



**KUZEY ANADOLU FAYI BOLU-ÇORUM SEGMENTİ BOYUNCA YER  
KABUĞU HAREKETLERİNİN GNSS YÖNTEMİYLE İZLENMESİ**  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kayhan ALADOĞAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2017

Bu tez çalışması AKÜ BAP 15.FEN.BİL.16 ve HİTİT BAP MYO19001.14.001 numaralı projeleri ile desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KUZEY ANADOLU FAYI BOLU-ÇORUM SEGMENTİ BOYUNCA**  
**YER KABUĞU HAREKETLERİNİN GNSS YÖNTEMİYLE**  
**İZLENMESİ**

**Kayhan ALADOĞAN**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Ocak 2017**

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

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

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

**beyan ederim.**

**20/01/2017**

**Kayhan ALADOĞAN**

## TEZ ONAY SAYFASI

Kayhan ALADOĞAN tarafından hazırlanan “**KUZEY ANADOLU FAYI BOLU-ÇORUM SEGMENTİ BOYUNCA YER KABUĞU HAREKETLERİNİN GNSS YÖNTEMİYLE İZLENMESİ**” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 20/01/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

|               |                                                                                      |      |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Başkan</b> | : Prof. Dr. Reha Metin ALKAN<br>Hitit Üniversitesi, Rektörlük                        | İmza |
| <b>Üye</b>    | : Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU<br>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi | İmza |
| <b>Üye</b>    | : Doç. Dr. Mustafa YILMAZ<br>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi      | İmza |

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

.....  
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR  
Enstitü Müdürü

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

**KUZEY ANADOLU FAYI BOLU-ÇORUM SEGMENTİ BOYUNCA YER KABUĞU  
HAREKETLERİNİN GNSS YÖNTEMİYLE İZLENMESİ**

Kayhan ALADOĞAN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı  
**Danışman:** Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Kabuk deformasyonlarını belirleme çalışmaları geçmişten günümüze kadar farklı alanlarda çalışan bilim adamları tarafından yürütülmüştür. Meydana gelen kabuk deformasyonlarının ürettiği sonuçlardan biri de depremdir. Yer kabuğunun devamlı hareket eden levhalardan oluşması deprem çalışmalarına yeni bir boyut kazandırmıştır. Yeni bakış açılarının sağladığı yaklaşımlar sayesinde jeodezik ölçme tekniklerinin, 1900’lü yılların başlarından itibaren deprem çalışmalarına alt yapı sağlaması mümkün olmuştur. Deprem tahminine yönelik en önemli çalışmalardan birisi de fay hatları üzerine kurulan deformasyon ağlarının periyodik olarak izlenmesidir. Jeodezi biliminin kullandığı GNSS (Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri), bu çalışmalarda kullanılan önemli araçlardan biridir. Jeodezik çalışmalarda kullanılan GNSS, 1980’li yıllardan itibaren klasik ölçme tekniklerini geride bırakarak, geniş bir kullanım alanı bulmuştur. GNSS teknolojisinin kullanılmasıyla yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde; yüksek doğruluk, zamandan tasarruf sağlamasıyla beraber birçok diğer uygulamaya göre daha ucuz yapılmaktadır.

Dünyada deprem oluşturan birçok aktif fay zonları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlilerinden biri olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) bilim adamları için önemli bir inceleme alanıdır. 1999 yılında meydana gelen Gölcük ve Düzce depremlerinden sonra Marmara Denizinin altında olduğu düşünülen ve bu depremler ile kırılmayan fayın meydana getirebileceği depremin büyüklüğü, zamanı ve konumunu belirleyebilmek için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık uzunluğu 1100 km olan KAFZ’nin diğer

segmentleri de beklenen Marmara depremi hakkında bize bilgi verebilir. Bundan dolayı fayın diğer segmentleri de büyük önem kazanmaktadır.

Çalışma bölgesi olarak KAFZ'ın Bolu-Çorum arasında kalan kesiminde, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi amacıyla 2014 yılında 23 nokta olarak kurulan GNSS ağında 2014, 2015 ve 2016 yıllarında periyodik GNSS ölçü kampanyaları yapılmıştır. GNSS kampanya ölçülerinin analiz işlemleri yapılarak, bölgeye ait hız vektörleri oluşturulmuştur. GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi aşamasında GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. GAMIT/GLOBK yazılımı ile doğru sonuçlar elde edebilmek için yapılan çalışmaların bütün aşamaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. GAMIT/GLOBK yazılımı ile hesaplanan değerler incelendiğinde çalışma bölgesinde yer alan İsmetpaşa Segmentinde fay boyunca hızın (Doğu - Batı bileşeni) yaklaşık 14 mm, Destek Segmentinde ise fay boyunca hızın (Doğu - Batı bileşeni) yaklaşık 10 mm kadar batıya doğru hareket ettiği görülmektedir. Bu çalışmada GNSS ağını oluşturan noktaların hızları ve faya ilişkin hareket detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

**2017, xii + 80 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Krip, Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS), Kuzey Anadolu Fay Zonu, Kabuk Deformasyonu, GAMIT/GLOBK

**ABSTRACT**  
M.Sc. Thesis

**MONITORING OF CRUST MOVEMENTS ALONG THE NORTH ANATOLIAN  
FAULT BOLU – ÇORUM SEGMENT BY GNSS METHOD**

Kayhan ALADOĞAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Studies on determining crust deformation have been carried out by scientists working in different fields from the past to the present. One of the consequences of crustal deformations is the earthquake. The consisting of the earth's crust from continuous moving plates has given a new dimension to earthquake studies. Due to the approach provided by the new viewpoints, geodetic surveying techniques have been able to provide infrastructure for earthquake studies since the early 1900s. One of the most important studies for earthquake prediction is the periodic monitoring of deformation networks established on fault lines. GNSS (Global Satellite Navigation Systems) used by geodesy is one of the most important tools used in these studies. GNSS, used in geodetic studies, has found a wide range of applications since the 1980s, leaving behind classical measurement techniques. Determination of crustal movements using GNSS technology provides high accuracy, time savings and it is much cheaper than many other applications.

There are many active fault zones that cause earthquakes in the world. One of the most important of these is the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), an important area of study for scientists. After the earthquakes of Gölcük and Düzce that took place in 1999, many studies have been carried out to determine the size, time and location of the earthquake, which is believed to be under the Marmara Sea, and which can bring the fault that is not broken by these earthquakes. Other segments of KAFZ, which are approximately 1100 km long, can tell us about the expected Marmara earthquake. Therefore, other segments of the fault has also of great importance.

Periodical GNSS measurement campaigns were carried out in the years 2014, 2015 and 2016 in the GNSS network, which was established as 22 points in 2014 in order to determine the movements of the ground crust in the area between KAFZ and Bolu-Çorum. GNSS campaign measures were analyzed and velocity vectors of the region were created. GAMIT / GLOBK software was used for the evaluation of GNSS metrics. In order to get accurate results with GAMIT / GLOBK software, all stages of the studies are explained in details. When the values calculated by GAMIT / GLOBK software are examined, it is observed that the velocity (East-West component) along the fault is about 14 mm in the İsmetpaşa segment located in the study area and the velocity (East-West component) along the fault is about 10 mm in the Destek segment. In this study, the velocities of the points forming the GNSS network and the motion of the fault are explained in detail.

**2017, xii + 80 pages**

**Keywords :** Creep, Global Satellite Navigation System (GNSS), North Anatolian Fault Zone, Shell Deformation, GAMIT/GLOBK.

## TEŞEKKÜR

Haritacılık mesleği, özellikle arazi çalışmaları tek kişinin yapabileceği bir iş değildir. Bir ekip olması gerekmektedir ve bu eser güçlü bir ekibin özverili çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu ekipte yer alan Hitit Üniversitesinde görev yapan çok değerli hocalarıma, bu ekibe beni dahil eden, projenin fikir babası, ekibi yönlendiren veengin tecrübelerini bizlerle paylaşmaktan çekinmeyen, saygıdeğer Öğr. Gör. Dr. Hakan YAVAŞOĞLU'na, bizlere her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Hitit Üniversitesi Rektörü saygıdeğer Prof. Dr. Reha Metin ALKAN'a, teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca sağladıkları destekten dolayı Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP) Birimine (Proje No:MYO19001.14.001), Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP Birimine (Proje No: 15.FEN.BİL.16) ve İstanbul Teknik Üniversitesi BAP Birimine (Proje No: 38146) teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince her türlü desteğini esirgemeyen, hocadan ziyade bir arkadaş gibi davranan, o kadar yoğunluğunun arasında değerli zamanını ayıran, öğrencilere yaklaşımıyla, anlatımıyla ve en önemlisi kişiliğiyle kendime örnek aldığım tez danışmanım saygıdeğer Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU hocama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde bana inanan ve desteklerini esirgemeyen saygıdeğer aile büyüklerime teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Son olarak beni akademisyenliğe iten, bu süreçte büyük bir sabır ve hoşgörüyle sürekli destek olan sevgili eşim Betül'e ve ilham kaynağım olan kızım Elif Zümra'ya minnettarım ve bu tezi onlara ithaf ediyorum.

Kayhan ALADOĞAN  
AFYONKARAHİSAR, 2017

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

|                                                               | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                                    | i     |
| ABSTRACT .....                                                | iii   |
| TEŞEKKÜR .....                                                | v     |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....                                       | vi    |
| KISALTMALAR DİZİNİ .....                                      | viii  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                         | ix    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                        | xi    |
| RESİMLER DİZİNİ .....                                         | xii   |
| 1. GİRİŞ.....                                                 | 1     |
| 2. YER KABUĞU HAREKETLERİ VE KUZEY ANADOLU FAY ZONU.....      | 3     |
| 2.1 Levha Tektoniği.....                                      | 3     |
| 2.2 Depremler ve Faylanma.....                                | 5     |
| 2.2.1 Depremlerin Oluşumu .....                               | 5     |
| 2.2.2 Fay Çeşitleri.....                                      | 6     |
| 2.2.2.1 Eğim Atımlı Faylar .....                              | 8     |
| 2.2.2.2 Doğrultu Atımlı Faylar .....                          | 10    |
| 2.2.2.3 Yanal Atımlı Faylar .....                             | 10    |
| 2.2.3 Krip Hareketi .....                                     | 11    |
| 2.3 Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ).....                        | 13    |
| 2.3.1 KAFZ'ın Güzergâhı.....                                  | 15    |
| 2.3.2 KAFZ'ın Yapısı .....                                    | 16    |
| 2.3.3 KAFZ'ın Segmentleri .....                               | 17    |
| 2.3.4 İsmetpaşa Segmenti .....                                | 18    |
| 3. GNSS YÖNTEMİ İLE YER KABUĞU HAREKETLERİNİN İZLENMESİ ..... | 21    |
| 3.1 GNSS Teknolojisi .....                                    | 22    |
| 3.1.1 GPS Uydu Sistemi .....                                  | 23    |
| 3.1.2 GLONASS Uydu Sistemi .....                              | 25    |
| 3.1.3 Galileo Uydu Sistemi.....                               | 26    |
| 3.1.4 Diğer Konumlama Sistemleri .....                        | 27    |
| 3.2 GNSS ile Gözlenen Büyüklükler .....                       | 27    |

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1 Kod Pseudorange Gözlemi .....                                           | 28 |
| 3.2.2 Taşıyıcı Dalga Fazı (Carrier Beat Phase) .....                          | 29 |
| 3.2.3 GNSS Gözlemlerine Bağlı Olarak Bulunan Fark Gözlemleri .....            | 29 |
| 3.3 GNSS Gözlem Süreleri .....                                                | 32 |
| 3.4 GNSS’de Kullanılan Veri Formatları .....                                  | 33 |
| 3.5 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi .....                                  | 34 |
| 3.5.1 GAMIT Yazılım Modülü .....                                              | 35 |
| 3.5.2 GLOBK Yazılım Modülü .....                                              | 38 |
| 4. UYGULAMA ALANI KAFZ’IN BOLU-ÇORUM SEGMENTİNDE HIZ ALANI<br>BELİRLEME ..... | 39 |
| 4.1 Uygulama Alanının Tanıtılması .....                                       | 39 |
| 4.2 İstikşaf ve GNSS Verilerinin Elde Edilmesi .....                          | 41 |
| 4.2.1 İstikşaf ve GNSS Ağı .....                                              | 41 |
| 4.2.2 GNSS Verilerinin Elde Edilmesi .....                                    | 46 |
| 4.2.2.1 Birinci Kampanya GNSS Ölçümleri .....                                 | 46 |
| 4.2.2.2 İkinci Kampanya GNSS Ölçümleri .....                                  | 48 |
| 4.2.2.3 Üçüncü Kampanya GNSS Ölçümleri .....                                  | 49 |
| 4.3 Elde Edilen GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi .....                      | 50 |
| 4.3.1 GAMIT Değerlendirmeleri .....                                           | 51 |
| 4.3.2 GLOBK Değerlendirmeleri .....                                           | 59 |
| 4.3.3 GNSS Hızlarının Hesaplanması .....                                      | 60 |
| 5. SONUÇLAR .....                                                             | 68 |
| 6. KAYNAKLAR .....                                                            | 71 |
| 6.1 İnternet Kaynakları .....                                                 | 78 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                | 79 |

## KISALTMALAR DİZİNİ

### Kısaltmalar

---

|        |                                           |
|--------|-------------------------------------------|
| AKÜ    | Afyon Kocatepe Üniversitesi               |
| ABD    | Amerika Birleşik Devletleri               |
| CAST   | China Academy of Space Technology         |
| CORS   | Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonu   |
| DAF    | Doğu Anadolu Fayı                         |
| DAFZ   | Doğu Anadolu Fay Zonu                     |
| ESA    | European Space Agency                     |
| GAMIT  | GPS Analysis at MIT                       |
| GLOBK  | Global Kalman Filter                      |
| GNSS   | Global Navigation Satellite Systems       |
| GPS    | Global Positioning Systems                |
| GST    | Galileo System Time                       |
| GTRF   | Galileo Terrestrial Reference Frame       |
| İTÜ    | İstanbul Teknik Üniversitesi              |
| IGS    | International GNSS Service                |
| ITRF   | International Terrestrial Reference Frame |
| KAF    | Kuzey Anadolu Fayı                        |
| KAFZ   | Kuzey Anadolu Fay Zonu                    |
| MIT    | Massachusetts Institute of Technology     |
| NRMS   | Normalized Root Mean Square               |
| PRN    | Pseudo Random Numbers                     |
| RINEX  | Receiver Independent Exchange             |
| QZSS   | Quasi-Zenith Satellite System             |
| SLR    | Satellite Long Range                      |
| TUSAGA | Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı              |
| UTC    | Universal Time Coordinated                |
| VLBI   | Very Long Baseline Interferometry         |
| WGS    | World Geodetic System                     |
| WRMS   | Weighted Root Mean Square                 |
| YTÜ    | Yıldız Teknik Üniversitesi                |
| ZKÜ    | Zonguldak Karaelmas Üniversitesi          |

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                         | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1 Yerkürenin yapısal katmanları .....                                                           | 4     |
| Şekil 2.2 Dünyanın tektonik levha yapısı.....                                                           | 5     |
| Şekil 2.3 Levha sınır tipleri .....                                                                     | 6     |
| Şekil 2.4 Farklı tektonik olaylar sonucu oluşan yapılar .....                                           | 7     |
| Şekil 2.5 Fay bileşenleri. ....                                                                         | 8     |
| Şekil 2.6 Eğim atımlı normal fay .....                                                                  | 8     |
| Şekil 2.7 Horst ve Graben oluşumu. ....                                                                 | 9     |
| Şekil 2.8 Eğim atımlı ters fay (A) ve Bindirme fayların (B) gösterimi.....                              | 9     |
| Şekil 2.9 Doğrultu atımlı fay gösterimi.....                                                            | 10    |
| Şekil 2.10 Yanal atımlı fay gösterimi.....                                                              | 11    |
| Şekil 2.11 Tektonik krip tipleri .....                                                                  | 12    |
| Şekil 2.12 Faylardaki Asismik Krip .....                                                                | 12    |
| Şekil 2.13 KAFZ'ın oluşumu .....                                                                        | 14    |
| Şekil 2.14 MTA Diri Fay Haritası.....                                                                   | 16    |
| Şekil 2.15 KAFZ'ın ana segmentleri.....                                                                 | 18    |
| Şekil 2.16 İsmetpaşa Segmenti.....                                                                      | 19    |
| Şekil 3.1 GPS Uyduları. ....                                                                            | 24    |
| Şekil 3.2 Alıcılar arasındaki tekli fark gözlemleri. ....                                               | 30    |
| Şekil 3.3 Alıcılar arasındaki ikili fark gözlemi. ....                                                  | 31    |
| Şekil 4.1 Uygulama alanı. ....                                                                          | 39    |
| Şekil 4.2 Uygulama alanının batı tarafında kurulan jeodezik ağ profil yapısı (İsmetpaşa Segmenti). .... | 40    |
| Şekil 4.3 Uygulama alanının doğu tarafında kurulan jeodezik ağ profil yapısı (Destek Segmenti). ....    | 40    |
| Şekil 4.4 Uygulamada kullanılan GNSS ekipmanları. ....                                                  | 47    |
| Şekil 4.5 Uygulamada kullanılan GNSS ekipmanı .....                                                     | 50    |
| Şekil 4.6 GAMIT klasör yapısı. ....                                                                     | 51    |
| Şekil 4.7 Değerlendirme aşamasında oluşturulan istasyon bilgi dosyası (station.info). ....              | 52    |
| Şekil 4.8 Değerlendirme sonrası GAMIT klasör yapısı. ....                                               | 55    |
| Şekil 4.9 GAMIT değerlendirme sonrası çıktı dosyası (autcln.post.sum dosyası). ....                     | 56    |

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.10</b> GAMIT değerlendirme sonrası çıktı dosyası (q-dosyası ve nrms sonuç örneği).                                          | 56 |
| <b>Şekil 4.11</b> HCGR ve BRBY noktaları 2016 yılı ölçmeleri günlük tekrarlılıkları.                                                   | 58 |
| <b>Şekil 4.12</b> BRBY ve CGCS noktaları yıllık tekrarlılık grafikleri.                                                                | 60 |
| <b>Şekil 4.13</b> Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen hızlar. A) İsmetpaşa segmentini, B) Destek segmenti göstermektedir. | 61 |
| <b>Şekil 4.14</b> Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen İsmetpaşa segmentinin hızları (P1-P4 profilleri).                   | 62 |
| <b>Şekil 4.15</b> Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen İsmetpaşa segmentinin P1-P2 profil hızları.                         | 62 |
| <b>Şekil 4.16</b> Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen İsmetpaşa segmentinin P3-P4 profil hızları.                         | 63 |
| <b>Şekil 4.17</b> Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen Destek segmentinin P5 profil hızları.                               | 63 |
| <b>Şekil 4.18</b> BYKY noktası tekrarlılık grafikleri.                                                                                 | 65 |
| <b>Şekil 4.19</b> ORMN ve KDZU noktası tekrarlılık grafikleri.                                                                         | 66 |
| <b>Şekil 4.20</b> CYLC noktası tekrarlılık grafikleri.                                                                                 | 67 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                               | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1 Kuzey Anadolu Fayında meydana gelen yıkıcı depremler.....                                                                                         | 15    |
| Çizelge 2.2 İsmetpaşa segmentinde çeşitli yöntemler ile yapılan çalışmalar, elde edilen sonuçlar ve duyarlılıkları (Kutoğlu vd. 2009'dan değiştirilerek)..... | 20    |
| Çizelge 4.1 KAFZ Bolu-Çorum arasında kurulan GNSS ağı noktaları.....                                                                                          | 44    |
| Çizelge 4.2 Kurulan GNSS ağındaki CORS-TR noktaları.....                                                                                                      | 45    |
| Çizelge 4.3 Birinci kampanya GNSS ölçü günleri.....                                                                                                           | 48    |
| Çizelge 4.4 İkinci kampanya GNSS ölçü günleri.....                                                                                                            | 49    |
| Çizelge 4.5 Üçüncü kampanya GNSS ölçü günleri.....                                                                                                            | 50    |
| Çizelge 4.6 Tables klasöründe bulunan girdi dosyaları.....                                                                                                    | 52    |
| Çizelge 4.7 Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları.....                                                                                                  | 53    |
| Çizelge 4.8 GAMIT gün çözümleri nrms değerleri.....                                                                                                           | 57    |
| Çizelge 4.9 Stabilizasyonda kullanılan IGS istasyonları.....                                                                                                  | 61    |
| Çizelge 4.10 Avrasya plakası sabit alınarak hesaplanan hız değerleri.....                                                                                     | 64    |

## RESİMLER DİZİNİ

|                                                                                                             | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Resim 2.1</b> Krip hareketinin gözlemlendiği İsmetpaşa tren istasyonunda bulunan duvara ait görüntü..... | 19    |
| <b>Resim 4.1</b> Tesis edilen yer noktasının 19.08.2014 tarihli görüntüsü.....                              | 42    |
| <b>Resim 4.2</b> GNSS ağına ait pilyenin 28.07.2016 tarihli görüntüsü.....                                  | 43    |
| <b>Resim 4.3</b> 23.08.2014 tarihli yer noktası üzerinde zincirli tripod ile GNSS ölçmesi.....              | 46    |
| <b>Resim 4.4</b> KZDY Pilyesinin 01.08.2015 tarihli görüntüsü.....                                          | 49    |



## 1. GİRİŞ

Üzerinde yaşadığımız yerküre biçimi ve yapısı bakımından sürekli olarak değişen canlı bir varlığa benzer. Sürekli olarak meydana gelen bu değişiklikleri içinde besler. İnsanoğlu, günlük yaşantısında bu değişikliğin büyük bir bölümünden haberdar olamaz. İnsanlar tarafından, kıtaları oluşturan bu hareketler olarak tanımlanan sürekli ve yavaş hareketlerin hissedilebilmesi mümkün değildir. Saniyelerle ölçülecek süreler içinde meydana gelen, yeryüzündeki canlılara büyük ölçüde zarar verebilecek şiddetli yer kabuğu hareketleri meydana gelebilmekte ve bu hareketler deprem olarak adlandırılmaktadır. İnsanlara birçok can ve mal kaybı yaşatan deprem, yerbilimleri ile ilgili araştırmaların başında gelmektedir.

Bilindiği gibi ülkemizde de büyük depremler meydana getirecek, önemli aktif fay zonları bulunmaktadır. Bu aktif fay zonları üzerinde geçmişte birçok yıkıcı depremler meydana geldiği gibi, gelecek yıllarda da oluşabilecek depremlerle büyük can ve mal kayıpları meydana gelmesi kaçınılmazdır.

Bilimsel ilerlemeler sayesinde ulaşılan litosfer tabakasının birçok plakadan oluşması gerçeğinin sonucu olarak, yer kabuğu hareketleri incelenmesi deprem çalışmalarındaki en son bulgulardandır (Oral 1994, McClusky *et al.* 2000). Bu bulguya göre litosfer, birden fazla parçadan ve daima hareket eden levhalardan oluşmaktadır. Bu hareketler, levha sınırları olan faylar üzerinde depreme neden olmaktadır. Levha hareketlerinin belirlenebilmesi için birçok farklı alanda, birçok çalışmalar yapılmaktadır. Jeodezik çalışmalar da bu alanlardan bir tanesidir. Jeodezik çalışmalar, 1980’li yıllara kadar klasik ölçme teknikleri kullanılarak yapılmış olup, 1980’li yıllardan sonra teknolojinin gelişmesiyle birlikte yıllık milimetrik düzeyde hassas ölçüm yapabilir seviyeye ulaşan GNSS tekniği kullanılmaya başlanmıştır. GNSS tekniğinin kullanılmaya başlanmasından sonra özellikle yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde, yüksek hassasiyet, zamandan tasarruf ve birçok uygulamaya göre daha az maliyetli olarak yapılmaktadır.

Dünyanın en aktif fay kuşaklarından biri olan KAFZ birçok farklı alanda çalışan bilim adamları için eşsiz bir çalışma alanıdır. KAFZ Avrasya levhası ile Anadolu levhasını

birbirinden ayıran, doğuda Karlıova'dan batıda Saros Körfezi'ne uzanan dünyanın en önemli yanal atımlı faylarından birisidir (Ketin 1948, Şengör *et al.* 2004).

KAFZ'ın orta kesimi bu yüksek lisans tezi kapsamında çalışma alanı olarak seçilmiştir. Daha önceden yapılan çalışmalar sonucunda fayın Vezirköprü ile Bolu arasında kalan kesiminin, faya paralel hızının miktarı bölgede çok az sayıdaki GNSS noktalarından tespit edilebilirken faya dik yönde sıkışma bileşeninin miktarı ve batıya olan değişimi konusunda günümüze kadar detaylı bir bilgi mevcut değildir (Yavaşoğlu *et al.* 2015).

Bu çalışmada KAFZ'ın Bolu-Çorum arasında kalan alanı üzerinde meydana gelen yer kabuğu hareketleri, 22 nokta içeren bir GNSS ağı yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır. GNSS verilerine göre, bu proje sonucunda KAFZ'ın Bolu-Çorum arasında kalan kesimi üzerinde;

Güncel hız alanı ne kadardır?

Herhangi bir kırılma hareketi var mıdır?

sorularına cevap aranmıştır. Bu amaçla GNSS tekniği ile elde edilen sonuçlar KAFZ için birlikte değerlendirilmiş ve ortaya çıkan bulgular sunulmuştur.

## **2. YER KABUĞU HAREKETLERİ VE KUZEY ANADOLU FAY ZONU**

Magma üzerinde yer alan yer kabuğu, daima hareket halindedir. Bu hareketlerin bazıları hızlı ve kısa sürede meydana gelir, bazıları ise yavaş ve sürekli hareket halindedir. Hızlı ve kısa sürede meydana gelen hareketlere deprem adı verilir. Meydana gelen ani hareketler genelde şiddetli oldukları için can ve mal kaybına neden olmaktadır. Kıtaların yer değiştirmesi, kıvrılma ve kırılmalar, deniz ve dağların oluşumu yavaş ve sürekli hareketler sonucu oluşmaktadır. Depremlerin oluşumlarından bahsedebilmek için öncelikle levha tektoniği hakkında bilgiler verilecektir.

### **2.1 Levha Tektoniği**

Başlangıçta bütün kıtaların Pangea adı altında tek bir kıta olduğu, sonradan parçalanarak zamanla günümüzdeki yerlerine ulaştığı görünüşüne dayanan kıtaların kayması kuramını 1912’de Alman bilim adamı Alfred Wegener ortaya atmıştır (İnt. Kyn. 2).

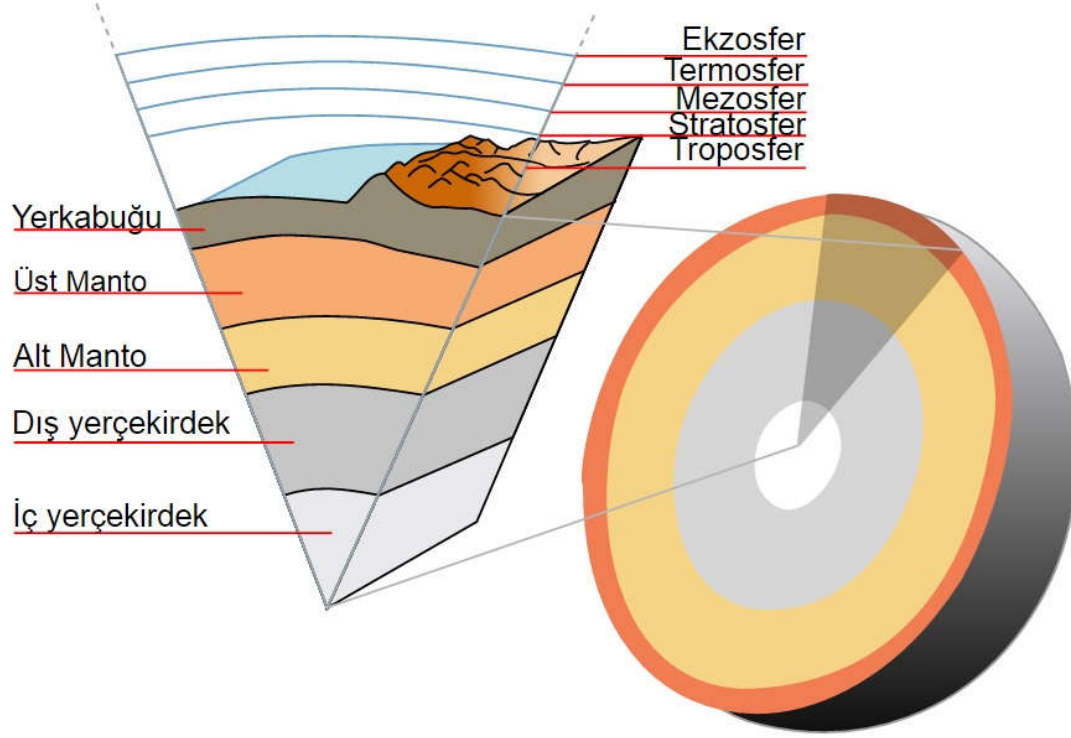
Dünyanın yüzeyi kesintisiz gibi görünse de, gerçekte birbirine geçen parçalardan oluşmaktadır. Bu parçalara levha adı verilir ve bu levhalar birbirlerine göre çok yavaş olarak sürekli biçimde hareket ederler. Levhalar, levha sınırı veya levha kenarı ile son bulur. Dünyada olan depremlerin büyük bir çoğunluğu levhaların birbirlerini zorladıkları levha kenarlarında oluşmaktadır.

