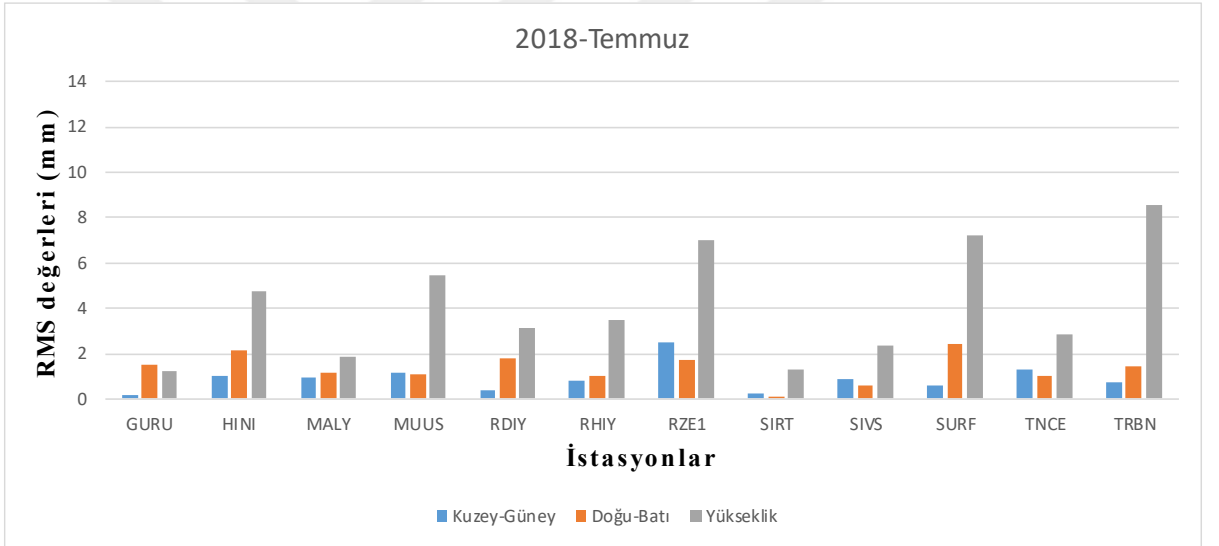
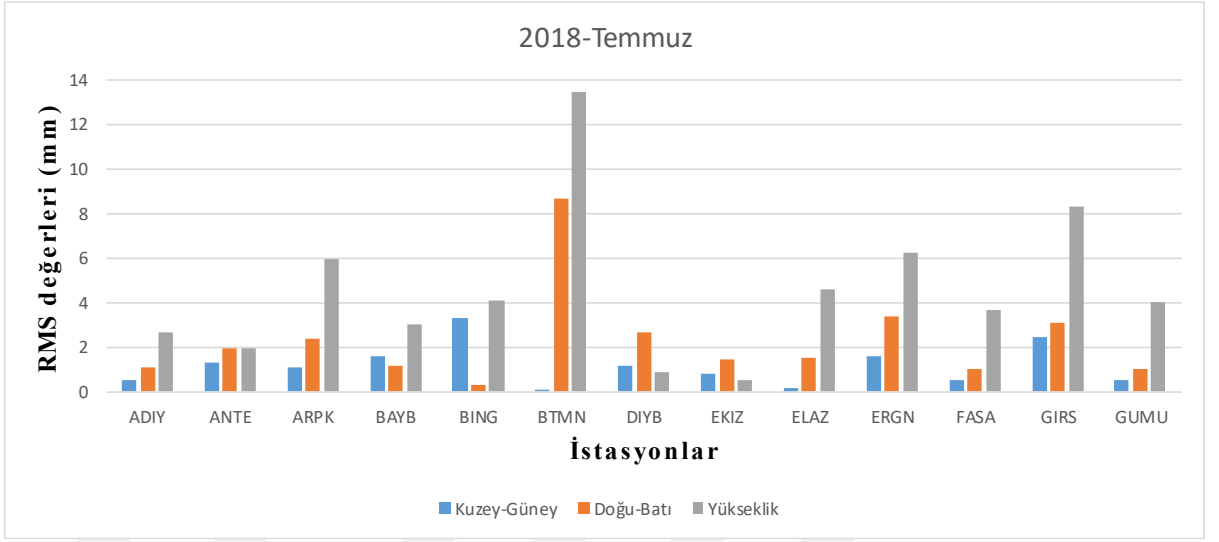
Şekil A.12 2017 yılı Ekim ayına ait günlük tekrarlılıklar



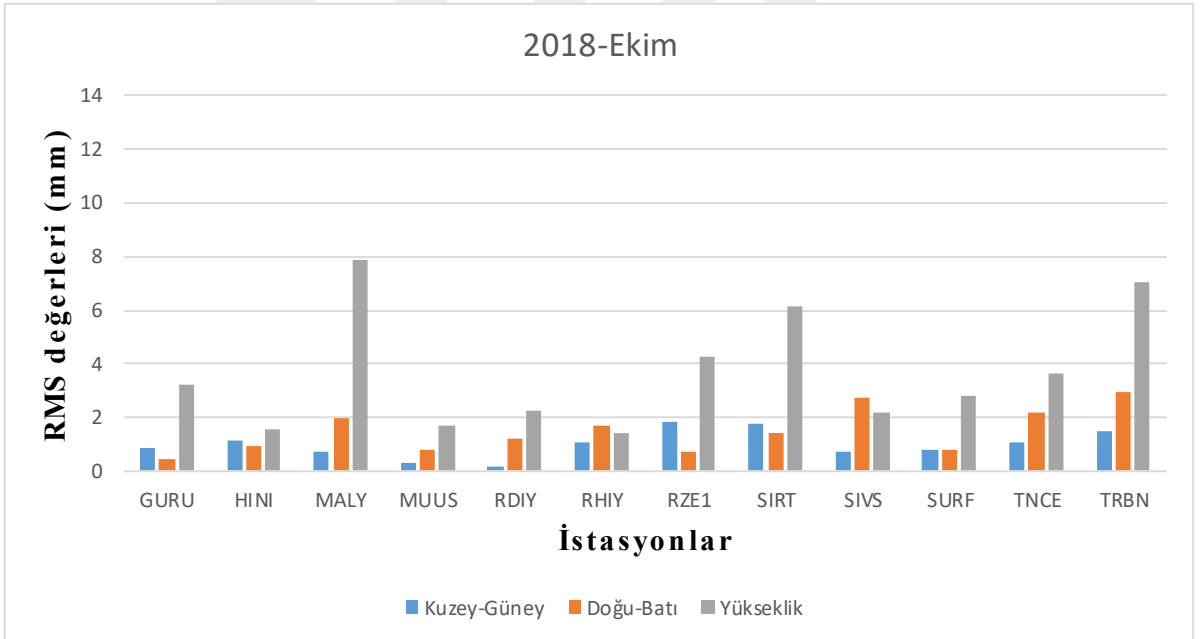
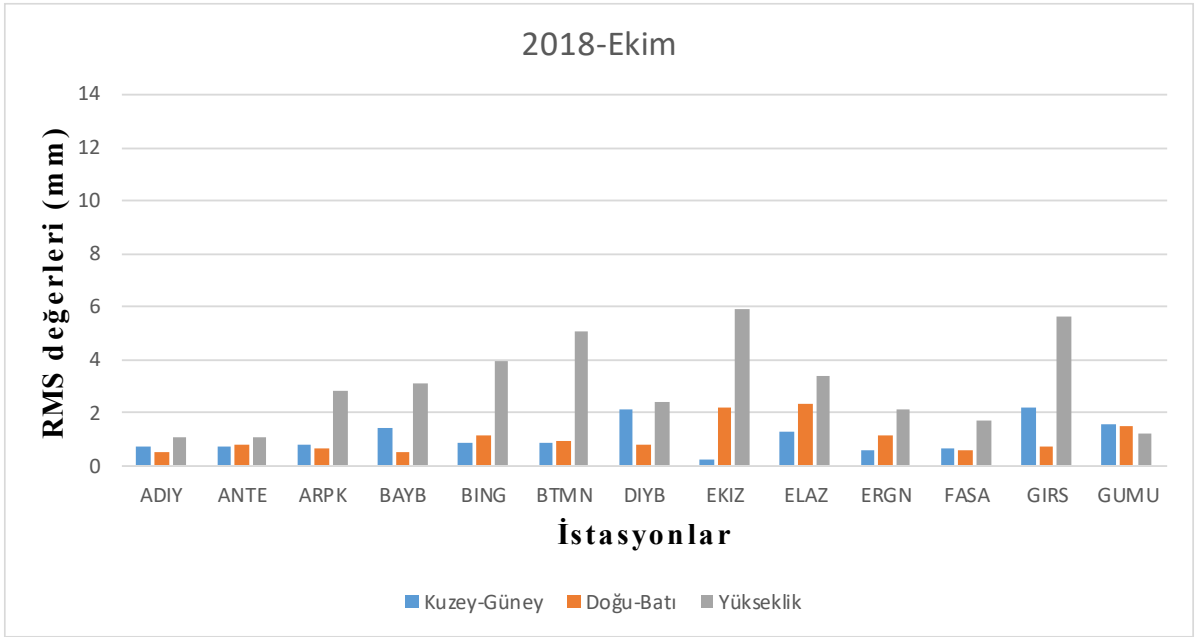
Şekil A.13 2018 yılı Ocak ayına ait günlük tekrarlılıklar



Şekil A.14 2018 yılı Nisan ayına ait günlük tekrarlılıklar



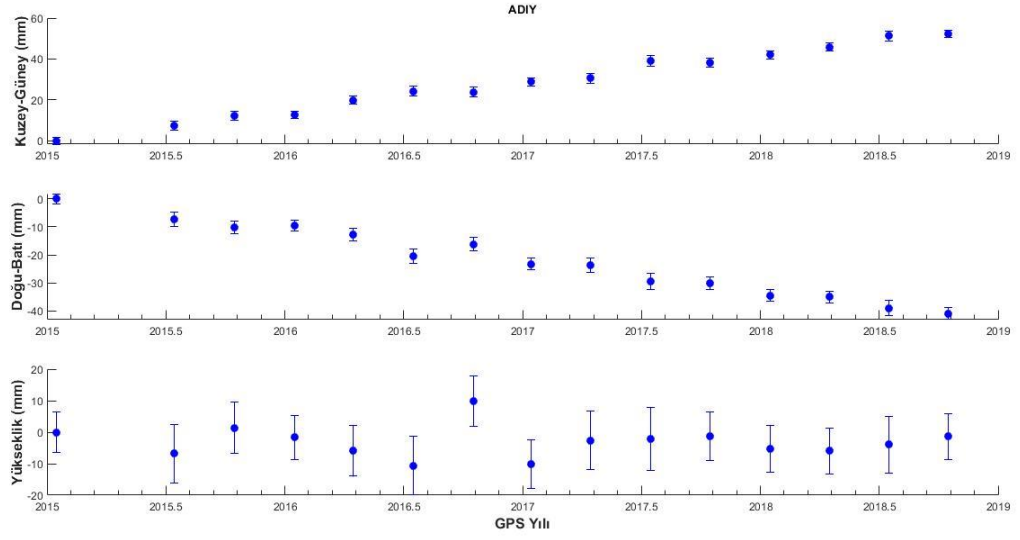
Şekil A.15 2018 yılı Temmuz ayına ait günlük tekrarlılıklar



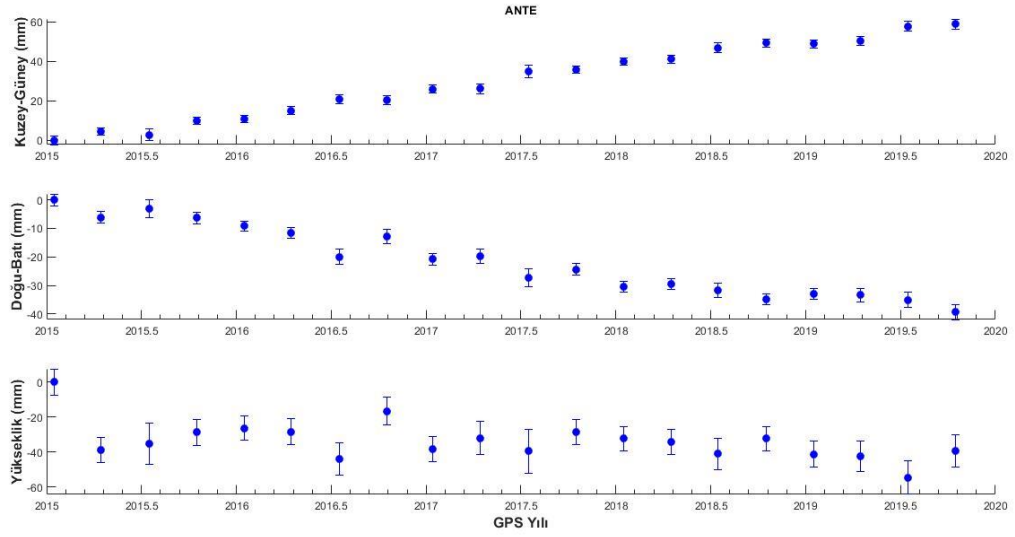
Şekil A.16 2018 yılı Ekim ayına ait günlük tekrarlılıklar