Levha tektoniği, okyanuslardan elde edilen bilgiler üzerine kurulmuş bir kuramdır. Bu özelliği ile kendinden önceki kuramlardan ayrılmakta ve günümüzde neredeyse bütün yerbilimciler tarafından benimsenmiştir. Levha tektoniğini daha iyi algılayabilmek için yerkürenin içyapısının bilinmesi önemlidir.

Yerküre, en iç tarafından dış yüzeyine doğru farklı yapı ve özellik gösteren bölümlerden oluşmaktadır. Bu bölümler, içten dışa doğru Çekirdek, Manto ve Litosfer (Taşküre) olarak isimlendirilen katmanlardan oluşmaktadır. Çekirdek, iç ve dış çekirdek olarak iki katmana ayrılırken Manto ise alt ve üst Manto olarak iki kısma ayrılmaktadır (Şekil 2.1).

Yerkürenin merkezinde katı halde bulunan nikel ve demirden meydana gelen iç çekirdek bulunuyor. İç çekirdeğin çevresinde yer alan dış çekirdek ise, içinde bulunan kükürt ve

oksijen sebebiyle ergime noktası düştüğü için sıvı hale dönüşen nikel ve demirden oluşmaktadır. (İnt.Kyn.1)



**Şekil 2.1** Yerkürenin yapısal katmanları (İnt.Kyn.6'dan değiştirilerek).

Manto, litosfer ile çekirdek arasında kalan kısımdır. Yer hacminin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Mantonun yapısında demir, magnezyum, silisyum ve nikel bulunmaktadır. Mantonun üst kısımları yüksek basınç ve yüksek sıcaklıktan dolayı plastiki özellik gösterir. Alt tarafları ise sıvı halde bulunmaktadır. Bu nedenle mantoda sürekli olarak bir alçalma veya yükselme gibi hareketler görülür (Karaman 2006).

Demir, Magnezyum gibi zengin mineralleri içeren mantodan sonra, bu katmanların arasında en ince olan, okyanus ve kıtaları üzerinde barındıran yer kabuğu (Litosfer) bulunmaktadır. Litosferin kalınlığı yaklaşık 100 km civarındadır. Litosferde, kıtaların tabanı alüminyum oksit ve silisyum oksitçe zengin ve az yoğun kayalardan, okyanus tabanları ise demir ve magnezyum oksitçe zengin daha yoğun kayalardan oluşur (Köksal 2011). Bu güne kadar dünyada tespit edilen dokuz adet büyük olmak üzere, birçok sayıda da küçük levha bulunmaktadır (Şekil 2.2). Bu dokuz levhanın altı tanesi kıta adıyla söylenmektedirler. Bunlar Antartika, Avusturalya, Avrasya, Afrika, Kuzey Amerika,

Güney Amerika levhalarıdır. Kalan üç levha ise okyanus levhaları olmakla birlikte Pasifik, Kokos ve Nazka levhalarıdır (Tiryakioğlu 2012).



Şekil 2.2 Dünyanın tektonik levha yapısı (İnt. Kyn.7).

## 2.2 Depremler ve Faylanma

### 2.2.1 Depremlerin Oluşumu

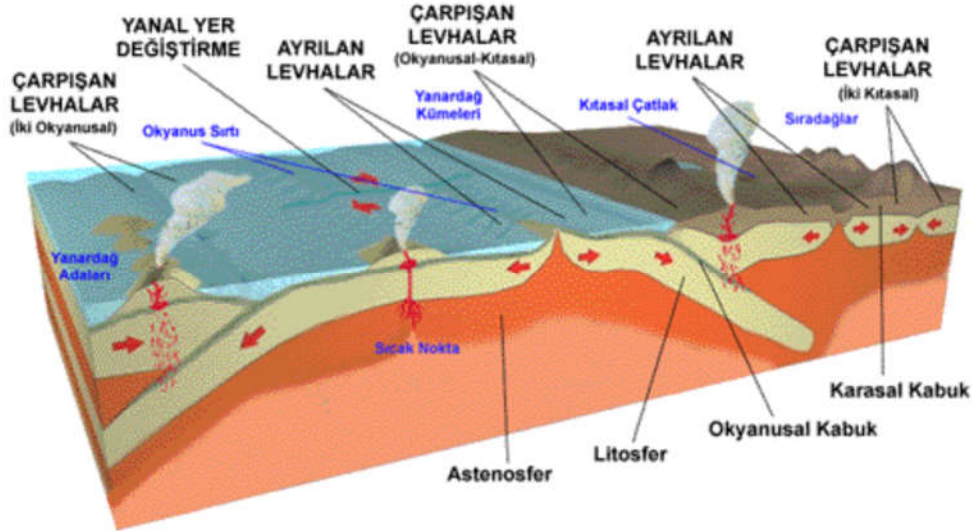
Yer kabuğu içinde meydana gelen kırılmalar ani olarak oluşan titreşimlerin dalgalar halinde dağılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyinde sarsıntı oluşturmaya olayına deprem adı verilir. Depremler farklı nedenlerden dolayı meydana gelir. Bunlardan başlıca olanları;

- Yer kabuğundaki boşlukların çökmesi sonucu oluşan depremler,
- Tektonik hareketler sonucu oluşan depremler, olarak sayılabilir.

Depremler ile ilgili yapılan araştırmalar sonucu, dünya üzerinde meydana gelen depremlerin büyük bir kısmının tektonik hareketlerden kaynaklandığını göstermektedir. Levha ve kıta hareketleri ile fay oluşmasının sebebi de tektoniktir. Bunun sonucu olarak deprem olaylarının meydana gelmesinde diri fay hareketlerinin etkisi büyüktür.

Levhalar ya sınırları boyunca birbirleri ile çarpışırlar, biri diğerinin üzerine bindirir veya altına dalar (konverjan levha sınırları); ya sınırları boyunca birbirlerinden uzaklaşırlar,

aralarında bir açıklık bırakırlar (diverjant levha sınırları); ya da birbirine doğru kayarlar (trans form faylı sınırlar). Bu üç hareketin her birinin meydana getirdiği sonuçlar farklıdır (Tüysüz 1999, Tiryakioğlu 2012) (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Levha sınır tipleri (Ten Veen 2009, Tiryakioğlu 2012).

Bu hareketler sonucu, bazen yeryüzünde gözlemlenebilen, kilometrelerce uzanabilen ve fay adı verilen, arazi üzerinde kırıklar meydana gelebilir. Bu kırıklar bazen de yeryüzünde görülmeyebilir, yüzey tabakaları altında gizlenmiş olabilir. Ayrıca bölgede görülen tektonik özellikler depremin oluşumunda önemli bir etkindir.

Depremin gerçekleşmesinde 4 farklı aşama bulunmaktadır.

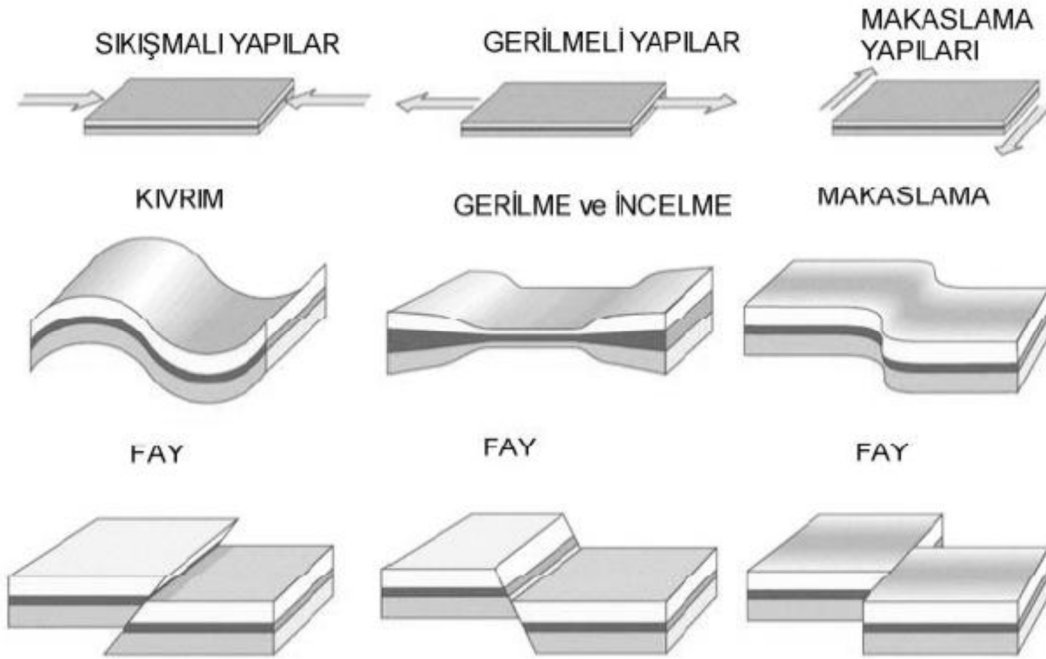
- İnter-Sismik Dönem: Fay üzerinde hareketin olmadığı, fakat bölgedeki gerilimin arttığı, buna bağlı olarak da potansiyel enerjinin biriktiği dönemdir.
- Ko-Sismik Dönem: Potansiyel enerjinin hızla kinetik enerjiye dönüştüğü hızlı bir dönemdir. Depremin oluşum anı bu dönemde meydana gelir.
- Post-Sismik Dönem: Deprem sonrası artçı sarsıntıların olduğu dönemdir. Fay bu dönemde yeni bir denge durumuna gelmektedir (Poyraz 2009, Yavaşoğlu *et al.* 2015).

## 2.2.2 Fay Çeşitleri

Tektonik plakaların birbirlerine göre yer kabuğunda gözle görülebilecek şekilde bir düzlem boyunca kayma hareketi göstermesi olayına faylanma adı verilir. Faylanma

sonucu oluşan kırıklara ise fay adı verilmektedir. Yer kabuğu üzerinde oluşan yıkıcı depremlerin büyük bir kısmı faylarla alakalıdır. Depremlerin daha kolay anlaşılabilmesi açısından fayların önemi büyüktür.

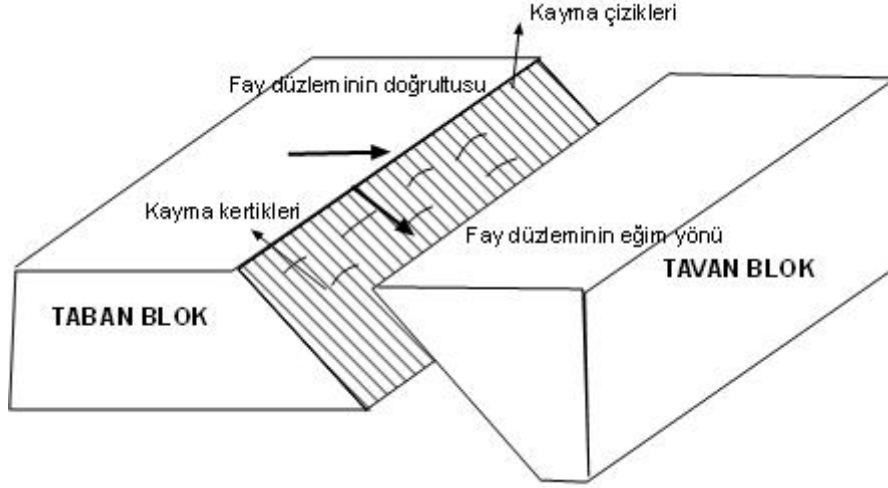
Faylanma sırasında, kaymanın meydana geldiği süreksizlik yüzeyine fay düzlemi denilmektedir. Bu düzlem farklı şekillerde deformasyona uğramış ve ezik parçalardan oluştuğundan dolayı fay zonu adını alır. Fay hattı boyunca plakaların birbirinden uzaklaşma miktarına atım denir. Faylar, tektonik plakalar makaslama, sıkıştırma ve çekme hareketlerinin etkisi sonucu oluşmaktadırlar (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4** Farklı tektonik olaylar sonucu oluşan yapılar (Dirik 2006).

Fayların boyutları birkaç cm'den bin km'ye kadar değişkenlik gösterebilir. Atım miktarları ise birkaç cm'den yüzlerce km'ye kadar değişmektedir. Depremlerin büyüklüğü fayın boyu ile logaritmik olarak orantılıdır. Örnek olarak 1939 Erzincan Depreminde oluşan fayın boyu 360 km ve atım miktarı 7.5 metredir (Köksal 2011).

Faylar atım yönlerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Fay düzleminin alt kısmında kalan blok taban bloğu, fay düzleminin üst kısmında kalan blok ise tavan blok olarak isimlendirilmektedir (Şekil 2.5). Fayın atım yönü taban ve tavan blokların birbirine göre hareketi sonucu tespit edilmektedir.

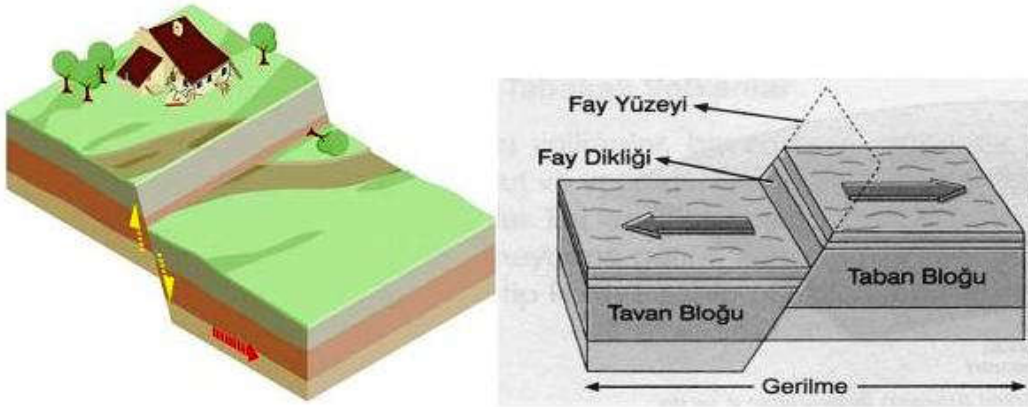


**Şekil 2.5** Fay bileşenleri.

Faylar, fay düzlemi ile blokların hareket yönü arasındaki geometrik bağlantıya göre eğim, doğrultu ve yanal atımlı faylar olarak sınıflandırılırlar.

### 2.2.2.1 Eğim Atımlı Faylar

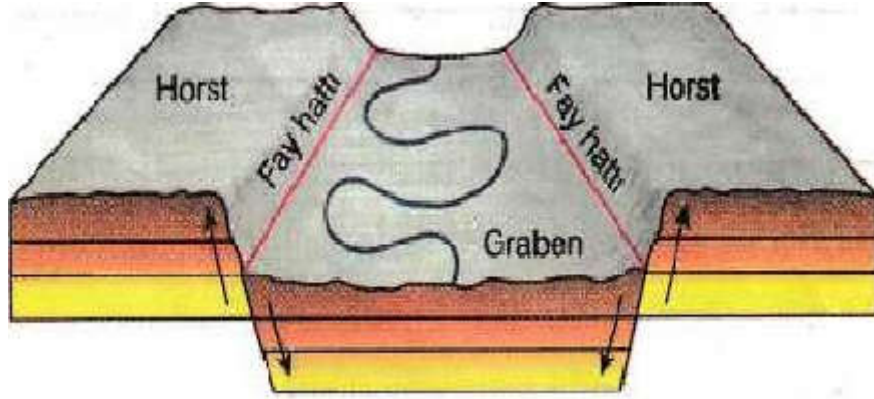
Eğik bir fay düzlemi üzerinde kalan blok, düzlemin altında kalan bloğa göre aşağı doğru kayması sonucunda oluşan faylara eğim atımlı normal fay adı verilir. Bu faylar gerilmeli tektonik rejim altında gelişir ve bölgede bir genişlemeye neden olurlar (Şekil 2.6).



**Şekil 2.6** Eğim atımlı normal fay (İnt. Kyn. 10).

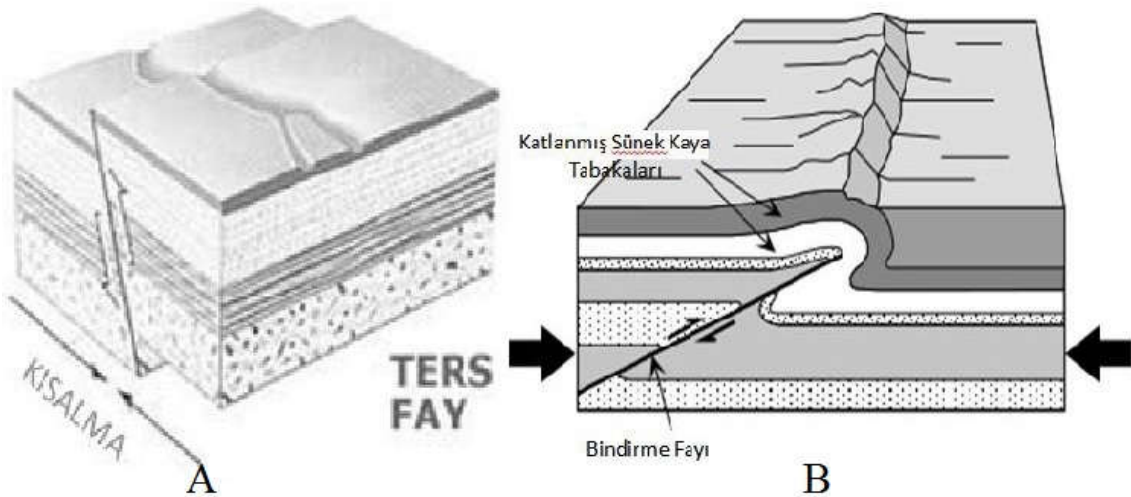
Bazen iki tarafı da normal faylar tarafında düşürülmüş olan tavan blokları, çevresinde bulunan taban bloklarına göre derin vadiler oluşturabilirler. Bu tür çöküntü alanlarına Graben adı verilir. Bunun tam tersi şeklinde oluşan yükselti alanlarına ise Horst adı

verilmektedir (Şekil 2.7). Ülkemizde Ege Graben Sistemleri bu gruba verilebilecek en büyük örneklerden biridir.



Şekil 2.7 Horst ve Graben oluşumu.

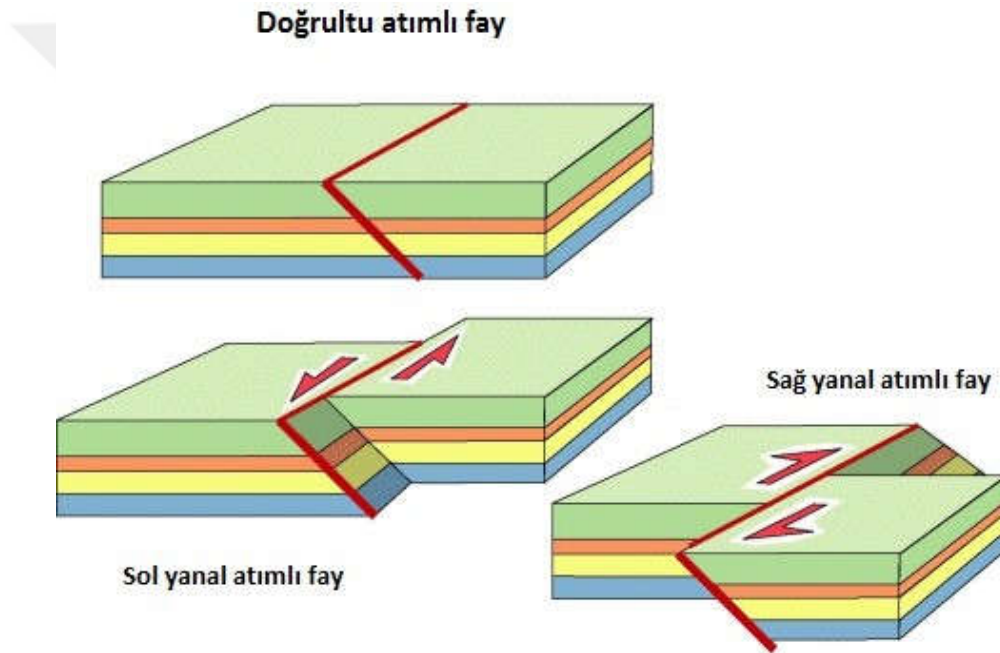
Sıkışmalı bölgelerde oluşan ters faylar, eğik bir fay düzlemi üzerinde kalan blok, düzlemin altında kalan bloğa göre yükselmesi sonucunda oluşurlar (Şekil 2.8 A). Bu ters fayın eğim açısı çok küçük ise ( $0^\circ$  ile  $10^\circ$ ), bu fay yapısına bindirme fayı denir. Bu tür fay oluşumları sıkışmalı bölgelerde meydana geldiğinden, fayın her iki bloğundaki tabakaların da, orijinal şekillenmeleri kıvrılarak bozulmaktadır (Şekil 2.8 B). Anadolu'da bulunan Karadeniz ve Toros dağları ile Doğu Anadolu'daki yüksek dağlar ve Alp Dağları ters fay ve bindirmeler sonucu meydana gelen yapılardır (Dirik 2006, Eray 2011).



Şekil 2.8 Eğim atımlı ters fay (A) ve Bindirme fayların (B) gösterimi.

### 2.2.2.2 Doğrultu Atımlı Faylar

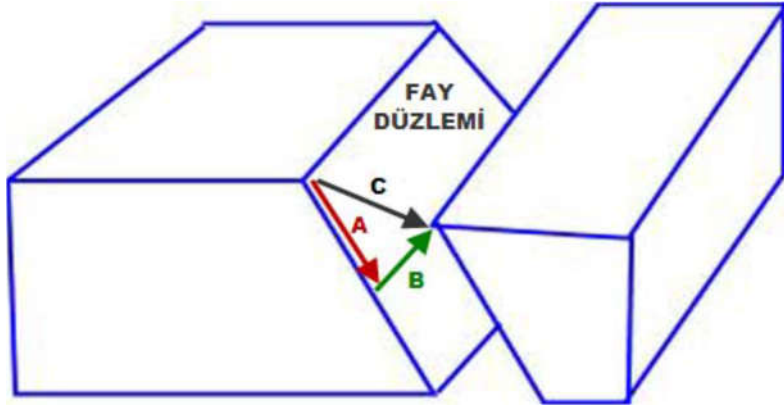
Bu tip faylar yeryüzünde yaklaşık 90 derece olacak şekilde, dik bir konumda olan ve yerin altına doğru hafifçe eğim kazanan, yalnızca yatay atımın olduğu yanıl atımlı faylardır. Bu tür faylar atım yönüne göre sağ yanıl ya da sol yanıl olabilir. Sağ yanıl doğrultu atımlı faylarda, üzerinde durulan bloğun karşısındaki blok sağa doğru hareket etmektedir. Sol yanıl doğrultu atımlı faylarda ise, karşındaki blok sola doğru hareketi söz konusudur. Ülkemizde bulunan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) bu faylara örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 2.9 Doğrultu atımlı fay gösterimi.

### 2.2.2.3 Yanıl Atımlı Faylar

Fay düzlemi boyunca meydana gelen hareketin hem düşey hem de yatay yönde olduğu faylardır. Bu tür faylar yanıl, oblik veya verrev atımlı faylar da denilmektedir. Birçok doğrultu ve eğim atımlı fay incelendiğinde yanıl atımlı fay oluklarına rastlanmıştır. Kuzey Anadolu Fayı boyunca sağ yanıl hareketiyle beraber pek çok yerde, bu hareketle birlikte ters fay veya normal fay bileşenli ötelenmelere rastlanmaktadır. Şekil 2.10'da yanıl atımlı bir fay üzerinde A eğim atım bileşenini, B yanıl atım bileşenini, C net atım bileşenini göstermektedir (Tiryakioğlu 2012).

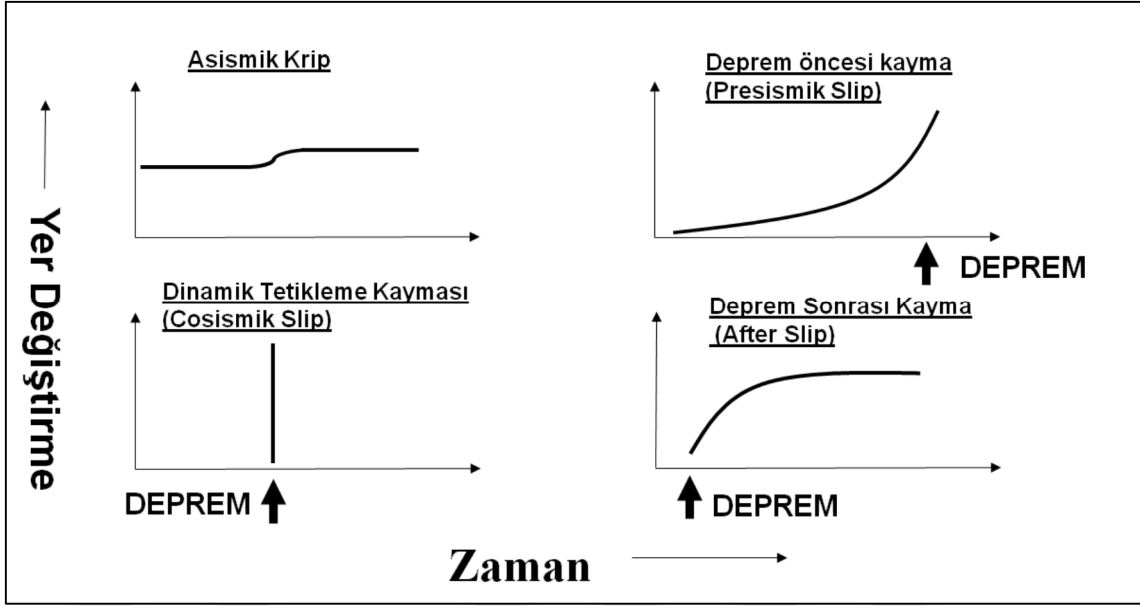


Şekil 2.10 Yanal atımlı fay gösterimi (Tiryakioğlu 2012).

### 2.2.3 Krip Hareketi

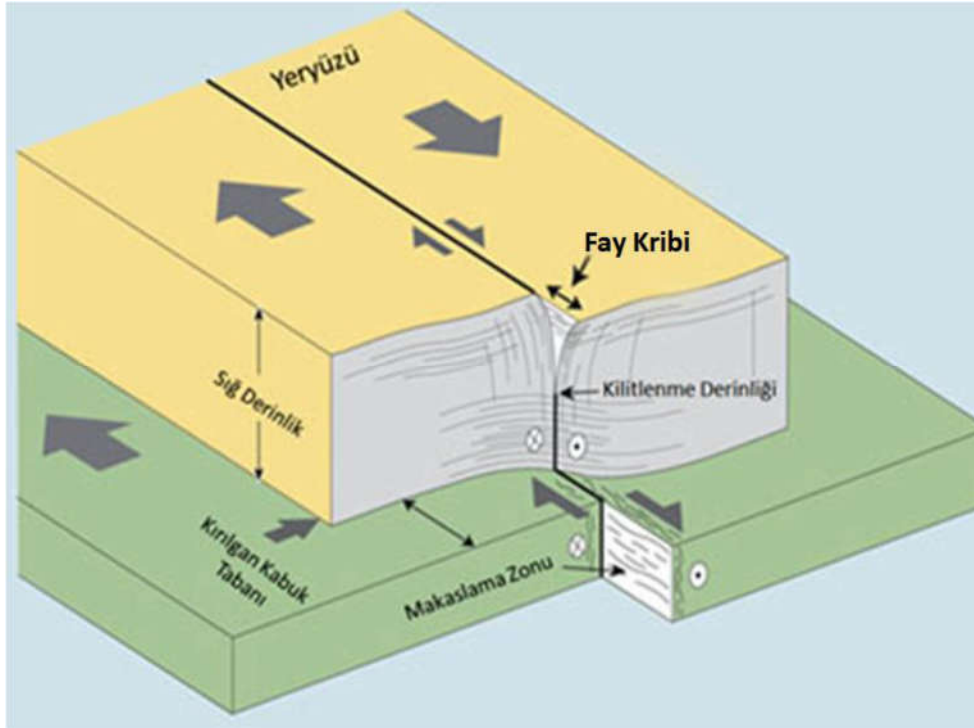
Çok sık meydana gelen depremlerin fay hareketleri incelendiğinde, büyük bir kısmının tektonik plakalar arasında meydana gelen bağıl hareketler sonucunda kilitlenerek uzun bir zaman içinde aşırı gerilme enerjisi topladığı ve bu enerji kritik bir seviyeye geldiğinde, fayın bir kısmında ya da tamamında ani kırılma ve kopmalarla birlikte depremler ürettiği görülmüştür (Reid 1910, Çakır *et al.* 2005).

Bazı faylarda yüzeyleri boyunca bir kayma hareketi görülür. Bu asismik hareketler “Fay kripti” veya krip olarak isimlendirilir. Krip hareketi rastlanan fay segmentlerindeki asismik hareketler deprem öncesi, deprem anında ve deprem sonrasında geçici ve bölgesel olarak oluşabilirler (Şekil 2.11). Krip hareketi asismik bir fay kaymasıdır ve sabit, sürekli ya da geçici olabilir (Sylvester 1986, Görmüş 2011).



Şekil 2.11 Tektonik krip tipleri (Sylvester 1986, Görmüş 2011).

Krip hareket fay zonlarında iki farklı şekilde tutum sergilediği literatüre geçmiştir. Birincisi, devam eden krip hareketin hızı fayın oluşumuna neden olan levhaların ortalama hızına eşit olması durumunda enerji birikiminin gerçekleşmediği ve bu hareketin gerçekleştiği segmentlerde büyük depremlerin oluşmadığı şeklindedir (Şekil 2.12) (Kutoğlu *et al.* 2008).



Şekil 2.12 Faylardaki Asismik Krip (Görmüş 2011).

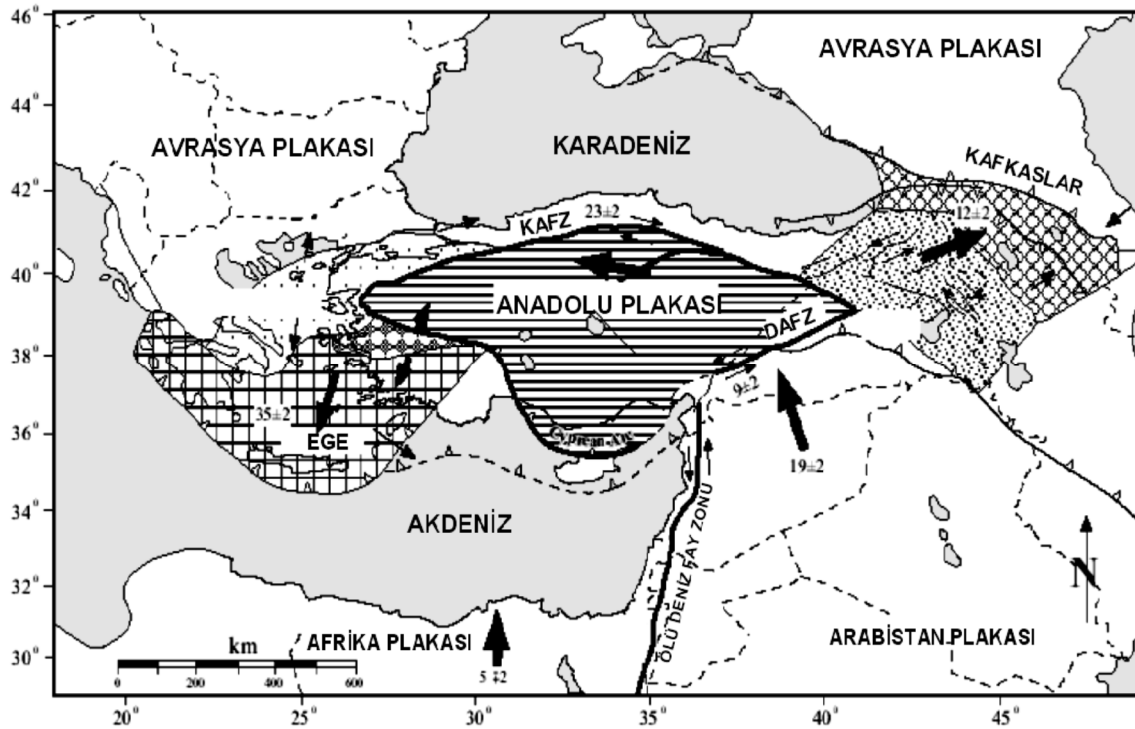
İkincisinin olduğu durumda ise, krip hareketinin sığ bir derinlikte olduğu ve fayın oluşumuna neden olan levhaların hızından daha yavaş bir kayma hızına sahip olmasıdır. Bunun sonucunda enerji birikimi engellenemez ve bu segmentte orta ve büyük şiddette depremlere neden olmaktadır. Bu nedenle bazı araştırmacılara göre asismik krip hareket depremlerin habercisi olarak yorumlanabilir (Sylvester 1986, Wright 2002, Çakır *et al.* 2003, Kutoğlu *et al.* 2008, Yavaşoğlu *et al.* 2015).

Belirtilen bu nedenlerden dolayı, derinlik ve doğrultu boyunca asismik kribin hızı ve büyüklüğü, sismik risklerin analizi ve deprem döngüsünün anlaşılabilmesi için önemli parametrelerdir. Bundan dolayı sürekli olarak izlenmesi ve parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir (Malservisi *et al.* 2003, Çakır *et al.* 2005).

### **2.3 Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)**

İlk defa 1939 yılında ve sonrasında meydana gelen 1942, 1943, ve 1944 depremlerinin arazi araştırmalarından sonra İhsan Ketin tarafından tanımlanan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Arabistan Levhasının kuzeye doğru hareketi sonucunda, Anadolu Levhasının yaklaşık 11 milyon yıl önce Avrasya Levhasıyla çarpışması sonucu başlayan, neotektonik dönemde gelişen dünyanın en aktif fay kuşaklarından birisidir (Ketin 1948, Över 1999).

Arabistan ve Afrika Levhalarının Avrasya Levhasına doğru hareketi nedeniyle sağ yanal doğrultu atımlı KAFZ ile sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) boyunca Anadolu Levhası güneybatıya doğru kaymaktadır (Şengör *et al.* 1985) (Şekil2.13).



**Şekil 2.13** KAFZ'ın oluşumu (McClusky et al. 2000, Köksal 2011).

Anadolu levhasında 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 tarihlerinde meydana gelen depremlerin, ulusal ve uluslararası çapta yer bilimciler tarafından ülkemiz açısından önemli fay zonlarından biri olan KAFZ'ın kinematiki ve tektoniki hakkında araştırmalarını yoğunlaştırmaya yöneltmiştir (Yavaşoğlu vd. 2003, Köksal 2011). Yapılan jeodezik çalışmalar Anadolu Levhasının KAFZ'da Avrasya Levhasına göre yaklaşık 23 mm/yıl hızla batıya doğru hareket ettiğini ve bu hareketin batı-güneybatıda 10 mm/yıl daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır (Köksal 2011) (Şekil 2.13).

Ülkemizde, geçtiğimiz son yüzyılda meydana gelen büyük, yıkıcı depremlerin birçoğu Kuzey Anadolu Fayı üzerinde meydana gelmiş ve ürettiği bu depremler birçok can ve mal kayıplarına neden olmuştur.

Altsel dönem kayıtları incelendiğinde 1939 yılında meydana gelen 7.8 büyüklüğündeki Erzincan depreminde yaklaşık 33.000 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu deprem yaklaşık 340 km uzunluğundaki segmentte gerçekleşmiş ve yatay atım miktarı 3.7 metre, düşey atım miktarı ise 1.2 metre olarak tespit edilmiştir (Ketin 1948). Günümüze kadar önemli can ve mal kayıplarına neden olan büyük yıkıcı depremler Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1** Kuzey Anadolu Fayında meydana gelen yıkıcı depremler.

| <b>Deprem Merkezi</b>   | <b>Deprem Gerçekleştiği Tarih</b> | <b>Yüzey Dalgası Büyüklüğü (Ms)</b> |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Erzincan                | 27.12.1939                        | 7.9                                 |
| Erbaa-Niksar            | 20.12.1942                        | 7.0                                 |
| Ladik-Kargı-Tosya-Ilgaz | 27.11.1943                        | 7.2                                 |
| Bolu-Gerede             | 01.02.1944                        | 7.2                                 |
| Varto-Üstükran          | 31.05.1946                        | 5.9                                 |
| Kurşunlu                | 13.08.1951                        | 6.9                                 |
| Yenice-Gönen            | 18.03.1953                        | 7.2                                 |
| Abant                   | 26.05.1957                        | 7.1                                 |
| Manyas                  | 19.08.1966                        | 7.0                                 |
| Adapazarı-Mudurnu       | 22.07.1967                        | 6.8                                 |
| Erzincan                | 13.03.1992                        | 6.8                                 |
| Kocaeli-Gölcük          | 17.08.1999                        | 7.8                                 |
| Düzce-Kaynaşlı          | 12.11.1999                        | 7.5                                 |

KAFZ'ın değişik segmentlerinde 1939 yılında Erzincan depreminden başlayarak doğudan batıya doğru düzenli bir şekilde birbirini izleyen pek çok büyük depremler meydana gelmiştir. Prof. Dr. Aykut BARKA meydana gelen bu olayı bir doğa harikası olarak tanımlamış ve bir sonraki olabilecek depremin yerinin tahmin edilebileceği kanısına varmıştır.

### **2.3.1 KAFZ'ın Güzergâhı**

KAFZ ülkemizde, doğuda Van gölü kuzeyinden başlayarak Bulanık'tan devam ederek Hamurpet Gölü'ne kadar uzandığı tahmin edilmektedir. Hamurpet Gölü üzerinden, 1966 Varto Depremi'nde oluşan yarık ve çatlaklar yardımıyla takip edilerek batıya doğru Varto ve Üstükran yakınlarından geçerek Karlıova'ya kadar tespit edilmiştir (Ketin 1969).

Karlıova'dan batıya doğru Erzincan, Suşehri, Reşadiye, Erbaa, Havza, Ladik, Kargı, Ilgaz Kurşunlu ve Çerkeş kuzeyi, İsmetpaşa, Gerede, Bolu, Abant Gölü'nden devam ederek Mudurnu yakınlarındaki Dokurcun vadisinden sonra iki ana kola ayrılmaktadır. Kuzeye doğru devam eden kol Sapanca Gölü ve İzmit Körfezinden, Marmara Denizinin altından geçerek Trakya'nın güneyinde Mürefte'den karaya çıkıp Ganos Fayı adı altında devam



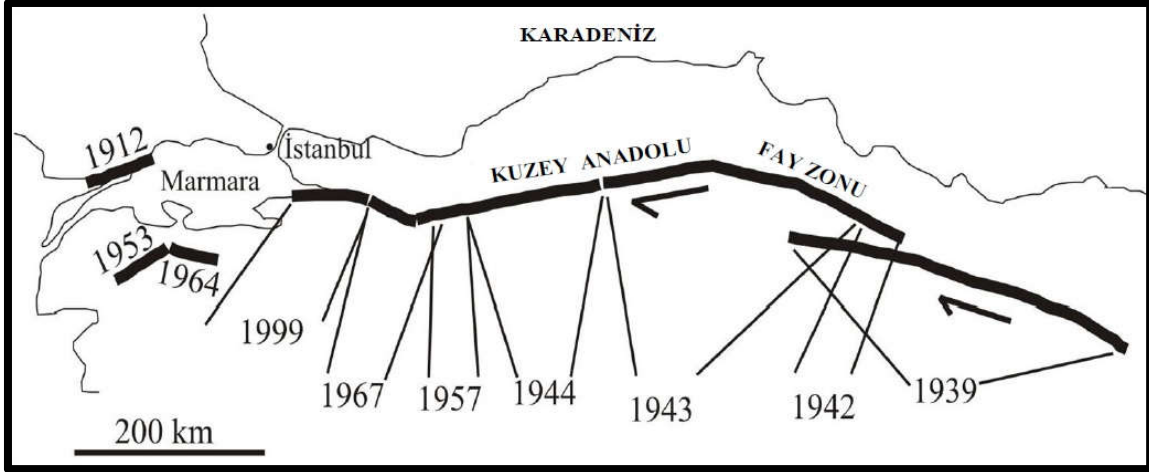
mm/yıl, deprem esnasında 1.5 m -4.5 m ve depremden sonra ise 50-60 mm/75 gün arasında değerler almaktadır (Ketin 1976, Ayhan 2010).

### 2.3.3 KAFZ'ın Segmentleri

Aletsel dönemde kayıtlara geçen depremlerin yüzey kırık uzunlukları incelendiğinde, KAFZ'ın, hem geometrisi hem de deprem karakterleri yönünden birbirlerinden farklı özelliklere sahip segmentlerden meydana geldiği ve depremlerin dışmerkezlerinin de bu segmentlerin uçlarında yoğunlaştığı görülmüştür (Barka and Kadinsky-Cade 1988, Demirtaş ve Yılmaz 1996, Köksal 2011). Depremlerin dağılımları incelendiğinde KAFZ üzerinde birbirinden farklı deprem modelleri gösteren, birkaçı büyük olmakla birlikte toplam 10 civarında segmentin varlığından söz edilebilir (Barka 1996) (Şekil 2.15).

KAFZ'ın Gerede ana segmentinin içinde bulunan İsmetpaşa Segmenti ve Destek Segmenti üzerinde meydana gelen ve dünyada nadiren rastlanan asismik kayma hareketi nedeni ile bu fay için ayrı bir öneme sahiptir. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, İsmetpaşa Segmentinde rastlanan ve yıllık hızı 1-2 cm olan asismik krip hareketinin sergilediği davranışlar KAFZ'ın deprem mekanizmasının araştırılmasında önemli rol oynadığı tezini ortaya koymaktadır (Kutoğlu *et al.* 2005, 2006, 2008, 2010, Yavaşoğlu *et al.* 2015).

KAFZ üzerinde asismik yüzey kaymasının olduğu diğer bir yer olan Destek segmentinde ise ilk olarak Karabacak vd. tarafından rapor edilmiştir. Bu bölgede rastlanan ve yıllık 6.0 – 7.2 mm olan bir asismik kayma oranı mevcuttur (Karabacak *et al.* 2011).



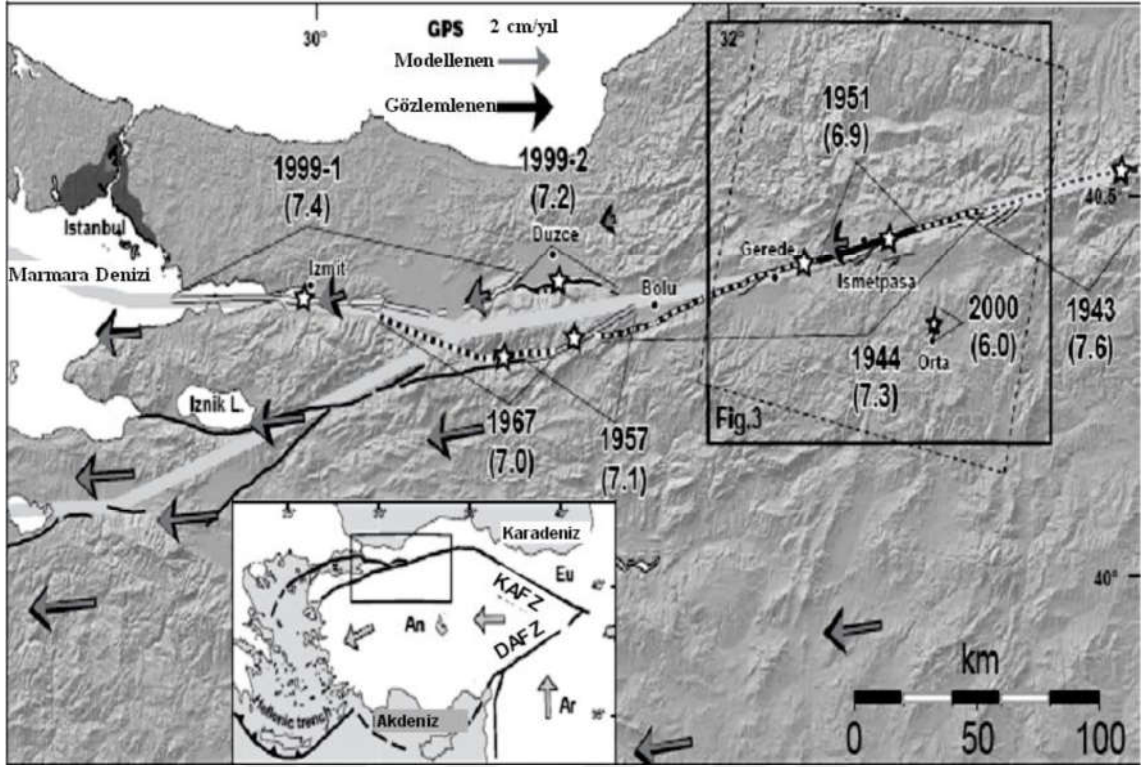
Şekil 2.15 KAFZ’ın ana segmentleri (Köksal 2011’den değiştirilerek).

Son yıllarda fayın farklı kısımlarında yoğun olarak GNSS tabanlı ölçmeler, fayın kayma hızının çeşitli segmentlerde yıllık 17 mm’den 2,7 mm’ye kadar farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur (Çakır *et al.* 2005, Köksal 2011).

### 2.3.4 İsmetpaşa Segmenti

KAFZ’ın orta-batı bölümünde bulunan, İstanbul’un 350 km doğusunda ve Ankara’nın 100 km kuzeybatısında yer alan, adının verildiği İsmetpaşa Kasabası’ndan geçen bu segment, Bayramören’den başlayıp Gerede’ye kadar uzanan yaklaşık 80 km uzunluğa sahiptir (Şekil 2.16). Bu segment 1944 Gerede ve 1951 Kurşunlu depremleri sonucu kırılmış ve bu güne kadar herhangi bir büyük depreme sahne olmamıştır ( Kutoğlu *et al.* 2008, Köksal 2011).

İsmetpaşa segmenti asismik krip hareketinin gözlemlendiği nadir bölgelerden biridir. Bundan dolayı birçok bilim adamının ilgisini çekmiş ve bu konuda pek çok çalışmalara sahne olmuştur (Kutoğlu vd. 2009). Meydana gelen Gerede ve Kurşunlu depremlerinden sonra gerçekleştirilen saha çalışmalarında, İsmetpaşa kasabasında bulunan tren istasyonu duvarındaki hareketlerinden, bu bölgede bir asismik krip hareketi varlığı tespit edilmiştir (Resim 2.1).



**Şekil 2.16** İzmitpaşa Segmenti (Çakır et al. 2005, Köksal 2011).



**Resim 2.1** Krip hareketinin gözlemlendiği İzmitpaşa tren istasyonunda bulunan duvara ait görüntü (Görmüş 2011).

İzmitpaşa segmentindeki asismik krip hareketinin tespitinden sonra, 1969-1971 yılları arasında segment üzerinde iki farklı jeodezik ağ kurulmuştur ( Kutoğlu *et al.* 2010). İlk jeodezik ağ 1969-1978 yılları arasında açı ağı tekniği ile ölçülmüş ve analiz sonucunda ortalama krip hızı  $1.1 \pm 0.4$  cm/yıl olarak hesaplanmıştır (Aytun 1982).

**Çizelge 2.2** İsmetpaşa segmentinde çeşitli yöntemler ile yapılan çalışmalar, elde edilen sonuçlar ve duyarlılıkları (Kutoğlu vd. 2009'dan değiştirilerek).

| <b>Tarih Aralığı</b> | <b>Ortalama Yıl (Epok)</b> | <b>Kullanılan Ölçü Yöntemi</b> | <b>Elde Edilen Ortalama Hız</b> | <b>Ölçümü Yapan</b> |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| 1957-1969            | 1963,0                     | Duvar Ölçmeleri                | 2.0±0.6 cm/yıl                  | Ambraseys           |
| 1969-1978            | 1973,5                     | Açı Ağı Ölçmeleri              | 1.1±0.4 cm/yıl                  | Altun               |
| 1972-1982            | 1977,0                     | Kenar Ağı Ölçmeleri            | 1.0±0.1 cm/yıl                  | Eren ve Uğur        |
| 1982-1992            | 1987,0                     | Kenar Ağı Ölçmeleri            | 0.9±0.1 cm/yıl                  | Deniz vd.           |
| 1992-2000            | 1996,0                     | InSAR                          | 0.8±0.3 cm/yıl                  | Çakır vd.           |
| 1992-2002            | 1997,0                     | GPS Ölçmesi                    | 0.7±0.1 cm/yıl                  | Kutoğlu vd.         |
| 2002-2007            | 2004,5                     | GPS Ölçmesi                    | 1.2±0.1 cm/yıl                  | Kutoğlu vd.         |
| 2007-2008            | 2007,5                     | GPS Ölçmesi                    | 1.5±0.4 cm/yıl                  | Kutoğlu vd.         |
| 2007-2009            | 2008,0                     | Yersel LIDAR                   | 1.3±0.2 cm/yıl                  | Karabacak vd.       |
| 2007-2010            | 2008,5                     | Diferansiyel InSAR             | 1.57±0.2 cm/yıl                 | Köksal              |
| 2008-2010            | 2009,0                     | GPS Ölçmesi                    | 2.06±0.6 cm/yıl                 | Görmüş              |

Farklı yapı ve hassasiyetteki ölçülerden elde edilen hızlar birleştirilmiş ve yorumlanmıştır.

Segment üzerinde ilk yapılan jeodezik ölçmeleri referans alacak olursak bu zaman dilimi yaklaşık 30 yıl devam etmiştir. Bu segmentte meydana gelen depremlerden sonra ise krip hareket bir rahatlama dönemine girmiş ve hareket zamanla artarak, 30 yıl önceki hızına dönmektedir (Kutoğlu *et al.* 2010).

### 3. GNSS YÖNTEMİ İLE YER KABUĞU HAREKETLERİNİN İZLENMESİ

Yer kabuğunda meydana gelen hareketler sonucunda deprem olayı gerçekleşmektedir. Depremler, insanlık tarihi boyunca birçok can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Bu olaylar bilim adamlarını, depremleri önceden tahmin etme çalışmalarını yapmaya zorlamıştır. Bu çalışmalar, deprem öncesinde insanoğlunun gerekli tedbirleri almak için gereken süreyi tahmin edebilme çabasıdır.

Deprem öncesi tahmin için, radon gazı ölçümleri, deniz seviyesindeki hareketlerin izlenmesi, yer altı su seviyeleri değişimlerinin araştırılması, sismisite çalışmaları, gravite çalışmaları, teknomanyetik çalışmalar ve yer kabuğu hareketlerinin ölçülmesi gibi farklı yöntemler gösterilebilir (Özmen 1995).

Yer kabuğunda depremlere neden olan hareketlerin yeri, yönü ve büyüklüğü, jeodezik ölçmeler sonucu tespit edilmektedir. Yeryüzünde belirlenmiş fay kırıklarına kurulan küçük kontrol ağlarında, belirli periyodlarda doğrultu, kenar ve yükseklik ölçülmesine olanak tanıyan yersel ölçmeler sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile yerkabuğundaki hareket jeodezik olarak tespit edilmiş olmaktadır.

Jeodezik yöntemlerle tektonik hareketler arasında bağlantı kurulan ilk çalışma 1892 yılında Tapanuli, Sumatra depreminde Müller tarafından gerçekleştirilmiştir. Deprem öncesi gerçekleştirilen açı ölçmeleri depremden sonra yapılan açı ölçmeleri arasında fark çıktığından dolayı çalışmayı yürüten J.J. A Müller, tespit edilen bu farkın deprem sonucu oluştuğunu belirlemiştir (Yeats *et al.* 1997).

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte jeodezik yöntemlerde de gelişmeler yaşanmış, açı ölçmelerinden elektronik uzunluk ölçmelerine, daha sonra da GNSS (Global Navigation Satellite Systems) ölçmelerine geçiş olmuştur. Bu gelişmeler sonucu deformasyon çalışmalarında maliyet azalmış, tasarlanan jeodezik ağların ölçeği ve çalışma alanları büyümüş, elde edilen sonuçlarda güvenilirlik artmıştır. GNSS kullanımı özellikle yer kabuğu hareketlerinin tespitinde büyük ölçüde yaygınlaşmıştır.

Yer kabuğu hareketlerinin incelenmesi sonucu, büyük depremlerin yeri tahmin edilmektedir. Yer kabuğunda iki levhanın birbirine göre yaptıkları hareketler 100 mm/yıl değerine kadar çıkabilmektedir (Herring 1999). Özellikle 20. Yüzyılın sonlarına doğru gelişen uzay jeodezisi bu hareketleri belirlemede önemli roller üstlenmektedir. Levha hareketlerinin yıllık miktarları VLBI (Very Long Base Interferometry), SLR (Satellite Long Range) ve GNSS yöntemleri kullanılarak tespit edilir. GNSS yöntemi VLBI ve SLR yöntemlerine göre maliyet, kullanım kolaylığı ve zaman konusunda daha avantajlı olduğu için daha çok tercih edilmektedir.

Uydu jeodezisi, levha hareketlerinin incelenmesi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. GNSS yöntemiyle depremlere neden olan aktif fay hatları boyunca, deprem öncesinde, deprem anında ve deprem sonrasında meydana gelen deformasyonlar uzun gözlemler sonucunda belirlenebilirler. Bu tespiti yapabilmek için, fay kırıkları ile ayrılan blokların hepsini temsil edecek şekilde, fayın yakın ve uzak çevresine yeteri kadar GNSS noktası tesis edilir ve bir ağ tasarlanır. Bu ağı oluşturan noktalar üzerinde belirli periyotlarda veya sürekli olarak gözlemler yapılır. Bu gözlemler sonucu elde edilen veriler, yeryüzüne yayılmış ve koordinatı çok uzun süreler boyunca ölçülen global noktalardan yararlanılarak değerlendirilir. Değerlendirme sonucunda epoklar arasındaki farklar incelenir ve zaman içindeki hareketler belirlenir.

Belirlenen hareketler veya hız vektörleri yardımıyla bölgede oluşan gerilme ve sıkışma parametrelerinin hesaplanması ile olası bir deprem hakkında bilgilenme mümkün olmaktadır.

### **3.1 GNSS Teknolojisi**

İnsanoğlu ilk çağlardan beri nerede olduğunu merak etmiş yönünü, konumunu belirleyebilmek için çeşitli yöntemler geliştirmiştir. Kaba zaman ölçümleri, deniz fenerleri, yıldızlar, rüzgâr yönleri gibi yöntemler bunlardan bazılarıdır. Bunlardan en önemlilerinden biri olan gök cisimlerine bakarak yön tayini yöntemini, günümüzde örnek alarak geliştirilen uzay tabanlı yapay uydular ile konum belirleme çalışmaları izlemektedir. Geliştirilen bu sistemler insanoğlunun günlük yaşantısının birçok alanında vazgeçilmez olmuştur.

ABD'nin 1964 yılında geliştirdiği, Transit olarak isimlendirilen ilk uydu tabanlı sistemden elde edilen deneyimler sonucunda, hassas konum belirlemeye olanak sağlayan yeni sistemlere ihtiyaç duyulmuştur. Bunun ilk çalışması olarak 1980'li yılların başlarında, ABD tarafından geliştirilen GPS (Global Positioning System) kullanılmaya başlanmıştır. Öncelikle askeri amaçlı kullanılan bu sistem devamında sivil kullanıcılara da açılmış olup günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Daha sonra Rusya tarafından GLONASS (Global Navigation Satellite System) ve Avrupa Birliği ölkeleri tarafından GALİLEO uydu konumlama sistemleri kurulmuştur.

ABD'nin GPS, Rusya'nın GLONASS, Avrupa Birliği'nin GALİLEO, Çin Halk Cumhuriyeti'nin BEİDOU ve benzer uydu sistemlerini kapsayan, uydularla konum belirleme sistemine genel olarak GNSS adı verilmektedir.

### **3.1.1 GPS Uydu Sistemi**

Global Positioning System (Küresel Konumlama sistemi), yeryüzü üzerinde engelsiz bir görüş hattında, her türlü hava şartlarında, yüksek doğrulukta konum bilgileri sağlayan, ilk olarak askeri gereksinimler için tasarlanmış, ABD tarafından geliştirilen uzay tabanlı uydu navigasyon sistemidir. Bu uydu ağı düzenli olarak kodlanmış bilgi yollar ve yeryüzü üzerinde konum belirlemeyi amaçlar.

Sistem yeryüzünden yaklaşık 20 000 km yüksekte, her yörüngede 4 ya da daha fazla uydu olacak şekilde altı yörünge etrafında, yaklaşık olarak eşit bir şekilde dağıtılan aktif uydulardan meydana gelmektedir. Yörünge üzerinde sürekli dömette olan bu uydular düşük güçte radyo sinyalleri yayarlar ve dünyadaki GPS alıcısı bu sinyalleri alarak konum belirlemesi gerçekleşmiş olur (şekil 3.1).

GPS üç ana segmentten oluşur. Bunlar uzay segmenti kontrol segmenti ve kullanıcı segmentidir. Uzay segmenti GPS uydularından oluşmaktadır ve sistemin merkezidir. Ekvator ile 55° eğim açısına sahip altı yörünge düzlemi üzerine yerleştirilen uydulardan oluşmaktadır. Bu uyduların yörünge periyodu 11 saat 58 dakikadır. Uydular en az on yıl kullanılmak üzere tasarlanmış olup, yaklaşık olarak saatte 11 250 km hızla hareket ederler ve güneş enerjisi ile çalışmaktadırlar (Zorlu 2010).