# B

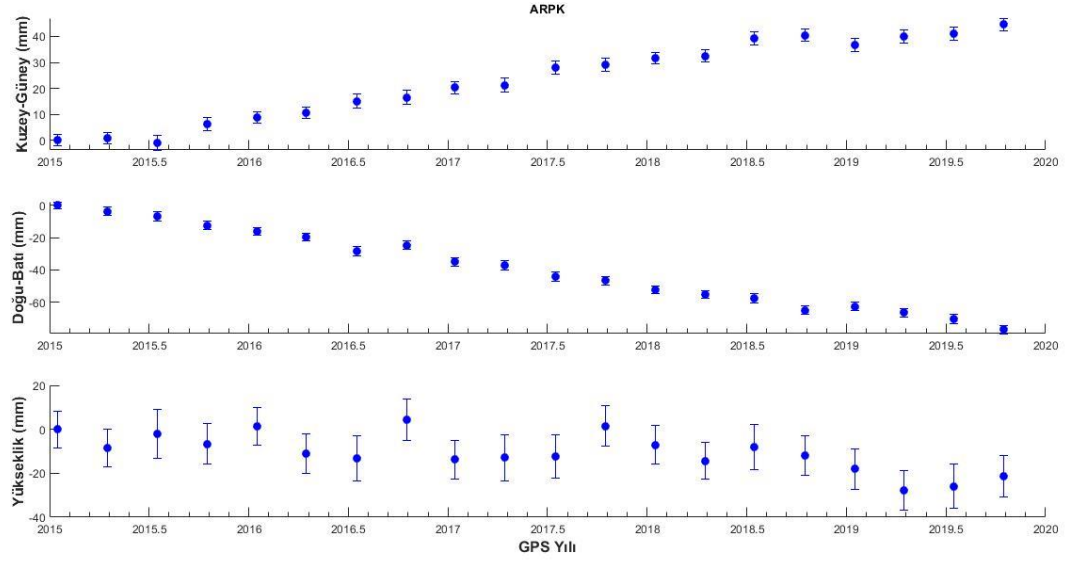
## ZAMAN SERİLERİ



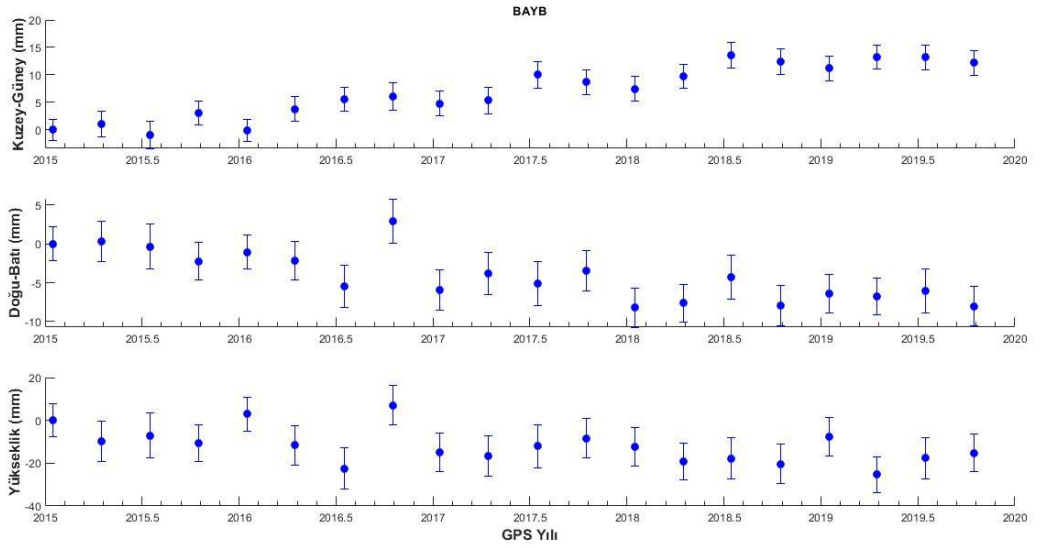
Şekil B.1 ADIY istasyonuna ait zaman serisi



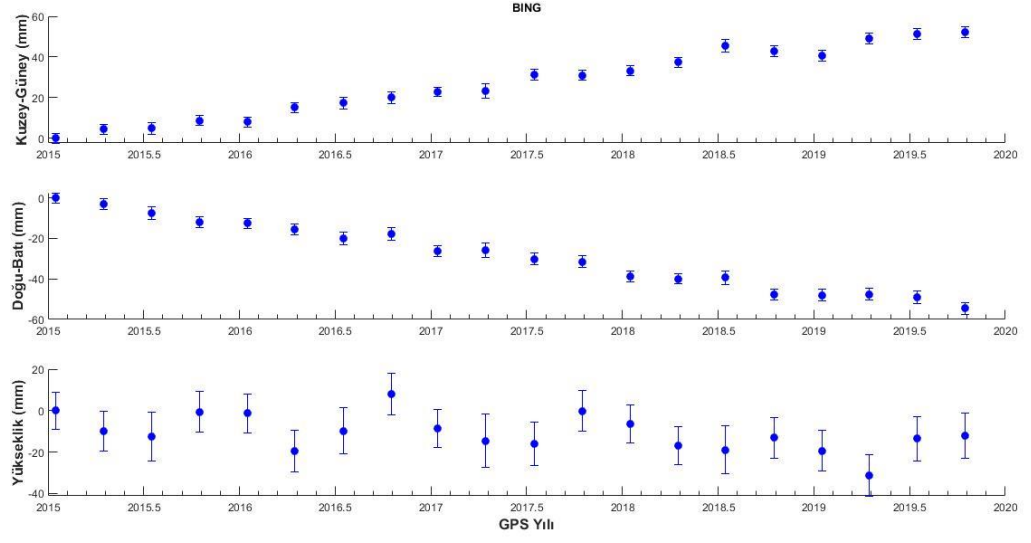
Şekil B.2 ANTE istasyonuna ait zaman serisi



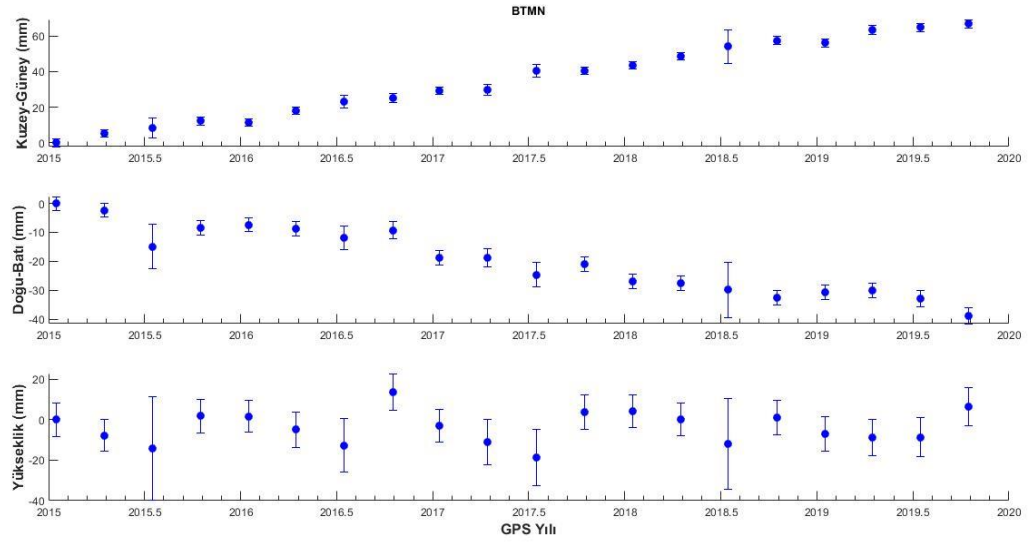
Şekil B.3 ARPK istasyonuna ait zaman serisi



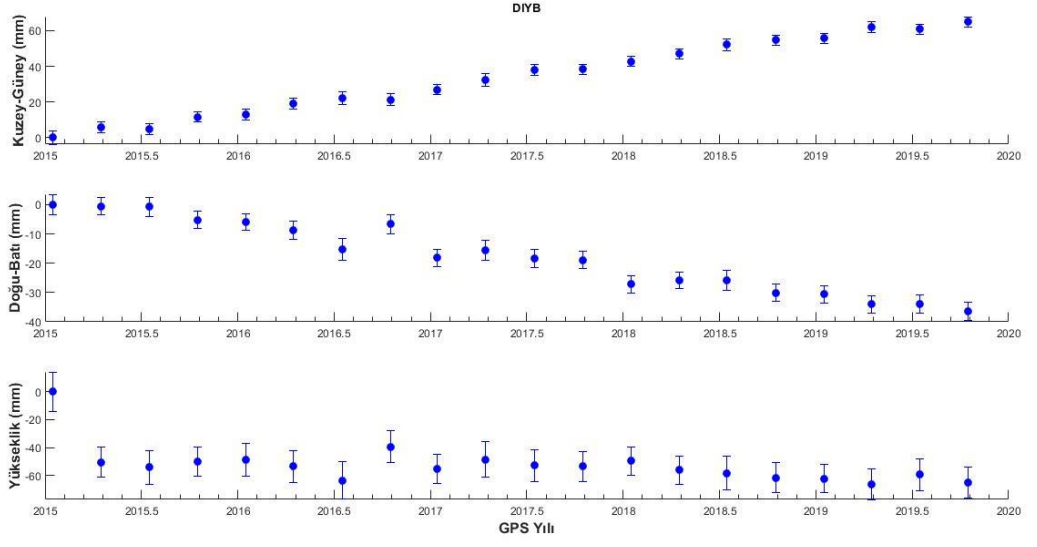
Şekil B.4 BAYB istasyonuna ait zaman serisi



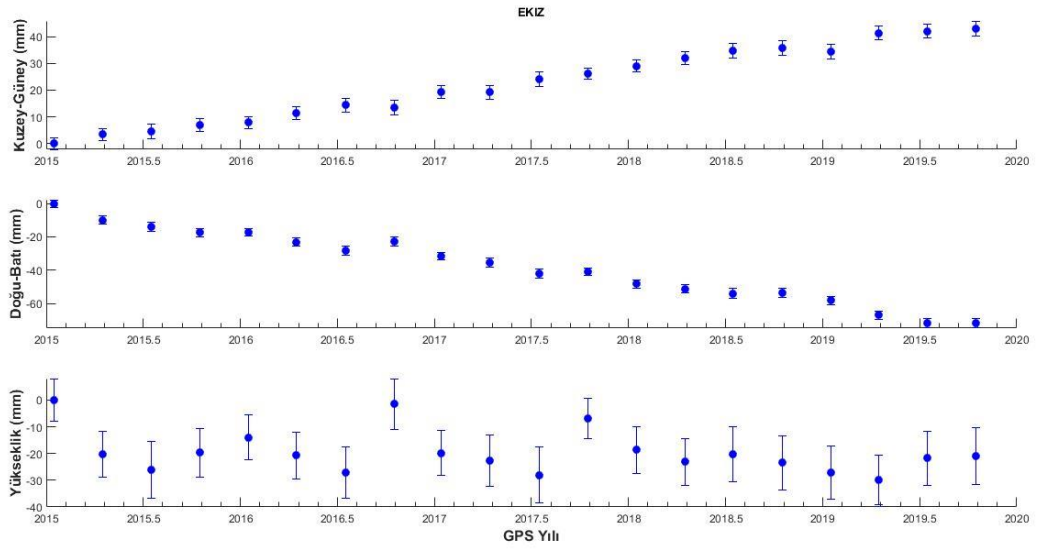
**Şekil B.5** BING istasyonuna ait zaman serisi



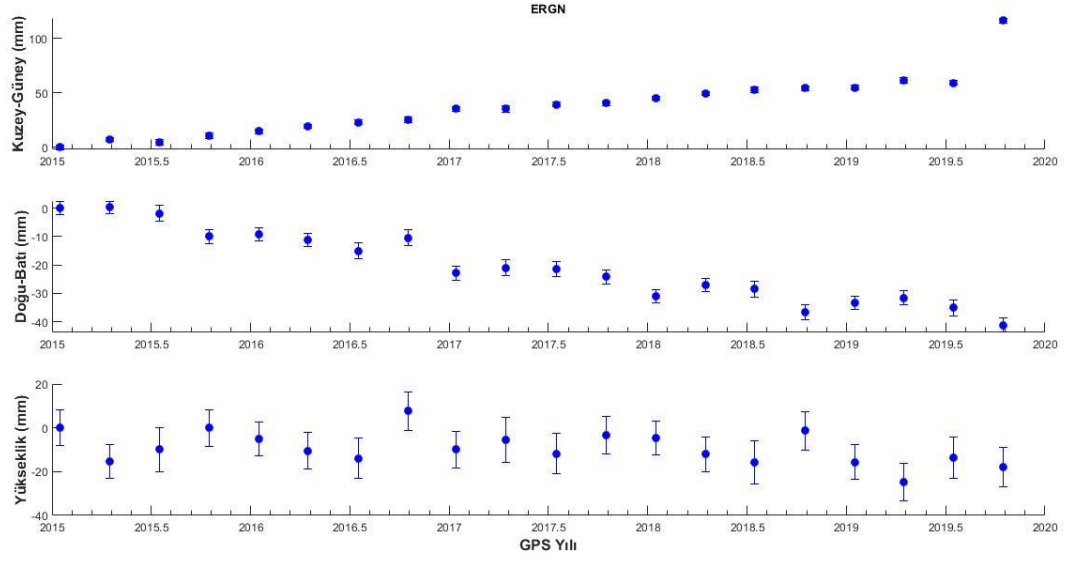
**Şekil B.6** BTMN istasyonuna ait zaman serisi



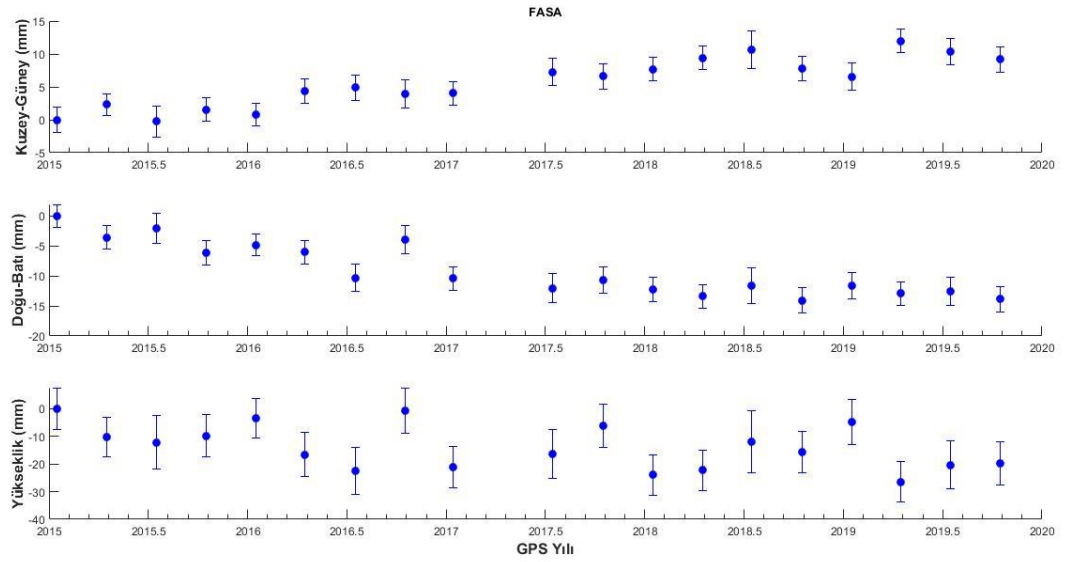
**Şekil B.7** DIYB istasyonuna ait zaman serisi