**Şekil 3.1** GPS Uyduları.

Uydu sinyalleri temel frekans olan 10.23 MHz'den oluşturulmuş ve bu temel frekanslar atomik saatlerden meydana gelmektedir. Temel frekans 154 ile çarpıldığı zaman L1 taşıyıcı dalga frekansı ( $L1 = 1575.42$  MHz), 120 ile çarpıldığında ise L2 taşıyıcı dalga frekansı ( $L2 = 1227.60$ ) hesaplanır. Bu taşıyıcı dalga frekansları, yörünge parametreleri, uydu saat düzeltmeleri gibi verilerin dünya üzerindeki alıcıya gönderilmesi amacıyla kodlarla, navigasyon mesajı bilgileri ile modüle edilmiştir. Bu işlem ile her uyduya ayrı ayrı PRN (Pseudo Random Numbers) kod numarası verilmiştir. C/A ve P kodları aynı anda gönderilir ve her uydu kendine özgü C/A kodu üretir. Bütün uydular aynı taşıyıcı frekansta yayın yapmasına rağmen, uydu sinyalleri, PRN kod numarası ile birbirlerinden ayırt edilmektedir.

L1 frekansı, P kod, C/A kod ve uydu mesajlarını taşır. L2 taşıyıcısı ise sadece P kod ve uydu mesajlarını taşır. Uydu mesajlarında, yörünge bilgisi, uydu saat düzeltmesi, almanak bilgisi, iyonosfer bilgisiyle uydunun durumu hakkında bilgiler bulunur. GPS'in elektromanyetik spektrumunda 1381.05 Mhz frekansında mevcut L3 taşıyıcısı da vardır.

Ayrıca GPS sinyal modernizasyonunda uydulara L2C ve L5 sinyalleri de eklenmiştir. L5 sinyalinin taşıyıcı frekansı 1176.45 MHz'dir (Derelioğlu 2007, Tiryakioğlu 2012).

Kontrol segmenti, GPS uydularını devamlı olarak izleyerek doğru yörünge ve zaman bilgilerini sağlamaktır. Yeryüzünde beş tane kontrol istasyonu bulunmaktadır ve bunlardan dört tanesi insansız, bir tanesi insanlı ana kontrol merkezleridir. İnsansız kontrol merkezleri, topladıkları verileri ana merkeze gönderir ve ana merkez ise bu verileri değerlendirerek gerekli düzeltmeleri uydulara bildirir (Hofmann-Wellenhof 2008, Zorlu 2010).

Kullanıcı segmenti ise yerdeki alıcılardır. Farklı amaçlar doğrultusunda GPS kullanarak konum belirlemek isteyen kişi sistemin kullanıcı kısmında yer almaktadır.

### **3.1.2 GLONASS Uydu Sistemi**

GLONASS (Global Navigation Satellite System) 1970'li yılların başında, ABD'nin geliştirdiği GPS sistemine karşılık olarak, ortaya konmuş bir proje olmakla beraber, eski Rus Doppler sistemi olan TSICADA yerine geliştirilmiştir. Dünyanın ikinci GNSS sistemi olan GLONASS sistemi 1980'li yılların başlarında tasarlanmış ve 1995 yılında sivil kullanıcıların kullanımına açılmak istenmiş, fakat mali kaynak sorunları sebebiyle 24 uyduluk plana ulaşamamış ve sistemin gelişmesine bir süre ara verilmiştir. 2003 yılında GLONASS M, 2005 yılında da GLONASS K uydularının işler duruma getirilmesiyle sistem toplam 24 aktif uyduya ulaşmıştır.

GLONASS sistemi uzay, kontrol ve kullanıcı segmenti olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. GLONASS sistemi yeryüzünden yaklaşık 19 100 km yüksekte olup, ekvator ile 64.8° eğim yapan üç yörünge düzlemi üzerinde bir tam dolanım süresi 11 saat 16 dakikada tamamlanan uydulardan oluşmaktadır. GLONASS sisteminde de iki farklı frekans sisteminde yayın yapılmakta ve bu frekanslar, L1 (1602.5625-1615.5 MHz) şeklindedir. P kod L1 ve L2 frekanslarının her ikisinde yayınlanmakta, C/A kod ise yalnızca L1 frekansında yayınlanmakta, C/A kod üzerinden yüz metre, P kod üzerinden ise 10-20 m hassasiyette konum belirleme imkanı sunmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2009).

GLONASS, 2.5 dakikada navigasyon mesajını yayınlar, fakat efemeris ve saat verileri 30 saniyede bir tekrarlanmaktadır. P kod ise 12 dakikada bir yayınlamakla birlikte efemeris ve saat verileri 10 saniyede bir tekrar etmektedir (Kaplan 2006, Yalçın 2007, Tiryakioğlu 2012).

GLONASS zaman sistemi UTC (SU/Soviet Union) olup bu zaman sistemi Rusya Federasyonu ve Frekans Hizmeti (NTFS), tarafından yürütülmektedir. Bu sistemdeki jeodezik datum PZ-90 (Parametry Zemli 1990 veya Parameters of the Earth 1990) yersel referans sistemi kabul edilmektedir (Kahveci ve Yıldız 2009).

### **3.1.3 Galileo Uydu Sistemi**

Bu sistem, ABD Global Konum Belirleme Sistemi'nin Avrupa'daki alternatifi olarak tasarlanmış bir navigasyon sistemidir. Bu proje, bugüne kadar Avrupa kurumları ile Avrupa Uzay Ajansı (ESA: European Space Agency) tarafından yürütülen en büyük proje olma özelliğine sahiptir (Kahveci ve Yıldız 2009). Galileo uydu sisteminin tasarımı 2000 yılında gerçekleşmiş olup, 2002-2005 yılları arasında geliştirilmesi, yer istasyonları ve altyapı tesislerinin oluşturulması ve sistemin uzayda denenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Devamında 2008 yılında 1, 2011 yılında 2 ve 2012 yılında 2 uydu olmak üzere toplam 6 uydu başarıyla yörüngeye yerleştirilmiştir. Sistemin 2019 yılında tamamlanması öngörülmektedir (İnt. Kyn. 13).

Galileo sistemi üç ana segmentten oluşmaktadır ve bunlar uzay segmenti, yer kontrol segmenti ve kullanıcı segmentidir. Galileo uzay sisteminde, uyduların her biri yaklaşık 675 kg ağırlığında, boyutları 2.7 m x 1.2 m x 1.1 m olan uyduların yörünge yükseklikleri yaklaşık 23616 km olup, ekvator ile 56° eğim yapan üç yörünge düzlemi üzerinde bir tam dolanım süresi 14 saat 22 dakika olarak hesaplanmıştır (İnt. Kyn. 13, Kahveci ve Yıldız 2009). Uyduların yörüngelere dağılımı ve 56° lik eğim açısı ile, kutup bölgeleri de dahil olmak üzere, herhangi bir konumda en az 6 adet uydunun gözlemlenebilmesi sağlanacak ve bu uyduların kullanım ömrünün 10 yıl olacağı tahmin edilmektedir. Tam faaliyete geçtiğinde  $\pm 1$  metre doğrulukla konum belirlenebilecektir. Galileo uyduları 6 navigasyon sinyali gönderecek ve bu sinyaller 6 frekans bandında üretilecektir. Bunlar L1F, L1P,

E5a, E5b, E6C ve E6P sinyalleri olmak üzere bu sinyallerin taşıyıcı frekansları  $E5 = 1164-1215$  MHz,  $E6 = 1260-1300$  MHz,  $L1 = 1559-1592$  MHz olarak belirlenmiştir ( Kaplan 2003, Pratt 2004, Tiryakioğlu 2012).

Galileo sistemi, GPS referans koordinat sistemi WGS84'den farklı olarak GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame) ve bu sistemde referans zamanı olarak GST (Galileo System Time) kullanmaktadır (Kaplan 2006).

### **3.1.4 Diğer Konumlama Sistemleri**

Çince ismi bağımsız takımyıldızı anlamına gelen BeiDou, Çin Uzay Teknolojisi Akademisi (CAST: China Academy of Space Technology) tarafından 1983 yılında Çin'deki deniz araçlarının navigasyonunu sağlamak için geliştirilen, Çin'in ilk uzay tabanlı navigasyon ağıdır. BeiDou'nun küresel konumlama sistemlerine entegre olması için 2007 yılında yapılan planlama değişikliği ile COMPASS adı verilmiştir ve 2020 yılına kadar 35 uyduya ulaşması planlanmıştır. Uyduların yörünge yüksekliği yaklaşık 21500 km, bir uydunun yörünge düzlemi üzerinde bir tam dolanım süresi 12 saat 35 dakika ve yörüngeler ekvatorla  $55^\circ$  açı olacak şekilde planlanmıştır. Bu uydu ağının sinyalleri 4 frekans bandında, B1, B1-2, B2 ve B3 sinyalleri şeklinde üretilmiştir. COMPASS 10 servis sunmakla beraber, bu servislerden beş tanesi açık servisler, diğer beş tanesi ise kısıtlı yetkili servislerin olması planlanmaktadır. Açık servislerin anlık konum hassasiyeti on metre, yetkili servisler açık servislere göre daha hassas olacaktır.

### **3.2 GNSS ile Gözlenen Büyüklükler**

GNSS ile iki temel büyüklük gözlemlenmekte, bunlar Kod Pseudorange (Kod ön uzunluğu) ve Taşıyıcı Dalga Fazı (Carrier Beat Phase) olarak tanımlanmaktadır. Jeodezik ölçmeler gibi yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda ve bilimsel amaçlı çalışmalarda, kod gözlemlerine göre çok daha duyarlıklı sonuçlar veren taşıyıcı dalga faz gözlemleri kullanılmaktadır. Hassasiyet gerektirmeyen navigasyon amaçlı anlık (real-time) uygulamalarda ise kod ölçüleri yeterlidir. Kod ölçüleri, birçok GNSS alıcısında, kesin konum elde etmeden önce, hazırlık sebebiyle ilk konum belirlemede kullanılır (Sickle 1996, Görmüş 2011).

GNSS alıcıları ile faz ölçümleri milimetre doğruluğunda yapılırken kod ölçümlerinde bu hassasiyet desimetre mertebelerine düşer. Faz ölçmeleri kod ölçmelerine göre GNSS'in önemli hata kaynaklarından biri olan multipathden daha az etkilenirler (Leick 2004).

### 3.2.1 Kod Pseudorange Gözlemi

Pseudorange, uydunun yayınladığı sinyalin uydudan çıktığı an ile alıcıya ulaştığı ana kadar geçen sürenin ışık hızı ile ölçeklendirilerek belirlenen uydu-alıcı arasındaki uzaklıktır. Alıcı ile uydu saatlerindeki meydana gelen sapmalardan, sinyal gecikmelerinden ya da çeşitli hatalardan dolayı ölçülen uzunluk ile gerçek geometrik uzunluk arasında farklar oluşacaktır. Bundan dolayı model oluşturulamayan saat hatalarının sebep olduğu sapmalar nedeniyle elde edilen uydu-alıcı arasındaki mesafeye pseudorange (ham uydu-alıcı uzaklığı) denilmektedir (Kahveci ve Yıldız 2009). Sinyal ulaşım süresini etkileyen faktörler dikkate alındığında pseudorange;

$$R_i^k(t_r, t_e) = \rho_i^k(t_r, t_e) - (\delta t_r - \delta t_k)c + \delta_{ion} + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{rel} + \varepsilon_c \quad (3.1)$$

formülü ile ifade edilmektedir. Bağlantıda;

- $\rho_i^k$  : Uydu alıcı arasındaki geometrik mesafe
- $i$  : Frekans indeksi
- $t_r, t_e$  : Sinyalin uydudan ayrılış zamanı ve alıcıya geliş zamanı
- $\delta t_r, \delta t_k$  : Alıcı ve uydu saat hataları
- $c$  : Işık hızı
- $\delta_{ion}, \delta_{trop}$  : İyonosferik ve troposferik etki
- $\delta_{tide}, \delta_{rel}$  : Gelgit ve rölativistik etki
- $\varepsilon_c$  : Diğer etkiler, olarak tanımlanmaktadır (Ray 2000, Xu 2007).

Burada hesaplanan sonuç navigasyon amaçlı çözümler için yeterlidir fakat hassas jeodezik çalışmalarda yeterli değildir.

### 3.2.2 Taşıyıcı Dalga Fazı (Carrier Beat Phase)

Faz gözlemleri GNSS ölçülerinde en çok kullanılan gözlemlerin başında gelmektedir. Taşıyıcı fazda uydular konum belirlemek için yeryüzüne sürekli olarak sinyaller göndermektedir. Alıcı açıldıktan sonra sürekli olarak faz üretir. Alıcı sinyaller, uydunun yayınladığı sinyalin tam devri ile beraber sayılmaya başlanır ve uydu görüntüden çıkıncaya kadar sayılmaktadır. Kod ölçümlerine benzer biçimde faz ölçmeleri için gözlem eşitliği en genel şekilde aşağıdaki formülde ifade edilmiştir.

$$\lambda \Phi_i^k(t_r, t_e) = \rho_i^k(t_r, t_e) - (\delta t_r - \delta t_k)c + \lambda N_i^k - \delta_{ion} + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{rel} + \varepsilon_c \quad (3.2)$$

Eşitlikte ifade edilen;

$N_i^k$  : Uydu (k) ve alıcıya (i) ilişkin faz belirsizlikleri

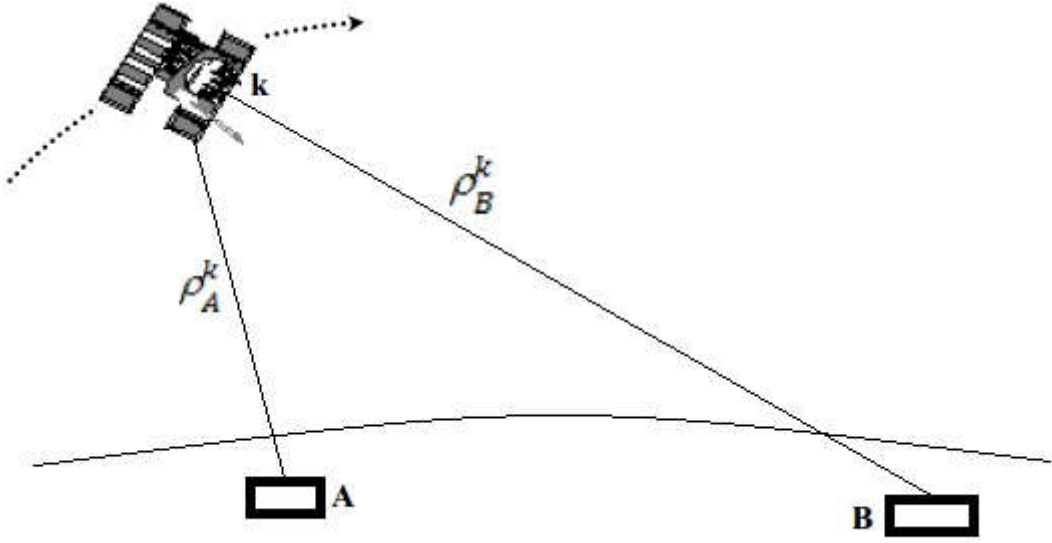
$\lambda$  : Dalga boyu olarak belirtilmiştir.

Taşıyıcı dalga fazı iyonosferden geçtiği zaman hızlanmakta olduğundan iyonosferden dolayı faz gözlemlerinde getirilecek olan düzeltme “-“ işaretlidir. Kod ölçüleri yavaş hareket sergilediğinden dolayı iyonosfer düzeltmesi kod gözlemleri için “+” işaretlidir (Kahveci ve Yıldız 2009).

### 3.2.3 GNSS Gözlemlerine Bağlı Olarak Bulunan Fark Gözlemleri

GNSS ile iki temel büyüklüğün gözlenmekte olduğunu 3.2 başlıklı konuda belirtilmiştir. Bu temel gözlemlere sıfır farklar (zero differences) da denilmektedir. Özellikle GNSS gözlemlerinin analizi sırasında bu sıfır farkların lineer kombinasyonların meydana gelmesinde pek çok yarar sağlamaktadır. Kod ve faz gözlemlerini kullanarak elde edilen farklar yardımıyla alıcı ve uydu saati hataları ile faz başlangıç belirsizliği pek çok ortak hata kaynakları giderilmektedir. Gözlem fark kombinasyonları alıcılar arasında, uydular arasında, ölçek epokları arasında veya L1 ve L2 frekansları arasında gibi şekillerde oluşturulabilir.

Tekli farklar (Single Differences), birbirinden farklı iki alıcı noktasında aynı uyduya eş zamanlı olarak yapılan faz gözlemlerinin oluşturduğu farklardır (Şekil 3.2).



**Şekil 3.2** Alıcılar arasındaki tekli fark gözlemleri.

Sırasıyla A ve B noktalarından k uydusu için t anında ölçülen faz için;

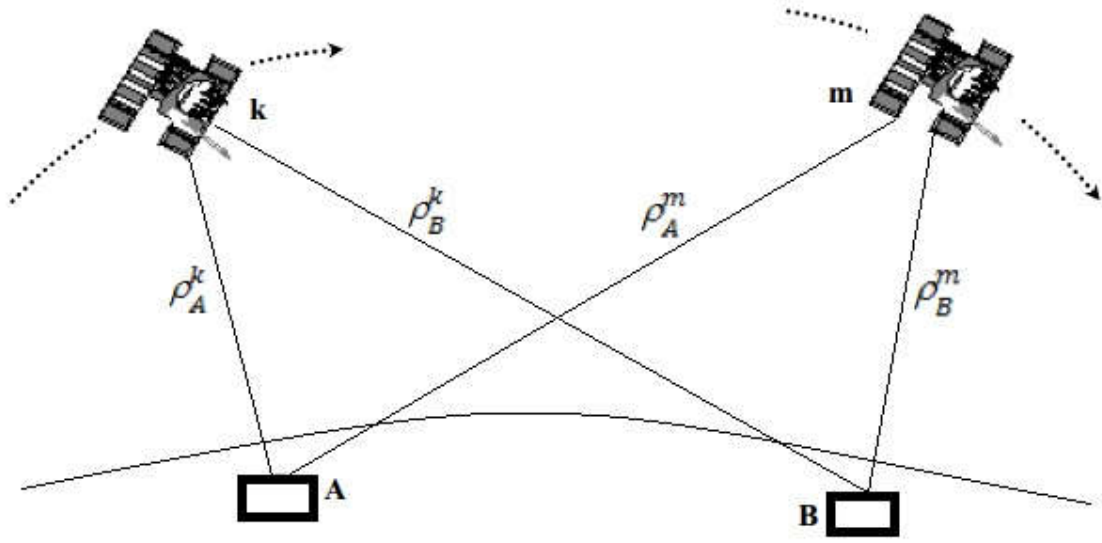
$$\Phi_A^k(t) = -\frac{f}{c} \rho_A^k(t) + N_A^k + \Phi^k(t) - \Phi_A(t) + \varepsilon_c$$

$$\Phi_B^k(t) = -\frac{f}{c} \rho_B^k(t) + N_B^k + \Phi^k(t) - \Phi_B(t) + \varepsilon_c$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu eşitlikleri taraf tarafa çıkarırsak tekli fark tekniğiyle uydu saatlerindeki hatalar giderilmektedir. Bu yöntem uydular arasında aynı alıcı için oluşturulursa, bunun sonucunda alıcı saati hataları giderilmiş olacaktır.

$$\Phi_{AB}^k(t) = -\frac{f}{c} \rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k + \Phi_{AB}^k(t) + \varepsilon_c \quad (3.3)$$

İkili farklar (Double Differences) ise iki tekli farkın birbirleri ile meydana gelen farkı olarak açıklanabilir. Başka bir ifadeyle, aynı epokta iki farklı uydu için oluşturulan tekli farklar arasında oluşan farktır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Alıcılar arasındaki ikili fark gözlemi.

İkili fark gözlemleri;

$$\begin{aligned}
 \Phi_{AB}^k(t) &= -\frac{f}{c} \rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k + \Phi_{AB}^k(t) + \varepsilon_c & \longrightarrow & \text{k uydusu için tekli fark} \\
 \Phi_{AB}^m(t) &= -\frac{f}{c} \rho_{AB}^m(t) + N_{AB}^m + \Phi_{AB}^m(t) + \varepsilon_c & \longrightarrow & \text{m uydusu için tekli fark} \\
 \Phi_{AB}^{km}(t) &= -\frac{f}{c} \rho_{AB}^{km}(t) + N_{AB}^{km} + \varepsilon_c & \longrightarrow & \text{İkili fark} \quad (3.4)
 \end{aligned}$$

eşitlikleri sonucu elde edilmektedir. Bu yöntemin uygulanması sonucunda uydu ve alıcı saat hataları ikisi birden giderilmektedir. Genellikle GNSS verilerini değerlendirme yazılımlarında temel gözlem eşitliği olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde kısa baz mesafelerinde troposferik ve iyonosferik hatalar da giderilmektedir (Leick 2004, Kahveci ve Yıldız 2009).

GNSS sistemi günümüze kadar geliştirilen yüksek hassasiyetli sonuçlar üreten global konum belirleme sistemi olmasının yanı sıra, zayıf tarafları da bulunmaktadır. Yani GNSS ölçümlerinden elde edilen sonuçları da etkileyen bazı sistematik veya rastlantısal hatalar söz konusu olabilmektedir. Bu hatalar GNSS'in birden fazla kullanım alanı için kayda değer sakınca oluşturmadığı gibi özellikle yüksek doğruluklu çalışmalarda buna dikkat edilmesi ve iyi değerlendirilmesi gerekir.

Yapılan bu uygulamada, faz ölçülerinden faydalanılmıştır. Ölçümleri etkileyen hataları en aza indirmek için ek donanımlar kullanılmıştır. Multipath etkisini azaltmak için groundplane veya choke ring antenler kullanılmış, faz merkezi belirsizliğini ortadan kaldırmak için antenler kuzeye yönlendirilmiş, merkezleştirme hatalarını gidermek için zorunlu merkezleştirme sistemli noktalar kullanılmıştır. Bunlarla ilgili detaylar bölüm 4’de açıklanmıştır.

### 3.3 GNSS Gözlem Süreleri

Konum doğruluğunun elde edilmesindeki en önemli faktörlerden biri gözlem süreleridir. GNSS ağlarında baz bileşenlerinin doğruluğu, çevresel ve aletsel kaynaklı hataların yanında bazı oluşturan noktalardaki eş zamanlı gözlem süresine göre de değişmektedir.

Büyük mühendislik yapılarındaki deformasyonların ya da yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi amacıyla oluşturulan ve belli aralıklarla ölçülen GNSS ağlarında tekrarlı ve eş zamanlı gözlemler yapılmaktadır. Bunun önemli sebeplerinden biri de ölçüler sonucu meydana gelen sapmaların belirlenmesi ve ölçüler arası koresalyonun artırılmasıdır (Eckl *et al.* 2001, Tiryakioğlu *et al.* 2010).

Tektonik hareketlerin veya deformasyonun izlenmesi amacıyla oluşturulan, belli periyodlarla ölçülen herhangi bir GNSS ağında gözlem süresi genelde 4 ila 12 saat arasında değişmektedir ve bunun başlıca nedenleri;

1. Statik konum belirlemede 4 saat veya daha fazla sürede yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerle tam sayı belirsizliklerinin çözümünde % 100 başarı oranına daha kolay ulaşılabilmesi,
2. Ölçü periyodu sayısı artırılarak daha yüksek doğruluğa ulaşılabilmesi,
3. 12 saatten daha fazla ölçüm sürelerinin, kampanya türündeki ölçmelerin gerçekleştirilmesine uygun olmamasıdır (Aydın vd 2006, Tiryakioğlu vd. 2010, Görmüş 2011).

Gözlem süresinin sonuçlara etkisi hakkında birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yürütülmüştür. Yapılan jeodinamik çalışmalarda, tektonik hareketlerin GNSS ile

belirlenmesinde gözlem süresi ile ölçü duyarlılığı arasındaki ilişkiyi tanımlamışlar ve tektonik hareketlerin modellenmesi için en az 8 saat ve üzeri tekrarlı gözlem yapılmasının daha sağlıklı sonuçlar üreteceği düşünülmektedir (Eckl *et al.* 2001, Tiryakioğlu *et al.* 2010).

Bu çalışmada, KAFZ'ın Bolu – Çorum arasında kalan kesiminde oluşturulan 22 noktalık GNSS ağında, gözlem süreleri ortalama 10 saat olarak gerçekleştirilmiştir. Bu ağıda gerçekleşen GNSS ölçümlerinin periyod ve gözlem süreleri ile ilgili detaylar bölüm 4'de açıklanmıştır.

### **3.4 GNSS'de Kullanılan Veri Formatları**

Ölçme ve navigasyon amaçlı konum belirleme çalışmalarında GNSS verisinin değişimi için 2 temel standart geliştirilmiştir. Bunlardan birincisi diferansiyel (görelî, rölatif, bağıl) konumlamada ölçü sonrası değerlendirme (post-processing) çalışmaları ile veri arşivleme için geliştirilmiş RINEX formatıdır. İkincisi ise gerçek zamanlı (real-time) çalışmalar nedeniyle geliştirilmiş olan RTCM formatıdır. Bu standartlardan farklı olarak gerçek zamanlı çalışmalar için GPS/GNSS alıcıları ile diğer cihazlar arasında veri alış verişi için NMEA formatı kullanılmaktadır (Öcalan ve Soycan 2011). GNSS alıcısı üreten firmalar genelde kendine has veri formatını geliştirmektedir. Geliştirilen bu veri formatları genellikle alıcı markasına bağımlı binary formatta olmakta, bazı firmalar tarafından ise ASCII formatında geliştirilmektedir. GNSS alıcısı üreten firmalar çoğunlukla kendilerine has veri tabanı sistemlerini oluşturmuşlar ve yapılan ölçmeler sonucunda toplanan verilerin bu veri tabanı sisteminde çalışan özel değerlendirme yazılımlarını kullanarak hesaplanmasını istemektedirler. GNSS alıcılarının kendine has veri formatı olduğundan dolayı, çok noktalı GNSS kampanyalarında ölçülerin tek bir yazılımla değerlendirilebilmesi için alıcıların tek tip olması gerekmektedir. Aksi durumda her değerlendirme yazılımının özel formatı olduğu için farklı alıcılarla toplanmış GNSS verilerinin değerlendirilmesi amacıyla verilerin alıcıdan bağımsız formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Bütün alıcıların topladığı verilerin, alıcıdan bağımsız formata dönüştürülmesiyle farklı yazılımlarla değerlendirme olanağı sağlanmıştır.

1980’li yılların sonlarına doğru gerçekleştirilen Beşinci Uluslararası Uydularla Konum Belirleme Jeodezi Sempozyumu’nda, alıcıdan bağımsız değişim formatı (RINEX ; Receiver Independent Exchange format) jeodeziciler için uluslararası standart veri değişimi formatı olarak kabul edilmiştir (Kahveci ve Yıldız 2009). Böylece günümüzdeki GNSS kullanıcıları çeşitli alıcılarla gerçekleştirdiği GNSS ölçülerini, RINEX formatını girdi kabul eden tek bir yazılımla değerlendirme imkânı bulmuşlardır.

RINEX formatı gözlem veri dosyası, GPS navigasyon mesajı dosyası, meteorolojik veri dosyası, GLONASS navigasyon mesajı dosyası olmak üzere 4 farklı ASCII dosyadan oluşmaktadır. RINEX dosya isimlendirilmesi AAAAbbbc.dde şeklinde standart bir yapı kullanılmaktadır. Burada, AAAA 4 karakterli nokta adı, bbb yılın günü (DOY; Day Of Year), c aynı gün içerisindeki dosya sıra numarası, dd yıl, e dosya tipi (O: gözlem dosyası, N: GPS navigasyon dosyası, M: meteorolojik veri dosyası, G: Glonass navigasyon dosyası) şeklinde açıklanmaktadır.

GNSS veri değişimi için geliştirilmiş uluslararası standartta kabul edilen bir diğer format RTCM formatıdır. Genelde çeşitli marka ve modeldeki alıcılardan oluşabilen GNSS/CORS ağlarının beraber çalışması ve entegrasyonu ile bu ağlardan gezici alıcılara gönderilen gerçek zamanlı verilerin, bir veri formatında gönderilmesi, kullanıcılar tarafından da kabul edilebilir olması gerekmektedir. Bundan dolayı uluslararası standart olarak geliştirilen RTCM, başta DGNSS olmak üzere RTK çalışmalarında yoğun olarak kullanılan veri formatıdır (Öcalan ve Soykan 2011).

### **3.5 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi**

GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi aşamasında kullanılan birçok ticari amaçlı ve bilimsel amaçlı üretilmiş yazılımlar bulunmaktadır. Ticari yazılımlar genelde alıcılar ile beraber satılmakta ve firmaların kendilerine has yazılım paketi bulunmaktadır. Bu yazılımlar genellikle pratik mühendislik çalışmalarında tercih edilmektedir. Bu yazılımlara örnek olarak, Topcon Tools, Leica Geo Office, Spectra Survey Office gibi yazılımlar verilebilir. Tektonik hareketlerin belirlenmesi veya deformasyon çalışmaları gibi, yüksek hassasiyet gerektiren çalışmalarda veriler ticari programlarda gereken hassasiyette değerlendirilememektedir. Bilimsel amaçlı üretilmiş yazılımlar ise genellikle

üniversiteler ve enstitülerin kullanması amacıyla geliştirilmiştir. Günümüzde birçok bilimsel çalışmalarda GIPSY, BERNESE veya GAMIT/GLOBK gibi çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır. Linux ya da Unix türevi işletim sistemleri üzerinde çalışan bu yazılımda, değerlendirme aşamasına geçmeden önce, daha önceden de belirttiğimiz gibi farklı alıcılardan üretilen verilerin alıcıdan bağımsız hale getirilmesi, yani RINEX formatına dönüştürülmesi gerekmektedir.

GNSS verileri ilk olarak GAMIT yazılımıyla değerlendirilir ve daha sonra bu değerlendirme sonucu elde edilen veriler üzerinde GLOBK yazılımı kullanılarak çözümler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada GNSS verileri GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilerek hız miktarları elde edilmiştir.

### **3.5.1 GAMIT Yazılım Modülü**

GAMIT yazılım modülü ABD, MIT (Massachusetts Institute of Technology) bünyesinde geliştirilmiş bir yazılımdır. Bu yazılım bilimsel araştırmalarda yeni gelişmelere araç olması ve açık kaynak olması sebebiyle birçok kullanıcı tarafından kullanılmaktadır. Bu yazılımda GNSS verilerinin değerlendirilebilmesi için öncelikle alıcılarla toplanan verilerin, alıcıdan bağımsız değişim (RINEX) veri formatına dönüştürülmesi gerekmektedir.

GAMIT modülü değerlendirmelerde genelde taşıyıcı dalga faz ölçmeleri ve Pseudo-range gözlemlerini kullanarak, üç boyutlu koordinatların, atmosferik zenit gecikmelerinin, uydu yörüngelerinin ve dünya dönüklük parametrelerinin kestirimini yapabilmektedir. Bu işlemleri yaparken faz belirsizliklerinin çözümü için ikili faz yöntemi tercih edilmektedir. GNSS ölçülerinin GAMIT yazılımında değerlendirilmesi sırasında birçok aşama mevcuttur. İlk aşamada uydu saatleri ve uydu ön yörünge bilgileri üretilir. Yörünge ve kod ölçüleri bilgileri ile apriori nokta koordinatlarına bağlı olarak ilgili istasyon saat düzeltmeleri hesaplanır. Sonraki aşamada devir kesiklikleri saptanır, düzeltilir ya da ortadan kaldırılır.

Devamındaki adımlarda GAMIT, birbirinden bağımsız çift farkları elde etmek için bir algoritma kullanır. Üç boyutlu koordinatlar, her uydunun başlangıç koşulu, radyasyon basıncı parametresi ile noktalara ait oturum süresi boyunca geçerli modellenmeyen atmosferik refraksiyon etkisi için zenit gecikme parametresi ve birbirlerinden bağımsız çift fark faz belirsizlik parametreleri dengeleme sonucunda hesaplanır (King and Bock 2002, Poyraz 2009).

Hesabı yapılan bu dengelemelerden birincisinde çiftli fark elde edilmiş iyonosferden bağımsız gözlemler kullanılır. Bütün parametreler ile belirsizlikler belirlenir. Bu bölümde saptanan birbirinden bağımsız çift farkların faz belirsizlik parametreleri, faz verisinin dağılımı ile baz uzunluğuna bağlı eşleme ve gerçek taşıyıcı faz belirsizliklerinden elde edilir. Bu eşleme ile kısa baz uzunluklarından oluşturulan belirsizlik çözümünün güvenilir sonuç vermesi avantajını ağırlıklı olarak tamamı içinde kullanarak birbirinden bağımsız çift fark kümesini oluşturur (Herring *et al.* 2015, Poyraz 2009).

Sonraki adımda, L1 ve L2 faz gözlemlerini bağımsız olarak kullanıp çift fark uzun dalga boylu belirsizlik parametreleri için uygun tamsayıyı iteratif olarak saptama işlemi gerçekleşir. Bu sırada tamsayı değerleri saptanacak olan belirsizlik değerleri dışındaki bütün parametreler ilk iyonosferden bağımsız dengelemeden oluşturulan değerlere sabitlenir. Uzun dalga boylu belirsizlikler güvenli bir biçimde çözümlendikten sonra doğru tamsayı değerlerine yuvarlanır. Böylece bütün parametreleri saptamak ve ardışık olan kısa dalga boylu belirsizlikleri çözmek için iyonosferden bağımsız çift farklı gözlemler üzerinde başka bir dengeleme işlemi yapılır (Yavaşoğlu 2003, Herring *et al.* 2015).

GAMIT bahsedilen işlem adımlarını uygulayabilmek için kendi bünyesinde pek çok küçük program kullanır. Bu programların güvenilir bir sonuç üretmesi için GAMIT girdi dosyalarının doğru hazırlanması gerekmektedir. GAMIT yazılımının verileri değerlendirebilmesi için gereksinim duyduğu, fiziksel modeller bulunmaktadır ve bunlar, ay ve güneş efemeris bilgileri (luntap, soltap files), istasyonlar hakkında bazı veriler (anten ve alıcı tipi, anten yüksekliği, başlangıç koordinatları) GAMIT içerisinde yer alan

tables klasöründe bulunmaktadır. Bu klasör, ilgili klasör içerisinde sh\_setup komutu kullanılarak üretilir (Herring *et al.* 2015).

GAMIT ilk başta MAKEXP ve MAKEX programlarını kullanmaktadır. MAKEXP programına girdi olarak; RINEX ve Station.info ile Sessions.info dosyalarını kullanmaktadır. RINEX alıcıdan bağımsız değişim formatı dosyaları alıcı tarafından toplanan gözlem ve navigasyon veri dosyalarıdır. Station.info dosyasında istasyon noktalarına ait bilgiler ve bu noktalara kurulmuş olan alıcılara ait bilgileri içermektedir. MAKEXP programı çalıştıktan sonra uygun formatta hazırlanmış, gözlem dosyalarını oluşturarak MAKEX ve diğer programlarda kullanılmak üzere girdi dosyası oluşturmaktadır. Bu girdi dosyaları ise L.file, X-files ve K dosyalarıdır. L.file dosyası istasyon noktalarının koordinatlarını içeren dosyadır.

Bu programların çalıştırılması ile oluşturulan dosyalar FIXDRV'de kullanılmak üzere girdi verisi olacaktır. FIXDRV ile girdi dosyaları düzenlenir ve B ile I dosyaları oluşur. I dosyası her istasyon ve oturum için saat farklarını ve oranlarını içermektedir. B dosyası ise değerlendirme süresince kontrolü sağlayan bilgileri içerir. ARC ve MODEL programları çalışması ile yörünge efemerisleri ve türevlerine ait dosyalar üretilerek, gözlenen ve teorik olarak oluşturulan ölçme değerlerinin farkları hesaplanır. Sonra AUTCLN programında kullanmak için C-dosyalarını oluşturarak bu dosyalar kullanılır ve devir kesiklikleri (cycle-slips) ile kaba hataların otomatik olarak düzenlenmesi işlemine geçilir. SOLVE programı kullanılarak istasyon konumlarına ve uydu yörüngelerine ait en küçük kareler yöntemi ile dengelenir ve öncül çözümler üretilir. MODEL, AUTCLN ve SOLVE programlarında üretilen öncül çözümler kullanılarak soncul çözümler elde edilir ve bu çözümler sonucunda Q ve H dosyaları oluşturulur. Q dosyalarında SOLVE programı sonucu elde edilen tamsayı belirsizliklerinin çözümü ile sonuçların hataları bulunur. H dosyasında ise dengeleme sonrası türetilmiş ölçüler ve kovaryans matrisler yer almaktadır (Çakmak 2001, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012, Herring *et al.* 2015). Bütün bu işlemler aşamalarında; atmosferik gecikmeleri, uydu hareketlerini ve yörüngeleri etkileyen kuvvetleri de değerlendirme aşamasında kullanmak gerekmektedir (Çakmak 2001, Poyraz 2009). Bu yazılım ve modeller ile ilgili detaylı bilgi Herring ve diğerleri (2015) tarafından hazırlanan GAMIT kılavuzunda bulunmaktadır.

### 3.5.2 GLOBK Yazılım Modülü

GLOBK uydu jeodezisi teknikleri ile oluşturulmuş ölçmelerin analizi sonucu elde edilen çözümlerin bir araya getirilmesiyle Kalman Filtresi uygulanması işlemi yapılır. GAMIT modülü tarafından türetilen H dosyaları GLOBK yazılımı için girdi verisi olarak kullanılır. GLOBK nokta konumları, yörünge parametreleri ve yer dönüş parametreleri ile ilgili kovaryans matrislerini içerir (Herring *et al.* 2015).

Bu yazılımda kullanılan Kalman Filtrelemesi, parametrelerin ardışık bir şekilde kestirimini sağlayan bir teknik olmakla beraber, genelde iki tip Kalman Filtresi kullanılmaktadır ve bunlar;

- Ölçmelerin ağırlıklı ortalamalarının ve hız gibi diğer model parametrelerinin ardışık olarak kestirimlerini veren “ileri” çözüm,
- İleri çözüme göre ölçme düzeltmelerinin belirtilmesini sağlayan bir “geri” çözümdür (Çakmak 2001, Poyraz 2009).

GAMIT ile oluşturulan nokta ve uydu vektör sonuçları, büyük varyanslı ve korelasyonlu bir kovaryans matrisine sahip olmaktadır. Ancak yüksek oranlarda kısıtlanmış çözümlerin normal geometrik ilişkilerinin devam etmesini sağlamaktadır. Bu teknik, koordinatların aynı anda saptanması için birden fazla oturumdan hesaplanan dengelemeleri birleştirme kapasitesine sahip olup, hem nokta hemde uydu parametrelerindeki farklı apriori kabullerin kullanımı sonucu meydana gelen etkileri test etmek için uygun bir yöntemdir. Bu olanaklar birbirinden farklı güvenilir ağların kullanılmasından elde edilen dengelemelerin standart olarak birleştirilmesinde kullanışlıdır (Yavaşoğlu 2003, Herring *et al.* 2015).

## 4. UYGULAMA ALANI KAFZ'IN BOLU-ÇORUM SEGMENTİNDE HIZ ALANI BELİRLEME

### 4.1 Uygulama Alanının Tanıtılması

Yüksek lisans tezi çalışmasında belirlenen KAFZ çalışma bölgesindeki uygulama alanı Bolu ile Çorum illeri arasında kalan segmentte yer almaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Uygulama alanı.

Bu segmentte fayın paralel hızının miktarı bölgede az sayıdaki GNSS noktalarından oluşan ağdan tespit edilirken, faya dik yönde sıkışma bileşeninin miktarı ve batıya doğru olan hareketi konusunda günümüze kadar detaylı bir bilgi mevcut değildir (Kutoğlu *et al.* 2010). Bu çalışmada KAFZ'ın Bolu – Çorum illeri arasında kalan bölgede faya paralel ve dik yönde meydana gelen değişimleri incelemek için 23 nokta içeren (10 adet pilye, 13 adet yer noktası) yeni bir GNSS ağı kurulmuştur. Bu ağı oluşturan noktalar fayı dik kesecek şekilde oluşturulan 5 profil üzerine tesis edilmeye çalışılmıştır (Şekil 4.2).

Çalışma alanı içinde bulunan aktif faylar üzerinde pek az rastlanan asismik yüzey kaymasının (krip) varlığının ve özelliklerinin bilinmesi o bölgenin deprem riskinin açığa çıkarılmasında önemli bir kriterdir (Burgman vd. 2000). Üzerinde bu asismik hareketin gözlemlendiği faylardan biri de KAFZ'dır. Çalışma alanımızdaki deprem riskinin, tanımlanabilmesi için 1969 yılında Ambraseys'in (1970) keşfinden günümüze kadar

40

Yapılan çalışmalar ve sonuçları Çizelge 2.2 de belirtilmiştir. Fayın mikro sismik aktivitesini elde edecek bir sismik ağın olmayışı da kayma derinliğinin ortaya çıkarılmasına olanak sağlamamaktadır. Bu çalışma ile KAFZ’ın Bolu – Çorum arasındaki bölgesel hız alanı, İsmetpaşa Segmenti ve Destek Segmentinde ortaya çıkan asismik kayma GNSS verileri ile detaylı araştırılmıştır.

## **4.2 İstikşaf ve GNSS Verilerinin Elde Edilmesi**

### **4.2.1 İstikşaf ve GNSS Ağı**

KAFZ’ın orta bölümünde beklenen yanal hareket  $\pm 2$  cm/yıl civarındadır (McClusky vd. 2000, Yavaşoğlu 2009). Bu hareketleri yeterli hassasiyette belirleyebilmek için GNSS noktalarının zorunlu merkezleştirme donanımına sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle GNSS ağına kullanılacak noktaların pilye ya da kaya zeminde tesis edilmiş çelik çubuklardan oluşması planlanmıştır. Buna göre uygulamanın istikşaf kısmında tasarlanan noktalar aşağıda belirtilen kriterlere uygun olarak seçilmiş ya da tesis edilmiştir.

- Bölgenin yer kabuğu hareketlerinin karakteristik özelliklerini belirtecek şekilde uygun olarak seçilmesi,
- Uygun dağılımda planlanan GNSS ağına ait noktaların zorunlu merkezleştirme özelliğine sahip olması, (Pilye ya da kaya zemine tesis edilmiş çelik çubuk vb.)
- Özellikle güvenli bölge olmak şartıyla, ulaşım ve lojistik açısından elverişli olması,
- Çevresinde GNSS sinyallerini etkileyecek yapılaşmanın olmaması ve maksimum seviyede uydu görebilmesi.

Yukarıda sayılan kriterler göz önüne alındığında, çalışma bölgesinde kurulan GNSS ağına ait noktaları tesis etmenin maliyeti yüksek olduğundan dolayı, diğer kurumların tesis ettiği, pilyelerin mevcut durumları araştırılıp, uygun olanların kullanılması tercih edilmiştir. İstikşaf sonrasında tespit edilen noktalardan 10 adet pilye, çalışma alanına ait GNSS ağına dahil edilmiştir. 13 tane de yer noktası tesisi yapılmıştır (Resim 4.1, Resim 4.2).

Atım miktarının küçük olduğu faylarda oluşturulan kontrol ağı üzerinde daha fazla parametrenin fay düzlemine yakın konumda dahil edilmesi gerekmektedir. Fay kilitlenme derinliği (H) ve fayın konumunun beraber elde edilmesi amaçlanan çalışmalarda jeodezik ağı ait noktaların yaklaşık olarak fay düzlemine  $\pm H/\sqrt{3}$  uzaklığında tesis edilmesi önerilmektedir (Halıcıoğlu *et al.* 2009).

KAFZ'da depremlerin derinlik dağılımı göz önünde bulundurularak bu zonun derinlik miktarının yaklaşık 15 km civarında olduğu bilinmektedir (Poyraz *et al.* 2011). İsmetpaşa segmentinde ise fay kilitlenme derinliği yaklaşık olarak 3 km civarında olduğu bilinmektedir.

Bu nedenle, noktaların faya uzaklığı ve yakınlığı, fayın karakteristiği ile ilişkili olduğundan dolayı çalışma alanında fayı dik yönde kesecek şekilde profilleri oluşturan noktaların faya yaklaşık 3 ve 10 km mesafede olması kararlaştırılmıştır.

Topoğrafik, lojistik, ulaşım ve güvenlik şartları göz önünde bulundurularak noktaların yerleri bahsedilen mesafelere yaklaşık uyacak şekilde seçilmiş ve tesis edilmiştir. Nokta isimleri, istasyon noktasının yakınında bulunan yerleşim yerini belirten ve uluslararası eğilime uygun dört harfli isimler seçilmiştir (Çizelge 4.1).



**Resim 4.1** Tesis edilen yer noktasının 19.08.2014 tarihli görüntüsü.



**Resim 4.2** GNSS ağına ait pilyenin 28.07.2016 tarihli görüntüsü.

Çalışma bölgesinde bulunan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) ağına ait 30 adet sürekli gözlem yapan referans istasyonları da oluşturulan GNSS ağına dahil edilerek toplam 52 noktaya sahip bir ağ oluşturulmuştur (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2).

**Çizelge 4.1** Çalışma alanına kurulan GNSS ağı noktaları.

| Nokta Adı        | Nokta ID | İl        | İlçe       | Enlem (°) | Boylam (°) | Tesis Türü      |
|------------------|----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------------|
| Beyköy           | BYKY     | Çankırı   | Çerkeş     | 32.84883  | 40.82872   | Pilye           |
| Boduroğlu        | BDRG     | Kastamonu | Ovacık     | 32.75847  | 39.88737   | Kayada<br>Bronz |
| Borabay          | BRBY     | Amasya    | Taşova     | 36.19720  | 40.89532   | Pilye           |
| Büyükyayalar     | BYYY     | Karabük   | Eskipazar  | 32.47451  | 40.49097   | Kayada<br>Bronz |
| Çaylıca          | CYLC     | Çankırı   | Kurşunlu   | 33.17801  | 40.96520   | Kayada<br>Bronz |
| Çerkeş Giriş     | CGCS     | Çankırı   | Çerkeş     | 32.84620  | 39.85596   | Pilye           |
| Davutbeyli       | DVBY     | Bolu      | Gerede     | 32.49571  | 39.43472   | Kayada<br>Bronz |
| Elören           | EREN     | Bolu      | Gerede     | 32.49803  | 40.80851   | Kayada<br>Bronz |
| Hacıgeriç        | HCGR     | Amasya    | Taşova     | 36.16561  | 40.70628   | Kayada<br>Bronz |
| Hacımusla        | HMSL     | Çankırı   | Kurşunlu   | 33.25855  | 40.92677   | Pilye           |
| Hamamlı<br>Pilye | HMMP     | Karabük   | Eskipazar  | 32.59556  | 40.89568   | Pilye           |
| İmanlar          | IMLR     | Karabük   | Eskipazar  | 32.57214  | 40.94619   | Kayada<br>Bronz |
| Kadıözü          | KDZU     | Çankırı   | Çerkeş     | 32.93177  | 40.88483   | Pilye           |
| Kapaklı<br>Köyü  | SLYE     | Karabük   | Eskipazar  | 32.71774  | 41.84613   | Pilye           |
| Kavak Köyü       | KVKK     | Çankırı   | Bayramören | 32.96826  | 40.81197   | Kayada<br>Bronz |
| Korubaşı         | KRBS     | Amasya    | Taşova     | 36.20012  | 40.82018   | Kayada<br>Bronz |
| Kuzdere          | KZDR     | Çankırı   | Çerkeş     | 32.67593  | 41.23162   | Pilye           |
| Orman            | ORMN     | Çankırı   | Çerkeş     | 32.86005  | 40.93923   | Kayada<br>Bronz |
| Özbaraklı        | OZBR     | Amasya    | Taşova     | 35.87164  | 39.66016   | Pilye           |
| Sarıkaya         | SRKY     | Çankırı   | Bayramören | 33.12082  | 41.02666   | Kayada<br>Bronz |
| Yayla            | YYLA     | Bolu      | Gerede     | 31.77817  | 41.44953   | Kayada<br>Bronz |
| Yazıkavak        | YZKV     | Karabük   | Eskipazar  | 32.52549  | 40.80407   | Kayada<br>Bronz |

**Çizelge 4.2** Kurulan GNSS ağındaki CORS-TR noktaları.

| <b>Nokta Adı</b> | <b>İl</b> | <b>İlçe</b> | <b>Enlem (°)</b> | <b>Boylam(°)</b> |
|------------------|-----------|-------------|------------------|------------------|
| AKDG             | Yozgat    | Akdağmadeni | 39.660160        | 35.871643        |
| AMAS             | Amasya    | Merkez      | 40.665691        | 35.849295        |
| ANRK             | Ankara    | Merkez      | 39.855965        | 32.846202        |
| BILE             | Bilecik   | Merkez      | 40.141460        | 29.977392        |
| BOLU             | Bolu      | Merkez      | 40.733540        | 31.602033        |
| BOYT             | Sinop     | Boyabat     | 41.461040        | 34.796660        |
| CANK             | Çankırı   | Merkez      | 40.608576        | 33.610380        |
| CMLD             | Ankara    | Çamlıdere   | 40.490966        | 32.474515        |
| CORU             | Çorum     | Merkez      | 40.570411        | 34.982204        |
| ESKS             | Eskişehir | Merkez      | 39.745686        | 30.463612        |
| FASA             | Ordu      | Fatsa       | 41.045527        | 37.484748        |
| GİRS             | Giresun   | Merkez      | 40.922629        | 38.388157        |
| HEND             | Sakarya   | Hendek      | 40.794991        | 30.740748        |
| HYMN             | Ankara    | Haymana     | 39.434725        | 32.495714        |
| IZMT             | İzmit     | Merkez      | 40.801978        | 29.950933        |
| KKAL             | Kırıkkale | Merkez      | 39.843265        | 33.517884        |
| KRBK             | Karabük   | Merkez      | 41.231623        | 32.675927        |
| KSTM             | Kastamonu | Merkez      | 41.371232        | 33.775505        |
| KURU             | Bartın    | Kurucaşile  | 41.846125        | 32.717741        |
| NAHA             | Ankara    | Nallıhan    | 40.173303        | 31.332088        |
| RDIY             | Tokat     | Reşadiye    | 40.385235        | 37.335667        |
| SAM1             | Samsun    | Merkez      | 41.308494        | 36.333762        |
| SIH1             | Eskişehir | Sivrihisar  | 39.446520        | 31.536250        |
| SINP             | Sinop     | Merkez      | 42.030234        | 35.153945        |
| SIVS             | Sivas     | Merkez      | 39.743699        | 37.002494        |
| SSEH             | Sivas     | Suşehri     | 40.162473        | 38.074894        |
| SUNL             | Çorum     | Sungurlu    | 40.153978        | 34.368910        |
| TOK1             | Tokat     | Merkez      | 40.330984        | 36.557467        |
| VEZI             | Samsun    | Vezirköprü  | 41.138000        | 35.466656        |
| ZONG             | Zonguldak | Merkez      | 41.449526        | 31.778170        |

## 4.2.2 GNSS Verilerinin Elde Edilmesi

### 4.2.2.1 Birinci Kampanya GNSS Ölçümleri

Proje kapsamında 2014 yılının Ağustos ayında birinci GNSS kampanya ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Kampanyaya İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından destek verilmiştir. 2014 yılında gerçekleştirilen birinci kampanyada toplam 23 noktada günlük minimum 8 saatlik veriler toplanmıştır. Uygulamada kullanılan 30 TUSAGA-Aktif istasyonu verileri temin edilerek değerlendirilmede kullanılmıştır.

Jeodezik ağı oluşturan noktaların 10 adedi pilye, 13 adedi ise yer noktasıdır. Yer noktası tesis edilen noktalarda da pilye noktaları gibi zorunlu merkezlendirme ekipmanı kullanılmıştır. Bu nedenle özel olarak üretilmiş zincirli tripodlar proje ekipmanları içinde yer almaktadır (Resim 4.2, 4.3).



**Resim 4.3** 23.08.2014 tarihli yer noktası üzerinde zincirli tripod ile GNSS ölçmesi.

Uygulama alanında 23, 24, 25, 26 ve 29 Ağustos tarihlerinde veri toplanmıştır. Kampanya boyunca yapılan ölçümler sonucu elde edilen GNSS verilerinin örnekleme aralığı 5 saniyedir. GNSS antenini olumsuz etkileyen ve ufuk çizgisine yakın olan verileri kaydetmemek, atmosferik gecikmeleri ya da anten faz merkezi değişimlerini modellemek için verilerin yetersiz kalmamasından dolayı kayıt sırasında minimum yükseklik açısı  $5^{\circ}$  olarak belirlenmiştir. Bütün GNSS ekipmanları çift frekanslı, jeodezik anten ve alıcı tipine sahiptir (Şekil 4.4). Birinci kampanyaya ait GNSS ölçü günleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Uygulamada kullanılan GNSS ekipmanları.

**Çizelge 4.3** Birinci kampanya GNSS ölçü günleri.

| GNSS Günü | Nokta Adı |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-----------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | DVBY      | EREN | YYLA | IMLR | YZKV | SLYE | HMIMP | BYYY | BYKY | BDRG | KZDR | ORMN | CGCS | KDZU | KVKK | SRKY | CYLC |
| 215       |           |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 216       |           |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 217       |           |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 218       |           |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 219       | X         | X    | X    |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 220       |           |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 221       |           |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Arazide ölçüm sırasında anten yükseklikleri milimetre hassasiyetinde belirlenmiş olup bu hassasiyette yüksekliklerin belirlenmesi için üç ayrı noktadan kontrollü bir şekilde ölçülerek ortalamaları alınmıştır. GNSS gözlemlerinde antenin nokta üzerinde milimetre doğrulukla merkezleştirilmiştir. Anten merkezleştirildikten sonra, doğrultuya bağlı anten faz merkezi hatasının giderilmesi sebebiyle bütün antenler kuzeye doğru yönlendirilmiştir. Uygulamada pusula kullanılarak antenler kuzeye yönlendirilmiştir.

#### 4.2.2.2 İkinci Kampanya GNSS Ölçümleri

Proje kapsamında 2015 yılının Ağustos ayında Bolu ili Gerede ilçesinden başlayarak kurulan ağa ait noktaların tahrip olup olmadığı kontrolleri yapılmış ve bu kontroller sırasında KZDY (pilye) noktasının yerinden söküldüğü ve ölçülemez duruma getirildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle batıdan ikinci profilde var olan noktalardan fayın güneyini kontrol eden bu noktanın çalışmadan çıkarılması gerekliliği doğmuştur (Resim 4.3).

KZDY noktasının GNSS ağından çıkarılması yapılan çalışmaların bu noktadaki verimliliğini etkilemesine karşın, bu noktanın ait olduğu profil doğrultusunda faya dik ve fayın güneyinde daha uzakta bulunan CORS noktası (CMLD) ve orta merkezde bulunan, batıdan ikinci ve üçüncü profile hizmet eden CGCS noktalarının sayesinde proje ile elde edilmek istenen sonuçlar üzerinde olumsuz yönde etkilenme olmamıştır.

Ağın kontrolünün tamamlanmasından sonra, toplam 22 noktada GNSS ölçmeleri ilk kampanyaya benzer şekilde yapılmış olup, minimum 8 saatlik veri toplanmış, yapılan tüm

ölçmelerde kayıt aralığı 5 saniye ve yükseklik açısı 5° alınarak ölçümler tamamlanmıştır. GNSS ölçümleri eşlenik zamanlı yapılmıştır (Çizelge 4.4).