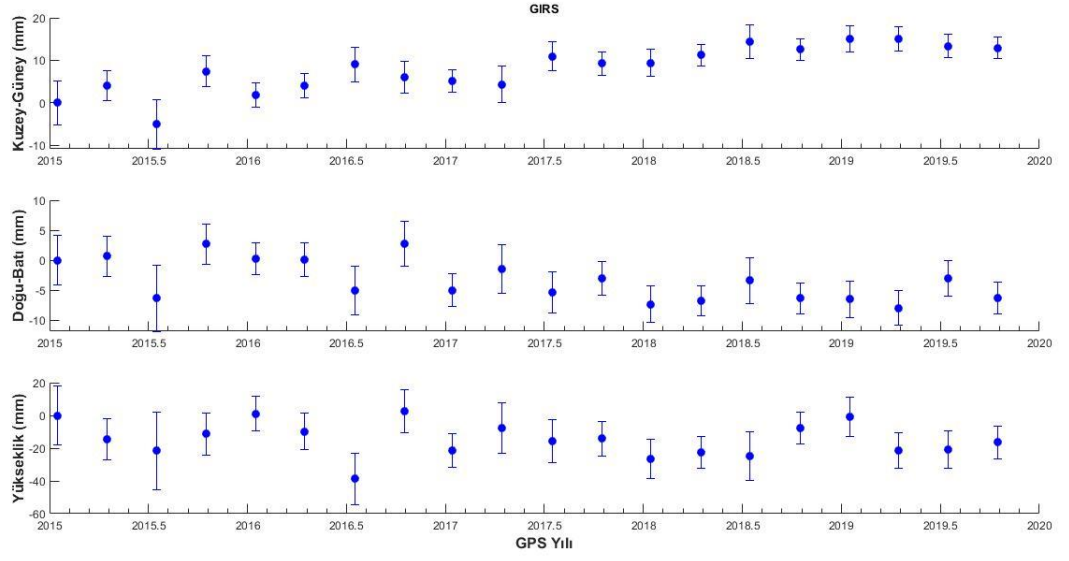
**Şekil B.8** EKIZ istasyonuna ait zaman serisi



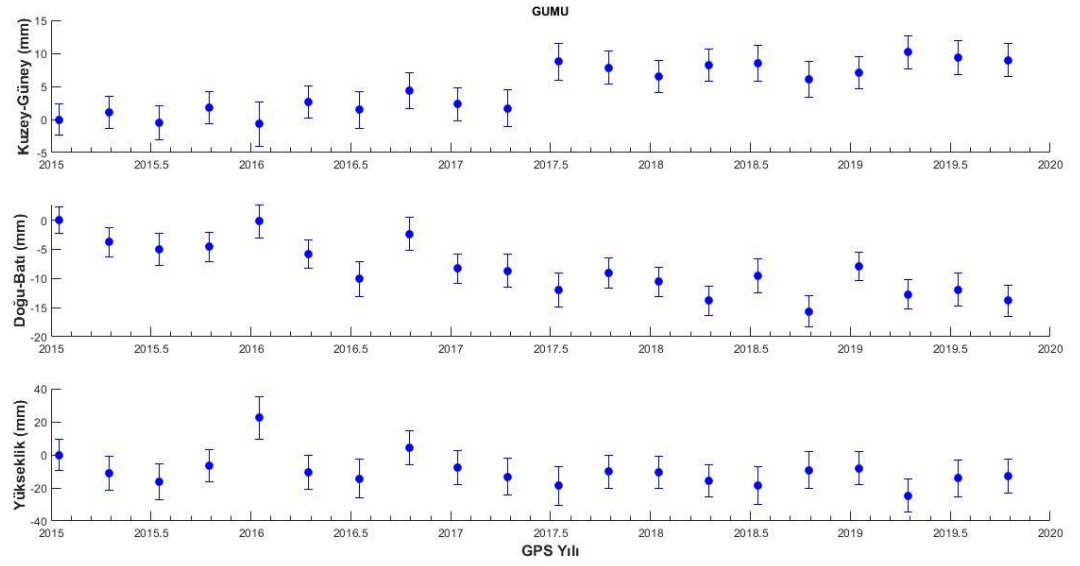
**Şekil B.9** ERGN istasyonuna ait zaman serisi



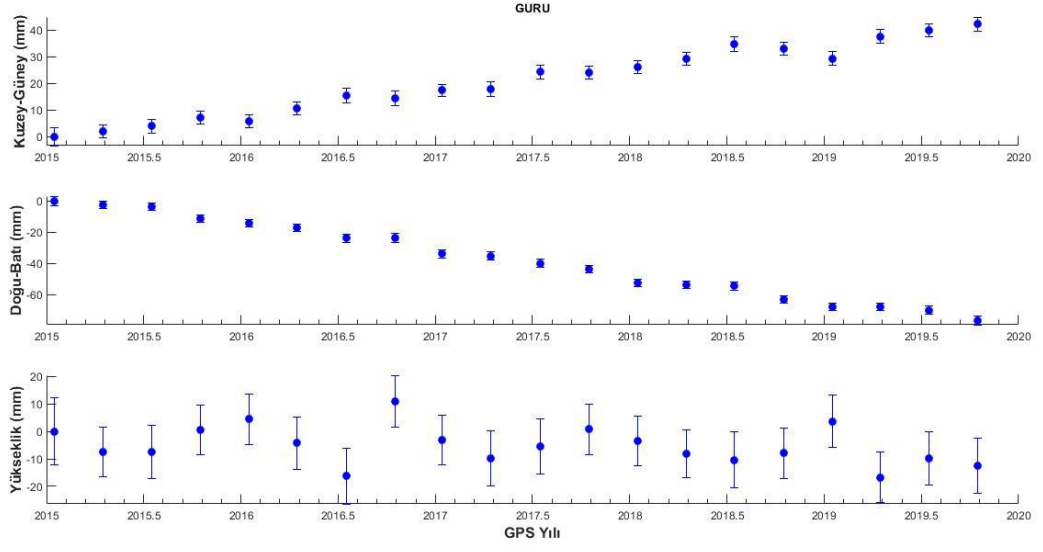
**Şekil B.10** FASA istasyonuna ait zaman serisi



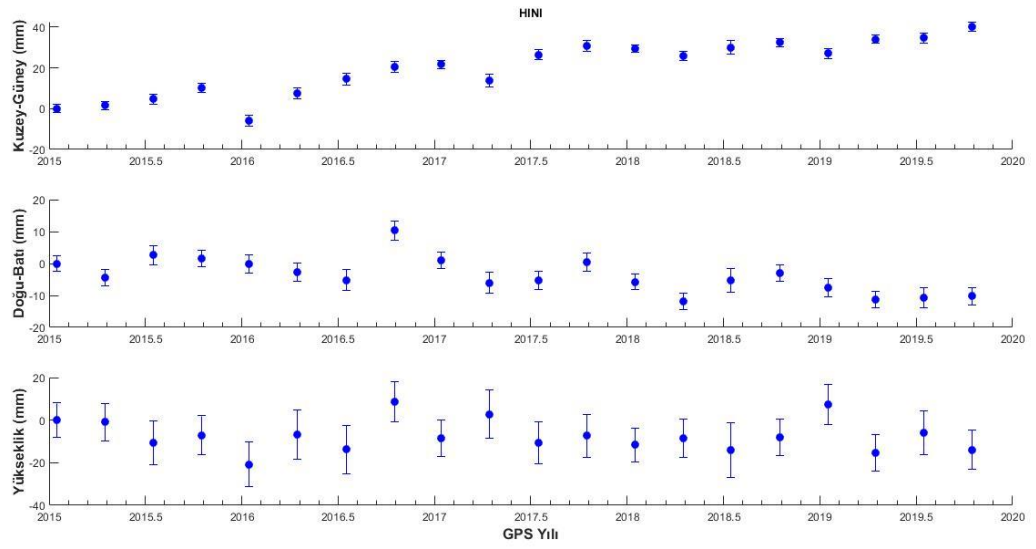
**Şekil B.11** GIRS istasyonuna ait zaman serisi



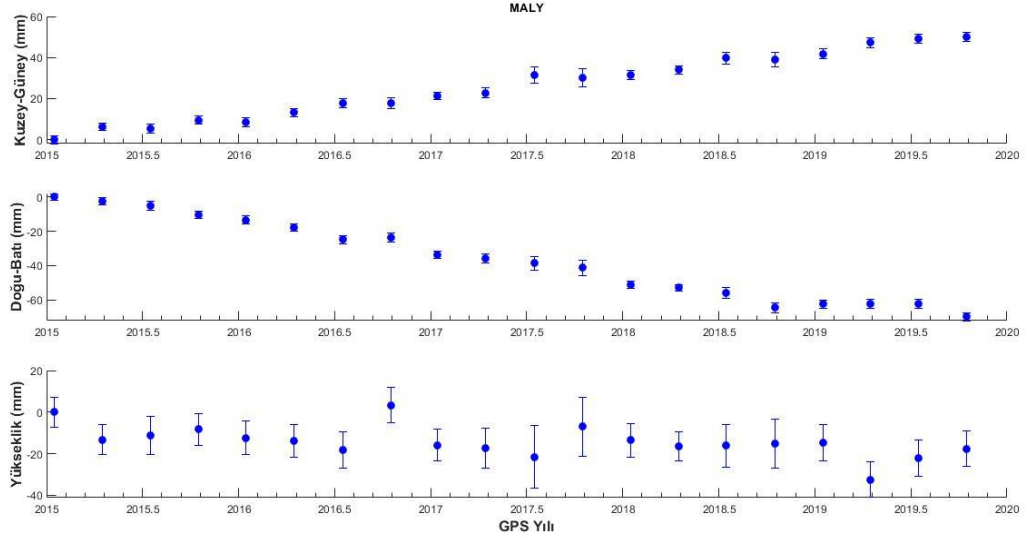
**Şekil B.12** GUMU istasyonuna ait zaman serisi



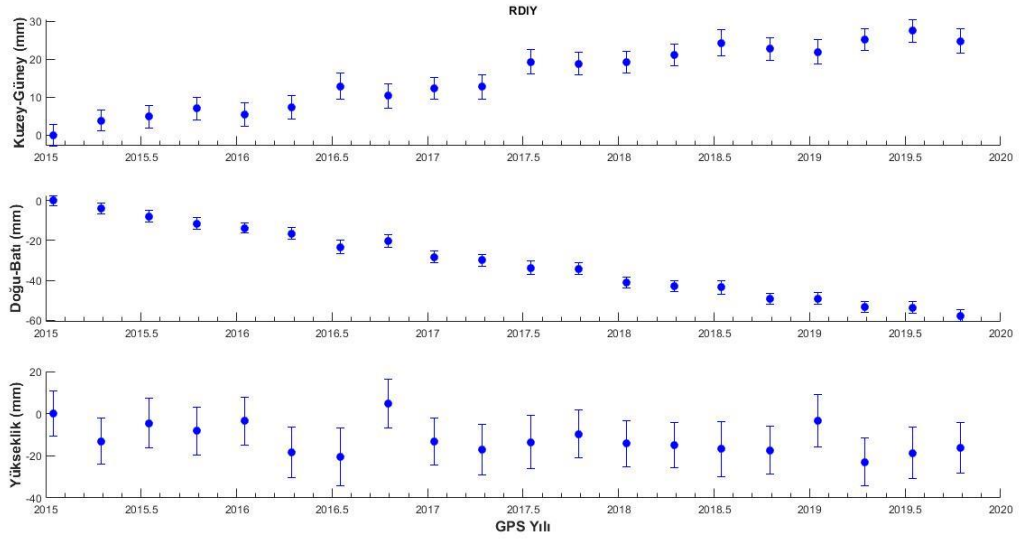
**Şekil B.13** GURU istasyonuna ait zaman serisi



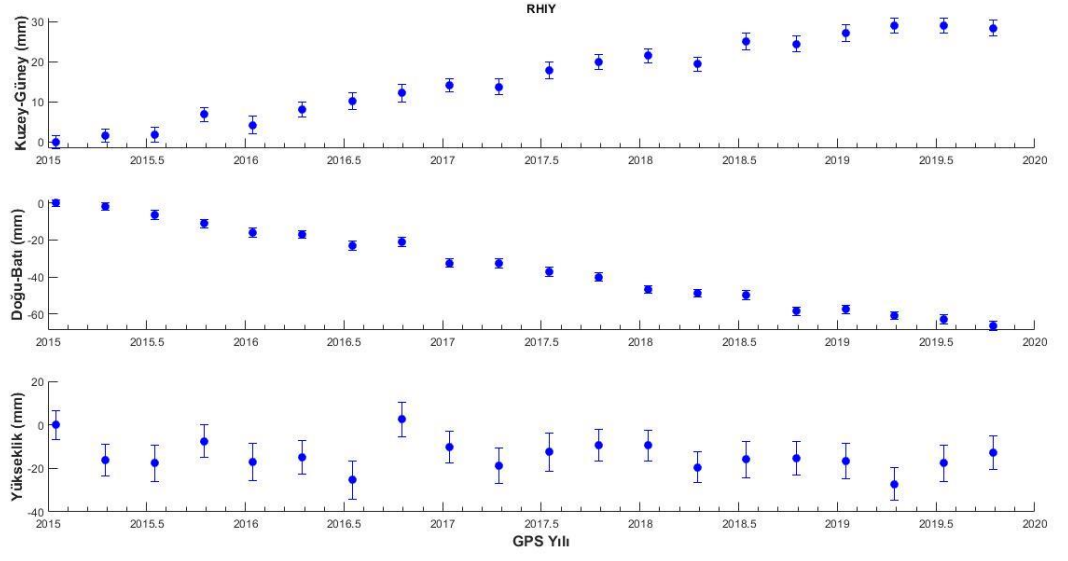
**Şekil B.14** HINI istasyonuna ait zaman serisi