**Resim 4.4** KZDY Pilyesinin 01.08.2015 tarihli görüntüsü.

**Çizelge 4.4** İkinci kampanya GNSS ölçü günleri.

| GNSS Günü | Nokta Adı |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | DVBY      | EREN | YYLA | IMLR | YZKV | SLYE | HMMP | BYYY | BYKY | BDRG | KZDR | ORMN | CGCS | KDZU | KVKK | SRKY | CYLC | HMSL | KRBS | HCGR |
| 215       |           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | X    |
| 216       |           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | X    |
| 217       |           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | X    | X    | X    |      |      |
| 218       |           |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | X    | X    | X    |      |      |      |      |      |      |
| 219       | X         | X    | X    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 220       |           |      |      | X    | X    | X    | X    | X    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 221       |           |      |      |      |      |      |      |      | X    | X    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

#### 4.2.2.3 Üçüncü Kampanya GNSS Ölçümleri

Üçüncü kampanya ölçmeleri 2016 yılında Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleştirilmiştir. Diğer kampanya ölçmelerinden farklı olarak çalışma bölgesinde

oluşturulan GNSS ağına ait ölçmelerde veri toplama süreleri uzatılmıştır. Her noktada ikişer gün olmak üzere günde minimum sekiz saatlik veri toplanmış ve bu ölçmeler eşlenik zamanlı yapılmıştır (Çizelge 4.5). Arazide yapılan ölçmeler diğer kampanyalarda kullanılan ekipmanlara ek olarak Ashtech (Spectra) SP80 GNSS alıcısı kullanılmıştır (Şekil 4.5). Bu kampanya boyunca yapılan ölçmelerde kayıt aralığı 5 saniye ve yükseklik açısı 5° değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Çizelge 4.5** Üçüncü kampanya GNSS ölçü günleri.

| GNSS Günü | Nokta Adı |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |
|-----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|
|           | KRBS      | HCGR | OZBR | BRBY | BYKY | BDRG | SLYE | CYLC | HMSL | KVKK | SRKY | DVBY | EREN | YLA | BYYY | IMLR | HMMP | YZKV | KZDR | ORMIN |
| 210       | X         | X    | X    | X    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |
| 211       | X         | X    | X    | X    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |
| 213       |           |      |      |      | X    | X    | X    | X    | X    |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |
| 214       |           |      |      |      | X    | X    | X    | X    | X    |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |
| 215       |           |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | X    | X    | X    | X   |      |      |      |      |      |       |
| 216       |           |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | X    | X    | X    | X   |      |      |      |      |      |       |
| 217       |           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     | X    | X    | X    | X    |      |       |
| 218       |           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     | X    | X    | X    | X    |      |       |
| 219       |           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      | X    | X     |
| 220       |           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      | X    | X     |



**Şekil 4.5** Uygulamada kullanılan GNSS ekipmanı.

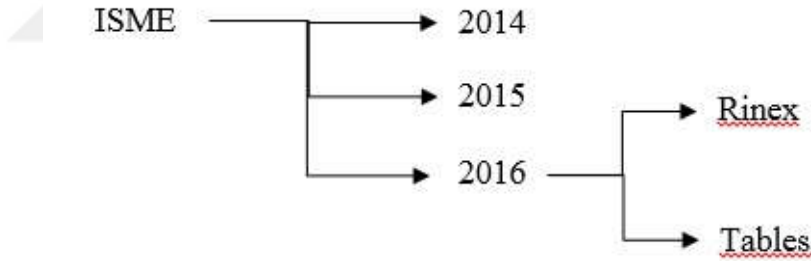
### 4.3 Elde Edilen GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi

Birinci, ikinci ve üçüncü kampanyalardan elde edilen veriler üçüncü bölümde ayrıntılı bir biçimde anlatılan GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiştir. Öncelikle arazide,

değişik alıcılardan toplanan veriler alıcıdan bağımsız veri formatına (RINEX) dönüştürülmüştür. RINEX formatına dönüştürülen veriler iki aşamada değerlendirilmektedir. İlk aşamada GAMIT yazılımı ile değerlendirilmiş veriler oluşturulur (King and Bock 2002), ikinci aşamada ise oluşturulan bu verilerin GLOBK yazılımında Kalman filtrelemesi uygulanarak hız değerlerinin elde edilmesidir. GAMIT ve GLOBK yazılımında yapılan işlem adımları aşağıda açıklanmıştır.

#### 4.3.1 GAMIT Değerlendirmeleri

Öncelikle, girdi olarak farklı alıcılardan elde edilen ham dataların, alıcıdan bağımsız olması amacıyla RINEX formatına dönüştürülür. GAMIT yazılımına uygun gerekli klasör yapısı oluşturulur. Genelde oluşturulan bu klasöre proje adını ifade eden, 4 karakterden oluşan bir klasör adı verilir. Oluşturulan bu klasörün içerisine ölçüm yapılan yılların adını içeren klasörler, her yıl klasörünün içinde rinex klasörü ve tables klasörü oluşturulur (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 GAMIT klasör yapısı.

Oluşturulan tables klasörü içerisinde, GAMIT yazılımının değerlendirme aşamasında kullandığı standart girdi dosyalarını içermektedir (Çizelge 4.6).

**Çizelge 4.6** Tables klasöründe bulunan girdi dosyaları.

| Girdi Adı   | Girdi İçeriği                       |
|-------------|-------------------------------------|
| gdetic.dat  | Jeodezik datum parametreleri        |
| tform.dat   | Koordinat dönüşüm parametreleri     |
| antmod.dat  | Anten faz merkez değerleri          |
| rcvant.dat  | Alıcı ve anten özellikleri          |
| svnav.dat   | Uydu tanıma bilgileri               |
| leap.sec    | UTC'ye eklenen 1 saniyelik ofsetler |
| luntab.     | Ay efemeris tablosu                 |
| nutabl.     | Nutasyon efemerisi                  |
| soltab.     | Yer ve güneş efemerisi              |
| pole        | IERS bülteni B değerleri            |
| ut1         | IERS bülteni UT1                    |
| itirf05.apr | Koordinat değerleri                 |

GAMIT yazılımında üç temel girdi dosyası hazırlanır. Bu dosyalar tables klasöründe yer alan **station.info**, **process.defaults**, **site.defaults** dosyalarıdır.

```

18157
18158 # ismp 2016_temmuz_agustos
18159 BDRG Tutga Bronz 2016 213 0 0 0 2016 214 0 0 0 1.4824 DHARP 0.0000 0.0000 SPECTRA SP80
18160 BDRG Tutga Bronz 2016 214 0 0 0 2016 215 0 0 0 1.1574 DHARP 0.0000 0.0000 THALES Z-MAX
18161 BRBY Tutga (pilye) 2016 210 0 0 0 2016 211 0 0 0 0.0830 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH Z-X
18162 BRBY Tutga (pilye) 2016 211 0 0 0 2016 212 0 0 0 0.0783 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH Z-X
18163 BYKY Tutga (pilye) 2016 213 0 0 0 2016 214 0 0 0 0.0787 DHARP 0.0000 0.0000 THALES Z-MAX
18164 BYKY Tutga (pilye) 2016 214 0 0 0 2016 215 0 0 0 0.0823 DHARP 0.0000 0.0000 THALES Z-MAX
18165 BYYY Tutga Bronz 2016 217 0 0 0 2016 218 0 0 0 1.1574 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH Z-X
18166 BYYY Tutga Bronz 2016 218 0 0 0 2016 219 0 0 0 1.1574 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH Z-X
18167 CGCS Tutga (pilye) 2016 219 0 0 0 2016 220 0 0 0 0.3273 DHARP 0.0000 0.0000 SPECTRA SP80
18168 CGCS Tutga (pilye) 2016 220 0 0 0 2016 221 0 0 0 0.3287 DHARP 0.0000 0.0000 SPECTRA SP80
18169 CYLC Tutga Bronz 2016 213 0 0 0 2016 214 0 0 0 1.6574 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH Z-X
18170 CYLC Tutga Bronz 2016 214 0 0 0 2016 215 0 0 0 1.1574 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH Z-X
18171 DVBY Tutga Bronz 2016 215 0 0 0 2016 216 0 0 0 1.4074 DHARP 0.0000 0.0000 SPECTRA SP80
18172 DVBY Tutga Bronz 2016 216 0 0 0 2016 217 0 0 0 1.4074 DHARP 0.0000 0.0000 SPECTRA SP80
18173 EREN Tutga Bronz 2016 215 0 0 0 2016 216 0 0 0 1.4074 DHARP 0.0000 0.0000 SPECTRA SP80
18174 EREN Tutga Bronz 2016 216 0 0 0 2016 217 0 0 0 1.4074 DHARP 0.0000 0.0000 SPECTRA SP80
18175 HCGR Tutga Bronz 2016 210 0 0 0 2016 211 0 0 0 1.1574 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH Z-X
18176 HCGR Tutga Bronz 2016 211 0 0 0 2016 212 0 0 0 1.1574 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH Z-X
18177 HMMP Tutga (pilye) 2016 217 0 0 0 2016 218 0 0 0 0.3250 DHARP 0.0000 0.0000 SPECTRA SP80
18178 HMMP Tutga (pilye) 2016 218 0 0 0 2016 219 0 0 0 0.3250 DHARP 0.0000 0.0000 SPECTRA SP80
18179 HMSL Tutga (pilye) 2016 213 0 0 0 2016 214 0 0 0 0.0690 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH Z-X
18180 HMSL Tutga (pilye) 2016 214 0 0 0 2016 215 0 0 0 0.0687 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH Z-X
18181 IMLR Tutga Bronz 2016 217 0 0 0 2016 218 0 0 0 1.1574 DHARP 0.0000 0.0000 THALES Z-MAX
18182 IMLR Tutga Bronz 2016 218 05 05 0 2016 219 08 30 0 1.1574 DHARP 0.0000 0.0000 THALES Z-MAX
18183 KDZU Tutga (pilye) 2016 219 0 0 0 2016 220 0 0 0 0.3320 DHARP 0.0000 0.0000 SPECTRA SP80

```

**Şekil 4.7** Değerlendirme aşamasında oluşturulan istasyon bilgi dosyası (station.info).

GAMIT yazılımında kullanılan en önemli girdi dosyası “station.info” dosyasıdır. IGS istasyonları ve çalışma bölgesindeki GNSS ağına ait istasyonlarda GNSS ölçüsü yapılan noktalara ait bilgi dosyasıdır. Bu dosyada istasyon isimleri, nokta tanımı, GNSS oturumu yılı, günü, başlangıç ve bitiş saati, ölçü yılı ve günü, anten yükseklikleri, anten yükseklikleri ölçüm noktası, istasyonlarda kullanılan anten ve alıcı tiplerinin bilgileri yazılmaktadır (Şekil 4.7). Burada yazılan nokta isimleri 4 karakter olmalı ve Türkçe karakter içermemelidir. GNSS’den oluşturulacak konum duyarlılığına bilinen hatalarla beraber anten yüksekliğinin yanlış ölçülmesinde ya da alıcı ve anten bilgilerinin gerekli IGS kodlarının hatalı girilmesi de etkili olabilir.

“sites.defaults” dosyasında tekrarlılık analizi ve stabilizasyon için kullanılacak noktaların isimleri bulunmaktadır. GAMIT yazılımı ile değerlendirme yapılırken, günlük nokta koordinatları, noktalar için atmosferik gecikmeler ile yörünge bilgileri kullanılan parametrelerin hiçbirinde kısıtlama yapılmadan elde edilmektedir. Bu sırada, hem lokal ağı global bir ağı ile ilişki kurmak, hem de milimetre hassasiyetindeki koordinatlardan faydalanarak yörünge ve Dünya dönme parametrelerinin daha hassas değerlendirilmesini sağlamak için IGS global ağına dayalı noktalardan faydalanılması gerekir (Poyraz 2009, Herring *et al.* 2015). Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

**Çizelge 4.7** Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları.

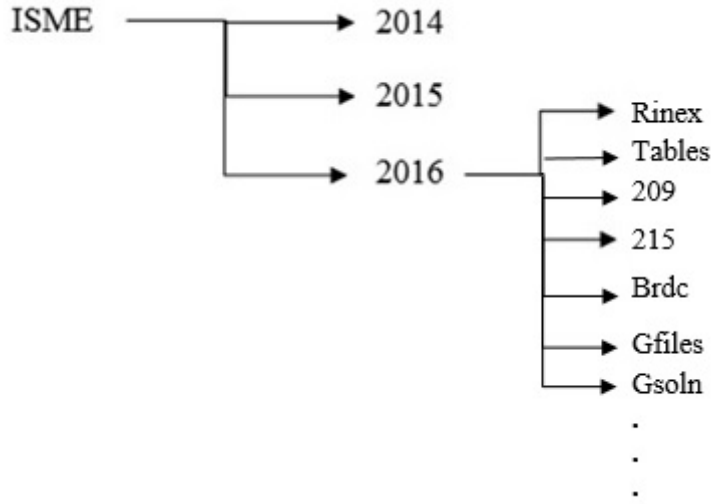
| Nokta Adı | Şehir/Ülke            | Nokta Adı | Şehir/Ülke            |
|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| ANKR      | Ankara, Türkiye       | TEHN      | Tahran, İran          |
| BUCU      | Bükreş, Roma          | TELA      | Telaviv, İsrail       |
| CRAO      | Simeiz, Ukrayna       | TUBI      | Tübitak, Türkiye      |
| MATE      | Matera, İtalya        | WTZR      | Koetzting, Almanya    |
| ONSA      | Onsala, İsviçre       | ZECK      | Zelenchukskaya, Rusya |
| SOFI      | Sofya,<br>Bulgaristan |           |                       |

Tables klasöründe hazırlanacak olan bir diğer girdi dosyası “process.defaults” dosyasıdır. Bu dosyada sadece SYSTEM-DEPENDENT SETTINGS altında bulunan mail adresinin düzeltilmesi yeterlidir.

Girdi dosyaları hazırlandıktan sonra GAMIT yazılımının kontrol aşamasını içeren komutların yer aldığı “sestbl.” dosyası hazırlanmıştır. Bu dosya ile verilerin değerlendirilmesi için gerekli olan ölçülerin ağırlıklandırılması, tamsayı belirsizliği çözümü, atmosferik ve yörünge parametrelerinin belirlenmesi ve model parametreleri (yer dönüş, yeryuvarı gel-git ve anten faz merkezi parametreleri) gibi kestirimler hazırlanmaktadır (Tiryakioğlu 2012, Herring *et al.* 2015).

“sestbl.” dosyasında radyasyon modeli için BERN1, BERN2, SPHRC gibi modeller, çözümü yapılacak ölçme türünde L1\_ONLY, L2\_ONLY, LC\_ONLY, L1, L2\_INDEPEND ve LC\_HELP gibi farklı değerlendirme stratejileri mevcuttur. Bununla beraber “sestbl.” dosyasının zenit gecikmesi kestirimi büyük ölçekli ağlarda atmosfer parametrelerinin kestirimi için gereklidir. Atmosferik gecikmeler, faz merkezi değişimleri ile istasyon nokta yükseklikleri, uydudan alıcıya gelen sinyalin yükseklik açısına bağlı olarak değişmektedirler. Bu kontrol dosyasında yer dönme parametreleri, uydu yörünge parametreleri ve ölçüleri ağırlıklandırma ile ilgili kontrol satırları yer almaktadır (Tiryakioğlu 2012, Herring *et al.* 2015).

Girdi dosyaları tamamlandıktan sonra **Sh\_gamit** komutu çalıştırılarak değerlendirme otomatik olarak yapılmıştır. Bu komut çalıştırıldıktan sonra değerlendirmenin başarılı bir şekilde tamamlanması için herhangi bir hata mesajı alınmamalıdır. Bu komut ile GAMIT otomatik olarak yıl klasöründe Şekil 4.8’de gösterilen dosyalar oluşacaktır.



Şekil 4.8 Değerlendirme sonrası GAMIT klasör yapısı.

Değerlendirme sırasında GAMIT herhangi bir hata veriyorsa, elde edilen gün dosyalarının içinde GAMIT.fatal dosyası oluşacaktır. Bu dosya oluşmuş ise o güne ait değerlendirmenin tamamlanmadığını gösterir ve hatanın nerede olduğunu yazmaktadır. Kontrol olarak gün klasörlerinde oluşan **qXXXXa.bbb** dosyası ile **autcln.post.sum.XXXX** dosyalarına bakılır (AAAA Çalışma klasörünün adı, bbb yılın günü) (Şekil 4.9). İlk olarak q dosyasının en alt satırında bulunan postfit.nrms değeri kontrol edilir ve bu değer  $0.15 < nrms < 0.25$  aralığında olması gerekmektedir (Şekil 4.10). Bu dosyada normlandırılmış karesel ortalama hata (nrms-Normalized Root Mean Square) bilgisi ile beraber, istasyon koordinatları, yer dönüş parametreleri ve uydu yörünge bilgileri sınırlamaları da bulunmaktadır. GAMIT ile yapılan günlük değerlendirmelerde nrms değeri belirtilen değerler arasında olduğu zaman kurulan modelin doğruluğu ve ölçülerin noise seviyelerinin kabul edilebilir seviyede olduğu düşünülebilir (Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012, Herring *et al.* 2015). Yapılan çalışma için elde edilen gün çözümlerinden üretilen nrms değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

```
229 NUM 18 ZONG 24228 690 909 787 825 916 713 797 799 674 605 798 664 823 800 886 898 676 826 891 740 816 804
230
231 RMS of 25-point averages by site and satellite (mm): Pass 18
232 AMS IT Site All Ratio 01 02 03 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 2
233 AMS 18 ARDG 6.7 1.51 6 8 5 6 9 8 8 4 6 4 6 3 5 9 7 11 7 8 8 5
234 AMS 18 AMAS 8.4 1.44 9 10 11 11 11 4 8 6 9 10 5 5 9 9 10 7 4 3 9 7
235 AMS 18 ANKR 7.1 1.28 5 8 4 14 7 3 5 4 8 6 7 4 5 8 9 8 11 5 7 6
236 AMS 18 ANRK 7.1 1.53 4 10 4 6 7 5 5 4 12 5 6 3 5 8 10 9 7 5 8 8
237 AMS 18 BILE 6.7 1.62 8 5 6 8 5 4 8 5 5 6 3 7 7 9 8 4 10 5 7 7
238 AMS 18 BOLU 13.0 1.21 10 11 6 7 8 7 16 7 9 19 8 5 20 31 14 6 11 6 11 13
239 AMS 18 BOYT 10.1 1.28 9 13 6 10 6 6 9 8 11 11 9 7 11 10 14 11 12 6 10 14
240 AMS 18 BUCU 6.3 1.42 6 7 4 8 6 2 4 3 4 7 6 4 8 13 6 4 9 6 5 6
241 AMS 18 CANK 9.6 1.38 4 9 9 6 10 6 8 13 15 8 9 11 7 17 14 14 7 11 9 7
242 AMS 18 CGCS 6.6 1.63 0 7 0 10 4 0 5 0 7 0 4 19 7 6 3 6 3 7 6
243 AMS 18 CMLD 7.9 1.48 5 7 4 5 6 5 11 5 6 6 8 3 6 15 8 10 10 11 9 8
244 AMS 18 CORU 8.6 1.47 14 12 7 8 9 8 10 5 14 10 5 5 11 13 7 8 10 8 8 8
245 AMS 18 CRAO 10.0 1.24 4 17 4 16 9 13 11 5 12 7 10 7 7 8 10 8 11 9 15 10
246 AMS 18 ESKS 6.1 1.68 3 9 4 6 8 3 4 4 5 6 6 4 5 6 7 7 6 7 6 6
247 AMS 18 FASA 7.6 1.37 7 8 6 9 9 5 7 5 10 6 8 4 5 9 9 8 8 6 8 6
248 AMS 18 GIRS 6.7 1.59 4 7 5 8 7 6 7 5 8 5 7 5 6 7 8 9 6 8 8 8
249 AMS 18 HEND 8.9 1.50 7 7 5 17 12 4 6 3 7 7 9 3 9 13 9 12 8 8 10 8
250 AMS 18 HYMN 7.0 1.57 10 5 5 9 8 5 9 7 10 4 4 4 10 10 8 5 7 6 5 6
251 AMS 18 IZMT 7.2 1.48 5 8 8 6 6 6 7 5 6 5 7 3 8 8 10 5 10 8 7 10
252 AMS 18 KDZU 6.1 1.67 0 5 0 8 3 0 17 0 6 0 5 3 10 9 7 3 8 5 6 3
253 AMS 18 KKAL 7.1 1.41 5 10 6 4 8 4 7 6 10 8 5 3 6 8 9 8 8 9 8 6
254 AMS 18 KRBK 11.4 1.33 8 13 6 11 9 5 14 6 12 14 7 5 10 13 10 9 14 10 11 13
255 AMS 18 KSTM 9.3 1.35 9 11 5 10 8 4 10 7 11 15 7 6 8 11 9 12 8 7 9 9
256 AMS 18 KURU 9.1 1.32 5 10 4 11 6 7 12 4 8 7 6 6 7 10 12 9 10 7 19 7
257 AMS 18 KZDR 8.4 1.45 0 7 0 9 8 0 5 0 5 0 6 1 11 13 9 4 7 3 8 7
258 AMS 18 MATE 8.5 1.38 6 13 6 8 9 6 8 12 7 6 6 5 14 7 6 7 11 9 8 5
259 AMS 18 NAHA 9.7 1.29 9 8 9 12 10 5 15 12 6 6 5 6 11 16 6 13 9 9 13 12
```

Şekil 4.9 GAMIT değerlendirme sonrası çıktı dosyası (autcln.post.sum dosyası).

```
26219 44 ZECK ZECK_4FS 2 0.01000 0.01000 100.0 0.01000 0.01000 100.0
26220 45 ZONG ZONG_GPS 2 0.01000 0.01000 100.0 0.01000 0.01000 100.0
26221
26222 **** Summary of biases-free solution ****
26223
26224
26225
26226 Total parameters: 3560 live parameters: 2216
26227 Prefit nrms: 0.81662E+00 Postfit nrms: 0.17116E+00
26228 -- Uncertainties not scaled by nrms
26229
26230
26231 End of loose solution with LC observable and ambiguities free
26232
26233
26234 Performing LC biases-fixed loose solution
26235
26236
26237 **** Summary of biases-fixed solution ****
26238
26239
26240 Total parameters: 3560 live parameters: 1080
26241 Prefit nrms: 0.81447E+00 Postfit nrms: 0.17518E+00
26242 -- Uncertainties not scaled by nrms
26243
26244
26245 End of loose solution with LC observable and ambiguities fixed
26246
26247 Normal stop in SOLVE
26248
```

Şekil 4.10 GAMIT değerlendirme sonrası çıktı dosyası (q-dosyası ve nrms sonuç örneği).

**Çizelge 4.8** GAMIT gün çözümleri nrms değerleri.

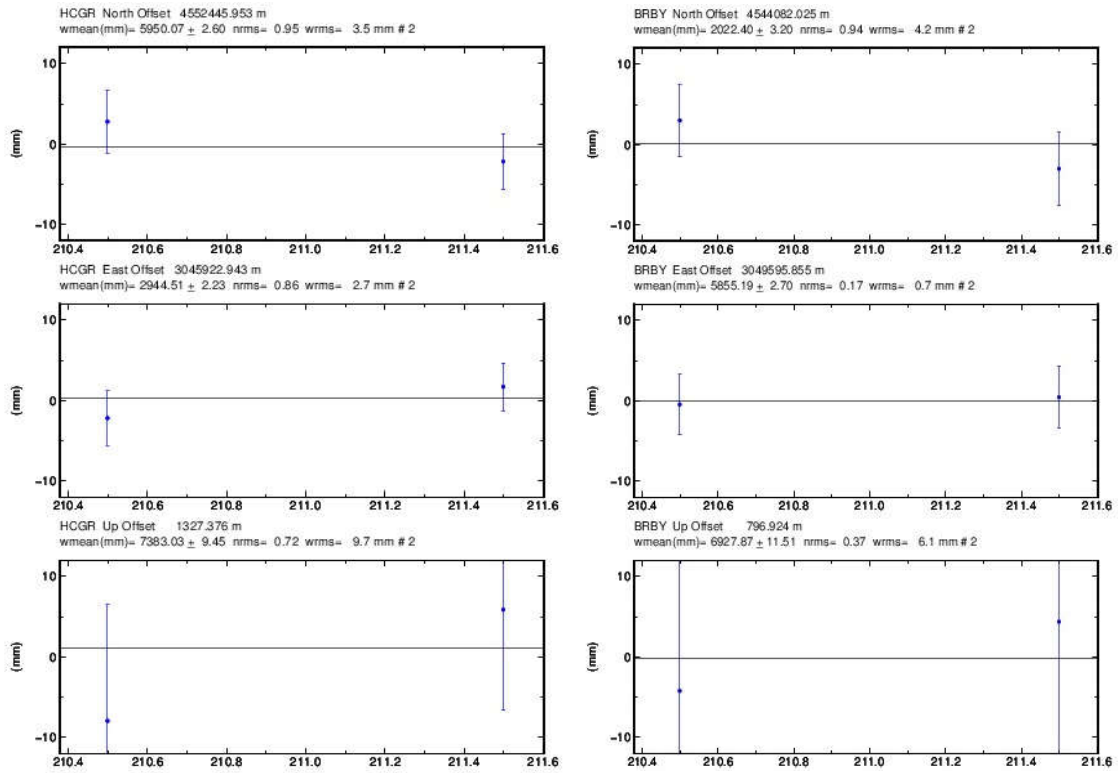
| Yıl  | Gün | nrms    | Yıl  | Gün | nrms    |
|------|-----|---------|------|-----|---------|
| 2014 | 235 | 0.17917 | 2016 | 210 | 0.17703 |
|      | 236 | 0.17552 |      | 211 | 0.17574 |
|      | 237 | 0.17759 |      | 213 | 0.17661 |
|      | 238 | 0.17923 |      | 214 | 0.17579 |
|      | 241 | 0.1768  |      | 215 | 0.17453 |
| 2015 | 215 | 0.17409 |      | 216 | 0.17596 |
|      | 216 | 0.17249 |      | 217 | 0.17512 |
|      | 217 | 0.17296 |      | 218 | 0.17397 |
|      | 218 | 0.17486 |      | 219 | 0.17327 |
|      | 219 | 0.17015 |      | 220 | 0.17518 |
|      | 220 | 0.17301 |      |     |         |
|      | 221 | 0.17457 |      |     |         |

“**autcln.post.sum.XXXX**” dosyası da GAMIT için diğer bir kontrol dosyasıdır. Bu dosyada GNSS ölçümü yapılan noktalara ait sonuçlar bulunmaktadır. Burada yapılacak kontrol **Allan SD@100** değeridir. Bütün GNSS ölçümleri için bu değer 50 ppb’den (parts per billion) küçük olması gerekir. Atomik oksilatörlü saatlere sahip olan alıcıların 1 ppb’den küçük olması beklenir. Aksi durumda kötü faz ölçüsü anlamına gelmemektedir. Ancak bu değerlerin yüksek olduğu noktalarda faz kesikliklerinin olma ihtimalini ve düzeltilememe ihtimallerinin arttığı bilinmektedir. İkinci kontrol ise GNSS ölçümü yapılan noktaların **range rms** değeridir. P kod için bozucu etki olmadan alıcılarda bu değer metre altında olması beklenmektedir. Bozucu etki altında bu değer 1000 mm ila 2000 mm arasında olması gerekmektedir (Tiryakioğlu 2012, Herring *et al.* 2009). Belirtilen değerlerin üzerinde bir değer varsa o nokta için öncül nokta koordinatlarının gerçek koordinatlarından on metreden daha fazla hatalı olduğu veya noktaya ait Rinex dosyasında hata olduğu düşünülmelidir. GAMIT bu istasyonu hesap işlemine dahil etmeyecek ve ilerleyen aşamalarda koordinatlarını hesaplamayacaktır.

Belirtilen kontrollerde istenilen kriterler sağlanıyorsa GAMIT hesap işlemini tamamlamış ve bir sonraki aşama olan ölçüm yapılan noktalara ait günlük tekrarlılık ve yıllık tekrarlılıkları (zaman serileri) üretmektedir.

**Sh\_glred** komutu gsoln klasörü içerisinde günlük tekrarlılıkları üretmek ve GLOBK çözümünde kullanılan H dosyalarını üretmek için kullanılmaktadır. Bu komut

çalıştırıldıktan sonra Gsoln klasörü içerisine gün sayısı kadar gdl, org, prt dosyaları oluşmaktadır. Ayrıca GLOBK değerlendirmesine başlamak için kullanılan H dosyaları ile zaman seri analizlerini incelemek için psbase\_XXXX.SITE dosyaları oluşmaktadır (XXXX proje adı, SITE nokta adı). Yapılan uygulama için, gün çözümlerinden elde edilen HCGR ve BRBY noktalarına ait günlük tekrarlılık grafikleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Bu grafiklerde her noktanın o güne ait konum bileşeni, noktanın üzerinde bulunduğu çubuk ise o konumun belirsizliğinin göstergesidir.



**Şekil 4.11** HCGR ve BRBY noktaları 2016 yılı ölçmeleri günlük tekrarlılıkları.

Günlük tekrarlılıklar özellikle aynı istasyon noktasında farklı günlerde yapılan ölçmelerin yorumlanmasında önemli bir yeri vardır. Günlük tekrarlılıklardan elde edilen normalize edilmiş karesel ortalama hata (nrms) ve ağırlıklandırılmış karesel ortalama hata (wrms) sonuçlarına bakılarak tekrarlı ölçüler hakkında yorum yapılır.

Koordinat belirsizlikleri, 24 saatlik GNSS ölçmelerle yatay koordinatlar için wrms değeri 1-2 mm, düşeyde ise wrms değeri 2-4 mm olarak elde edilmektedir. 8 saatlik GNSS

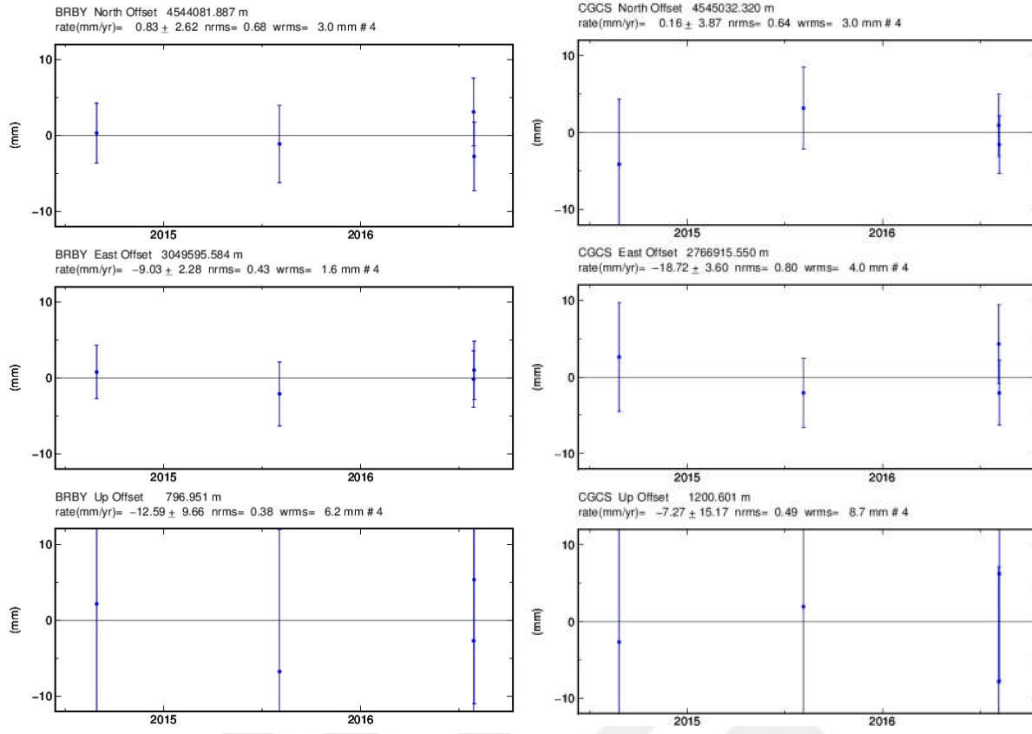
ölçmelerinde ise yatay koordinatlar için wrms değeri 2-4 mm, düşeyde ise wrms değeri 10-15 mm olması gerekmektedir (Tiryakioğlu 2012, Herring *et al.* 2015).

$$wrms = \sqrt{\frac{\left(\frac{n}{n-u} \sum \left(\frac{r}{\sigma}\right)^2\right)}{\sum \left(\frac{1}{\sigma}\right)^2}} \quad (4.1)$$

#### 4.3.2 GLOBK Değerlendirmeleri

GAMIT yazılımında değerlendirmeler sonucunda bütün günlere ait h dosya çıktılarından faydalanarak ikinci bir aşama olan hız verilerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bu aşamada hız verileri GLOBK yazılımı yersel veya uzaysal ölçüleri Kalman Filtreleme Tekniği ile oluşturmaktadır. Bu yazılımın ilk işlemi yıllık tekrarlılıkların, yani uzun dönem zaman serilerinin üretilmesidir. Zaman serisi çalışmalarını gerçekleştirmek için yıllarla aynı seviyede bir **vsoln** klasörü açılmalıdır. Bu klasörün açılmasıyla birlikte **sh\_plotcrd** komutu yazılarak zaman serileri üretilmektedir. Kalman filtreleme tekniği ile yapılan ileri ve geri çözümlerin hataları bütün zaman serileri boyunca dağıtması nedeniyle serilerden elde edilen her görüntü dikkatle izlenmeli ve yorumlanmalıdır. Bu bağlamda çalışma alanında bulunan GNSS ağındaki noktalarda 2014, 2015 ve 2016 yıllarına ait tekrarlılıklar **glred** komutu ile hesaplanmıştır. Hesaplanan tekrarlılıklar sonucu ölçülerde kaba hata olmadığı anlaşılmaktadır (Şekil 4.12).

Günlük ölçülerde kaba hata olmadığı gözlemlendikten sonra **cmd** uzantılı bir dosya ile kontrol edilen GLOBK modülü ile bölgesel ve IGS istasyonlarından oluşan ağı ait işlenmiş ölçüler (**h-file**) bağımsız olarak değerlendirmeye katılmıştır. Bu modül ile farklı günlere ait işlenmiş ölçüler birleştirilerek tek bir işlenmiş ölçüye dönüştürülmüştür. GLOBK modülü referans sistemini tanımlamadan birleştirme işlemini yapmaktadır.



Şekil 4.12 BRBY ve CGCS noktaları yıllık tekrarlılık grafikleri.

Referans sistemi tanımlamak, hız tahmini yapmak ve uygulanan sıkıştırımların çözüme etkisini belirlemek için “glorg” modülü kullanılmaktadır. Bu modül ile hız tahmini yapılırken yatay konumları ve hızları arasındaki sapma minimum olan noktalar kullanılmaktadır. Bu işlem sonucunda üç dönüklük, üç öteleme ve bir ölçek faktörü hesaplanır. Belirlenen bu sonuçlar org uzantılı bir dosya olarak basılmaktadır. “glorg” modülü de diğer komutlar gibi cmd uzantılı bir kontrol dosyası ile yönetilmekte ve bu komut sayesinde IGS2in belirlediği genel referans sistemine dönüşüm için kullanılan istasyon noktalarına, uydu yörünge parametrelerine ve yer dönme parametrelerine kısıtlamalar getirilir. GLOBK ve “glorg” modülü birlikte çalıştırılabildiği gibi ayrı ayrı da çalıştırılabilmektedir.

#### 4.3.3 GNSS Hızlarının Hesaplanması

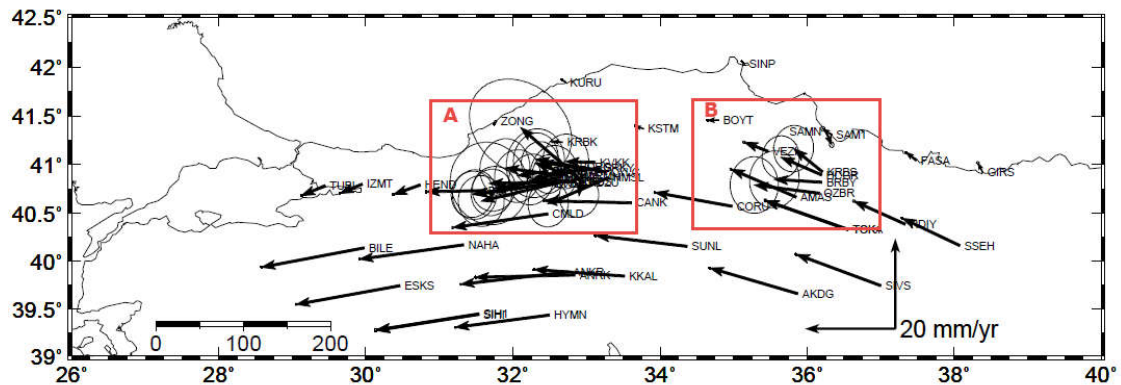
Stabilizasyon çalışmaları GLOBK’nın en önemli aşamasıdır ve global ya da bölgesel olmak üzere iki türlü yapılabilir. Global stabilizasyon genellikle önceden tanımlamaları yapılmış büyük plakalara göre hız alanı belirleme işlemidir. Bölgesel stabilizasyon ise noktaların birbirlerine göre hızlarını hesaplamak üzere kurulmuş bir stabilizasyon

yöntemidir. Global stabilizasyonda GAMIT aşamasında değerlendirmeye katılan IGS istasyonlarından uygun olanlar stabilizasyon için seçilmelidir. Bu tez çalışmasında Avrasya plakası sabit olacak şekilde toplam 11 IGS istasyonlarından zaman serileri istikrarlı olan (yatay konum için wrms değeri 1-2 mm, nrms değeri 1 mm) 8 istasyonun kullanılması planlanmıştır (Çizelge 4.9).

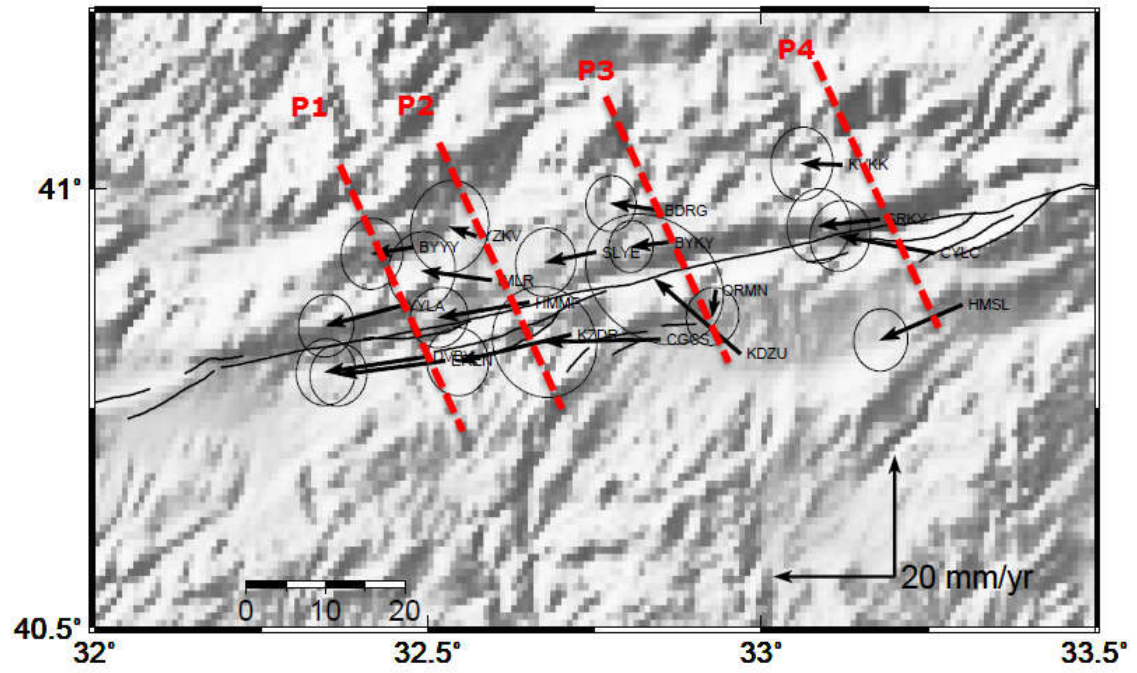
**Çizelge 4.9** Stabilizasyonda kullanılan IGS istasyonları.

| Nokta Adı | Şehir/Ülke      | Nokta Adı | Şehir/Ülke            |
|-----------|-----------------|-----------|-----------------------|
| ONSA      | Onsala, İsviçre | TEHN      | Tahran, İran          |
| BUCU      | Bükreş, Roma    | SOFI      | Sofya, Bulgaristan    |
| CRAO      | Simeiz, Ukrayna | WTZR      | Koetzting, Almanya    |
| MATE      | Matera, İtalya  | ZECK      | Zelenchukskaya, Rusya |

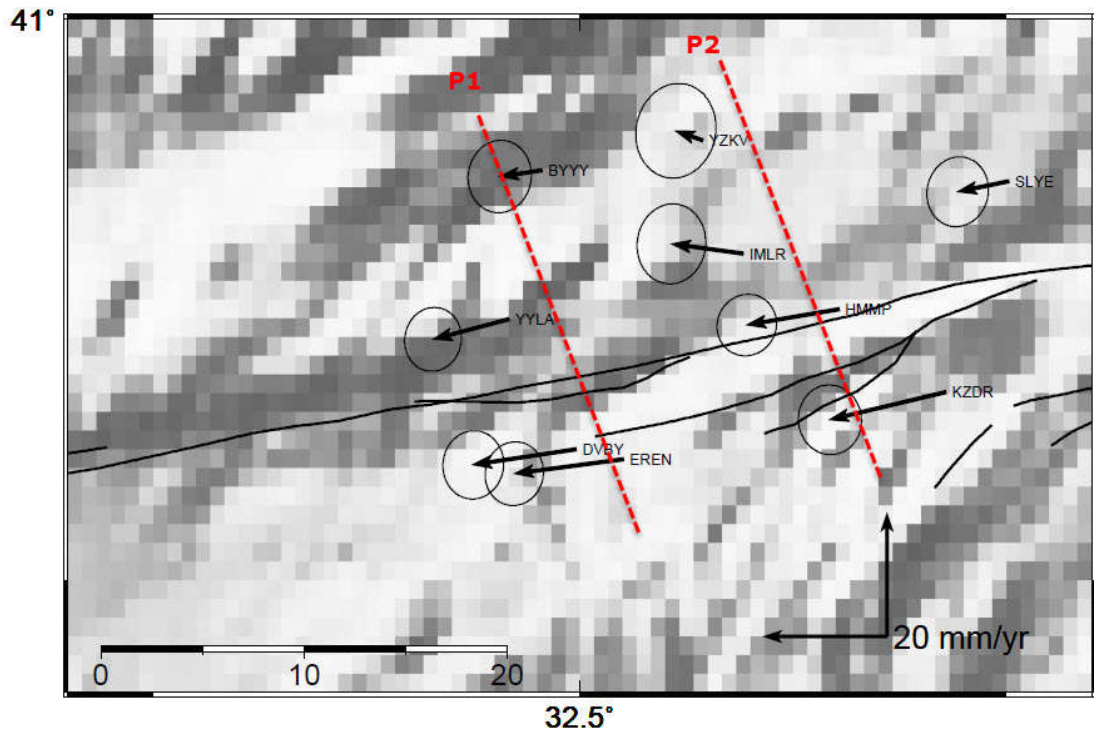
GLOBK programı stabilizasyon için seçilen tüm noktaları kullanmayabilir. Değerlendirmede gerçekleştirilen 4 iteratif çözüm sonucunda en iyi sonuç veren noktalar stabilizasyon için kullanılmıştır. İterasyon sonucu GLOBK stabilizasyon sonrası hesaplanan hız değerlerinin post RMS değerleri Avrasya plakası için 0.7 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen tüm hız haritası Şekil 4.13’de, İsmetpaşa segmenti Şekil 4.14-16’de, Destek Segmenti Şekil 4.17’de, ve hız değerleri ise Çizelge 4.10’da verilmiştir.



**Şekil 4.13** Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen hızlar. A) İsmetpaşa segmentini, B) Destek segmenti göstermektedir.

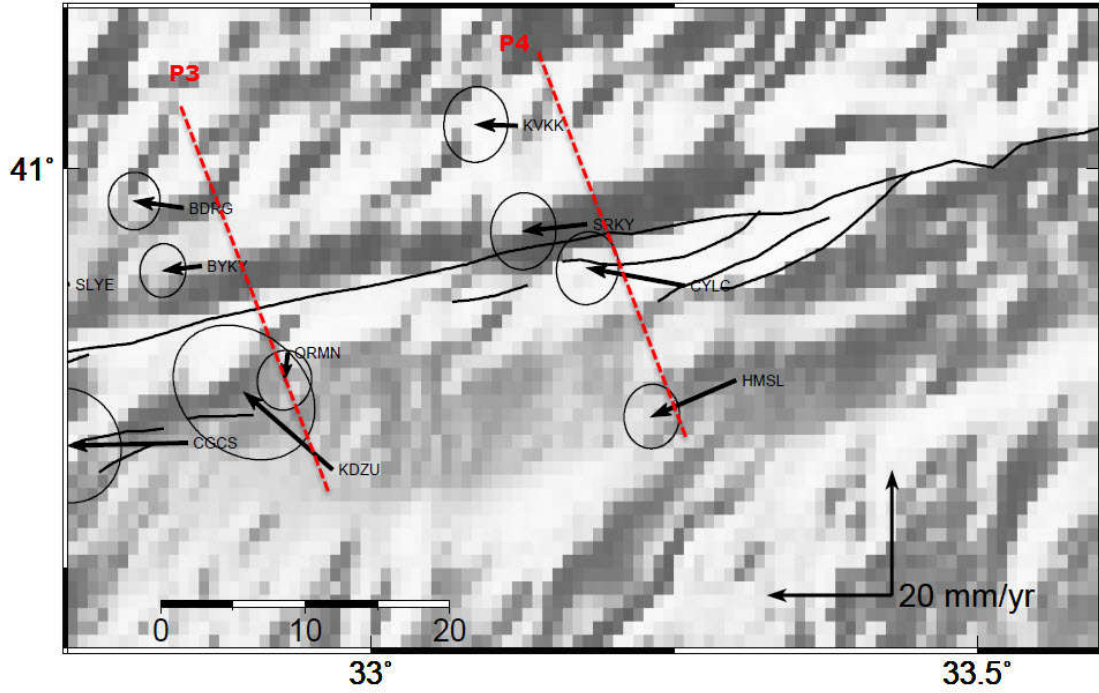


Şekil 4.14 Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen İsmetpaşa segmentinin hızları (P1-P4 profilleri).

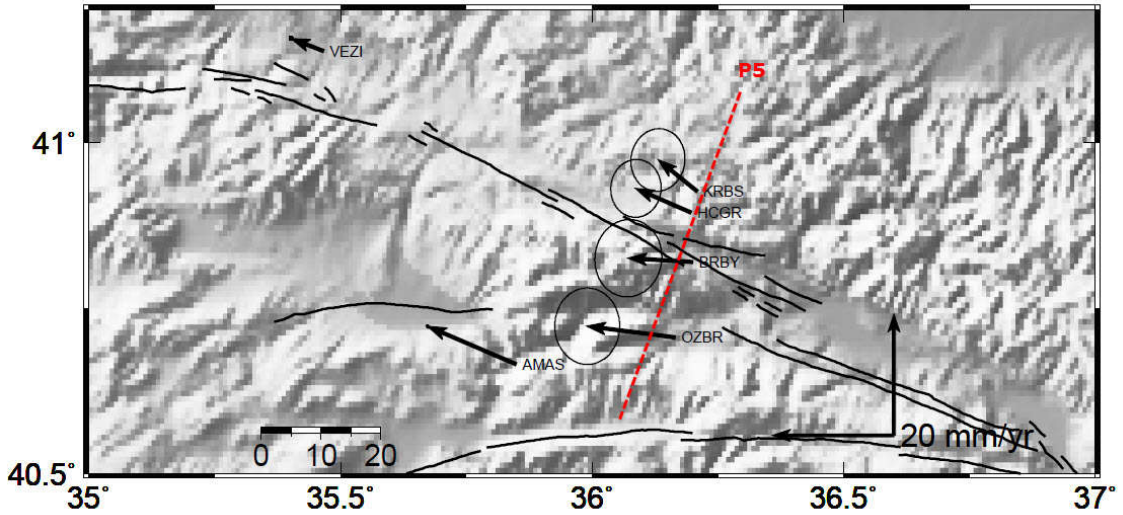


Şekil 4.15 Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen İsmetpaşa segmentinin P1-P2 profil , hızları.

GLOBK programı stabilizasyon için seçilen tüm noktaları kullanmayabilir. Değerlendirmede gerçekleştirilen 4 iteratif çözüm sonucunda en iyi sonuç veren noktalar stabilizasyon için kullanılmıştır.



Şekil 4.16 Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen İsmetpaşa segmentinin P3-P4 profil hızları.



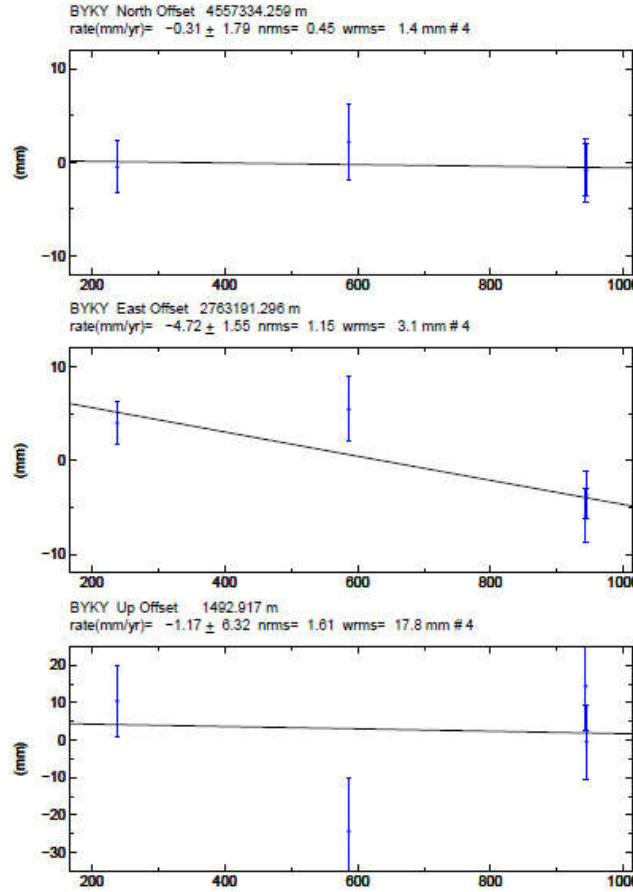
Şekil 4.17 Avrasya plakası sabit kabul edilerek elde edilen Destek segmentinin P5 profil hızları.

**Çizelge 4.10** Avrasya plakası sabit alınarak hesaplanan hız değerleri.

| Nokta No | Hız (mm/yıl)      |                    | Hata Miktarı (mm) |                    | Nokta No | Hız (mm/yıl)      |                    | Hata Miktarı (mm) |                    |
|----------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|          | V <sub>Doğu</sub> | V <sub>Kuzey</sub> | V <sub>Doğu</sub> | V <sub>Kuzey</sub> |          | V <sub>Doğu</sub> | V <sub>Kuzey</sub> | V <sub>Doğu</sub> | V <sub>Kuzey</sub> |
| AKDG     | -19.5             | 5.7                | 0.1               | 0.1                | KDZU     | -14.1             | 12.3               | 4.6               | 4.4                |
| AMAS     | -14.5             | 6.2                | 0.1               | 0.1                | KKAL     | -20.1             | 1.5                | 0.1               | 0.1                |
| ANRK     | -22.1             | -0.5               | 0.1               | 0.1                | KRBK     | -2.3              | 0.1                | 0.1               | 0.1                |
| BDRG     | -7.8              | 1.1                | 1.7               | 1.9                | KRBS     | -6.4              | 5.2                | 1.8               | 2.1                |
| BILE     | -22.8             | -4.3               | 0.1               | 0.1                | KSTM     | -1.9              | 0.6                | 0.1               | 0.1                |
| BOLU     | -12.8             | -0.2               | 0.1               | 0.1                | KURU     | -0.9              | 0.5                | 0.1               | 0.1                |
| BOYT     | -2.5              | -0.1               | 0.1               | 0.1                | KVKK     | -6.6              | 0.2                | 2.1               | 2.5                |
| BRBY     | -10.6             | 0.6                | 2.3               | 2.6                | KZDR     | -18.7             | -4.5               | 2.1               | 2.3                |
| BYKY     | -6.1              | -0.7               | 1.5               | 1.8                | NAHA     | -23.1             | -3.2               | 0.1               | 0.1                |
| BYYY     | -6.8              | -1.0               | 2.1               | 2.4                | ORMN     | -0.6              | -4.4               | 1.8               | 2.0                |
| CANK     | -19.4             | 0.5                | 0.1               | 0.1                | OZBR     | -14.4             | 1.8                | 2.2               | 2.6                |
| CGCS     | -19.2             | -0.4               | 3.5               | 3.7                | RDIY     | -11.4             | 5.1                | 0.1               | 0.1                |
| CMLD     | -21.1             | -3.0               | 0.1               | 0.1                | SAM1     | -1.9              | 1.3                | 0.2               | 0.2                |
| CORU     | -17.2             | 3.1                | 0.1               | 0.1                | SAMN     | 1.3               | -3.0               | 0.2               | 0.2                |
| CYLC     | -15.5             | 2.8                | 2.0               | 2.4                | SIH1     | -22.8             | -3.6               | 0.1               | 0.2                |
| DVBY     | -16.6             | -2.5               | 2.0               | 2.3                | SIHI     | -22.8             | -3.6               | 0.1               | 0.2                |
| EREN     | -17.6             | -2.3               | 1.9               | 2.1                | SINP     | -0.7              | 0.5                | 0.1               | 0.1                |
| ESKS     | -23.1             | -4.2               | 0.1               | 0.1                | SIVS     | -18.8             | 7.0                | 0.1               | 0.1                |
| FASA     | -2.2              | 1.8                | 0.1               | 0.1                | SLYE     | -8.2              | -1.7               | 2.0               | 2.3                |
| GIRS     | -1.0              | 2.1                | 0.1               | 0.1                | SRKY     | -10.1             | -1.1               | 2.1               | 2.5                |
| HCGR     | -9.1              | 3.9                | 1.7               | 1.9                | SSEH     | -12.8             | 6.1                | 0.1               | 0.1                |
| HEND     | -6.0              | -2.2               | 0.1               | 0.1                | SUNL     | -20.4             | 2.4                | 0.1               | 0.1                |
| HMMP     | -14.9             | -2.5               | 2.0               | 2.0                | TOK1     | -18.4             | 6.4                | 0.1               | 0.1                |
| HMSL     | -13.4             | -5.8               | 1.8               | 2.1                | VEZI     | -5.3              | 2.1                | 0.1               | 0.1                |
| HYMN     | -20.9             | -2.7               | 0.1               | 0.1                | YYLA     | -12.2             | -3.3               | 1.9               | 2.1                |
| IMLR     | -11.5             | 1.6                | 2.3               | 2.6                | YZKV     | -4.4              | 1.5                | 2.6               | 3.1                |
| IZMT     | -5.0              | -2.1               | 0.1               | 0.1                | ZONG     | -0.5              | -0.7               | 0.1               | 0.1                |

Genel anlamda İsmetpaşa segmentinde bulunan 4 profil incelendiğinde, KAFZ'ın kuzeyinde kalan ilk profil noktaların bulunduğu bölgelerde hızların 5-7 mm/yıl faya yakın ikinci noktaların ise 10-14 mm/yıl hızla batıya hareketi görülmektedir. Bu hareket KAFZ'ın güneyinde kalan bölgelerde ise 15-20 mm/yıl olarak gözlenmiştir. Profiller teker teker incelenecek olursa P1 ve P2 profilinde hızların kendi içinde uyumlu olduğu ve K-G yönünde artarak yaklaşık D-B yönünde hareket ettiği görülmüştür (Şekil 4.14-

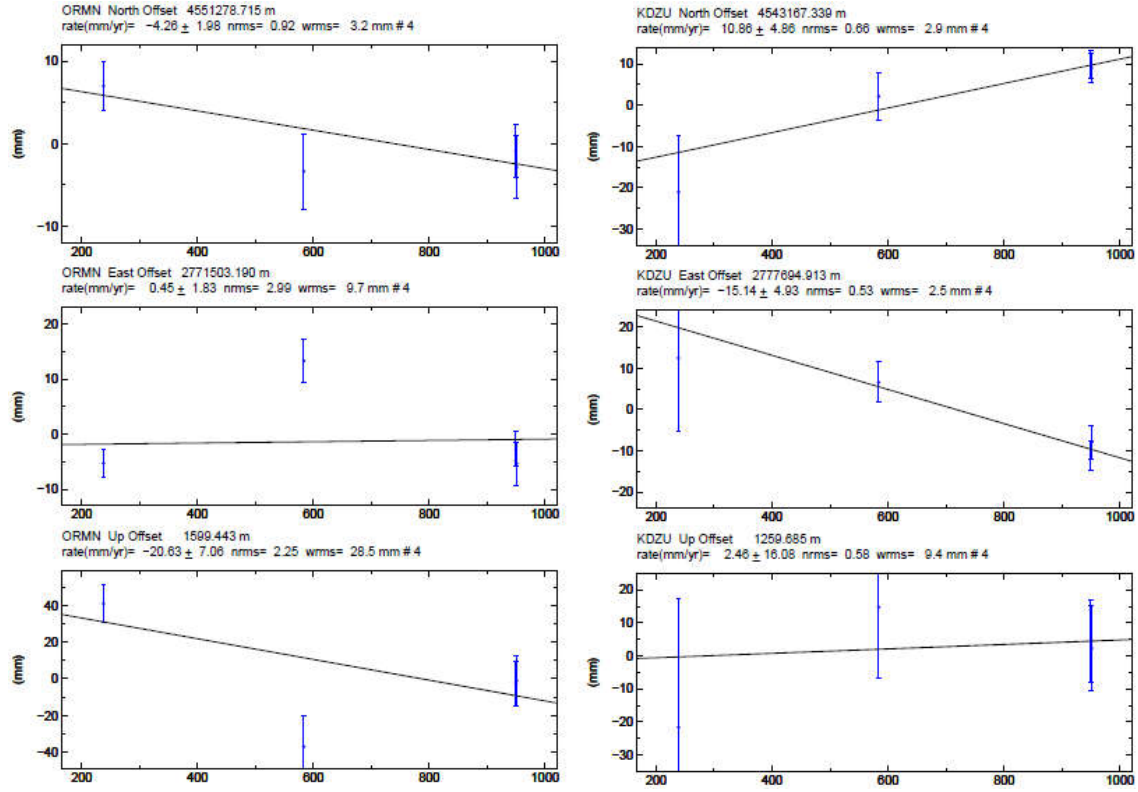
4.16). Bu segmentin doğusunda yer alan P3-P4 profilleri incelendiğinde fayın kuzeyinde kalan noktalarda genel anlamda bölgenin tektoniği ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ancak bu profillerde faya yakın BYKY ile SRKY noktaları arasında büyük fark görülmektedir. BYKY noktasının bu bölgede bulunan profillerdeki faya yakın diğer noktalara (YYLA, HMMP, SRKY) göre ortalama 5 mm/yıl daha yavaş hareketi dikkat çekmektedir. BYKY noktasının tekrarlılık grafikleri incelendiğinde, noktanın trendine aykırı bir hareket olmadığı görülmüştür. Bu nedenle noktada lokal deformasyonun olmadığı ve noktanın tektonik kaynaklı bir hareketi olduğu düşünülmüştür (Şekil 4.18). Bu hareketin P3-P4 profilleri arasında sıkışma olabileceği düşüncesi uyandırmıştır.