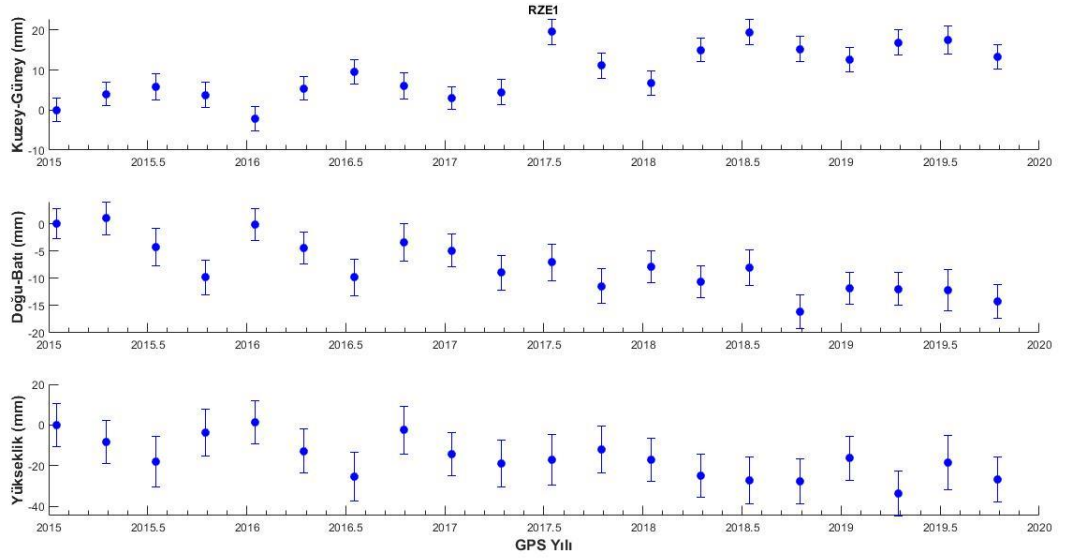
**Şekil B.15** MALY istasyonuna ait zaman serisi



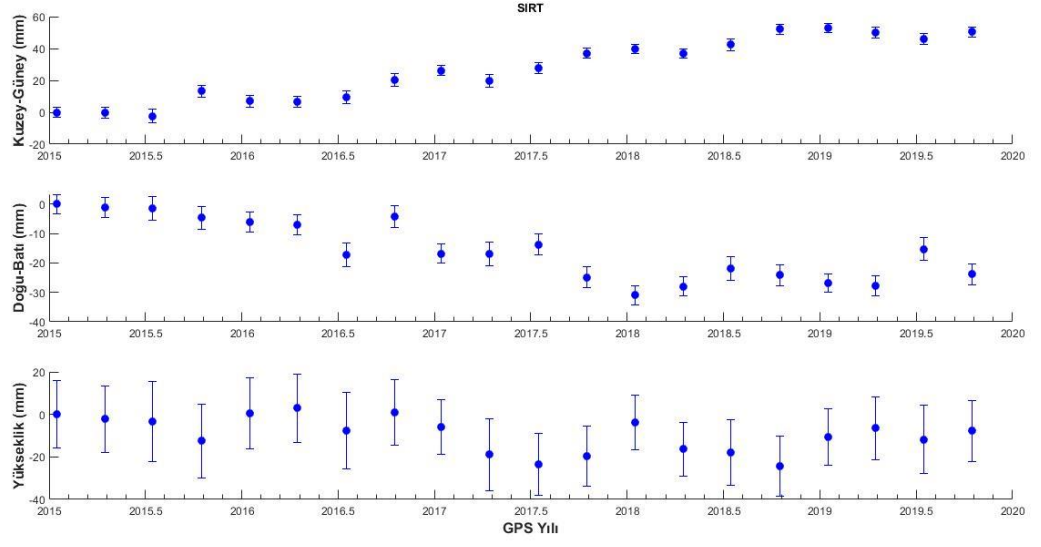
**Şekil B.16** RDIY istasyonuna ait zaman serisi



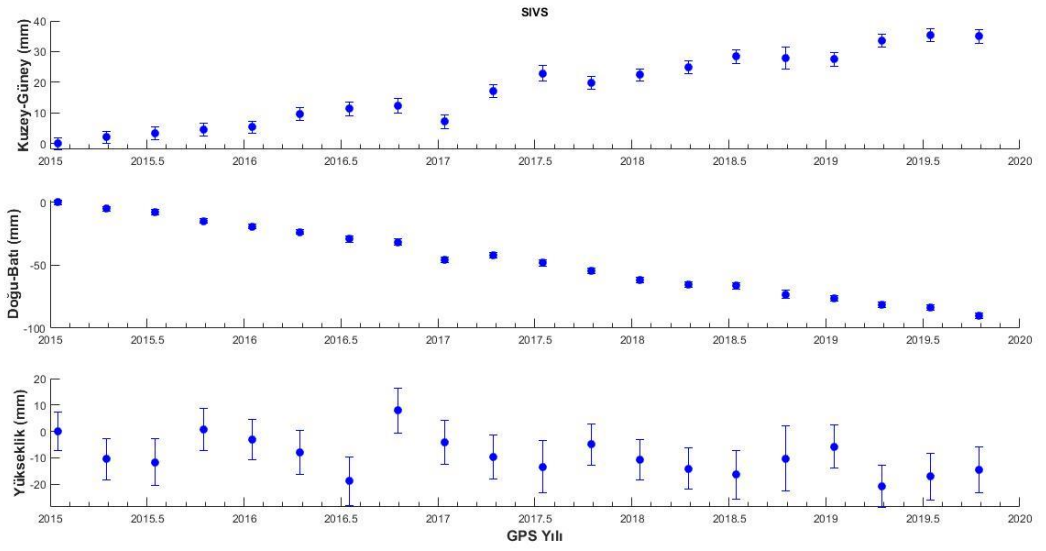
**Şekil B.17** RHIY istasyonuna ait zaman serisi



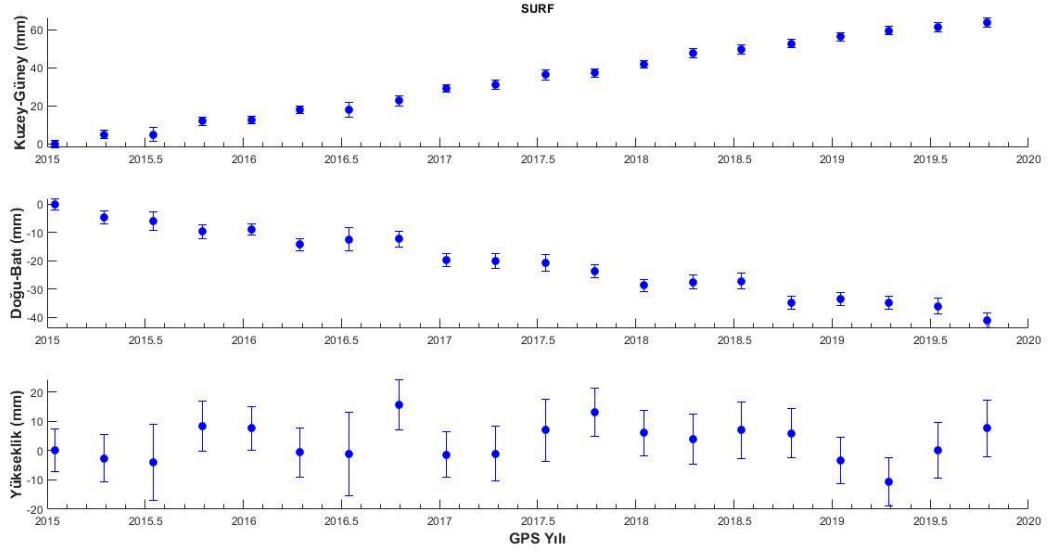
**Şekil B.18** RZE1 istasyonuna ait zaman serisi



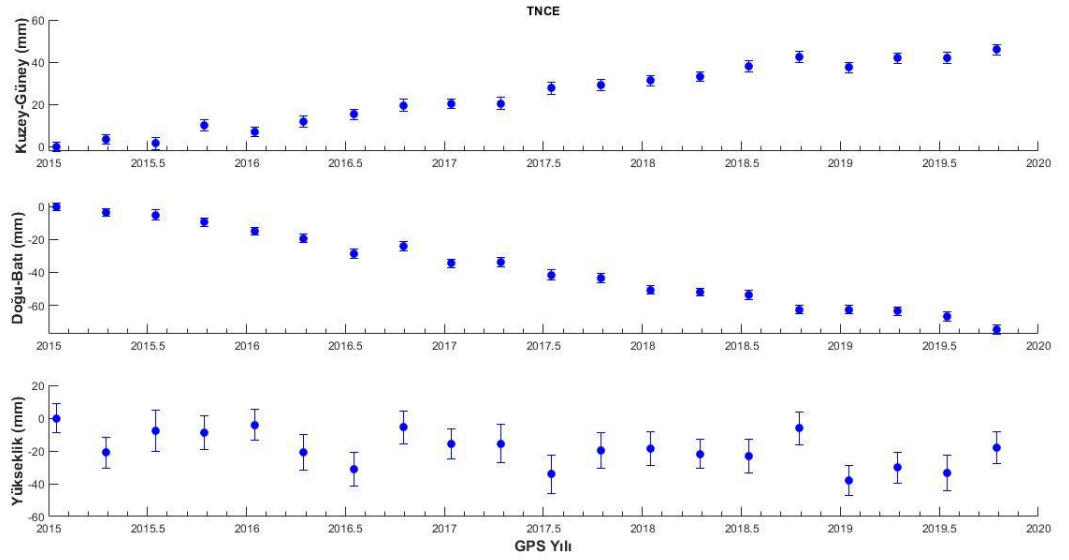
**Şekil B.19** SIRT istasyonuna ait zaman serisi



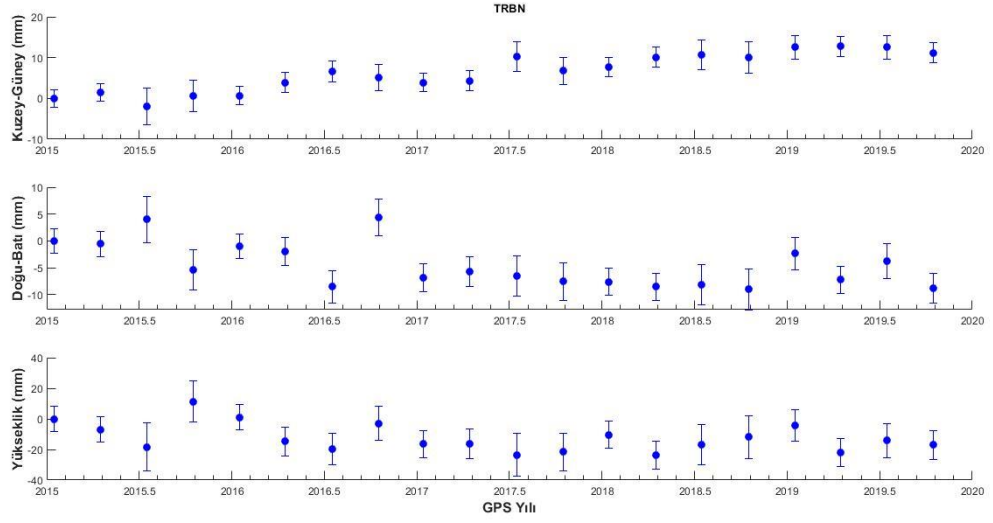
**Şekil B.20** SIVS istasyonuna ait zaman serisi



**Şekil B.21** SURF istasyonuna ait zaman serisi



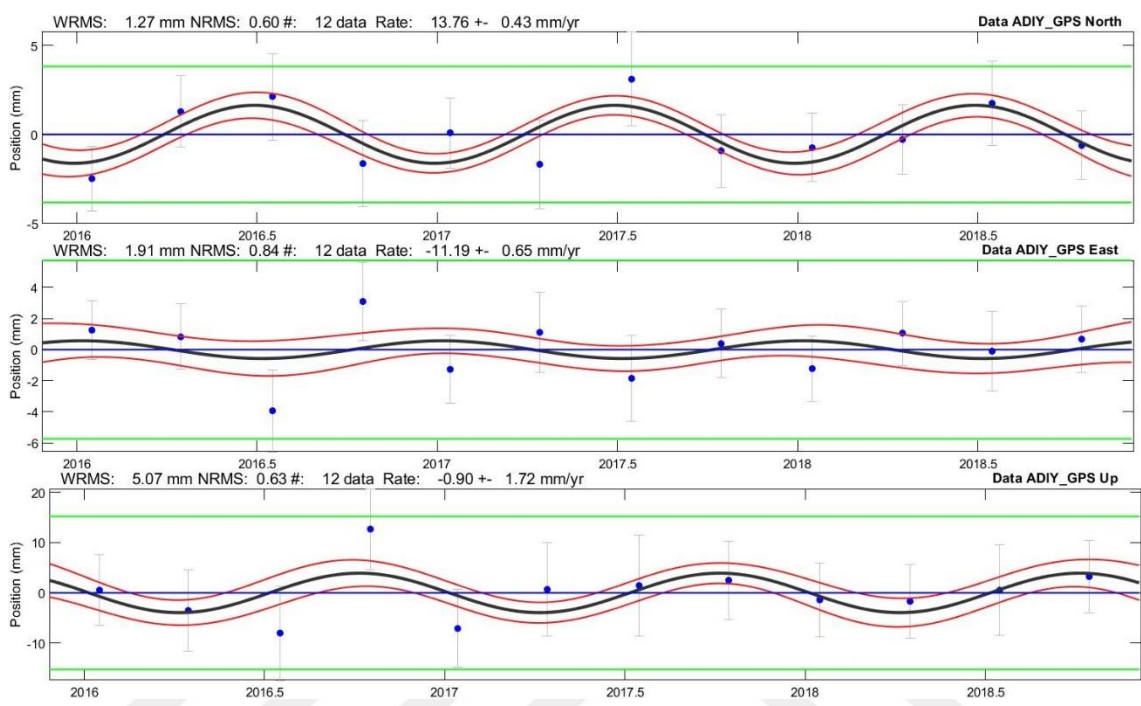
**Şekil B.22** TNCE istasyonuna ait zaman serisi



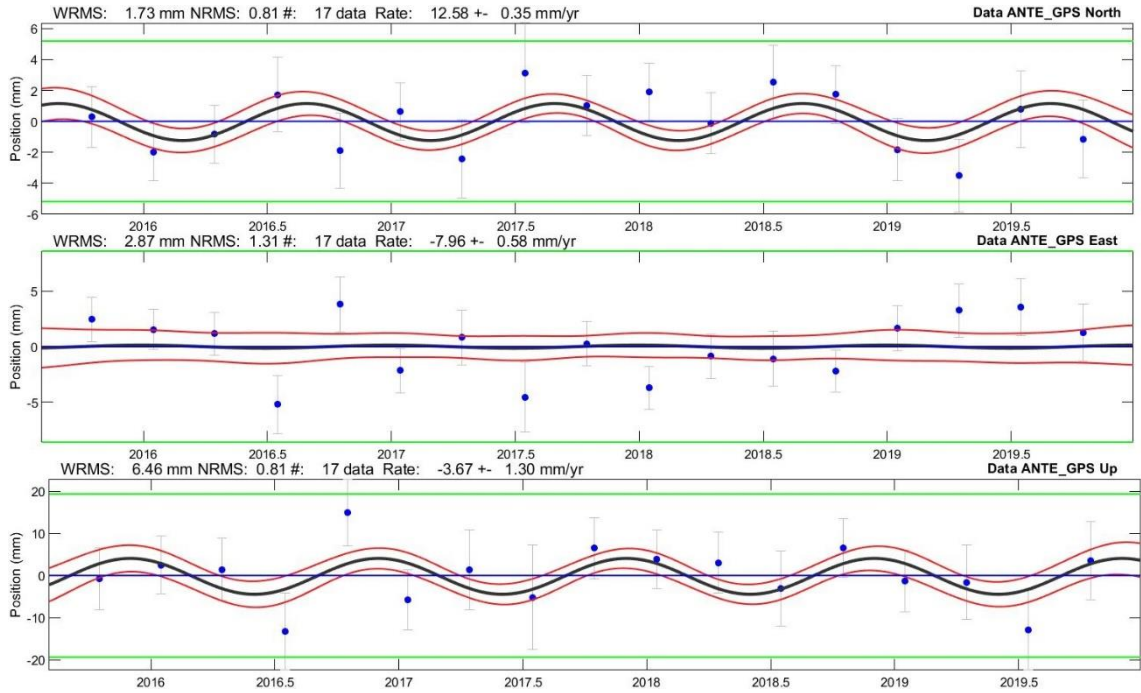
Şekil B.23 TRBN istasyonuna ait zaman serisi

# C

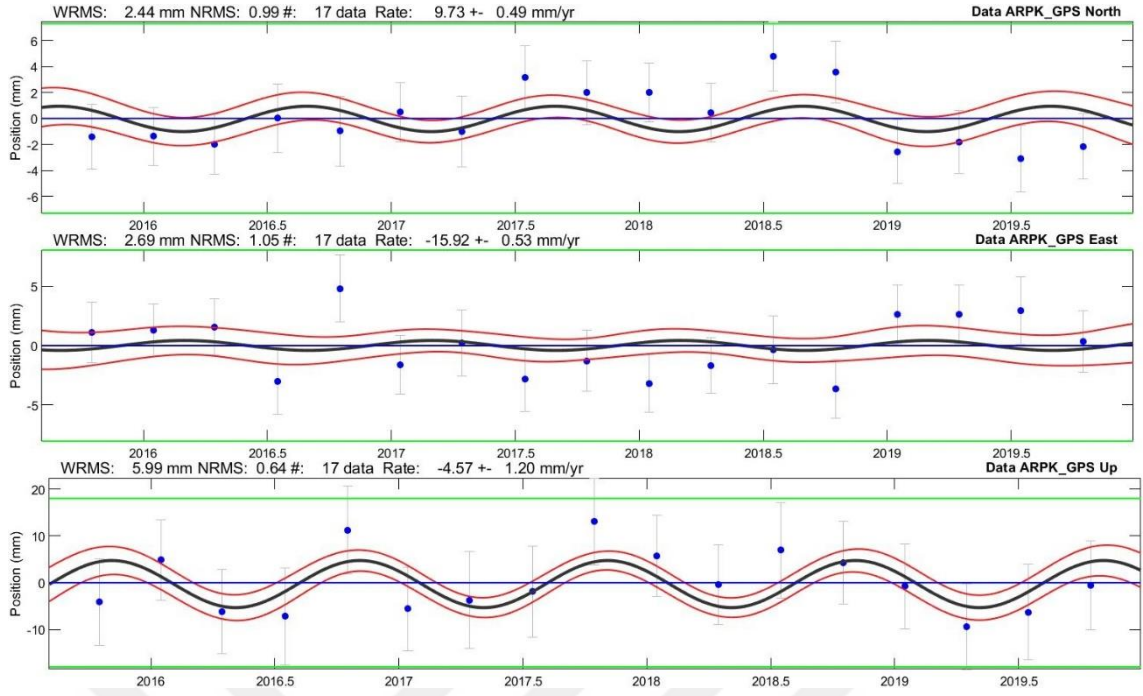
## TSVIEW ÇİZİMLERİ



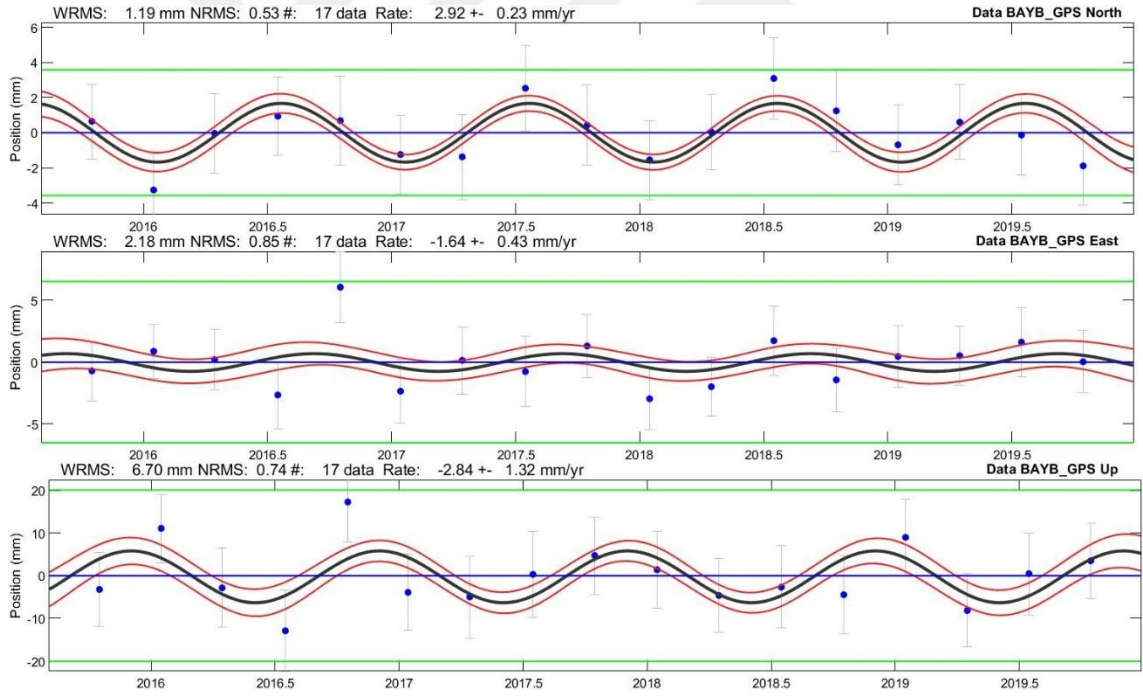
Şekil C.1 ADIY istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



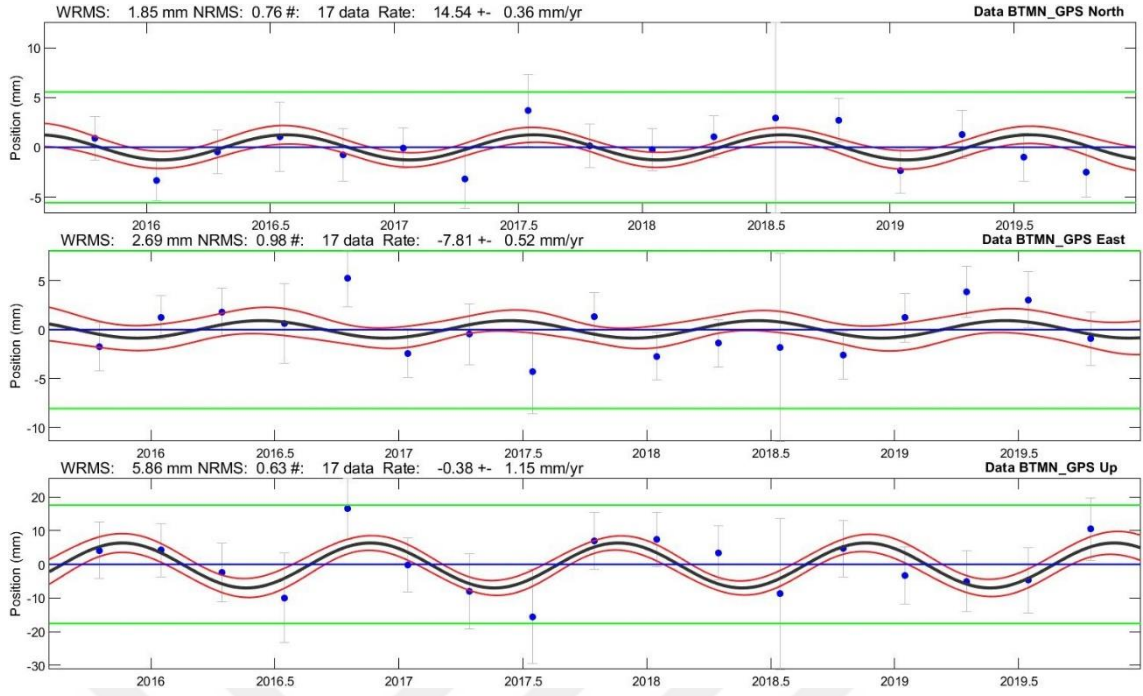
Şekil C.2 ANTE istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



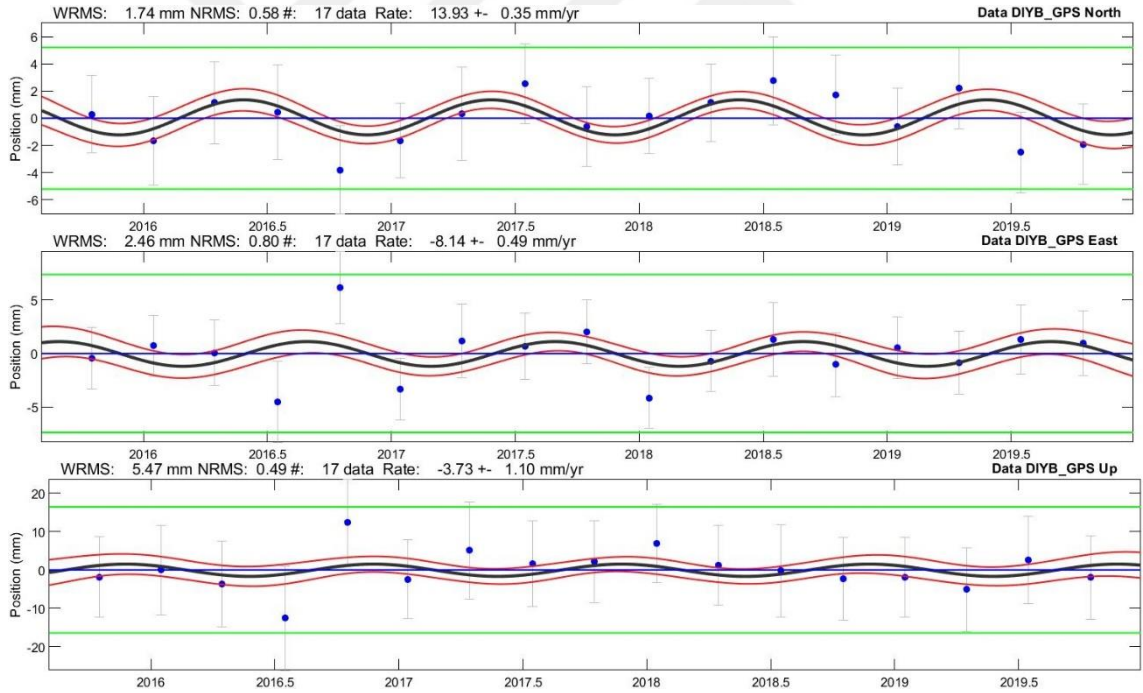
**Şekil C.3** ARPK istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



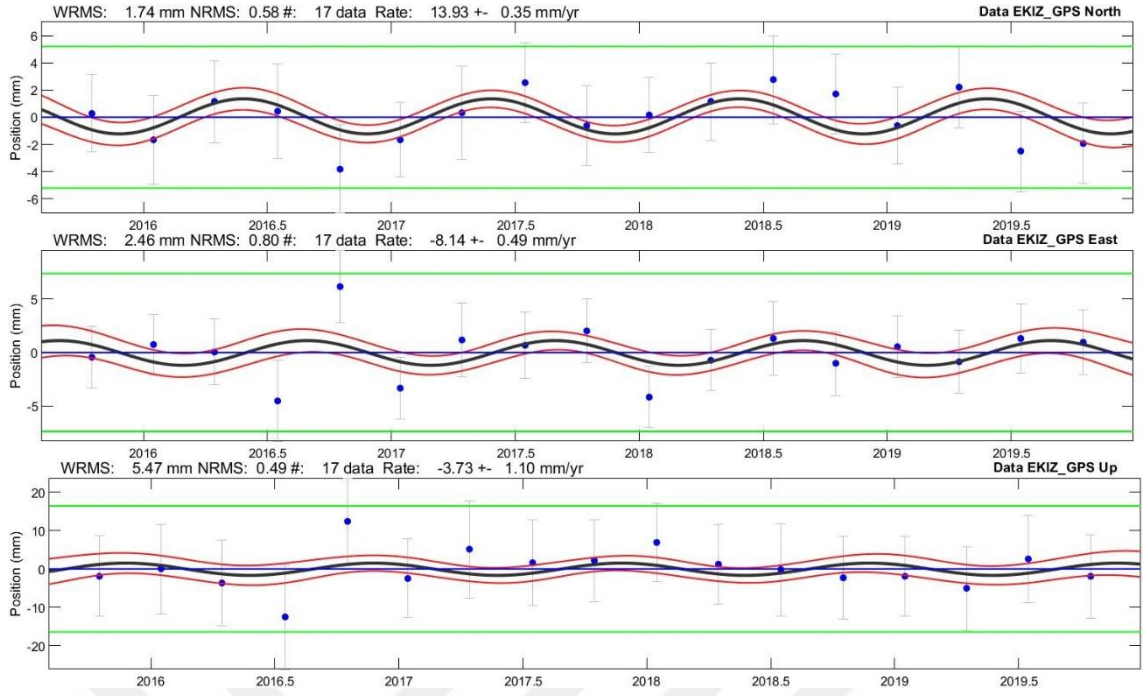
**Şekil C.4** BAYB istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