Şekil 4.18 BYKY noktası tekrarlılık grafikleri.

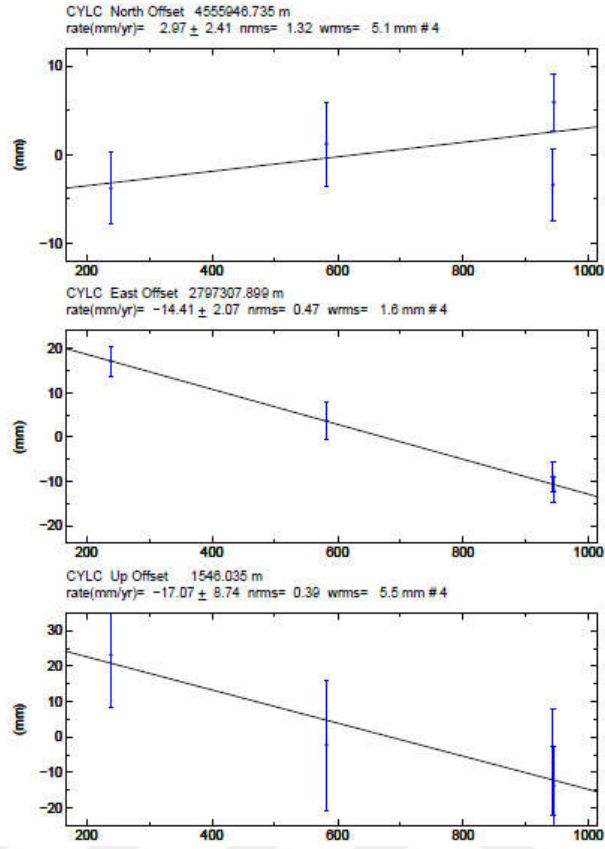
P3-P4 profillerinin KAFZ güneyinde kalan bölgelerde ise durum çok farklıdır. P3 profilinde ORMN ve KDZU bölge ile uyumsuz hareketi dikkat çekmektedir. Bölgedeki bu hareketler ilk akla noktalarda lokal deformasyon olabileceğini getirmektedir. ORMN ve KDZU yıllık tekrarlılık grafikleri incelendiğinde ORMN noktasının trend dışında

hareket ettiği görülmüştür (Şekil 4.19). Bu hareket noktada lokal deformasyonun olduğunu göstermektedir. KDZU noktasında ise nokta belirli bir trend içinde olduğu görülmüştür. Bu hareketin tektonik kaynaklı olabileceği düşünülmektedir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 ORMN ve KDZU noktası tekrarlılık grafikleri.

P4 profili incelendiğinde CYLC noktası dışında diğer profillerle uyumlu olduğu görülmüştür. CYLC noktasının tekrarlılık grafikleri incelendiğinde trendli hareketi dikkat çekmektedir. Destek Segmentinde bulunan P5 profili incelendiğinde diğer profillere benzer sonuçlar görülmektedir.



Şekil 4.20 CYLC noktası tekrarlılık grafikleri.

## 5. SONUÇLAR

KAFZ üzerinde Bolu-Çorum Segmentinde hız alanı belirlemek için 22 noktalı bir GNSS ağı kurulmuş ve 2014 -2015-2016 yıllarında GNSS ölçüleri yapılmıştır. Bölgede 2008 yılında kurulan 30 tane TUSAGA-Aktif istasyonu da bu ağa dahil edilmiştir. Böylece toplam 52 noktaya sahip Tektonik GNSS Ağı kurulmuştur. Veriler GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilmiştir.

Elde edilen hız alanı (Şekil 4.13) incelendiğinde çalışma bölgesinin Avrasya referans sistemine göre yıllık 15-20 mm'lik hızla batı yönünde bir hareket sergilediği görülmüştür. KAFZ'ın üstünde (Kuzey) kalan noktalarda ortalama 2-3 mm hızlar görülürken, KAFZ altında kalan bölgelerde güneye doğru hız değerlerinin büyüdüğü görülmektedir. Bu hareketin birçok çalışmada belirttiği gibi Anadolu'nun saat hareketinin tersi yönünde hareketini desteklemektedir. Bu sonuçlar bölgede yapılan diğer çalışmalarla uyum içinde olduğunu göstermektedir (Yavaşoğlu 2009, Yavasoglu *et al.* 2015).

Hesaplanan hız alanı, Avrasya ve Anadolu plakası üzerindeki noktalarda kuzeyden güneye ve Anadolu plakası üzerindeki noktalarda doğudan batıya doğru olarak artış göstermektedir. P4 ve P5 profillerinde yaklaşık olarak fayın üzerinde yer alan sırasıyla SRKY ve BRBY noktalarının fay boyunca hızının (Doğu - Batı bileşeni) 10 mm, faya dik hızının (Kuzey - Güney bileşeninin) yaklaşık 1 mm olduğu görülmektedir. Bu profillerde yer alan noktaların kuzeyden güneye doğru hızlarındaki artış miktarı ele alındığında buradaki fayın hızının Avrasya plakasına göre ortalama 10 mm olduğunu kanıtlanmaktadır.

P1 ve P2 profillerini oluşturan noktaların hızları detaylı incelendiğinde bu profillerin bulunduğu bölgede fay boyunca hızın (Doğu - Batı bileşeni) yaklaşık 14 mm, faya dik hızın (Kuzey - Güney bileşeninin) yaklaşık 2 mm olduğu gözlemlenmiştir. P2 profilini oluşturan noktalardan HMMP noktası fayın üzerinde yer almaktadır ve bu noktanın faya paralel hızı 14.9 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu sonuç fay hızının doğruluğunu

bir kez daha kanıtlamaktadır. P3 profilini oluşturan noktalar detaylı incelendiğinde ise bu bölgede anlamlı bir hız alanı tespit edilememiştir.

P3 profilinde, fayın kuzeyinde yer alan ve faya yakın olan BYKY noktasının, diğer profillerdeki faya yakın olan noktalara göre ortalama 5 mm/yıl daha yavaş hareketinden dolayı deformasyonun varlığından söz edebiliriz. P3 profilinin güneyinde yer alan ORMN noktasında zaman serilerindeki trend bozukluğu, bu noktada lokal deformasyon olduğunu göstermektedir. Yine P3 profilinin güney tarafındaki faya en uzak noktası olan KDZU noktasının hareketi, ağı oluşturan diğer noktalara göre farklı olması bu bölgede tektonik hareketin varlığına işaret etmektedir.

Tez çalışması sonucunda elde edilen bilgiler ışığında tektonik amaçlı yapılacak GNSS ölçmelerinde dikkat edilmesi gereken hususlar ve bölgenin tektoniği ile ilgili öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen günlük ve yıllık tekrarlılıklar incelendiğinde, zorunlu merkezlendirme olan pilye tesislerinde yapılan ölçülerin, zemin tesislerinde kullanılan anten yüksekliği sabit zincirli tripotlar (GPS mast) ile yapılan ölçülerin sonuçları arasında bir fark görülmemektedir.
- Zemin tesislerinde GNSS ölçüsü yapılacaksa alet sehpa yerine zorunlu merkezlendirmeli ve anten yüksekliği sabit zincirli tripot türü sehpa kullanılmalıdır.
- Yapılacak GNSS ölçüleri en az iki gün tekrarlı yapılmalı ve günlük gözlem süreleri en az 6 saat olması gerekmektedir. Aynı noktada 8 saat den fazla yapılan ölçülerin doğruluklarında 6 saatlik ölçülere göre yatay bileşenlerde anlamlı bir değişikliğin olmadığı görülmüştür
- Kuzey Anadolu'da bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarının verileri günlük değerlendirilerek noktaların davranışları belirlenmelidir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda çatı tesislerinin de zemin tesisleri kadar sağlıklı ölçü topladığı görülmektedir.

- Bölgede kurulan ağda yeni tesis edilen noktaların sonuçlarının iyileştirilmesi için GNSS ölçülerine devam edilmelidir.
- Sürekli gözlem yapan GNSS istasyonlarının bölgede sıklaştırılması ile online izleme ağları, kampanya ağları ile desteklenmelidir.



## 6. KAYNAKLAR

- Aktuğ, B., Lenk, O. (2010) Yeni Gelişmeler Işığında Ağ Hiyerarşisi, Ölçü Süreleri ve Duyarlık Ölçütlerinin İncelenmesi, *Harita Dergisi*, **144**: 40-50.
- Altın, M. U. (2006). Kuzey Anadolu Fayının Batı Marmara Bölümündeki Hareketlerinin GPS Ölçmeleri İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Ens. İstanbul.
- Ambraseys, N. N. (1970). Some characteristic features of the anatolian fault zone. *Tectonophysics*. Amsterdam, **9**: 143–165.
- Aytun, A. (1973). İsmetpaşa istasyonu civarında krip ölçümleri, Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşağı Sempozyumu, *MTA Enstitüsü Yayını*, 114-121.
- Aytun, A. (1982). Creep measurements in the ismetpaşa region of the north anatolian fault zone, in progress in earthquake prediction, Friedr. Vieweg and Sohn, *F.R.G*, **2**: 279-294.
- Barka, A. A. (1992). The north anatolian fault zone. *Annales Tectonicae*, **6**: 164-195.
- Barka, A. A. and Kadinsky, C. K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, **7**: 663-684.
- Burgmann, R., D. Schmidt, R. M. Nadeau, M. d'Alessio, E. Fielding, D. Manaker, T. V. McEvelly, and M. H. Murray, (2000). Earthquake Potential Along the Northern Hayward Fault, California, *Science*, **289 (5482)**: 1178 - 1182.
- Çakır, Z. (2003). Analysis of The Crustal Deformation Caused by The 1999 İzmit And Düzce Earthquakes Using Synthetic Aperture Radar Interferometry, İTÜ FBE, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Çakır, Z., Akoglu, A. M., Belabbes, S., Ergintav, S. and Meghraoui, M. (2005), Creeping along the Ismetpasa section of the North Anatolian Fault (Western Turkey): Rate and extent from InSAR., *Earth Planet. Sc. Lett*, **238**: 225–234.
- Cakir, Z., Ergintav, S., Ozener, H., Dogan, U., Akoglu, A.M. (2012). Meghraoui M, Reilinger R. Onset of aseismic creep on major strike-slip faults. *Geology*, **40(12)**: 1115–1118.
- Çakmak, R. (2001). Marmara Bölgesi'nde Kabuk Deformasyonlarının GPS Yardımıyla İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çetin, E., Cakir, Z., Meghraoui, M., Ergintav, S., Akoglu, A.M. (2014). Extent and distribution of aseismic slip on the Ismetpasa segment of the North Anatolian Fault (Turkey) from Persistent Scatterer InSAR. *Geochemistry Geophysics, Geosystems* **15**: 2883-2894.

- Demirtaş, R. ve Yılmaz, R. (1996). Türkiye'nin sismotektoniği; sismisitedeki uzun süreli değişim ve güncel sismisiteyi esas alarak deprem tahminine bir yaklaşım. Teknik araştırma raporu, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Gn. Md. Ankara.
- Derelioğlu, B. (2007). GPS ve GPRS Tabanlı Geniş Alan Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dirik, K. (2006) Fiziksel Jeoloji I. Ders Notları (Yayınlanmamış), Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Bölümü, Ankara.
- Eckl, M.C., Snay R., Soler T., Cline, M.W. and Mader, G.L. (2001), Accuracy Of GPS-Derived Relative Positions As A Function Of İnterstation Distance And Observing Session Duration. *Journal Of Geodesy*, **75(12)**: 633-640.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. (2013). 1/1.125.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi*, Ankara, Türkiye.
- Eren, K.(1984). Strain analysis along the North Anatolian fault by using geodetic surveys. *Bulletin Géodésique* **58**: 137–149.
- Görmüş, K. S. (2011). Kuzey Anadolu Fayı İsmetpaşa Segmentindeki Krip Hızı Değişiminin İzlenmesi, Doktora Tezi, ZKÜ, Fen Bilimleri Ens. Zonguldak.
- Gürkan, O., Özener, H., Doğru, A. G., Yılmaz, O. ve Turgut, B. (2005). Tektonik deformasyonların jeodezik ölçme teknikleri ile izlenmesi (KAFZ batı kesimi çalışmaları). *10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. Ankara, 12-19.
- Halıcıoğlu K., Özener H., Ünlütepe A., (2009) Fay Parametreleri ve Kontrol Ağlarının Tasarımı, *12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı* Bildiriler Kitabı, Ankara.
- Herring, T. A. (1999). Geodetic Applications Of GPS, *IEEE*, **87**:1.
- Herring, T. A. (2000). Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program, Program Manuel, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA.
- Herring T.A., King, R.W., Floyd, M. A., ve McClusky, S.C. (2015). GAMIT reference manual, Release 10.4. Department of Earth, *Atmospheric and Planetary Sciences*, Mass. Inst. Of Technol.
- Herring T.A., Floyd, M. A., King, R.W., ve McClusky, S.C. (2015). Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program 10.6. Department of Earth, *Atmospheric, and Planetary Sciences*, Massachusetts Institute of Technology.
- Hofmann-Wellenhof, B. and Lichtenegger, H. and Wasle, E. (2008). GNSS Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more. Springer Wien New York, 309-466.

- Kaneko, Y., Fialko, Y., Sandwell, D. T., Tong, X., Furuya, M. (2013). Interseismic deformation and creep along the central section of the North Anatolian fault (Turkey): InSAR observations and implications for rate-and-state friction properties. *Journal of Geophysical Research* **118**(1): 316–331.
- Kaplan, D. E. ve Hegarty, C. J. (2006). Understanding GPS Principles and Application. *Artech House*, Second Edition, Boston.
- Karaman, E. (2006). Yapısal Jeoloji ve Uygulamaları, Gelişim Yayınevi.
- Karabacak, V., Altunel, E., Cakir, Z. (2011). Monitoring aseismic creep along the North Anatolian Fault (Turkey) using groundbased LIDAR. *Earth and Planetary Science Letters*, **304**: 64–70.
- Ketin, İ. (1948). Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anatolischen Erdbeben des letzten Dezenniums. *Geol. Rund.* **36**: 77-83.
- Ketin, İ. (1969). Kuzey anadolu fayı hakkında. *M.T.A. Dergisi*, **72**: 1-27.
- Kibici, Y. (2005). Deprem, A.K.Ü. Yayınları, **59**.
- King, R. W. and Bock, Y. (2002). Documentation For .The GAMIT GPS Analysis Software. Program Manuel, Massachusetts Institute of Technology, ABD.
- Kogure, S. ve Yasuda, A. (2009). Status and Future Plans for QZSS, ENC-GNSS, Napoli, İtalya.
- Köksal, E. (2011). Yüzey Deformasyonlarının Diferansiyel İnsar Tekniği İle Belirlenmesi: İsmetpaşa Örneği. Doktora Tezi, ZKÜ, Fen Bilimleri Ens. Zonguldak.
- Kutoğlu, Ş. H., Akçın, H. ve Azar, A. (2005). 1972'den 2002'ye İsmetpaşa Jeodezik ağının deformasyon gözlemlerinin analizi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 13-17.
- Kutoğlu, Ş. H. ve Akçın, H. (2006). Determination of 30-year creep on the İsmetpaşa segment of the North Anatolian Fault using an old geodetic network, *Earth Planets Space*, v.**58**: 937–942.
- Kutoğlu, Ş. H., Akçın, H., Kemaldere, H. and Görmüş, K. S. (2008). Triggered creep rate on the İsmetpaşa segment of the North Anatolian Fault. *Natural Hazards Earth Syst. Sci.*, **8**: 1369–1373.
- Kutoğlu Ş. H., Akçın, H., Görmüş, K. S. ve Kemaldere, H. (2009). Kuzey Anadolu Fayı İsmetpaşa segmentinde gerçekleştirilen jeodezik çalışmalar. *12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiriler Kitabı*, Ankara. 55-63.

- Kutoğlu, Ş. H., Akcin, H., Gündoğdu, O., Görmüş, K. S. ve Köksal, E. (2010). Relaxation on the Ismetpasa segment of the North Anatolian Fault after the Golcuk Mw =7.4 and Duzce Mw =7.2 shocks. *Natural Hazards Earth Syst. Sci.*, v.10: 2653–2657.
- Leick, A. (2004). *GPS Satellite Surveying*. 3. Basım, John Wiley & Sons, Hoboken New Jersey.
- Malservisi, R., Gans, C. and Furlong, K. P. (2003). Numerical modeling of strike-slip creeping faults and implications for the Hayward fault. *California Tectonophysics*, **361**: 121–137.
- Mcclusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadriya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M.N. ve Veis, G. (2000). Global Positioning System Constraints On Plate Kinematics and Dynamics in The Eastern Mediterranean and Caucaus. *Journal of Geophysical Research*, **105**: 5695.
- Mckenzie, D. (1978). Active Tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* **30**: 109-185.
- Mekik, Ç. (2010). Global Uydu Navigasyon Sistemleri ve Uydu Bazlı Alan Büyütme Sistemleri, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çalıştayı, İstanbul.
- Okay, A. I. Demirbağ, E., Kurt, H., Okay, N. ve Kuşçu, İ. (1999). An active, deep marine strike slip basin along the North Anatolian fault in Turkey. *Tectonics*, **18 (1)**: 129-147.
- Oral, B. C. (1994). GPS Measurements in Turkey (1988-1992) Kinematics of the Africa-Arabia Eurasia Plate Collision Zone, Doktora Tezi, MIT, Massachusetts Institute of Technology, , Boston.
- Öcalan, T. ve Soykan, M. (2011). GNSS Verisinin Gerçek Zamanlı İletimi İçin Uluslararası Standartlar ve Gelişmeler. *HKM Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, Özel Sayı **2(104)**: 123-133.
- Över, S. (1999). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun orta ve batı kesiminde bölgesel gerilme durumunun incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **42 (1)**: 85-96.
- Özener, H., Dogru, A., Turgut, B. (2012). Quantifying aseismic creep on the Ismetpasa segment of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by 6 years of GPS observations. *Journal of Geodynamics* **67**: 72–77.
- Özener, H., Turgut, B., Garagon, Doğru, A., Halıcıoğlu, K., Gürkan O. (2007). Kuzey Anadolu Fay Zonu batı ve doğu kesimlerinde güncel kabuk hareketlerinin jeodezik

- yöntemlerle belirlenmesi. *11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiriler Kitabı*, Ankara.
- Özmen, B. (1995). Depremlerin Önceden Bilinmesinde Kullanılan Yöntemler (Yayınlanmamış). Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Seminer Dersi, 45 s.
- Polat, A. (2011). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Suşehri Havzası'ndaki Bölümünün Neotektonik ve Paleosismolojik Özellikleri. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Poyraz, F. (2009). Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri Ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Poyraz F., Tatar O., Hastaoğlu K. Ö., Türk T., Gürsoy Ö., Ayazlı İ. E. (2011). Elastik atım teorisi: Kuzey Anadolu Fay Zonu Örneği, *13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiriler Kitabı*, Ankara. 81-82.
- Pratt, A. R. ve Owen, J. J. R. (2004). Performance of GPS/Galileo Receivers Using m-PSK BOC Signals. *Proceedings of the 2004 National Technical Meeting of The Institute of Navigation*, 26 - 28 Ocak 2004, San Diego.
- Ray, J. K. (2000). Mitigation of GPS Code and Carrier Phase Multipath Effects Using a Multi-Antenna System. *Phd Thesis*, University of Calgary.
- Reid, H. F. (1910) The mechanism of the earthquake: The California earthquake of April 8. 1906. *Report of the State Investigation Commission*, **2**, Washington.
- Seeber, G. (1993). Satellite Geodesy. Walter DeGruyter Berlin.
- Sickle, V. J. (1996). GPS For Land Surveyors, First Edition, Ann Arbor Pres Inc. Michigan, **209**.
- Solak, H. İ. (2015). GNSS Hızları İle Güneybatı Anadolu'daki Gerinim Alanlarının Zamansal Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, AKÜ, Fen Bilimleri Ens. Afyonkarahisar.
- Sylvester, A. G. (1986) Near-Field Tectonic Geodesy, in: Active Tectonics Junction. Chap.11, Washington.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Claude Rangin, C. (2004). The North Anatolian Fault: A new look. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **33**: 37–112.
- Ten Veen, J. H. ten, Boulton, S. J. ve Alçiçek, M.C. (2009). From Palaeotectonics To Neotectonics In The Neotethys Realm: The Importance Of Kinematic Decoupling

- and Inherited Structural Grain In SW Anatolia (Turkey), *Tectonophysics*, **473(1-2)**: 261-281.
- Tiryakioğlu, İ., Dereli, M. A., Gülal, E. ve Erdoğan, S. (2010). Tektonik Hareketlerin Belirlenmesine Yönelik Ölçü Kampanyalarında GNSS Gözlem Sayı ve Sürelerinin Konum Doğruluğuna Olan Etkilerinin Araştırılması, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergi*, **1**: 32-38.
- Tiryakioğlu, İ. (2012). GNSS Ölçüleri İle Güneybatı Anadolu'daki Blok Hareketleri ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi, Doktora tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Ens. İstanbul.
- Tiryakioğlu, İ., Floyd, M., Erdoğan, S., Gülal, E., Ergintav, S., McClusky, S., Reilinger, R. (2013). GPS Constraints on Active Deformation in the Isparta Angle Region of SW Turkey. *Geophys. J. Int.*, **195**: 1455–1463.
- TJK. (1976). *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **19**: 149-154.
- Tüysüz, O. (1999). Yeryuvarının iç Yapısı Depremler ve Türkiye, Ders Notları, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wright, T. J. (2002). Remote monitoring of the earthquake cycle using satellite radar interferometry. *The Royal Society*. **360**: 2873-2888.
- Xu, G. (2007). GPS Theory, Algorithms and Applications, Springer, Berlin.
- Yalçın, B. (2007). Yerel Bir Ağda GPS Ölçü Süresinin Nokta Konum Doğruluğuna Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yavaşoğlu, H. (2003). Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümünün Kinematığının 2001 ve 2002 GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Yavaşoğlu, H., Rüzgar, G., Baykal, O., Bilgi, S., Çakmak, R., Erden, T., Ergintav, S. İnce C. D., Karaman, H., Tari, E., Tari, U., Tüysüz, O. (2004). GPS Measurements Along The North Anatolian Fault Zone on The Mid-Anatolia Segment, *5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, Thessaloniki, Greece, April 14-20.
- Yavaşoğlu, H. (2009). Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümündeki Güncel Tektonik Aktivitenin Jeodezik Yöntemler Ve Elastik Yarı Uzak Modelleme İle Belirlenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yavasoglu, H., Tari, E., Tuysuz, O., Cakir, Z., Ergintav, S. (2011). Determining and modelling tectonic movements along the central part of the North Anatolian Fault

(Turkey) using geodetic measurements. *Journal of Geophysical Research* **51(5)**: 339–343.

Yavaşoğlu, H., Alkan, M. N., Ozulu, İ. M., İlçi, V., Tombuş, F. E., Aladoğan, K., Şahin, M., Tiryakioğlu, İ., Kıvrak, S. O. (2015). Recent Tectonic Features of the Central Part (Bolu-Corum) of the North Anatolian Fault, *Hittite Journal of Science and Engineering*, **2 (1)**: 77-83.

Yeats, R. S., Sieh, K. and Allen, C. R. (1997). *The Geology Of Earthquakes*, Oxford University, New York.

Yıldız, F. ve Kahveci, M. (2009). *GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri*, Nobel Yayınları, Ankara.

Zorlu, N. (2010). *Küresel Uydu Yönbulum Sistemlerine (GNSS) Genel Bir Bakış, Avrupa'nın Galileo Yönbulum Sistemi, Türkiye İçin Çıkarımlar. Yüksek Lisans Tezi. Hava Harp Okulu Komutanlığı, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul.*

## 6.1 İnternet Kaynakları

- (1) <http://www.renklinot.com/soru-cevap-2/dunyanin-yuzeyini-olusturan-kati-ve-sivi-yapilar-nelerdir.html> 5.12.2016
- (2) <http://www.cografya.gen.tr/egitim/fiziki/levha-tektonigi.htm> 5.12.2016
- (3) [http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni\\_diri\\_fay\\_hari\\_talari-goruntule](http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni_diri_fay_hari_talari-goruntule) 5.12.2016
- (4) <http://www.ansiklopedim.info/?p=4938> 5.12.2016
- (5) <http://www.bilimtreni.com/levhalar-ve-levha-tektonigi/> 5.12.2016
- (6) <https://tr.wikipedia.org/wiki/Yerküre> 5.12.2016
- (7) <http://www.learner.org/interactives/dynamicearth/plate.html> 5.12.2016
- (8) <http://www.jeofizikmuhendisleri.com/makaleler/Fay.Nedir?.Fay.Cesitleri.Nelerdir?> 6.12.2016
- (9) <http://www.jeotermal.com/galeri/3-faylar> 6.12.2016
- (10) <http://sfl-cografya.tr.gg/Depremler.htm> 6.12.2016
- (11) [http://www.cografyasozlugu.com/sozluk\\_dizin.php?goster=2062&&alfabe=D](http://www.cografyasozlugu.com/sozluk_dizin.php?goster=2062&&alfabe=D) 6.12.2016
- (12) [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System) 9.12.2016
- (13) [https://tr.wikipedia.org/wiki/Galileo\\_konumlandırma\\_sistemi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Galileo_konumlandırma_sistemi) 9.12.2016
- (14) [https://tr.wikipedia.org/wiki/GPS#cite\\_note-GPS\\_MYSTERIES-1](https://tr.wikipedia.org/wiki/GPS#cite_note-GPS_MYSTERIES-1) 9.12.2016
- (15) <https://tr.wikipedia.org/wiki/GLONASS> 9.12.2016
- (16) <http://en.beidou.gov.cn/introduction.html> 9.12.2016
- (17) <http://web.archive.org/web/20131029015139/http://www.koeri.boun.edu.tr:80/sismo/> 9.12.2016

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kayhan ALADOĞAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Sivrice / ELAZIĞ – 03.04.1987  
Yabancı Dil : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0532 543 95 08 / [kayhanaladogan@hitit.edu.tr](mailto:kayhanaladogan@hitit.edu.tr)

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yılı)

Lise : Sivrice Lisesi (2001–2004)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği (2006–2010)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Harita Mühendisliği A.B.D. (2014-2017)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Özçetin Harita (2011 – 2011)  
Eti Krom A.Ş. (2011 – 2013)  
Hitit Üniversitesi (2013 – Devam ediyor.)

### Yayınları (SCI ve diğer) :

Taktak, F., Demir, H., Aladoğan, K. (2011). TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Hakemli Dergisi Örneğinde Sosyal Ağ Analizi (SNA), *Hkm Jeodezi ve Jeoinformasyon ve Arazi Yönetim Dergisi*, (3): 80-84

Yavaşoğlu, H., Alkan, M. N., Ozulu, İ.M., İlçi, V., Tombuş, F.E., Aladoğan, K., Şahin, M. (2014). Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Oluşan Yerkabuğu Hareketlerinin GPS Yöntemiyle İzlenmesi, *7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Hitit Üniversitesi, Çorum

Yavasoglu, H., Alkan, M. N., Ozulu, I.M., Ilci, V., Tombus, F.E., Aladogan, K., Sahin, M., Tiryakioğlu, I., Kıvrak, S.O. (2015). Recent Tectonic Features of the Central Part (Bolu-Corum) of the North Anatolian Fault, *Hittite Journal of Science and Engineering*, 2 (1): 77-83.

Yavasoglu, H., Alkan, M. N., Aladogan, K., Ozulu, I.M., Ilci, V., Tombus, F.E., Sahin, M., Tiryakioğlu, İ., Kıvrak, S. O. (2016). Ismetpasa and Destek Regions: Creeping or Accumulating Strain, *European Geosciences Union General Assembly (EGU2016)*, Vienna, Austria, (Poster).

Gulal, V.E., Alkan, R.M., Alkan, M.N., Ilci, V., Ozulu, I.M., Tombus, F.E., Kose, Z., Aladogan, K., Sahin, M., Yavasoglu, H., Oku, G. (2016). Measurement of Dam Deformations: Case Study of Obruk Dam (Turkey), *European Geosciences Union General Assembly (EGU2016)*, Vienna, Austria, (Poster).

Alkan, R.M., Gülal, E., İlçi, V., Ozulu, İ.M., Alkan, M.N., Köse, Z., Aladoğan, K., Tombuş, F.E. Şahin, M., Yavaşoğlu, H., Oku, G. (2016). "Obruk Barajı Deformasyon Ölçmeleri ", 8. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul,

Yavasoglu, H., Ozbey, V., Alkan, R.M., Erden, T., Alkan, M.N., Aladogan, K. ve Köse, Z. (2016). "GNSS Verilerinin Yer Bilimlerinde Kullanımı: Orta ve Batı Anadolu Örneği", 8. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, (Kısa Sunum).