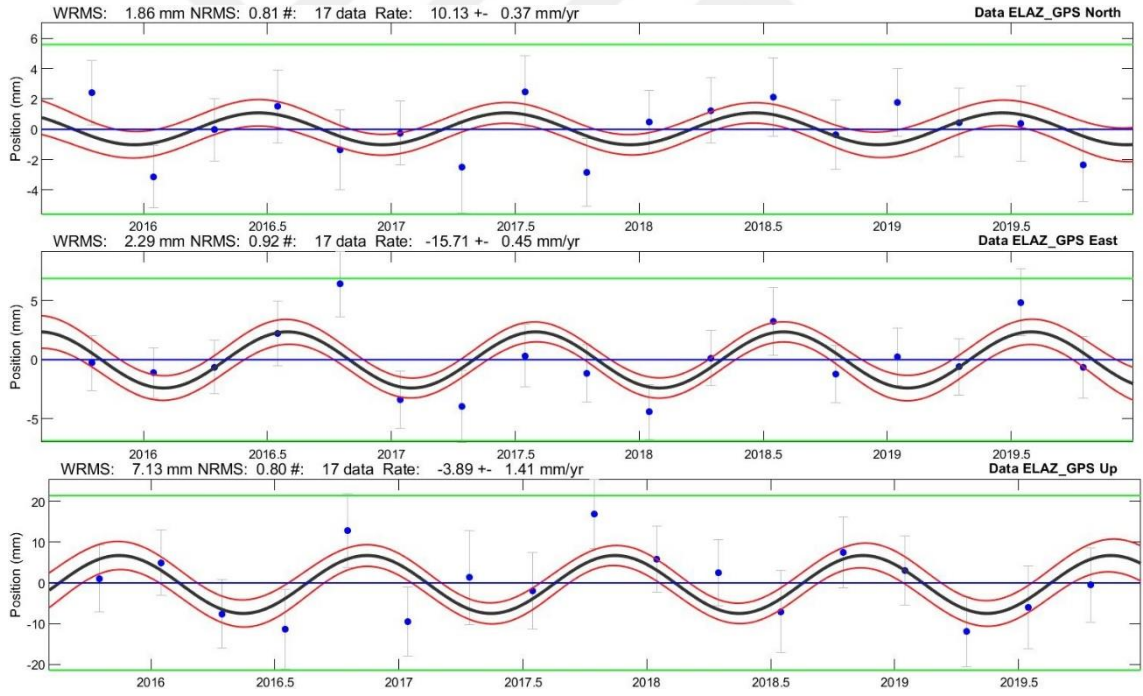
**Şekil C.5** BTMN istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



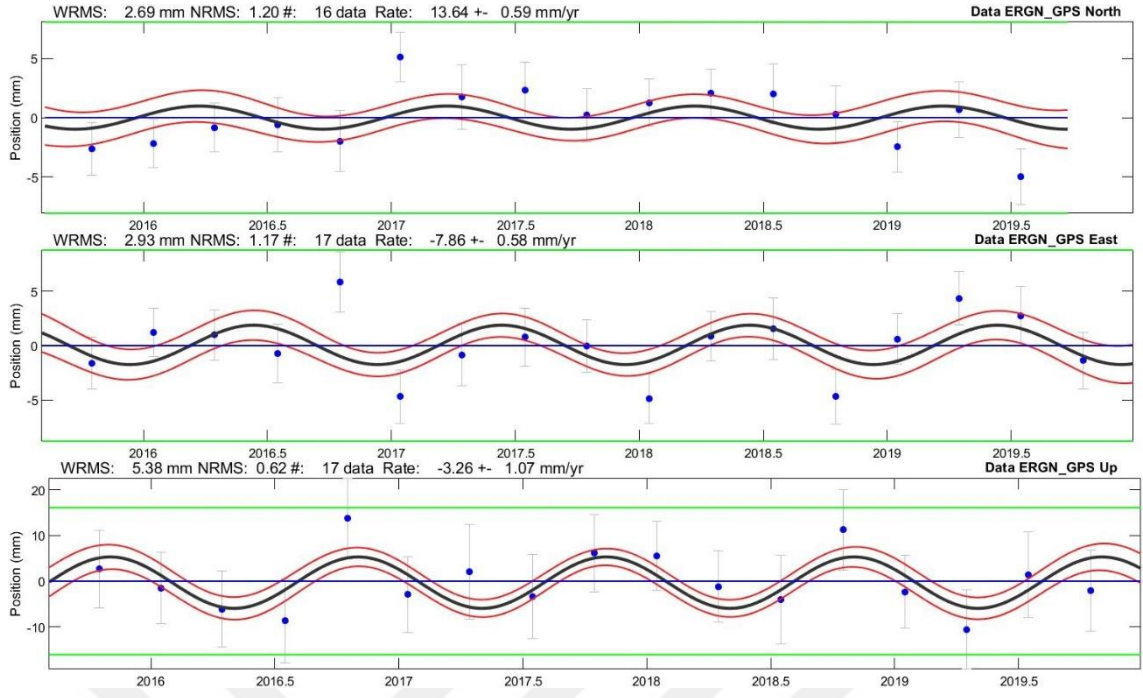
**Şekil C.6** DIYB istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



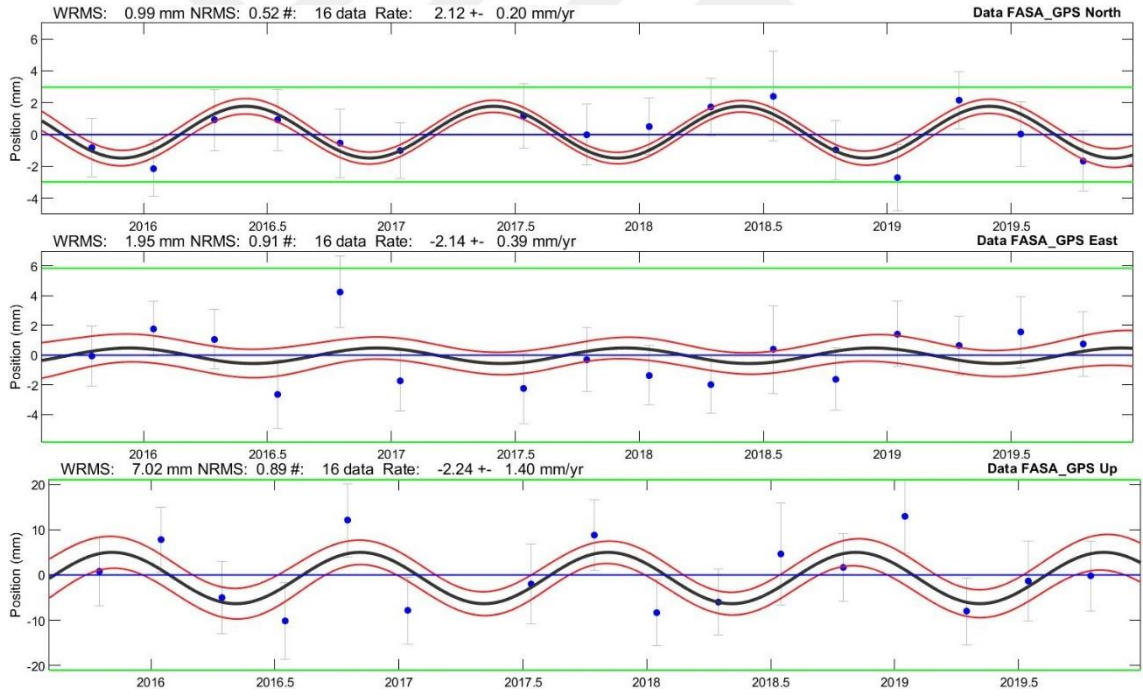
**Şekil C.7** EKIZ istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



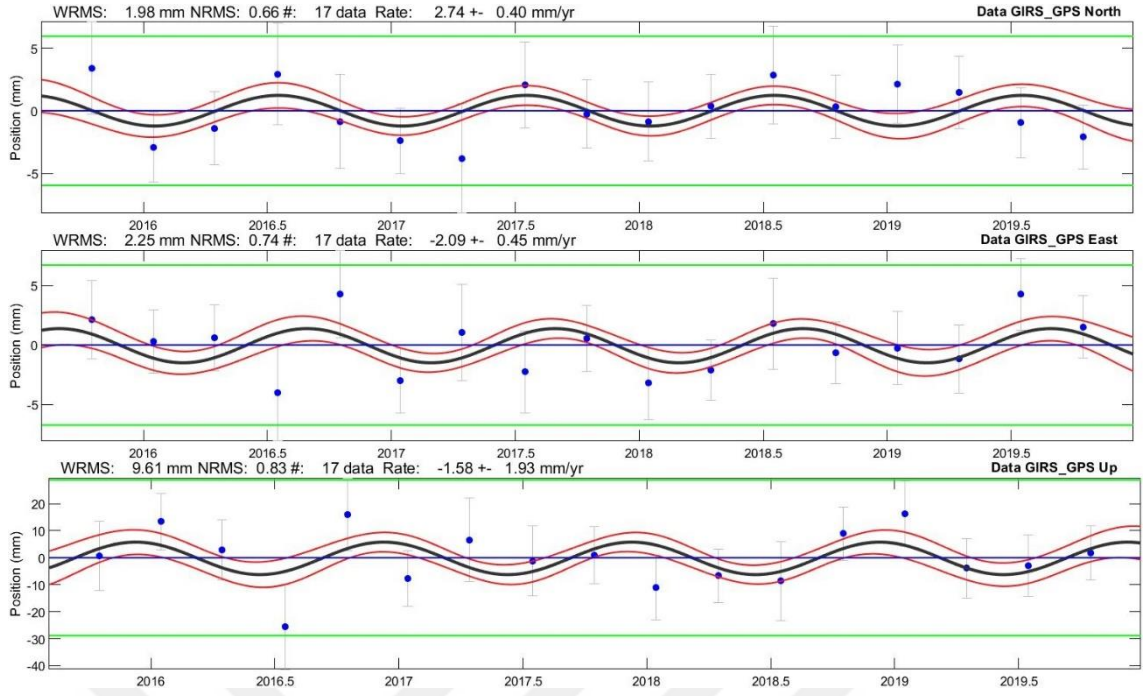
**Şekil C.8** ELAZ istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



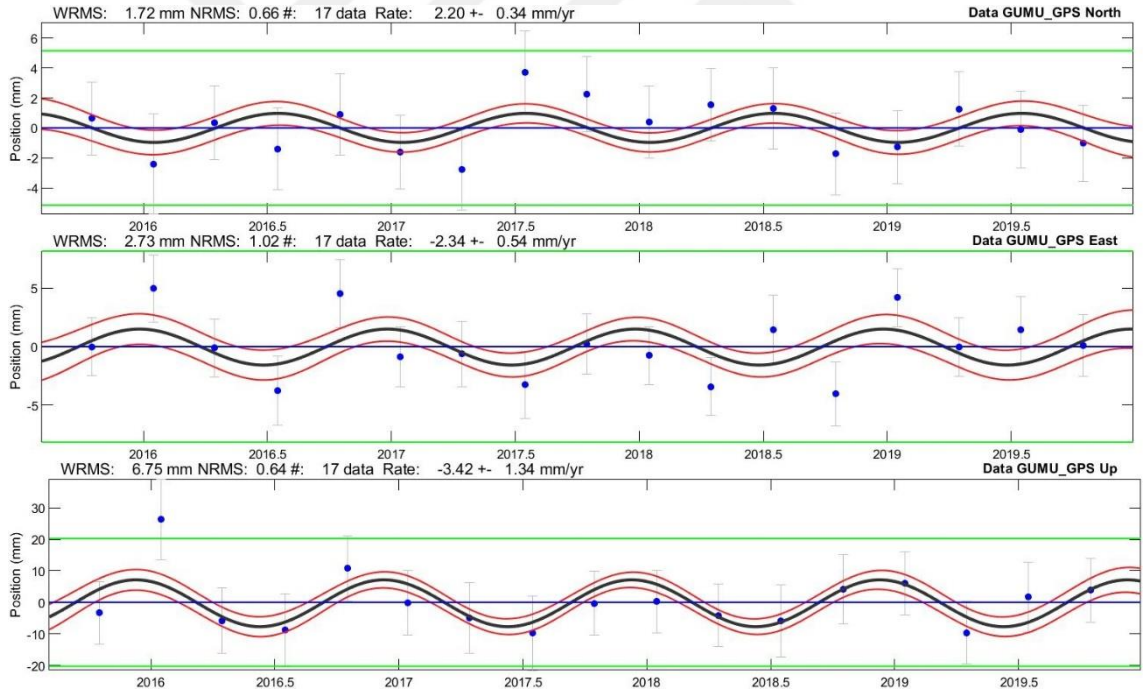
**Şekil C.9** ERGN istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



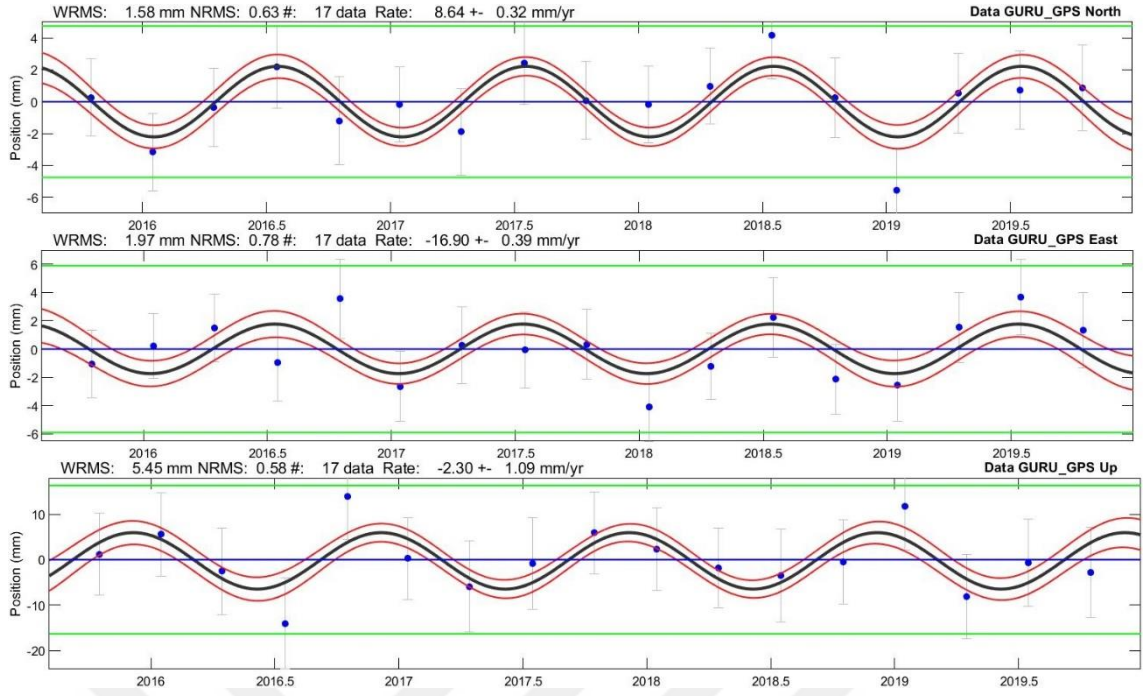
**Şekil C.10** FASA istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



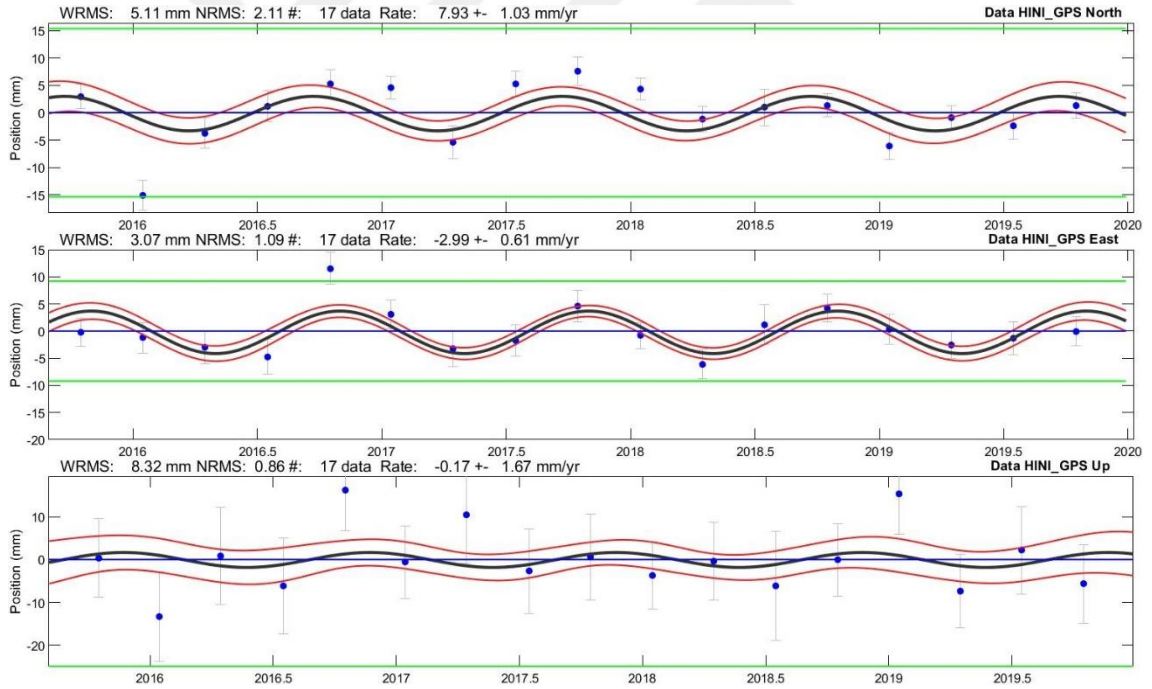
**Şekil C.11** GIRS istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



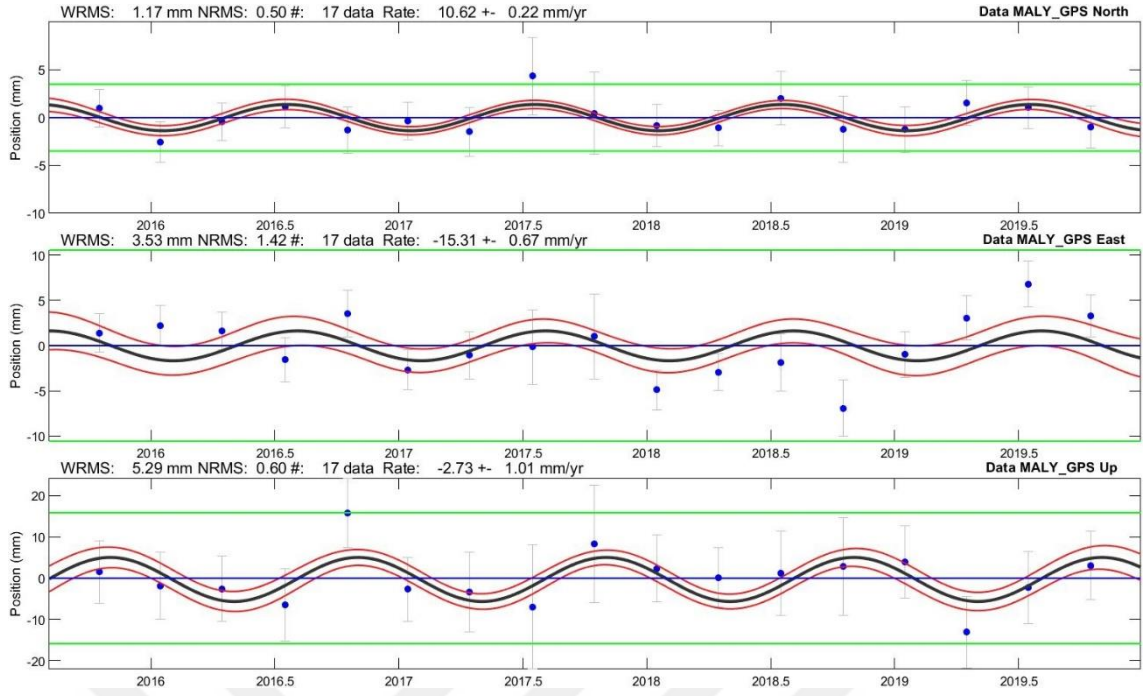
**Şekil C.12** GUMU istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



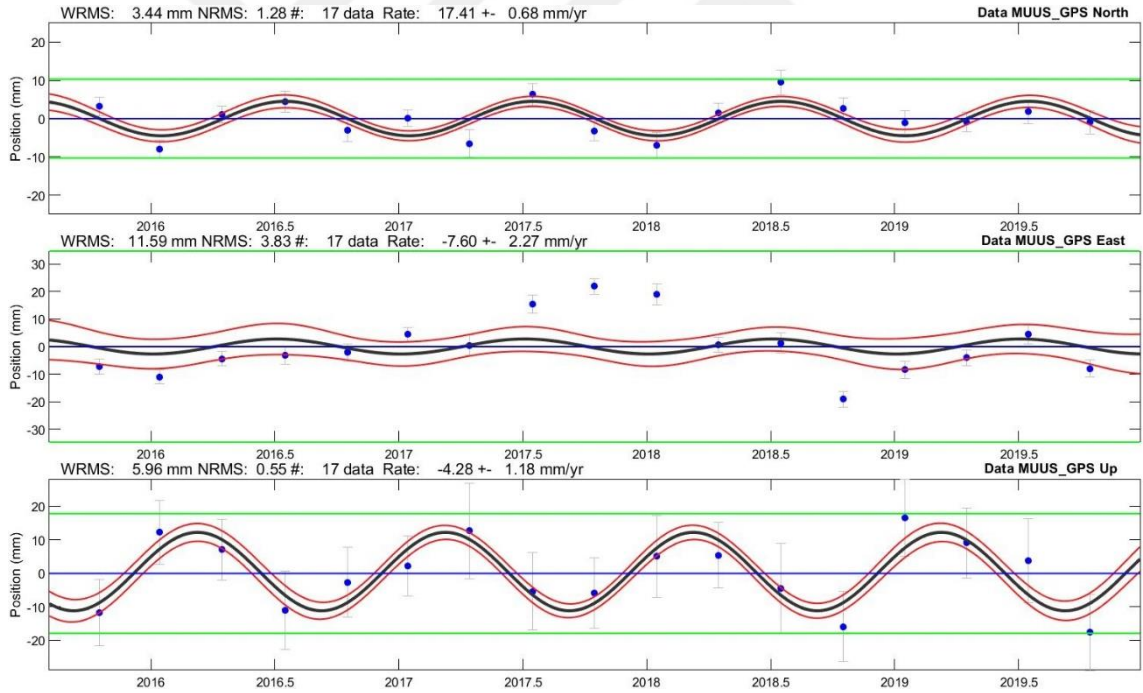
**Şekil C.13** GURU istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



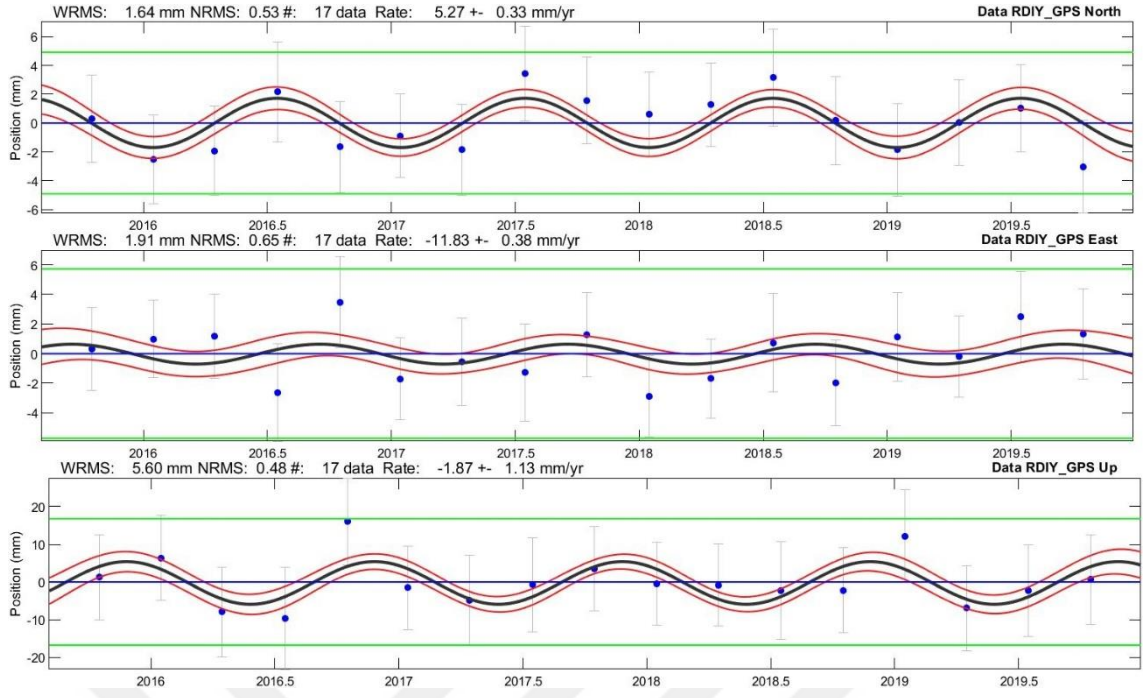
**Şekil C.14** HINI istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



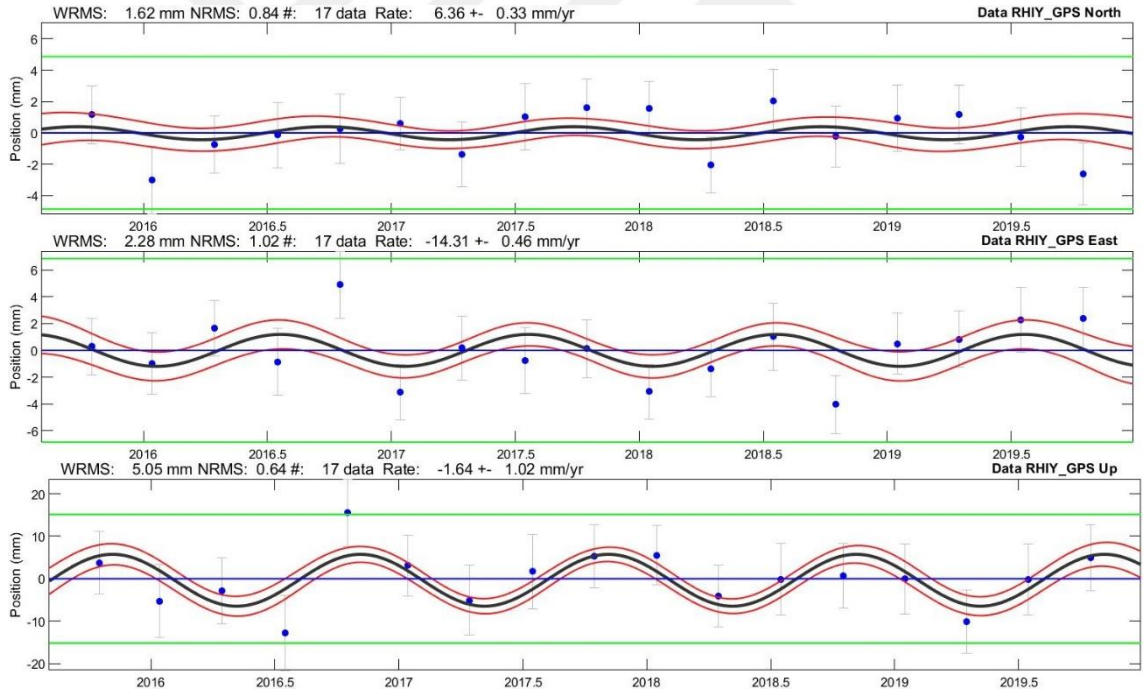
**Şekil C.15** MALY istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



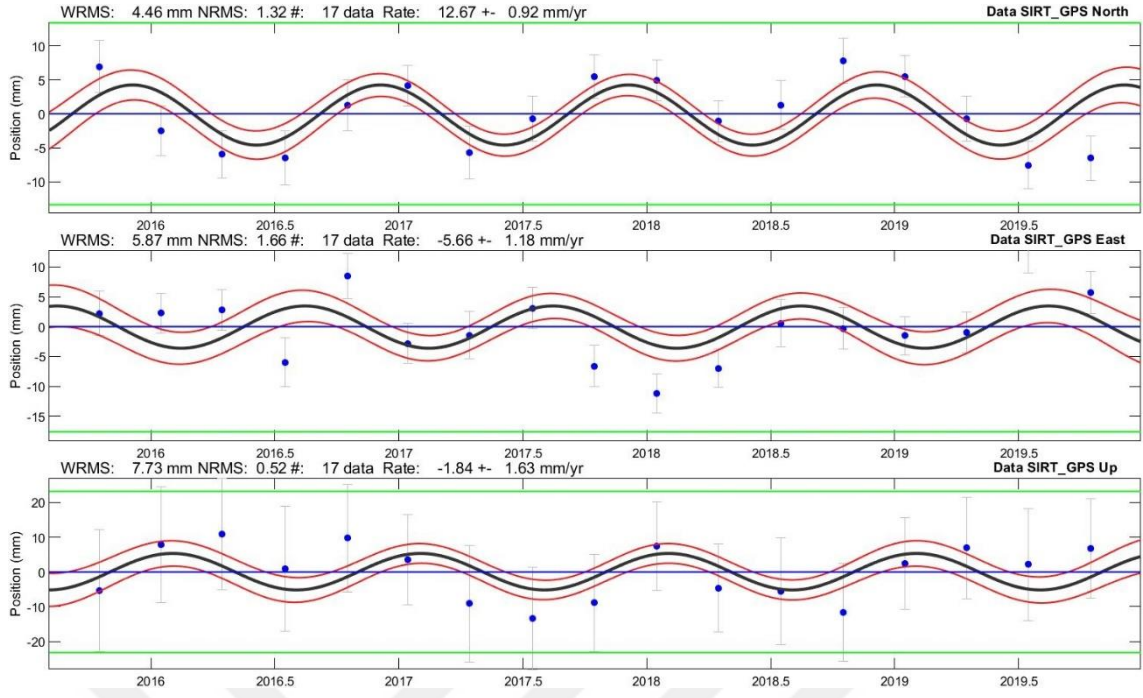
**Şekil C.16** MUUS istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



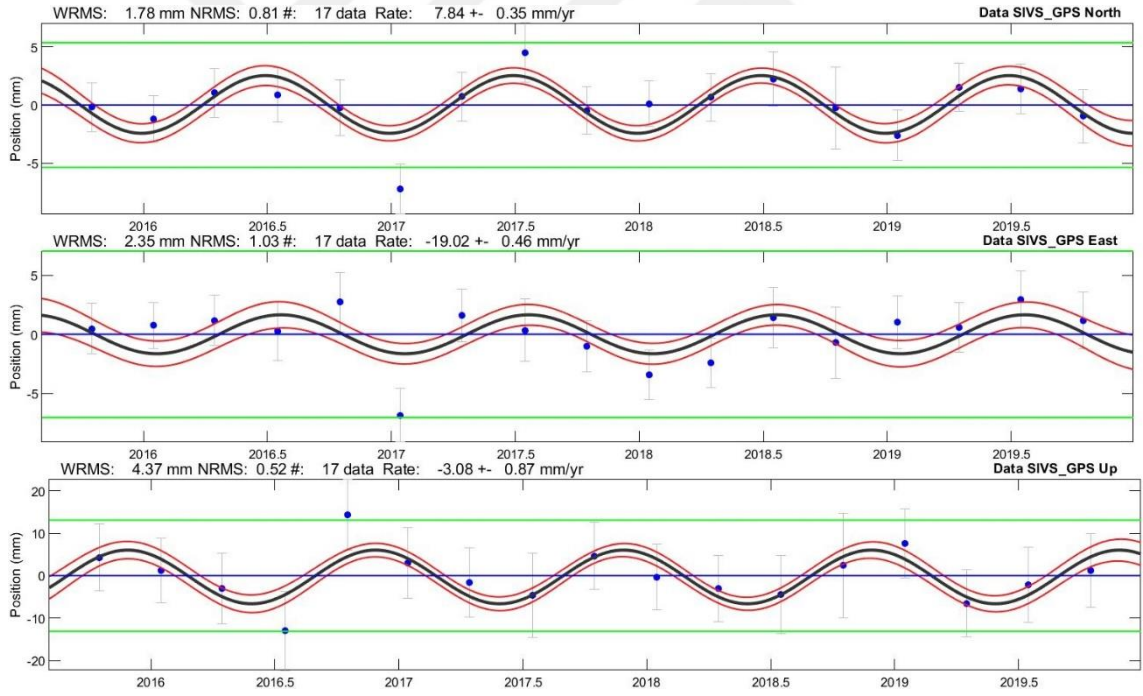
**Şekil C.17** RDIY istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



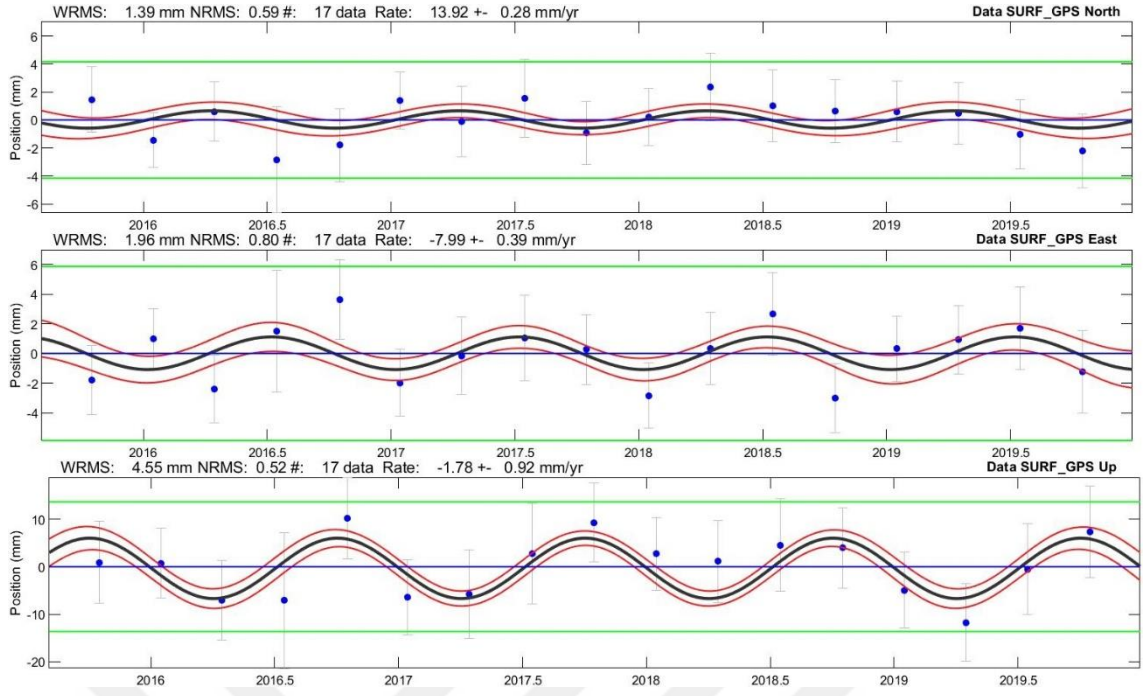
**Şekil C.18** RHIY istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



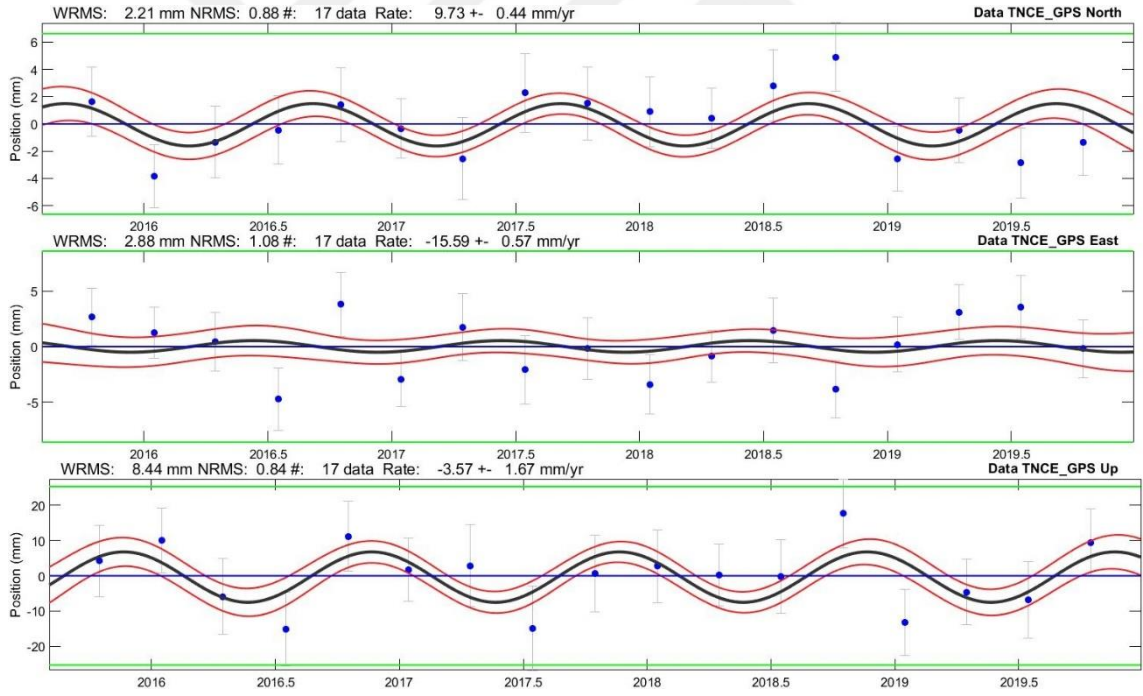
**Şekil C.19** SIRT istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



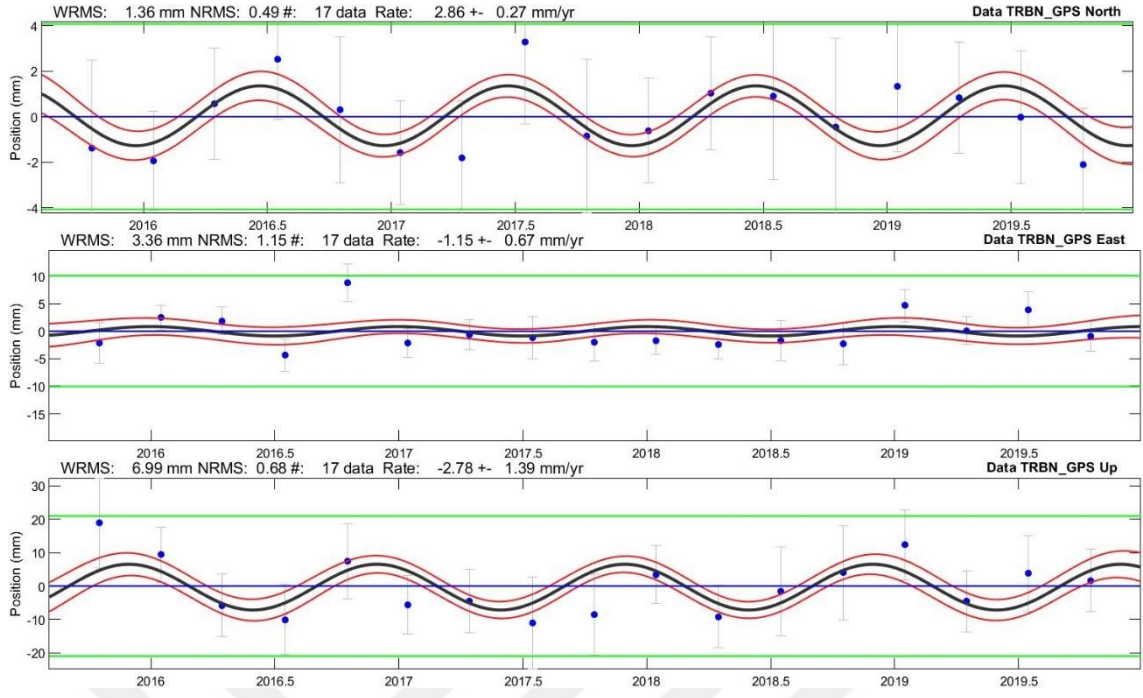
**Şekil C.20** SIVS istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



**Şekil C.21** SURF istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



**Şekil C.22** TNCE istasyonuna ait TSVIEW çizimleri



**Şekil C.23** TRBN istasyonuna ait TSVIEW çizimleri

### **Konferans Bildirileri**

1. R. T. İrgüren, A. Özdemir, E. T. Ayruk, ve U. Doğan, “Mevsimsel Değişimlerin GNSS Ölçüleriyle Belirlenen Deformasyon Parametreleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, ATAG-24 Çalıştayı, İstanbul, Türkiye, Kas. 2021.

